

Tätigkeitsbericht / *Activity Report*



2012 – 2015

Tätigkeitsbericht 2012–2015
Activity Report 2012–2015



www.vdz-online.de

Der VDZ-Tätigkeitsbericht fasst die Arbeit des Vereins Deutscher Zementwerke und seines Forschungsinstituts im Berichtszeitraum zusammen.

The VDZ activity report summarises the activities of the German Cement Works Association and its Research Institute in the reporting period.

Herausgeber / Publisher

Verein Deutscher Zementwerke e. V.
Tannenstraße 2
D-40476 Düsseldorf
Telefon: +49-211-45 78-1
Telefax: +49-211-45 78-296
E-Mail: vdz@vdz-online.de

VDZ gGmbH
Tannenstraße 2
D-40476 Düsseldorf
Telefon: +49-211-45 78-1
Telefax: +49-211-45 78-296
E-Mail: info@vdz-online.de

Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH
Tannenstraße 2
D-40476 Düsseldorf
Telefon: +49-211-45 78-1
Telefax: +49-211-45 78-256
E-Mail: fiz@vdz-online.de

Gesamtproduktion / *Overall production:*
Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf

| | |
|---|-----------|
| Vorwort / Foreword | 7 |
| | |
| 1 Verein Deutscher Zementwerke – Tradition und Innovation / German Cement Works Association – Tradition and Innovation | 9 |
| | |
| 1.1 Aufgaben, Tätigkeiten und Strukturen des VDZ / Tasks, activities and structures of VDZ | 10 |
| 1.1.1 Verein Deutscher Zementwerke / German Cement Works Association | 10 |
| 1.1.2 Gremien und Ausschüsse / Boards and committees | 12 |
| 1.1.3 Mitgliedschaften, Initiativen und Beteiligungen / Membership, initiatives and investments | 15 |
| 1.1.4 Internationale Zusammenarbeit / International cooperation | 16 |
| 1.1.5 Kongresse und Tagungen / Congresses and conferences | 17 |
| | |
| 1.2 Wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen / Economic and political conditions | 18 |
| 1.2.1 Zementmarkt in Deutschland / Cement market in Germany | 18 |
| 1.2.2 Rohstoffeinsatz und -politik / Raw materials consumption and policy | 21 |
| 1.2.3 Energieeinsatz und -politik / Energy consumption and policy | 23 |
| 1.2.4 Klimaschutz und -politik / Climate protection and policy | 24 |
| | |
| 1.3 Umweltschutz und Nachhaltigkeit / Environmental protection and sustainability | 26 |
| 1.3.1 Klimaschutz in der deutschen Zementindustrie / Climate protection in the German cement industry | 26 |
| 1.3.2 Energiebedarf und Energieeffizienz / Energy demand and energy efficiency | 31 |
| 1.3.3 Immissionsschutz und Emissionsminderung / Immission protection and abatement of emissions | 34 |
| 1.3.4 Abfallrecht / Waste disposal law | 45 |
| 1.3.5 Nachhaltiges Bauen / Sustainable construction | 45 |
| | |
| 1.4 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz / Occupational health and safety | 48 |
| 1.4.1 Arbeitssicherheit / Safety at work | 48 |
| 1.4.2 Produktbezogener Arbeits- und Gesundheitsschutz / Product-related occupational health and safety | 50 |
| | |
| 1.5 Normen und Regelwerke für Zement und Beton / Standards and regulations on cement and concrete | 52 |
| 1.5.1 Weiterentwicklung der Normen für Zement und andere Bindemittel / Evolution of standards on cement and other binders | 52 |
| 1.5.2 Weiterentwicklung der Normen für das Bauen mit Beton / Evolution of standards on concrete construction | 54 |
| 1.5.3 Europäische Bauproduktenverordnung / European Construction Products Regulation | 57 |
| 1.5.4 Zementgebundene Baustoffe im Bereich Boden und Grundwasser / Cementitious building materials in soil and groundwater | 58 |
| 1.5.5 Zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich / Cementitious materials in the drinking water area | 59 |
| 1.5.6 Überblick über Regelungen AKR in Deutschland / Summary of ASR regulations in Germany | 61 |
| 1.5.7 Brandschutz / Fire safety | 62 |
| 1.5.8 Verkehrswegebau / Traffic route engineering | 63 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1.6 | Güteüberwachung, Mess- und Prüfwesen des VDZ / Quality surveillance, measuring and testing methods | 64 |
| 1.6.1 | Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle / <i>Testing, inspection and certification body</i> | 64 |
| 1.6.2 | Qualitätssicherung von Zement und Bindemitteln / <i>Quality assurance of cement and binders</i> | 68 |
| 1.7 | VDZ-Weiterbildungswerk / VDZ education and training | 70 |
| 1.8 | Leistungsangebote des VDZ / Services of VDZ | 74 |
| 1.8.1 | Umwelt- und Betriebstechnik / <i>Environmental and plant engineering</i> | 74 |
| | Praxisbeispiel Verfahrensoptimierung / <i>Practical example of process optimisation</i> | 75 |
| 1.8.2 | Chemie und Mineralogie / <i>Chemistry and mineralogy</i> | 76 |
| 1.8.3 | Beton und Ausgangsstoffe / <i>Concrete and raw materials</i> | 76 |
| 1.8.4 | Produktzertifizierung / <i>Product certification</i> | 77 |
| 1.8.5 | Zertifizierung von Managementsystemen / <i>Certification of management systems</i> | 78 |
| 1.8.6 | Verifizierung von CO ₂ -Emissionsberichten / <i>Verification of CO₂ emission reports</i> | 78 |
| | Praxisbeispiel Produktzulassungen / <i>Practical example of product approvals</i> | 79 |
| 1.8.7 | Umweltmessstelle / <i>Environmental monitoring body</i> | 80 |
| | Praxisbeispiel Emissionsmessungen im Ausland / <i>Practical example of emission measurements abroad</i> | 81 |
| 2 | Forschungsthemen des VDZ / Research Topics of VDZ | 83 |
| 2.1 | Verfahrenstechnik der Zementherstellung / Cement production process technology | 84 |
| 2.1.1 | Entwicklung eines hocheffizienten SNCR-Verfahrens mit gestufter Verbrennung für reduzierte NO _x - und NH ₃ -Emissionen an Drehofenanlagen der Zementindustrie mit Vorcalciniertechnik / <i>Development of a high-efficiency SNCR process with staged combustion for reducing NO_x and NH₃ emissions in cement industry rotary kiln plants with precalcination</i> | 84 |
| 2.1.2 | Heißbereichskorrosion in Zementwerken / <i>Corrosion in hot areas of cement works</i> | 87 |
| 2.1.3 | Plasmavergasung von heterogenen alternativen Brennstoffen / <i>Plasma gasification of heterogeneous alternative fuels</i> | 89 |
| 2.1.4 | Brennero Optimierung beim Einsatz alternativer Brennstoffe / <i>Burner optimisation with the use of alternative fuels</i> | 90 |
| 2.1.5 | Sauerstoffanreicherung in der Verbrennungsluft / <i>Oxygen enrichment in combustion air</i> | 92 |
| 2.1.6 | Anlagen- und produktspezifische Optimierung der Gattierung der Feinmahlkammer von Kugelmøhlen zur Zementmahlung / <i>Plant and product-specific optimisation of the charge grading in the fine grinding compartment of ball mills for cement grinding</i> | 94 |
| 2.1.7 | Modifizierung des Mahlbarkeitstests nach Zeisel / <i>Modification of Zeisel grindability test</i> | 96 |
| 2.1.8 | Feinstmahlung von Zementbestandteilen / <i>Superfine grinding of cement constituents</i> | 98 |
| 2.1.9 | Optimierung der halbtechnischen Umlaufmøhanlage / <i>Optimisation of semi-industrial closed-circuit grinding plant</i> | 99 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 2.2 | Umwelt- und Klimaschutz bei der Zementherstellung / Environmental and climate protection in cement production | 102 |
| 2.2.1 | CO ₂ -Minderung durch die Oxyfuel-Technologie im Zementklinkerbrennprozess / <i>CO₂ reduction through the use of oxyfuel technology in the cement clinker burning process</i> | 102 |
| 2.2.2 | „Carbon Looping“ / „Carbonate looping“ | 103 |
| 2.2.3 | Untersuchung und Optimierung katalytischer Verfahren zur Minderung von Kohlenmonoxid und organischen Komponenten im Abgas von Drehofenanlagen der Zementindustrie / <i>Investigation and optimisation of catalytic methods of reducing carbon monoxide and organic components in the exhaust gas of rotary kiln plants in the cement industry</i> | 104 |
| 2.2.4 | Senkung der Quecksilberfrachten in Zementdrehofenanlagen durch den Einsatz von Sorbentien – Emissionsminderung bei gleichzeitiger Beibehaltung der Produktqualität / <i>Reduction of mercury loads in rotary cement kilns through the use of sorbents – abatement of emissions whilst maintaining product quality</i> | 106 |
| 2.2.5 | Trockene CO ₂ -Abtrennung / <i>Dry sorbent CO₂ capture</i> | 107 |
| 2.3 | Leistungsfähigkeit von Zement / Performance of cement | 108 |
| 2.3.1 | Chemisch-mineralogische Zusammensetzung / <i>Chemical and mineralogical composition</i> | 108 |
| 2.3.2 | Anwendung der quantitativen Röntgenbeugungsanalyse in der Qualitätskontrolle von Zementen / <i>Use of quantitative X-ray diffraction analysis in cement quality control</i> | 110 |
| 2.3.3 | Mikroskopie – ein wichtiges Werkzeug der Klinker- und Zementanalytik / <i>Microscopy – an important tool in clinker and cement analysis</i> | 112 |
| 2.3.4 | Einfluss der Aschen von Sekundärbrennstoffen auf die Viskosität der Klinkerschmelze und deren Auswirkungen auf die feuerfeste Auskleidung der Sinterzone des Drehrohrofens / <i>Influence of the ashes of alternative fuels on the viscosity of the clinker melt and their effects on the refractory lining of the sintering zone of a rotary kiln</i> | 114 |
| 2.3.5 | Einfluss der Kalksteinzusammensetzung auf Portlandkalksteinzement / <i>Influence of limestone composition on Portland-limestone cement</i> | 117 |
| 2.3.6 | Sulfatwiderstandsprüfverfahren / <i>Sulphate resistance test method</i> | 119 |
| 2.3.7 | Metakaolin aus Papierschlamm / <i>Metakaolin from paper sludge</i> | 121 |
| 2.3.8 | Optimierung und Dauerhaftigkeit von Puzzolanzementen mit natürlichen getemperten Tonen und damit hergestellten Betonen / <i>Optimisation and durability of pozzolanic cements with natural calcined clays and concretes produced with these</i> | 122 |
| 2.3.9 | Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion durch den gezielten Einsatz von Steinkohlenflugasche als Zementhauptbestandteil / <i>Prevention of a damaging alkali-silica reaction through the specific use of siliceous fly ash as main cement constituent</i> | 124 |
| 2.3.10 | Eignung verschiedener anorganischer Stoffe zur Verwendung als Nebenbestandteil / <i>Suitability of various inorganic substances for use as minor additional constituent</i> | 127 |
| 2.3.11 | Wechselwirkungen zwischen Steinkohlenflugasche bzw. natürlichem getempertem Ton als Zementhauptbestandteil und Fließmitteln auf der Basis von Polycarboxylatether (PCE) sowie deren Einflüsse auf rheologische Eigenschaften von Zementleim und Beton / <i>Interaction between siliceous fly ash or natural calcined clay as cement main constituent and polycarboxylate ether-based superplasticizers and their influences on rheological properties of cement paste and concrete</i> | 128 |
| 2.3.12 | Analysenkonzept zur Quantifizierung von Zement, seinen Hauptbestandteilen sowie Zusatzstoffen in erhärteten Betonen / <i>Analytical concept for the quantification of cement, its main constituents and additions in hardened concretes</i> | 132 |
| 2.3.13 | Analysekonzept zur Bestimmung von Spurenelementen in Eluatzen zementgebundener Baustoffe / <i>Analytical concept for the determination of trace elements in eluates of cement-bound building materials</i> | 134 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 2.4 | Leistungsfähigkeit von Beton / Performance of concrete | 136 |
| 2.4.1 | Granulometrie der Zementhauptbestandteile – Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit von Betonen mit kalksteinhaltigen Zementen / <i>Granulometry of cement main constituents – effects on the durability of concretes with cements containing limestone</i> | 136 |
| 2.4.2 | Reduzierung der Umweltwirkung der Betonbauweise durch Zemente mit hohem Kalksteingehalten – Dauerhaftigkeit und praktische Umsetzbarkeit / <i>Reduction of environmental impact of concrete constructions through the use of cements with high limestone content – durability and feasibility</i> | 140 |
| 2.4.3 | Erforschung des Dreistoffsystems Klinker, Hüttensand und Kalksteinmehl mit dem Ziel der Absenkung des Klinkeranteils im Zement zur Verminderung der CO ₂ -Emissionen in der Zementproduktion / <i>Investigation of ternary system clinker, blast furnace slag and limestone meal with the aim of lowering the proportion of clinker in cement to reduce CO₂ emissions in cement production</i> | 143 |
| 2.4.4 | Einfluss der Mischdauer auf die Luftporenbildung in Frisch- und Festbeton / <i>Influence of mixing time on air entrainment in fresh and hardened concrete</i> | 144 |
| 2.4.5 | Präzisionswerte für das Schnellprüfverfahren (80 °C) und den Mörtelschnelltest (70 °C) / <i>Precision values for the accelerated mortar bar test (80 °C) and the accelerated mortar bar test (70 °C)</i> | 146 |
| 2.4.6 | Alkali-Kieselsäure-Reaktion bei Betonen des kommunalen Straßenbaus / <i>Alkali-silica reaction in concrete used for municipal road construction</i> | 148 |
| 2.4.7 | Ableitung praxisgerechter Bewertungskriterien für AKR-Performance- und WS-Grundprüfungen zur zielsicheren Vermeidung von AKR-Schäden bei Betonstraßen / <i>Inference of evaluation criteria for ASR performance tests and for WS aggregate tests suitable for practical application with the aim of assured prevention of ASR damage to concrete roads</i> | 149 |
| 2.4.8 | Erweiterung der Datenbasis AKR-Performance-Prüfverfahren / <i>Extension of the base data for ASR performance testing</i> | 151 |
| 2.4.9 | Kriterien für neue Alkaliempfindlichkeitsklasse E II-S / <i>Criteria for new alkali reactivity class E II-S</i> | 154 |
| 2.4.10 | Einfluss unterschiedlicher Taumittel auf die Dauerhaftigkeit von Betonpflastersteinen / <i>Effects of various thawing agents on the durability of concrete paving blocks</i> | 155 |
| 2.4.11 | Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Laborprüfverfahren zur Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstandes von vorgefertigten Straßenbauerzeugnissen auf Praxisverhältnisse / <i>Transferability of results from laboratory test procedures to determine the freeze-thaw resistance with de-icing salt of pre-fabricated paving products in practical conditions</i> | 157 |
| 2.4.12 | AquaCem – Wiederverwendung von Restwasser in der Herstellung von Luftporen- und hochfesten Betonen / <i>AquaCem – reuse of recycling water in the manufacture of air-entrained and high-strength concrete</i> | 158 |
| 2.4.13 | Feuchte in Beton und Zementestrich / <i>Moisture in concrete and cement screed</i> | 160 |
| 2.4.14 | Randbedingungen für das zielsichere Erreichen projektierter Betoneigenschaften im modernen 5-Stoff-System diverser Betonausgangsstoffe / <i>Boundary conditions for accurately achieving projected concrete properties in the modern 5-component system of diverse concrete constituents</i> | 161 |
| 2.4.15 | Ermittlung hydrationsgradbasierter Kennwerte zur Vorhersage der Dauerhaftigkeit von Beton / <i>Determination of hydration-degree-based characteristic values for predicting the durability of concrete</i> | 164 |
| | Anhang / Annex | 167 |
| | Personen und Gremien / <i>Persons and committees</i> | 168 |
| | Veröffentlichungen / <i>Publications</i> | 169 |

Anmerkung: Zahlendarstellung in Tabellen und Grafiken entsprechend deutschen Regeln.

Note: Numerical expressions in tables and diagrams are shown using standard german punctuation.

Liebe Leserinnen und Leser,

als wichtigster Bestandteil von Beton ist Zement für unsere Gesellschaft unverzichtbar. Moderne Wohngebäude, Brücken oder unsere Wasserversorgung könnten ohne Zement nicht gebaut werden. Die Prognose des weltweiten Zementbedarfs geht von einer weiteren Zunahme des Zementverbrauchs aus – nicht zuletzt deshalb, weil angesichts des Bevölkerungswachstums in vielen Ländern der Welt ein enormer Nachholbedarf an Infrastrukturmaßnahmen besteht. Mit Blick auf die weltweite Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe für Zement gibt es auch heute keinen anderen Baustoff, der Zement und Beton angemessen ersetzen könnte.

Gleichwohl steht die Zementindustrie vor großen Herausforderungen. Angesichts des wachsenden Bedarfs an zementgebundenen Baustoffen gilt es, den Energie- und den Ressourceneinsatz zu reduzieren sowie die Klima- und Umweltverträglichkeit des Herstellungsprozesses weiter zu optimieren. Der Verein Deutscher Zementwerke e. V. unterstützt seit mehr als 135 Jahren Zementhersteller in Deutschland – und zunehmend auch weltweit – bei der Bewältigung dieser Aufgaben.

Vor diesem Hintergrund fasst der vorliegende Tätigkeitsbericht die Arbeit des VDZ und seines Forschungsinstituts der Zementindustrie zusammen. Die Schwerpunkte unserer Forschungsprojekte bilden wie auch in den vorhergehenden Jahren die Verfahrenstechnik und der Umweltschutz bei der Herstellung sowie die Leistungsfähigkeit von Zement in Mörtel und Beton. In allen Bereichen kommt dabei dem Arbeits- und Gesundheitsschutz, der Qualitätssicherung sowie der Arbeitssicherheit eine große Bedeutung zu.

Die Forschungstätigkeit des VDZ stützt sich dabei nicht nur auf die Gemeinschaftsarbeit und den Erfahrungsaustausch mit seinen Mitgliedsunternehmen. Auch die Erkenntnisse aus dem umfangreichen Dienstleistungsangebot des VDZ geben ihr immer wieder neue Impulse. Eingebunden in internationale Forschungsprojekte und Normungsgremien trägt der VDZ jetzt und in Zukunft zu einer wettbewerbsfähigen sowie umwelt- und ressourcenschonenden Zementherstellung bei.

Düsseldorf, im September 2015

Gerhard Hirth
Präsident

Dr. Martin Schneider
Hauptgeschäftsführer

Dear readers,

Cement is the most important constituent of concrete and as such indispensable in today's world. Modern residential buildings, bridges and water supply systems could not be constructed without cement. Forecasts for the worldwide demand for cement indicate a continuing increase in cement consumption – not least due to the enormous infrastructure investments required in view of the population growth in many countries. Given the worldwide availability of the raw materials for cement there is also no other construction material at present which could adequately replace cement and concrete.

The cement industry is nevertheless facing major challenges. In the light of the growing demand for cement-bound building materials, the aim must be to further reduce the use of energy and resources as far as possible and to optimise the climate and environmental compatibility of the production process. For more than 135 years, the German Cement Works Association has been helping cement manufacturers in Germany – and increasingly throughout the world – to master these tasks.

This activity report describes the efforts of VDZ and its Research Institute of the Cement Industry in this context. As in previous years, our research projects continue to focus on process technology, environmental protection in production and the performance of cement in mortar and concrete. Health and safety provisions, quality assurance and safety at work play an important part in all these areas.

The research activities of VDZ are not just based on joint work and the exchange of information with its member companies. Fresh impetus also regularly comes from input from the wide range of services offered by VDZ. With its involvement in international research projects and standardisation committees, VDZ plays its part in ensuring competitive, environmentally compatible and resource-conserving cement production and will continue to do so in future.

Duesseldorf, September 2015

Gerhard Hirth
President

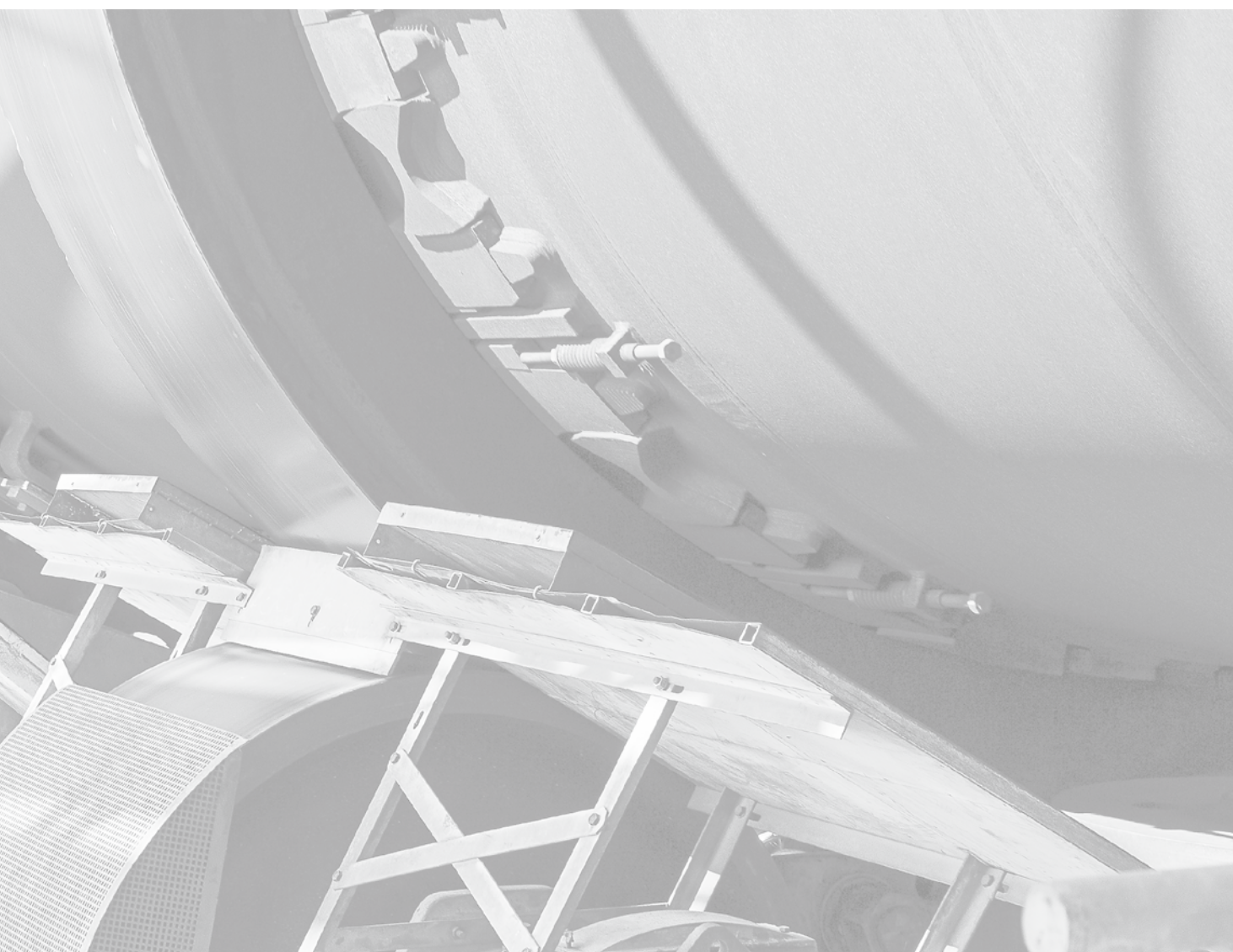
Dr. Martin Schneider
Chief Executive

1

8

Verein Deutscher Zementwerke – Tradition und Innovation / *German Cement Works Association – Tradition and Innovation*





1.1 Aufgaben, Tätigkeiten und Strukturen des VDZ / Tasks, activities and structures of VDZ

1.1.1 Verein Deutscher Zementwerke ■

Der Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) ist die Gemeinschaftsorganisation der deutschen Zementhersteller. Seit mehr als 135 Jahren setzt er sich für die Belange seiner Mitgliedsunternehmen sowie eine umweltverträgliche Zementproduktion und eine qualitativ hochwertige Betonbauweise ein. Zweck des Vereins ist seit jeher die Förderung von Wissenschaft und Technik einschließlich der vorwettbewerblichen Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet hydraulischer Bindemittel. Hierzu unterhält der VDZ mit dem Forschungsinstitut der Zementindustrie ein weltweit einmaliges Kompetenzzentrum auf dem Gebiet der Zement- und Betonforschung. In wirtschafts- und energiepolitischen Fragen vertritt der VDZ die Zementhersteller auf Landes- und Bundesebene sowohl in Berlin als auch in Brüssel.

Mitgliedschaft im VDZ

Ordentliches Mitglied kann jede natürliche oder juristische Person werden, die in der Bundesrepublik Deutschland genormte oder bauaufsichtlich zugelassene Zemente bzw. zementartige Bindemittel herstellt. Zementhersteller außerhalb Deutschlands und andere der Zementindustrie nahestehende Organisationen können als außerordentliche Mitglieder ohne Stimmrecht in den VDZ aufgenommen werden. Die derzeit (2015) 20 Mitgliedsunternehmen des VDZ betreiben zusammen 50 Zementwerke in Deutschland und erwirtschaften mit rund 7.900 Beschäftigten jährlich einen Umsatz von gut 2,5 Mrd. Euro. Weiterhin zählt der VDZ fünf inländische sowie 29 ausländische Unternehmen zu seinen außerordentlichen Mitgliedern.

In der gemeinnützigen VDZ gGmbH bündeln sich die gemeinsamen Aktivitäten der deutschen Zementhersteller zur Förderung von Wissenschaft und Technik sowie der Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Herstellung und Anwendung von hydraulischen Bindemitteln. Die 2012 gegründete VDZ gGmbH baut auf die mehr als 135-jährige Forschungstradition des VDZ und sammelt und erarbeitet neue Erkenntnisse zur:

- Sicherstellung der Leistungsfähigkeit von Zement und Beton
- Erschließung neuer Anwendungsfelder für zementgebundene Baustoffe
- Beseitigung von Schwierigkeiten bei Herstellung und Anwendung von Zement und zementgebundenen Baustoffen
- Verwendung von alternativen Brenn- und Einsatzstoffen zur Herstellung von Zement und Beton
- Verbesserung des Betriebsverhaltens von Ofen- und Mahlanlagen
- Verminderung des Energieverbrauchs bei der Zementherstellung
- Verringerung der Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO₂) und weiterer klima- und umweltrelevanter Stoffe bei der Zementherstellung
- Ökologische Beurteilung zementgebundener Baustoffe

Darüber hinaus vertreten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des VDZ diese Erkenntnisse gegenüber den Mitgliedsunternehmen des VDZ, Behörden, Hochschulen und der Gesellschaft. Fragen der Normung und Qualitätssicherung spielen dabei eine besondere Rolle. Gleichzeitig arbeiten VDZ-Experten an einer Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes und der För-

1.1.1 German Cement Works Association ■

The German Cement Works Association (VDZ) is the joint organisation of the German cement manufacturers. For more than 135 years the association has been representing the interests of its member companies and pursuing the aims of environmentally compatible cement production and high-quality concrete construction. The association has always been dedicated to the promotion of science and technology, including pre-competitive research and development in the field of hydraulic binders. For this purpose, VDZ runs the Research Institute of the Cement Industry, a unique competence centre worldwide for cement and concrete research. VDZ represents cement manufacturers at regional and national level in both Berlin and Brussels on economic and energy policy issues.

Membership in VDZ

Full membership is open to any natural person or legal entity engaged in the production of cements and cement-type binders which are standardised or officially approved in the Federal Republic of Germany. Cement manufacturers outside Germany and other organisations allied to the cement industry can join as VDZ associate members without voting rights. The 20 VDZ member companies (figure for 2015) together operate 50 cement works in Germany, employing a workforce of about 7,900 and generating an annual turnover of a good 2.5 billion euros. Five German companies and 29 foreign businesses are also associate members of VDZ.

VDZ gGmbH is a non-profit organisation which coordinates the joint activities of the German cement manufacturers with a view to promoting science and technology, as well as research and development for the production and use of hydraulic binders. Founded in 2012 and drawing on VDZ's more than 135 years of research experience, VDZ gGmbH gathers and processes new findings for the purpose of:

- Ensuring the performance of cement and concrete
- Opening up new areas of application for cement-bound building materials
- Tackling problems relating to the production and use of cement and cement-bound building materials
- Using alternative fuels and constituents for cement and concrete production
- Improving the operating characteristics of kiln plants and grinding plants
- Reducing energy consumption in cement production
- Reducing the emissions of carbon dioxide (CO₂) and other substances of relevance to the climate and the environment in cement production
- Ecological assessment of cement-bound building materials

Scientists from VDZ are also responsible for presenting these findings to the VDZ member companies, authorities, universities and the public. Of particular importance are questions relating to standardisation and quality assurance. At the same time, VDZ experts work on ways of improving in-plant environmental protection and promoting industrial safety measures. The VDZ development programme also offers extensive further training in the form of seminars, workshops, online courses and multi-week



Bild 1.1.1-1 VDZ-Präsident Gerhard Hirth bei der Eröffnung des 7. Internationalen VDZ-Kongresses 2013
Fig. 1.1.1-1 VDZ President Gerhard Hirth at the opening of the 7th international VDZ Congress 2013



Bild 1.1.1-2 VDZ-Hauptgeschäftsführer Dr. Martin Schneider beim 7. Internationalen VDZ-Kongress 2013
Fig. 1.1.1-2 VDZ CEO Dr. Martin Schneider at the 7th international VDZ Congress 2013

derung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes. Über sein Weiterbildungswerk bietet der VDZ darüber hinaus mit Seminare, Workshops, Online-Angeboten und mehrwöchigen Lehrgängen umfassende Fortbildungsangebote für die Steine-Erden-Industrie an. Zur Erfüllung ihrer Aufgaben erbringt die VDZ gGmbH entsprechende Dienstleistungen in den Bereichen Umwelt- und Betriebstechnik, Chemie und Mineralogie sowie Beton und Betonausgangsstoffe. Alleiniger Gesellschafter der VDZ gGmbH ist der Verein Deutscher Zementwerke e. V.

Der VDZ arbeitet zusammen mit der Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH, die Aktivitäten im Bereich der unabhängigen Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsdienstleistungen bündelt. Hierzu betreibt die Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH die folgenden Kompetenzzentren:

Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ-Stelle)

Die Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Zementen und zementartigen Bindemitteln gehören zu den traditionellen Kernkompetenzen des VDZ. Damit trägt der VDZ seit vielen Jahrzehnten zur Erfüllung der Schutzziele der europäischen Bauproduktenverordnung sowie der Landesbauordnungen bei. Unsere PÜZ-Stelle ist für den Bereich Produktzertifizierung nach DIN EN ISO/IEC 17065 akkreditiert und zertifiziert Zemente, Betonausgangsstoffe sowie Mörtel.

Umweltmessstelle

Die Umweltmessstelle des VDZ führt seit mehr als 40 Jahren Umweltmessungen im Rahmen der behördlichen Überwachung von genehmigungsbedürftigen Anlagen durch. Neben staub- und gasförmigen Emissionen untersucht die Umweltmessstelle auch Immissionen in der Umgebung von Zementwerken und führt Lärm- und Erschütterungsmessungen zur Erfüllung behördlicher Auflagen durch. Zusätzlich überprüft die Umweltmessstelle den ordnungsgemäßen Einbau kontinuierlich arbeitender Messeinrich-

courses for the building materials industry. The work of VDZ gGmbH involves providing services in the areas of environmental and plant engineering, chemistry and mineralogy as well as concrete and concrete constituents. The sole proprietor of VDZ gGmbH is the German Cement Works Association.

VDZ works in association with the Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH which coordinates activities relating to independent testing, inspection and certification services. The Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH operates the following competence centres for this purpose:

Testing, inspection and certification body (PÜZ)

The testing, inspection and certification of cements and cement-type binders have always been central areas of VDZ expertise. With these activities, VDZ has been helping to meet the safety objectives of the European Construction Products Regulation and of the Federal State Building Codes for decades. The PÜZ is an accredited body for the certification of products in accordance with DIN EN ISO/IEC 17065 and certifies cements, concrete constituents and mortars.

Environmental measuring body

For more than 40 years, the VDZ environmental measuring body has been taking environmental measurements as part of the official inspection procedure for plants requiring a licence. In addition to dust and gaseous emissions, the environmental measuring body also examines the environmental impact in the vicinity of cement works and carries out noise and vibration measurements to satisfy official requirements. The environmental measuring body also checks the proper installation and functioning of continuously operating measuring devices and performs the necessary calibration work. Since the early 1980s it has been recognised as an independent measuring body as per §29b of the Federal Pollution Control Act and offers its services for plants covered by the 13th and 17th Ordinances on Federal Ambient Pollution Protection

tungen sowie deren Funktion und führt entsprechende Kalibrierungen durch. Seit Anfang der 1980er Jahre ist sie als unabhängige Messstelle nach §29b BImSchG bekanntgegeben und bietet ihre Tätigkeiten für Anlagen der 13. BImSchV und 17. BImSchV sowie TA Luft an. Darüber hinaus ist sie nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert.

Zertifizierungsstelle des Forschungsinstituts der Zementindustrie (FIZ-Zert)

Die Zertifizierungsstelle des Forschungsinstituts der Zementindustrie (FIZ-Zert) ist eine durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) nach DIN EN ISO/IEC 17021 und DIN EN ISO 14065 akkreditierte Stelle für die Zertifizierung von Managementsystemen sowie die Verifizierung von Treibhausgasemissionsberichten.

1.1.2 Gremien und Ausschüsse ■

Ausschuss Betontechnik

Der Ausschuss Betontechnik befasst sich mit aktuellen Fragen der Betonherstellung und -anwendung. Hierbei begleitet er die entsprechenden Forschungsarbeiten des VDZ vor dem Hintergrund einer sachgerechten und qualitätsbewussten Anwendung von Zement und Beton in der Praxis.

Hierzu unterhält der Ausschuss Betontechnik die Arbeitskreise Verkehrsbau, Regelwerke und Dauerhaftigkeit sowie die Ad-hoc-Arbeitsgruppen Geothermiebaustoffe und Dauerhaftigkeitsklassen von Beton.

Ausschuss Energie

Der Ausschuss Energie bearbeitet aktuelle Fragestellungen der deutschen und europäischen Energie- und Klimapolitik. Hierzu zählen beispielsweise der Treibhausgasemissionshandel, der Umgang mit dem Klimawandel und der deutschen Energiewende, die Besteuerung von Strom und Energieträgern sowie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Der Ausschuss bündelt die Interessen aller deutschen Zementhersteller auf diesem Gebiet, um sie an die politisch Verantwortlichen in Deutschland und der Europäischen Union zu kommunizieren.

Ausschuss Umwelt und Verfahrenstechnik

Neben den aktuellen Fragen der thermischen und mechanischen Verfahrenstechnik befasst sich der Ausschuss schwerpunktmäßig mit sicherheitsrelevanten, umwelttechnischen und energetischen Themen. Der Ausschuss betreut und initiiert Projekte innerhalb des umfangreichen Forschungsprogramms des VDZ.

Zur Erfüllung seiner Aufgaben unterhält der Ausschuss Umwelt und Verfahrenstechnik die Arbeitskreise Arbeitssicherheit, Emissionsminderung, Monolithische Massen, NO_x-Minderung und Zerkleinerung.

Ausschuss Zementchemie

Die Arbeiten des Ausschusses umfassen schwerpunktmäßig aktuelle analytische Fragestellungen, den produktbezogenen Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie laufende Forschungsprojekte aus dem Bereich der Zementchemie, insbesondere zum Einsatz von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen und Zementen mit geringem Klinkeranteil.

Hierzu unterhält der Ausschuss Zementchemie die Arbeitskreise Analytische Chemie, Leistungsfähigkeit von Zementbestandteilen sowie Zement und Zusatzmittel.

and the Technical Instructions on Air Quality Control. It is also accredited in accordance with DIN EN ISO/IEC 17025.

Certification body of the Research Institute of the Cement Industry (FIZ-Zert)

The certification body of the Research Institute of the Cement Industry (FIZ-Zert) is accredited by the German Accreditation Authority (DAkkS) in accordance with DIN EN ISO/IEC 17021 and DIN EN ISO 14065 for the certification of management systems and the verification of greenhouse gas emission reports.

1.1.2 Boards and committees ■

Concrete Technology Committee

The Concrete Technology Committee deals with current issues regarding the production and use of concrete. It accompanies the corresponding VDZ research activities with regard to the proper and quality-conscious use of cement and concrete in practice.

For this purpose, the Concrete Technology Committee has set up working groups on traffic engineering, regulations and durability as well as ad-hoc task groups on geothermal building materials and the durability classes of concrete.

Energy Committee

The Energy Committee deals with current issues regarding German and European energy and climate policy. These include greenhouse gas emissions trading, climate change and the German energy transition process, the taxation of power and sources of energy and the German renewable energies act. The Committee represents the interests of all German cement manufacturers in this field and presents these to the applicable policy-makers in Germany and the European Union.

Environment and Process Technology Committee

Alongside current issues concerning thermal and mechanical process technology, the Committee focuses on safety, environmental and energy-related topics. The Committee supervises and initiates projects as part of the extensive VDZ research programme.

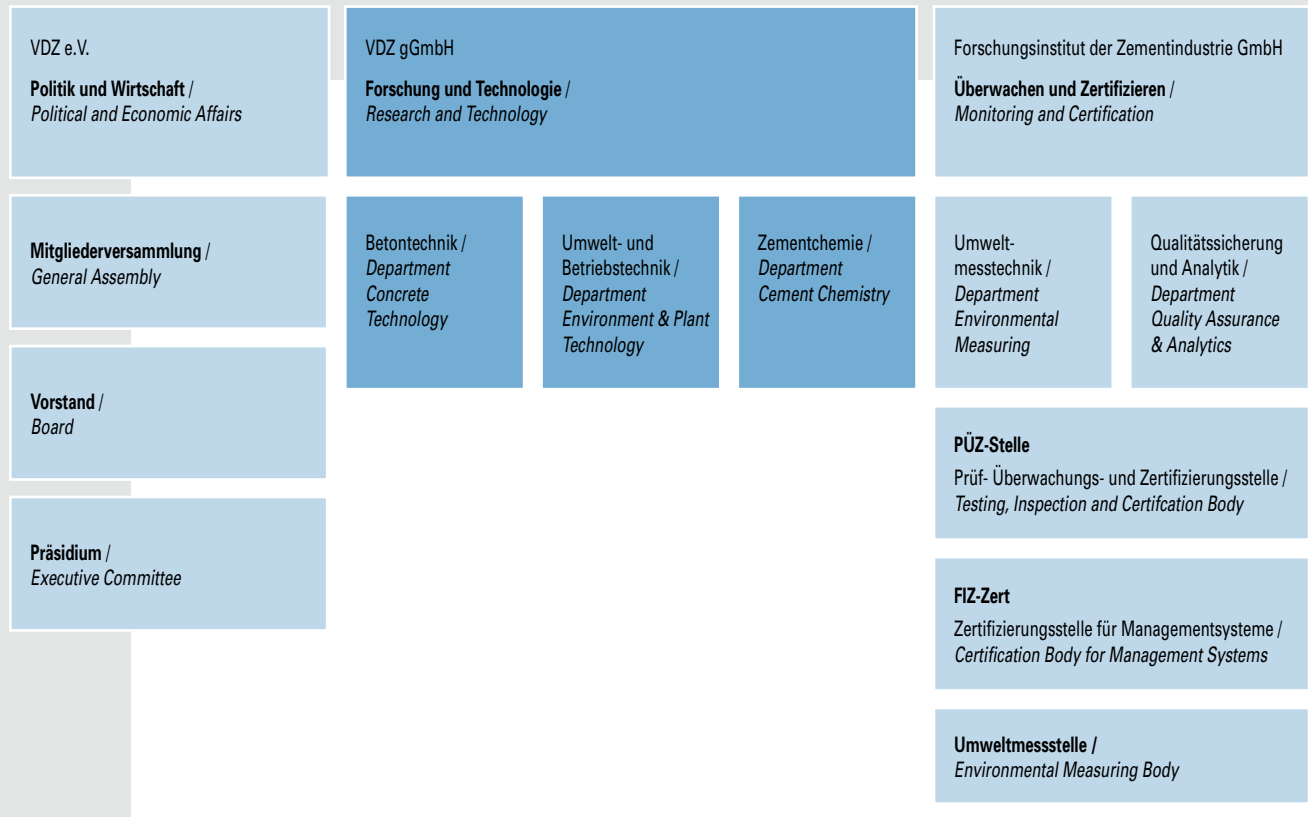
To perform its work, the Environment and Process Technology Committee has set up working groups on safety at work, abatement of emissions, monolithic materials, NO_x reduction and comminution.

Cement Chemistry Committee

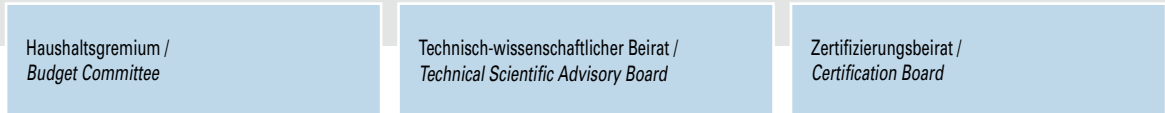
The work of this Committee focuses on current analytical issues, product-related industrial health and safety provisions and ongoing research projects in the field of cement chemistry, in particular on the use of cements with several main constituents and cements with a low clinker content.

For this purpose, the Cement Chemistry Committee has set up working groups on analytical chemistry and the performance of cement constituents as well as on cement and admixtures.

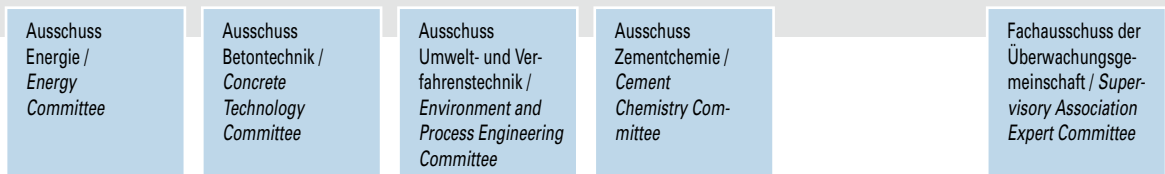
VDZ – Struktur und Themen / VDZ – Structure and Themes



Lenkungsorgane / Steering Committees



Ausschüsse / Committees



Kommissionen / Commissions



Forschungsvorhaben / Research projects



Aus- und Weiterbildung / Education and Training



Marktforschung, Statistik und Zementprognose

Die Arbeitskreise Marktforschung und Zementprognose befassen sich schwerpunktmäßig mit nachfrageorientierten Themen. Während sich der Arbeitskreis Marktforschung mit dem Aufarbeiten und der Analyse von Informationen als Grundlage für die Öffentlichkeitsarbeit im Betonmarketing beschäftigt, steht im Fokus des Arbeitskreises Zementprognose die Entwicklung des Zementverbrauches in Deutschland. Auf Basis der VDZ-Verbandsstatistik, Daten der amtlichen Statistik sowie diverser Marktstudien werden Prognosen für das jeweils laufende Jahr sowie für die mittelfristige Entwicklung des deutschen Zementmarktes ermittelt. Darüber hinaus stellt der Arbeitskreis Zementprognose einmal jährlich fest, wie sich der Zementverbrauch auf wesentliche Baubereiche und Verwendungsarten verteilt.

Fachausschuss der Überwachungsgemeinschaft

Der Fachausschuss der Überwachungsgemeinschaft des VDZ kontrolliert die objektive und unparteiische Durchführung der von der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ) durchgeführten Güteüberwachung. Insbesondere prüft er die Voraussetzungen zur Verleihung und zum Entzug von Zertifikaten in den Bereichen Produktzertifizierungen bzw. Zertifizierungen der werkseigenen Produktionskontrolle. In diesem Zusammenhang befasst sich der Ausschuss intensiv mit der aktuellen und zukünftigen Entwicklung gesetzlicher, behördlicher und normativer Regelwerke und deren Einfluss auf die Herstellung und Verwendung von Bauprodukten.

Zertifizierungsbeirat

Der Zertifizierungsbeirat fungiert als Lenkungsgremium der Zertifizierungsstelle, als auch der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle und prüft die Einhaltung der selbst gesetzten Standards sowie der geforderten Unabhängigkeit. Neben Vertretern der Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH nehmen an den Sitzungen des Gremiums u. a. je ein Vertreter des Landesamts für Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung sowie sechs Vertreter deutscher Zementhersteller teil.

Technisch-wissenschaftlicher Beirat

Der Technisch-wissenschaftliche Beirat ist das Steuerungsgremium der Forschungsaktivitäten des VDZ. Die Ausschüsse des VDZ berichten dem Beirat über ihre derzeitigen Aktivitäten, Forschungsprojekte und künftigen Handlungsfelder. Der Beirat koordiniert die Aufgaben der einzelnen Ausschüsse und stimmt diese mit den aktuellen und künftigen Herausforderungen und Interessen der VDZ-Mitgliedsunternehmen ab.

Externe Gremien

Darüber hinaus brachte sich der VDZ im Auftrag der deutschen Zementhersteller in mehr als 500 nationalen und internationalen Gremien anderer Organisationen ein. Hierzu gehören beispielsweise Normungsgremien des Deutschen Instituts für Normung oder des Europäischen Komitees für Normung, die Arbeit mit befreundeten Verbänden wie z. B. dem Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie e. V. (BTB), dem Deutschen Beton- und Bautechnik-Verein E. V. (DBV), dem Bundesverband Mineralische Rohstoffe e. V. (MIRO), der Deutschen Bauchemie e. V. (DBC), dem Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V. (SLG), dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), dem Deutschen Ausschuss für Stahlbeton e. V. (DAfStb), der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. (FGSV) oder die politische Vertretung in Gremien des Bundesverbandes der Deutschen Industrie e. V. (BDI) oder des europäischen Zementverbandes CEMBUREAU.

Market Research, Statistics and Cement Forecasting

The market research and cement forecast working groups concentrate on demand-related topics. The market research working group deals with the processing and analysis of information as a basis for public relations work in the area of concrete marketing, whereas the cement forecast working group focuses on cement consumption trends in Germany. Forecasts are drawn up for the current year and for the medium-term development of the German cement market on the basis of VDZ association statistics, figures from official statistics and various market studies. Each year the cement forecast working group also determines the distribution of cement consumption over the main building industry sectors and types of use.

Specialist Committee to the Quality Surveillance Organisation

The VDZ Specialist Committee to the Quality Surveillance Organisation monitors the objective and impartial implementation of the quality inspection work carried out by the testing, inspection and certification body (PÜZ). In particular, it checks the prerequisites for the awarding and withdrawal of certificates in the areas of product certification and the certification of factory production control. In this context, the Committee intensively studies the current and future course of legal, official and normative regulations and the influence of these on the production and use of construction products.

Certification Advisory Board

The Certification Advisory Board acts as a steering committee for the certification body and the testing, inspection and certification body and checks observance of the self-set standards and the independence demanded. In addition to representatives from the Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH, the board meetings are also attended by one representative each from the North Rhine-Westphalia State Agency for Nature, Environment and Consumer Protection and the Federal Institute for Materials Research and Testing, as well as six representatives of German cement manufacturers.

Technical and Scientific Advisory Board

The Technical and Scientific Advisory Board is responsible for management of the VDZ research activities. The VDZ committees report to the Advisory Board on their current activities, research projects and areas of future action. The Advisory Board coordinates the tasks of the individual committees and adapts these to existing and future challenges and the interests of the VDZ member companies.

External boards

VDZ also participated in more than 500 national and international boards of other organisations on behalf of the German cement manufacturers. This included participation in standardisation committees of the German Institute for Standardisation and the European Committee for Standardisation, work with allied associations such as the German Ready-Mixed Concrete Association (BTB), the German Society for Concrete and Construction Technology (DBV), the Federal Association of Mineral Raw Materials (MIRO), the German Construction Chemistry Association (DBC), the Concrete Association for Road Construction, Landscaping and Gardening (SLG), the German Institute for Construction Technology (DIBt), the German Committee for Structural Concrete (DAfStb), the Road and Transport Research Association (FGSV) and political representation on boards of the Federation of German Industries (BDI) and the European Cement Association CEMBUREAU.

1.1.3 Mitgliedschaften, Initiativen und Beteiligungen ■

Der VDZ und sein Forschungsinstitut arbeiten auf zahlreichen Gebieten mit Behörden, Hochschulen, Materialprüfämtern und einer Reihe von Fachverbänden, Normenausschüssen sowie Organisationen verwandter Industrien auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene eng zusammen. Meist erfolgt diese Zusammenarbeit im Rahmen einer Mitgliedschaft von Mitarbeitern des Instituts oder von Mitgliedsunternehmen in den Gremien dieser Organisationen.

Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF)

Die AiF, zu deren Gründungsmitgliedern der VDZ gehört, fördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft die industrielle Gemeinschaftsforschung, insbesondere die der mittelständischen Industrie. Voraussetzung für die Förderung ist unter anderem, dass die Forschungsvereinigungen zusätzlich zur jeweiligen Fördersumme weitere Eigenmittel zur Verfügung stellen. In den vergangenen Jahren erhielt der VDZ abermals Fördermittel der AiF für mehrere große Forschungsvorhaben. Hierfür sei der AiF und dem Bundeswirtschaftsministerium auch an dieser Stelle gedankt.

Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie e. V.

Mit ihrer Initiative für Nachhaltigkeit setzen sich die Sozialpartner der deutschen Zementindustrie seit 2002 für eine nachhaltige Entwicklung ihrer Branche ein. Neben dem VDZ engagieren sich in der Initiative die Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Zementindustrie e. V. (SPADZ), die Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt (IG BAU) sowie die Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE). Im Berichtszeitraum des vorliegenden Tätigkeitsberichts veröffentlichten die Sozialpartner gemeinsam eine Studie zur Beschäftigung in der Zementindustrie und die Aktualisierung ihrer Dokumentation von Beiträgen und Handlungsoptionen zur Nachhaltigkeit in der Zementindustrie zum zehnjährigen Jubiläum der Initiative. Außerdem wurde die Webseite der Initiative (www.zement-verbindet-nachhaltig.de) 2014 neu gestaltet.

InformationsZentrum Beton GmbH (IZB)

Bereits 1972 wurde das Informationszentrum Beton (IZB) von der deutschen Zementindustrie gegründet. Ziel war es, mit einer umfassenden Plattform das Informationsbedürfnis nach zementgebundenen Baustoffen aus einer Hand zu gewährleisten. Die Informationszentrum Beton GmbH entwickelt und koordiniert die branchenbezogenen Fachinformationen zur Planung und Anwendung von Beton mit den Schwerpunkten Architektur und Betontechnologie. Außerdem lobt das IZB Architektur- sowie Studentenwettbewerbe aus und fördert damit die öffentliche Wahrnehmung für das Bauen mit Beton. Damit wird die Branche ihrer baukulturellen Verantwortung für die gebaute Umwelt gerecht und stärkt das Bewusstsein für Qualität im Bauwesen. In 2014 wurden die BetonMarketing Deutschland GmbH sowie die Regionalgesellschaften des BetonMarketings unter dem Dach des IZB neu zusammengefasst.

Normensand GmbH

Die Normensand GmbH wurde 1954 von 23 westfälischen Zementwerken in Beckum gegründet. Hauptgeschäftsfeld ist die Herstellung von Prüfsanden. Dies sind aufbereitete Sande bestimmter Körnungen und mineralogischer Zusammensetzung, die zur Überwachung und Qualitätsprüfung von Zementen und weiteren

1.1.3 Membership, initiatives and investments ■

VDZ and its research institute work closely together with authorities, universities, material testing agencies and numerous professional associations, standards committees and organisations of allied industries in a variety of fields at national, European and international level. This cooperation usually involves employees representing the institute or member companies on the boards of these organisations.

Federation of Industrial Cooperative Research Associations (AiF)

The AiF, of which VDZ was a founding member, uses funds from the Federal Economics Ministry to promote joint industrial research, particularly in the medium-sized industrial sector. One of the conditions for funding is that the research associations have to finance an amount of the projects by themselves. In the past few years VDZ has again received AiF funds for several major research projects. The AiF and the Federal Economics Ministry are to be thanked for their support.

Initiative for Sustainability in the German Cement Industry

With their initiative for sustainability, employers' and employees' representatives in the German cement industry have been promoting the sustainable development of their sector since 2002. Alongside VDZ the initiative is supported by the socio-political working group of the German cement industry (SPADZ) as well as the trade unions Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt (IG BAU) and Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IG BCE). In the period covered by the present activity report, the employers' and employees' representatives published a joint study on employment in the cement industry and an updated version of their documentation on contributions to and options for action with regard to sustainability in the cement industry to mark the tenth anniversary of the initiative. The website of the initiative (www.zement-verbindet-nachhaltig.de) was also given a new look in 2014.

Concrete Information Centre (IZB)

The Concrete Information Centre (IZB) was founded by the German cement industry back in 1972. The aim was to provide a single comprehensive platform to satisfy the demand for information about cement-bound building materials. The Concrete Information Centre develops and coordinates specialist information for the industry on the planning and use of concrete, with the focus on architecture and concrete technology. The IZB also organises architectural and student competitions to arouse public interest in building with concrete. In this way the industry assumes cultural responsibility for the built-up environment and promotes quality consciousness in the building trade. In 2014, BetonMarketing Deutschland GmbH and the regional BetonMarketing companies were re-structured under the umbrella of the IZB.

Normensand

The Normensand company was founded in Beckum in 1954 by 23 Westphalian cement works. Its main area of business is the production of standard sands. These are treated sands of specific particle sizes and mineralogical composition used for the monitoring and quality inspection of cements and other binders. Normensand supplies standard sands to producers, institutes and testing laboratories in about 100 countries. Being one of the largest purchasers

Bindemitteln verwendet werden. Mit ihren Prüfständen beliefert die Normensand GmbH Hersteller, Institute und Prüflabore in fast 100 Ländern. Als einer der größten Abnehmer für Prüfstände in Deutschland hat der VDZ 2013 einen Großteil der Firmenanteile an der Normensand GmbH erworben.

Hochschulen

Die Förderung der Hochschultätigkeit auf dem Gebiet der Bauforschung und der Bautechnik ist seit jeher ein Anliegen des VDZ. Auch im Berichtszeitraum stellte er wieder Mittel für Forschungsarbeiten an Hochschulinstituten zur Verfügung. Er ist gemeinsam mit dem Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie an einer Stiftungsprofessur an der Technischen Universität Clausthal beteiligt und fördert so den dortigen Lehrstuhl „Bindemittel und Baustoffe“. Ferner nehmen Mitarbeiter des Forschungsinstituts Lehraufträge an technischen Universitäten wahr.

1.1.4 Internationale Zusammenarbeit ■

CEMBUREAU

CEMBUREAU ist der Dachverband der europäischen Zementindustrie, in dem 26 nationale Zementverbände länderübergreifend zusammenarbeiten. Der VDZ bringt sich seit vielen Jahren mit seiner technisch-wissenschaftlichen Expertise in diese Gemeinschaftsarbeit ein. Im Berichtszeitraum standen in besonderem Maße Themen des Umweltschutzes und der CO₂-Minderung im Vordergrund. Die gemeinsame europäische Arbeit zu den möglichen Auswirkungen der Zementverarbeitung auf die menschliche Gesundheit wurde weitergeführt, auch wurden die Zementhersteller bei der Umsetzung der REACH-Verordnung unterstützt.

NANOCEM

Im europäischen Forschungs- und Ausbildungskonsortium NANOCEM arbeitet der VDZ seit dessen Gründung mit. NANOCEM besteht aus 30 Partnerorganisationen. Hierzu zählen Universitäten, nationale Forschungseinrichtungen und industrielle Partner. Mehr als 120 Forscher arbeiten in NANOCEM zusammen. Ziel ist es, die Kenntnisse über die Nano- und Mikrostrukturen des Zementsteins zu verbessern, um makroskopische Eigenschaften zementgebundener Baustoffe besser zu verstehen.

European Cement Research Academy (ECRA)

Der VDZ gehört zu den Gründungsmitgliedern der European Cement Research Academy (ECRA), die im Jahr 2013 auf zehn Jahre gemeinsamer Arbeit zurückblickte. ECRA hat mittlerweile mehr als 40 Mitglieder, zu denen sowohl Zementhersteller und Zementvereinigungen als auch Unternehmen gehören, die auf unterschiedliche Weise für die Zementhersteller tätig sind. Seminare und Workshops werden zu verschiedenen Themen der Zementherstellung und -anwendung durchgeführt, in den meisten Fällen finden diese vor Ort in den Werken von ECRA-Mitgliedern statt. Der VDZ unterstützt ECRA dabei regelmäßig mit der Expertise seiner Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler.

Ein Schwerpunktthema der ECRA blieb in den vergangenen Jahren die Erforschung der Abscheidung von Kohlenstoffdioxid aus den Abgasen der Drehofenanlagen von Zementwerken sowie dessen Speicherung oder Wiederverwertung (CCS/CCR – Carbon Capture and Storage/Re-use). Seit 2007 führt die ECRA umfangreiche Forschungsarbeiten zum Thema CCS durch, die immer wieder durch den VDZ unterstützt werden: zuletzt mit einer durch die Deutsche Vereinigung für Verbrennungsforschung prämierten Promotion zum Einsatz der Oxyfuel-Technologie in der Zementindustrie.

of standard sands in Germany, VDZ acquired a large share in Normensand in 2013.

Universities

VDZ has always been involved in promoting university activities in the field of construction research and building technology. In the period under review VDZ again provided funds for research work at university institutes. Together with the Federal Association of the German Lime Industry, VDZ sponsors a professorship at Clausthal University of Technology to support the faculty of “Binders and Construction Materials”. In addition, employees from the research institute work as lecturers at various technical universities.

1.1.4 International cooperation ■

CEMBUREAU

CEMBUREAU is the umbrella association of the European cement industry in which 26 national cement associations work together across borders. VDZ has been contributing technical and scientific expertise to this joint project for many years. In the period under review particular emphasis was placed on the topics of environmental protection and CO₂ reduction. The European work being jointly conducted on the possible effects of cement processing on human health made further progress and cement manufacturers were provided with assistance for implementing the REACH regulation.

NANOCEM

VDZ has been part of the European research and training consortium NANOCEM since it was established. NANOCEM is made up of 30 partner organisations, including universities, national research institutions and industrial partners. More than 120 researchers work together in NANOCEM. The aim is to find out more about the nanostructures and microstructures of hardened cement paste to gain a better understanding of the macroscopic properties of cement-bound building materials.

European Cement Research Academy (ECRA)

VDZ was one of the founding members of the European Cement Research Academy (ECRA) which celebrated ten years of joint activities in 2013. ECRA now has more than 40 members, including cement manufacturers and cement associations as well as companies which work for the cement manufacturers in a variety of capacities. Seminars and workshops are held on various topics relating to the production and use of cement. In most cases these take place on site at the plants of ECRA members. VDZ scientists regularly support ECRA in these efforts with their expertise.

One of the focal points of ECRA activities in recent years has been ongoing research into the capture of carbon dioxide from the exhaust gases of rotary kiln plants in cement works and the storage or re-use of this (CCS/CCR – Carbon Capture and Storage/Re-use). Since 2007 the ECRA has performed extensive research work on CCS, regularly supported by VDZ – most recently with a dissertation on the use of oxyfuel technology in the cement industry which won an award from the German Combustion Research Association.



Bild 1.1.5-1 Mehr als 600 Teilnehmende aus rund 50 Ländern beim VDZ-Kongress 2013

Fig. 1.1.5-1 *More than 600 participants from around 50 countries at VDZ Congress 2013*



Bild 1.1.5-2 Verleihung des Klaus-Dyckerhoff-Preises 2013: Preisträger Duncan Herford mit den Stiftern Dr. Klaus und Dr. Edith Dyckerhoff

Fig. 1.1.5-2 *Award ceremony Klaus Dyckerhoff Prize 2013: Prize winner with the benefactors Dr. Klaus and Dr. Edith Dyckerhoff*

1.1.5 Kongresse und Tagungen ■

Zum Transfer der in den VDZ-Forschungsprojekten erworbenen Erkenntnisse in die Praxis richtet der VDZ verschiedene nationale und internationale Veranstaltungen aus. Hierzu zählt der internationale VDZ-Kongress, der zuletzt im Jahr 2013 mit mehr als 600 Teilnehmenden aus rund 50 Ländern ausgerichtet wurde. (**Bild 1.1.5-1**) Im Rahmen dieses Kongresses wurde zum vierten Mal der Klaus-Dyckerhoff-Preis zur Würdigung wegweisender Forschungsbeiträge oder beruflicher Leistungen bei der (Neu-)Entwicklung von Anwendungs- oder Herstellungsverfahren im Bereich hydraulischer Bindemittel verliehen. In 2013 wurde Duncan Herford für seine herausragenden Leistungen auf dem Gebiet der Zementherstellung ausgezeichnet (**Bild 1.1.5-2**).

Auf nationaler Ebene vernetzt der VDZ die deutsche Zement- und Betonindustrie mit der jährlichen VDZ-Jahrestagung Zement, die im September 2012 und September 2014 mit jeweils rund 400 Teilnehmerinnen und Teilnehmern erneut erfolgreich durchgeführt wurden.

VDZ-Fachtagungen tragen zum Erfahrungsaustausch und zur Weiterentwicklung von Forschung und Technologie bei. Im Berichtszeitraum trafen sich Branchenexperten anlässlich der VDZ-Fachtagung Zementchemie 2013 sowie der VDZ-Fachtagung Verfahrenstechnik 2012 und 2014 in Düsseldorf. Im Rahmen seiner Mitgliedschaft im Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) hat der VDZ die jährliche DAfStb-Jahrestagung 2014 in Düsseldorf ausgerichtet.

1.1.5 Congresses and conferences ■

VDZ organises various national and international events with a view to putting the findings from VDZ research projects into a practical context. These include the international VDZ congress, last staged in 2013 with more than 600 participants from around 50 countries. (**Fig. 1.1.5-1**) In the course of this congress the Klaus-Dyckerhoff prize was awarded for the fourth time in recognition of pioneering research work or practical achievements in the development of (new) application or manufacturing methods for hydraulic binders. In 2013 the award went to Duncan Herford for his outstanding work in the field of cement production. (**Fig. 1.1.5-2**)

At a national level VDZ brings the German cement and concrete industry together at the annual VDZ cement conference, which was successfully held again in September 2012 and September 2014 with around 400 participants in each case.

VDZ specialist conferences provide a platform for information exchange and the advancement of research and technology. In the period under review, experts from the industry gathered at the VDZ specialist conferences on cement chemistry in 2013 and on process technology in 2012 and 2014 in Düsseldorf. As a member of the German Committee for Structural Concrete (DAfStb), VDZ organised the DAfStb annual conference in Düsseldorf in 2014.

1.2 Wirtschaftliche und politische Rahmenbedingungen / Economic and political conditions

1.2.1 Zementmarkt in Deutschland ■

Der Zementmarkt in Deutschland war in den vergangenen Jahren vergleichsweise stabil. So wurden im Zeitraum 2005 bis 2014 hierzulande im Schnitt etwa 27 Mio. t Zement pro Jahr verbraucht (**Bild 1.2.1-1**).

Wichtigste Abnehmer der deutschen Zementindustrie sind die inländischen Transportbetonhersteller. Durchschnittlich 55 % des inländischen Zementversandes entfiel in den letzten 10 Jahren auf diesen Industriezweig. Im gleichen Zeitraum wurden im Schnitt 23 % an Hersteller von Betonfertigteilen geliefert. Die restliche Menge wurde in Form von sonstigem Silozement (ca. 14 %) sowie Sackzement (ca. 8 %) versandt. Im Zeitablauf kam es nur zu geringfügigen Verschiebungen der Versandanteile zwischen den Herstellergruppen bzw. Lieferformen. Lediglich der Einsatz von Sackzement hat in den vergangenen Jahren an Bedeutung verloren.

Differenziert nach Zementarten betrachtet zeichnet sich beim inländischen Zementversand bereits seit dem Ende der 1990er Jahre ein deutlicher Trend ab. Demnach setzt die deutsche Zementindustrie verstärkt auf den Einsatz von Portlandkompositzementen (CEM II) sowie Hochofenzementen (CEM III), um so den Klinkeranteil und infolgedessen die CO₂-Emissionen zu verringern. Demgegenüber steht eine deutliche Reduzierung des Versandes von Portlandzementen (CEM I), deren Anteil am inländischen Zementversand sich von über 60 % Ende der 1990er Jahre auf ca. 30 % in 2014 mehr als halbiert hat.

Im Zeitraum von 2005 bis 2014 hat die deutsche Zementindustrie im Schnitt p. a. 7,4 Mio. t Zement (inkl. Klinker) exportiert. Damit liegt die durchschnittliche Exportquote der letzten zehn Jahre bei etwa 22 % des gesamten deutschen Zementversandes. Zu den wichtigsten Handelspartnern gehören die EU-Mitgliedsstaaten Niederlande, Frankreich und Belgien. Die Zementimporte (ohne Klinker) im Zeitraum von 2005 bis 2014 beliefen sich auf durchschnittlich 1,3 Mio. t/a. Gemessen am Zementverbrauch in Deutschland ergibt sich daraus eine Importquote von im Schnitt 4,9 %.

Innerhalb der Europäischen Union stellt Deutschland den derzeit größten Markt für Zement dar. Im Zeitraum von 2008 bis 2013 entfielen durchschnittlich etwa 14 % des gesamten Zementver-

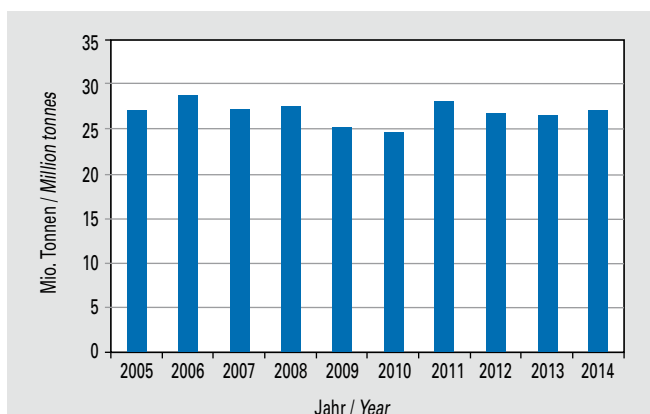


Bild 1.2.1-1 Inländischer Zementverbrauch
Fig. 1.2.1-1 Domestic cement consumption

1.2.1 Cement market in Germany ■

The cement market in Germany was comparatively stable in the past years. In the period between 2005 and 2014, domestic cement consumption reached an annual average of 27 million tonnes (**Fig. 1.2.1-1**).

The most important consumers for the German cement industry are domestic producers of ready-mix concrete. Over the last 10 years, this sector was responsible for an average of 55 % of domestic cement deliveries. In the same period, an average of 23 % was delivered to producers of precast concrete components. The remainder was supplied in the form of other silo cement (approx. 14 %) or bagged cement (approx. 8 %). Over the course of this period, there were only minimal shifts in shares of cement deliveries between the various producer groups and delivery forms. The only significant change was the reduction in the use of bagged cement in recent years.

When broken down by cement type, domestic cement deliveries have been demonstrating a marked trend since the end of the 1990s: the German cement industry is increasing its use of Portland-composite cements (CEM II) and blast furnace cements (CEM III) with the aim of reducing the clinker fraction and thus also CO₂ emissions. Correspondingly, there has been a significant reduction in the amount of Portland cement (CEM I) supplied, which has seen its share of domestic cement deliveries more than halve from over 60 % at the end of the 1990s to around 30 % in 2014.

In the period between 2005 and 2014, the German cement industry exported an annual average of 7.4 million tonnes of cement (including clinker). On average, exports thus account for around 22 % of overall German cement deliveries in the last ten years. The most important trading partners are the EU member states, primarily the Netherlands, France and Belgium. Cement imports (excluding clinker) in the period between 2005 and 2014 were 1.3 million tonnes per annum on average. When compared with cement consumption in Germany, this results in an average import share of 4.9 % p. a.

Germany is currently the largest market for cement within the European Union. In the period between 2008 and 2013, Europe's largest economy accounted for an average of around 14 % of overall cement consumption. In a global context, this value falls to around 0.8 % on average. With around 2.1 billion t (57 %) of the world's cement consumption of 3.7 billion t (2012), by far the largest cement market in the world is the People's Republic of China.

In terms of cement consumption per capita, Germany has been in the middle range of both the European and global rankings in recent times. In 2013, per-capita consumption in Germany was around 329 kilograms of cement on average. The leader in Europe is the island of Cyprus with around 1,300 kg of cement per capita in 2013. The world leader is again the People's Republic of China, which had a consumption of about 1,700 kg of cement

Tabelle 1.2.1-1 Zahlen und Daten / *Table 1.2.1-1 Figures and data*

| Die deutsche Zementindustrie / <i>The German cement industry</i> | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|--|---------|---------|---------|---------|
| Anzahl der Unternehmen / <i>Number of companies</i> | 22 | 22 | 22 | 22 |
| Anzahl der Zementwerke / <i>Number of cement plants</i> | 54 | 54 | 54 | 55 |
| Anzahl der Beschäftigten (jeweils zum 30. September) ¹⁾ / <i>Number of employees (per September 30th)¹⁾</i> | 7 657 | 7 704 | 7 791 | 7 933 |
| Umsatz (ohne Mehrwertsteuer) in Mio. Euro ¹⁾ / <i>Turnover (without value-added tax) in million Euro¹⁾</i> | 2 605 | 2 458 | 2 440 | 2 506 |
| Zementversand in 1 000 t / <i>Cement deliveries in 1 000 t</i> | | | | |
| Gesamtversand ²⁾ / <i>Total cement deliveries²⁾</i> | 34 632 | 32 510 | 31 699 | 32 025 |
| Inlandsversand ³⁾ / <i>Domestic cement deliveries³⁾</i> | 26 767 | 25 492 | 25 201 | 25 850 |
| Zementexporte inkl. Klinker ²⁾ / <i>Cement exports incl. Clinker²⁾</i> | 7 865 | 7 018 | 6 498 | 6 175 |
| Zementimporte ²⁾ / <i>Cement imports²⁾</i> | 1 305 | 1 277 | 1 344 | 1 292 |
| Inländischer Zementverbrauch ²⁾ / <i>Domestic cement consumption²⁾</i> | 28 072 | 26 769 | 26 545 | 27 142 |
| Zementverbrauch pro Kopf in kg ²⁾ / <i>Per capita cement consumption in kg²⁾</i> | 349,5 | 332,4 | 328,7 | 334,0 |
| Klinkerproduktion / <i>Clinker production</i> | 24 775 | 24 581 | 23 127 | 23 871 |
| Zementproduktion / <i>Cement production</i> | 33 540 | 32 432 | 31 308 | 32 099 |
| Inlandsversand nach Zementarten in % ⁴⁾ / <i>Domestic cement deliveries by type in %⁴⁾</i> | | | | |
| CEM I: Portlandzement / <i>Portland cement</i> | 31,6 | 29,3 | 28,8 | 29,8 |
| CEM II/S: Portlandhüttenzement / <i>Portland-slag cement</i> | 14,5 | 17,1 | 17,1 | 17,0 |
| CEM II/D: Portlandsilicatstaubzement / <i>Portland-silica fume cement</i> | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CEM II/P: Portlandpuzzolanzement / <i>Portland pozzolanic cement</i> | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |
| CEM II/V: Portlandflugaschezement / <i>Portland-fly ash cement</i> | 0,4 | 1,0 | 0,7 | 0,5 |
| CEM II/T, CEM II/LL: Portlandschieferzement/Portlandkalksteinzement / <i>Portland-burnt shale cement/Portland-limestone cement</i> | 21,3 | 20,1 | 21,7 | 21,6 |
| CEM II/M: Portlandkompositzement / <i>Portland-composite cement</i> | 9,3 | 9,3 | 8,4 | 7,5 |
| CEM III: Hochofenzement / <i>Blastfurnace cement</i> | 21,6 | 21,9 | 22,2 | 22,4 |
| CEM IV: Puzzolanzement / <i>Pozzolanic cement</i> | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Sonstiger Zement / <i>Other cement</i> | 1,0 | 1,1 | 1,0 | 1,1 |
| Inlandsversand / <i>Domestic cement deliveries</i> | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Inlandsversand nach Lieferformen in % ⁴⁾ / <i>Domestic cement deliveries by type of delivery in %⁴⁾</i> | | | | |
| Transportbetonhersteller / <i>Ready-mixed concrete manufacturer</i> | 56,2 | 56,3 | 57,7 | 55,2 |
| Betonfertigteilhersteller / <i>Concrete and precast component manufacturer</i> | 22,6 | 22,7 | 22,6 | 24,4 |
| Sonstiger Silozement / <i>Other silo cement</i> | 13,9 | 13,8 | 12,7 | 13,5 |
| Sackzement / <i>Bagged cement</i> | 7,3 | 7,2 | 7,0 | 6,9 |
| Ofenkapazitäten / <i>Kiln capacity</i> | | | | |
| Anzahl der Öfen / <i>Number of kilns</i> | 53 | 53 | 53 | 53 |
| Kapazität in Tonnen pro Tag / <i>Capacity in tonnes per day</i> | 107 160 | 107 160 | 107 160 | 107 160 |
| Brennstoffverbrauch in Mio. GJ/a / <i>Fuel energy consumption in million GJ/a</i> | | | | |
| Fossile Brennstoffe / <i>Fossil fuels</i> | 36,7 | 36,6 | 33,8 | 33,9 |
| Alternative Brennstoffe / <i>Alternative fuels</i> | 57,7 | 57,3 | 56,6 | 58,6 |
| Thermischer Energieeinsatz gesamt / <i>Total thermal energy consumption</i> | 94,4 | 93,9 | 90,4 | 92,5 |
| | | | | |
| Elektrischer Energieeinsatz gesamt in Mio. MWh/a / <i>Total electrical power consumption in million MWh/a</i> | 3,74 | 3,63 | 3,49 | 3,57 |

¹⁾ Daten für Betriebe von Unternehmen mit 20 und mehr Beschäftigten / *Data for plants of companies with 20 and more employees*²⁾ Daten für 2014 vorläufig / *Data for 2014 are preliminary*³⁾ Zum Teil geschätzt / *Partially estimated*⁴⁾ Daten beziehen sich auf die Mitglieder des VDZ / *Data rely on VDZ members*

brauches der EU auf die größte europäische Volkswirtschaft. Global betrachtet reduziert sich dieser Wert auf durchschnittlich etwa 0,8 %. Den mit Abstand größten Zementmarkt der Welt findet man mit etwa 2,1 Mrd. t (57 %) von weltweit verbrauchten 3,7 Mrd. t Zement (2012) in der Volksrepublik China.

Gemessen am Zementverbrauch pro Kopf lag Deutschland sowohl im europäischen als auch im globalen Vergleich zuletzt im Mittelfeld. Im Jahr 2013 kamen auf einen Einwohner hierzulande im Schnitt ca. 329 kg Zement. Europäischer Spitzenreiter ist mit rund 1 300 kg Zement pro Einwohner in 2013 die Insel Zypern. An der Weltspitze wiederum liegt die Volksrepublik China. Dort kamen 2013 auf jeden der rund 1,4 Mrd. Einwohner ca. 1 700 kg Zement (**Bild 1.2.1-2**).

Zementnachfrage und Bauwirtschaft

Die Bauwirtschaft, die neben dem Bauhauptgewerbe auch vor- und nachgelagerte Wirtschaftszweige wie die Baustoffindustrie und die Immobilienwirtschaft umfasst, ist für die deutsche Volkswirtschaft von erheblicher Bedeutung. Insgesamt waren im Jahr 2011 ca. 2,57 Mio. Menschen in den Bereichen Planen und Bauen beschäftigt, die damit einen beträchtlichen Teil zur Wirtschaftsleistung Deutschlands beisteuern.

In den letzten zehn Jahren hat die Verwendung von Beton – und damit auch von Zement – in Deutschland stetig zugenommen. Laut Statistischem Bundesamt sind beispielsweise die im Jahr 2013 fertiggestellten Projekte im Mehrfamilienhausbau zu 26 % aus Beton gefertigt. Damit hat sich der Anteil des hauptsächlich verwendeten Baustoffes in diesem Segment seit 2004 verdoppelt. Mit 52 % (2004: 47 %) liegt dieser Anteil bei den Baufertigstellungen im Nichtwohnbau noch deutlich höher.

Für die deutsche Zementindustrie ist der Hochbau das dominierende Marktsegment. 2014 wurden etwa 17,5 Mio. t Zement in diesem Bereich eingesetzt, was einem Anteil von 64,7 % am gesamten deutschen Zementverbrauch entspricht. 9,6 Mio. t bzw. 35,3 % des Zementverbrauches gingen in den Tiefbau (**Bild 1.2.1-3**).

Für die mittelfristigen Markterwartungen geht der VDZ von Wachstumsimpulsen vor allem aus dem Wohnungsbau sowie aus dem Tiefbau aus. Die Entwicklung des Mehrfamilienhausbaus wird besonders durch die soziodemografischen Auswirkungen der

for every member of its population of around 1.4 billion in 2013 (**Fig. 1.2.1-2**).

Demand for cement and the construction industry

The construction industry, which also includes upstream and downstream industry sectors such as the building materials industry and the real estate sector alongside the primary construction sector, is of great importance to the German economy. In total, approximately 2.57 million people were employed in the areas of planning and construction in 2011, and this represents a significant contribution to Germany’s economic output.

The use of concrete – and thus also of cement – has increased continuously over the last 10 years in Germany. According to the German Federal Statistical Office, for example, 26 % of the projects completed in 2013 in the construction of multiple dwellings were built using concrete. The share of this construction material has thus doubled in this sector since 2004. At 52 % (2004: 47 %), this share is even higher for completed non-residential construction projects.

Building construction is the dominant market sector for the German cement industry. In 2014, around 17.5 million tonnes of cement were used in this sector, which corresponds to a share of 64.7 % of overall German cement consumption. Civil engineering was responsible for 9.6 million tonnes or 35.3 % of cement consumption (**Fig. 1.2.1-3**).

As regards medium-term market expectations, VDZ assumes that stimuli for growth will be provided primarily by housing and civil engineering projects. Activity in multiple dwelling construction will be particularly influenced by the socio-demographic impacts of urbanisation. As the population is increasingly moving to cities, the importance of this construction segment will continue to grow. There is also a trend in favour of multi-storey construction, which is having an additional positive effect on the demand for reinforced concrete structures and can thus be expected to result in growing cement consumption in housing in the medium term.

Moreover in civil engineering and, in particular, in the area of transport infrastructure, there has been a huge increase in the amount of investment needed in recent years. According to studies, around € 7.2 billion per annum in the area of federal trans-

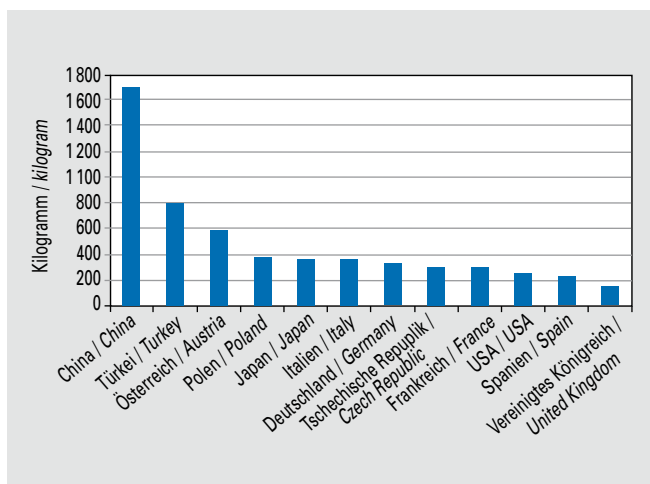


Bild 1.2.1-2 Pro-Kopf-Zementverbrauch ausgewählter Länder in 2013
Fig. 1.2.1-2 Per capita cement consumption of selected countries in 2013

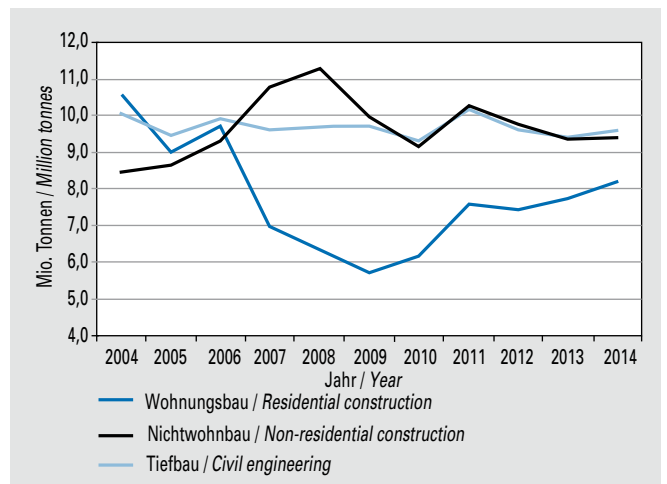


Bild 1.2.1-3 Zementverbrauch nach Baubereichen
Fig. 1.2.1-3 Cement consumption by construction sector

zunehmenden Urbanisierung beeinflusst. Da es die Bevölkerung verstärkt in die Städte zieht, gewinnt dieses Bausegment weiter an Bedeutung. Hinzu kommt der Trend zu mehrgeschossigem Bauen, der sich zusätzlich positiv auf die Nachfrage nach Stahlbetonkonstruktionen auswirkt und damit mittelfristig einen steigenden Zementverbrauch im Wohnungsbau erwarten lässt.

Im Tiefbau – insbesondere im Bereich der Verkehrsinfrastruktur – hat sich in den letzten Jahren ein massiver zusätzlicher Investitionsbedarf ergeben, der sich laut Studien auf ca. 7,2 Mrd. € jährlich im Bereich der Bundesverkehrswege (Straße, Schiene, Wasserstraße) summiert. Weiterhin fehlt es auch auf Ebene der Länder und Kommunen an notwendigen Investitionen in die örtliche Infrastruktur. Um die nötigen Instandhaltungs- und Ersatzinvestitionen dauerhaft durchführen zu können, ist eine bedarfsgerechte und zukunftsweisende Verkehrspolitik notwendig, die sich für eine Verstetigung der Investitionsmittel auf hohem Niveau einsetzt. Erste Anstrengungen in Form einer erweiterten Nutzerfinanzierung (Ausweitung der Lkw-Maut, Einführung einer Pkw-Vignette) sowie eines zusätzlichen Investitionspaketes in Höhe von 10 Mrd. € bzw. weiteren 5 Mrd. € für finanzschwache Kommunen wurden seitens der Bundesregierung bereits unternommen, um so notwendige Nachfrageimpulse zu generieren.

Die Entwicklung des Nichtwohnbaus hängt stark von der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung ab. Diese stellte sich in Deutschland zuletzt als vergleichsweise robust dar. Zudem sorgt die Geldpolitik der Europäischen Zentralbank für historisch niedrige Zinsen. Damit sind die Finanzierungskosten für Bauvorhaben in den vergangenen Jahren deutlich gesunken. Dennoch sind Unsicherheiten und damit Investitionszurückhaltung in der gewerblichen Wirtschaft vorhanden. Dies ist neben der anhaltend schwachen Wirtschaftsentwicklung in einigen Staaten Europas auch auf die Häufung außenpolitischer Krisen zurückzuführen.

Mittelfristig wird trotz der Risiken für den Zementmarkt von einer leicht positiven Entwicklung ausgegangen. Die Baunachfrage im Geschosswohnungsbau, in dem Beton und somit auch Zement immer stärker nachgefragt wird, bewegt sich voraussichtlich auch in den kommenden Jahren auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Bei investitionsfreundlicher staatlicher Finanzpolitik und einer Stabilisierung der Gesamtkonjunktur dürften auch aus dem Industriebau wieder positive Wachstumsimpulse resultieren. Nachfrageimpulse sind mittelfristig auch aus dem Tiefbau zu erwarten. Die Bundesregierung arbeitet am Ausbau der Nutzerfinanzierung von Verkehrswegen, so dass in den kommenden Jahren weitere Investitionsmittel für die notwendigen Ersatz- und Neubaumaßnahmen zur Verfügung stehen dürften.

1.2.2 Rohstoffeinsatz und -politik ■

Die Gewinnung heimischer Rohstoffe ist die Grundlage für die Herstellung von Zement und stellt einen unverzichtbaren Bestandteil industrieller Wertschöpfungsketten am Standort Deutschland dar. Zu den wichtigsten Grundstoffen von Zement gehören Kalkstein, Ton oder deren natürlich vorkommendes Gemisch, der Kalkmergel. Geologisch gesehen stammen rund 90 % der geförderten Kalksteine aus dem Mesozoikum und sind damit 65 bis 250 Mio. Jahre alt. Im Jahr 2014 hat die deutsche Zementindustrie rund 42 Mio. t Primärrohstoffe gewonnen (siehe **Tabelle 1.2.2-1**). Weiterhin wurden ca. 8,0 Mio. t alternative Rohstoffe zur Herstellung von ca. 32,1 Mio. t Zement eingesetzt. Hiermit leistet die deutsche Zementindustrie einen wertvollen Beitrag zur Ressourcenschonung und zum Umweltschutz.

port routes (roads, railways, waterways) are necessary to clear this backlog. Further investments in local infrastructure are also necessary on a state and municipal level. In order to carry out the necessary maintenance and replacement investments on a permanent basis, needs-based and forward-looking transport policy is required that supports continuously high levels of investment funding. Initial efforts to generate the necessary demanded stimuli have already been implemented or planned by the German Federal Government in the form of expanded user financing (expansion of the toll on heavy goods vehicles, introduction of a vignette sticker for cars) and additional investment packages totalling 10 billion euros with an additional 5 billion euros for less well-off municipalities.

Activity in non-residential construction is strongly dependent on overall economic development. This has been relatively robust in recent times in Germany. In addition, the European Central Bank's monetary policy is resulting in historically low interest rates. The costs of financing construction projects have thus dropped significantly in the last few years. Nonetheless, there are uncertainties and a resulting reluctance to invest on the part of the commercial sector. This can be attributed to the ongoing poor economic performance of several states in Europe and to a number of foreign-policy crises.

In the medium term, moderately positive trends are expected in the cement market despite the risks that are present. It is predicted that construction demand in multi-storey building, involving concrete and thus also cement, will continue to remain comparatively strong in the coming years. If the state pursues an investment-friendly fiscal policy and the overall economic situation remains stable, positive stimuli for growth can be expected again from industrial construction. Demand stimuli can also be expected from the civil engineering sector in the medium term. The German Federal Government is working on the expansion of user financing of transport routes, which means that further investment funding may be available for the required replacement and new construction projects in the coming years.

1.2.2 Raw materials consumption and policy ■

The sourcing of local raw materials forms the basis for the production of cement and is an essential component of industrial value chains in Germany. The most important raw materials for cement include limestone, clay or the naturally occurring mixture of the two, lime marl. From a geological perspective, about 90 % of the quarried limestone dates back to the Mesozoic era and is thus between 65 and 250 million years old. In 2014, the German cement industry used around 42 million tonnes of primary raw materials (see **Table 1.2.2-1**). Together with roughly 8.0 million tonnes of alternative raw materials these were used to produce approximately 32.1 million tonnes of cement. In doing so, the German cement industry is making a valuable contribution towards conservation of resources and environmental protection.

The capital-intensive cement industry is dependent on the long-term availability of suitable mineral deposits. The proximity of cement production to extraction sites is also very important. Short routes of raw materials supply help to reduce traffic volumes, transport-related energy use and emissions of pollutants.

However, the extraction of natural raw materials will continue to form the basis for cement production in the future. The use

Tabelle 1.2.2-1 Rohstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie
Table 1.2.2-1 Raw materials input in the German cement industry

| Rohstoffeinsatz in 1000 t / Raw materials input in 1000 tonnes | | 2012 | 2013 | 2014 |
|--|---|--------|--------|--------|
| Gruppe / Group | Rohstoff / Raw material | | | |
| Ca | Kalkstein, Mergel, Kreide / Limestone, Marl, Chalk | 39 070 | 37 187 | 38 059 |
| | Sonstige ¹⁾ / Others ¹⁾ | 59 | 74 | 75 |
| Si | Sand / Sand | 1 148 | 1 114 | 1 150 |
| | Gießereialsand / Used foundry sand | 159 | 158 | 174 |
| Si-Al | Ton / Clay | 1 278 | 1 093 | 1 295 |
| | Betonit, Kaolinit / Bentonite, Kaolinite | 38 | 43 | 35 |
| Fe | Eisenerz / Iron ore | 152 | 143 | 126 |
| | Sonstige Einsatzstoffe aus der Eisen- und Stahlindustrie ²⁾ / Other input materials from the iron and steel industries ²⁾ | 79 | 104 | 103 |
| Si-Al-Ca | Hüttensand / Granulated blastfurnace slag | 5 927 | 6 303 | 6 948 |
| | Flugasche / Fly ash | 222 | 313 | 313 |
| | Ölschiefer / Oil shale | 142 | 138 | 118 |
| | Trass / Trass | 23 | 32 | 31 |
| | Sonstige ³⁾ / Others ³⁾ | 17 | 32 | 46 |
| S | Natürlicher Gips / Natural gypsum | 722 | 703 | 808 |
| | Natürlicher Anhydrit / Natural anhydrite | 476 | 506 | 477 |
| | Gips aus der Rauchgasentschwefelung / Gypsum from flue gas desulphurisation | 339 | 333 | 321 |
| Al | Einsatzstoffe aus der Metallindustrie ⁴⁾ / Input materials from the metal industry ⁴⁾ | 65 | 47 | 60 |

¹⁾ Kalkschlämme aus der Trink- und Abwasseraufbereitung, Kalkhydrat, Porenbetongranulat, Calciumfluorid / Lime sludge from drinking water and sewage treatment, hydrated lime, foam concrete granulates, calcium fluoride

²⁾ Kiesabbrand, verunreinigtes Erz, Eisenoxid/Flugasche-Gemisch, Stahlwerksstäube, Walzzunder / Roasted pyrite, contaminated ore, iron oxide/fly ash blends, dusts from steel plants, mill scale

³⁾ Papierreststoffe, Aschen aus Verbrennungsprozessen, Mineralische Reststoffe (z.B. ölverunreinigte Böden) / Paper residuals, ashes from incineration processes, mineral residuals (e.g. soil contaminated by oil)

⁴⁾ Aufbereitungsrückstände von Salzsclacken, Aluminiumhydroxid / Residues from reprocessing salt slag, aluminium hydroxide

Quelle / Source: VDZ

Die kapitalintensive Zementindustrie ist auf die langfristige Sicherung geeigneter Lagerstätten angewiesen. Zudem ist eine enge räumliche Anbindung der Zementproduktion an die Abbaustätten von großer Bedeutung. Kurze Wege bei der Rohstoffversorgung entlasten das Verkehrsaufkommen und reduzieren transportbedingten Energieaufwand und Schadstoffemissionen.

Auch zukünftig wird die Gewinnung natürlicher Rohstoffe Basis für die Zementherstellung sein. Zwar kann der Einsatz alternativer Rohstoffe in begrenztem Umfang weiter gesteigert werden. Die Substitutionspotenziale sind jedoch bereits weitgehend ausgeschöpft und stark abhängig von der Verfügbarkeit industrieller Nebenprodukte sowie den hohen Qualitätsanforderungen an die Zemente der Zukunft.

Im Vordergrund nationaler und europäischer Rohstoffpolitik steht derzeit vor allem die Verbesserung der Ressourceneffizienz. Sowohl der Initiative „Ressourcenschonendes Europa“ der EU-Kommission als auch dem „Deutschen Ressourceneffizienzprogramm“ (ProgRess) liegt das Leitmotiv zugrunde, die Rohstoffproduktivität in den kommenden Jahren deutlich zu erhöhen. Um diese zu messen und Fortschritte zu überprüfen, ist die Einführung eines oder mehrerer Indikatoren geplant. Dabei bedarf es eines differenzierten Ansatzes zur Messung der Ressourceneffizienz, mit dem vor allem die jeweiligen rohstoff- und produktbezogenen Rahmenbedingungen und der Nutzen der eingesetzten Rohstoffe über den gesamten Lebenszyklus abgebildet werden. Eng gekoppelt an die Verbesserung der Ressourceneffizienz ist zudem der Ausbau der Kreislaufwirtschaft.

of alternative raw materials can be further increased to a certain extent. Nevertheless, the potential for substitution has already been largely exhausted and depends strongly on the availability of industrial by-products and the high quality requirements placed on cement in the future.

Recently resource efficiency has become the main focus of national and European raw materials policies. The EU Commission's Communication "A resource-efficient Europe" and the "German Resource Efficiency Programme" (ProgRess) are both based on the guiding principle of significantly increasing raw materials productivity in the coming years. In order to measure this productivity and monitor the progress that has been made, one or more indicators are to be introduced. This, however, requires a differentiated approach in the measuring of resource efficiency that can identify the relevant raw material and product-related characteristics and the value of the raw material over its entire lifecycle. The expansion of recycling is an issue that is closely linked with the improvement of resource efficiency.

To ensure sustainable supplies of building materials and provide investment security for the cement industry, national and European raw material policy must also provide stable framework conditions for a sustainable, forward-looking extraction of raw materials. However, the German Regional Planning Act does not include an explicit scheduling to ensure access to mineral raw materials. The revision of the fragmented planning law and federal-level policy coordination would be beneficial approaches to improve this situation.

Um eine nachhaltige Baustoffversorgung sowie Investitionssicherheit für die Zementindustrie zu ermöglichen, muss es auch Aufgabe nationaler und europäischer Rohstoffpolitik sein, stabile Rahmenbedingungen für eine nachhaltige und vorsorgende Gewinnung von Rohstoffen zu gewährleisten. Im Bundesraumordnungsgesetz existiert jedoch keine explizite Planung zur Sicherung des Zugangs zu mineralischen Rohstoffen. Eine Überarbeitung des zersplitterten Planungsrechts sowie eine bundespolitische Koordinierung wären geeignete Ansatzpunkte für eine Verbesserung.

1.2.3 Energieeinsatz und -politik ■

Die deutsche Zementindustrie ist als energieintensive Branche in besonderem Maße auf wettbewerbsfähige und stabile energiepolitische Rahmenbedingungen angewiesen. Die Herstellung von Zement zählt mit einem Energiekostenanteil an der Bruttowertschöpfung von mehr als 50 % zu den besonders brennstoff- und stromintensiven Produktionsverfahren des Verarbeitenden Gewerbes. Neben der Wettbewerbsfähigkeit der Energieversorgung kommt aber auch der Versorgungssicherheit eine große Bedeutung zu.

Der Brennstoffenergieeinsatz der 55 deutschen Zementwerke belief sich im Jahr 2014 auf 92,5 Mio. GJ. Etwa 63,4 % des thermischen Energieverbrauches wurden durch alternative Brennstoffe bedient. Im gleichen Zeitraum verbrauchten die deutschen Werke rund 3,5 TWh Strom (**Bild 1.2.3-1**). Pro Tonne Zement entspricht das einem elektrischen Energieeinsatz von 110 kWh. Dies entspricht branchenweit jährlichen Stromkosten von etwa 250 Mio. € bzw. etwa 25 % der Bruttowertschöpfung.

Der Produktionsfaktor Energie ist damit einer der größten Kostentreiber für die Branche. Die Zementunternehmen haben deshalb seit jeher ein hohes Eigeninteresse an der Steigerung der Energieeffizienz. So wurden bereits in der Vergangenheit Energieintensität und Energieeffizienz sukzessive in ein gesundes Gleichgewicht gebracht, Anreize zur nachhaltigen Effizienzsteigerung konsequent umgesetzt und damit nicht zuletzt CO₂-Emissionen deutlich gesenkt.

Aktuelle energie- und klimapolitische Entwicklungen sind für die Branche vor diesem Hintergrund von großer Bedeutung. Dies trifft vor allem auf die staatlich induzierten Stromkostenbestandteile zu – in erster Linie die EEG-Umlage. Mit der Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in 2014 wurde die bislang bestehende „Besondere Ausgleichsregelung“ für stromintensive Unternehmen in Einklang mit den beihilferechtlichen Vorgaben der EU gebracht. Die deutschen Zementhersteller werden deshalb auch künftig nur mit einer reduzierten EEG-Umlage belastet. Ein Verlust dieser Regelung hätte Produktion und Beschäftigung am Standort Deutschland massiv gefährdet. In diesem Kontext stellt auch die Verständigung zwischen Bundesregierung und EU-Kommission im EEG-Beihilfeverfahren einen wichtigen Schritt zum Erhalt der heimischen Zementproduktion dar.

Im Bereich der Energie- und Stromsteuern, die ebenfalls einen signifikanten Energiekostenbestandteil ausmachen, wurde 2012 eine Nachfolgeregelung zur Fortführung des sogenannten Spitzenausgleichs beschlossen. Als Gegenleistung für die energiesteuerlichen Entlastungen hat sich die deutsche Wirtschaft – anstelle der bisherigen Klimavorsorgevereinbarung – zur Einführung zertifizierter Energiemanagementsysteme sowie zu einer kollektiven jährlichen Minderung des spezifischen Energieverbrauchs bis 2020 von 1,3 % ab 2013 bzw. 1,35 % ab 2016 verpflichtet. Die Details

1.2.3 Energy consumption and policy ■

As an energy-intensive sector, the German cement industry is particularly dependent on competitive and stable framework conditions in energy policy. With energy costs representing over 50 % of gross value added, the production of cement is one of the most fuel- and electricity-intensive production processes in the manufacturing industry. Security of supply is also very important, alongside the competitiveness of the energy supply.

Fuel energy consumption of the 55 cement works in Germany amounted to 92.5 million gigajoules in 2014. Around 63.4 % of thermal energy consumption was provided by alternative fuels. In the same period, the cement works in Germany consumed approximately 3.5 terawatt-hours of electricity (**Fig. 1.2.3-1**). This corresponds to electrical energy use of 110 kilowatt-hours per tonne of cement. For the entire sector, this corresponds to annual electricity costs of around 250 million euros, or around 25 % of gross value added.

Energy as a production factor is thus one of the industry's greatest cost drivers. For this reason, cement companies have always recognised energy efficiency as being crucial. Measures have already been taken in the past to balance out energy consumption and energy efficiency, to systematically unlock energy efficiency potentials and, as a result, to substantially reduce CO₂ emissions.

In this context, current developments in energy and climate policy are of great importance for the sector. This refers particularly to components of electricity costs that are determined by the state – primarily the so-called EEG levy. With the amendment of the Renewable Energies Act in 2014, the previous “special compensation scheme” for power-intensive companies has been brought into line with EU laws on state aid. As a result, German cement producers will continue to pay a reduced EEG levy in the future. If this regulation had been removed, production and jobs in Germany would have been seriously at risk. In this context, the common understanding between the German Federal Government and the EU Commission about the EEG state aid procedure represents an important step in maintaining local cement production.

In the area of energy and electricity taxes, which also represent a significant component of energy costs, a follow-up regulation was agreed in 2012 to continue with a tax reduction mechanism,

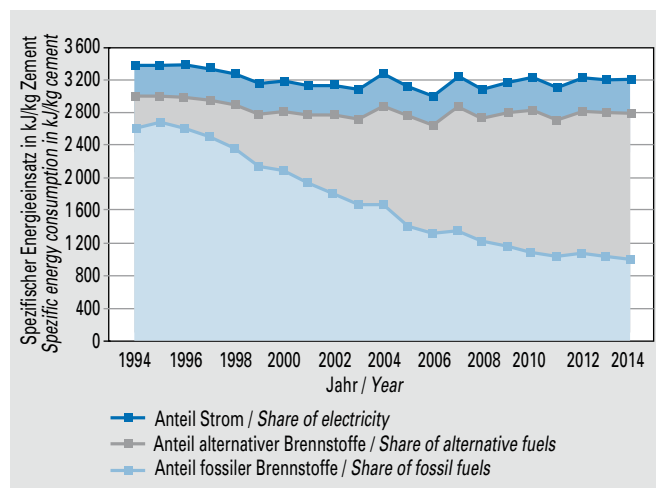


Bild 1.2.3-1 Energieverbrauch bei der Zementherstellung
Fig. 1.2.3-1 Energy consumption in cement production

der Selbstverpflichtung sind in der „Vereinbarung zur Steigerung der Energieeffizienz“ vom 01.08.2012 festgehalten.

1.2.4 Klimaschutz und -politik ■

Der Klimaschutz ist in den vergangenen Jahren zu einem der wichtigsten Handlungsfelder der nachhaltigen Entwicklung geworden. Mit dem integrierten Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung hat sich Deutschland das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2020 um 40 % zu reduzieren. Nachdem sich die deutsche Zementindustrie bereits 1995 freiwillig verpflichtet hatte, den spezifischen Brennstoffenergieverbrauch erheblich zu verringern, hat sie als Beitrag zur erweiterten Klimaschutzvereinbarung zwischen Bundesregierung und Wirtschaft vom November 2000 zugesagt, ihre spezifischen energiebedingten CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 2012 um insgesamt 28 % zu vermindern.

Diese Ziele hat die deutsche Zementindustrie deutlich übertroffen. Die erweiterte Klimaschutzvereinbarung ist zum Ende des Jahres 2012 erfolgreich abgeschlossen worden, der zugesagte Minderungsbeitrag der beteiligten Sektoren wurde erreicht. Für die Zementindustrie hat das Monitoring durch das Rheinisch-Westfälische Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) für 2012 eine Senkung der energiebedingten spezifischen CO₂-Emissionen um rund 49 % im Vergleich zum Basisjahr 1990 ergeben.

Als Anschlussregelung zur Klimaschutzvereinbarung hat das Produzierende Gewerbe der deutschen Wirtschaft im August 2012 eine Vereinbarung mit der Bundesregierung zur Steigerung der Energieeffizienz geschlossen, die eine wichtige Maßnahme auch zur Senkung der CO₂-Emissionen darstellt. Industrie und Energiewirtschaft verpflichten sich darin, im Zusammenhang mit der Gewährung des sogenannten Spitzenausgleichs bei der Energie- und Stromsteuer, neben der Einführung zertifizierter Energiemanagementsysteme auch ihren spezifischen Energieverbrauch ab 2013 um jährlich 1,3 % bzw. ab 2016 um mindestens 1,35 % im Vergleich zur Basisperiode 2007–2012 zu mindern. Das RWI wurde erneut mit der Durchführung des Monitorings beauftragt. Laut dem ersten Verifikationsbericht hat das Produzierende Gewerbe im Jahr 2013 das vereinbarte Minderungsziel erreicht.

Europäisches Emissionshandelssystem

Das seit 2005 existierende EU-Emissionshandelssystem (EU ETS) ist ein zentraler Bestandteil der europäischen Klimaschutzpolitik und verfolgt das Ziel, die CO₂-Emissionen der europäischen Industrie und Energiewirtschaft wirksam zu begrenzen. Grundprinzip ist die Vergabe oder Versteigerung einer begrenzten Zahl von Emissionszertifikaten an die Betreiber relevanter Anlagen. Stößt eine Anlage mehr Treibhausgase aus, als ihr zugeteilt oder von ihr erworben wurden, muss das Unternehmen weitere Rechte hinzukaufen. Wer dagegen überschüssige Rechte besitzt, kann diese an andere Unternehmen verkaufen. Hierdurch entsteht ein Anreiz zum ökonomischen Umgang mit Treibhausgasen. Um das Emissionsminderungsziel der vom EU ETS erfassten Sektoren von 21 % bis 2020 (Basis: 2005) zu erreichen, wird die Anzahl der Zertifikate jährlich um 1,74 % verringert. Damit leistet die europäische Industrie im Vergleich zu Nicht-EU-ETS-Sektoren einen überdurchschnittlichen Beitrag zur Reduktion von Treibhausgasen in der EU.

Mit dem Beginn der dritten Handelsperiode (2013 bis 2020) erfolgte eine drastische Verknappung der Emissionsrechte durch die novellierte Emissionshandelsrichtlinie. Zudem wurde die Vollver-

the so-called “Spitzenausgleich”. In return for energy tax relief, German industry has – in place of the previous climate protection agreement – committed to introducing certified energy management systems and to achieving a collective annual reduction in specific energy consumption of 1.3 % from 2013 and of 1.35 % between 2016 and 2020. The details of this voluntary commitment are set out in the agreement on increasing energy efficiency (“Vereinbarung zur Steigerung der Energieeffizienz”) of 1st August 2012.

1.2.4 Climate protection and policy ■

Climate protection has become one of the most important areas for action in sustainable development in recent years. With the German Federal Government’s integrated energy and climate programme, Germany has set itself the aim of reducing greenhouse gas emissions by 40 % between 1990 and 2020. After voluntarily committing in 1995 to considerably reducing its specific fuel energy consumption, Germany’s cement industry has agreed to cut its specific energy-related CO₂ emissions by a total of 28 % between 1990 and 2012 as its contribution to the extended climate protection agreement between the German Federal Government and German industry of November 2000.

The German cement industry has considerably exceeded these targets. The extended climate protection agreement was successfully completed at the end of 2012, and the reduction that the participating sectors had promised was achieved. In the cement industry, monitoring by the Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) showed a reduction in energy-related specific CO₂ emissions of around 49 % in 2012 as compared with the base year of 1990.

As a follow-on regulation to the climate protection agreement, Germany’s manufacturing industry reached an agreement with the German Federal Government on increasing energy efficiency in August 2012, which also represents an important measure in terms of reducing CO₂ emissions. In association with the implementation of a rebate system for energy and electricity taxes this agreement saw industry and the energy sector undertake to reduce their specific energy consumption by 1.3 % a year from 2013 and by at least 1.35 % from 2016 as compared with the base period of 2007–2012 alongside the introduction of certified energy management systems. The RWI was again given the task of carrying out the relevant monitoring. According to the first verification report, the manufacturing industry achieved the agreed reduction target in 2013.

European Emissions Trading System

The EU Emissions Trading System (EU ETS), which has been in place since 2005, is a key element of European climate policy and aims to limit CO₂ emissions of European industry and energy sectors in an effective manner. The basic principle is that a limited number of emissions allowances are allocated or auctioned to the operators of relevant plants. If a plant emits more greenhouse gases than it was assigned or has purchased, the company must buy additional rights. On the other hand, companies in possession of more rights than they need can sell these to other companies. This creates a financial incentive to reduce greenhouse gas emissions. In order to achieve the emission reduction target of 21 % by 2020 (basis: 2005) for the sectors covered by the EU ETS, the number of allowances will be reduced by 1.74 % each year. In this way, European industry is making an above-average contri-

steigerung von CO₂-Zertifikaten (EUAs) für die Energiewirtschaft eingeführt. Die Industrie muss seitdem ebenfalls einen Teil ihrer Zertifikate ersteigern bzw. zukaufen. Diejenigen Sektoren, die nachweislich dem Risiko von Carbon Leakage, d.h. einer Produktions- bzw. Emissionsverlagerung in das außereuropäische Ausland ausgesetzt sind, erhalten eine kostenfreie Zuteilung von EUAs auf der Basis anspruchsvoller Produkt-Benchmarks. Für die Carbon-Leakage-gefährdete europäische Zementindustrie wurde je ein Benchmark für Grauzementklinker (766 kg CO₂/t) und Weißzementklinker (987 kg CO₂/t) ermittelt. Als Bemessungsgrundlage dafür wurden die durchschnittlichen Emissionen der besten 10 % aller Anlagen herangezogen. Allerdings wurde die anhand dieser Benchmarks bestimmte kostenfreie Zuteilung nachträglich im Schnitt um rund 12 % gekürzt, so dass letztendlich keine vollständige Benchmark-Zuteilung erfolgt und auch die besonders effizienten Anlagen mit zusätzlichen Kosten aus dem Emissionshandel belastet werden.

Aufgrund geänderter gesamtwirtschaftlicher Rahmenbedingungen in der EU befindet sich der CO₂-Preis derzeit auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Aus diesem Grund strebt die EU-Kommission eine strukturelle Reform des EU ETS an. Noch vor Ende der dritten Handelsperiode wird mit der sogenannten Marktstabilitätsreserve 2019 ein regelbasierter Mechanismus eingeführt, um Marktungleichgewichte abzubauen und das CO₂-Preisniveau anzuheben.

Um Planungssicherheit für eine mögliche vierte Handelsperiode zu schaffen, haben sich die Staats- und Regierungschefs der EU im Oktober 2014 auf einen Rahmen für die Klima- und Energiepolitik 2030 geeinigt. Unter anderem wurde dabei ein Treibhausgas-Minderungsziel von 40 % bis 2030 festgelegt (Basis: 1990). Hiermit verbunden ist die Anhebung des linearen Reduktionsfaktors, der die maximale Menge an CO₂-Zertifikaten kontinuierlich reduziert. Weiterhin soll es laut Beschluss des Europäischen Rates auch nach 2020 eine kostenlose Zuteilung von CO₂-Zertifikaten für Carbon-Leakage-gefährdete Sektoren geben. Für die europäische Zementindustrie ist dies von großer Bedeutung, da ohne wirksamen Carbon-Leakage-Schutz Produktions- und Investitionsverlagerungen in Drittstaaten drohen würden. Daher muss dies im Mittelpunkt aller klimapolitischen Überlegungen stehen, um nicht gleichzeitig die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Branche und die Wirksamkeit der europäischen Klimapolitik zu gefährden.

Klimaschutzpolitik auf nationaler Ebene

Parallel zum EU-Emissionshandel verfolgt die deutsche Bundesregierung auf nationaler Ebene das Ziel, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 40 % gegenüber 1990 zu senken. Aktuelle Projektionen gehen davon aus, dass durch die bisher beschlossenen und umgesetzten Maßnahmen bis 2020 voraussichtlich nur eine Minderung der Treibhausgasemissionen um etwa 33 % erreicht werden kann. Um das 40-%-Ziel zu erreichen, wurde Ende 2014 ein ressortübergreifendes „Aktionsprogramm Klimaschutz 2020“ auf den Weg gebracht, das Maßnahmen beinhaltet, mit denen diese Lücke geschlossen werden soll.

Für die Industrie konnten in diesem Kontext zusätzliche ordnungsrechtliche Vorgaben im Bereich der Klima- und Energiepolitik verhindert werden. Vielmehr haben sich 16 Verbände und Organisationen der Wirtschaft als Beitrag zum Aktionsprogramm Klimaschutz in einer freiwilligen Vereinbarung zur Einführung von 500 Energieeffizienz-Netzwerken bis 2020 verpflichtet.

tribution to reducing greenhouse gases in the EU as compared to non-EU ETS sectors.

The start of the third trading period (2013 to 2020) saw a drastic reduction in availability of emission rights due to the amended Emissions Trading Directive. In addition, full auctioning of CO₂ allowances (EUAs) was introduced for the energy sector. Since then, industry has also had to buy part of its allowances in auctions or purchase them later. Sectors that are deemed to be at risk of carbon leakage (the transfer of production or emissions to non-European countries), get a free allocation of EUAs based on ambitious product benchmarks. Benchmarks have been determined for grey cement clinker (766 kg CO₂/t) and white cement clinker (987 kg CO₂/t) for the European cement industry, which faces the risk of carbon leakage. The average emissions of the best 10 % of all plants were used as the basis for calculation. However, free allocation is reduced on average by around 12 % in the third trading period by means of a cross-sectoral correction factor. Full benchmark allocation does not take place and even particularly efficient plants are subject to additional costs related to emissions trading.

Due to overall economic turbulences in many member states of the EU, the CO₂ price is currently relatively low. It is for this reason that the EU Commission is striving to implement a structural reform of the EU ETS. Before the end of the third trading period, a rule-based mechanism – in the form of what is known as the “market stability reserve” – will be introduced by 2019 to remove market imbalances and raise the CO₂ price level.

In order to provide planning security for a possible fourth trading period, the EU’s heads of state and government agreed in October 2014 on a framework for climate and energy policy for 2030. This includes a reduction target of 40 % by 2030 for greenhouse gases (basis: 1990). Associated with this is an increase in the linear reduction factor, which is set to continually reduce the maximum amount of CO₂ allowances. The European Council has pledged that there will still be sufficient free allocation of CO₂ allowances for sectors at risk of carbon leakage after 2020. This is very important for the European cement industry, as without effective carbon leakage protection there would be a real threat of relocation of production and investment outside the EU. For this reason, the core focus of all considerations regarding climate policy should be to maintain the sector’s international competitiveness and the effectiveness of European climate policy at the same time.

Climate protection policy at a national level

In parallel with EU emissions trading, on a national level the German Federal Government is pursuing the goal of reducing greenhouse gas emissions by at least 40 % by 2020 relative to 1990. Current projections assume that the previously agreed and implemented measures will only be able to achieve a reduction in greenhouse gas emissions of around 33 % by 2020. In order to close this gap, the “Climate Action Programme 2020” was approved in late 2014 containing additional measures to further reduce emissions before the end of this decade.

Fortunately, additional regulatory burdens for the industry in the area of climate and energy policy have been avoided. In return, 16 trade associations and organisations have voluntarily agreed to introduce 500 energy efficiency networks by 2020 as a contribution by their sectors to the Climate Action Programme.

1.3 Umweltschutz und Nachhaltigkeit / Environmental protection and sustainability

1.3.1 Klimaschutz in der deutschen Zementindustrie ■

Das Treibhauspotenzial (engl.: global warming potential, GWP) der Emissionen der Zementindustrie wird praktisch ausschließlich durch Kohlendioxid bewirkt. Die bei der Zementherstellung auftretenden CO₂-Emissionen entstehen aus der Kalksteinentsäuerung (rohstoffbedingte Emissionen) sowie aus dem thermischen und elektrischen Energieeinsatz (energiebedingte Emissionen). Andere der im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase (z.B. N₂O oder CH₄) treten bei der Zementherstellung nicht oder nur in extrem geringen Mengen auf.

Rohstoffbedingte CO₂-Emissionen

Bei der Entsäuerung des für die Klinkerherstellung wichtigsten Rohstoffs Kalkstein (chemisch CaCO₃) wird CO₂ freigesetzt. Die je Tonne produziertem Klinker entstehende rohstoffbedingte CO₂-Emission hängt von der Rohstoffzusammensetzung ab. Entscheidend hierfür ist der Kohlenstoffgehalt in den Rohmaterialien. Er variiert aber anlagenspezifisch nur in sehr geringem Maße. Der spezifische Emissionsfaktor beträgt in Deutschland ca. 0,53 t CO₂/t Klinker bzw. im Zeitraum 2011 bis 2014 zwischen 0,383 und 0,398 t CO₂/t Zement. Die gesamten rohstoffbedingten CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie fielen bedingt durch den vermehrten Einsatz von Hüttensand im Jahr 2013 auf 12,26 Mio. t CO₂ ab, bevor der Wert 2014 wieder geringfügig auf 12,65 Mio. t CO₂ anstieg. Eine Verminderung der rohstoffbedingten CO₂-Emissionen ist – bezogen auf die Tonne Zement – nur in begrenztem Maße durch die verstärkte Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen möglich. Bezogen auf die Tonne Klinker ist eine Reduzierung praktisch nicht möglich.

Brennstoffbedingte CO₂-Emissionen

Beim Klinkerbrennprozess entstehen brennstoffspezifische CO₂-Emissionen zum einen durch die Umsetzung von Brennstoffenergie zur Erzeugung von Prozesswärme in den Drehrohröfen. Darüber hinaus wird Brennstoffenergie für die Trocknung anderer Hauptbestandteile des Zements, wie z.B. Hüttensand, aufgewendet. Die spezifischen brennstoffbedingten CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie sanken im Zeitraum 2011 bis 2014 von 0,103 auf 0,096 t CO₂/t Zement. In absoluten Zahlen bedeutet dies eine Abnahme von 3,41 auf 3,13 Mio. t CO₂/a. Hierin sind die CO₂-Emissionen aus dem Einsatz alternativer Brennstoffe nicht berücksichtigt. Sie ersetzen vollständig traditionelle und rein fossile Brennstoffe. Da die Abfälle ansonsten an anderer Stelle ihren

1.3.1 Climate protection in the German cement industry ■

The global warming potential (GWP) of emissions in the cement industry can be almost entirely attributed to carbon dioxide. The CO₂ emissions occurring in cement production arise from limestone calcination (raw material-related emissions) and from both thermal and electrical energy input (energy-related emissions). Other greenhouse gases (e.g. N₂O or CH₄) specified in the Kyoto protocol either do not occur at all or only in extremely small quantities in cement production.

Raw material-related CO₂ emissions

CO₂ is released in the calcination of limestone (CaCO₃), the most important raw material for the production of clinker. The emission of raw material-related CO₂ per tonne of clinker produced depends on the composition of the raw material. The crucial factor in this respect is the carbon content of the raw materials. This does however only vary minimally from plant to plant. The specific emission factor in Germany is approx. 0.53 t CO₂/t of clinker or, in the period from 2011 to 2014, between 0.383 and 0.398 t CO₂/t of cement. Due to the increased use of blast furnace slag, total raw material-related CO₂ emissions in the German cement industry dropped to 12.26 million tonnes CO₂ in 2013, before rising again slightly in 2014 to 12.65 million tonnes CO₂. Raw material-related CO₂ emissions – referenced to a tonne of cement – can only be reduced to a limited extent by producing more cements with several main constituents. Virtually no reduction is possible referenced to a tonne of clinker.

Fuel-derived CO₂ emissions

In the clinker burning process, fuel-specific CO₂ emissions arise on the one hand from the conversion of fuel energy to generate process heat in the rotary kilns. In addition, fuel energy is employed for the drying of other cement main constituents such as blast furnace slag. The specific fuel-derived CO₂ emissions in the German cement industry dropped from 0.103 to 0.096 t CO₂/t of cement in the period between 2011 and 2014. In absolute terms this represents a decrease from 3.41 to 3.13 million tonnes CO₂/a. This figure does not include CO₂ emissions from the use of alternative fuels. These are full substitutes for traditional and purely fossil fuels. As the waste material would otherwise release its carbon content in the form of CO₂ or other greenhouse gases at some other place, the use of alternative fuels leads all-in-all to a reduction in CO₂ emissions.

Tabelle 1.3.1-1 Absolute CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie
Table 1.3.1-1 Absolute CO₂ emissions of the German cement industry

| Jahr / Year | Thermisch bedingt / Thermal energy-related ¹⁾ | Elektrisch bedingt / Electrical energy- related ²⁾ | Rohstoffbedingt / Raw material-related | Energiebedingt / Energy-related | Gesamt / Total |
|----------------|---|---|---|------------------------------------|----------------|
| | in Mio. t / in million tonnes | | | | |
| 2011 | 3,41 | 2,51 | 13,13 | 5,92 | 19,05 |
| 2012 | 3,39 | 2,43 | 13,03 | 5,82 | 18,84 |
| 2013 | 3,13 | 2,34 | 12,26 | 5,47 | 17,72 |
| 2014 | 3,13 | 2,39 | 12,65 | 5,52 | 18,17 |

¹⁾ Ohne alternative Brennstoffe / Without alternative fuels

²⁾ Zur Berechnung der elektrisch bedingten CO₂-Emissionen wird weiterhin der in der Klimaschutzvereinbarung vom 09.11.2000 festgelegte CO₂-Emissionsfaktor von 0,67 t CO₂/MWh des Basisjahres 1990 verwendet. / In order to calculate the electrical energy-related CO₂ emissions, the CO₂ emission factor of 0.67 t CO₂/MWh of the base year 1990 which was defined within the climate protection agreement on 9 November 2000 is used further on.

Tabelle 1.3.1-2 Spezifische CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie
Table 1.3.1-2 Specific CO₂ emissions of the German cement industry

| Jahr / Year | Thermisch bedingt / Thermal energy-related ¹⁾ | Elektrisch bedingt / Electrical energy-related ²⁾ | Rohstoffbedingt / Raw material-related | Gesamt / Total |
|--------------------|---|---|---|----------------|
| 1990 ³⁾ | 0,280 | 0,072 | 0,450 | 0,802 |
| 1994 | 0,252 | 0,072 | 0,450 | 0,775 |
| 1995 | 0,254 | 0,071 | 0,451 | 0,776 |
| 1996 | 0,245 | 0,072 | 0,451 | 0,768 |
| 1997 | 0,231 | 0,070 | 0,453 | 0,754 |
| 1998 | 0,218 | 0,070 | 0,444 | 0,732 |
| 1999 | 0,199 | 0,068 | 0,427 | 0,694 |
| 2000 | 0,195 | 0,068 | 0,431 | 0,694 |
| 2001 | 0,179 | 0,067 | 0,415 | 0,661 |
| 2002 | 0,168 | 0,069 | 0,413 | 0,650 |
| 2003 | 0,156 | 0,067 | 0,401 | 0,624 |
| 2004 | 0,155 | 0,068 | 0,428 | 0,651 |
| 2005 | 0,132 | 0,068 | 0,406 | 0,606 |
| 2006 | 0,123 | 0,067 | 0,383 | 0,573 |
| 2007 | 0,128 | 0,067 | 0,419 | 0,614 |
| 2008 | 0,117 | 0,066 | 0,388 | 0,571 |
| 2009 | 0,110 | 0,068 | 0,398 | 0,575 |
| 2010 | 0,104 | 0,074 | 0,398 | 0,575 |
| 2011 | 0,100 | 0,073 | 0,383 | 0,556 |
| 2012 | 0,103 | 0,074 | 0,398 | 0,575 |
| 2013 | 0,099 | 0,074 | 0,387 | 0,559 |
| 2014 | 0,096 | 0,074 | 0,390 | 0,560 |

¹⁾ Ohne alternative Brennstoffe / Without alternative fuels

²⁾ Zur Berechnung der elektrisch bedingten CO₂-Emissionen wird weiterhin der in der Klimaschutzvereinbarung vom 09.11.2000 festgelegte CO₂-Emissionsfaktor von 0,67 t CO₂/MWh des Basisjahres 1990 verwendet. / In order to calculate the electrical energy-related CO₂ emissions, the CO₂ emission factor of 0.67 t CO₂/MWh of the base year 1990 which was defined within the climate protection agreement on 9 November 2000 is used further on.

³⁾ Basisjahr der freiwilligen Vereinbarung von 2000 / Base year of the voluntary agreement in 2000

Kohlenstoffgehalt zu CO₂ oder anderen Treibhausgasen freisetzen würden, führt der Einsatz von alternativen Brennstoffen insgesamt zu einer Verminderung der CO₂-Emissionen.

In dieser Bewertung der alternativen Brennstoffe besteht ein systematischer Unterschied zur Berichterstattung im Rahmen des Emissionshandels. Der Emissionshandel umfasst alle fossilen Brennstoffe sowie die fossilen Anteile der alternativen Brennstoffe. Nur die Emissionen der biogenen Anteile der Brennstoffe werden mit einem Emissionsfaktor von Null berechnet. Eine Substitution der traditionellen fossilen Brennstoffe Braun- und Steinkohle durch andere Brennstoffe mit niedrigeren spezifischen CO₂-Emissionen, wie z. B. Erdgas, ist aus Kostengründen nicht möglich. Da die Brennstoffkosten maßgeblich die Herstellkosten des Zements beeinflussen, gehen die Bestrebungen der Zementindustrie auch weiterhin dahin, fossile Brennstoffe durch alternative Brennstoffe aus Abfällen zu ersetzen. Dabei spielt der Einsatz biogener Abfallbrennstoffe bzw. solcher Brennstoffe mit biogenen Anteilen eine zunehmende Rolle. Die in diesem Bericht verwendeten Emissionsfaktoren unterscheiden sich geringfügig von den im Emissionshandel bestimmten Werten. Insbesondere wird bei der Berichterstattung für den Emissionshandel werkspezifisch stärker differenziert.

Elektrisch bedingte CO₂-Emissionen

Der elektrische Energieeinsatz macht etwa 14 % des gesamten Energieeinsatzes der Zementwerke aus. Die durch den Stromverbrauch bedingte CO₂-Emission lag in den Jahren 2011 bis 2014

There is a systematic difference between this evaluation of alternative fuels and the reporting method employed in the context of emissions trading. All fossil fuels and the fossil content of alternative fuels are included in emissions trading. In the calculations, an emission factor of zero is only applied to the emissions of the biogenic content of the fuels. Substitution of other fuels with lower specific CO₂ emissions such as natural gas for the traditional fossil fuels lignite and hard coal is not possible on account of the cost. As fuel costs are a significant factor in the cost of cement production, continuing efforts are being made in the cement industry to replace fossil fuels with alternative fuels from waste materials. The use of biogenic waste fuels and fuels of this type with biogenic content is becoming increasingly important in this respect. The emission factors employed in this report differ slightly from the values determined for emissions trading. In particular, reporting for emissions trading makes a greater distinction on a plant-specific basis.

Electrical energy-related CO₂ emissions

Electrical energy accounts for about 14 % of the total energy input in cement plants. The level of CO₂ emissions arising from power consumption was between 0.073 and 0.074 t of CO₂/t of cement in the period 2011 to 2014. At the same time there was a minimal increase in the amount of electrical energy used in both absolute and specific terms. To date, the German cement industry has scarcely generated any power of its own. For the purpose of modelling changes in CO₂ emissions in the cement industry, use is still made of the CO₂ emission factor of the base year 1990 set

zwischen 0,073 und 0,074 t CO₂/t Zement. Hierbei ist der elektrische Energieeinsatz in absoluten und spezifischen Zahlen minimal gestiegen. Eine Eigenstromerzeugung findet in der deutschen Zementindustrie bisher nur in geringem Maße statt. Um Änderungen der CO₂-Emissionen in der Zementindustrie abzubilden, wird zur Berechnung der elektrisch bedingten CO₂-Emissionen weiterhin der in der Klimaschutzvereinbarung vom 09.11.2000 festgelegte CO₂-Emissionsfaktor des Basisjahres 1990 verwendet. Der für 1990 und alle folgenden Jahre angesetzte Emissionsfaktor beträgt 0,67 t CO₂/MWh.

Zusammenfassend ergeben sich für den Berichtszeitraum 2011 bis 2014 die in **Tabelle 1.3.1-1** dargestellten absoluten sowie die für den Zeitraum 1990 bis 2014 in **Tabelle 1.3.1-2** zusammengestellten spezifischen CO₂-Emissionen der deutschen Zementindustrie.

Treibhausgas-Bilanzierung und -Berichterstattung

Die Unternehmen der Zementindustrie sind im Rahmen des EU-Emissionshandels (EU-ETS) zu einem jährlichen Bericht über ihre direkten CO₂-Emissionen aus Roh- und Brennstoffen in der Klinkerproduktion verpflichtet. Neben den dafür geltenden Vorgaben für die Berichterstattung steht der Zementindustrie auch das weltweit angewendete Cement CO₂ and Energy Protocol (CSI Protocol) der Cement Sustainability Initiative (CSI) als Werkzeug auf freiwilliger Basis zur Verfügung. Das CSI Protocol berücksichtigt nicht nur die oben genannten direkten, sondern auch indirekte CO₂-Emissionen aus Stromeinsatz und Klinkerzukaufen. Darüber hinaus wird seit 2011 eine europäische Norm zur Ermittlung von Treibhausgas (THG)-Emissionen aus energieintensiven Industrien entwickelt, die auch die branchenspezifischen Gegebenheiten der Zementproduktion berücksichtigt. Grundlage aller Methoden ist die Kenntnis der relevanten Stoffströme in einem Zementwerk, der Einsatz- und Produktionsmengen sowie der zugehörigen Stoffparameter wie Heizwert und Emissionsfaktor.

CO₂-Berichterstattung im EU-ETS

Mit Beginn der 3. Handelsperiode (2013 bis 2020) haben sich einige Änderungen in Regelwerken, Begrifflichkeiten und Zuständigkeiten ergeben. Zunächst mussten die Werke noch im Jahr 2012 – vor Beginn der 3. Handelsperiode – Anträge auf kostenfreie Zuteilung gemäß den Regelungen der Zuteilungsverordnung (ZuV 2020) stellen. Die im Rahmen des EU-ETS verpflichtenden jährlichen CO₂-Emissionsberichte sind seit 2013 nach der europäischen Monitoring-Verordnung (MVO) sowie den jeweils aktuellsten Leitfäden der EU und der Deutschen Emissionshandelsstelle (DEHSt) zu erstellen. Die werkspezifischen Ermittlungsmethoden werden in einem Überwachungsplan (ÜP) festgelegt, der online in einem Formular-Management-System (FMS) erstellt und von der DEHSt genehmigt werden muss. Ein zentraler Punkt dabei ist die Festlegung und Einhaltung der geforderten Genauigkeitsebenen bei der Bestimmung der CO₂-Emissionen einzelner Stoffströme. Die regelmäßige Überprüfung und Justierung von Prozesswaagen muss dokumentiert werden und gewährleisten, dass die Genauigkeit der Messinstrumente den Vorgaben entspricht.

Die methodisch wichtigste Änderung gegenüber der 2. Handelsperiode für die Zementindustrie betrifft die Überwachung von Prozessemissionen: Für den Emissionsfaktor von Klinker wird nicht mehr der Festwert von 0,525 t CO₂/t verwendet, sondern er ist in regelmäßigen Abständen analytisch zu bestimmen. Zusätzlich sind CO₂-Emissionen aus organischem Kohlenstoff (TOC) im Rohmehl sowie die minimalen Verbrennungsemissionen von in Notstromaggregaten eingesetzten Brennstoffen zu berücksichtigen. Daraus ergeben sich rechnerisch geringe Verschiebungen.

down in the climate protection agreement of 9 November 2000 for calculation of the electrical energy-related CO₂ emissions. The emission factor stipulated for 1990 and all subsequent years is 0.67 tonnes of CO₂/MWh.

Table 1.3.1-1 shows the absolute CO₂ emissions in the German cement industry for the period under review 2011 to 2014, whilst **Table 1.3.1-2** lists the specific CO₂ emissions for 1990 to 2014.

Greenhouse gas accounting and reporting

In the context of EU emissions trading (EU ETS), companies in the cement industry are required to produce an annual report on their direct CO₂ emissions from raw materials and fuels in clinker production. In addition to the applicable reporting specifications, a further tool available to the cement industry on a voluntary basis is the Cement CO₂ and Energy Protocol (CSI Protocol) of the Cement Sustainability Initiative (CSI), which is employed throughout the world. The CSI Protocol incorporates not just the direct CO₂ emissions described above, but also indirect emissions from the use of power and bought-in clinker. Furthermore, work has been under way since 2011 on the development of a European standard for the determination of greenhouse gas (GHG) emissions from energy-intensive industries which also takes into consideration the specific conditions in the cement production industry. Information on the relevant material flows in a cement plants, the usage and production quantities and the applicable material parameters such as calorific value and emission factor forms the foundation for all methods.

CO₂ reporting in the EU ETS

At the start of the 3rd trading period (2013 to 2020), certain changes were made to the regulations, definition of terms and areas of responsibility. Firstly, companies had to apply for free allocation in accordance with the rulings of the German allocation ordinance (ZuV 2020) by the end of 2012 – before the start of the 3rd trading period. Since 2013, the annual CO₂ emission reports required by the EU ETS have to be produced on the basis of the European Monitoring and Reporting Regulation (MRR) and the latest guidelines of the EU and the German emissions trading authority (DEHSt). The plant-specific determination methods are set down in a Monitoring Plan (MP), which has to be created online in a Form Management System (FMS) and approved by the DEHSt. A central aspect of this procedure is the stipulation of and compliance with the required accuracy levels for the determination of the CO₂ emissions of individual material flows. A record must be kept of the regular checking and adjustment of process scales to ensure that the accuracy of the measuring instruments complies with the specifications.

The most important change with regard to methods as compared to the 2nd trading period for the cement industry concerns the surveillance of process emissions: A fixed value of 0.525 t of CO₂/t is no longer used for the emission factor of clinker, instead this has to be analytically determined at regular intervals. In addition, CO₂ emissions from organic carbon (TOC) in the raw meal and the minimum combustion emissions of fuels used in emergency generators also have to be included. This results in slight arithmetic shifts. On average however, the specific emissions determined in this way remain virtually unaltered, with a total of 0.8 t of CO₂ per tonne of cement clinker for the years 2013 and 2014.

Cement CO₂ and Energy Protocol

The CSI Protocol provides guidance on the production of accounts for CO₂ emissions from and energy input in cement production – at both plant and corporate level. It was developed by the Cement

Im Durchschnitt bleiben die hiernach bestimmten spezifischen Emissionen mit insgesamt 0,8 t CO₂ pro Tonne Zementklinker für die Jahre 2013 und 2014 jedoch nahezu unverändert.

Cement CO₂ and Energy Protocol

Das CSI Protocol ist eine Anleitung zur Bilanzierung von CO₂-Emissionen aus und Energieeinsatz bei der Zementherstellung – sowohl auf Werks- als auch auf Unternehmensebene. Es wurde von der Cement Sustainability Initiative (CSI) des World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) unter Mitwirkung seiner Mitgliedsunternehmen und des VDZ entwickelt. Es besteht aus den folgenden drei Elementen:

1. einem Leitfaden: CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry – The Cement CO₂ and Energy Protocol (Guidance Document),
2. einer detaillierten Internet-basierten Hilfe (Internet Manual: www.cement-co2-protocol.org) und
3. einer Berechnungsmaske im Excel-Format als zentralem Werkzeug (CSI Protocol Spread Sheet, 2013 aktualisierte Version 3.1).

Innerhalb der Zementindustrie ist das CSI Protocol das maßgebliche weltweit angewendete Instrument zur CO₂-Bilanzierung und Berichterstattung. Auf Grundlage des CSI Protocols ermittelte Daten werden für den weiteren Ausbau eines internationalen CO₂- und Energie-Informationssystems für die Zementindustrie gesammelt. Die wichtigsten spezifischen Emissionsdaten (key performance indicators, KPI) von über 930 Anlagen sind in anonymisierter Form in einer Datenbank des CSI Getting the Numbers Right Projekts veröffentlicht (GNR Database Daten bis 2012: www.wbcscement.org/GNR-2012).

Europäischer Normungsprozess läuft bis 2016

Ende 2011 haben die Arbeiten zur Entwicklung einer europäischen Norm (EN-Norm) für die Bestimmung von Treibhausgas-Emissionen aus fünf energieintensiven Industrien (darunter die Zementindustrie) begonnen. Federführend ist die Arbeitsgruppe 33 des Technischen Komitees 264 vom Europäischen Normungsinstitut (CEN/ TC264/ WG33) bzw. deren Unterarbeitsgruppen. Unter maßgeblicher Mitwirkung von VDZ und ECRA wurde eine 6-teilige Normenreihe entwickelt, die sich im formellen Abstimmungsprozess befindet (prEN 19694-1 bis -6). Neben einem zement-spezifischen Teil behandeln jeweils einzelne Normenteile generelle Aspekte sowie vier weitere energieintensive Industrien (Stahl, Aluminium, Kalk und Ferrolegierungen).

Im Gegensatz zum EU-Emissionshandel werden in der Norm neben direkten auch indirekte THG-Emissionen aus Strom- und Wärmeeinsatz bzw. -abgabe berücksichtigt. Die Methoden für die Zementindustrie umfassen stationäre THG-Quellen entlang der gesamten Prozesskette zur Zementproduktion. Das CSI Protocol diente als methodische Grundlage insbesondere für die Beschreibung der Massenbilanzmethoden zur Ermittlung prozessbedingter CO₂-Emissionen aus der Kalzinierung im Klinkerherstellungsprozess. Anwendbarkeit und Genauigkeit der Bilanzierungsmethoden wurden 2013/2014 in insgesamt vier umfangreichen Praxistests einer genauen Prüfung unterzogen. Hierbei wurden die Massenbilanzmethoden mit Emissionsmessungen am Kamin verglichen. Die Ergebnisse bestätigen, dass Massenbilanzen geeignete Methoden zur CO₂-Bilanzierung mit geringen Unsicherheiten sind. Für europäische Zementwerke, die gemäß CSI Protocol vorgehen, ergibt sich zukünftig der Vorteil, dass die bereits angewendeten Methoden auch die EN-Norm erfüllen können, die voraussichtlich eine gesteigerte internationale Anerkennung mit sich bringt. Die

Sustainability Initiative (CSI) of the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) with the involvement of its member companies and VDZ. It consists of the following three elements:

1. A guidance document: CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry – The Cement CO₂ and Energy Protocol
2. A detailed web-based help (Internet Manual: www.cement-co2-protocol.org)
3. A calculation mask in Excel format as central tool (CSI Protocol Spread Sheet, 2013 updated version 3.1).

Within the cement industry the CSI Protocol is the definitive instrument employed throughout the world for CO₂ accounting and reporting. Data obtained on the basis of the CSI Protocol are gathered for the purpose of further developing an international CO₂ and energy information system for the cement industry. The most important specific emission data (key performance indicators, KPI) from more than 930 plants were published in anonymised form in a database of the CSI Getting the Numbers Right project (GNR Database data up to 2012: www.wbcscement.org/GNR-2012).

European standardisation process scheduled for completion in 2016

Work was started at the end of 2011 on the creation of a European standard (EN standard) for the determination of greenhouse gas emissions from five energy-intensive industries (including the cement industry). Overall responsibility lies with Working Group 33 of Technical Committee 264 of the European Committee for Standardization (CEN/TC264/WG33) and its sub-groups. VDZ and ECRA played a substantial role in the production of a 6-part standard series, currently at the formal vote status (prEN 19694-1 to -6). In addition to a part specific to cement, other individual parts of the standard deal with general aspects and four further energy-intensive industries (steel, aluminium, lime and ferro-alloys).

In contrast to EU emissions trading, the standard covers not only direct, but also indirect GHG emissions from power and heat input and output. The methods for the cement industry include stationary GHG sources throughout the entire cement production process chain. The CSI Protocol provided the procedural foundation, in particular for description of the mass balance methods for the determination of process-related CO₂ emissions from calcination in the clinker production process. The applicability and accuracy of the accounting methods were subjected to exacting scrutiny in 2013/2014 in a total of four extensive practical tests. In this process, the mass balance methods were compared to stack emission measurements. The results confirm that the mass balance approach is a suitable method of CO₂ accounting with a low level of uncertainty. European cement plants which proceed in accordance with the CSI Protocol will in future have the advantage that the methods they already employ will also satisfy the EN standard, which is likely to meet with greater international recognition. Publication of the final version of the standard series is scheduled for 2016. Internationally applicable ISO standards may also be produced on this basis at a later date.

CO₂ capture and storage/re-use

To meet the long-term political climate targets of the EU and Germany for example, not only the energy sector, but energy-intensive industries in particular will be required to significantly reduce their greenhouse gas emissions. As the cement industry is one of the largest emitters amongst the branches concerned, it will be

Veröffentlichung der finalen Normenreihe ist für 2016 geplant. Später sollen auf dieser Grundlage ggf. international gültige ISO-Standards erstellt werden.

CO₂ Capture and Storage/Reuse

Um das langfristige politische Klimaziel z. B. der EU bzw. Deutschlands zu erfüllen, müssen neben dem Energiesektor insbesondere energieintensive Industrien ihren Treibhausgasausstoß signifikant verringern. Unter diesen Branchen ist die Zementindustrie eine der größten Emittenten, weshalb sich ohne eine weitreichende Reduzierung der CO₂-Emissionen im Zementsektor die Einhaltung des Ziels schwierig gestalten dürfte.

Die Potenziale der traditionellen Maßnahmen zur CO₂-Minderung beim Klinkerbrennprozess (z. B. Verringerung des Klinkeranteils im Zement, Verbesserung der Energieeffizienz, Erhöhung des Anteils von alternativen Brennstoffen mit biogenen Anteilen) sind aus prozesstechnischen Gründen sowie aufgrund von Marktanforderungen bereits weitestgehend ausgereizt. Daher werden seit einiger Zeit auch neuartige Verfahren zur CO₂-Abscheidung diskutiert und weiter erforscht. Die möglichen Wege und erforderlichen Maßnahmen zur Erreichung der ehrgeizigen Klimaziele sind in sogenannten Roadmaps beschrieben, die in den letzten Jahren von Organisationen wie der International Energy Agency und dem Global CCS Institute für verschiedene industrielle Sektoren, u. a. für die Zementindustrie, erstellt wurden. Demnach müsste durch Anwendung von Carbon-Capture-Verfahren ein Anteil von 40 bis 60 % an der notwendigen CO₂-Minderung erreicht werden.

Unter Carbon Capture wird die Abtrennung des CO₂ aus dem Abgas und dessen langfristige Speicherung (CCS) oder Wiederverwendung (CCR) verstanden. Aufgrund der fehlenden nationalen Rechtssicherheit im Hinblick auf die untertägige Speicherung von CO₂ rückt die Verwendung von CO₂ als Ausgangsstoff für vermarktungsfähige Produkte wie Methan in den Fokus. Um das CO₂ aus dem Prozess abzutrennen, bieten sich im Zementklinkerbrennprozess hauptsächlich folgende Technologiegruppen an:

- Post-Combustion: Die nachträgliche Abtrennung mittels Sorbentien
- Oxyfuel: Die Verbrennung mit reinen Sauerstoff und Aufkonzentrierung von CO₂ im Prozess

Bisher wurden die Kosten für die Abtrennung auf 40 bis 110 €/t CO₂ abgeschätzt. Die Herstellungskosten pro Tonne Zement würden somit signifikant erhöht. In diesem Fall wären gesetzliche Vorgaben zum Schutz vor Carbon Leakage unerlässlich. Eine Senkung der Kosten ist zudem nur durch eine Erprobung und Weiterentwicklung der Technologie möglich. Zudem ergibt sich aus der Prognose der Roadmaps, dass in 2050 die Hälfte aller Zementwerke in Europa mit Carbon-Capture-Technologien ausgerüstet sein müssten. Ein solcher Pfad könnte lediglich eingehalten werden, wenn zeitnah eine Demonstration der Technologie erfolgt.

Norcem erprobt zurzeit in ihrem Werk Brevik (Norwegen) verschiedene Post-Combustion-Methoden im Pilotmaßstab. Die ECRA erforscht in ihrem CCS-Projekt die technische Machbarkeit von Capture-Technologien, insbesondere der Oxyfuel-Technologie. Aufbauend auf den Ergebnissen der vorausgegangenen Phasen wurden ein Konzept für eine Pilotanlage entwickelt und potenzielle Standorte validiert. Eine geeignete Finanzierung vorausgesetzt, könnte die großindustrielle Erprobung der Oxyfuel-Technologie in 2019/2020 stattfinden. Das EU-geförderte Projekt CEMCAP vervollständigt in den kommenden Jahren beide Projekte durch verschiedene Prototypentests. Verschiedene

very difficult to comply with these demands without substantially reducing CO₂ emissions in the cement sector.

For process technology reasons and on account of market requirements, the CO₂ reduction potential offered by traditional measures in the clinker burning process (e.g. reduction of the clinker content of the cement, enhancement of energy efficiency, increase in the proportion of alternative fuels with biogenic content) has already been largely exploited. For this reason, discussions on and further research into new methods of CO₂ capture have been going on for some time now. Possible approaches and the measures required to attain the ambitious climate targets are described in so-called road maps which have been produced in recent years by organisations such as the International Energy Agency and the Global CCS Institute for various industrial sectors, including the cement industry. According to these, the use of carbon capture methods would have to achieve 40–60 % of the required reduction in CO₂.

The term carbon capture refers to the separation of CO₂ from the exhaust gas and its long-term storage (CCS) or re-use (CCR). Given the uncertain national legal situation with regard to the underground storage of CO₂, the focus of attention is on the use of CO₂ as a raw material for marketable products such as methane. In the cement clinker burning process, the following areas of technology particularly lend themselves to the capture of CO₂ from the process:

- Post-combustion: Post-combustion capture using sorbents.
- Oxyfuel: Combustion with pure oxygen and enrichment of CO₂ concentration in the process

So far, the costs of capture have been estimated at 40 to 110 €/t CO₂. The costs of producing a tonne of cement would rise significantly as a result. Alongside legal stipulations, these costs would have to be further reduced to avoid the relocation of production. This can only be achieved through testing and refinement of the technology. The road maps also forecast that half of all the cement works in Europe would have to be equipped with carbon capture technologies in 2050. It will only be possible to keep to this course if the technology is demonstrated in the near future.

Norcem is currently experimenting with various post-combustion methods in pilot trials at its plant in Brevik (Norway). In a CCS project, ECRA is studying the technical feasibility of capture technologies and in particular oxyfuel technology. Working on the basis of the results from preceding phases, a concept was developed for a pilot plant and potential locations were validated. Given appropriate financing, large-scale industrial testing of oxyfuel technology could take place in 2019/2020. In the coming years, the EU-funded CEMCAP project will supplement the two aforementioned projects with various prototype tests. A number of work packages within the ECRA and CEMCAP project are being conducted by the research institute.

Arbeitspakete innerhalb des ECRA- und des CEMCAP-Projekts werden vom Forschungsinstitut durchgeführt.

1.3.2 Energiebedarf und Energieeffizienz ■

Produktionskapazität und Ofenanlagen

Die genehmigte Produktionskapazität der Ofenanlagen der deutschen Zementindustrie lag im Berichtszeitraum konstant bei 107 160 t/d. Die Betriebsgenehmigungen sind somit seit 01.01.2012 unverändert und umfassen insgesamt 53 Ofenanlagen. Der überwiegende Anteil davon wird mit dem Trocken- bzw. Halbtrockenverfahren betrieben. Des Weiteren bestehen Genehmigungen für 8 Schächtofen (**Tabelle 1.3.2-1**). Auch die durchschnittliche Ofenkapazität ist gleichbleibend und liegt für Drehöfen im Durchschnitt bei 2355 t/d. Es entfallen 98,9 % der genehmigten Gesamtkapazität auf Anlagen mit Zyklon- bzw. Rostvorwärmern. Der Anteil der Zyklonvorwärmanlagen mit rund 94 % (bezogen auf die Kapazität) ist ebenfalls konstant geblieben. Von den 12 installierten Vorcalcinieranlagen verfügen 9 Anlagen über eine Tertiärluftleitung. Vorcalcinieranlagen repräsentieren aufgrund der im Vergleich größeren Ofenleistung mehr als ein Viertel der installierten genehmigten Klinkerkapazität der deutschen Zementwerke.

Die Auslastung der Ofenanlagen hat sich in den Jahren 2012 bis 2014 nur wenig verändert und lag zuletzt bei 70 %. Den Angaben zur Auslastung wurde eine angenommene Verfügbarkeit von 320 Tagen pro Jahr zugrunde gelegt.

Brennstoffenergiebedarf

Bei der Zementherstellung wird Brennstoffenergie im Wesentlichen für das Brennen des Zementklinkers aufgewendet. Für die Trocknung von weiteren Zementhauptbestandteilen, wie z. B. Hüttensand, werden nur geringe Mengen thermischer Energie eingesetzt. Als Rohstoff dienen hauptsächlich Kalksteinmergel und Ton. Zur Herstellung von Zementklinker mit seinen charakteristischen Eigenschaften werden die Rohstoffe bei Temperaturen von 1 400 bis 1 450 °C gebrannt. Aufgrund der Produktanforderungen, die einen Hochtemperaturprozess erforderlich machen, gehört die

1.3.2 Energy demand and energy efficiency ■

Production capacity and kilns

In the period under review the approved production capacity of the kilns in the German cement industry was a constant 107 160 t/d. The number of operating licences has thus remained unchanged since 1 January 2012 with a total of 53 kilns. The overwhelming majority are operated using the dry and semi-dry process. In addition, there are 8 licensed shaft kilns (**Table 1.3.2-1**). The average kiln capacity has also remained constant, with a figure of 2 355 t/d for rotary kilns. 98.9 % of the approved total capacity is accounted for by plants with cyclone and grate preheaters. There has also been no change in the share of cyclone preheater plants, namely approx. 94 % (referenced to capacity). Of the 12 precalcining plants installed, 9 are provided with tertiary air ducting. On account of their comparatively higher kiln capacity, precalcining plants represent more than a quarter of the installed and approved clinker capacity of German cement plants.

Utilisation of the kiln plants remained fairly steady in the period 2012 to 2014, recently attaining a level of 70 %. The utilisation figures were based on an assumed availability of 320 days per year.

Fuel energy demand

Most of the fuel energy used in cement production is required for burning the cement clinker. Only a small amount of thermal energy is employed for drying other cement main constituents such as blast furnace slag. The principal raw materials are limestone marl and clay. The raw materials are burnt at temperatures of between 1 400 and 1 450 °C for the production of cement clinker with its characteristic properties. Due to the fact that a high-temperature process is necessary to satisfy the product requirements, the cement industry is one of the most energy-intensive branches. The cement industry has always made efforts to reduce its energy requirement with a view to cutting the high fuel energy costs involved. This is reflected by the way in which the fuel energy input per tonne of cement (**Fig. 1.3.2-1**) developed between 1987 and 2014. Process technology optimisation has led to the specific

Tabelle 1.3.2-1 Anzahl und Kapazität der Öfen mit Betriebsgenehmigung in der Bundesrepublik Deutschland

Table 1.3.2-1 Number and capacity of the kilns with operating permits in the Federal Republic of Germany

| Ofentyp / Kiln type Anzahl / Numbers | Stand / As of 01.01.2013 | | | Stand / As of 01.01.2014 | | | Stand / As of 01.01.2015 | | | |
|--|------------------------------|------------------------|------|-----------------------------|------------------------|-------|-----------------------------|------------------------|------|--|
| | Anzahl/ Number | Kapazität/ Capacity | | Anzahl/ Number | Kapazität/ Capacity | | Anzahl/ Number | Kapazität/ Capacity | | |
| | | t/d | % | | t/d | % | | t/d | % | |
| Ofen mit Zyklonvorwärmer / Kilns with cyclone preheaters | 39 | 100 460 | 93,8 | 39 | 100 460 | 93,8 | 39 | 100 460 | 93,8 | |
| Ofen mit Rostvorwärmer / Kilns with grate preheaters | 6 | 5 500 | 5,1 | 6 | 5 500 | 5,1 | 6 | 5 500 | 5,1 | |
| Schächtofen / Shaft kilns | 8 | 1 200 | 1,1 | 8 | 1 200 | 1,1 | 8 | 1 200 | 1,1 | |
| Summe / Total | 53 | 107 160 | 100 | 53 | 107 160 | 100 | 53 | 107 160 | 100 | |
| Mittlere Ofenkapazität / Average kiln capacity in t/d | Drehöfen / Rotary kilns | 2 355 | | 2 355 | | 2 355 | | 2 355 | | |
| | Schächtofen / Shaft kilns | 150 | | 150 | | 150 | | 150 | | |
| Klinkerproduktion in Mio. t/a im Jahr / Clinker production in million t/a in the year | 2012 | | 2013 | | 2014 | | 2014 | | 2014 | |
| | 24,6 | | 23,1 | | 23,9 | | 23,9 | | 23,9 | |
| Auslastung ¹⁾ / Utilisation in % | 72 | | 67 | | 70 | | 70 | | 70 | |

¹⁾ Angenommene Verfügbarkeit: 320 d/a / Assumed availability: 320 d/a

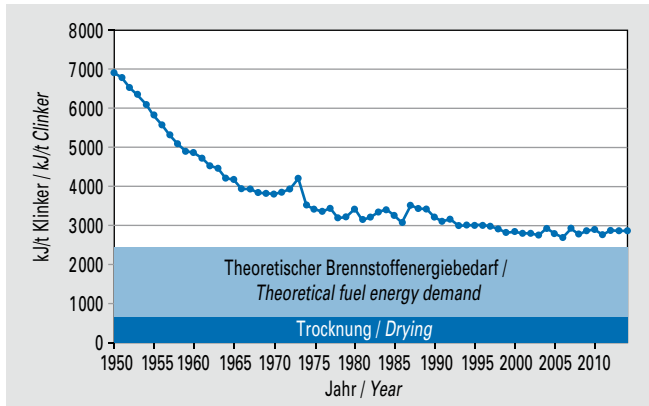


Bild 1.3.2-1 Spezifischer Brennstoffenergiebedarf der deutschen Zementwerke bezogen auf produzierten Klinker (bis 1987 alte Bundesländer, danach gesamte Bundesrepublik)
Fig. 1.3.2-1 Specific fuel energy demand of German cement plants based on clinker production (old West German states until 1987, then the entire Federal Republic)

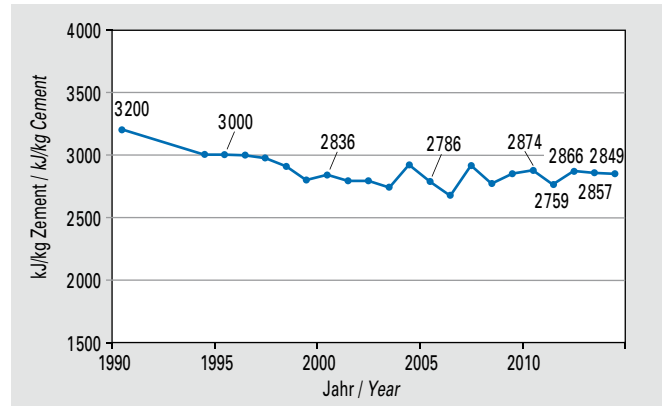


Bild 1.3.2-2 Spezifischer thermischer Energiebedarf zur Herstellung von Zement
Fig. 1.3.2-2 Specific thermal energy demand to produce cement

Zementindustrie zu den energieintensiven Branchen. Seit jeher ist die Zementindustrie bemüht, ihren Energiebedarf zu reduzieren, um die damit einhergehenden hohen Brennstoffenergiekosten zu senken. Dies spiegelt sich in der Entwicklung des Brennstoffenergieeinsatzes pro t Zement von 1987 bis 2014 (**Bild 1.3.2-1**) wider. Verfahrenstechnische Optimierungen führten dazu, dass der spezifische thermische Energiebedarf, bezogen auf Zement, seit etwa 1999 nahezu konstant ist (**Bild 1.3.2-2**).

thermal energy required with reference to cement remaining virtually constant since around 1999 (**Fig. 1.3.2-2**).

Insgesamt ist der Brennstoffenergieeinsatz seit 1987 u. a. wegen des starken Produktionsrückgangs von 119,9 auf 92,5 Mio. GJ/a in 2014 gesunken (**Bild 1.3.2-3**). Dies entspricht einer absoluten Reduzierung um 22,9 %.

All-in-all fuel energy input has dropped since 1987 from 119.9 million GJ/a to 92.5 million GJ/a in 2014, partly on account of the sharp decline in production (**Fig. 1.3.2-3**). This corresponds to an absolute reduction of 22.9 %.

Brennstoffmix

Der Anteil der Alternativbrennstoffe am Brennstoffmix ist stetig gestiegen. Verglichen mit einem Anteil von 23,0 % im Jahr 1999 wurde der Anteil bis zum Jahr 2014 auf 63,4 % gesteigert (**Bild 1.3.2-3**). Die alternativen Brennstoffe substituieren vorwiegend Braunkohle. Die Verbräuche anderer fossiler Brennstoffe (Heizöl EL, Heizöl S und Erdgas) waren vorübergehend leicht an-

Fuel mix

The proportion of alternative fuels in the fuel mix has steadily increased. The share rose from a level of 23.0 % in 1999 to 63.4 % by 2014 (**Fig. 1.3.2-3**). Alternative fuels are mainly used as a substitute for lignite. There was a temporary slight increase in the consumption of other fossil fuels (light distillate oil, heavy fuel oil and natural gas), however at a generally very low level. They are primarily used for kiln start-up. A minor shift was observed in the proportions of the various alternative fuels in 2012 and 2014 (**Table 1.3.2-2**). For example, there was a drop in the quantity of used tyres employed (from 234 000 to 217 000 t/a). As a result of competing use in other co-incineration plants such as power stations, the use of animal meal and animal fat has further

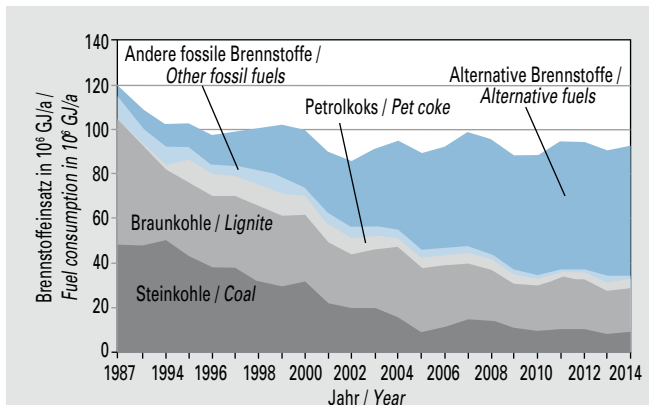


Bild 1.3.2-3 Brennstoffeinsatz in der deutschen Zementindustrie
Fig. 1.3.2-3 Fuel consumption in the German cement industry

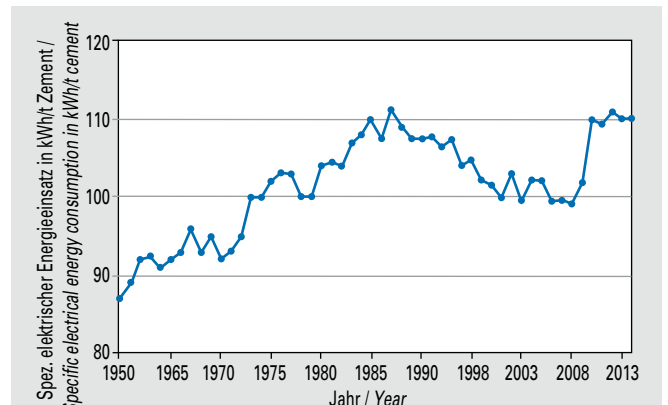


Bild 1.3.2-4 Spezifischer elektrischer Energiebedarf der deutschen Zementindustrie (bis 1987 alte Bundesländer, danach gesamte Bundesrepublik)
Fig. 1.3.2-4 Specific electrical energy demand of the Germany cement industry (old Western German states until 1987, then the entire Federal Republic)

Tabelle 1.3.2-2 Einsatz alternativer Brennstoffe in der deutschen Zementindustrie
Table 1.3.2-2 Consumption of alternative fuels in the German cement industry

| Alternativer Brennstoff / Alternative fuel | 2012 in 1000 t/a | 2014 in 1000 t/a |
|--|---------------------|---------------------|
| Altreifen / Waste tyres | 234 | 217 |
| Altöl / Waste oil | 56 | 52 |
| Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen: / Fractions of industrial and commercial waste: | | |
| - Zellstoff, Papier und Pappe / Pulp, paper and cardboard | 96 | 92 |
| - Kunststoff / Plastics | 474 | 665 |
| - Verpackung / Packaging | - | - |
| - Abfälle aus der Textilindustrie / Wastes from the textile industry | 3 | - |
| - Sonstige / Others | 1 246 | 1 138 |
| Tiermehle und -fette / Meat and bone meal and animal fat | 176 | 151 |
| Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen / Mixed fractions of municipal waste | 352 | 308 |
| Altholz / Waste wood | 8 | 3 |
| Lösungsmittel / Solvents | 96 | 96 |
| Bleicherde / Fuller's earth | - | - |
| Klärschlamm / Sewage sludge | 310 | 348 |
| Sonstige, wie: / Others, such as: | 54 | 60 |
| - Ölschlamm / Oil sludge | | |
| - Organische Destillationsrückstände / Organic distillation residues | | |

gestiegen, liegen jedoch insgesamt auf sehr niedrigem Niveau. Sie werden vorwiegend zum Anfahren der Ofenanlagen verwendet. Die Anteile der verschiedenen alternativen Brennstoffe haben sich in den Jahren 2012 und 2014 leicht verschoben (**Tabelle 1.3.2-2**). Gesunken sind z. B. die Einsatzmengen von Altreifen (von 234 000 auf 217 000 t/a). Aufgrund der konkurrierenden Verwendung von Tiermehl- bzw. -fett in anderen Mitverbrennungsanlagen, wie z. B. Kraftwerken, hat sich deren Verwendung von 176 000 t/a in 2012 auf 151 000 t/a in 2014 weiter verringert. Dagegen ist der Einsatz von Fraktionen aus Industrie- und Gewerbeabfällen von 1 819 000 t/a (2012) auf 1 895 000 t/a (2014) deutlich gestiegen.

Effiziente Wärmenutzung

Die Nutzung von Abwärme aus dem Klinkerbrennprozess in einem Wärmetauscher (Zyklonvorwärmer oder Rostvorwärmer) bzw. bei Verbundbetrieb zur Trocknung von Rohmaterialien in der Rohmühle führt in Deutschland grundsätzlich zu einem hohen Grad an Energieeffizienz im Klinkerherstellungsprozess. Ein weiterer Teil der Wärme kommt zur Trocknung der eingesetzten Brennstoffe in Einsatz. Die Energie der Brennstoffe wird hierdurch zu ca. 60 bis 70 % genutzt. Unter bestimmten Voraussetzungen erlaubt die Nutzung geringer restlicher Wärmemengen zur Vortrocknung von Materialien oder zur Stromerzeugung die Verringerung anderer Energieeinsätze bzw. die Einsparung von Strom aus dem öffentlichen Netz. Hierbei muss jedoch anhand der spezifischen Gegebenheiten vor Ort bewertet werden, inwieweit sich hierdurch insgesamt tatsächlich ein Beitrag zur Optimierung der Energieeffizienz ergeben kann. In Deutschland ging Anfang 2012 eine weitere Anlage zur Wärmenutzung von Ofenabgas in Betrieb.

Elektrischer Energiebedarf

Elektrische Energie wird bei der Zementherstellung vor allem für die Rohmaterialaufbereitung (etwa 20 %), zum Brennen und Kühlen des Klinkers (ca. 25 %) und für die Zementmahlung (ca. 45 %) aufgewendet. Die Entwicklung des spezifischen elektrischen Energieeinsatzes pro Tonne Zement der deutschen Zementwerke ist bis 1987 von einem langjährigen Anstieg auf Werte um 110 kWh/t Zement geprägt (**Bild 1.3.2-4**). Nach der Wiedervereinigung Deutschlands konnte dieser Trend bis 2008 zunächst umgekehrt werden. Seitdem stieg der Strombedarf wieder an und hat sich seit 2010 bei ca. 110 kWh/t Zement stabilisiert. Grund für die erneute

declined from 176 000 t/a in 2012 to 151 000 t/a in 2014. By contrast, there has been a substantial rise in the quantity of fractions from industrial and commercial waste from 1 819 000 t/a (2012) to 1 895 000 t/a (2014).

Efficient heat use

The utilisation of waste heat from the clinker burning process in a preheater (cyclone preheater or grate preheater) or in interconnected operation for drying raw materials in the raw mill basically results in a high level of energy efficiency in the clinker production process in Germany. Another part of the heat is used for drying the fuels employed. About 60 % to 70 % of the energy of the fuels is utilised in this way. Under certain conditions, the utilisation of small amounts of residual heat for pre-drying materials or for power generation makes it possible to reduce other energy inputs and use less power from the public grid. However, the extent to which this can actually make an overall contribution to energy efficiency optimisation must be assessed on site on the basis of the specific conditions. In Germany a further plant utilising the heat from kiln exhaust gas went into operation at the start of 2012.

Electrical energy demand

In cement production, electrical energy is primarily used for raw material processing (about 20 %), for burning and cooling the clinker (about 25 %) and for cement grinding (about 45 %). Up until 1987, the development of the specific electrical energy input per tonne of cement in German cement plants was characterised by a long-term increase to values of around 110 kWh/t of cement (**Fig. 1.3.2-4**). Following the reunification of Germany, this trend was initially reversed until 2008. After that, power consumption rose again and since 2010 has settled at approx. 110 kWh/t of cement. One of the reasons for the renewed increase is probably the greater demand for finely ground high-performance cements in the building materials industry. The more intensive use of other main constituents in addition to clinker does however generally also require a higher grinding energy input, as blast furnace slag is more difficult to grind than clinker for example, or has to be more finely ground to achieve the same cement quality. On the other hand, the replacement of clinker makes it possible to save the amount of electrical energy which would have been required for its production (raw material processing, burning process).

Erhöhung dürfte zum einen den gestiegenen Bedarf der Baustoffindustrie an fein aufgemahlene leistungsstarke Zemente sein. Aber auch die verstärkte Verwendung weiterer Hauptbestandteile neben Klinker bedeutet meistens einen höheren Mahlergieaufwand, da z. B. Hüttensand im Vergleich zu Klinker schwerer mahlbar ist oder zur Erzielung gleicher Zementqualität feiner aufgemahlen werden muss. Andererseits wird der entsprechende elektrische Energiebedarf für die Herstellung des substituierten Klinkers (Rohmaterialaufbereitung, Brennprozess) eingespart. Für die Rohmaterial- und Zementmahlung haben sich bei Neuanlagen energieeffiziente Mühlentypen, wie die Gutbett-Walzenmühle und die Vertikal-Wälzmühle, durchgesetzt. Die Gebrauchseigenschaften der Zemente aus diesen Mühlen entsprechen jedoch oft nicht den jeweiligen regionalen Marktanforderungen, weshalb weiterhin in vielen Fällen eine Mahlung in Kugelmöhlen erfolgt. Somit ist die theoretisch mögliche Energieeinsparung weiterhin nicht in vollem Umfang ausgeschöpft. Die einzelnen Hauptbestandteile zunächst getrennt aufzumahlen und erst im Anschluss daran in Mischanlagen zu mischen, zeigt bisher im Rahmen der betriebsüblichen Möglichkeiten keine signifikante Minderung des Strombedarfs.

1.3.3 Immissionsschutz und Emissionsminderung ■

Umweltdaten

Seit 1998 veröffentlicht der VDZ jährlich die „Umweltdaten der deutschen Zementindustrie“ (www.vdz-online.de/Publikationen/Umweltdaten). Darin wird ein umfangreicher Überblick über die umweltrelevanten Emissionen sämtlicher klinkerproduzierenden Werke in Deutschland gegeben. Der VDZ dokumentiert damit die Ergebnisse sowohl kontinuierlicher Emissionsüberwachungen als auch von Einzelmessungen von Spurenelementen und organischen Abgasbestandteilen in den deutschen Zementwerken.

Umsetzung IED/BVT Schlussfolgerungen

Zentrales europäisches Regelungsinstrument zur Kontrolle und Überwachung von Industrieemissionen ist die im November 2010 in Kraft getretene Richtlinie über Industrieemissionen (kurz IE-RL). Die Richtlinie wurde im Zeitraum 2008–2010 umfassend novelliert und besteht aus insgesamt sieben bis dato einzeln vorliegenden Richtlinien, darunter auch die für die Zementindustrie relevante Richtlinie über integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung und die Abfallverbrennungs-Richtlinie.

Zentrales Element der Richtlinie über Industrieemissionen ist die Bestimmung und Festlegung sogenannter „Bester Verfügbare Techniken“ über entsprechende Referenzdokumente für die verschiedenen Industriebranchen (BVT-Merkblätter). Die Zementindustrie war eine der ersten Branchen, für die ein solches Dokument erarbeitet wurde. Aus den jeweils erarbeiteten BVT-Merkblättern wurden und werden für jede Branche sogenannte „BVT-Schlussfolgerungen“ generiert, die bei der Festlegung von Genehmigungsaufgaben als Referenz dienen. Das BVT-Merkblatt für die Zement-, Kalk und Magnesiumoxidindustrie ist im Jahr 2010 letztmals aktualisiert worden; die entsprechend abgeleiteten BVT-Schlussfolgerungen auf Basis der Industrieemissionen-Richtlinie wurden erstmals Anfang 2013 verabschiedet. Im Unterkapitel 1.2 sind die BVT-Schlussfolgerungen für die Zementindustrie aufgeführt.

Energy-efficient mill types, such as high-pressure grinding rolls and vertical roller mills, have been successfully introduced for the grinding of raw materials and cement in new plants. The performance characteristics of the cements from these mills often do not however correspond to respective regional market demand, with the result that ball mill grinding continues to be necessary in many cases. Consequently, the theoretically possible energy savings still cannot be fully exploited. Separate grinding of the individual main constituents followed by mixing in mixing units has so far failed to bring about any significant reduction in power consumption in normal plant operation.

1.3.3 Immission protection and abatement of emissions ■

Environmental data

VDZ has been publishing the “Environmental data of the German cement industry” every year since 1998 (www.vdz-online.de/Publikationen/Umweltdaten) containing a comprehensive collection of the environmentally relevant emissions of all clinker-producing plants in Germany. In this way, VDZ provides a record of the results of both continuous emission monitoring and individual measurements of trace elements and organic exhaust gas compounds in German cement works.

Implementation of IED/BAT conclusions

The central European regulatory instrument for checking and surveillance of industrial emissions is the Industrial Emissions Directive (IED) which came into force in November 2010. The Directive was substantially amended in the period 2008–2010 and comprises a total of seven previously separate directives, including the Directive concerning integrated pollution prevention and control and the Waste Incineration Directive, both of relevance to the cement industry.

The central aspect of the Industrial Emissions Directive is the determination and stipulation of so-called “Best Available Techniques” by way of corresponding reference documents for the various branches of industry (BAT reference documents). The cement industry was one of the first for which such a document was compiled. So-called “BAT conclusions”, which serve as reference for the stipulation of approval requirements, have been and are generated for each branch from the applicable BAT reference documents. The BAT reference document for the cement, lime and magnesium oxide industry was last updated in 2010; the BAT conclusions accordingly derived on the basis of the Industrial Emissions Directive were adopted for the first time at the start of 2013. The BAT conclusions for the cement industry are listed in section 1.2.

Revision of the 17th BImSchV (Ordinance on Federal Ambient Pollution Protection)

The ordinance on the incineration and co-incineration of waste (17th BImSchV) was last amended on 2 May 2013. The aim of this amendment is to implement the European BAT conclusions in national law.

Of particular importance for the German cement industry are the regulations on the limitation of NO_x emissions and the legally binding introduction of an emission limit for ammonia.

Revision der 17. BImSchV

Die Verordnung über die Verbrennung und Mitverbrennung von Abfällen (17. BImSchV) wurde zuletzt am 02.05.2013 novelliert. Ziel dieser Novelle ist die Umsetzung der europäischen BVT-Schlussfolgerungen in nationales Recht.

Für die deutsche Zementindustrie sind dabei insbesondere die Regelungen für die Begrenzung von NO_x -Emissionen und die rechtlich verbindliche Einführung eines Ammoniak-Emissionsgrenzwertes wichtig.

Rohmaterialbedingte Emissionen an Gesamtkohlenstoff, Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid und Ammoniak

Beim Klinkerbrennprozess handelt es sich um einen Stoffumwandlungsprozess, bei dem Rohmaterialien durch gegenströmendes Ofenabgas von Umgebungstemperatur auf ca. 900 °C vorgewärmt und anschließend im Drehrohr bei Temperaturen von 1450 °C zu Klinker gebrannt werden. In den zur Klinkerherstellung eingesetzten natürlichen Rohmaterialien liegen geringe Gehalte an organischen Bestandteilen vor, die bei der Vorwärmung freigesetzt und teilweise zu Kohlenmonoxid umgesetzt werden. Ein weiterer Teil der organischen Bestandteile wird als Gesamtkohlenstoff messtechnisch erfasst. In ähnlicher Weise können aus den natürlichen Rohmaterialien unter den Bedingungen im Vorwärmer auch flüchtige Schwefelverbindungen und Ammonium freigesetzt werden und in Form von Schwefeldioxid oder Ammoniak in die Emission gelangen.

Das im Abgas von Drehofenanlagen der Zementindustrie vorliegende Emissionsniveau an Gesamtkohlenstoff, Kohlenmonoxid, Ammoniak und Schwefeldioxid wird weitgehend durch die eingesetzten Rohmaterialien bestimmt.

Die in der 17. BImSchV (Verordnung über die Verbrennung und Mitverbrennung von Abfällen) für Anlagen zur Herstellung von Zementklinker und Zementen genannten Emissionsbegrenzungen für Kohlenmonoxid, Gesamtkohlenstoff, Schwefeldioxid und Ammoniak sind in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Rohmaterialiallagerstätten in vielen Fällen gesondert festzulegen.

Der Ordnungsgeber hat diesem Umstand dadurch Rechnung getragen, dass der Betreiber Ausnahmen beantragen kann, „sofern diese Ausnahmen auf Grund der Zusammensetzung der natürlichen Rohstoffe erforderlich sind und ausgeschlossen werden kann, dass durch den Einsatz von Abfällen oder Stoffen nach § 1 Absatz 1 zusätzliche Emissionen entstehen“. Diese Ausnahmeregelungen können für Gesamtkohlenstoff und Schwefeldioxid (Abschnitt 2.1.2 und 2.2.1), Ammoniak (Abschnitt 2.1.4) sowie Kohlenmonoxid (Abschnitt 2.4.2) gewährt werden. Für Kohlenmonoxid sind dabei zunächst die Emissionsbegrenzungen des § 8 der 17. BImSchV heranzuziehen. Für Ammoniak ist in der Anlage 3 der 17. BImSchV unter Nr. 2.1 ein Emissionsgrenzwert von 30 mg/m³ vorgegeben, der bei Verwendung der SCR- oder SNCR-Technik gilt und den NH_3 -Schlupf begrenzt.

Das Forschungsinstitut der Zementindustrie (FIZ) hat ein Verfahren entwickelt (**Bild 1.3.3-1**), das es gestattet, durch eine Kombination aus chemisch-physikalischen Untersuchungen von Rohmaterialproben in Verbindung mit Kenntnissen über die jeweilige tatsächliche Emissionssituation an den Standorten gutachterlich eine Abschätzung über den Einfluss der natürlichen Rohmaterialien auf das Emissionsniveau der in Rede stehenden Komponenten erstellen zu können.

Raw material-induced emissions of total organic carbon, carbon monoxide, sulphur dioxide and ammonia

The clinker burning process is a material conversion process in which raw materials are pre-heated from ambient temperature to about 900 °C by a counter-current of kiln exhaust gas and then burned at temperatures of 1450 °C in the rotary kiln to form clinker. The natural raw materials used for clinker production contain a small quantity of organic constituents which are released on pre-heating and some of which are converted to carbon monoxide. Another part of the organic constituents is recorded as total organic carbon. Similarly, volatile sulphur compounds and ammonium may also be released from the natural raw materials under the conditions prevailing in the preheater and enter into the emissions in the form of sulphur dioxide or ammonia.

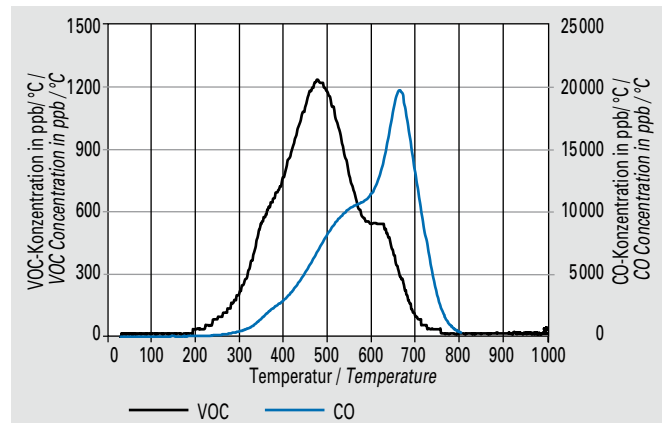
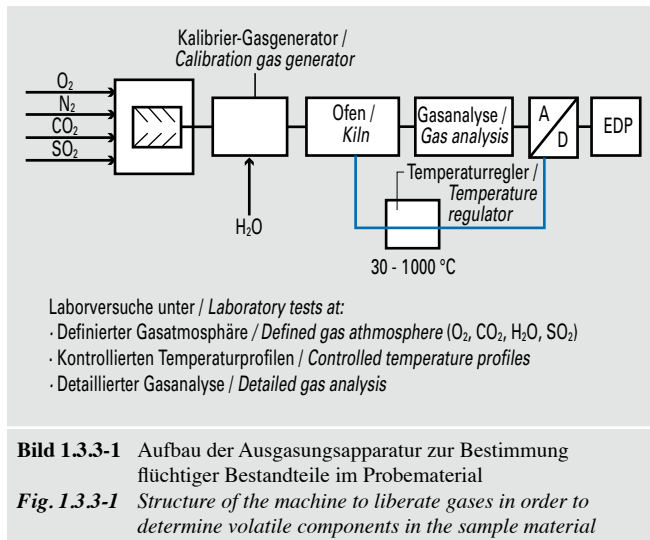
The total organic carbon, carbon monoxide, ammonia and sulphur dioxide emission level in the exhaust gas of rotary kiln plants in the cement industry is largely governed by the raw materials used.

Depending on the properties of the raw material material deposit, have to be set plant specifically as the emission limits for carbon monoxide, total organic carbon, sulphur dioxide and ammonia specified in the 17th BImSchV (ordinance on the incineration and co-incineration of waste) for plants for the production of cement clinker and cements.

The regulator makes allowance for this by permitting plant operators to apply for exceptions “insofar as these exceptions are necessary by reason of the composition of the natural raw materials and there is no possibility of additional emissions occurring as a result of the use of waste materials or materials as per § 1 para. 1”. Such exceptions can be granted for total organic carbon and sulphur dioxide (sections 2.1.2 and 2.2.1), ammonia (section 2.1.4) and carbon monoxide (section 2.4.2). For carbon monoxide, the emission limits stated in § 8 of the 17th BImSchV initially apply. For ammonia, Annex 3 of the 17th BImSchV stipulates an emission limit of 30 mg/m³ under no. 2.1, which applies when using SCR or SNCR technology and limits NH_3 slip.

The Research Institute of the Cement Industry (FIZ) has developed a method (**Fig. 1.3.3-1**) which, by way of a combination of chemical and physical analyses of raw material specimens in conjunction with knowledge of the actual emission situation at a given location, makes it possible to produce an expert assessment of the influence of the natural raw materials on the emission level of the components in question.

The first step is to determine the total content of organic constituents (TOC) and sulphur in the form of sulphate (SO_4^{2-}) and sulphide (S^{2-}) in the solid specimens. In addition, various digestion processes are employed to determine the ammonium (NH_4^+) bonded on the surface and in the crystal lattice. On the basis of the analysis results, individual specimens are selected and examined in a gas liberation apparatus specially developed for these investigations in which raw materials are continuously heated and the concentrations of the volatile organic compounds (VOC) and carbon monoxide released are recorded as a function of temperature (**Fig. 1.3.3-2**).



An den Feststoffproben wird zunächst der Gesamtgehalt an organischen Bestandteilen (TOC) sowie Schwefel in den Bindungsformen Sulfat (SO₄²⁻) und Sulfid (S²⁻) ermittelt. Darüber hinaus wird das oberflächlich und im Kristallgitter gebundene Ammonium (NH₄⁺) mit verschiedenen Aufschlussverfahren bestimmt. Anhand der Analyseergebnisse werden einzelne Proben ausgewählt und in einer für diese Untersuchungen speziell entwickelten Ausgasungsapparatur untersucht, in der Rohmaterialien kontinuierlich aufgeheizt und die Konzentrationen der freigesetzten Gehalte an leichtflüchtigen organischen Bestandteilen (VOC) und Kohlenmonoxid in Abhängigkeit von der Temperatur aufgezeichnet werden (**Bild 1.3.3-2**).

Die Umwandlung der in den Feststoffproben enthaltenen leichtflüchtigen Schwefelverbindungen (VSO₂) in Schwefeldioxid sowie die Freisetzung von Ammonium in Form von NH₃ (VNH₃) wird in der gleichen Apparatur untersucht. Allerdings kann dieser Vorgang nicht kontinuierlich aufgezeichnet, sondern lediglich als Summenparameter über die Messzeit bestimmt werden.

Um belastbare Aussagen erzielen zu können, ist im Vorfeld eine detaillierte Abstimmung über die Vorgehensweise bei der Feststoffprobenahme und -auswahl vorzunehmen. Derartige Gutachten sind eine wesentliche Voraussetzung für die Zementwerksbetreiber, um die rohmaterialbedingten Einflüsse auf das Emissionsniveau darlegen zu können. Eine abschließende Entscheidung über die Höhe der rohmaterialbedingten Emissionen trifft die zuständige Behörde.

Ausgangszustandsbericht Boden und Grundwasser

Eine weitere Neuerung der IE-RL ist die verpflichtende Erstellung eines Ausgangszustandsberichts (AZB) im Rahmen von Genehmigungsverfahren für genehmigungsbedürftige Anlagen (im Anhang der 4. BImSchV mit „E“ gekennzeichnete Anlagen). Dies betrifft seit 07.01.2014 auch Betreiber von bereits bestehenden Anlagen, die einen Antrag auf eine Änderungsgenehmigung stellen. Der AZB soll dazu dienen, „den Stand der Boden- und Grundwasserverschmutzung zu ermitteln, damit ein quantifizierter Vergleich mit dem Zustand bei der Betriebseinstellung der Anlage vorgenommen werden kann“ (§ 4a Abs. 4 der 9. BImSchV). Erforderliche Inhalte des AZB sind Informationen über die derzeitige (ggf. auch über die frühere) Nutzung sowie existierende oder neue Boden- und Grundwassermessungen. Bei der erstmaligen Erstellung ist die gesamte Anlage zu betrachten. Der tatsächliche

The conversion of the volatile sulphur compounds (VSO₂) contained in the solid specimens to sulphur dioxide and the liberation of ammonium in the form of NH₃ (VNH₃) are examined in the same apparatus. This process cannot however be recorded continuously but merely determined as a cumulative parameter over the measurement period.

To be able to draw verifiable conclusions, detailed coordination of the procedure for sampling and selection of the solids must be performed in advance. Such expert reports are an essential prerequisite for cement works operators to be able to document the raw material-induced influences on the emission level. The final decision on the level of raw material-induced emissions is taken by the applicable authorities.

Baseline report on state of soil and groundwater contamination

A further new aspect of the IED is the obligatory compilation of a baseline report (BR) as part of the licensing procedure for plants requiring a licence (plants marked “E” in the Annex to the 4th BImSchV – Fourth Ordinance for the Implementation of the Federal Immission Control Act). Since 7 January 2014 this has also applied to operators of existing plants who apply for modification approval. The purpose of the BR is to “determine the state of soil and groundwater contamination so as to make a quantified comparison with the state upon definitive cessation of activities” (§ 4a Para. 4 of the 9th BImSchV – Ordinance on Federal Ambient Pollution Protection). The content of the BR must include information on the current (and possibly also earlier) usage as well as on existing or new soil and groundwater measurements. The first report produced must take the entire plant into consideration. The actual framework of assessment is restricted to those areas of the plant premises in which “relevant hazardous substances” in accordance with the IED are used, produced or liberated and there is a possibility of soil or groundwater contamination. Relevant substances are substances which 1.) are deemed to be hazardous for soil and groundwater on account of their properties in accordance with the EU regulation on classification, labelling and packaging of substances and mixtures (CLP regulation) or by reason of safety data sheets and 2.) exceed a specific storage quantity on the plant premises based on their water pollution class (Ordinance on installations handling substances hazardous to water). Following consultation with the responsible authorities, there may be no need for soil and groundwater measurements if adequate safety precautions (e.g. concrete troughs under fuel oil tanks) already

Untersuchungsrahmen wird auf diejenigen Teilbereiche des Anlagengrundstücks beschränkt, auf denen „relevante gefährliche Stoffe“ gemäß IE-RL verwendet, erzeugt oder freigesetzt werden und die Möglichkeit einer Verschmutzung von Boden oder Grundwasser besteht. Relevant sind Stoffe, die 1.) aufgrund ihrer Eigenschaften nach der EU-Verordnung zur Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Chemikalien (CLP-VO) bzw. laut Sicherheitsdatenblättern als gefährlich für Boden und Grundwasser gelten und 2.) entsprechend ihrer Wassergefährdungsklasse eine bestimmte Lagermenge auf dem Anlagengrundstück überschreiten (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen). Sind für einige der als relevant identifizierten Stoffe bereits ausreichende Sicherungsvorrichtungen (z. B. Betonwannen unter Heizöltanks) vorhanden und kann somit die Möglichkeit einer Verschmutzung ausgeschlossen werden, kann in Absprache mit der zuständigen Behörde auf Boden- und Grundwassermessungen verzichtet werden. In Zementwerken dürfte die Zahl relevanter Stoffe gering sein. Der Erstaufwand ist dennoch erheblich und variiert je nach Standort. Die Einbeziehung von Gutachtern ist seitens der Gesetzgebung nicht gefordert, kann sich aber als sinnvoll erweisen, falls detaillierte Untersuchungen erforderlich sind. Nach dem ersten AZB ist mit weiteren Bewertungen im Rahmen von Genehmigungsverfahren und ggf. regelmäßigen Boden- und Grundwassermessungen zu rechnen.

Umweltinspektionen

Mit Inkrafttreten der europäischen Richtlinie über Industrieemissionen (IE-RL) wurde in Artikel 23 dieser Richtlinie ein neues Instrument der Umweltüberwachung eingeführt, nämlich die regelmäßige Durchführung von sogenannten Umweltinspektionen. Die Umsetzung in nationales Recht erfolgte über § 52a BImSchG. Bei den durchzuführenden Umweltinspektionen sollen die gesamten Auswirkungen industrieller Anlagen auf die Umwelt überprüft werden. In Artikel 10 und Anhang I der Richtlinie sind die von dieser Regelung betroffenen Anlagen bzw. Tätigkeiten aufgeführt, u. a. auch die mineralverarbeitende Industrie und darunter Anlagen zur Herstellung von Zementklinker. Insgesamt sind an ca. 9000 Anlagen in Deutschland Umweltinspektionen durchzuführen.

Zur praktischen Umsetzung dieser Vorgaben sind die Mitgliedsstaaten der EU verpflichtet, Umweltinspektionspläne auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene aufzustellen. Auf dieser Grundlage werden Überwachungsprogramme festgelegt, in denen u. a. auch die Häufigkeit von Vor-Ort-Besichtigungen festgelegt ist. In Deutschland wurden von den Bundesländern bereits die jeweiligen Zuständigkeiten festgelegt und Modelle und Kriterien zur Beurteilung des Risikopotenzials von Anlagen entwickelt. Dabei werden Standort-, Anlagen- und Betreiberkriterien herangezogen. Je nach Ergebnis dieser Einstufungen erfolgt danach die Festlegung des Überwachungsturnus. Grundsätzlich können routinemäßige und anlassbezogene Inspektionen durchgeführt werden.

Bei den anlagenbezogenen Kriterien resultieren für Zementwerke von Fall zu Fall sehr ähnliche Einstufungen, doch bei den Betreiberkriterien ergeben sich Spielräume, die die Überwachungsfrequenz erhöhen oder verringern können. Dazu zählt z. B. die Bereitschaft eines Betreibers zur Einhaltung von Genehmigungsaufgaben und zur Beseitigung von festgestellten Mängeln. Darüber hinaus wirkt sich die Zertifizierung eines Zementwerks nach EMAS oder nach DIN EN ISO 14001 günstig aus und ermöglicht eine Verlängerung des Überwachungsintervalls. Nach den bisher vorliegenden Erkenntnissen wurden Zementwerke hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen zumeist so eingestuft, dass ein ein- oder zweijähriger Überwachungsturnus resultierte.

exist für those substances identified as being relevant and there is thus no possibility of pollution. The number of relevant substances is likely to be low in cement plants. However, the initial outlay is considerable and varies depending on the location. The involvement of experts is not required by law but can prove to be useful if detailed analyses are required. Following the first BR, further assessments are to be expected during licensing procedures and possibly also regular soil and groundwater measurements.

Environmental inspections

With the coming into force of the European Industrial Emissions Directive (IED), article 23 introduced a new environment monitoring instrument, namely the regular performance of so-called environmental inspections. This was implemented in national law by way of § 52a BImSchG – the Federal Pollution Control Act. The purpose of the environmental inspections is to check the overall effects of industrial plants on the environment. Article 10 and Annex I of the Directive list the plants and activities subject to this stipulation, including the mineral-processing industry and hence also plants for the production of cement clinker. Environmental inspections are to be performed at a total of approx. 9000 plants in Germany.

For the practical implementation of these specifications, the EU member states are required to draw up environmental inspection plans at a national, regional and local level. These form the basis for monitoring programmes stipulating the frequency of site visits for example. In Germany, the regional authorities have already specified areas of responsibility and developed models and criteria for assessing the risk potential of plants. Site, plant and operator criteria have been defined for this purpose. The monitoring frequency is set down in accordance with the classifications obtained in this way. Inspections can basically be performed on a routine or non-routine basis.

From the point of view of the plant-related criteria, the classifications obtained for individual cement works are very similar, whereas with respect to the operator criteria there are certain factors which may give rise to a higher or lower monitoring frequency. These include the willingness of an operator to comply with licensing requirements and to rectify any shortcomings found. The certification of a cement works in accordance with EMAS or DIN EN ISO 14001 is also deemed to be a positive aspect and permits lengthening of the monitoring intervals. The classification given to the majority of the cement works inspected to date with regard to their environmental impact sets down a monitoring frequency of one or two years.

TA Luft Novellierung

Die TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) wurde letztmalig im Jahr 2002 neu gefasst. Derzeit arbeitet das Bundesumweltministerium (BMUB) umfassend an einer Revision.

Die TA Luft zählt zu den allgemeinen normkonkretisierenden Verwaltungsvorschriften, die auf Basis des § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes erlassen werden. Sie soll gesetzliche Anforderungen im Umweltbereich konkretisieren und einen einheitlichen Behördenvollzug im Rahmen von Genehmigungsverfahren gewährleisten. Die wichtigsten Emissionsgrenzwerte für Zementwerke, in denen alternative Brennstoffe eingesetzt werden, sind in der bereits novellierten 17. Bundes-Immissionsschutzverordnung festgelegt. Die TA Luft regelt darüber hinaus weitere allgemein gültige Grenzwerte sowie wesentliche Aspekte von Genehmigungsverfahren, umweltrechtlichen Prüfungen oder der Emissionsüberwachung.

Inhaltlich sind im Rahmen der Revision weitreichende Änderungen geplant. So sollen zukünftig u. a. die Vollzugsempfehlungen für bislang elf europäische BVT-Merkblätter, darunter auch das Merkblatt für Zement und Kalk, in das Regelwerk einbezogen werden. Weiterhin wird ein neuer Emissionswert für Formaldehyd auf Basis der Neueinstufung als kanzerogen eingeführt. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Aufnahme naturschutzrechtlicher Belange, insbesondere die Betrachtung von Stickstoff- und Säureeinträgen in FFH-Gebiete. Darüber hinaus ist die Aufnahme der Geruchs-Immissionsrichtlinie (GIRL) geplant.

Der erste Arbeitsentwurf soll intensiv mit den betroffenen Branchen diskutiert werden, so dass Anfang 2016 die entsprechende Ressortabstimmung und offizielle Anhörung erfolgen kann. Durchläuft das Vorhaben planmäßig Kabinett und Bundesrat, könnte die neue Fassung bis Anfang 2017 verabschiedet werden.

Leitfäden zur Eindämmung von Quecksilberemissionen im Rahmen des Minamata-Übereinkommens auf internationaler Ebene

Aufgrund seiner hohen Toxizität für Mensch und Natur werden die Emissionen von Quecksilber und seinen Verbindungen künftig auf internationaler Ebene durch das Minamata-Übereinkommen reglementiert. Als ein verbindliches, völkerrechtliches Abkommen wurde das Minamata-Übereinkommen durch das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) initiiert und im Oktober 2013 zur Unterzeichnung aufgelegt. Es tritt in Kraft, sobald es von mindestens 50 der 128 Unterzeichnerstaaten ratifiziert wurde.

Import, Export und Produktion von quecksilberhaltigen Produkten sollen bis 2020 verboten und Emissionen durch Goldbergbau im kleinen Maßstab durch quecksilberfreie alternative Techniken eingedämmt werden. Emissionen aus industriellen Prozessen wie Kohlekraftwerken, Müllverbrennungsanlagen und Zementwerken sollen durch die Anwendung der besten verfügbaren Techniken (BVT) und der besten Umweltpaxis (BUP) minimiert werden.

Als Vertreter der ECRA und in Zusammenarbeit mit der Cement Sustainability Initiative (CSI) nimmt das Forschungsinstitut mit seiner Expertise aktiv an der Erarbeitung dieser Leitfäden teil, die derzeit auf internationaler Ebene erarbeitet werden und im Herbst 2015 veröffentlicht werden sollen. Vor dem Hintergrund dieser globalen Bemühungen kann die deutsche Zementindustrie bereits auf bewährte Techniken zurückgreifen, um zu einer globalen Reduktion der Quecksilberemissionen beizutragen. Darüber hinaus werden neue Technologien und Maßnahmen untersucht, um eine nachhaltige Eindämmung zu erreichen.

Amendment to Technical Instructions on Air Quality Control

The most recent version of the Technical Instructions on Air Quality Control was produced in 2002. The German Federal Ministry of the Environment (BMUB) is currently working on a substantial revision.

The Technical Instructions on Air Quality Control form part of the general standard-specifying administrative provisions issued on the basis of § 48 of the Federal Pollution Control Act. They are intended to specify the legal requirements in the environmental sector and guarantee uniform enforcement by the authorities in the context of permitting procedures. The most important emission limits for cement works employing alternative fuels were set down in the already amended 17th Ordinance on waste incineration and co-incineration. Above and beyond this, the Technical Instructions on Air Quality Control regulate other generally applicable limit values and major aspects of permitting procedures, inspections based on environmental legislation and emission monitoring.

Extensive modification of the content is planned as part of the revision process. For example, the enforcement recommendations for 11 European BAT reference documents to date, including the reference document for cement and lime, are to be incorporated into the regulations in future. In addition, a new emission value is to be introduced for formaldehyde based on its re-classification as a carcinogenic substance. A further focal point is the inclusion of aspects relating to nature conservation legislation and in particular the consideration of nitrogen and acid deposition in FFH areas. Incorporation of the Odour Pollution Directive (GIRL) is also planned.

The first working draft is to be discussed in detail with the industries affected to enable the corresponding departmental coordination and official hearing to take place at the start of 2016. If the proposal is approved by the cabinet and the Federal Council as planned, the new version could be adopted by the beginning of 2017.

Guidelines for curbing mercury emissions in the context of the Minamata convention at international level

On account of its high toxicity for humans and nature, the emissions of mercury and its compounds are in future to be regulated at international level by the Minamata convention. As an internationally binding agreement, the Minamata convention was initiated by the United Nations Environment Programme (UNEP) and opened for signing in October 2013. It will enter into force once it has been ratified by at least 50 of the 128 signatory states.

The import, export and production of mercury-containing products are to be prohibited by 2020 and emissions from small-scale gold mining curbed through the use of mercury-free alternative techniques. Emissions from industrial processes such as coal-fired power stations, waste incinerators and cement works are to be minimised by employing the best available techniques (BAT) and the best environmental practice (BEP).

As representative of ECRA and in association with the Cement Sustainability Initiative (CSI), the research institute is actively contributing its expertise to the production of these guidelines, which are currently being drawn up at international level and are to be published in autumn 2015. In the context of these global efforts, the German cement industry already has proven tech-

Maßnahmen zur NO_x-Minderung

In den letzten 25 Jahren hat die deutsche Zementindustrie erhebliche Anstrengungen unternommen, um die NO_x-Emissionen beim Klinkerbrennprozess zu vermindern. Das in dem BVT-Merkblatt für die Zementherstellung festgelegte erreichbare Emissionsniveau zwischen < 200 und 450 mg NO_x/m³ wird in der Regel durch die Anwendung des SNCR-Verfahrens erreicht. Durch die Novellierung der 17. BImSchV ergaben sich jedoch neue Herausforderungen für die Zementindustrie mit einem NO_x-Grenzwert von 200 (Tagesmittelwert) bzw. 400 mg/m³ (Halbstundenmittelwert) und einem NH₃-Grenzwert von 30 (TMW) bzw. 60 mg/m³ (HMW). Damit wurden die Vorgaben der europäischen IED deutlich übertroffen, in der ein NO_x-Grenzwert von 500 mg/m³ und kein NH₃-Grenzwert vorgegeben sind. Da es in der Zementindustrie bis vor einigen Jahren nur vereinzelte Betriebserfahrungen mit dem SCR-Verfahren gab und damit noch ein erheblicher Untersuchungsbedarf zu diesem potenziell leistungsstarken Emissionsminderungsverfahren bestand, wurden in den letzten Jahren zwei SCR-Demonstrationsprojekte in der deutschen Zementindustrie durchgeführt und vom VDZ-Arbeitskreis NO_x-Minderung begleitet. Dabei wurden Langzeiterfahrungen sowohl mit der High-Dust- als auch der Tail-End-Variante des SCR-Verfahrens gesammelt. Die Projekte wurden in 2013 bzw. 2014 abgeschlossen und die Berichte vom Umweltbundesamt publiziert. Darüber hinaus werden aktuell noch weitere Erfahrungen mit der sogenannten Semi-Dust-Variante des SCR-Verfahrens in einem österreichischen Zementwerk gesammelt.

Die durchgeführten Demonstrationsprojekte zeigten, dass durch die Anwendung des SCR-Verfahrens ein NO_x-Grenzwert von 200 mg/m³ und ein NH₃-Grenzwert von 30 mg/m³ (jeweils als Tagesmittelwerte) einhaltbar sind. Neben den hohen Minderungsraten für die Komponenten NO_x und NH₃ wurde auch ein Abbau von organischen Verbindungen (außer C₁/C₂-Verbindungen sowie CO) festgestellt. Weiterhin zeigte sich, dass am SCR-Katalysator eine Oxidation von Quecksilber stattfindet, so dass der Anteil von ionischen Hg-Verbindungen im Abgas ansteigt und der Anteil von elementarem Hg sinkt. Dieser Effekt muss bei der Auswahl eines geeigneten Gerätes zur kontinuierlichen Hg-Messung beachtet werden. Der elektrische Energiebedarf einer SCR-Anlage liegt aktuell bei ca. 5 kWh/t Klinker.

Erwartungsgemäß unterscheiden sich nach den bisherigen Erfahrungen die Standzeiten der Katalysatorlagen je nach Variante des SCR-Verfahrens: für das High-Dust-Verfahren wird eine Standzeit von drei Jahren erwartet, während für die Tail-End-Variante bis zu zehn Jahre möglich erscheinen. Im Falle von Reparatur- und Wartungsarbeiten am SCR-Reaktor sind bedingt durch die erforderlichen Abkühl- und Aufheizphasen jeweils Stillstände von mehreren Tagen erforderlich. Die Verfügbarkeit der SCR-Anlagen konnte zwar durch stetige Optimierungen auf ca. 95 % erhöht werden, doch können damit nicht die momentan geltenden Anforderungen der 17. BImSchV bezüglich der Mindestverfügbarkeit von Emissionsminderungseinrichtungen erfüllt werden. Für technisch unvermeidbare Ausfälle von SCR-Anlagen sind daher neue Regelungen mit realistischen zulässigen Ausfallzeiten zu treffen. Ersatzweise könnte während dieser Phasen das SNCR-Verfahren angewendet werden, verbunden mit einem höheren einzuhaltenden NO_x-Grenzwert. Eine entsprechende Regelung wurde in den Revisionsprozess der TA Luft eingebracht.

Neben dem SCR-Verfahren wird auch das SNCR-Verfahren (selektive nicht-katalytische Reduktion) zukünftig weiterhin angewendet werden, und zwar nicht nur als etabliertes Verfahren in einer Vielzahl von europäischen Zementwerken, sondern auch

iniquities available to be able to contribute to a global reduction in mercury emissions. New technologies and measures are also being investigated with a view to sustainably curbing such emissions.

NO_x abatement measures

Over the last 25 years the German cement industry has made considerable efforts to reduce NO_x emissions in the clinker burning process. The achievable emission level of between < 200 and 450 mg NO_x/m³ set down in the BAT reference document for cement production is generally satisfied by employing the SNCR process. The amendment to the 17th BImSchV (Ordinance on waste incineration and co-incineration) however presented the cement industry with new challenges in the form of an NO_x limit value of 200 (daily mean value) and 400 mg/m³ (half-hourly mean value) and an NH₃ limit value of 30 (daily mean value) and 60 mg/m³ (half-hourly mean value). These figures far surpass the specifications of the European IED, which stipulate a NO_x limit value of 500 mg/m³ and no NH₃ limit value at all. As, up until a few years ago, only few operating experiences had been gathered with the SCR process in the cement industry and there was thus a great need for investigation of this potentially highly effective emission reduction method, two SCR demonstration projects were conducted in the German cement industry in recent years and accompanied by the VDZ NO_x abatement working group. In the course of these studies, long-term experience was gained with both the high-dust and tail-end versions of the SCR process. The projects were completed in 2013 and 2014 respectively and the reports published by the Federal Environment Agency. More is currently also being learnt about the so-called semi-dust version of the SCR process in an Austrian cement works.

The demonstration projects revealed that application of the SCR process makes it possible to comply with an NO_x limit value of 200 mg/m³ and an NH₃ limit value of 30 mg/m³ (daily mean value in each case). In addition to the high abatement rates for NO_x and NH₃, a decomposition of organic compounds (except C₁/C₂ compounds and CO) was also found. It further became apparent that mercury oxidation takes place at the SCR catalytic converter with the result that the proportion of ionic Hg compounds in the exhaust gas increases and the proportion of elemental Hg decreases. This effect must be borne in mind when selecting a suitable device for continuous Hg measurement. The electrical energy requirement of an SCR system is currently about 5 kWh/t of clinker.

As expected, experience so far shows that the service life of the catalyst layers differs depending on the type of SCR process: the expected service life for the high-dust version is 3 years, whereas up to 10 years would appear to be possible for the tail-end version. SCR reactor repair and maintenance work involves shutting down the system for several days on account of the cooling and heating phases required. Constant optimisation has made it possible to increase the availability of SCR systems to approx. 95 %, but this is not sufficient to satisfy the currently applicable requirements of the 17th BImSchV with regard to the minimum availability of emission reduction facilities. There is therefore a need for new regulations with realistic permissible down times for technically unavoidable SCR system stoppages. During these phases, use could alternatively be made of the SNCR process in conjunction with a higher applicable NO_x limit value. A corresponding regulation was incorporated into the revision process for the Technical Instructions on Air Quality Control.

an deutschen Ofenanlagen, die günstige Randbedingungen für einen effektiven Umsatz des Reduktionsmittels und damit für einen geringen NH_3 -Schlupf bieten. Insbesondere Ofenanlagen mit Calcinator bieten vergleichsweise günstige Voraussetzungen für die Anwendung des SNCR-Verfahrens zur Erreichung des neuen NO_x -Grenzwerts der 17. BImSchV. Durch eine längere Verweilzeit der Reaktanden im geeigneten Temperaturfenster sind ein hoher Umsatz und damit geringe Emissionen von nicht-umgesetztem NH_3 (Schlupf) möglich. Erhöhte NH_3 -Emissionen treten insbesondere im Direktbetrieb auf, d. h. wenn die Mahltrocknungsanlagen außer Betrieb sind und keine Abscheidung von Ammoniak und Ammoniumverbindungen am Rohmehl möglich ist.

Auch an herkömmlichen Ofenanlagen mit Zyklonvorwärmer wurden deutliche Verbesserungen bei der nicht-katalytischen NO_x -Minderung erreicht, insbesondere durch die Anwendung des sogenannten High-Efficiency-SNCR-Verfahrens (he-SNCR). Bei dieser Variante lässt sich durch eine optimierte und angepasste Eindüsung des Reduktionsmittels ein hoher Umsatz bei den SNCR-Reaktionen erreichen. Dadurch können der Reduktionsmittelverbrauch (und damit die Betriebskosten) und die NH_3 -Emissionen verringert werden. Zusammen mit einer Ausnahmeregelung für rohstoffbedingte NH_3 -Emissionen könnten damit verschiedene Ofenanlagen die zukünftigen NO_x - und NH_3 -Grenzwerte einhalten.

Umweltmesstechnik

Entwicklungen in der Ammoniak-Messtechnik

Aufgrund der Novellierung der 17. BImSchV im Mai 2013 wurden für Drehofenanlagen der Zementindustrie, die Abfälle mitverbrennen, erstmalig Emissionsgrenzwerte für Ammoniak festgesetzt. Ab dem 01.01.2016 gelten demnach Grenzwerte für Ammoniak (NH_3) von 30 mg/m^3 (N.tr.) im Tagesmittel (TMW) und 60 mg/m^3 (N.tr.) im Halbstundenmittel (HSM). Hierbei handelt es sich um eine Begrenzung des Ammoniakschlupfs, der bei dem Betrieb einer SNCR-/SCR-Anlage entstehen kann.

Für den Betreiber besteht nach Anlage 3, Abschnitt 2.1.4 der 17. BImSchV die Möglichkeit, Ausnahmen von diesem Grenzwert zu beantragen, sofern durch Vergleichsmessungen hinreichend belegbar ist, dass die Ausnahmen auf Grund der rohmaterialbedingten Einflüsse erforderlich sind und zudem sichergestellt ist, dass durch den Einsatz von Abfällen zusätzliche Emissionen an Ammoniak ausgeschlossen sind.

Die Einführung neuer Komponenten bei der kontinuierlichen Überwachung von Emissionen hat weitreichende Auswirkungen für die Hersteller von Messgeräten, Betreiber und Überwachungsorgane. So sind etwa kontinuierlich arbeitende NH_3 -Messgeräte seit vielen Jahren kommerziell verfügbar, jedoch bis vor wenigen Jahren meist ohne die nun erforderliche Zertifizierung. Neue Geräte sollten über diese Zertifizierung nach DIN EN 15267 verfügen. Die novellierte DIN EN 14181 (Februar 2015) stellt die normative Grundlage zur Überwachung automatischer Messeinrichtungen dar.

Betreiberseitig sind spätestens ab dem 01.01.2016 Messgeräte zur kontinuierlichen Messung der NH_3 -Emissionen einzusetzen. Ab diesem Zeitpunkt muss für die Geräte auch die Qualitätssicherung für automatische Messeinrichtungen nach DIN EN 14181 sichergestellt sein. In der Praxis haben sich im Wesentlichen zwei Messverfahren etabliert: Die Messung über ein extraktives FTIR-Messgerät oder alternativ über ein In-situ messendes Laserspektroskopie-Messgerät.

Alongside the SCR process, the SNCR (selective non-catalytic reduction) process will also still be used in future – not just as an established method in numerous European cement works but also in German kiln plants which offer favourable conditions for the effective conversion of the reducing agent and thus little NH_3 slip. Kiln plants with calciner in particular provide a comparatively good basis for using the SNCR process to attain the new NO_x limit value stipulated by the 17th BImSchV. The longer residence time of the reactants in the appropriate temperature window makes a high conversion rate possible and thus low emissions of non-converted NH_3 (slip). Increased NH_3 emissions are encountered above all in mill-off operation, i.e. when the raw mills are out of operation and separation of ammonia and ammonium compounds is not possible at the raw meal.

Significant improvements in terms of non-catalytic NO_x abatement were also achieved in conventional kiln plants with cyclone preheater, in particular by using the so-called high-efficiency SNCR process (he-SNCR). With this method, a high conversion rate can be achieved in the SNCR reactions by means of optimised and appropriately adapted injection of the reducing agent. This cuts reducing agent consumption (and thus operating costs) and lowers NH_3 emissions. If an exception is allowed for raw material-related NH_3 emissions, various kiln plants could then comply with future NO_x and NH_3 limit values.

Environmental measuring technology

Developments in ammonia measuring technology

In May 2013 the amended 17th BImSchV (Ordinance on Federal Ambient Pollution Protection) stipulated ammonia emission limits for the first time for rotary kiln plants in the cement industry practising the co-incineration of waste. Accordingly, daily mean limit values of 30 mg/m^3 (STP, dry) and half-hourly mean limit values of 60 mg/m^3 (STP, dry) will apply to ammonia (NH_3) with effect from 1 January 2016. This refers to a limitation of the ammonia slip which can occur in SNCR/SCR system operation.

In accordance with Annex 3, section 2.1.4 of the 17th BImSchV, operators can apply for exceptions from this limit value insofar as comparison measurements provide sufficient proof that the exceptions are necessary on account of the raw material-induced influences and it is also guaranteed that there is no possibility of additional ammonia emissions arising from the use of waste materials.

The introduction of new components in the continuous monitoring of emissions has far-reaching effects for measuring instrument producers, operators and inspection authorities. For example, continuously operating NH_3 measuring instruments have been commercially available for many years but until recently generally without the certification now required. More modern instruments should have such certification in accordance with DIN EN 15267. The amended version of DIN EN 14181 (February 2015) provides the normative basis for the monitoring of automatic measuring devices.

At the latest with effect from 1 January 2016, operators will be required to use measuring instruments for the continuous measurement of NH_3 emissions. From this date onwards quality assurance for automatic measuring devices as per DIN EN 14181 must also be in place for these instruments. Two measurement procedures have essentially become established in practice: Measurement using an extractive FTIR instrument or alternatively a laser spectrometer for in-situ measurements.

Der Vorteil eines extraktiven FTIR-Messgerätes besteht unter anderem in der Möglichkeit, mehrere Abgasbestandteile simultan mit nur einem Gerät erfassen zu können. Dabei wird der physikalische Effekt ausgenutzt, dass jede Abgaskomponente mit heterogenem Molekülaufbau in einem spezifischen Spektralbereich infrarotes Licht absorbiert. Die Höhe der Strahlungsabsorption auf der entsprechenden Wellenlänge der jeweiligen Komponente ist dabei eine Funktion der Gaskonzentration. Die meisten Geräte verfügen, sofern die jeweils erforderlichen Komponenten zusammen gemessen werden, über eine automatische Querempfindlichkeitskompensation. Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass der Trend in der Zement- und Kalkindustrie hin zu Mehrkomponenten-Messgeräten verläuft.

Alternativ gibt es in-situ messende Einkomponenten-Analysatoren auf Grundlage der Laserspektroskopie. Das infrarote Laserlicht durchläuft das Abgas von der Sende- zur Empfangseinheit. Dabei wird ebenfalls der Effekt der Lichtabsorption von Gasen bei bestimmten Wellenlängen genutzt. Die Wellenlänge der Laserdiode wird über die berechnete Absorptionskurve beschrieben und die Absorption als Funktion der Wellenlänge ausgewertet. Zur genauen Berechnung der Absorptionskurve ist eine Online-Temperatur- und Druckmessung zu empfehlen. Die Laserspektroskopie misst sehr schnell, präzise und in sehr schmalen Absorptionsbanden, so dass das Verfahren als quasi querempfindlichkeitsfrei bezeichnet werden kann. Liegen die Absorptionsbanden zweier Komponenten eng genug zusammen, können beide Komponenten parallel erfasst werden. So ist es z. B. möglich, parallel zu einer NH_3 -Messung auch eine H_2O -Messung durchzuführen. Weitere Vorteile der In-situ-Lasermesstechnik ergeben sich bezüglich der niedrigen Betriebs- und Wartungskosten. Da das Lasermessprinzip drifffrei arbeitet, werden keine Kalibrier gases zur regelmäßigen Driftkontrolle benötigt. Der Messaufbau, ob als Messsonde oder Cross-Stack-Variante, gilt als robust und zuverlässig, da keine bewegten Teile vorhanden sind und durch eine Spülluftversorgung die Verschmutzung der Optik vermieden wird.

Unabhängig davon, welches zertifizierte Messgerät zum Einsatz kommt, muss das Gerät spätestens im Abstand von drei Jahren nach DIN EN 14181 über Vergleichsmessungen mittels eines Standard-Referenz-Verfahrens (SRM) kalibriert werden, um die Anforderungen an die Qualitätssicherung einer automatischen Messeinrichtung zu erfüllen.

Auf Grundlage diverser VDI-Richtlinien zur manuellen nasschemischen Probenahme gas- und dampfförmiger Emissionen wird derzeit (Stand 05/2015) die VDI-Richtlinie VDI 3878 als zulässiges Standard-Referenz-Verfahren erarbeitet. Die VDI 3878 legt dabei ein manuelles Messverfahren zur Bestimmung der Summe der Massenkonzentrationen von Ammoniak (NH_3) und der gas- und dampfförmigen Ammonium-Verbindungen (NH_4^+) im Abgas diverser Anlagen fest. Prinzipiell wird bei diesem Verfahren dem Abgasstrom eine repräsentative Probe entnommen und das Ammoniak bzw. die Ammonium-Verbindungen in einer H_2SO_4 -sauren Lösung abgeschieden.

Für die Validierung des Gesamtverfahrens und der Verfahrenskenngrößen wurden unter Beteiligung von acht Messinstituten Vergleichsmessungen in einem Zementwerk in Deutschland durchgeführt. Dabei wurden zwei Betriebszustände (Direkt- und Verbundbetrieb) vermessen, wodurch ein validierter Messbereich bis ca. 65 mg/m^3 erreicht werden konnte. **Bild 1.3.3-3** zeigt beispielhaft einen Teil der Ergebnisse der Vergleichsmessungen:

One of the advantages of an extractive FTIR instrument is that several exhaust gas compounds can be simultaneously recorded with just one device. The method makes use of the physical effect that each exhaust gas component with a heterogeneous molecular structure absorbs infrared light in a specific spectral range. The level of radiation absorption on the corresponding wavelength of the component concerned is a function of the gas concentration. Insofar as the components required are measured together, most instruments provide automatic cross-sensitivity compensation. Generally speaking, the trend in the cement and lime industry is towards multi-component measuring instruments.

One-component analysers for in-situ measurements based on laser spectroscopy are an alternative. The infrared laser light passes through the exhaust gas from the transmitter to the receiver. Use is again made of the effect of light absorption by gases at certain wavelengths. The wavelength of the laser diode is described by way of the calculated absorption curve and the absorption is evaluated as a function of the wavelength. Online temperature and pressure measurement is recommended for precise calculation of the absorption curve. Laser spectroscopy is a very fast and accurate way of taking measurements in very narrow absorption bands and the method can therefore be said to be more or less free from cross-sensitivity. If the absorption bands of two components are close enough together, both components can be recorded in parallel. For example it is possible to perform H_2O measurement in parallel with NH_3 measurement. In-situ laser measurement technology also offers advantages in terms of low operating and maintenance costs. As the laser measurement principle is not subject to drift, no calibration gases are required for regular drift checking. The test arrangement, either in the form of a measurement probe or a cross-stack set-up, is considered to be robust and reliable as there are no moving parts and a supply of purge air prevents contamination of the lens system.

Regardless of which certified measuring instrument is employed, DIN EN 14181 requires the device to be calibrated at intervals of three years at the latest by way of comparison measurements using a standard reference method (SRM) in order to satisfy the quality assurance requirements for an automatic measuring device.

On the basis of various VDI codes for the manual wet chemical sampling of gaseous and vaporous emissions, the VDI code VDI 3878 is currently (as of 05/2015) being produced as a reliable standard reference method. VDI 3878 sets down a manual measurement procedure for determining the sum total of the mass concentrations of ammonia (NH_3) as well as gaseous and vaporous ammonium compounds (NH_4^+) in the exhaust gas of various plants. The procedure basically involves taking a representative sample from the exhaust gas flow and separating the ammonia and the ammonium compounds in a sulphuric acid solution.

To validate the overall procedure and the performance characteristics, comparison measurements were performed at a cement works in Germany with the participation of eight measurement institutes. As measurements were taken in two operation states (mill-off and mill-on operation), it was possible to obtain a validated measuring range up to approx. 65 mg/m^3 . **Fig. 1.3.3-3** shows some of the results of the comparison measurements by way of example:

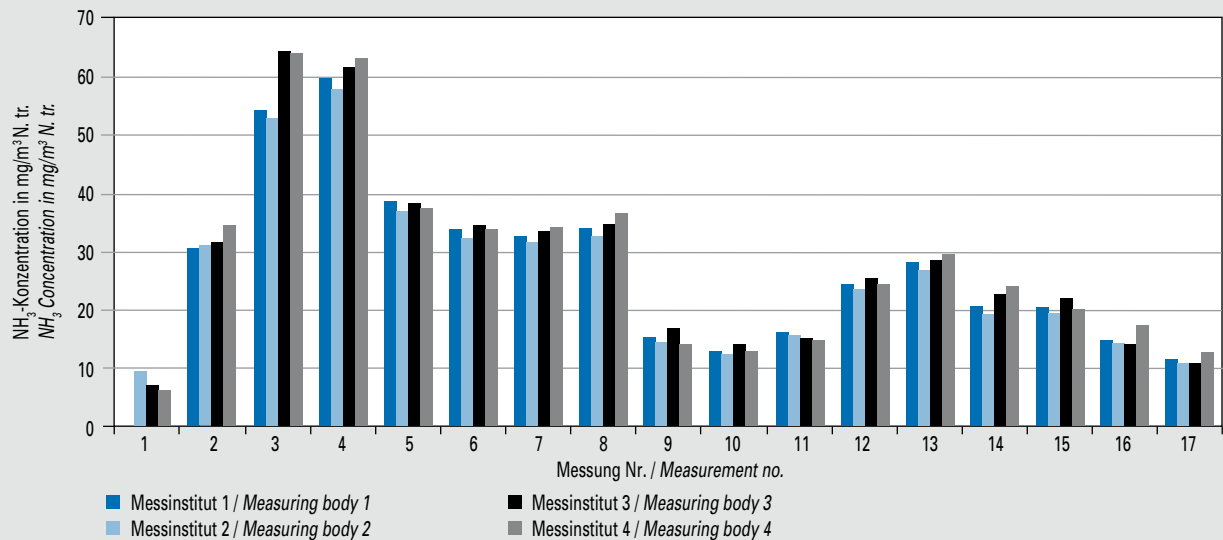


Bild 1.3.3-3 Ergebnisse von NH₃-Vergleichsmessungen an einer Drehofenanlage der Zementindustrie unter Beteiligung von 4 Messinstituten
Fig. 1.3.3-3 Results of ammonia comparison measurements executed by 4 independent measuring bodies in the stack of a cement kiln

Insgesamt stellt sich das entwickelte Verfahren als geeignet dar, um als Standard-Referenz-Methode für NH₃-Messungen zu dienen. Mit der Veröffentlichung der endgültigen VDI 3878 ist noch in diesem Jahr zu rechnen. Eine entsprechende Umsetzung in eine CEN-Norm wird ebenfalls derzeit erarbeitet.

Herausforderungen beim Einsatz von kontinuierlich arbeitenden Volumenstrommessgeräten: Neue DIN EN 16911

Die kontinuierliche Messung des Volumenstroms im Abgas von Drehofenanlagen der Zementindustrie erlangt zunehmend an Bedeutung. In der Normenreihe DIN EN 16911 werden erstmalig Anforderungen, die bei der Auswahl und Installation dieser Geräte zu beachten sind, beschrieben. Darüber hinaus werden Standardreferenzverfahren vorgestellt, die in der Lage sind, den Volumenstrom mit einer definierten Messunsicherheit zu erfassen und damit die Kalibrierung der automatischen Messsysteme (AMS) ermöglichen.

Die grundsätzliche Eignung eines AMS zur Volumenstrombestimmung wird durch eine Prüfung gemäß Normenreihe DIN EN 15267 festgestellt. Die Verfahrenskenngrößen, die eingehalten werden müssen, sind zusammen mit den dazugehörigen Prüfkriterien in DIN EN 16911-2 beschrieben. Dabei spielen die Möglichkeiten des AMS, die Linearität sowie den Null- und Referenzpunkt (QAL 3) überprüfen zu können, eine wesentliche Rolle. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind für einzelne AMS im Internet verfügbar und stellen für Anlagenbetreiber die Grundlage bei der Auswahl eines AMS dar. Die Spannweite an Messprinzipien, die von verschiedenen Herstellern eingesetzt werden, reicht dabei von einfacher Differenzdruckmessung an einem Punkt bis hin zur Messung über den gesamten Kanalquerschnitt mittels Ultraschall-Laufzeitdifferenz.

Neben der Eignung eines AMS bestimmt dessen Einbauort im hohen Maße die Genauigkeit, mit der anschließend der Volumenstrom erfasst wird. Hierfür werden in der EN 16911-2 Kriterien formuliert, die aus dem Strömungsprofil des Abgases abgeleitet werden und anhand derer eine Entscheidung über die Repräsentativität der Messung getroffen werden kann. Zu diesen Kriterien gehören charakteristische Kenngrößen der Strömung wie beispielsweise der Crestfaktor oder die Schiefe. Dabei lie-

All-in-all the procedure developed can be viewed as being suitable for use as a standard reference method for NH₃ measurements. Publication of the final version of VDI 3878 can be expected before the end of this year. Work on the corresponding implementation of this in a CEN standard is currently also in progress.

Challenges associated with the use of continuously operating volumetric flow rate measuring instruments: New DIN EN 16911

The continuous measurement of the volumetric flow rate in the exhaust gas of rotary kiln plants in the cement industry is gaining in significance. Requirements to be heeded with regard to the selection and installation of these devices are described for the first time in the standard series DIN EN 16911. In addition, standard reference methods are presented which are capable of recording the volumetric flow rate with a defined measuring uncertainty and thus permit calibration of the automatic measuring systems (AMS).

The basic suitability of an AMS for determining the volumetric flow rate is established by way of testing in accordance with the standard series DIN EN 15267. The performance characteristics which have to be satisfied are described together with the corresponding test criteria in DIN EN 16911-2. The ability of the AMS to permit checking of linearity as well as the zero and span points (QAL 3) is an important aspect. The results of these tests are available in the internet for individual AMS and provide a basis for selection of an AMS by plant operators. The spectrum of measurement principles employed by different producers ranges from simple differential pressure measurement at a single point to measurement over the entire channel cross-section employing ultrasound runtime difference.

In addition to the suitability of an AMS, its installation location has a great influence on the accuracy with which the volumetric flow rate is then measured. Criteria for this are formulated in EN 16911-2. These are derived from the flow profile of the exhaust gas and form the basis for deciding on the representativity of the measurement. These criteria include characteristic flow quantities such as the crest factor or the skewness. The first characteristic gives an indication of whether the flow profile is a fully formed profile, whereas the second characteristic describes the asymmetry of the flow. Together with a measure of the constancy of the flow

fert die erste Kennzahl einen Hinweis darauf, ob es sich bei dem Strömungsprofil um ein vollständig ausgebildetes Profil handelt, während die zweite die Asymmetrie der Strömung beschreibt. Zusammen mit einem Maß für die Konstanz des Strömungsprofils bei verschiedenen Gasgeschwindigkeiten (Vergleichspräzision) werden Vorgaben für die Auswahl der Messmethode formuliert. Es wird unterschieden, ob es sich bei der Messung um eine Punkt-, Pfad- oder ggf. Messung über zwei Pfade handeln muss. Diese Festlegung ist in direktem Maße mit entsprechenden Investitions- und Wartungskosten verbunden. Aus diesem Grund wird in der EN 16911-2 eine umfassende Voruntersuchung der Strömungsverhältnisse explizit empfohlen. Die Voruntersuchung kann für bestehende Anlagen messtechnisch erfolgen, z. B. als Teil einer Homogenitätsprüfung nach EN 15259. Für Industrieanlagen, die sich in Planung befinden, ist eine Simulation der Strömungsbedingungen mit Hilfe der numerischen Strömungsmechanik (CFD) zweckmäßig. Zudem werden Kriterien genannt, die es in Ausnahmefällen ermöglichen, eine Entscheidung über die Position des AMS auch ohne Voruntersuchung treffen zu können. In jedem Fall ist es für den Anlagenbetreiber empfehlenswert, sich im Zuge des Auswahlprozesses mit der zuständigen Behörde abzustimmen.

Für Anlagen, die eine Voruntersuchung durchführen lassen, ergibt sich ein Vorteil bei der Kalibrierung und Validierung des AMS (QAL 2) sowie der jährlichen Funktionsprüfung (AST). In diesem Fall kann die notwendige Mindestanzahl an Vergleichsmessungen bei einer Kalibrierung von 15 auf 9 und bei der AST von 5 auf 4 reduziert werden, so dass der messtechnische Aufwand verringert wird. Zugleich entfallen Anforderungen an den Kalibrierbereich, der mit Vergleichsmessungen abgedeckt werden muss.

Die zur Kalibrierung zulässigen Standardreferenzverfahren (SRM) und Anforderungen an die Messprinzipien sind in der DIN EN 16911-1 ausführlich beschrieben und festgelegt. Zu den SRM gehören Tracergas-Verfahren, die mittels Verdünnungsrate oder Laufzeit auf die Flussgeschwindigkeit zurückschließen lassen, ein Berechnungsverfahren, das mit dem Energieeinsatz arbeitet und direkte Messverfahren zur Bestimmung der Gasgeschwindigkeit, wie das Flügelrad-Anemometer oder die Staudrucksonde. Letzteres zählt zu den häufigsten Methoden, die zur Volumenstrombestimmung in Gasen eingesetzt werden.

Das Ergebnis einer beispielhaften Kalibrierung eines Volumenstrommessgerätes ist in **Bild 1.3.3-4** dargestellt. Es konnte ein linearer Zusammenhang festgestellt werden und die Anforderungen an die Variabilität wurden eingehalten. Zugleich lag die relative erweiterte Messunsicherheit der Staudrucksonde als SRM mit 2,98 % im unteren Bereich dessen, was in der Validierungsstudie zur EN 16911-1 bestimmt worden ist. Die Praxistauglichkeit der Norm konnte damit grundsätzlich bestätigt werden.

Eine mögliche Konsequenz, die sich aus der Normenreihe EN 16911 ergibt, ist ein deutlich höherer Aufwand bei der Kalibrierung und Funktionsprüfung von Volumenstrommessgeräten. Da die Kalibrierung und Wartung der Messgeräte mit einem finanziellen Mehraufwand verbunden sein wird, ist es aus Betreibersicht sinnvoll, bereits im Vorfeld Möglichkeiten wahrzunehmen, um die anfallenden Kosten gering zu halten. Ein geeignetes Mittel kann hierbei die Durchführung einer Voruntersuchung des Strömungsprofils sein. Auch für Anlagen, die sich im Umbau befinden, kann es zweckmäßig sein sich mit der Thematik zu beschäftigen, da gerade in der Konzeptionsphase eines Kamins die Anforderungen der EN 16911 berücksichtigt werden können, was in der Folge sowohl Anschaffungs- als auch Betriebskosten eines AMS positiv beeinflusst.

profile at various gas velocities (reproducibility), specifications are formulated for selection of the measurement method. A distinction is made on the basis of whether the measurement has to be a point measurement, a path measurement or possibly a measurement over two paths. There is a direct relationship between the decision taken and the capital and maintenance costs involved. For this reason EN 16911-2 explicitly recommends extensive preliminary investigation of the flow conditions. For existing plants, the preliminary investigation can be performed by means of measurement, for example as part of a homogeneity test according to EN 15259. Simulation of the flow conditions with the aid of computational fluid dynamics (CFD) is useful for industrial plants still at the planning stage. In addition, criteria are listed which make it possible to take a decision on the position of the AMS even without preliminary investigation in exceptional circumstances. It is in any case advisable for plant operators to consult with the authorities concerned in the course of the selection process.

If plants have a preliminary investigation performed, this works to their advantage with regard to calibration and validation of the AMS (QAL 2) and the annual surveillance test (AST). In this case the minimum number of comparison measurements required can be reduced from 15 to 9 for calibration and from 5 to 4 for the AST, so that less measurement work is involved. Requirements for the calibration range to be covered by comparison measurements then also do not apply.

The standard reference methods (SRM) permissible for calibration and the requirements to be met by the measurement principles are described in detail and set down in DIN EN 16911-1. The SRM include tracer gas methods which allow conclusions to be drawn about the flow velocity on the basis of the dilution rate or running time, a calculation method based on energy input and direct measurement procedures to determine the gas velocity such as a vane anemometer or pitot tube. The latter is one of the most frequent methods employed for determining the volumetric flow rate in gases.

The result of calibration of a volumetric flow rate measuring instrument is shown by way of example in **Fig. 1.3.3-4**. A linear relationship was found and the requirements for variability were satisfied. At the same time the relative extended measuring uncertainty (2.98 %) of the pitot tube as SRM was at the lower end of the range determined in the validation study for EN 16911-1. The basic practical applicability of the standard was thus confirmed.

One possible consequence arising from the standard series EN 16911 is a far higher outlay for the calibration and functional testing of volumetric flow rate measuring instruments. As the calibration and maintenance of the measuring instruments are associated with additional expenditure it is in the operator's interest to do whatever is possible to keep down the costs involved right from the outset. The performance of a preliminary investigation of the flow profile is an appropriate means of achieving this. It may also be worthwhile considering this topic for plants undergoing conversion, as the requirements of EN 16911 can readily be incorporated into the stack planning phase and this can have a positive influence on subsequent AMS purchasing and operating costs.

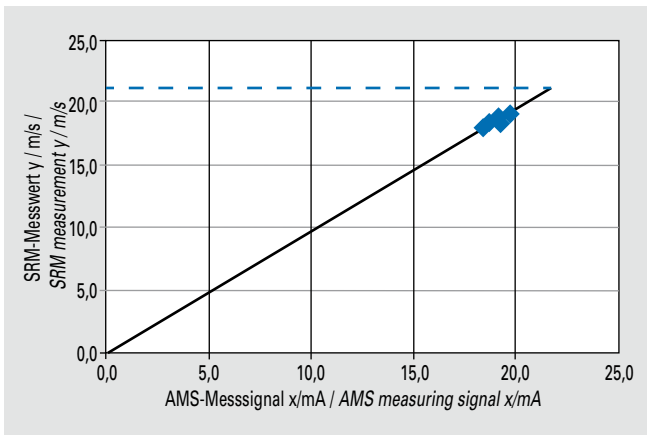


Bild 1.3.3-4 Funktionaler Zusammenhang zwischen Messgröße und AMS-Messsignal bei einer Kalibrierung nach EN 16911
Fig. 1.3.3-4 Functional relation between measurand and AMS measuring signal when calibrating acc. EN 16911

Aufschlüsselung organischer Emissionen mittels FTIR-Messtechnik, Messen von Formaldehyd

Mit den beim Klinkerbrennprozess zum Einsatz kommenden natürlichen Rohstoffen gelangen in geringem Umfang auch flüchtige organische Bestandteile ins Ofensystem. Unter den Bedingungen im Vorwärmer werden diese organischen Bestandteile unter Temperatureinfluss zersetzt und in gasförmige Komponenten umgewandelt. Einerseits können leichtflüchtige organische Komponenten bei der Erwärmung des Rohmaterials in den oberen Zyklonstufen verdampfen, während komplexere organische Verbindungen in einfachere Kohlenwasserstoffe zersetzt werden. Die Reaktionsprodukte der Zersetzungsvorgänge sind sehr heterogen und von der Ausgangsstruktur der organischen Inhaltsstoffe im Rohmaterial sowie den Reaktionsbedingungen abhängig. Die Spannweite der dabei entstehenden Substanzen reicht von niedermolekularen Verbindungen wie Formaldehyd oder Methan bis hin zu komplexen Strukturen wie Benzol oder Toluol, die jeweils in sehr geringen Konzentrationen auftreten können.

Ein gängiges Verfahren, mit dem üblicherweise der Gehalt an organischen Verbindungen im Abgas bestimmt wird, stellt die Messung mit einem Flammenionisationsdetektor (FID) dar. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist ein Summenwert aller organischen Verbindungen im Abgas (Gesamtkohlenstoff). Eine genaue Charakterisierung der Abgasbestandteile ist mit dem FID jedoch nicht möglich. Hierfür ist es zielführend, ein selektives Bestimmungsverfahren einzusetzen, wie beispielsweise die Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie (FTIR-Spektroskopie). Grundlage der FTIR-Methode ist die Eigenschaft einer Vielzahl von Verbindungen im Infrarotspektrum ein charakteristisches Absorptionsmuster zu hinterlassen. Anhand dieses Musters ist es möglich, verschiedene Substanzen voneinander zu unterscheiden und zeitgleich ihre Konzentration quantitativ zu erfassen. Die Auswertung komplexer Abgaszusammensetzungen erfolgt unter Zuhilfenahme von Referenzspektren, die in einer Datenbank hinterlegt werden. Auf diese Weise kann das Summensignal einer FID-Messung in Detail aufgeschlüsselt werden.

Vergleichsmessungen des Forschungsinstituts zeigen, dass mehr als 70 % des gemessenen Gehaltes an Gesamtkohlenstoff durch FTIR-Messungen bestimmt werden können (Bild 1.3.3-5). Lediglich 10 bis 20 % des Summenwertes bleiben unbekannt. Über 60 % der organischen Emissionen werden demnach durch C₁/C₂-Verbindungen wie Methan und Ethan verursacht. Andere Kom-

Breakdown of organic emissions using FTIR measurement technology, measurement of formaldehyde

Small quantities of volatile organic constituents ingress into the kiln system together with the natural raw materials used in the clinker burning process. Under the conditions prevailing in the preheater, these organic constituents are decomposed by the influence of temperature and converted into gaseous components. Highly volatile organic components evaporate in the upper cyclone stages as the raw material is heated, whereas more complex organic compounds are decomposed into simpler hydrocarbons. The reaction products of decomposition are extremely heterogeneous and depend on the original structure of the organic contents of the raw material as well as on the reaction conditions. The spectrum of substances formed in this process ranges from low-molecular compounds such as formaldehyde or methane to complex structures such as benzene or toluene, which may occur in very low concentrations.

Measurement with a flame ionisation detector (FID) is a widely used method usually employed to determine the organic compound content of the exhaust gas. The result of this measurement is a total value for all organic compounds in the exhaust gas (total organic carbon). Precise characterisation of the exhaust gas compounds is however not possible using a FID. For this purpose it is appropriate to make use of a selective determination method such as Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR spectroscopy). The FTIR method is based on the fact that many compounds leave a characteristic absorption pattern in the infrared spectrum. This pattern makes it possible to distinguish between different substances and at the same time quantitatively determine the concentration of these. Complex exhaust gas compositions are evaluated with the aid of reference spectra stored in a database. This permits the detailed breakdown of the sum signal from a FID measurement.

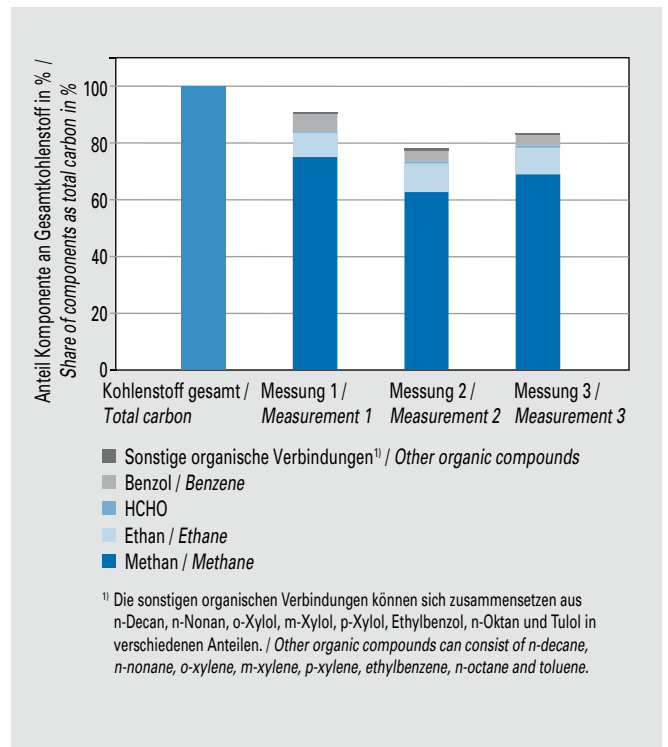


Bild 1.3.3-5 Prozentualer Anteil organischer Einzelverbindungen an der mittels Flammenionisationsdetektion gemessenen Gesamtkohlenstoffkonzentration

Fig. 1.3.3-5 Share of organic individual compounds of total carbon concentration measured by flame ionization detection

¹⁾ Die sonstigen organischen Verbindungen können sich zusammensetzen aus n-Decan, n-Nonan, o-Xylol, m-Xylol, p-Xylol, Ethylbenzol, n-Oktan und Toluol in verschiedenen Anteilen. / Other organic compounds can consist of n-decane, n-nonane, o-xylene, m-xylene, p-xylene, ethylbenzene, n-octane and toluene.

ponenten, wie beispielsweise Benzol oder Formaldehyd, liegen üblicherweise in deutlich geringeren Umfang vor. Längerkettige organische Kohlenwasserstoffe stellen lediglich weniger als 1 % des Gesamtgehaltes an organischen Verbindungen dar.

1.3.4 Abfallrecht ■

Im Zusammenhang mit der energetischen Verwertung von Abfällen ist eine andere aktuelle Entwicklung im deutschen Umweltrecht von besonderem Belang. Bisher enthält das deutsche Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), welches die europäische Abfallrahmenrichtlinie in nationales Recht überführt, eine praktikable Regelung im Zusammenhang mit der Bestimmung der Hochwertigkeit einer Verwertungsmaßnahme. Gemäß § 8 Absatz 3 KrWG ist eine energetische Verwertung der stofflichen Verwertung gleichrangig, wenn der Heizwert des einzelnen Abfalls mindestens 11 MJ/kg beträgt. Diese Regelung war und ist für die Zementhersteller hilfreich, da die verwerteten Ersatzbrennstoffe üblicherweise deutlich höhere Heizwerte aufweisen. Insofern ist bisher für die Verwertung dieser Stoffe kein weiterer Nachweis der Hochwertigkeit im Zusammenhang mit der fünfstufigen Abfallhierarchie erforderlich.

Im KrWG ist allerdings auch hinterlegt, dass dieses Heizwertkriterium bis zum 31.12.2016 auf seine möglichen Auswirkungen auf die Umsetzung der Abfallhierarchie zu prüfen sei. Außerdem hat die europäische Kommission im Februar 2014 ein Vertragsverletzungsverfahren gegen die Bundesrepublik Deutschland wegen einer angeblich nicht sachgerechten Umsetzung der europäischen Abfallhierarchie in diesem Zusammenhang eingeleitet.

Der Ausgang dieses Verfahrens ist ebenso wie das mögliche weitere Vorgehen des deutschen Gesetzgebers aktuell noch völlig offen. Im Mai 2015 ist durch das Umweltbundesamt eine Studie an ein externes Institut vergeben worden, die die möglichen Auswirkungen eines Wegfalls des Heizwertkriteriums aus § 8 Absatz 3 KrWG auf die nationale Abfallwirtschaft untersuchen soll. Die Laufzeit dieser Studie ist auf sechs Monate ausgelegt, so dass frühestens zum Ende des Jahres 2015 mit ersten Ergebnissen zu rechnen sein wird. Es ist weiterhin davon auszugehen, dass im Laufe des Jahres 2016 durch den Verordnungsgeber entschieden werden wird, wie zukünftig die Hochwertigkeit einer Verwertungsmaßnahme im Sinne der fünfstufigen Abfallhierarchie zu bewerten ist.

1.3.5 Nachhaltiges Bauen ■

In einer nachhaltigen Entwicklung werden die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation zufrieden gestellt, ohne die Lebenschancen künftiger Generationen zu gefährden. Diesem Leitbild folgt das Bauwesen, wenn funktionsgerechte Bauwerke mit geringen Kosten und geringen Belastungen für die Umwelt erstellt und dauerhaft genutzt werden.

Normung zum Nachhaltigen Bauen

Die europäische Normungsorganisation CEN hat in den letzten Jahren im Technischen Komitee CEN/TC 350 „Nachhaltigkeit von Bauwerken“ Normen zur Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken erarbeitet. Über die internationale Zusammenarbeit mit dem CEMBUREAU war der VDZ an der Entwicklung dieser Normen beteiligt.

In eine Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden nach den von CEN/TC 350 entwickelten Normen werden alle drei Dimensionen

Comparison measurements conducted by the research institute show that more than 70 % of the total organic carbon content measured can be identified by way of FTIR measurements (Fig. 1.3.3-5). Merely 10 to 20 % of the total remains unknown. Accordingly more than 60 % of organic emissions are caused by C₁/C₂ compounds such as methane and ethane. Other components, for example benzene or formaldehyde, usually only occur to a far lesser extent. Longer-chain organic hydrocarbons only account for less than 1 % of the total organic compound content.

1.3.4 Waste disposal law ■

Another current development in German environment legislation is of particular significance with regard to the recovery of energy from waste. To date, the German Waste Management Act (KrWG), which transforms the European waste framework directive into national law, contains a practicable ruling with respect to the prioritisation of recovery measures. § 8 para. 3 KrWG gives equal priority to energy recovery and material recycling if the waste material concerned has a calorific value of at least 11 MJ/kg. This stipulation was and remains helpful for cement manufacturers, as the replacement fuels used tend to have far higher calorific values. Consequently no further verification of prioritisation has so far been required for the utilisation of these substances in connection with the five-step waste hierarchy.

The German Waste Management Act does however also stipulate that this calorific value criterion must be checked by 31 December 2016 as to its possible effects on implementation of the waste hierarchy. Furthermore, the European Commission initiated infringement proceedings in February 2014 against the Federal Republic of Germany in this context for allegedly not implementing the European waste hierarchy in the correct manner.

Neither the outcome of these proceedings nor possible further action on the part of the German lawmakers are foreseeable at present. In May 2015 the Federal Office for the Environment commissioned an external institute to study the possible consequences for national waste management if the calorific value criterion were to be taken out of § 8 para. 3 KrWG. This study is scheduled to run for six months and so first results cannot be expected before the end of 2015 at the earliest. It is also to be assumed that a decision will be taken by the regulator in the course of 2016 as to how the prioritisation of a recovery measure is to be assessed in future on the basis of the five-step waste hierarchy.

1.3.5 Sustainable construction ■

Sustainable development meets the needs of the current generation, without compromising the opportunities of future generations. For the building trade, this principle means constructing functional low-cost structures with little impact on the environment for long-term use.

Standardisation for sustainable construction

Over the past few years, the technical committee CEN/TC 350 “Sustainability of construction works” of the European Standardisation Organisation CEN has drawn up standards for assessing the sustainability of structures. VDZ was involved in the development of these standards in the form of international cooperation with CEMBUREAU.

An assessment of the sustainability of buildings according to the standards developed by CEN/TC 350 includes all three dimen-

der Nachhaltigkeit (umweltbezogen, sozial und ökonomisch) einbezogen, dabei ist der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes zu betrachten. Technische und funktionale Anforderungen an ein Gebäude sind in der Regel vor einer Nachhaltigkeitsbewertung zu definieren, da sie das Ergebnis der Bewertung beeinflussen. Einige der hierbei relevanten Eigenschaften (Brandschutz, Schallschutz etc.) werden auch bei der Bewertung der sozialen Qualität eines Gebäudes berücksichtigt. In den sogenannten Rahmendokumenten werden allgemeine Grundsätze sowie Indikatoren für die Bewertung der umweltbezogenen, sozialen und ökonomischen Qualität definiert, während Bewertungsnormen die Methoden zur Bewertung dieser Indikatoren vorgeben. Für die umweltbezogene Qualität wurden darüber hinaus Normen entwickelt, nach denen Bauprodukthersteller Umweltinformationen zu ihren Produkten zur Verfügung stellen sollen, damit diese für eine Nachhaltigkeitsbewertung auf Gebäudeebene herangezogen werden können (siehe folgender Abschnitt „Umweltproduktdeklarationen“). Vergleiche hinsichtlich der Nachhaltigkeit sind auf Produktebene nicht sinnvoll, sondern können nur auf der Ebene eines „funktionellen Äquivalents“, also eines Gebäudes oder Gebäudeteils erfolgen.

Die von CEN/TC 350 entwickelten Normen enthalten keine Mindestanforderungen an die Nachhaltigkeit von Gebäuden, sondern geben nur die zu untersuchenden Indikatoren sowie die Bewertungsmethoden vor. Auf Angaben zur Beurteilung des Bewertungsergebnisses oder eine Vorgabe von Benchmarks, Leistungsklassen o. ä. wird bewusst verzichtet. Eine solche Beurteilung kann auf nationaler Ebene bei der Nachhaltigkeitszertifizierung von Bauwerken erfolgen, liegt aber außerhalb des Anwendungsbereichs der in CEN/TC 350 entwickelten Normen.

Derzeit werden ergänzend zu den Normen für die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden auch entsprechende europäische Regelungen für Ingenieurbauwerke entwickelt. Der VDZ begleitet diese Normungsaktivitäten aktiv. Ein entscheidender Unterschied zur Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden besteht darin, dass der „Einflussbereich“ eines Ingenieurbauwerks, und damit der zu bewertende Bereich häufig wesentlich weiter gefasst werden muss als bei einem Gebäude. So beeinflusst z. B. der Bau einer Brücke oder eines Tunnels den Verkehr in ganzen Regionen, während sich die Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden in der Regel auf das Gebäude selbst und sein Grundstück beschränkt. Des Weiteren werden andere Indikatoren als bei Gebäuden für die Nachhaltigkeitsbewertung definiert werden.

Eine wichtige vom CEN/TC 350 erarbeitete Norm ist die EN 15804. Diese Norm enthält Regelungen für die Erarbeitung von Ökobilanzen und Umweltproduktdeklarationen von Bauprodukten. Da die EN 15804 für alle Bauprodukte gilt, sind die Regelungen z. T. recht allgemein gehalten und lassen einigen Interpretationsspielraum zu. Das „Guidance Document for EN 15804“, welches derzeit erarbeitet wird, soll die Regelungen in EN 15804 erläutern und konkretisieren. Im Zuge der Erarbeitung des Guidance Documents zeigt sich, dass die Vertreter verschiedener Baustoffe einige Bereiche der EN 15804 anders interpretieren. Bei der Ökobilanzierung von Zement besteht z. B. keine generelle Einigkeit darüber, wie die Umweltlasten der Herstellung von Hochofenschlacke als Nebenprodukt des Hochofenprozesses rechnerisch zu berücksichtigen sind. Des Weiteren wird strittig diskutiert, wie die Emissionen, die bei der Verbrennung von Abfällen bei der Herstellung von Produkten wie Zement entstehen, in Ökobilanzen auszuweisen sind. Das „Guidance Document for EN 15804“ soll Anfang 2016 als Technical Report (TR) erscheinen.

sions of sustainability (environmental, social and economic) and considers the entire life cycle of a building. As they influence the result of the assessment, technical and functional requirements for a building are generally to be defined prior to sustainability assessment. Some of the relevant properties (fire protection, noise control, etc.) are also considered when assessing the social quality of a building. The so-called framework documents define general principles and indicators for the assessment of environmental, social and economic quality, whereas evaluation standards specify the methods for assessing these indicators. Standards have also been developed for environmental quality which require the producers of construction products to provide environmental information on their products which can then be used for sustainability assessment at building level (see the following section “Environmental product declarations”). Sustainability comparisons are not meaningful at product level. They can only be made at the level of a “functional equivalent”, in other words a building or part of a building.

The standards developed by CEN/TC 350 do not contain any minimum requirements for the sustainability of buildings, but merely specify the indicators to be investigated and the assessment methods. They deliberately do not contain any information on assessment of the evaluation results and do not specify benchmarks, performance classes, etc. This type of assessment can take place at national level for the sustainability certification of structures, but is not within the scope of the standards developed by CEN/TC 350.

In addition to the standards for the sustainability assessment of buildings, corresponding European regulations are currently also being developed for civil engineering work. VDZ is actively accompanying these standardisation activities. One crucial difference in comparison with sustainability assessment for buildings is that the “area of influence” of civil engineering work and thus the scope of assessment often have to be far more broadly defined than for a building. For example, the construction of a bridge or tunnel affects traffic in entire regions, whereas the sustainability assessment of buildings is generally restricted to the building itself and the property on which it stands. In addition, different indicators are defined for sustainability assessment than for buildings.

An important standard drawn up by CEN/TC 350 is EN 15804. This standard contains stipulations for the production of eco-balances and environmental product declarations for construction products. As EN 15804 applies to all construction products, some of the regulations are of a very general nature and allow a certain amount of scope for interpretation. The “Guidance for the implementation of EN 15804”, which is currently being compiled, is intended to explain and specify the regulations in EN 15804. In the course of work on the Guidance it has become apparent that various representatives from the construction material trade put a different interpretation on certain aspects of EN 15804. In terms of the life cycle assessment of cement for example, there is no general consensus on how to include the environmental impact of the production of blast furnace slags as a by-product of the blast furnace process in calculations. There is also disagreement on how to account for the emissions generated by the combustion of waste in the manufacture of products such as cement in Life Cycle Assessment. Publication of the “Guidance for the implementation of EN 15804” in the form of a Technical Report (TR) is planned for early 2016.

Umweltproduktdeklarationen von Zement und Beton

Zur Beurteilung der umweltbezogenen Nachhaltigkeit eines Bauwerks werden quantifizierte Umweltinformationen über die eingesetzten Bauprodukte benötigt. Das standardisierte Format, mit dem diese Informationen kommuniziert werden sollen, ist die so genannte Umweltproduktdeklaration (Environmental Product Declaration EPD). Die Norm EN 15804 gibt Regeln für die Erstellung von EPDs vor. Ziel ist, dass die Produkthersteller verifizierbare und konsistente Daten zur Verfügung stellen, deren Ermittlung für alle Bauprodukte auf vergleichbaren Regeln beruht. Zur Sicherstellung der Glaubwürdigkeit der in Umweltproduktdeklarationen kommunizierten Informationen werden diese durch unabhängige Dritte verifiziert.

Nach der Veröffentlichung einer EPD für einen Zement, dessen Zusammensetzung dem Mittelwert der 2010 in Deutschland hergestellten Zemente entspricht, wurden durch den VDZ im Auftrag des Bundesverbands der deutschen Transportbetonindustrie (BTB) und der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau (fdb) Umweltproduktdeklarationen für Betone verschiedener Festigkeitsklassen erarbeitet. Die umweltrelevanten Produktionsdaten wurden vom BTB und der fdb ermittelt und dem VDZ zur Verfügung gestellt. Zur Berechnung der Ökobilanz eines durchschnittlichen Betons für jede betrachtete Druckfestigkeitsklasse wurden die zunächst Ökobilanzen für Transportbeton und für Fertigteilbeton für die jeweilige Festigkeitsklasse auf Grundlage der Produktionsdaten erstellt. Die Durchschnittsbildung erfolgte anschließend gewichtet nach Produktionsvolumen von Transportbeton und Fertigteilbeton für die jeweilige Festigkeitsklasse.

Die Umweltproduktdeklarationen für Betone wurden im Juli 2013 veröffentlicht und sind auf www.beton.org verfügbar. **Table 1.3.5-1** zeigt eine Auswahl einiger in den EPDs enthaltener Umweltinformationen.

Anfang 2015 veröffentlichte CEMBUREAU Umweltproduktdeklarationen für durchschnittliche europäische CEM I-, CEM II- und CEM III-Zemente. CEMBUREAU-Mitglieder (nationale Zementverbände) und Europäische Zementunternehmen stellten hierzu Hintergrunddaten von bereits auf nationaler Ebene veröffentlichten Umweltproduktdeklarationen für Zement zur Verfügung. Die Datenerfassung und die Erarbeitung der EPDs erfolgten durch VDZ/ECRA im Auftrag von CEMBUREAU.

Die EPDs stehen auf den CEMBUREAU-Webseiten zum Download zur Verfügung.

Environmental product declarations for cement and concrete

Quantified environmental information on the construction products used is required in order to assess the environmental sustainability of a structure. The standardised format for the presentation of this information is the so-called Environmental Product Declaration (EPD). The standard EN 15804 specifies rules for the production of EPDs. The aim is that producers should provide verifiable and consistent data determined on the basis of comparable rules for all construction products. The environmental product declarations are verified by independent third parties to ensure the credibility of the information contained in them.

Following the publication of an EPD for a cement with a composition corresponding to the mean value of the cements produced in Germany in 2010, VDZ drew up environmental product declarations for concretes of various strength classes on behalf of the German Ready-Mixed Concrete Association (BTB) and the German Association for Precast Concrete Construction (fdb). The production data of relevance to the environment were determined by the BTB and fdb and made available to VDZ. For calculation of the Life Cycle Assessment of an average concrete for each compressive strength class under consideration, Life Cycle Assessments were first produced for ready-mixed concrete and precast concrete for the corresponding strength class on the basis of the production data. The average was then formed for each strength class, weighted according to the production volume of ready-mixed concrete and precast concrete.

The environmental product declarations for concretes were published in July 2013 and are available at www.beton.org. **Table 1.3.5-1** shows a selection of some of the environmental information contained in the EPDs.

CEMBUREAU published environmental product declarations for average European CEM I, CEM II and CEM III cements at the start of 2015. For this purpose CEMBUREAU members (national cement associations) and European cement companies provided background data from environmental product declarations for cement already published at national level. The data were gathered and the EPDs compiled by VDZ/ECRA on behalf of CEMBUREAU.

The EPDs are available for download on the CEMBUREAU websites.

Table 1.3.5-1 Ausgewählte Indikatoren zur Messung der Umweltwirkungen der Herstellung von Beton verschiedener Festigkeitsklassen (je m³ Beton)
Table 1.3.5-1 Selected indicators in order to measure environmental effects of producing concrete with different strengths (per m³ concrete)

| Parameter / Parameters | Einheit / Unit | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 | C 35/45 | C 45/55 | C 50/60 |
|--|---|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Globales Erwärmungspotenzial ¹⁾ / Global warming potential ¹⁾ | [kg CO ₂ -Äq. / kg CO ₂ -eq.] | 190,71 | 211,11 | 231,91 | 265,11 | 313,31 | 334,71 |
| Versauerungspotenzial von Boden und Wasser / Acidification potential of soil and water | [kg SO ₂ -Äq. / kg SO ₂ -eq.] | 0,273 | 0,297 | 0,323 | 0,364 | 0,42 | 0,451 |
| Nicht erneuerbare Primärenergie / Non-renewable primary energy | [MJ] | 846 | 909 | 984 | 1 116,00 | 1 350,00 | 1 418,00 |

¹⁾ Hierin enthalten ist ein Anteil aus der Verbrennung von Abfällen bei der Herstellung von Zementklinker. Nach dem Verursacherprinzip (EN 15804) wären diese dem Produktsystem zuzuordnen, das den Abfall verursacht hat. Innerhalb dieser EPD wird jedoch von einer Subtraktion dieses Anteils abgesehen. So soll über Ländergrenzen hinweg die Vergleichbarkeit von berechneten Treibhauspotenzialen auch dann sichergestellt werden, falls die bei der Klinkerherstellung eingesetzten alternativen Brennstoffe in anderen Ländern keinen Abfallstatus haben sollten.
This includes a share from burning wastes when producing cement clinker. According to the „polluter-pays principle“ (EN 15804) this share should be assigned to the product system which caused the waste. Inside of this EPD the subtraction of this share is put aside. It intends to guarantee the comparability of calculated global warming potentials across country boundaries, even if in some countries the applied alternative fuels to produce clinker do not have a status as waste.

1.4 Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz / Occupational health and safety

1.4.1 Arbeitssicherheit ■

Kontinuierliche Sicherheitsarbeit

Die Verbesserung der Arbeitssicherheit in den Werken der Zementindustrie gehört zu den satzungsgemäßen Aufgaben des VDZ. Seit über 50 Jahren leistet der Arbeitskreis „Arbeitssicherheit“ hierfür einen wichtigen Beitrag. Zu seinen Aufgaben gehören neben der Analyse des Unfallgeschehens in den Mitgliedswerken und der Aufnahme der Unfallzahlen auch die Erarbeitung und Empfehlung von Maßnahmen zur Verbesserung der Arbeitssicherheit. Diese werden, unterstützt durch die Sicherheits-Merkblätter und Sicherheits-Prüflisten, in den Werken umgesetzt. Gemeinsames Ziel ist einerseits die Einrichtung sicherer Arbeitsplätze und Arbeitsmittel und andererseits eine nachhaltige Stärkung des Sicherheitsbewusstseins der Mitarbeiter.

Die Entwicklung der Unfallhäufigkeitsrate (= Unfälle je 1 Mio. verfahrenere Arbeitsstunden) zeigt, dass die Sicherheitsarbeit der Werke zusammen mit dem VDZ zu einer kontinuierlichen Verbesserung über die Jahre geführt hat. Für das Berichtsjahr 2014 wurde der niedrigste Stand seit Beginn der Aufzeichnungen erfasst. **Bild 1.4.1-1** stellt den Verlauf der Unfallhäufigkeitsrate ab 1970 nach der Definition der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) und ab 2007 zusätzlich den Verlauf der verschärften Beurteilung für den VDZ-Sicherheitswettbewerb dar.

VDZ-Unfallstatistik

Seit 1965 werden die Zahlen der meldepflichtigen Betriebs- und Wegeunfälle in den deutschen Mitgliedswerken des VDZ jährlich erhoben, ausgewertet und in der Unfallstatistik zusammengefasst.

Die wichtigsten Ergebnisse und Kennzahlen der Unfallstatistik aus den Jahren 2011 bis 2014 sind in **Tabelle 1.4.1-1** aufgeführt. Bis zum Jahr 2008 galt ein Werk solange als unfallfrei, wie ein Mitarbeiter nicht länger als drei Arbeitstage aufgrund einer Verletzung dem Betrieb fernblieb. Ab 2008 wurde dieses Kriterium verschärft, sodass ein Unfall bereits ab einem Ausfalltag in die Wertung mit eingeht. Dies bezieht sich auf den ersten Arbeitstag bzw. die erste geplante Schicht nach dem Unfallereignis. Dies entspricht der CSI-Definition des „Lost time incident“ (LTI).

Seit 2011 ist die Belegschaft in den Werken geringfügig angestiegen (4,5 %). Die Gesamtzementproduktion ging leicht von 33,5 Mio. t auf 32,1 Mio. t zurück. Bei gleichzeitigem Anstieg an

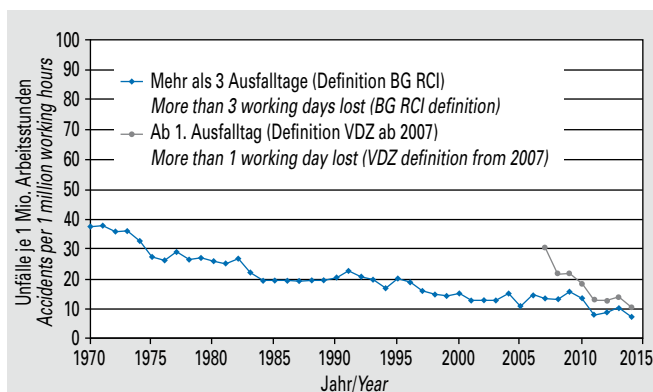


Bild 1.4.1-1 Unfallhäufigkeitsrate für meldepflichtige Unfälle
Fig. 1.4.1-1 Accident frequency rate for reportable accidents

1.4.1 Safety at work ■

Continual safety work

The improvement of safety at work in cement industry works is one of the statutory duties of VDZ. The “safety at work” working group has been making an important contribution to this for over 50 years. Alongside analysing the circumstances surrounding accidents in member works and recording accident statistics, its tasks include developing and recommending measures for improving safety at work. Supported by safety codes of practice and safety check lists, these are then implemented in the works. The common goal is, on the one hand, to set up safe workplaces and equipment and, on the other, to sustainably increase the workforce’s awareness of safety.

The development of the accident frequency rate (= accidents per 1 million working hours completed) shows that the works’ safety work with VDZ has led to continual improvement over the years. The lowest level since records began was reported in 2014. **Fig. 1.4.1-1** shows the course of the accident frequency rate according to the definition of the Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (Professional Association for Raw Materials and the Chemical Industry, BG RCI) from 1970, as well as the course of the stricter assessment for the VDZ safety competition from 2007.

VDZ accident statistics

The reportable occupational and commuting accidents in VDZ’s German member works have been recorded, evaluated and included in the statistics annually since 1965.

The most important results and accident statistics figures from 2011 to 2014 are summarised in **Table 1.4.1-1**. Up until 2008, a works was considered accident-free as long as no employee was away from work for longer than three working days due to an injury. This criterion was tightened up from 2008, meaning that an accident is included in the evaluation from one day of absence. This refers to the first working day or first planned shift after the accident, and corresponds to the CSI definition for a “lost time incident” (LTI).

The works’ workforce has increased slightly since 2011 (4.5 %). Overall cement production decreased slightly from 33.5 million t to 32.1 million t. With a simultaneous increase in working hours



Bild 1.4.1-2 Sieger des VDZ-Arbeitssicherheitswettbewerbes 2013
Fig. 1.4.1-2 Awarding the winners of the occupational safety competition for 2013

Tabelle 1.4.1-1 Unfallkennzahlen für die Belegschaft im Betrieb der VDZ-Mitgliedswerke in den Jahren 2011 bis 2014**Table 1.4.1-1** Accident figures for the workforce in the VDZ member works from 2011 to 2014

| Jahr/Year | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Anzahl der erfassten Werke / Number of works | 44 | 46 | 46 | 47 |
| Zementproduktion in Mio. t / Cement production in millions of tonnes | 33,5 | 32,4 | 31,5 | 32,1 |
| Belegschaft im Betrieb / Workforce | | | | |
| Anzahl der Arbeitnehmer / Number of employees | 5093 | 5182 | 5318 | 5562 |
| Geleistete Arbeitsstunden / Hours worked | 8283691 | 8301503 | 8401011 | 8883495 |
| Produktionsbezogener Lohnstundenaufwand in h/t / Production-related wage hour expense in h/t | 0,25 | 0,26 | 0,27 | 0,28 |
| Meldepflichtige Betriebsunfälle / Reportable industrial accidents | 67 | 73 | 87 | 66 |
| Betriebsunfälle gesamt (einschließlich nicht meldepflichtiger Betriebsunfälle / Total industrial accidents (including non-reportable accidents) | 107 | 107 | 118 | 94 |
| Unfallhäufigkeitsrate (Definition bis 2007, meldepflichtige Unfälle je 1 Mio. Arbeitsstunden) / Accident frequency rate (definition until 2007, reportable accidents per 1 million working hours) | 8,1 | 8,8 | 10,4 | 7,4 |
| Unfallhäufigkeitsrate (Definition ab 2008, gesamte Betriebsunfälle je 1 Mio. Arbeitsstunden) / Accident frequency rate (definition from 2008, total industrial accidents per 1 million working hours) | 12,9 | 12,9 | 14,1 | 10,6 |
| Kalenderausfalltage durch Betriebsunfälle / Calendar days lost due to industrial accidents | 1668 | 2222 | 2186 | 2419 |
| Ausgefallene Arbeitstage je Arbeitnehmer / Work days lost per employee | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Kalenderausfalltage je Betriebsunfall / Calendar days lost per industrial accident | 15,6 | 20,8 | 18,5 | 25,7 |
| 100-Mann-Quote (alte Definition, meldepflichtige Unfälle je 100 Arbeitnehmer) / 100-person ratio (old definition, reportable accidents per 100 employees) | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,2 |
| 100-Mann-Quote (neue Definition, gesamte Betriebsunfälle je 100 Arbeitnehmer) / 100-person ratio (new definition, total industrial accidents per 100 employees) | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 1,7 |

geleisteten Arbeitsstunden stieg somit der produktionsbezogene Arbeitsaufwand von 0,25 h/t auf 0,28 h/t an. Im Jahr 2013 stieg die Zahl der gemeldeten Unfälle von 107 in den beiden Vorjahren auf 118 an, worauf diese im Jahr 2014 wieder auf 94 absank. Dementsprechend hat sich auch die mittlere Unfallhäufigkeitsrate entwickelt und liegt im Jahr 2014 mit 10,6 Unfällen je 1 Mio. Arbeitsstunden auf dem bisher niedrigsten Wert. Einen ähnlichen Verlauf zeigen auch die Unfälle gemäß BG-Kriterium, die im Mittel einen Anteil von ca. 70 % des Unfallgeschehens ausmachen.

Die durchschnittliche Zahl an Kalenderausfalltagen verursacht durch Betriebsunfälle lag zwischen 15,6 und 25,7 mit steigender Tendenz. Im Vergleich zu den Vorjahren 2004 bis 2011 stellt dies eine Erhöhung von ca. 26 % dar. Die wirtschaftliche Bedeutung der Betriebsunfälle lässt sich dabei mithilfe des Jahresleistungsausfalls beurteilen. Diese Kennzahl gibt die durch Betriebsunfälle verursachte Zahl der Kalenderausfalltage bezogen auf die Zahl der Mitarbeiter im Betrieb an. Der mittlere Jahresausfall ist von 0,3 im Jahr 2011 leicht angestiegen und hat sich in den Folgejahren bei einem Wert von 0,4 eingependelt. Ein weiteres Kriterium stellt die 100-Mann-Quote dar. Dies ist die Zahl der Betriebsunfälle bezogen auf 100 Mitarbeiter im Betrieb. Nach den neuen Kriterien hat sich diese nach einer stärkeren Abnahme in den Vorjahren im Zeitraum von 2011 bis 2014 bei etwa zwei Unfällen pro 100 Mitarbeiter eingependelt.

Bild 1.4.1-2 zeigt die Preisträger des VDZ-Arbeitssicherheitswettbewerbes 2013 nach der Verleihung im September 2014. Die Auszeichnung, die seit über 30 Jahren vom VDZ vergeben wird, besteht für Klinkerwerke aus einer Tafel mit dem Symbol für Arbeitssicherheit des VDZ und der Aufschrift „Sicher arbeiten VDZ“. Sie ist Ausdruck der Anerkennung der Bemühungen von Leitung und Belegschaft des Werkes um die Arbeitssicherheit.

worked, this meant an increase in the production-related workflow from 0.25 h/t to 0.28 h/t. In 2013, the number of reported accidents increased to 118 from 107 in the two previous years, dropping again to 94 in 2014. The mean accident frequency rate has developed correspondingly, and was at the lowest level ever in 2014, with 10.6 accidents per 1 million working hours. Accidents according to the BG criterion show a similar course, making up a proportion of approx. 70 % of accidents on average.

The average number of calendar days lost due to occupational accidents was between 15.6 and 25.7, and increasing. This represents an increase of approx. 26 % as compared with the previous years of 2004 to 2011. The economic impact of occupational accidents can be evaluated using the annual loss of production. This figure shows the number of calendar days lost due to occupational accidents with regard to the number of employees. The mean annual loss increased slightly from 0.3 in the year 2011, and levelled off at 0.4 over the subsequent years. Another criterion is the 100-person quota. This is the number of occupational accidents per 100 employees in a company. According to the new criteria, this levelled off at around two accidents per 100 employees in the period from 2011 to 2014, after a considerable decrease in the years before.

Fig. 1.4.1-2 shows the prize winners of the 2013 VDZ Safety at Work Competition after the prize-giving in September 2014. For clinker works, the prize – which VDZ has been awarding for over 30 years – is a plaque featuring VDZ’s symbol for safety at work and the words “Safe working with VDZ”. It is a symbol of recognition of the efforts by work management and employees to ensure safety at work. In 2013, 13 clinker works and 7 grinding plants were distinguished for their accident-free operation.

Für das Jahr 2013 wurden 13 Klinkerwerke und 7 Mahlwerke für unfallfreie Arbeit ausgezeichnet.

VDZ-Sicherheitsmerkbblätter

Zur Förderung der Arbeitssicherheit werden pro Jahr drei Sicherheits-Merkblätter mit der Beschreibung besonders bemerkenswerter Unfälle oder Thematiken sowie drei Sicherheits-Prüflisten für die Überprüfung von Sicherheitseinrichtungen und Maßnahmen in verschiedenen Arbeitsbereichen veröffentlicht. Die Dokumente dienen als Arbeitshilfe für die Praxis und werden von Sicherheitsfachkräften und Industriemeistern eingesetzt. Auf diese Weise werden die Mitarbeiter kontinuierlich auf verschiedenste Gefahren hingewiesen. Zu den Themen der vergangenen Jahre zählten unter anderem der Umgang mit Trennschleifern, der Umsturz eines LKWs während des Abkippvorgangs, die Beschädigung einer Starkstromleitung bei Erdarbeiten sowie Verletzungen durch frei werdende Restenergien.

Seminare

Die Entwicklung der Unfallzahlen zeigt, dass kontinuierlich am Umgang mit Gefahren und dem Verhalten am Arbeitsplatz gearbeitet wird. Die Motivation der Mitarbeiter und besonders des Führungspersonals spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grund führt der VDZ in Zusammenarbeit mit der BG RCI seit 1993 regelmäßig Seminare für Meister und Vorarbeiter durch. Die Seminare dauern jeweils zwei Tage und werden in Gruppen zu 15 bis 20 Teilnehmern außerhalb der Betriebe von Seminarleitern der BG organisiert und durchgeführt.

Während in den vergangenen Jahren schwerpunktmäßig zement-spezifische Themen wie der Umgang mit Heißmehl und der Einsatz alternativer Brennstoffe im Vordergrund standen, werden ab dem Jahr 2015 neue Impulse gegeben. Die neuen Inhalte basieren auf einer Ausbildungsserie des Bundesverbandes Mineralische Rohstoffe e.V. (MIRO). Im Besonderen sollen die Themen Instandhaltung, plötzliche Störungen und Arbeitsorganisation behandelt werden. Weitere Inhalte stellen die Gesundheit des Rückens und die arbeitsmedizinische Versorgung dar.

1.4.2 Produktbezogener Arbeits- und Gesundheitsschutz ■

Allgemeiner Staubgrenzwert und geänderte TRGS 900

Im April 2014 wurden die Technischen Regeln für Gefahrstoffe 900 (TRGS 900) „Arbeitsplatzgrenzwerte“ aktualisiert. Für die Zement- und Baustoffindustrie sind im Wesentlichen zwei Änderungen relevant. Zum einen wurde die alveolengängige Fraktion des allgemeinen Staubgrenzwertes (A-Fraktion) von 3 mg/m^3 auf $1,25 \text{ mg/m}^3$ verringert. Zum anderen wurde der bisher geltende Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) für Portlandzement von 5 mg/m^3 (einatembare Fraktion) gestrichen. Allerdings strebt der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) auf Basis einer Empfehlung der MAK (Maximale Arbeitsplatzkonzentration)-Kommission eine Neufestlegung des AGW für Portlandzementstaub in Höhe von 1 mg/m^3 (einatembare Fraktion) an. Für den VDZ ist eine solche Verschärfung des Grenzwertes nicht nachvollziehbar. Es wurde daher Kontakt mit der zuständigen Arbeitsgruppe UAIII aufgenommen und um eine Erörterung des Themas unter Berücksichtigung von Studienergebnissen gebeten, die während der letzten Jahre auf Initiative der europäischen Zementindustrie durchgeführt wurden.

CEMBUREAU-Studien

Gemeinsam mit unabhängigen und renommierten Instituten wurden zwischen 2006 und 2014 mehrere Studien zu den möglichen

VDZ safety codes of practice

In order to promote safety at work, three safety codes of practice describing particularly notable accidents or topics and three safety check lists for checking safety equipment and measures in various areas are published each year. The documents serve as a practical aid and are used by safety managers and plant supervisors. They allow a variety of hazards to be brought to the workforce's attention on a continual basis. The topics over the last few years have included handling angle grinders, lorry toppling during tipping procedures, damage to power lines during groundwork and injuries caused by released residual energy.

Seminars

The development of the accident statistics shows that work is continually being done on handling of hazards and behaviour in the workplace. The motivation of the workforce, and particularly the managers, plays a decisive role. It is for this reason that VDZ has been carrying out regular seminars for plant supervisors and foremen since 1993, in collaboration with the BG RCI. The seminars each take two days and are organised and executed outside the operations by BG RCI seminar leaders in groups of 15 to 20 participants.

Whilst the focus has been on cement-specific topics such as use of hot meal and use of alternative fuels over the past few years, as from 2015 there will be new material. The new content will be based on a training series from the Bundesverband Mineralische Rohstoffe e.V. (Federal Association for Mineral Raw Materials, MIRO), and will particularly deal with the topics of servicing, sudden malfunctions and work organisation. Other content includes back health and occupational healthcare.

1.4.2 Product-related occupational health and safety ■

General limit value for dust and modifications to TRGS 900

The Technical Rule for Hazardous Substances 900 (TRGS 900) "Occupational Exposure limits" was updated in April 2014. There are essentially two modifications that are relevant for the cement and building products industry. First, the respirable fraction of the general limit value for dust (A fraction) has been reduced from 3 mg/m^3 to 1.25 mg/m^3 . Second, the previous workplace limit value (OEL) for Portland cement of 5 mg/m^3 (inhalable fraction) has been removed. However, the Committee on Hazardous Substances (AGS) is calling for a redefinition of the OEL for Portland cement dust to 1 mg/m^3 (inhalable fraction) based on a recommendation from the MAK (maximum workplace concentration) commission. VDZ believes such a tightening of the limit value to be unreasonable. It made contact with the responsible task group UAIII and asked it to consider the matter taking into account results of studies carried out over recent years at the initiative of the European cement industry.

CEMBUREAU studies

Together with independent and renowned institutes, several studies were carried out between 2006 and 2014 regarding the possible health effects of cement dust in persons exposed to it as part of their job. Specifically, these were:

- 1) Literature study
- 2) Mortality study in France
- 3) Toxicological in vitro study

gesundheitlichen Auswirkungen von Zementstaub bei beruflich exponierten Personen durchgeführt. Im Einzelnen waren dies:

- 1) Literaturstudie
- 2) Mortalitätsstudie in Frankreich
- 3) Toxikologische In-vitro-Studie
- 4) Epidemiologische Langzeitstudie
- 5) Fallstudie zur Zementstaubexposition auf einer Baustelle

Die Studie zur Genotoxizität und Mutagenität von Zement wurde in mehreren deutschen Universitätsinstituten zuerst an standardisierten Zelltests und anschließend an menschlichen Kehlkopfzellen durchgeführt. Untersucht wurden dabei verschiedene Zementtypen sowie Quarz und Aluminiumdioxid als Referenzsubstanzen. Die sehr umfangreiche epidemiologische Studie wurde durch das „Norwegian Institute of Occupational Health (NIOH)“ in 24 Zementwerken aus 8 Ländern mit über 4000 Beschäftigten durchgeführt. In drei Phasen, mit Abständen von jeweils 2 Jahren, wurden die Beschäftigten arbeitsmedizinisch untersucht, wobei Lungenfunktionsprüfungen im Mittelpunkt standen. Parallel dazu wurden an allen Arbeitsplätzen auch die vorhandenen Staubexpositionen gemessen.

Nach Beendigung der Studien wurden die Ergebnisse gemeinsam mit anderen in der Literatur verfügbaren Daten durch Wissenschaftler der unabhängigen Organisation GreenFacts ausgewertet und wie folgt zusammengefasst: Ein längerer Hautkontakt kann zu Hautreizungen und in einzelnen Fällen auch zu allergischen Reaktionen führen. Das Einatmen von Zementstaub kann Atembeschwerden verursachen, die von der Art des Staubes, der Höhe und der Dauer der Exposition abhängen. Daher dient geeignete Schutzausrüstung dem Schutz der Beschäftigten vor potenziellen Gesundheitsgefahren. Es wurden jedoch keine belastbaren Belege für ein erhöhtes Krebsrisiko durch Zement gefunden. Um gesundheitliche Risiken am Arbeitsplatz durch Zementstaub zu vermeiden, werden die Zementunternehmen, ähnlich wie schon bisher beim Thema Quarzfeinstaub, verstärkt darauf achten, dass die sogenannten „best practices“ umgesetzt werden. Für die Mitarbeiter wird es zu diesem Thema spezielle Informationen und Schulungen geben. Dies gilt auch für die richtige Verwendung der persönlichen Schutzausrüstung.

Sicherheitsdatenblätter

Die Sicherheitsdatenblätter für Portlandzementklinker, Prozessstaub (Flue dust) und für Zemente wurden auch 2014 aktualisiert. Zum einen musste der neue allgemeine Staubgrenzwert (A-Fraktion) berücksichtigt werden, zum anderen galt es, auch für Zemente die Einstufung gemäß CLP (Classification, Labelling and Packaging)-Verordnung ins Sicherheitsdatenblatt zu implementieren, da die bisherige EU-Einstufung und Kennzeichnung nur bis 31.05.2015 erlaubt war.

Quarzfeinstaub

2014 fand zum fünften Mal die Berichterstattung zum europäischen Sozialübereinkommen „Quarzfeinstaub“ statt, bei dem es um einen verbesserten Gesundheitsschutz für Arbeitnehmer geht, die Umgang mit Quarzfeinstaub oder quarzfeinstaubhaltigen Produkten haben. Mit der Berichterstattung wird die Umsetzung der im Übereinkommen vereinbarten Maßnahmen in den Unternehmen verfolgt. Die Beteiligungsquote der europäischen und damit auch der deutschen Zementindustrie an der Berichterstattung betrug 100 % und war damit vorbildlich.

- 4) Long-term epidemiological study
- 5) Case study on cement dust exposure at a construction site

The study on genotoxicity and mutagenicity of cement was carried out at several German university institutes, first on standardised cell tests and then on human larynx cells. Various types of cement were investigated, along with quartz and aluminium dioxide as reference substances. The very extensive epidemiological study was carried out by the “Norwegian Institute of Occupational Health (NIOH)“ at 24 cement works in 8 countries, with over 4000 employees. Over three phases, with 2 years between each, the employees underwent occupational health checks with a focus on lung function tests. In parallel to this, the dust exposure at all work stations was measured.

Once the studies were complete, the results were evaluated along with other data available in the literature by scientists from the independent organisation GreenFacts, and summarised as follows: Extended skin contact can lead to skin irritation, and in individual cases, allergic reactions. Breathing in cement dust can cause breathing difficulties, which depend on the type of dust, amount and duration of exposure. Suitable protective equipment can be used to protect employees from potential health hazards. However, no convincing evidence was found of an increased risk of cancer caused by cement. In order to prevent health risks in the workplace caused by cement dust, the cement companies – as in the past with respirable crystalline silica – will focus more closely on ensuring that “best practices” are implemented. There will be special information and training on this topic for employees. This also applies to correct use of personal protective equipment.

Safety data sheets

The safety data sheets for Portland cement clinker, process dust (flue dust) and cement were updated in 2014. First, the new general exposure limit value for dust (A fraction) had to be taken into account; second, it was necessary to also include classification according to the CLP (Classification, Labelling and Packaging) regulation in the safety data sheet for cement, as the previous EU classification and labelling was only permitted up to 31 May 2015.

Respirable crystalline silica

Reporting for the European Social Dialogue Agreement on “crystalline silica” was carried out for the fifth time in 2014; this Agreement focuses on improved health protection for employees that handle respirable crystalline silica or products containing it. The reporting aims to ensure that the measures agreed are implemented within companies. The participation of the European – and therefore the German – cement industry in the reporting was exemplary at 100 %.

1.5 Normen und Regelwerke für Zement und Beton / Standards and regulations on cement and concrete

1.5.1 Weiterentwicklung der Normen für Zement und andere Bindemittel ■

Zementnorm EN 197-1

Im Jahr 2000 wurde die EN 197-1 „Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement“ veröffentlicht und war damit die erste europäisch harmonisierte Norm für ein Bauprodukt. 2011 erschien eine überarbeitete Version, die auch Zemente mit hohem Sulfatwiderstand (sogenannte SR-Zemente) und Hochofenzemente mit niedriger Anfangsfestigkeit (sogenannte L-Zemente) regelt. Obwohl diese Norm noch vergleichsweise „jung“ ist, wird sie bereits wieder überarbeitet, da die seit Juli 2013 vollständig in Kraft getretene Bauproduktenverordnung (siehe Kapitel 1.5.3) Anpassungen formeller Art erforderlich macht. Außerdem hat das zuständige europäische Normungsgremium CEN/TC 51 „Zement und Baukalk“ die Aufnahme weiterer Zementarten in die Norm beschlossen.

Hierbei handelt es sich um Zemente, die die bewährten Hauptbestandteile Klinker, Hüttensand, kieselsäurereiche Flugasche, natürliches Puzzolan und Kalkstein enthalten. Allerdings sollen niedrigere Klinkergehalte als bislang ermöglicht werden. Die neuen Zementarten mit mindestens 50 M.-% Klinker werden als Portlandkompositzemente CEM II/C-M bezeichnet, solche mit weniger als 50 M.-% Klinker als Kompositzement CEM VI. Aus diesem Grund sollen die bisherigen Kompositzemente CEM V in „Hüttensand-Puzzolan-Zemente“ umbenannt werden. **Tabelle 1.5.1-1** gibt einen Überblick über die Zusammensetzung der vorgesehenen neuen Zemente.

Konformitätsbewertung von Zement

2014 wurde die überarbeitete Version der DIN EN 197-2 „Zement – Teil 2: Konformitätsbewertung“ veröffentlicht. Im Vergleich zur Vorgängerversion aus dem Jahr 2000 fanden keine gravierenden inhaltlichen Änderungen statt. Es wurden lediglich einige notwendige Klarstellungen vorgenommen. Beispielsweise enthält die Norm jetzt eine Aussage zur Bewertung der Messunsicherheit von Prüfergebnissen und eine Konkretisierung der Vorgehensweise bei Nichtkonformität der werkseigenen Produktionskontrolle. Parallel zur Revision der EN 197-2 wurden auch die Leitlinien für die Anwendung der Norm überarbeitet und als europäischer Fachbericht CEN/TR 14245 (in Deutschland als DIN SPEC 18098:2014) veröffentlicht.

1.5.1 Evolution of standards on cement and other binders ■

EN 197-1 Cement

Published in the year 2000, EN 197-1 “Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements” was the first harmonised European standard for a construction product. A revised version also regulating cements with a high sulphate resistance (so-called SR cements) and low early strength blast furnace cements (so-called L-cements) appeared in 2011. Although this standard is still relatively new it is already being revised again, as the Construction Products Regulation (refer to Section 1.5.3), which has been fully effective since July 2013, makes certain formal modifications necessary. In addition, the responsible European Committee for Standardization CEN/TC 51 “Cement and building lime” has taken the decision to include further cement types in the standard.

This concerns cements containing the established main constituents clinker, blast furnace slag, siliceous fly ash, natural pozzolana and limestone. Lower clinker contents than used to date are however to be made possible. The new cement types with at least 50 mass % clinker are referred to as Portland composite cements CEM II/C-M, those with less than 50 mass % clinker as composite cement CEM VI. For this reason, the existing composite cements CEM V are to be re-named “Slag pozzolanic cements”. **Table 1.5.1-1** provides a summary of the composition of the planned new cements.

Cement conformity evaluation

The revised version of DIN EN 197-2 “Cement – Part 2: Conformity evaluation” was published in 2014. In this, no major changes were made to the content of the preceding version issued in 2000. It merely contained certain necessary clarifications. For instance, the standard now includes information on evaluation of the measurement uncertainty of test results and specification of the procedure in the event of non-conformity of factory production control. In parallel with revision of EN 197-2, the guidelines for application of the standard were also revised and published as European Technical Report CEN/TR 14245 (in Germany as DIN SPEC 18098:2014).

Tabelle 1.5.1-1 Zusammensetzung der neuen Zemente nach EN 197-1
Table 1.5.1-1 Composition of the new cements according to EN 197-1

| Zementart / Cement type | | | Klinker / Clinker | Hüttensand / Blast furnace slag | Kieselsäurereiche Flugasche / Siliceous fly ash | Natürliches Puzzolan / Natural pozzolana | Kalkstein / Limestone |
|--|------------|--------|-------------------|---------------------------------|---|--|-----------------------|
| | | | K | S | V | P | L/LL |
| Portlandkompositzement / Portland-composite cement | CEM II/C-M | S-L/LL | 50-64 | 16-44 | - | - | 6-20 |
| | | V-L/LL | | - | 16-44 | - | |
| | | P-L/LL | | - | - | 16-44 | - |
| | | S-V | | 16-44 | 6-20 | - | - |
| Kompositzement / Composite cement | CEM VI | S-L/LL | 31-59 | - | - | - | 6-20 |
| | | S-V | | - | 6-20 | - | - |

Hydraulische Tragschichtbinder

Im Juni 2013 erschien die EN 13282-1 „Schnell erhärtende hydraulische Tragschichtbinder“. Die europäische Norm stimmt inhaltlich weitgehend mit der früheren deutschen DIN 18506 überein und hat diese ersetzt. Zeitgleich mit der Produktnorm wurde die EN 13282-3 veröffentlicht, die die Konformitätsbewertung für hydraulische Tragschichtbinder regelt.

Darüber hinaus soll in 2015 die EN 13282-2 „Normal erhärtende hydraulische Tragschichtbinder“ erscheinen. Bei den hier geregelten Bindemitteln sind eine variablere Zusammensetzung und insbesondere höhere Anteile an gebranntem Kalk (CaO) zulässig. Da solche kalkreichen Produkte nicht ohne Weiteres mit den üblichen Prüfverfahren charakterisiert werden können, sieht die

Hydraulic road binders

EN 13282-1 “Rapid hardening hydraulic road binders” appeared in June 2013. The content of the European standard largely corresponds to that of the earlier German standard DIN 18506, which has been superseded. EN 13282-3 regulates the conformity evaluation for hydraulic road binders and was published at the same time as the product standard.

EN 13282-2 “Normally hardening hydraulic road binders” is additionally to appear in 2015. A more variable composition and in particular higher proportions of quicklime (CaO) are permissible for the binders regulated by this standard. As such lime-rich products cannot be directly characterised with the usual test methods,

Tabelle 1.5.1-2 Produktnormen für Zemente und andere hydraulische Bindemittel
Table 1.5.1-2 Product standards for cement and other hydraulic binders

| Norm-Nr. / Standard-No. | Zement/Bindemittel / Cement/Binders | Zement-/Bindemittelart / Cement/Binder type | | Festigkeitsklasse / Strength class | Zusätzliche Klassen / Additional classes | Stand / State |
|-------------------------|---|---|----------------------------|---|--|---|
| | | Anzahl / Number | Bezeichnung / Name | | | |
| EN 197-1 | Normalzemente / Common cements | 27 | CEM I | 32,5 L/N/R | SR, SR 0, SR 3, SR 5 LH (≤ 270 J/g) | 2011, Revision eingeleitet / Revision initiated |
| | CEM II | | 42,5 L/N/R | | | |
| | CEM III | | 52,5 L/N/R | | | |
| | CEM IV | | | | | |
| | CEM V | | | | | |
| EN 14216 | Sonderzement mit sehr niedriger Hydratationswärme / Very low heat special cements | 6 | VLH III VLH IV VLH V | 22,5 | VLH (≤ 220 J/g) | 2004, Entwurfsfassung 2014 / Draft version 2014 |
| EN 14647 | Tonerdezement / High-alumina cement | 1 | CAC | 40 | - | 2005/AC:2006, Revision eingeleitet / Revision initiated |
| EN 15743 | Sulfathüttenzement / Supersulfated cement | 1 | CSS | 32,5 L/N 42,5 L/N 52,5 L/N | - | 2010, Revision eingeleitet / Revision initiated |
| EN 13282-1 | Schnell erhärtende hydraulische Tragschichtbinder / Rapid hardening hydraulic road binders | 1 ¹⁾ | HRB | E 2 E 3 E 4 E 4-RS ²⁾ | RS ²⁾ | 2013, Revision eingeleitet / Revision initiated |
| FprEN 13282-2 | Normal erhärtende hydraulische Tragschichtbinder / Normal hardening hydraulic road binders | 1 ¹⁾ | HRB | N 1 N 2 N 3 N 4 | - | Entwurfsfassung 2014 / Draft version 2014 |
| EN 413-1 | Putz- und Mauerbinder / Masonry cements | 1 | MC | 5 12,5 22,5 | 12,5X und 22,5X (Ohne LP-Mittel / Without air entraining agents) | 2011, Revision eingeleitet / Revision initiated |
| EN 15368 | Hydraulisches Bindemittel für nichttragende Anwendungen / Hydraulic binders for non-structural applications | 1 | HB | 1,5 3 | - | 2008+A1:2010, Revision eingeleitet / Revision initiated |
| EN 459-1 | Baukalk / Building lime | 5 | CL, DL, NHL, FL, HL | 2 3,5 5 | Q, S, S PL, S ML, A, B, C | 2010, Entwurfsfassung 2014 / Draft version 2014 |

¹⁾ Deklaration der Zusammensetzung in vorgegebenen Grenzen / Declaration of composition within given limits

²⁾ RS = Schnell erstarrend / Rapid setting

Tabelle 1.5.1-3 Prüfnormen der Reihe EN 196 für Zement / **Table 1.5.1-3** Test standards of the EN 196 series for cement

| EN 196 Teil / EN 196 part | Inhalt / Content | Stand / State |
|---------------------------|---|---------------|
| 1 | Festigkeit / Strength | 2005 |
| 2 | Chemische Analyse / Chemical analysis | 2013 |
| 3 | Erstarren, Raumbeständigkeit / Setting, soundness | 2005+A1:2008 |
| (4) ¹⁾ | Zusammensetzung / Composition | 2007 |
| 5 | Puzzolanität / Pozzolanicity | 2011 |
| 6 | Mahlfeinheit / Fineness | 2010 |
| 7 | Probenahme / Sampling | 2007 |
| 8, 9 | Hydratationswärme / Heat of hydration | 2010 |
| 10 | Wasserlösliches Chromat / Water-soluble chromate | 2006 |

¹⁾ Veröffentlichung als CEN-Bericht CEN/TR 196-4 / Published as CEN report CEN/TR 196-4

Norm das gezielte Löschen der Kalkkomponente vor den eigentlichen physikalischen Prüfungen vor.

Weitere Bindemittel

In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Normen für Spezialzemente und andere Bindemittel entwickelt. Beispiele hierfür sind Tonerdezemente, die z.B. als Reparaturmörtel eingesetzt werden können. Weitere genormte Bindemittel sind Putz- und Mauerbinder, Sulfathüttenzemente und hydraulische Bindemittel für nichttragende Anwendungen. **Tabelle 1.5.1-2** fasst den derzeitigen Stand der bestehenden Produktnormen für Zemente und andere hydraulische Bindemittel zusammen.

Prüfverfahren

Parallel zu den Produktnormen werden auch die Prüfnormen in regelmäßigen Abständen überarbeitet. **Tabelle 1.5.1-3** gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Prüfverfahren der Reihe EN 196. Nicht einbezogen sind in dieser Darstellung die Performanceprüfverfahren, die von CEN/TC 51 gemeinsam mit CEN/TC 104 „Beton und zugehörige Produkte“ in der Arbeitsgruppe WG 12 „Zusätzliche Leistungskriterien“ entwickelt werden.

1.5.2 Weiterentwicklung der Normen für das Bauen mit Beton ■

Betonnorm EN 206-1/DIN 1045-2

Zement und Beton haben sich seit Jahrzehnten insbesondere deshalb bewährt, weil die Qualitätsüberwachung für Herstellung und Verwendung lückenlos geregelt ist und den Anforderungen an sichere und dauerhafte Bauwerke genügt. In wenigen Anwendungsfällen gibt es Zweifel, ob alle beton- und ausführungstechnisch notwendigen Parameter eindeutig beschrieben und bereits in der Planung angemessen berücksichtigt sind. Vor diesem Hintergrund hatte die Analyse der Stellungnahmen zum Entwurf der DIN 1045-2:2014-08 zum Teil gegensätzliche Sichtweisen von Bauherren, Bauausführenden und Betonherstellern gezeigt.

Die Bauausführenden mahnen für anspruchsvolle Bauteile, Bauverfahren und besondere Betonarten eine bessere Berücksichtigung baustellenrelevanter Betoneigenschaften an. Angesprochen sind z.B. die Entmischungsneigung oder die Bearbeitbarkeit nicht geschalter Flächen. Betroffen hiervon sind u.a. Konstruktionen aus wasserundurchlässigem Beton (WU-Beton) und Industriebetonböden. Die Mehrzahl der üblichen Betone im Hochbau ist hiervon nicht berührt und eine Übertragung zusätzlicher Anforderungen auf diese Bereiche ist aus Sicht der Betonhersteller zu vermeiden. Daraus ergibt sich, dass das bisher formulierte, eher

the standard provides a slaking procedure for the lime component prior to actual physical testing.

Other binders

Over the past years, a series of standards has been developed for special cements and other binders. These include high-alumina cements, which can be used as repair mortar for example. Other standardised binders are masonry cements, supersulphated cements and hydraulic binders for non-structural applications. **Table 1.5.1-2** provides a summary of the current state of the existing product standards for cements and other hydraulic binders.

Test methods

The test standards are also revised at regular intervals in parallel with the product standards. **Table 1.5.1-3** provides an overview of the current state of the test methods of the EN 196 series. This table does not include the performance test methods developed by CEN/TC 51 in conjunction with CEN/TC 104 “Concrete and related products” in the working group WG 12 “Additional performance criteria”.

1.5.2 Evolution of standards on concrete construction ■

EN 206-1/DIN 1045-2 Concrete

Cement and concrete have proved themselves with great success over the past decades, not least thanks to the fact that the quality monitoring processes for production and use are comprehensively regulated and satisfy the requirements for safe and durable structures. For a small number of applications doubts exist as to whether all the necessary concrete and execution parameters were clearly described and given appropriate consideration right from the design stage. Against this background, analysis of the comments on the draft version of DIN 1045-2:2014-08 revealed certain contradictory points of view on the part of building owners, contractors and concrete producers.

Contractors would like to see greater consideration given to concrete properties relevant to the construction site for sophisticated components, construction methods and special types of concrete. This includes segregation sensitivity or the workability of non-formed surfaces for example and affects structures such as those made of impermeable concrete and concrete floors. It does not concern the majority of standard concretes employed in building construction and, in the opinion of the concrete producers, any additional requirements should not be applied to these. The draft

vereinheitlichende Normenkonzept für Beton auf Basis von EN 206-1/DIN 1045-2 an seine Grenzen stößt.

Qualitätskette Betonbau

Im Februar 2014 hatte auf Initiative des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins (DBV) ein Vorstandsgespräch zwischen VDZ und DBV stattgefunden. Daraus folgte die Entscheidung, die Zusammenarbeit hinsichtlich einer differenzierteren Qualitätssicherung bei der Betonherstellung und -verarbeitung zu intensivieren. Ein Konzeptpapier mit dem Titel „Ansätze für eine Weiterentwicklung der Qualitätskette Beton“ wurde erarbeitet, in dem Bauvorhaben bzw. Betonbauteile über definierte Klassen differenziert werden. Je nach Bauteilklasse ergeben sich Maßnahmen für die Betonverwender wie auch die Betonhersteller, z. B. bezüglich der angesprochenen baustellenrelevanten Betoneigenschaften.

Robustheit in der Praxis stärken

Aktuell ist eine Entwicklung zu weichen und leimarmen Betonen festzustellen. Diese begründet sich einerseits durch die zunehmend komplexere Anordnung der Bewehrung (hohe Bewehrungsgrade) und andererseits durch den starken Wettbewerbsdruck der Hersteller. Dadurch gewinnen die Frischbetoneigenschaften unter Baustellenbedingungen zunehmend an Bedeutung (vgl. Bericht zum AiF-Vorhaben zu robusten Betonen in Kapitel 2.4.14). Gemeinsames Ziel von DBV und VDZ ist, Bauherren und Planer in die Lage zu versetzen, die Auswirkungen ihrer Vorgaben auf Baustoff und Bauausführung zu erkennen und durch die eindeutige Zuordnung eines Qualitätsniveaus zu benennen. Auf dieser Basis ließen sich alle qualitätssichernden Maßnahmen entlang der Wertschöpfungskette in Umfang und Wertigkeit beschreiben. So könnte die Interaktion zwischen Konstruktion, Bauprozess und Baustoff (Bild 1.5.2-1) verbessert werden.

Bauteilspezifische Anforderungen

Anlässlich des „Scheiterns“ der Überarbeitung der Betonnorm hat sich der Normenausschuss „Betontechnik“ im Deutschen Institut für Normung (DIN) das Ziel gesetzt, in einem durchge-

standard for concrete based on EN 206-1/DIN 1045-2 consequently has its limitations.

Concrete construction quality chain

On the initiative of the German Concrete and Construction Technology Association (DBV), board-level discussions took place in February 2014 between VDZ and DBV. The outcome was a decision to intensify cooperation with regard to more differentiated quality assurance in the production and processing of concrete. A paper entitled “Approaches to the development of the concrete quality chain” was produced, in which construction projects and concrete components are differentiated by way of defined classes. Based on the component class, this gives rise to measures to be taken by both concrete users and concrete producers, for example in relation to the concrete properties relevant to the construction site as mentioned above.

Strengthen robustness in practice

At present a trend towards high-slump and low-paste concretes can be observed. The reasons for this are the increasingly complex layout and spacing of the reinforcement (high reinforcement content) as well as intense competition between producers. As a result, fresh concrete properties under construction site conditions are gaining in significance (c.f. report on the AiF (Federation of Industrial Cooperative Research Associations) on robust concretes in chapter 2.4.14). The common aim of DBV and VDZ is to enable building owners and planners to recognise the effects of their specifications on building materials and the execution of the work and to define them through the specific assignment of a quality level. On this basis it would be possible to describe the scope and valence of all quality assurance measures throughout the value chain. Interaction between construction, the building process and the building material (Fig. 1.5.2-1) could thus be improved.

Component-specific requirements

In view of the “failure” of the concrete standard revision process, the “Concrete technology” standards committee at the German In-

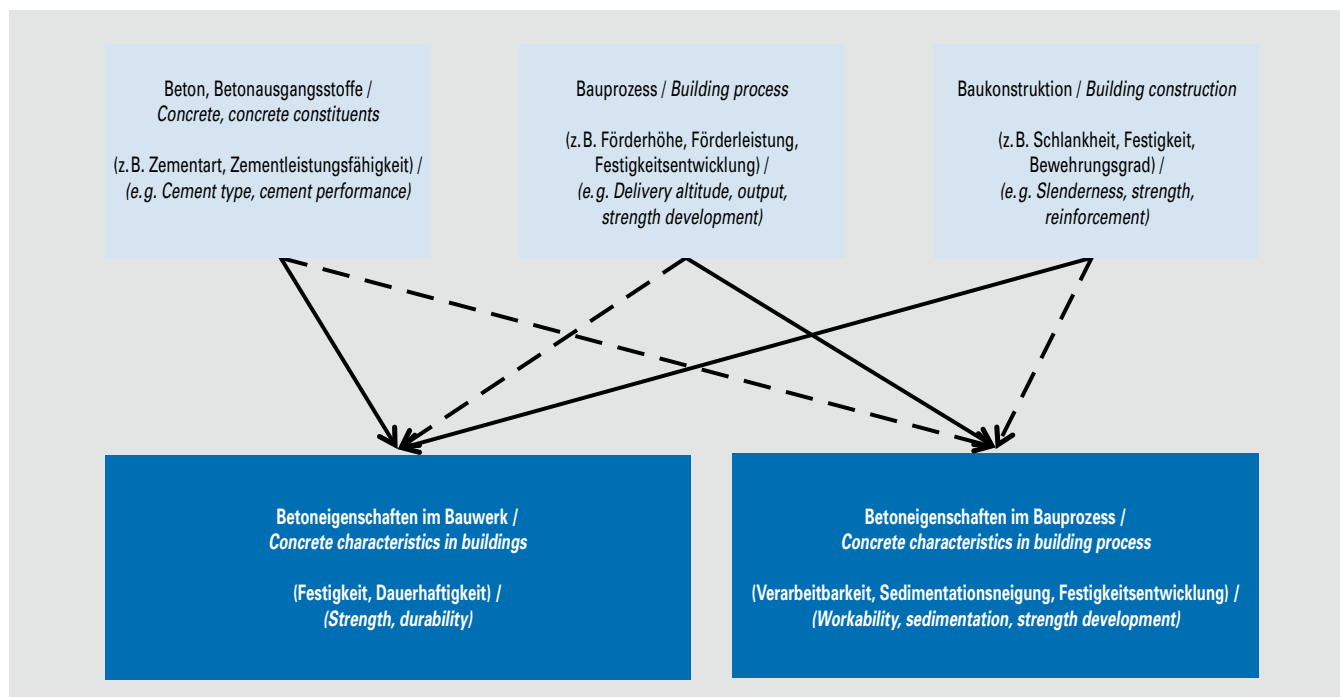


Bild 1.5.2-1 Bauen mit Beton: Wechselwirkungen zwischen Baustoff, Bauprozess und Konstruktion
Fig. 1.5.2-1 Building with concrete: interactions between building material, building process and construction

henden Konzept umfassende und konsistente Festlegungen von bauteilspezifischen Anforderungen an Planung, Baustoffe, Ausführung und Qualitätssicherung mitzugestalten. Inhaltlich ist die neue Zielrichtung des Normenausschusses mit den Vorschlägen eines gemeinsamen Konzeptpapiers des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins (DBV) und des VDZ zur Verbesserung der Qualitätskette im Betonbau vergleichbar.

Widerstandsklassen für Beton

Ansprüche an die Dauerhaftigkeit von Beton sind in der bestehenden europäischen Betonnorm EN 206 durch Expositionsklassen („genormte Umgebungsbedingungen“) definiert, die durch nationale Anforderungen umgesetzt werden. Eine CEN-Arbeitsgruppe hat damit begonnen, Dauerhaftigkeits- bzw. Widerstandsklassen für Betone zu definieren, um zu einer europaweit vergleichbaren Definition der Leistungsfähigkeit von Beton bzgl. seiner Dauerhaftigkeit zu kommen.

Bei dem aus der Lebensdauerbemessung nach ISO 16024 abgeleiteten Konzept der Widerstandsklassen, das insbesondere für die Expositionsklassen XC, XS und XD vorgesehen ist, wird die Eindringgeschwindigkeit der Carbonatisierungs- oder Chloridfront in den Beton zugrunde gelegt. Eine 50-jährige Nutzungsdauer angenommen, bedeutet dann z.B. eine Widerstandsklasse R20 bei Carbonatisierung, dass die Carbonatisierungsfrent nach 50 Jahren unter bestimmten Lagerungsbedingungen mit einer Annahmewahrscheinlichkeit von 90 % eine Tiefe von 20 mm nicht überschreitet. Das Einhalten dieser Kriterien der Widerstandsklasse kann dann durch deskriptive Festlegungen von Anforderungen an die Betonzusammensetzung (Zementart, Zusatzstoffe, Wasserzementwert) oder durch eine Performanceprüfung des Betons bzw. seiner Ausgangsstoffe nachgewiesen werden. Der Tragwerksplaner kann durch entsprechende Wahl einer Widerstandsklasse die Mindestbetondeckungen variieren (Bild 1.5.2-2).

Vergleicht man die Dauerhaftigkeits- bzw. Widerstandsklassen (hier: Carbonatisierung) und deren Verwendungsmöglichkeiten mit der derzeitigen Regelung in DIN 1045-2 bzw. in bauaufsicht-

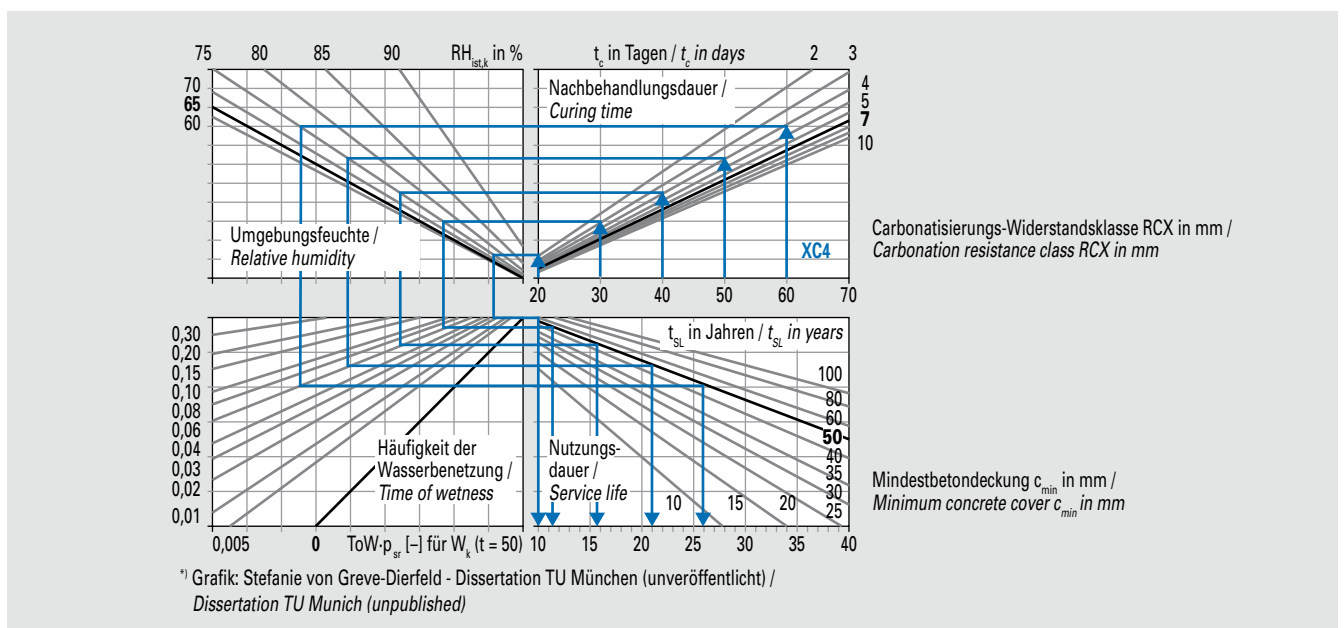
stitute for Standardization (DIN) has set itself the goal of working towards the creation of comprehensive and consistent stipulations for component-specific requirements with regard to design, building materials, execution of work and quality assurance as part of a complete concept. From the point of view of its content, the new objective of the standards committee is comparable to the proposals contained in a joint paper produced by the German Concrete and Construction Technology Association (DBV) and VDZ aimed at improving the quality chain in concrete construction.

Resistance classes for concrete

The requirements for the durability of concrete are defined in the existing European concrete standard EN 206 by exposure classes (“standardised ambient conditions”), which are implemented in the form of national requirements. A CEN working group has started to define durability and resistance classes for concretes with the aim of obtaining a Europe-wide comparable definition of the performance of concrete with respect to its durability.

The concept of resistance classes, derived from the service life design acc. to ISO 16024 and intended in particular for exposure classes XC, XS and XD, is based on the speed of penetration of the carbonation or chloride front into the concrete. Assuming a 50-year service life, resistance class R20 for carbonation for example means that there is a 90 % probability that the carbonation front will not exceed a depth of 20 mm after 50 years under specific storage conditions. Compliance with these resistance class criteria can then be verified by way of the descriptive stipulation of requirements for concrete composition (cement type, additions, water-cement ratio) or by performance tests of the concrete or its raw materials. Designers of loadbearing members can vary the minimum concrete cover by selecting a resistance class accordingly (Fig. 1.5.2-2).

Comparison of the resistance classes (this case: carbonation) and their usage possibilities to the current building practice shows that such classification would lead to differentiation of concretes and cements. Adaptation of the technical boundary conditions for concrete (e.g. reduction of water-cement ratio or increase in concrete



¹⁾ Grafik: Stefanie von Greve-Dierfeld - Dissertation TU München (unveröffentlicht) / Dissertation TU Munich (unpublished)

Bild 1.5.2-2 Zusammenhang zwischen Carbonatisierungs-Widerstandsklasse, Nachbehandlungsdauer, Umgebungsfeuchte, Häufigkeit der Wasserbenetzung und Mindestbetondeckung nach Gehlen 2015
Fig. 1.5.2-2 Correlation between carbonation resistance class, curing time, relative humidity, time of wetness and minimum concrete cover acc. to Gehlen 2015

lichen Anwendungszulassungen, wird deutlich, dass die Klassen-einteilung zu einer Differenzierung des heutigen bauaufsichtlichen Bewertungshintergrundes führen würde. Einige – heute gängige – Zementarten würden Zugang in eine Klasse mit hohem Carbonatisierungswiderstand voraussichtlich nur über eine Anpassung der betontechnischen Randbedingungen (z. B. Absenkung des Wasserzementwertes oder Erhöhung der Betondeckung) erhalten.

Fraglich ist, wie der Planer mit der Option umgehen würde, eine „Kompensationsmöglichkeit“ zwischen Betonqualität und Betondeckung zu haben und wie sichergestellt werden könnte, dass im Bauteil Betonqualität und Betondeckung zusammenpassen. Mit der Auswahl einer bestimmten Klasse würde der Planer eine „Vorauswahl“ der Betonausgangsstoffe treffen. Im günstigsten Fall tut er dies bewusst unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit der Betonausgangsstoffe in der Region und bei Ansatz vernünftiger Transportentfernungen. Im ungünstigen Fall berücksichtigt er dies nicht bzw. ist sich der Tragweite seiner Entscheidung gar nicht bewusst.

Auf der anderen Seite ließe sich bei Definition von Dauerhaftigkeitsklassen in der Zukunft ggf. eine Anbindung an ein Dauerhaftigkeitspotenzial von Zementen in der Zementnorm realisieren (vgl. VDZ-Projekt „Ermittlung hydrationsgradbasierter Kennwerte zur Vorhersage der Dauerhaftigkeit von Beton“ in Kapitel 2.4.15).

1.5.3 Europäische Bauproduktenverordnung ■

Im April 2011 wurde die Bauproduktenverordnung BauPVO als Nachfolgeregelung für die Bauproduktenrichtlinie veröffentlicht und trat zum 01.07.2013 vollständig in Kraft. Die Verordnung beschreibt die Pflichten aller an der Liefer- und Vertriebskette beteiligten Wirtschaftsakteure, d. h. von Herstellern, Bevollmächtigten und Importeuren. Außerdem hat die BauPVO die Anforderungen an notifizierte Stellen neu festgelegt und enthält Regelungen hinsichtlich europäischer technischer Bewertungen und zur Marktüberwachung. Darüber hinaus haben sich einige Begrifflichkeiten geändert, beispielsweise wurde die früher gebräuchliche Bezeichnung „Konformitätsbewertung“ ersetzt durch „Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit“.

Eine weitere Neuerung in der Bauproduktenverordnung ist die Erweiterung der Grundanforderungen an Bauwerke um den Aspekt „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“. Die konkrete Umsetzung dieser neuen Grundanforderung in Normen und Regelwerken wird jedoch noch etliche Jahre in Anspruch nehmen.

Leistungserklärungen

Voraussetzung für die CE-Kennzeichnung nach BauPVO ist die Erstellung von Leistungserklärungen, in denen der Hersteller eines Bauprodukts dessen wesentliche Merkmale beschreibt und die Verantwortung hierfür übernimmt. Die Regeln für die Erstellung von Leistungserklärungen wurden im Anhang III der BauPVO festgelegt und durch die Delegierte Verordnung (EU) Nr. 574/2014 (veröffentlicht am 28.05.2014) ergänzt.

Der VDZ hat eine Mustervorlage erstellt, die für alle neuen Leistungserklärungen für Zement verwendet werden kann. Hierbei ist zu beachten, dass jeweils nur die für das jeweilige Produkt tatsächlich relevanten wesentlichen Merkmale aufgelistet werden sollen. Beispielsweise ist der C_3A -Gehalt im Klinker nur bei bestimmten Zementen mit hohem Sulfatwiderstand zu nennen. Außerdem wird empfohlen, als „eindeutigen Kenncode

cover) would probably be necessary for some of today's standard cement types to be put into a class with high carbonation resistance.

It is not certain how designers would deal with the option of having “scope for compensation” between concrete quality and concrete cover and how it could be ensured that an appropriate balance between concrete quality and concrete cover is achieved in the component. By selecting a certain class, designers would be “preselecting” the concrete constituents. Ideally they would do so consciously, bearing in mind the availability of the concrete constituents in the region and based on reasonable transportation distances. In the worst case, they would not take these factors into consideration or would not be aware of the consequences of their decision.

On the other hand, definition of durability resistance classes could make it possible in future to link these to a durability potential for cements in the Cement standard (c.f. VDZ project “Determination of hydration-degree-based characteristic values for predicting the durability of concrete” in section 2.4.15).

1.5.3 European Construction Products Regulation ■

The Construction Products Regulation CPR was published in April 2011 to supersede the Construction Products Directive and entered fully into force on 1st July 2013. The Regulation describes the duties of all the economic operators involved in the supply and distribution chain, i.e. producers, representatives and importers. The CPR also re-defined the requirements for notified bodies and contains stipulations with regard to European technical assessments and market surveillance. In addition, certain terms have been altered, for example the standard designation “Conformity evaluation” previously used has been replaced by “Assessment and verification of constancy of performance”.

Another innovation in the Construction Products Regulation is the extension of the basic requirements to include the aspect of “sustainable use of natural resources”. It will however be many years yet before this new basic requirement is actually implemented in standards and regulations.

Declarations of performance

A prerequisite for CE marking in accordance with the CPR is the draw up of a declaration of performance, in which the manufacturer of a construction product describes its essential characteristics and takes responsibility for these. The rules for the draw up of declarations of performance were set down in Annex III to the CPR and supplemented by the Delegated Regulation (EU) No. 574/2014 (published on 28 May 2014).

VDZ has prepared a template which can be used for all new declarations of performance for cement. It should be noted that only the essential characteristics which are actually relevant for the product shall be listed. For example, the C_3A content of clinker is only to be stated for certain cements with high sulphate resistance. It is further recommended that the name of the cement, e.g. CEM I 32,5 R, should be used as “unique identification code of the product type”. The template is available in German, English, French and Dutch and was sent to all VDZ member companies in a circular.

des Produkttyps“ die Kurzbezeichnung des Zements anzugeben, also z. B. CEM I 32,5 R. Die Mustervorlage steht in deutscher, englischer, französischer und niederländischer Sprache zur Verfügung und wurde allen VDZ-Mitgliedsunternehmen mit einem Rundschreiben zugestellt.

1.5.4 Zementgebundene Baustoffe im Bereich Boden und Grundwasser ■

Europäische Aktivitäten

Für die zukünftige Aus- und Überarbeitung harmonisierter europäischer Produktnormen fordert die Europäische Kommission, dass in diesen Normen Angaben zur Freisetzung gefährlicher Substanzen vorgesehen werden. Die dafür notwendigen generischen horizontalen Prüfverfahren werden von dem Technischen Komitee CEN/TC 351 „Construction products: Assessment of release of dangerous substances“, das im Jahr 2005 gegründet wurde, ausgearbeitet. Für den Bereich Boden und Grundwasser hat die WG 1 des TC 351 Entwürfe für einen Standtest „Horizontal dynamic surface leaching test“ für monolithische Bauprodukte und für einen Säulentest „Horizontal up-flow percolation test“ für körnige Bauprodukte vorgelegt.

Nach den entsprechenden Robustheitsprüfungen wurde das Prüfverfahren für monolithische Bauprodukte, das weitgehend mit dem in Deutschland eingesetzten Verfahren des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) identisch ist, im November 2014 als DIN CEN/TS 16637-2 veröffentlicht. Hinsichtlich des Prüfverfahrens für körnige Bauprodukte konnte zunächst keine Einigung erzielt werden, da die bislang festgelegten Prüfbedingungen in verschiedenen Mitgliedsstaaten deutliche Unterschiede aufweisen. So sind z. B. in den Niederlanden eine generelle Zerkleinerung der Bauprodukte auf 100 M.-% < 10 mm mit einem Anteil von 90 M.-% < 4 mm und eine geringe Durchflussrate von 150 mm/d vorgesehen. Dagegen sollen körnige Bauprodukte in Deutschland ohne Zerkleinerung so geprüft werden, wie sie zum Einsatz kommen, und die Durchflussrate beträgt etwa 450 mm/d. Nach intensiven Diskussionen wurde der folgende Kompromiss gefunden: Der Kornanteil < 4 mm muss mindestens 45 M.-% betragen, das Größtkorn wird auf 22,4 mm begrenzt und die Durchflussrate soll 300 mm/d betragen. Mit diesem Kompromiss ist der Normentwurf Mitte des Jahres 2015 an das CEN-Sekretariat zur TC-Umfrage (TC = Technical Committee) überstellt worden.

Nationale Aktivitäten

Ein aktuelles Dossier der European Concrete Platform (ECP) empfiehlt die Einstufung von Beton und Betonausgangsstoffen in die europäische Kategorie „Without Further Testing“ (WFT). Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) hat das Dossier geprüft und kann der vorgeschlagenen generellen WFT-Einstufung nicht folgen. Stattdessen sieht das DIBt „Überarbeitungsbedarf bei Normen für Beton und Stahlbetonbauteile im Hinblick auf die Auswirkungen auf Boden und Grundwasser“.

Das ECP-Dossier wurde unter Federführung von Hans van der Sloot – einem niederländischen, international anerkannten Experten für Auslauguntersuchungen – erstellt. Die Basis für das Dossier bildeten Auslaugergebnisse, die in einer sehr umfangreichen Datenbank zu weltweit hergestellten Mörteln und Betonen zusammengefasst sind. Durch den Vergleich dieser Ergebnisse mit niederländischen gesetzlich festgelegten Anforderungen für die Freisetzung umweltrelevanter Parameter aus Bauprodukten kommen die Autoren zu dem Schluss, dass eine generelle WFT-Einstufung für Beton und Betonausgangsstoffe – abgesehen

1.5.4 Cementitious building materials in soil and groundwater ■

European activities

The European Commission demands that in future, new and revised harmonised European product standards must include information on the release of dangerous substances. The generic horizontal test methods required for this are worked out by the technical committee CEN/TC 351 “Construction products: Assessment of release of dangerous substances”, which was set up in 2005. With regard to soil and groundwater, WG 1 of TC 351 has submitted draft versions for a “Horizontal dynamic surface leaching test” for monolithic construction products and a “Horizontal up-flow percolation test” for granular construction products.

Following the corresponding robustness tests, the test method for monolithic construction products, which is largely identical to the method of the German Committee for Structural Concrete (DAfStb) used in Germany, was published as DIN CEN/TS 16637-2 in November 2014. Regarding the test method for granular construction products no agreement was initially reached, as significant differences exist between the test conditions specified to date in various member states. For example, regulations in the Netherlands demand a general size reduction of the construction products to 100 mass % < 10 mm with a proportion of 90 mass % < 4 mm and a low flow rate of 150 mm/d. In Germany on the other hand, granular construction products have to be tested without size reduction in the state in which they are used and the flow rate is around 450 mm/d. Intensive discussions lead to the following compromise: The proportion of particles < 4 mm must be at least 45 mass %, the maximum particle size is limited to 22.4 mm and the flow rate shall be 300 mm/d. The draft standard containing this compromise was submitted to the CEN secretariat for TC (Technical Committee) enquiry in the middle of 2015.

National activities

A current dossier of the European Concrete Platform (ECP) recommends the classification of concrete and concrete constituents in the European category “Without Further Testing” (WFT). The German Institute of Structural Engineering (DIBt) has checked the dossier and is not in agreement with the proposed general WFT classification. Instead of that the DIBt considers there to be “A need to revise the standards for concrete and reinforced concrete components with regard to effects on soil and groundwater”.

The ECP dossier was developed under the direction of Hans van der Sloot – an internationally renowned Dutch expert on leaching tests. Basis for the dossier were leaching results gathered in an extremely comprehensive database on mortars and concretes produced worldwide. By comparing these results with the requirements for the release of environmentally relevant parameters from construction products defined in Dutch law, the authors come to the conclusion that – apart from a few exceptions – general WFT classification is possible for concrete and concrete constituents, as the release levels determined for many parameters are less than 10 % of the permissible release level.

Comparison of the existing leaching results with the environmental requirements of the DIBt for general building inspectorate approvals in Germany however shows that 23 % of the mortars and concretes investigated would not satisfy the requirements for vanadium release. This difference arises from the use of different evaluation concepts. Whereas in the Netherlands for example, risk assessment is performed, resulting in a permissible release

von wenigen Ausnahmen – möglich ist, da die ermittelten Freisetzungswerte für viele Parameter weniger als 10 % der zulässigen Freisetzung betragen.

Werden die vorliegenden Auslaugergebnisse jedoch mit den Umweltanforderungen für die bauaufsichtliche Zulassung des DIBt in Deutschland verglichen, hätten 23 % der untersuchten Mörtel und Betone die Anforderungen an die Vanadiumfreisetzung nicht eingehalten. Diese Differenz ergibt sich aus unterschiedlichen Bewertungskonzepten. Während z.B. in den Niederlanden eine Risikobewertung erfolgt, die dann dort zu einer zulässigen Freisetzung von 320 mg/m² Vanadium führt, ergibt sich für Deutschland ein entsprechender Wert von nur 4,1 mg/m².

Die bestehenden, sehr niedrigen deutschen Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS) wurden im Jahr 2013 durch die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) aktualisiert und in vielen Fällen deutlich abgesenkt. **Tabelle 1.5.4-1** enthält die GFS-Werte für anorganische Parameter aus den Jahren 2004 und 2013. Sollten die aktualisierten GFS-Werte bei bauaufsichtlichen Zulassungen von Beton und Betonausgangsstoffen als Bewertungsgrundlage herangezogen werden, können insbesondere die Parameter Arsen, Barium, Chrom und Quecksilber die Verwendbarkeit von Betonen erschweren. Es wird noch geklärt, ob angesichts der verschärften GFS-Werte eine Anpassung des Übertragungsmodells (vom GFS-Wert zum Auslaugversuch) möglich ist.

1.5.5 Zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich ■

Europäische Aktivitäten

Auf der Basis des Mandats M 136 der Europäischen Kommission erarbeitet die WG 3 des CEN/TC 164 „Wasserversorgung“ Prüfverfahren für Werkstoffe, die in Kontakt mit Trinkwasser kommen. Während die Prüfnormen DIN EN 14944-1 „Einfluss fabrikmäßig hergestellter zementgebundener Produkte auf organoleptische Parameter“ und DIN EN 14944-3 „Migration von Substanzen aus fabrikmäßig hergestellten zementgebundenen Produkten“ bereits seit den Jahren 2006 und 2007 vorliegen, wurden die entsprechenden Arbeiten zu baustellenseitig hergestellten Produkten im Jahre 2005 gestoppt, da noch zu viele regulatorische Fragen offen blieben.

Nachdem das europäische „Akzeptanzsystem für Bauprodukte in Kontakt mit Trinkwasser“ im Jahr 2006 endgültig gescheitert war – die Europäische Kommission möchte das Mandat M 136 jetzt sogar komplett zurückziehen –, kamen die vier EU-Mitgliedsstaaten Deutschland, Frankreich, Niederlande und Vereinigtes Königreich (4MS-Gruppe) im Jahr 2007 überein, einen gemeinsamen Ansatz zur Produktbewertung zu erarbeiten, um die entsprechenden hygienischen Anforderungen im jeweiligen Mitgliedsstaat umzusetzen. Dazu wurde im Jahr 2012 von der 4MS-Gruppe das Dokument „Bewertung zementgebundener Produkte in Kontakt mit Trinkwasser“ veröffentlicht. Dieses Dokument umfasst auch die notwendigen regulatorischen Anforderungen, weshalb die Arbeitsgruppe für zementgebundene Produkte reaktiviert wurde. Zwischenzeitlich wurden die bestehenden Teile 1 und 3 der Norm überarbeitet und Entwürfe für die Teile 2 und 4 für baustellenseitige Produkte fertiggestellt, die sich zurzeit (2015) in der Arbeitsgruppenumfrage befinden.

Tabelle 1.5.4-1 Gegenüberstellung der GFS-Werte 2004 und 2013

Table 1.5.4-1 Comparison of the GFS-values 2004 and 2013

| Parameter / Parameters | GFS 2004 [µg/L] | GFS 2013 [µg/L] |
|---|--------------------|--------------------|
| Antimon / Antimony (Sb) | 5 | 5 |
| Arsen / Arsenic (As) | 10 | 2,6 |
| Barium / Barium (Ba) | 340 | 186 |
| Blei / Lead (Pb) | 7 | 7,2 |
| Bor / Boron (B) | 740 | 180 |
| Cadmium / Cadmium (Cd) | 0,5 | 0,25 |
| Chrom / Chromium (Cr) | 7 | 3,4 |
| Kobalt / Cobalt (Co) | 8 | 5,7 |
| Kupfer / Copper (Cu) | 14 | 10 |
| Molybdän / Molybdenum (Mo) | 35 | 35 |
| Nickel / Nickel (Ni) | 14 | 13 |
| Quecksilber / Mercury (Hg) | 0,2 | 0,05 |
| Selen / Selenium (Se) | 7 | 3 |
| Thallium / Thallium (Tl) | 0,8 | 0,2 |
| Vanadium / Vanadium (V) | 4 | 4 |
| Zink / Zinc (Zn) | 58 | 50 |
| Chlorid / Chloride (Cl) | 250 [mg/L] | 250 [mg/L] |
| Cyanid / Cyanide (CN ⁻) | 5 (50) | 10 (50) |
| Fluorid / Fluoride (F) | 750 | 750 |
| Sulfat / Sulfate (SO ₄ ²⁻) | 240 [mg/L] | 250 [mg/L] |

of 320 mg/m² vanadium, the corresponding value for Germany is just 4.1 mg/m².

The existing, extremely low German insignificance threshold values (GFS) were updated in 2013 by the German Working Group on water issues of the Federal States and the Federal Government (LAWA) and significantly lowered in many cases. **Table 1.5.4-1** lists the GFS-values for inorganic parameters for the years 2004 and 2013. If the updated GFS-values should be used as a criterion for building inspectorate approvals for concrete and concrete constituents, the parameters arsenic, barium, chromium and mercury in particular could present obstacles to the use of concretes. In view of the more stringent GFS-values, it remains to be clarified whether adaptation of the transfer model (from GFS-value to leaching test) is possible.

1.5.5 Cementitious materials in the drinking water area ■

European activities

Based on the European Commission mandate M 136, WG 3 of CEN/TC 164 “Water supply” works out test methods for materials which come into contact with drinking water. Whereas the test standards DIN EN 14944-1 “Influence of factory-made cementitious products on organoleptic parameters” and DIN EN 14944-3 “Migration of substances from factory-made cementitious products” have existed since 2006 and 2007, the corresponding work on site-applied products was stopped in 2005 due to the fact that too many regulatory issues were still unresolved.

Nationale Aktivitäten

Zurzeit (2015) gilt in Deutschland für zementgebundene Werkstoffe in Kontakt mit Trinkwasser das Arbeitsblatt W 347 „Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich“ des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW). Bislang hat das Umweltbundesamt (UBA) Leitlinien oder Empfehlungen zur Beurteilung von Materialien und Werkstoffen mit Trinkwasserkontakt herausgegeben oder auf entsprechende DVGW-Arbeitsblätter verwiesen. Die zweite Änderungsverordnung zur Trinkwasserverordnung (TVO) weist jetzt dem UBA die Aufgabe zu, hygienische Bewertungsgrundlagen für Metalle, Kunststoffe, Elastomere usw. sowie für zementgebundene Werkstoffe zu erarbeiten. Diese Grundlagen werden die Prüfvorschriften mit den Prüfparametern, Prüfkriterien und methodische Vorgaben umfassen. Außerdem sollen sie Positivlisten der Ausgangsstoffe oder der verwendbaren Materialien und Werkstoffe beinhalten. Diese Positivlisten sollen durch das UBA geführt und bei Bedarf überarbeitet werden.

Im Gegensatz zu den freiwillig anwendbaren Leitlinien und Empfehlungen werden die Bewertungsgrundlagen zwei Jahre nach ihrer Festlegung rechtsverbindlich. Das heißt, dass Betreiber von Wasserversorgungsanlagen – dazu gehören auch Trinkwasserinstallationen in Gebäuden – dann nur noch solche Bauteile verwenden dürfen, deren Materialien und Werkstoffe der jeweiligen Bewertungsgrundlage entsprechen. Dabei ist vorgesehen, dass die Übereinstimmung mit den Anforderungen zum Beispiel durch den Prüfbericht eines akkreditierten Prüfinstituts nachgewiesen werden kann.

Das Umweltbundesamt hat Fachgremien eingerichtet, die es bei der Ausarbeitung der Bewertungsgrundlagen beraten sollen. Zementgebundene Werkstoffe werden in dem UBA-Fachgremium „Kunststoffe und andere nichtmetallene Materialien im Kontakt mit Trinkwasser (KTW-FG)“, in dem der VDZ vertreten ist, bearbeitet. Im Jahr 2013 wurde vom UBA der Entwurf „Bewertungsgrundlagen für zementgebundene Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser – Zement – Bewertungsgrundlagen (ZTW)“ vorgelegt.

Die Basis für den ZTW-Entwurf bildete das bewährte DVGW-Arbeitsblatt W 347. So findet sich in dem Entwurf – sowie auch in dem zuvor angeführten 4MS-Dokument – das Prinzip wieder, dass bei Einhaltung festgelegter Spurenelementgehalte im Zement keine Auslaugprüfungen hinsichtlich dieser Parameter notwendig sind. Die zurzeit im DVGW-Arbeitsblatt W 347 aufgeführten Gehaltswerte sind 100 ppm für Arsen, 10 ppm für Cadmium sowie 500 ppm für Blei, Chrom und Nickel. Allerdings beabsichtigt das UBA, zusätzlich Gehaltswerte für die Elemente Antimon, Kobalt, Thallium und Vanadium festzulegen. Weiterhin werden die bestehenden Gehaltswerte hinterfragt. Das UBA ist jedoch bereit, die derzeitigen Werte, die von allen deutschen Normzementen eingehalten werden, zu akzeptieren, wenn der experimentelle Nachweis erbracht wird, dass die zulässigen Auslaugmengen sicher eingehalten werden. Der VDZ stellt in Abstimmung mit dem UBA die für die Auslaugversuche erforderlichen Mörtelprismen her. Dabei werden Zemente mit möglichst hohen Spurenelementgehalten eingesetzt. Um die zuvor angegebenen Gehaltswerte jedoch überhaupt erreichen zu können, ist in den meisten Fällen eine Dotierung mit dem entsprechenden Spurenelement notwendig.

Das Umweltbundesamt geht davon aus, dass die Entwicklung der Bewertungsgrundlage für zementgebundene Werkstoffe noch einige Zeit in Anspruch nimmt. Bis dahin kann die hygienische

After the European “Acceptance scheme for construction products in contact with drinking water” had finally failed in 2006 – the European Commission would now even like to withdraw mandate M 136 completely – the four EU member states Germany, France, the Netherlands and the United Kingdom (4MS group) agreed in 2007 to develop a joint approach to product evaluation in order to implement the corresponding hygiene requirements in each of the member states. The 4MS group published the document “Assessment of cementitious products in contact with drinking water” in 2012 for this purpose. As this document also includes the necessary regulatory requirements, the working group for cementitious products was reactivated. In the meantime, the existing parts 1 and 3 of the standard have been revised and drafts for parts 2 and 4 for site-applied products have been developed. These are currently (2015) at the working group enquiry stage.

National activities

In Germany at present (2015), cementitious materials in contact with drinking water are regulated by the work sheet W 347 “Hygiene requirements for cement-bound materials intended for use in drinking water supply systems” of the German Technical and Scientific Association for Gas and Water (DVGW). Until now the German Federal Environment Agency (UBA) has issued guidelines or recommendations for the assessment of materials and substances coming into contact with drinking water or made reference to applicable DVGW work sheets. The second amendment to the German Drinking Water Regulation (TVO) now assigns to the UBA the task of working out hygiene-related valuation bases for metals, plastics, elastomers etc. as well as for cementitious materials. These valuation bases will include the test methods with the test parameters, test criteria and method specifications. They are also to contain positive lists of the raw materials or the materials and substances which can be used. These positive lists are to be kept and revised when necessary by the UBA.

In contrast to the voluntarily applicable guidelines and recommendations, the evaluation bases will become legally binding two years after implementation. This means that operators of water supply systems – including drinking water installations in buildings – will then only be allowed to use components containing materials and substances which correspond to the applicable valuation basis. It is intended that the conformity to the requirements can be verified by the test report of an accredited testing institute for example.

The Federal Environment Agency has set up technical committees to advise on elaboration of the evaluation bases. Cementitious materials are being dealt with in the UBA technical committee “Plastics and other non-metallic materials in contact with drinking water (KTW-FG)”, in which VDZ is represented. In 2013 the UBA presented the draft “Valuation bases for cementitious materials in contact with drinking water – cement - valuation bases (ZTW)”.

The ZTW draft is based on the established DVGW work sheet W 347. Accordingly, the draft comprises the principle – as well as in the 4MS document mentioned above – that compliance with the specified trace element contents in cement obviates the need of leaching tests for these parameters. The content values currently listed in the DVGW work sheet W 347 are 100 ppm for arsenic, 10 ppm for cadmium and 500 ppm for lead, chromium and nickel. The UBA certainly intend to specify additional content values for the elements antimony, cobalt, thallium and vanadium. The existing content values are also under scrutiny. The UBA is however prepared to accept the current values, which are adhered to all German standard cements, if experimental proof of reliable

Bewertung zementgebundener Werkstoffe weiterhin nach dem bewährten DVGW-Arbeitsblatt W 347 (Ausgabe 2006) erfolgen.

1.5.6 Überblick über Regelungen AKR in Deutschland ■

In Deutschland regelt die „Alkali-Richtlinie“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) die Maßnahmen zur Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) in Bauteilen aus Stahl- und Spannbeton nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2. Die Alkali-Richtlinie ist 2014 mit Ausgabedatum Oktober 2013 neu erschienen. Die Ausgabe 2007 wurde im Wesentlichen redaktionell entsprechend der Logik europäischer Normen überarbeitet. Allerdings ergeben sich für die Praxis zwei Neuerungen: Der 60 °C-Betonversuch kann zukünftig als Alternativverfahren zum Betonversuch mit Nebelkammerlagerung (40 °C) eingesetzt werden und der Mörtelschnelltest bei 70 °C (Alternativverfahren) steht als Prüfverfahren nicht mehr zur Verfügung. Das international weit verbreitete Schnellprüfverfahren bei 80 °C kann weiterhin verwendet werden.

Bei Fahrbahndecken aus Beton von Bundesfernstraßen gelten in Deutschland gesonderte Regeln, um AKR-Schäden zu vermeiden. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung veröffentlichte 2013 das Allgemeine Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 04/2013 als Ergänzung zur den Technischen Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton (TL Beton-StB 07). Verkehrsflächen der Belastungsklassen Bk1,8 bis Bk100 gemäß den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO) 12 werden der Feuchtigkeitsklasse WS zugeordnet. Gemäß dem ARS Nr. 04/2013 ist die Alkaliempfindlichkeit der Gesteinskörnungen oder der Betone für die Feuchtigkeitsklasse WS durch eines der drei Verfahren nachzuweisen:

- Gutachten zum Beton, in der Regel durch eine AKR-Performance-Prüfung
- WS-Grundprüfung der groben Gesteinskörnungen mit $d \geq 2$ mm
- WS-Bestätigungsprüfung der groben Gesteinskörnung bei Vorliegen einer bestandenen WS-Grundprüfung oder eine Rezepturbewertung durch Prüfung der Betonausgangsstoffe bei Vorliegen einer bestandenen AKR-Performance-Prüfung

Die Bekanntmachung IID9-43435-002/08 der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr (OBB) erlaubt in Bayern zusätzlich einen vereinfachten Nachweis mit dem Verfahren 4. Dazu muss der Hersteller lediglich erklären, dass mit seiner Gesteinskörnung positive Erfahrungen im Straßenbau in Bayern für die Feuchtigkeitsklasse WS vorliegen. Zusätzlich muss die Gesteinskörnung in die Alkaliempfindlichkeitsklasse E I eingestuft sein und jährlich petrografisch und mit dem Schnellprüfverfahren nach Alkali-Richtlinie untersucht werden.

compliance with the permitted leaching quantities is provided. In coordination with the UBA, VDZ produces the mortar prisms required for these leaching tests. In doing so cements with the highest possible trace element contents are used. However, in the majority of cases, spiking with the appropriate trace element is required in order to be able to attain the above-mentioned content values at all.

The Federal Environment Agency is assuming that development valuation basis for cementitious materials will take some time yet. Until then, hygiene-related valuation of cementitious materials can still be carried out on the basis of the established DVGW work sheet W 347 (2006 edition).

1.5.6 Summary of ASR regulations in Germany ■

In Germany, the preventive measures against damaging alkali-silica reaction (ASR) in structural elements made of reinforced concrete and prestressed concrete in accordance with DIN EN 206-1/DIN 1045-2 are regulated by the “Alkali Guidelines” of the German Committee for Structural Concrete (DAfStb). A new version of the Alkali Guidelines appeared in 2014 with date of issue October 2013. For the most part, the 2007 version was edited to correspond to the form of European standards. There are however two new developments for practical use: In future, 60 °C concrete testing can be used as an alternative method to concrete testing with 40 °C fog chamber storage and the mortar bar test at 70 °C (alternative method) is no longer available as testing procedure. The internationally widely used accelerated mortar bar test at 80 °C can still be employed.

In Germany, separate rules apply to concrete road pavements on Federal highways to avoid ASR damage. The Federal Ministry for Transport, Building and Urban Development published the General Circular on Road Construction (ARS) No. 04/2013 in 2013 to supplement the Technical Terms of Delivery for construction materials and material mixtures for base courses with hydraulic binders and concrete pavements (TL Beton-StB 07). Road pavements in load classes Bk1.8 to Bk100 in accordance with the Directive for standardising the paving of road pavement (RStO) 12 are assigned to moisture class WS. According to ARS No. 04/2013, the non-reactivity of the aggregates or the concrete compositions for moisture class WS is to be verified with one of the following three methods:

- Expert report on concrete composition, generally in the form of an ASR performance test
- WS basic test of the coarse aggregates with $d \geq 2$ mm
- WS confirmation testing of the coarse aggregate following successful WS basic test or mix design assessment through testing of the concrete constituents following successful ASR performance testing

Announcement IID9-43435-002/08 of the Supreme Building Authority in the Bavarian Ministry of the Interior, for Building and Transport (OBB) additionally permits simplified verification employing method 4 in Bavaria. This involves the producer merely having to declare that positive experience has already been gained with his aggregate in road construction in Bavaria for moisture class WS. The aggregate must further be categorised in alkali reactivity class E I and be subjected once a year to petrographic examination and accelerated mortar bar test in accordance with the Alkali Guidelines.

1.5.7 Brandschutz ■

Einführung der Eurocodes in Deutschland, nationale Restnorm

In Deutschland wurden mit den Eurocodes am 01.07.2012 europaweit vereinheitlichte Regeln für die Bemessung im Bauwesen bauaufsichtlich eingeführt. Sie sind damit ohne Übergangsfrist für alle Tragwerksplanungen in Deutschland verbindlich anzuwenden. Das DIN war als Mitglied im Europäischen Komitee für Normung (CEN) verpflichtet, die den Eurocodes entgegenstehenden nationalen Planungs- und Bemessungsnormen zurückzuziehen. Allerdings wird der Inhalt der DIN 4102-4, nach der bislang die Brandbemessung in Deutschland erfolgte, nicht vollständig abgedeckt. Die Industrie und deren Verbände hatten daher weiterhin Bedarf an Regelungen der DIN 4102-4 und haben die Erarbeitung einer „DIN 4102-4 Restnorm“ in die Wege geleitet, um weiterhin umfassende Normungsregelungen für ihre Produkte zur Verfügung zu haben. Auch der VDZ ist an der Erarbeitung der Restnorm für die Brandbemessung von Beton beteiligt. Beispiele für ergänzende, den Brandschutz-Eurocodes nicht widersprechende Regelungen sind:

- Berücksichtigung von Putzen als Ersatz von Beton für den Achsabstand der Bewehrung bei der Festlegung der Feuer-Widerstandsklasse eines Stahlbetonbauteils
- Angaben zur konstruktiven Ausbildung von Betonbauteilen wie z. B. Konsolen, Auflagern usw.
- Angaben zur Ausbildung von Fugen und Anschlüssen bei Betonfertigteilen
- Bemessung von Stahlbetonhohlplatten und Rippendecken
- Bemessung gegliedelter Stahlbetonwände

Revision der Eurocodes

Im Dezember 2014 erteilte die Europäische Kommission ein Mandat zur „Änderung bestehender Eurocodes und zur Erweiterung des Gegenstands tragwerksrelevanter Eurocodes“ an die europäische Normungsorganisation CEN. Die Veröffentlichung der zu überarbeitenden Eurocodes ist für das Jahr 2020 vorgesehen.

Für die Revision der Eurocodes zur Bemessung von Stahlbeton hat sich das zuständige Normungsgremium CEN/TC 250/SC 2 so organisiert, dass unter einer übergeordneten koordinierenden Arbeitsgruppe (WG 1) mehrere Untergruppen (Task Groups) gebildet werden, die sich jeweils mit einzelnen Problemstellungen beschäftigen. Eine Arbeitsgruppe (TG 5) soll sich mit der Überarbeitung des Eurocodes für die Brandbemessung von Beton beschäftigen. Folgende wichtige Änderungen sind für die Heißbemessung von Stahlbeton (EN 1992-1-2) vorgesehen:

- Die aktuell drei Methoden zur Stützenbemessung (Methode A, Methode B, Annex C) werden durch eine Methode ersetzt. Die neue Methode soll im Gegensatz zu den aktuellen Methoden auch für Kragstützen Anwendung finden können.
- Die thermische Leitfähigkeit von Beton soll einheitlich geregelt werden.
- Die Regelungen zum explosiven Abplatzen von Beton im Brandfall sollen erweitert werden.

Im Rahmen der europäischen Zusammenarbeit auf der Ebene der European Concrete Platform (ECP) wird die European Cement Research Academy (ECRA) die weiteren Arbeiten an den Eurocodes, die die Heißbemessung von Beton betreffen, in der TG 5 des CEN/TC 250/SC 2 aktiv begleiten. Zudem wird das deutsche Spiegelgremium zur TG 5 von einem VDZ-Mitarbeiter geleitet.

1.5.7 Fire safety ■

Introduction of the Eurocodes in Germany, national residual standard

With the Eurocodes, European regulations for design of buildings and construction works were introduced into German building supervision legislation on 1st July 2012. They are thus binding with immediate effect for the structural design in Germany. As a member of the European Committee for Standardisation (CEN), DIN was obliged to withdraw national planning and design standards in conflict with the Eurocodes. The content of DIN 4102-4, according to which fire design was previously carried out in Germany, is however not completely covered. The industry and its associations therefore still required the DIN 4102-4 regulations and initiated the production of a “DIN 4102-4 residual standard” in order to still have comprehensive standardisation regulations available for their products. VDZ has also been involved in preparing the residual standard for the fire design of concrete. Examples of supplementary regulations which do not contradict the Eurocodes for fire design include:

- Consideration of plaster as a replacement for the concrete cover of the reinforcement when determining the fire-resistance class of a reinforced concrete component
- Information on the design of concrete components such as brackets, supports, etc.
- Information on the design of joints and connections for precast concrete components
- Design of reinforced concrete hollow slabs and ribbed floors
- Design of segmented reinforced concrete walls

Revision of the Eurocodes

In December 2014 the European Commission issued to the European standardisation organisation CEN a “Mandate for amending existing Eurocodes and extending the scope of structural Eurocodes”. The publication of the amended Eurocodes is planned for 2020.

To revise the Eurocodes on the design of reinforced concrete, the applicable standardisation committee CEN/TC 250/SC 2 has created several task groups to work on specific problems under the supervision of a coordinating working group (WG 1). One task group (TG 5) will concentrate on the revision of the Eurocodes for the fire design of concrete. The following important modifications are envisaged for the fire design of reinforced concrete (EN 1992-1-2):

- The current three methods of column design (method A, method B, Annex C) will be replaced by a single method. In contrast to the current methods, the new method will also be applicable for non-braced columns.
- The thermal conductivity of concrete will be uniformly regulated.
- The regulations governing the explosive spalling of concrete in a fire will be extended.

As part of the European cooperation at European Concrete Platform (ECP) level, the European Cement Research Academy (ECRA) will actively accompany the further work on the Eurocodes relating to the fire design of concrete in TG 5 of CEN/TC 250/SC 2. In addition, the German mirror committee for TG 5 will be chaired by a VDZ employee.

Europäische Normen zu Ingenieurmethoden des Brandschutzes

Das Ziel von Ingenieurmethoden des Brandschutzes (Fire Safety Engineering FSE) ist eine möglichst realistische, ganzheitliche Abschätzung der Auswirkungen von Bränden auf ein Gebäude oder einen Gebäudeteil. Brände werden unter Berücksichtigung der tatsächlich vorhandenen Brandlasten und der Geometrie der betrachteten Brandabschnitte modelliert und die thermischen und mechanischen Auswirkungen auf die umgebenden Bauteile bestimmt. In vielen Fällen können durch FSE die Anforderungen an den Brandschutz der Einzelbauteile verringert werden.

Im Normungsgremium CEN/TC 127 (Fire Safety in Buildings) wurde Ende 2014 eine neue Arbeitsgruppe („Working Group 8 - Fire safety engineering“) gegründet, die europäische Regelungen für Ingenieurmethoden des Brandschutzes entwickeln soll. Grundlage der europäischen Normung sollen entsprechende ISO-Normen sein. Die ECRA wird unter Mitwirkung von VDZ-Experten auch die Arbeiten in CEN/TC 127/WG 8 im Zuge der europäischen Zusammenarbeit auf der Ebene der ECP aktiv begleiten.

1.5.8 Verkehrswegebau ■

Das Regelwerk für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton besteht aus den drei Teilen

- TL Beton-StB 07: Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische
- ZTV Beton-StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau
- TP Beton -StB 10: Technische Prüfvorschriften

und wird von einem Arbeitskreis der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) seit Mitte 2014 überarbeitet. Begonnen wurde mit der ZTV Beton und den Prüfvorschriften. Die Prüfvorschriften sollen zukünftig in einer Loseblattsammlung „TP Betonbauweisen“ zusammengestellt werden. Dies hat den Vorteil, dass bei einer Änderung des Regelwerks die entsprechende Prüfvorschrift problemlos ausgetauscht werden kann. In einem ersten Arbeitsschritt wurde die Gliederung der TP Betonbauweisen festgelegt. Die bisher in den TP Beton aufgeführten Prüfungen werden nach und nach in die Loseblattsammlung überführt. Bis dies abgeschlossen ist, gilt weiterhin die TP Beton.

Bei den für die drei Tragschichtvarianten Verfestigung, Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT) und Betontragschicht eingesetzten Bindemitteln Zement und Tragschichtbinder haben sich bereits Änderungen ergeben. Zemente nach DIN EN 197-1 oder DIN 1164-10 entsprechend dem Anwendungsbereich für Zemente nach DIN 1045-2 für die Expositionsklassen XF1 bis XF4 und Zemente mit einer bauaufsichtlichen Zulassung für die Expositionsklassen XF1 bis XF4 können für alle drei Tragschichtvarianten eingesetzt werden. Für Verfestigungen oder HGT können auch Hydraulische Tragschichtbinder eingesetzt werden. DIN 18506 „Hydraulische Boden- und Tragschichtbinder“ wurde am 01.11.2014 zurückgezogen und durch EN 13282-1:2012 „Schnell erhärtende hydraulische Tragschichtbinder – Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien“ ersetzt. Der bisher verwendete HRB 32,5 E nach DIN 18506 wird durch den HRB E4 ersetzt. Die Festigkeitsklasse E4 garantiert wie bisher der HRB 32,5 E einen Mindestklinkergehalt von 20 M.-%. Der HRB E4-RS (RS = rapid setting) ist wegen des schnellen Erstarrens (Erstarrungsbeginn < 90 Minuten) insbesondere für Verfestigungen im Baumischverfahren nicht geeignet und soll daher nicht in die TL aufgenommen werden.

European fire safety engineering standards

The objective of fire safety engineering (FSE) is to provide an integrated and realistic as possible estimate of the impacts of fires on a building or part of a building. Fires are modelled on the basis of the actual fire loads and the geometry of the fire compartments under consideration and the thermal and mechanical effects on the surrounding components are determined. In many cases FSE can reduce the requirements for the fire protection of individual components.

A new working group (“Working Group 8 - Fire safety engineering“) for the development of the European regulations for fire safety engineering was set up at the end of 2014 in the standardisation committee CEN/TC 127 (Fire Safety in Buildings). It is the intention that new European standard will be based on the corresponding ISO standards. Together with VDZ experts, ECRA will also be actively accompanying the work in CEN/TC 127/WG 8 as part of European cooperation at ECP level.

1.5.8 Traffic route engineering ■

The regulation governing base courses with hydraulic binders and concrete road pavements consists of three parts

- TL Beton-StB 07: Technical delivery terms for materials and material mixtures for base courses with hydraulic binders and concrete pavements
- ZTV Beton-StB 07: Additional technical conditions of contract and directives for the construction of base courses with hydraulic binders and concrete pavements
- TP Beton-StB 10: Technical testing regulations for base courses with hydraulic binders and concrete pavements

and has been under revision by a working group of the German Road and Transportation Research Association (FGSV) since the middle of 2014. The first sections to be revised were ZTV Beton and the test regulations. In future, the test regulations are to be collected in a loose-leaf booklet “TP Concrete construction methods”. The advantage of this is that the corresponding test regulation can easily be replaced if any changes are made. One of the first steps was to specify the structure of the TP Concrete construction methods. The tests so far contained in TP Beton are gradually being transferred to the loose-leaf booklet. TP Beton remains valid until this process has been completed.

Changes have already been made with regard to the binders, cement and road binders, used for the three road base alternatives stabilization, hydraulically bound base course and concrete road base. Cements as per DIN EN 197-1 or DIN 1164-10 corresponding to the area of application for cements as per DIN 1045-2 for exposure classes XF1 to XF4 and cements with building inspectorate’s approval for exposure classes XF1 to XF4 can be used for all three base course alternatives. Hydraulic road binders can also be used for stabilization or hydraulically bound base courses. DIN 18506 “Hydraulic road binders” was withdrawn on 1 November 2014 and superseded by EN 13282-1:2012 “Rapid-hardening hydraulic road binders – composition, specifications and conformity criteria”. HRB E4 replaces the previously used HRB 32,5 E as per DIN 18506. As was the case with HRB 32,5 E, strength class E4 guarantees a minimum clinker content of 20 mass %. On account of its rapid setting (initial setting time < 90 minutes), HRB E4-RS (RS = rapid setting) is particularly unsuitable for mixed-in-place stabilization and is therefore not to be included in the TL.

1.6 Güteüberwachung, Mess- und Prüfwesen des VDZ / Quality surveillance, measuring and testing methods

1.6.1 Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle ■

Die Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Zement und zementartigen Bindemitteln gehören zu den traditionellen Kernaufgaben des VDZ. Damit trägt der VDZ seit vielen Jahrzehnten zur Erfüllung der Schutzziele der Bauproduktenverordnung sowie der Landesbauordnungen bei. Die entsprechenden Aufgaben werden durch die Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ-Stelle) ausgeführt. Die Ergebnisse der Fremdüberwachung werden im Fachausschuss der Überwachungsgemeinschaft des VDZ zweimal jährlich beraten.

Bauprodukte dürfen in der Europäischen Union (EU) nur mit einem gültigen CE-Zeichen gehandelt werden. In Deutschland ist hingegen für viele Bauprodukte die Kennzeichnung mit dem Ü-Zeichen verpflichtend. Voraussetzung ist in beiden Fällen die Durchführung sogenannter Konformitätsbewertungsverfahren, durch die die Sicherheit und der Gesundheitsschutz bei der Verwendung der Produkte und die Sicherheit der Bauwerke gewährleistet werden sollen. Zu diesen Verfahren gehört auch die Zertifizierung von Produkten, zu der in der Regel Produktprüfungen, die erstmalige Besichtigung des Herstellwerks, die Prüfung der werkseigenen Produktionskontrolle sowie die Beurteilung der Ergebnisse dieser Prüfungen und anschließend eine regelmäßige Überwachung der Produkte, der werkseigenen Produktionskontrolle und der Herstellwerke gehören.

Anerkennung und Akkreditierung

Die PÜZ-Stelle des VDZ ist notifiziert und durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025 und DIN EN ISO/IEC 17065. Außerdem ist die PÜZ-Stelle national nach den gültigen Landesbauordnungen (LBO) anerkannt. Die Anerkennung der PÜZ-Stelle durch das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt als zuständige Bauaufsichtsbehörde (**Tabelle 1.6.1-1**) erstreckt sich insbesondere auf Zemente und zementartige Bindemittel. Weiterhin gilt die Anerkennung für Betonzusatzstoffe und -mittel, Gesteinskörnungen sowie zementhaltige Zubereitungen (z. B. Mauermörtel). Sie bezieht sich sowohl auf genormte als auch auf bauaufsichtlich zugelassene Produkte.

Fremdüberwachung von Zement nach gesetzlichen Regelwerken

Tabelle 1.6.1-2 enthält eine Übersicht über die von der PÜZ-Stelle im Jahr 2014 zertifizierten bzw. überwachten Zemente und hydraulischen Bindemittel. Es wurden 501 Bindemittel aus 60 Werken nach gesetzlichen Regelwerken zertifiziert bzw. überwacht, hierin enthalten waren 465 Zemente, davon 18 Zemente aus 6 ausländischen Werken. Für 118 der 465 Zemente wurden Mehrfachzertifikate für identische Zemente ausgestellt, d. h. sowohl EG-Konformitätszertifikate nach EN 197-1 als auch Übereinstimmungszertifikate nach DIN 1164-10.

Die Anzahl der überwachten Bindemittel ist in den letzten Jahren nahezu unverändert geblieben (**Bild 1.6.1-1**). Die mittlere Anzahl der überwachten Bindemittel pro Werk nahm in den vergangenen Dekaden zu und liegt seit fünf Jahren bei Werten zwischen 8,5 und 9 Bindemitteln pro Werk (**Bild 1.6.1-2**).

Außerdem wurden im Jahr 2014 auch 45 Zemente mit Verwendungsgenehmigung für Betonfahrbahnen überwacht. Ferner

1.6.1 Testing, inspection and certification body ■

The testing, inspection and certification of cement and cement-type binders are part of the traditional core competencies of VDZ. In doing this, VDZ has, for several decades, contributed to meeting the targets of the Construction Products Regulation and Federal State Building Codes. The corresponding tasks are carried out by the testing, inspection and certification body. The results of the third party inspection are discussed twice a year in the technical committee of VDZ responsible for the area of surveillance.

Construction products may only be traded in the European Union (EU) with a valid CE mark. In Germany, however, the Ü mark of conformity is obligatory for many construction products. The requirement in both cases is carrying out the so-called conformity assessment procedure, which is intended to guarantee health and safety protection when using the products, and the safety of the building. Part of this procedure is also the certification of products, which generally includes product testing, an initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control, as well as the evaluation of these test results and subsequently regular inspection of the products, the factory production control and the manufacturing plant.

Approval and accreditation

The VDZ's testing, inspection and certification body is notified and accredited by Germany's national accreditation body, DAkkS, in accordance with DIN EN ISO/IEC 17025 and DIN EN ISO/IEC 17065. In addition, the testing, inspection and certification body is also recognised nationally according to the applicable Federal State Building Codes (LBO). The recognition of the testing, inspection and certification body by the German Institute for Building Technology (DIBt) as the responsible building supervision authority (**Table 1.6.1-1**) extends, in particular, to cements and cement-type binders. Furthermore, the recognition also applies for concrete additions and admixtures, aggregates and cementitious mixtures (e.g. masonry mortar). It relates to both standardised products as well as those with a general building inspectorate approval.

Third party inspection of cement according to the statutory regulations

Table 1.6.1-2 provides an overview of the cements and hydraulic binders certified and inspected by the testing, inspection and certification body in 2014. 501 binders and 60 works were certified and inspected according to the statutory provisions, this included 465 cements, of which 18 cements were from 6 foreign works. Multiple certificates for identical cements were issued for 118 of the 465 cements, i.e. both EC conformity certificates according to EN 197-1 as well as conformity certificates according to DIN 1164-10.

The number of inspected binders has remained almost unchanged over recent years (**Fig. 1.6.1-1**). The average number of inspected binders per work increased over recent decades and has been at values of between 8.5 and 9 binders per work for the last five years (**Fig. 1.6.1-2**).

Furthermore, 45 cements approved for use for concrete paving were inspected in 2014. The testing, inspection and certification

Tabelle 1.6.1-1 Anerkennungsbereiche der Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle
Table 1.6.1-1 *Approved areas of our testing, inspection and certification body*

| Bauprodukte / <i>Construction products</i> | Technische Regel(n) / <i>Technical Regulation(s)</i> | BauPVO / <i>CPR</i> | LBO / <i>LBO</i> |
|--|--|---------------------|---------------------------|
| Bindemittel / <i>Binders</i> | | | |
| Normalzement / <i>Common cement</i> | EN 197-1 | Z / CB | ÜZ / IB, CB |
| Sonderzement mit sehr niedriger Hydr.-wärme / <i>Very low heat special cement</i> | EN 14216 | Z / CB | ÜZ / IB, CB |
| Zement mit niedrigem wirksamen Alkaligehalt / <i>Cement with a low effective alkali content</i> | DIN 1164-10 | | ÜZ / IB, CB |
| Zement mit frühem Erstarren (FE-Zement) und schnell erstarrender Portland- und Portlandkompositzement (SE-Zement) / <i>Fast setting cement (FE-Zement) and rapid setting Portland cement and Portland composite cement (SE-Zement)</i> | DIN 1164-11 | | ÜZ / IB, CB |
| Zement mit einem erhöhten Anteil an organischen Bestandteilen / <i>Cement with increased amounts of organic constituents</i> | DIN 1164-12 | | ÜZ / IB, CB |
| Tonerdezement / <i>Calcium aluminate cement</i> | EN 14647 | Z / CB | |
| Spritzbetonzement / <i>Shotcrete cement</i> | Zulassungen / <i>Approvals</i> | | ÜZ / IB, CB |
| Putz- und Mauerbinder / <i>Masonry cement</i> | EN 413-1 | Z / CB | |
| Hydraulischer Tragschichtbinder / <i>Hydraulic road binder</i> | DIN 18506 | | ÜZ / IB, CB ¹⁾ |
| Baukalk / <i>Building lime</i> | EN 459-1 | Z / CB | |
| Sonstige zementartige Bindemittel / <i>Binders</i> | Zulassungen / <i>Approvals</i> ²⁾ | | ÜZ / IB, CB |
| Betonzusatzstoffe / <i>Concrete additions</i> | | | |
| Pigmente zum Einfärben von zement- und/oder kalkgebundenen Baustoffen / <i>Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime</i> | EN 12878 | Z / CB | |
| Flugasche für Beton / <i>Fly ash for concrete</i> | EN 450-1 | Z / CB | ÜZ / IB, CB |
| Silicastaub für Beton / <i>Silica fume for concrete</i> | EN 13263-1 | Z / CB | |
| Hüttensandmehl zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einpressmörtel / <i>Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout</i> | EN 15167-1 | Z / CB | |
| Natürliche Puzzolane (Trass) / <i>Trass</i> | DIN 51043 | | PÜZ / T, IB, CB |
| Anorganische Betonzusatzstoffe / <i>Inorganic concrete additions</i> | Zulassungen / <i>Approvals</i> ²⁾ | | ÜZ / IB, CB |
| Organische Betonzusatzstoffe / <i>Organic concrete additions</i> | Zulassungen / <i>Approvals</i> ²⁾ | | ÜZ / IB, CB |
| Betonzusatzmittel / <i>Concrete admixtures</i> | | | |
| Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel / <i>Admixtures for concrete, mortar and grout</i> | EN 934-2, -3, -4 | Z / CB | |
| Betonzusatzmittel / <i>Concrete admixtures</i> | Zulassungen / <i>Approvals</i> ²⁾ | | ÜZ / IB, CB |
| Gesteinskörnungen / <i>Aggregates</i> | | | |
| Gesteinskörnungen für Beton / <i>Aggregates for concrete</i> | EN 12620 | Z / CB | |
| Leichte Gesteinskörnungen / <i>Lightweight aggregates</i> | EN 13055-1 | Z / CB | |
| Gesteinskörnungen für Mörtel / <i>Aggregates for mortar</i> | EN 13139 | Z / CB | |
| Gesteinskörnungen nach EN 12620 mit Alkaliempfindlichkeitsklasse / <i>Aggregates according to EN 12620 with alkali reactive class</i> | EN 12620 | | ÜZ / IB, CB |
| Gesteinskörnungen nach EN 12620 mit Alkaliempfindlichkeitsklasse EI aus unbedenklichen Vorkommen / <i>Aggregates according to EN 12620 with alkali reactive class EI from uncritical deposits EN 12620</i> | EN 12620 | | ÜZ / IB, CB |
| Rezyklierte Gesteinskörnungen Typ 1 und 2 / <i>Recycled aggregates type 1 and 2</i> | DIN 4226-100 | | ÜZ / IB, CB |
| Künstlicher Zuschlag / <i>Artificial aggregates</i> | Zulassungen / <i>Approvals</i> | | ÜZ / IB, CB |
| Recycling-Zuschlag / <i>Recycled aggregates</i> | Zulassungen / <i>Approvals</i> | Z / CB | ÜZ / IB, CB |
| Mörtel im Mauerwerksbau / <i>Mortar for masonry</i> | | | |
| Mauermörtel / <i>Masonry mortar</i> | EN 998-2 | Z / CB | |
| Einpressmörtel / <i>Grout</i> | | | |
| Einpressmörtel für Spannglieder / <i>Grout for prestressing tendons</i> | EN 447 | | ÜZ / IB, CB |
| Überwachen des Herstellens und Einpressens von Zementmörtel in Spannkanäle / <i>Inspection of the manufacture and injection of grout in tensioning ducts</i> | | | Ü / IB |
| Beton / <i>Concrete</i> | | | |
| Beton nach Eigenschaften, Beton nach Zusammensetzung / <i>Designed concrete, prescribed concrete</i> | EN 206-1 und -9 DIN 1045-2 und -3 EN 1008 DAfStb-Richtlinien / <i>DAfStb-Guidelines</i> | | ÜZ / IB, CB |
| Von DIN 1045 abweichender Beton / <i>Concrete deviating from DIN 1045</i> | Zulassungen / <i>Approvals</i> | | ÜZ / IB, CB |

BauPVO: Bauproduktenverordnung / *CPR: Construction Product Regulation* LBO: Landesbauordnungen / *LBO: Federal State Building Code*
P: Prüfstelle bzw. Prüflabor / *T: Testing body or laboratory* Ü: Überwachungsstelle / *IB: Inspection body* Z: Zertifizierungsstelle / *CB: Certification body*

¹⁾ Bauaufsichtlich nicht relevant / *Not relevant for building inspectorate approval*

²⁾ Bei wesentlichen Abweichungen von der Norm / *In the event of significant deviations from standard*

überwachte die PÜZ-Stelle 15 Putz- und Mauerbinder nach EN 413-1 sowie 21 hydraulische Boden- und Tragschichtbinder nach DIN 18506.

Die Anzahl der überwachten Zemente der Festigkeitsklasse 32,5 hat sich verringert und die der Festigkeitsklassen 42,5 und 52,5 erhöht. Ursache hierfür ist, dass in den letzten Jahren eine Reihe von Zementen der Klassen 32,5 R bzw. 42,5 R in die nächst höheren Festigkeitsklassen 42,5 N bzw. 52,5 N umgestuft wurden.

Fremdüberwachung von Zement nach freiwilligen Regelwerken

Zwischen der PÜZ-Stelle des VDZ und den entsprechenden belgischen, dänischen, französischen und niederländischen Stellen bestehen seit vielen Jahren bilaterale Vereinbarungen über die gegenseitige Anerkennung von Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungstätigkeiten. Hierbei handelt es sich um Fremdüberwachungen nach nationalen Regelwerken, die über die Anforderungen der EN 197 hinausgehen. Die PÜZ-Stelle führt in Absprache mit den ausländischen Stellen bei deutschen Herstellern die erforderlichen ergänzenden Prüfungen und Überwachungen durch. Dadurch lässt sich der Zusatzaufwand für die Zementhersteller deutlich reduzieren.

Im Jahr 2014 wurden von der PÜZ-Stelle 123 Zemente nach niederländischen Beurteilungskriterien (BRL 2601) überwacht (**Tabelle 1.6.1-2**). Außerdem zertifizierte und überwachte die PÜZ-Stelle 62 Zemente nach belgischen Regelwerken, die zur Führung des belgischen BENOR-Zeichens berechtigen. 45 Zemente wurden nach einem französischen Reglement geprüft und überwacht, um das NF-Zeichen zu erhalten. Nach dänischen Regelwerken wurden 9 Zemente im Jahr 2014 überwacht und haben ein Dancert-Zertifikat nach DS/INF 135 erhalten.

Weitere Bauprodukte

Die Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Zement und zementhaltigen Bindemitteln bilden nach wie vor den Tätigkeitsschwerpunkt der PÜZ-Stelle des VDZ. Allerdings wurde die Kompetenz in den letzten Jahren immer weiter ausgebaut und umfasst dadurch mittlerweile auch zahlreiche weitere Bauprodukte.

Beispielsweise wird seit der bauaufsichtlichen Einführung der Pigmentnorm EN 12878 im Jahr 2006 die werkseigene Produk-

body also inspected 15 masonry cements according to EN 413-1 as well as 21 hydraulic road binders according to DIN 18506.

The number of inspected cements in strength class 32,5 has decreased, and the number of cements in strength classes 42,5 and 52,5 has increased. The reason for this is that, in the past few years, a series of cements in classes 32,5 R and 42,5 R were reassigned to the next higher strength class 42,5 N and 52,5 N.

Third party inspection of cement according to voluntary regulations

Bilateral agreements for mutual recognition of testing, inspecting and certifying activities have been in place between the VDZ's testing, inspection and certification body and the corresponding Belgian, Danish, French and Dutch bodies for many years. This relates to third party inspections according to national rules exceeding the requirements of EN 197. The testing, inspection and certification body performs the required supplementary tests and inspections for German producers in coordination with the foreign bodies. This reduces the additional expense for the cement producers by a considerable amount.

In 2014, the testing, inspection and certification body inspected 123 cements according to Dutch assessment criteria (BRL 2601) (**Table 1.6.2**). The testing, inspection and certification body also certified and inspected 62 cements according to Belgian regulations, which entitled the works to use the Belgian BENOR mark. 45 cements were tested and inspected according to a French regulation in order to receive the NF mark. In 2014, 9 cements were inspected according to Danish regulations in order to receive the Dancert certificate according to DS/INF 135.

Other construction products

The testing, inspection and certification of cements and cementitious binders remains the focus of the VDZ's testing, inspection and certification body's activities. However, their competency continued to expand over previous years and now also includes numerous construction products.

For example, the factory production control of various pigment producers has been certified and inspected since the building supervision authority's introduction of the pigment standard

Tabelle 1.6.1-2 Übersicht über die von PÜZ-Stelle im Jahr 2014 zertifizierten bzw. überwachten Zemente und hydraulischen Bindemittel

Table 1.6.1-2 Overview of PÜZ-certified and -monitored cements and hydraulic binders in 2014

| Bindemittel / Binders | Norm, Regelwerk / Standard, regulation | Geltungsbereich / Scope of application | Art der Zertifizierung / Type of certification | Anzahl Bindemittel / Number of binders |
|---|--|--|--|--|
| Zement / Cement | EN 197-1 | EU / EU | Gesetzlich / Legal | 465 ¹⁾ |
| | DIN 1164 | Deutschland / Germany | | |
| | Zulassung | Deutschland / Germany | | |
| | TL Beton-StB | Deutschland / Germany | | |
| | BRL 2601, NEN 3550 | Niederlande / Netherlands | Privatrechtlich / Under private law | 123 |
| | TRA 600, PTV 603, NBN B 12 | Belgien / Belgium | | 62 |
| | Reglement NF | Frankreich / France | | 45 |
| | DS/INF 135 | Dänemark / Denmark | | 9 |
| Putz- und Mauerbinder / Masonry cement | EN 413 | Deutschland / Germany | Gesetzlich / Legal | 15 |
| Hydraulischer Tragschichtbinder / Hydraulic road binder | DIN 18506 | Deutschland / Germany | Gesetzlich / Legal | 21 |

¹⁾ Darin sind insgesamt 118 Mehrfachzertifikate für identische Zemente enthalten. / Includes 118 multiple-certificates for identical cements.

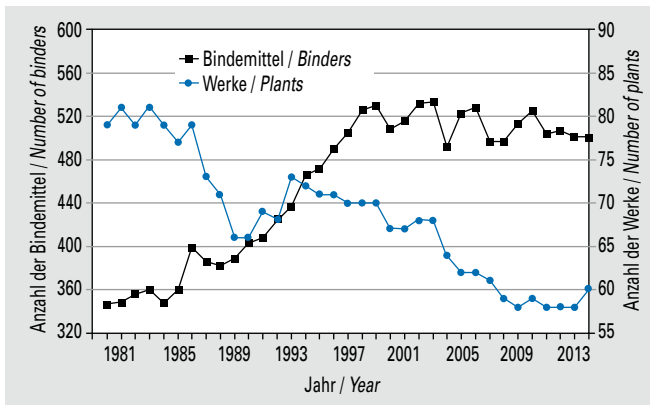


Bild 1.6.1-1 Entwicklung der von der PÜZ-Stelle fremdüberwachten Bindemittel und Werke
Fig. 1.6.1-1 Development of third-party inspected binders and plants by PÜZ

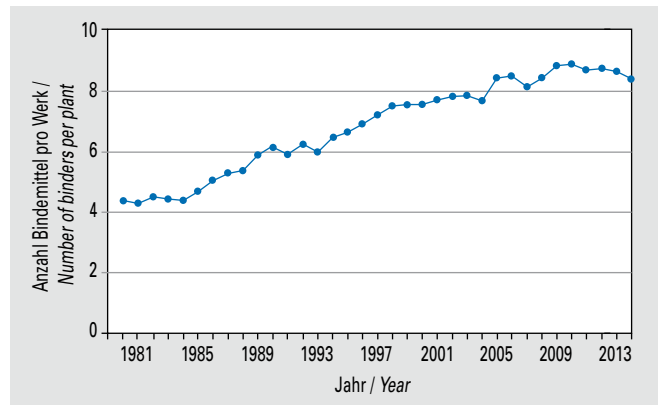


Bild 1.6.1-2 Mittlere Anzahl überwachter Bindemittel je PÜZ-überwachtem Werk
Fig. 1.6.1-2 Average number of monitored binders per PÜZ-monitored plant

tionskontrolle verschiedener Pigmenthersteller zertifiziert und überwacht. Dies betraf im Jahr 2014 die Herstellung von 70 verschiedenen Pigmenten.

Im Jahr 2008 wurde mit der Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Hüttensandmehl nach EN 15167-1 begonnen. Zurzeit überwacht die PÜZ-Stelle vier Hüttensandmehle.

Vergleichsprüfungen

Die Akkreditierung der VDZ-Prüflaboratorien nach EN ISO/IEC 17025 fordert, dass Labore an regelmäßigen Vergleichsprüfungen teilnehmen. Die PÜZ-Stelle nimmt seit vielen Jahren regelmäßig an verschiedenen Ringversuchen teil. Insbesondere die Standardprüfungen für Zement werden mehrmals pro Jahr national und international verglichen.

Beispielsweise werden von einer niederländischen Stelle wöchentliche Vergleichsprüfungen mit einem Referenzzement organisiert, die vierteljährlich ausgewertet werden. Bei jährlichen Treffen von Vertretern der teilnehmenden Fremdüberwachungsstellen werden die Ergebnisse diskutiert. Darüber hinaus werden die Resultate der wöchentlichen Prüfung des Referenzzements in einer Qualitätsregelkarte dokumentiert, um etwaige Schwankungen festzustellen und rasch reagieren zu können.

Außerdem nimmt der VDZ an der jährlich durchgeführten Zement-Vergleichsprüfung der Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques (ATILH) teil, an der sich regelmäßig rund 180 Prüflaboratorien aus 35 Ländern beteiligen. Zusätzlich zu diesen internationalen Ringversuchen wurden auch auf nationaler Ebene Vergleichsversuche an Zement und anderen Baustoffen, wie z. B. Flugasche und Betonzusatzmitteln, durchgeführt.

Prüflabor

Im Zusammenhang mit Fremdüberwachungsprüfungen sowie zugehörigen Auftrags- und Vergleichsprüfungen werden jährlich rund 3 800 Bindemittelproben in den VDZ-Prüflaboren geprüft. Bei durchschnittlich etwa zwölf zu prüfenden Eigenschaften entspricht das über 45 000 Prüfungen. Dieser hohe Probendurchsatz erfordert rationelle Abläufe in den Laboren. Andererseits müssen auch ein konstantes Prüfniveau und eine hohe Prüfqualität sichergestellt werden. Dies wird durch eine hohe Vereinheitlichung der Prozesse und durch ständige Schulungen erzielt. Über Vergleichsprüfungen sowie durch die Akkreditierung wird die Kompetenz der Prüflabore ständig nachgewiesen.

EN 12878 in 2006. In 2014, this affected the production of 70 different pigments.

The testing, inspection and certification of ground granulated blast furnace slag according to EN 15167-1 started in 2008. The testing, inspection and certification body currently inspects four ground granulated blast furnace slags.

Comparison tests

The accreditation of VDZ's testing laboratories according to EN ISO/IEC 17025 requires that laboratories participate in regular comparison tests. The testing, inspection and certification body has been regularly participating in various interlaboratory tests for many years. In particular, the standard tests for cement are compared several times a year at both a national and international level.

For example, a Dutch body organises weekly comparison tests with a reference cement that is evaluated on a quarterly basis. The results are discussed at annual meetings of representatives of the participating third party inspection bodies. Furthermore, the results of the weekly reference cement tests are documented in a quality control chart in order to be able to rapidly identify and respond to any fluctuations.

Furthermore VDZ participates in the annual cement comparison tests of the Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques (ATILH), in which about 180 testing laboratories from 35 countries participate. In addition to these international interlaboratory tests, comparison tests are also performed on cements and other building materials, such as fly ash and concrete admixtures, at a national level.

Testing laboratory

Around 3 800 binder samples are tested annually in VDZ's laboratories in connection with third party inspection. This relates to about 45 000 tests for an average of twelve properties to be tested. This high sample throughput requires efficient processes in the laboratories. On the other hand, a consistently high level of testing quality must also be ensured. This is achieved by a high level of standardisation of the processes and constant training. The competency of the testing laboratories is constantly verified by comparison tests and accreditation.

1.6.2 Qualitätssicherung von Zement und Bindemitteln ■

Seit fast 15 Jahren dürfen Normalzemente, die mit dem CE-Zeichen gekennzeichnet sind, auf dem europäischen Binnenmarkt uneingeschränkt in Verkehr gebracht werden. Die Überwachung dieser Zemente erfolgt gemäß der europäisch harmonisierten Norm EN 197-2 „Konformitätsbewertung“. Ergänzend dazu enthält der CEN-Bericht CEN/TR 14245 Leitlinien für die Anwendung der EN 197-2. Außerdem hat die europäische Sektorgruppe SG 02 der notifizierten Stellen (Notified Bodies) verschiedene Positionspapiere mit zusätzlichen Hinweisen erarbeitet. Der CEN-Bericht, in deutscher Version als DIN SPEC 18098 (vormals DIN-Fachbericht 197) veröffentlicht, und die Positionspapiere ermöglichen eine einheitliche Anwendung der Überwachungsnorm durch die unterschiedlichen Stellen in Europa.

Konformitätsnachweis nach EU-Bauproduktenverordnung

Die Konformitätsbewertungsverfahren für die verschiedenen Baustoffe werden durch die EU-Kommission festgelegt und durch die europäische Normungsorganisation CEN in zugehörigen harmonisierten Normen ausgestaltet. In der Bauproduktenverordnung sind vier Systeme der Konformitätsbescheinigung definiert (**Tabelle 1.6.2-1**). Bei all diesen Systemen muss der Hersteller unter seiner Verantwortung eine werkseigene Produktionskontrolle betreiben. Der Unterschied zwischen den Systemen besteht in dem Grad der Einbindung einer unabhängigen externen Stelle.

Die anerkannte Stelle überwacht entweder die werkseigene Produktionskontrolle (System 2+) oder führt eine Erstprüfung des Produkts durch (System 3). Bei System 4 ist keine Einbindung einer anerkannten Stelle vorgesehen. Regelmäßige Fremdüberwachungsprüfungen finden nur im Falle einer Produktzertifizierung nach dem System 1+ statt. Diese wird nur für wenige Baustoffe gefordert, beispielsweise für Normalzemente. Zemente mit besonderen Eigenschaften und Sonderbindemittel, da diese Bauprodukte eine besonders hohe Bedeutung für die Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Bauwerken haben. Für hydraulische Tragschichtbinder ist das System 2+ vorgesehen, bei dem die werkseigene Produktionskontrolle durch eine zugelassene Stelle überwacht wird.

Die Bauproduktenverordnung enthält im Unterschied zu vielen anderen entsprechenden europäischen Richtlinien und Verordnungen keine direkten Produktanforderungen. Hierzu dienen vielmehr europäisch harmonisierte Produktnormen sowie europäische technische Zulassungen. Die jeweiligen Normen legen die erforderlichen Nachweise des Herstellers einschließlich durchzuführender Prüfungen mit Prüfhäufigkeiten und -verfahren fest. Die Konformität von Zement wird entsprechend der Überwachungsnorm EN 197-2 bewertet. Die Norm hat sich bewährt und bildete deshalb auch die Vorlage für entsprechende Festlegungen bei Betonzusatzstoffen wie Flugasche, Silicastaub und Hüttensand.

Marktüberwachung

Die europäische Verordnung über die Vorschriften für die Akkreditierung und Marktüberwachung verpflichtet die EU-Mitgliedsländer zu einer neuen und einheitlichen Organisation der Marktüberwachung. Kernpunkt ist die Einführung nationaler Marktüberwachungsprogramme. In Deutschland liegt die Zuständigkeit für die Umsetzung der Marktüberwachung bei Behörden der Bundesländer und dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt). Diese können nicht nur anlassbezogen, sondern auch stichprobenartige Prüfungen vornehmen. In der Regel wird hierbei

1.6.2 Quality assurance of cement and binders ■

Common cements bearing the CE mark have been able to be placed on the European market without restriction for almost 15 years. These cements are inspected pursuant to the European harmonised standard EN 197-2 “Conformity Evaluation”. In addition, the CEN report CEN/TR 14245 contains guidelines for the application of EN 197-2. The European sector group SG 02 of the Notified Bodies has also prepared various proposition papers with additional information. The CEN report, published as DIN SPEC 18098 (formerly DIN technical report 197) in the German version, and the position papers enable a uniform application of the inspection standard by the various bodies in Europe.

Proof of conformity according to the EU Construction Products Regulation

The conformity verification process for the various building materials are specified by the European standardisation organisation CEN in associated harmonised standards. The Construction Products Regulation defines four systems of assessment and verification of constancy of performance (AVCD) (**Table 1.6.2-1**). For all these systems the producer is responsible for operating factory production control. The difference between the systems is based on the degree of involvement of a certification body or testing laboratory.

The recognised body inspects either the factory production control (system 2+) or performs an initial test of the product (system 3). System 4 does not provide for the integration of a notified body. Regular third party inspection tests only take place in product certification according to system 1+. This is only required for a few building materials, for example for common cements, cements with special properties and special binders, as these construction products are particularly important for the safety and durability of buildings. System 2+ is provided for hydraulic road binders, for which the factory production control is inspected by a notified body.

In contrast to many other related European directives and regulations, the Construction Products Regulation does not contain any direct product requirements. Rather, European harmonised product standards and European technical assessments apply in this regard. The relevant standards specify the required producer verification including the tests to be performed together with the testing frequencies and processes. The conformity of cement is evaluated according to inspection standard EN 197-2. The standard has proven itself in practice and is therefore also the template for corresponding rules for concrete additions such as fly ash, silica fume and blast furnace slag.

Market surveillance

The European regulation on the provisions for accreditation and market surveillance obliges the EU member states to participate in a new and uniform market surveillance organisation. The focus is on the introduction of national market surveillance programs. In Germany, the responsibility for the implementation of the market surveillance lies with the federal state authorities and the German Institute for Building Technology (DIBt). In the future, these may perform both scheduled as well as random sample tests. In general, this initially investigates whether construction products meet the formal requirements (administrative verification with regard to identification, etc.). However, physical and/or chemical product tests may also take place.

Tabelle 1.6.2-1 Systeme zur Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit nach Anhang V der Bauproduktenverordnung
Table 1.6.2-1 Systems of assessment and verification of constancy of performance according to Annex V of the Construction Products Regulation

| System / System | Aufgaben des Herstellers / Tasks of the manufacturer | Aufgaben der notifizierten Stelle / Tasks of the notified body | Bauprodukte / Construction products |
|-----------------|--|--|--|
| 1 + | - Werkseigene Produktionskontrolle WPK / <i>Factory production control</i> - Prüfung von Proben nach festgelegtem Prüfplan / <i>Further testing of samples in accordance with the prescribed test plan</i> | Produkt-Zertifizierung auf Basis einer / <i>Product certification based on</i> - Erstinspektion des Werks und der werkseigenen Produktionskontrolle / <i>Initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control</i> - Bewertung der Leistung des Bauprodukts (Erstprüfung) / <i>Assessment of the performance of the construction product (initial testing)</i> - Kontinuierliche Überwachung, Bewertung und Evaluierung der werkseigenen Produktionskontrolle / <i>Continuing surveillance, assessment and evaluation of factory production control</i> - Stichprobenprüfung / <i>Audit-testing of samples</i> | Zement ¹⁾ / <i>Cement</i> PM-Binder / <i>Masonry cement</i> Hüttensandmehl / <i>Ground granulated blast furnace slag</i> Flugasche / <i>Fly ash</i> Silicastaub / <i>Silica fume</i> |
| 1 | | - Wie System 1 + aber ohne Stichprobenprüfung / <i>as for system 1 + but without audit-testing of samples</i> | - |
| 2 + | - Bewertung der Leistung des Bauprodukts (Erstprüfung) / <i>Assessment of the performance of the construction product (initial testing)</i> - Werkseigene Produktionskontrolle / <i>Factory production control</i> - Prüfung von Proben nach festgelegtem Prüfplan / <i>Further testing of samples in accordance with the prescribed test plan</i> | Zertifizierung der werkseigenen Produktionskontrolle auf Basis einer / <i>Certification of the factory production control based on</i> - Erstinspektion des Werks und der werkseigenen Produktionskontrolle / <i>Initial inspection of the manufacturing plant and of factory production control</i> - Kontinuierliche Überwachung, Bewertung und Evaluierung der werkseigenen Produktionskontrolle / <i>Continuing surveillance, assessment and evaluation of factory production control</i> | Zusatzmittel / <i>Admixtures</i> Tragschichtbinder / <i>Hydraulic road binder</i> Gesteinskörnungen ²⁾ / <i>Aggregates²⁾</i> Pigmente / <i>Pigments</i> Baukalk / <i>Building lime</i> Mauermörtel ³⁾ / <i>Masonry mortar³⁾</i> |
| 3 | - Werkseigene Produktionskontrolle / <i>Factory production control</i> | - Feststellung der Leistung des Produkts (Erstprüfung) / <i>Assessment of the performance of the construction product (initial testing)</i> | |
| 4 | - Bewertung der Leistung des Bauprodukts (Erstprüfung) / <i>Assessment of the performance of the construction product (initial testing)</i> - Werkseigene Produktionskontrolle / <i>Factory production control</i> | - | Gesteinskörnungen ²⁾ / <i>Aggregates²⁾</i> Mauermörtel ³⁾ / <i>Masonry mortar³⁾</i> |

¹⁾ Normalzement nach EN 197-1, Zement mit besonderen Eigenschaften nach DIN 1164-10 / DIN 1164-11 / DIN 1164-12, Tonerdezement nach EN 14647 / *Common cement according to EN 197-1, cement with special properties according to DIN 1164-10 / DIN 1164-11 / DIN 1164-12, calcium aluminate cement according to EN 14647*

²⁾ bei hohen Sicherheitsanforderungen System 2 +, sonst System 4 / *System 2 + for high safety requirements, otherwise system 4*

³⁾ Mauermörtel n. Eignungsprüfung System 2 +, Mauermörtel n. Rezept System 4 / *System 2 + for designed masonry mortar, system 4 for masonry mortar acc. to recipe*

zunächst überprüft, ob Bauprodukte die formellen Anforderungen erfüllen (Dokumentenprüfung hinsichtlich der Kennzeichnung etc.). Gegebenenfalls finden auch physikalische und/oder chemische Prüfungen der Produkte statt.

Zusammenarbeit der notifizierten Stellen

In Europa gibt es mehrere hundert nach Bauproduktenverordnung notifizierte Stellen, die aus Bereichen mit unterschiedlichsten Traditionen und Erfahrungen stammen. Deshalb ist es wichtig, dass die Normen und Regelwerke in gleicher Weise ausgelegt und angewendet werden. Zu diesem Zweck schreibt die Bauproduktenverordnung eine regelmäßige Teilnahme notifizierter Stellen an einem Erfahrungsaustausch als wesentliche Voraussetzung für die Anerkennung vor. Entsprechend den Vorgaben der EU-Kommission organisieren die notifizierten Stellen die Zusammenarbeit untereinander selbst. Es bestehen sowohl horizontale als auch sektorbezogene europäische Gremien. Da in Deutschland besonders viele notifizierte Stellen tätig sind, werden die Arbeiten zusätzlich national gespiegelt.

Die PÜZ-Stelle des VDZ beteiligt sich regelmäßig an dem Erfahrungsaustausch sowohl innerhalb der relevanten europäischen als auch der nationalen Gremien. Hierbei hat sie u. a. maßgeblich an den Positionspapieren für Zement, Flugasche, Silicastaub und Hüttensand mitgewirkt.

Cooperation between the notified bodies

Europe has several hundred notified bodies in accordance with the Construction Products Regulation that originate from areas with different traditions and experiences. It is therefore important that the standards and regulations are interpreted and applied in a harmonised manner. The Construction Products Regulation prescribes the regular participation of notified bodies in an exchange of experiences as a key requirement for the notification. In accordance with the specifications of the EU Commission, the notified bodies organise this cooperation amongst themselves. Both horizontal as well as sectoral European committees exist. As there are a large number of notified bodies operating in Germany, the activities are also reflected at a national level.

The VDZ’s testing, inspection and certification body regularly participates in the exchange of experiences, as well as in relevant European and national committees. This enabled the body to make significant contributions to the position papers for cement, fly ash, silica fume and blast furnace slag, etc.

1.7 VDZ-Weiterbildungswerk / VDZ education and training

Die Qualifizierung und Weiterbildung der Mitarbeiter in den Mitgliedsunternehmen gehören zu den Kernaufgaben des VDZ. Das Angebot erstreckt sich von der Schulung technischer Grundlagen über die Vermittlung von speziellem Fachwissen bis hin zu langfristigen Weiterbildungskursen für Führungskräfte. Dabei gewährleisten der Austausch im VDZ-Lehrgangsbeirat und die Zusammenarbeit mit den Werken ein effizientes und praxisnahes Lernen mit aktuellen Inhalten.

Industriemeister-Lehrgang (IML)

Seit rund 60 Jahren führt der VDZ in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband der deutschen Kalkindustrie e. V. den Industriemeisterlehrgang Kalk/Zement (IML) durch. In den Meisterlehrgängen konnten bisher insgesamt 621 Meister ausgebildet werden. Die 19 Teilnehmer des 26. Lehrgangs, 17 aus der Zementindustrie und zwei aus der Kalkindustrie, konnten im März 2015 ihren Meisterbrief in Empfang nehmen, nachdem sie zuvor ihr Können vor dem Prüfungsausschuss der Industrie- und Handelskammer zu Düsseldorf unter Beweis gestellt hatten (**Bild 1.7-1**).

In insgesamt 28 Unterrichtsfächern mit ca. 860 Unterrichtsstunden müssen die Industriemeisteranwärter ihr theoretisches Rüstzeug für die spätere Tätigkeit im Zement- bzw. Kalkwerk erlernen. In der insgesamt 18-monatigen Weiterbildungsmaßnahme erlernen die Teilnehmer nicht nur die theoretischen Grundlagen der Kalk- und Zementherstellung. Sie werden auch in fachübergreifenden Themen wie zum Beispiel in der Führung von und im Umgang mit Mitarbeitern gezielt geschult. Hierbei wird insbesondere darauf geachtet, dass die Anwärter als Team funktionieren und sich gegenseitig unterstützen. Während der Präsenzphasen werden zunächst die Grundlagenfächer Mathematik, Physik, Chemie und stoffkundliche Grundlagen unterrichtet. Unterbrochen von zwei 4- und 6-monatigen Fernlehrgängen in den heimischen Werken werden die Anwärter anschließend schwerpunktmäßig in den fachspezifischen Fächern geschult. Ein weiterer Schwerpunkt der Ausbildung liegt in den Fächern Arbeitssicherheit und Verhalten im Betrieb. Letztendlich wird die anerkannte Weiterbildungsmaßnahme durch den Erwerb der Ausbildereignung (AEVO) abgerundet. Nach erfolgreicher Prüfung sind die Meister dazu befähigt, Mitarbeiter auszubilden.

Produktionssteuerer-Lehrgang (PSL)

Die zunehmende Komplexität der verfahrenstechnischen Anlagen in Verbindung mit den hohen Anforderungen an die Umweltvorsorge, die Arbeitssicherheit und einen effizienten Betrieb erfordern auch von den Leitstandsfahrern moderner Drehofen- und

The qualification and training of the workforces in the building materials and raw materials extracting industry is one of the core tasks of VDZ. The programme ranges from training in the basics of technology through the teaching of specialist knowledge to long-term development courses for management. Exchange within the VDZ Education Advisory Board and collaboration with the works ensure efficient and practical training with up-to-date content.

Plant supervisor training course (IML)

VDZ has been working with the Bundesverband der deutschen Kalkindustrie e. V. (German Association of the Lime Industry) to offer the plant supervisor training course for lime/cement (IML) for around 60 years now. A total of 621 plant supervisors have been trained on the courses so far. The 19 participants of the 26th training course – 17 from the cement industry and two from the lime industry – received their master craftsman's certificates in March 2015, having proven their abilities to the Examination Board of the Chamber of Industry and Commerce of Düsseldorf (**Fig. 1.7-1**).

The plant supervisor candidates have to study theoretical know-how for their subsequent activities in the cement and lime works in a total of 28 subjects with approx. 860 hours of lessons. During the training measure, lasting a total of 18 months, students not only learn the theoretical principles of lime and cement production. They also receive special training in interdisciplinary subjects such as management and interaction with employees. A particular focus is on teamwork and mutual support. First, the fundamental subjects of mathematics, physics, chemistry and material basics are taught during the boarding period. Interrupted by two 4- and 6-month distance courses in their local works, the candidates then receive specialist training in vocationally relevant subjects. The training also focuses on the topics of safety at work and behaviour during operation. Finally, the recognised training measure is rounded off by acquiring the Ordinance on Trainer Aptitude (AEVO). After successfully passing the test, the plant supervisors are also qualified to train apprentices.

Central control room operator training

Increasing complexity of process engineering plants and high requirements in terms of environmental control, safety at work and efficient operation mean that control room operators of modern rotary kiln and grinding plants require excellent specialist knowledge and networked ways of thinking. With a view to meeting the continually increasing requirements, VDZ has been very successfully implementing central control room operator training since



Bild 1.7-1 Teilnehmer des 26. Industriemeister-Lehrgangs Kalk/Zement

Fig. 1.7-1 Participants of the 26th supervisor course lime/cement



Bild 1.7-2 Teilnehmer des 20. Produktionssteuerer-Lehrgangs

Fig. 1.7-2 Participants of the 20th control room operator course

Tabelle 1.7-1 Auswahl aus den Weiterbildungsangeboten 2015/2016 / Table 1.7-1 Selected trainings 2015/2016

| Seminarthemen / Seminar topics | Zielgruppen / Target group | | | | | Dauer / Duration |
|---|--------------------------------------|---|----------------------------|---|---------------------------|---|
| | Pro- duktion / Pro- duction | Instand- haltung / Main- tenance | Labor / Labo- ratory | Anwendungs- techniker / Application engineer | Son- stiges / Other | |
| Zementproduktion / Cement production | | | | | | |
| Industriemeister Kalk/Zement / Supervisor lime/cement | ● | ● | ● | | | Lehrgang, 18 Monate / Course, 18 month |
| Produktionssteuerer Zement / CCR operator cement | ● | ● | ● | | | Lehrgang, 7 Wochen / Course, 7 weeks |
| Grundlagen der Zementproduktion und -verwendung / Basics of cement production and application | ● | | | | ● | Seminar, 5 d |
| Neues für Industriemeister und Produktionssteuerer / Update for plant supervisors and control room operators | ● | | | | | Seminar, 2 d |
| Instandhaltung im Zementwerk / Maintenance in a cement plant | ● | ● | | | | Seminar, 2 d |
| Praxisseminar Grundlagen der Tribologie und Schmierungs- technik in der Zementindustrie / Basics of tribology and lubrication engineering in the cement industry work | ● | ● | | ● | | Seminar, 2 d |
| Praxiswissen Arbeitsschutz für Meister und Vorarbeiter aus der Zementindustrie / Practical knowledge Work safety for supervisors and foremen in the cement industry | ● | ● | ● | | ● | Seminar, 3 d |
| Grundlagen der Mahltechnik / Basics of grinding technology | ● | | | | | Seminar, 2 d |
| Mahltechnik für Fortgeschrittene / Grinding technology for advanced learners | ● | | | | | Seminar, 1 d |
| Moderne Ofen- und Brenntechnik / Modern kiln and burning technology | ● | | | | | Seminar, 3 d |
| Grundlagen der Zementchemie / Basics of cement chemistry | ● | | ● | ● | ● | Seminar, 2 d |
| Grundlagen der Rohmaterialgewinnung / Basics of raw material extraction | ● | | ● | | | Seminar, 2 d |
| Technische Mineralogie / Industrial mineralogy | | | ● | ● | ● | Seminar, 2 d |
| Waagen und Dosiertechnik / Seminar weighing and dosing technology | ● | ● | | ● | | Seminar, 1 d |
| Qualitätssicherung / Quality surveillance | | | | | | |
| Güteüberwachung nach DIN EN 196 / Quality surveillance according to DIN EN 196 | | | ● | | | Seminar, 2 d |
| Bestimmung des Hüttensandgehalts – Methodik / Determi- nation of the blastfurnace slag content – methodology | | | ● | | | Seminar, 1 d |
| Bestimmung des Hüttensandgehalts – Mikroskopisch- chemisches Verfahren / Determination of the blastfurnace slag content – microscopic and chemical methods | | | ● | | | Seminar, 1 d |
| Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) / XRF spectroscopy | | | ● | | | Seminar, 1 d |
| Interne Auditoren / Internal auditors | ● | ● | ● | ● | ● | Seminar, 1 d |
| Workshop Spurenelementanalyse / Workshop Trace ele- ments analysis | | | ● | | | Seminar, 1 d |
| Umweltschutz / Environmental protection | | | | | | |
| Einführung in die Umwelttechnik / Introduction in environ- mental technology | | | | | ● | Seminar, 5 d |
| Fortbildung für Immissionsschutzbeauftragte / Advanced training for immission protection officers | | | | | ● | Seminar, 1 d |
| Betontechnik / Concrete technology | | | | | | |
| Praxisseminar Mahlbetrieb und Produkteigenschaften / Grinding operation and product properties | ● | | ● | ● | ● | Seminar, 1 d |
| Dauerhaftigkeit von Beton / Durability of concrete | ● | | ● | ● | | Seminar, 1 d |
| Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit von Zement und Beton / Environmental compatibility and sustainability | ● | | ● | ● | ● | Seminar, 1 d |

Mahlanlagen exzellente Fachkenntnisse und vernetztes Denken. Um den kontinuierlich gestiegenen Anforderungen gerecht zu werden, führt der VDZ seit den 1990er-Jahren sehr erfolgreich die sogenannten Produktionssteuerer-Lehrgänge (PSL) durch. Bis 2015 wurden in insgesamt 20 Lehrgängen nahezu 400 Personen zu Produktionssteuerern Zement weitergebildet (**Bild 1.7-2**).

Die Maßnahme umfasst einen theoretischen Teil, der im Rahmen eines siebenwöchigen Präsenzunterrichts angeboten wird, sowie einen praktischen Teil, der im Zementwerk zu absolvieren ist. Ziel ist es, dem Leitstandspersonal den aktuellen Kenntnisstand in der Verfahrens- und Umwelttechnik der Zementherstellung sowie die Anforderungen an einen effizienten, sicheren und störungsfreien Betrieb zu vermitteln. Den Teilnehmern wird ein vertieftes Verständnis in den Fächern Stoffkunde, Brenntechnik, Umwelttechnik, Aufbereitungstechnik, Mess- und Regelungstechnik sowie den naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern vermittelt. Vertieft werden die Kenntnisse durch die Schulung mit dem Simulator Simulex[®]. Dabei werden die Teilnehmer intensiv auf normale und ungeplante Betriebssituationen im Zementwerk vorbereitet. Angefangen von der Inbetriebnahme einzelner Aggregate und der gesamten Anlage bis hin zur Diagnose komplizierter Störungen werden die Teilnehmer ausgiebig geschult. Neben den Fachthemen sind aber auch der praktische Erfahrungsaustausch und das Arbeiten in der Gruppe Bestandteile des Kurses.

Seminare und Workshops

Seit 1998 bietet der VDZ im Rahmen seines Weiterbildungsangebots eine Reihe von ein- und mehrtägigen Seminaren an. Neben Themen zur Verfahrenstechnik der Zementherstellung, der chemischen Analytik, dem Immissions- und Umweltschutz und der Überwachung der Zementqualität werden auch Seminare zu betontechnologischen Themen sowie zur VDZ-Lernplattform angeboten. Die Seminare des VDZ sind im Wesentlichen als Einführung für junge sowie als Fortbildung für bereits länger in der Zementindustrie tätige Mitarbeiter gedacht. Darüber hinaus stehen die Seminare auch Mitarbeitern aus anderen Branchen oder der Zulieferindustrie offen.

Insgesamt wurden vom VDZ-Weiterbildungswerk seit 2012 im Schnitt 22 Seminare pro Jahr mit jeweils wechselnden Schwerpunkten angeboten. Seit 2012 haben sich die Teilnehmerzahlen weiterhin positiv entwickelt. So konnten 2014 doppelt so viele Menschen in den Seminaren des VDZ weitergebildet werden wie noch im Jahr 2011. Das jeweils aktuelle Kursangebot wird sowohl in Form einer Broschüre als auch über das Internet unter www.vdz-online.de/weiterbildung bekannt gemacht. Über die Internetseite besteht zudem die Möglichkeit der Onlineanmeldung; auch ein Newsletter, der drei- bis viermal jährlich über die jeweils nächsten Seminare des VDZ informiert (**Tabelle 1.7-1**), kann dort abonniert werden.

SIMULEX[®]-Training

Seit der gemeinsamen Entwicklung vor mehr als 15 Jahren setzt das VDZ-Weiterbildungswerk den SIMULEX[®]-Trainingssimulator von KHD Humboldt Wedag für Schulungen rund um Zementanlagen ein. Der VDZ hat seitdem mit praktischem Know-how aus der Zementindustrie zur Weiterentwicklung des SIMULEX[®]-Simulators beigetragen. Schulungsteilnehmer finden heute ein nahezu realistisches Modell eines Zementwerks mit modernster Überwachungstechnik und Messdatenerfassung vor.

Das VDZ-Weiterbildungswerk bietet eine Vielfalt an Schulungen mit dem Simulator an. Die Bandbreite reicht von der Einarbeitung

the 1990s. Almost 400 people in 20 courses had been trained as central control room operators for cement up to 2015 (**Fig. 1.7-2**).

The course includes a theoretical part, which is offered as a seven-week period of attendance classes, and a practical part to be completed at the cement works. The aim is to equip control room staff with the latest knowledge in process and environmental technology in cement production, as well as requirements for efficient, safe and trouble-free operation. Participants obtain deeper understanding of the subjects of materials, firing technology, environmental technology, minerals processing engineering, instrumentation and control technology, as well as the key science disciplines. The knowledge is enhanced by training with the Simulex[®] simulator. Participants are intensively prepared for normal and unplanned operational situations in the cement works. The students are extensively trained, from start-up training of individual units and the entire plant through to diagnosing complicated malfunctions. Apart from the specific subjects, the course also includes the practical exchange of experiences and group work.

Seminars and workshops

VDZ has been offering a range of one and several-day seminars as part of its training programme since 1998. Alongside subjects involving process technology in cement production, chemical analysis, environmental impact and environmental protection and monitoring of cement quality, seminars are also offered on topics in concrete technology, as well as on the VDZ e-learning platform. These VDZ seminars are primarily intended as an introduction for young employees and as advanced professional training for employees that have been active in the cement industry for an extended period. The seminars are also open to employees from other sectors and the supplier industry.

Overall, an average of 22 seminars, with changing focal points, have been offered by VDZ development programme every year since 2012. In addition, student numbers have continued to increase since 2012. In 2014, twice as many people received training from VDZ seminars than in 2011. The current training programme is published in the form of a brochure as well as via the internet at <https://www.vdz-online.de/en/training/>. The internet site also provides the option of registering and subscribing to a newsletter that provides information on upcoming VDZ seminars three to four times a year (**Table 1.7-1**).

SIMULEX[®] training

VDZ education and training has been using the SIMULEX[®] training simulator from KHD Humboldt Wedag for training in cement plants since it was jointly developed more than 15 years ago. Since this time, VDZ has contributed to the further development of the SIMULEX[®] simulator with practical expertise from the cement industry. Students now find a very realistic model of a cement works with the latest monitoring technology and measurement data logging.

VDZ offers a range of training sessions with the simulator, ranging from introduction of new employees to targeted training of experts. Training units customised on site by VDZ's employees allow for individual qualification of students. The experts at VDZ provide training in the full range of chemical basics, from process technology to plant optimisation. Each participant is offered individual support to ensure successful training.

neuer Mitarbeiter bis hin zum gezielten Training von Experten. Maßgeschneiderte Trainingseinheiten durch Mitarbeiter des VDZ vor Ort ermöglichen eine individuelle Qualifizierung der Schulungsteilnehmer. Die Experten des VDZ gewährleisten die Schulung in der vollen Bandbreite von chemischen Grundsatzfragen über die Prozesstechnologie bis hin zur Anlagenoptimierung. Für ein erfolgreiches Training wird hier jedem Schulungsteilnehmer eine individuelle Unterstützung geboten.

VDZ-Onlinekurse und Wissensnetzwerk

Mit den VDZ-Onlinekursen steht seit 2010 ein erprobtes Instrument zur effizienten Wissensvermittlung für an- und ungelernete Arbeitnehmer, Facharbeiter und Führungskräfte der Zementindustrie, aber auch für Mitarbeiter anderer Unternehmen der Steine-Erden-Industrien zur Verfügung. Jährlich werden weltweit mehr als 1 500 Nutzer registriert. In mehr als 60 Onlinekursen können die Beschäftigten sich über grundlegende Produktionsprozesse bis hin zur Betonanwendung informieren (**Tabelle 1.7-2**). Ansprechende Animationen helfen den Mitarbeitern dabei, komplexe Sachverhalte und Anlagen besser zu verstehen und in der Praxis effizienter, sicherer und umweltfreundlicher zu betreiben. In den anschließenden Tests haben die Mitarbeiter die Gelegenheit, ihr Wissen am Computer zu überprüfen. Wurde ein Test erfolgreich bearbeitet, bekommt der Mitarbeiter automatisch ein entsprechendes Zertifikat als Nachweis ausgestellt.

Begleitend zu den Onlinekursen bietet das VDZ-Weiterbildungswerk Kurse für den effektiven Einsatz der VDZ-Onlinekurse im betrieblichen Alltag an. In einer Tutorenschulung werden erfahrene Mitarbeiter als werksinterne Lernbegleiter ausgebildet. Durch regelmäßig stattfindende, kurze Präsenztrainingseinheiten helfen die Tutoren später den beteiligten Kollegen dabei, die VDZ-Onlinekurse effektiv für die berufliche Praxis zu nutzen.

Über das seit 2011 entwickelte „Wissensnetzwerk Steine-Erden“ haben die Mitarbeiter der Steine-Erden-Industrie zudem die Möglichkeit, moderne Formen des netzbasierten Wissenserwerbs für die individuelle Qualifizierung zu nutzen. Neben den VDZ-Onlinekursen zur Zementherstellung und Betontechnologie bietet das Wissensnetzwerk zahlreiche nützliche Zusatzfunktionen und -inhalte wie z. B. die Zusammenarbeit in Arbeitsgruppen oder den Zugriff auf Nachschlagewerke sowie Merkblätter des VDZ. Über die Zusammenarbeit mit der Kalk- und Transportbetonindustrie stehen zudem weitere Inhalte und Qualifizierungsmaßnahmen im Rahmen des Wissensnetzwerks zur Verfügung.

VDZ online courses and knowledge network

In existence since 2010, the VDZ online courses represent a tried-and-tested tool for efficient transfer of knowledge to trained and untrained employees, specialists and managers in the cement industry, as well as the workforces of other companies in the pit and quarry industries. More than 1 500 users worldwide are registered each year. With over 60 online courses, employees can learn about everything from fundamental production processes through to concrete applications (**Table 1.7-2**). Interesting animations help employees to understand complex situations and plants better, and operate them in a more efficient, safe and environmentally-friendly manner under practical conditions. In the subsequent tests, the employees have the opportunity to review their knowledge on the computer. Once a test has been successfully completed, the employee is automatically issued with a certificate as verification.

In addition to the online courses, VDZ offers courses for effective application of the VDZ online courses in everyday situations. Tutor training is used to teach experienced employees to become internal mentors. With regular, brief attendance-based training units, the tutors then help their colleagues in effectively using the VDZ online courses in practice.

The “Knowledge Network Pit and Quarry” (“Wissensnetzwerk Steine-Erden”), which has been developed since 2011, also allows workforces in the pit and quarry industry to use modern forms of net-based knowledge acquisition for individual qualification. Alongside the VDZ online courses on cement production and concrete technology, the knowledge network provides numerous useful additional functions and content, such as collaboration in task groups or access to reference works or VDZ codes of practice. Thanks to collaboration with the lime and ready-mixed concrete industry, even more content and qualification measures are available within the network.

Tabelle 1.7-2 Übersicht der Themen der VDZ-Onlinekurse / **Table 1.7-2** Overview of topics in VDZ online courses

| VDZ-Onlinekurse Zement / VDZ online courses cement | VDZ-Onlinekurse Betontechnologie / VDZ online courses concrete technology |
|--|--|
| Rohmaterialgewinnung / Raw material extraction | Betontechnologischer Grundlagen / Basics of concrete technology |
| Rohmaterialaufbereitung / Raw material pre-treatment | Betonausgangsstoffe / Concrete constituents |
| Klinkerproduktion / Clinker production | Frisch- und Festbetoneigenschaften / Fresh and hardened concrete properties |
| Zementproduktion / Cement production | Dauerhaftigkeit und Umweltverträglichkeit / Durability and environmental compatibility |
| Packerei und Versand / Packing and dispatch | Normung und Bestandteile von Zement / Standardisation and components of cement |
| Allgemeine Betriebseinrichtungen / General operating facilities | Zementeigenschaften und Prüfverfahren / Cement properties and testing methods |
| Umweltschutz / Environmental protection | Grundlagen Zementchemie / Basics of cement chemistry |
| Qualitätssicherung/Qualitätsmanagement / Quality surveillance/quality management | Betonzusatzmittel / Concrete admixtures |

1.8 Leistungsangebote des VDZ / Services of VDZ

1.8.1 Umwelt- und Betriebstechnik ■

Im Bereich der Umwelt- und Betriebstechnik umfasst das Leistungsspektrum des VDZ alle Untersuchungen der thermischen und mechanischen Verfahrenstechnik sowie Untersuchungen zu den Ursachen und zur Minderung von Emissionen im Zementwerk. Der VDZ übernimmt die vollständige Planung und Organisation von Werksversuchen sowie deren Abwicklung und Auswertung. Daher können auch komplexe umwelttechnische Fragestellungen bearbeitet werden.

In den vergangenen Jahren hat das Forschungsinstitut eine Vielzahl von Ofen- und Mühlenaudits im In- und Ausland durchgeführt. Auf Basis dieser Erfahrungen bietet das Forschungsinstitut standardisierte Audits mit unterschiedlicher Detailtiefe an:

- A-Level-Audit: Begutachtung basierend auf in der Anlage verfügbaren Informationen
- B-Level-Audit: Begutachtung basierend auf in der Anlage verfügbaren Informationen und Vor-Ort-Inspektion
- C-Level-Audit: Komplexe Messungen vor Ort und Ergebnisanalyse (Massen- und Volumenströme, Emissionen, Korngrößenverteilung...)

Im Rahmen der Audits werden Themen und Problemstellungen wie Feuerungstechnik für alternative Brennstoffe, deren Auswirkungen auf den Ofenbetrieb, Verminderung von Stoffkreisläufen, primäre und sekundäre Maßnahmen zur Emissionsminderung, Minderung von CO₂-Emissionen sowie verfahrenstechnische Modellierung von Ofen- und Mahlanlagen sowie betriebstechnische Optimierung behandelt. Diese technischen Audits werden den jeweiligen Kundenwünschen und Anlagenanforderungen angepasst. Wichtige Themen in Zeiten steigender Energiekosten und erhöhter Umweltauflagen sind die Minderung von Emissionen und die Reduzierung des thermischen sowie elektrischen Energiebedarfs.

Aufgrund der umfassenden Erfahrungen bei Anlagenbegutachtungen und im Genehmigungsmanagement ergeben sich gerade im Bereich der Umweltverträglichkeitsuntersuchungen nutzbare Synergieeffekte, da auch für komplexe Vorhaben alle notwendigen Leistungen aus einer Hand erbracht werden. Das Dienstleistungsangebot umfasst die nachfolgenden Auftragsuntersuchungen:

- Anlagentechnische Analysen und Bewertungen im Rahmen von A-, B- oder C-Level-Audits (Stand der Technik / Beste verfügbare Technik)
- Empfehlung von Maßnahmen zur Verbesserung der Emissions- bzw. Immissionsituation
- Emissions- und Immissionsprognosen
- Ableitbedingungen von Emissionen / Berechnung der Schornsteinhöhe
- Umweltverträglichkeitsstudien
- Komplexe Ausbreitungsrechnungen
- Betreuung bei Genehmigungsverfahren
- Bodenuntersuchungen
- Schallgutachten
- Studien, z.B. zu den Themen Umweltschutz, Klimaschutz, Energieeffizienz bei der Zementherstellung

1.8.1 Environmental and plant engineering ■

In the field of environmental and plant engineering, the range of VDZ services encompasses all types of thermal and mechanical process engineering analyses as well as studies into the causes of and ways of reducing emissions in cement works. VDZ offers complete planning and organisation of factory trials as well as the implementation and evaluation of these, thus making it possible to find solutions for even complex aspects of environmental engineering.

In recent years the research institute has conducted a number of kiln and mill audits both in Germany and in other countries. Based on this experience, the research institute offers standardised audits with different depths of detail:

- A-level audit: Assessment based on information available in the plant
- B-level audit: Assessment based on information available in the plant and on-site inspection
- C-level audit: Complex measurements on site and analysis of results (mass and volume flow, emissions, particle size distribution...)

The audits deal with issues and problems such as firing techniques for alternative fuels, the effects of these on kiln operation, the reduction of material cycles, primary and secondary emission abatement measures, the reduction of CO₂ emissions and process engineering modelling of kiln and grinding plants as well as plant engineering optimisation. These technical audits are adapted to the particular customer and plant requirements. Important issues in times of rising energy costs and higher environmental standards include the reduction of emissions as well as both thermal and electrical energy savings.

Particularly with regard to environmental compatibility investigations, broad-based experience in the fields of plant assessment and approval management gives rise to useful synergy effects, with one single provider supplying all the services required for even complex projects. The range of services includes the following investigations to order:

- Plant engineering analyses and assessments within the framework of A, B and C-level audits (state of the art/best available technique)
- Recommendation of measures to reduce emission and immission levels
- Forecast of emissions and its environmental impact
- Requirements for discharge of emissions/calculation of stack height
- Environmental impact studies
- Complex dispersion calculations
- Assistance with authorisation procedures
- Soil analyses
- Noise assessment
- Studies, e.g. on the topics of environmental protection, climate protection and energy efficiency in cement production

Praxisbeispiel Verfahrensoptimierung

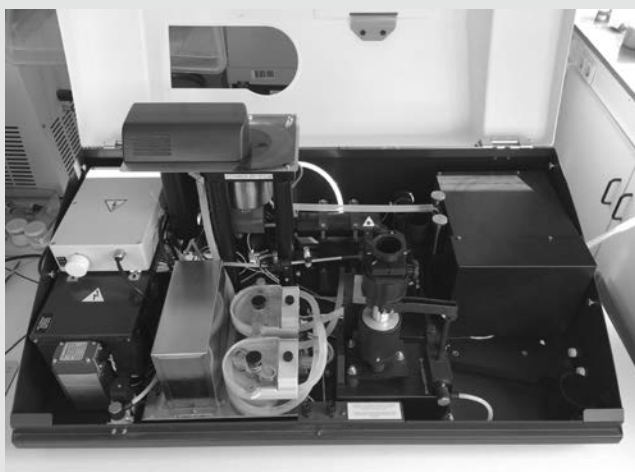
Erweiterte Messmöglichkeiten für Korngrößenverteilungen

Durch steigende Anforderungen an die Mahlfeinheit und Produktqualität von Zement werden auch höhere Anforderungen an die eingesetzte Messtechnik gestellt. Das Verfahren zur Messung der spezifischen Oberfläche nach Blaine wird neben der Luftstrahlsiebung seit Jahrzehnten für die Beschreibung der Mahlergebnisse genutzt. Heute werden diese Verfahren durch Lasergranulometer ergänzt, welche eine sehr schnelle und anwenderunabhängige Bestimmung der Korngrößenverteilung erlauben und sich daher gut für die Produktionskontrolle eignen.

2013 wurde ein neues Lasergranulometer im Labor der mechanischen Verfahrenstechnik des VDZ in Betrieb genommen. Mit dem neuen Gerät, welches mit einer Kombination aus Laserbeugung und bildgebenden Messverfahren ausgestattet ist, erhöht sich der Messbereich von $500\ \mu\text{m}$ bis auf $2\,500\ \mu\text{m}$. Damit lässt sich ein bedeutend größerer Teil der Proben in einem einzigen Verfahrensschritt bearbeiten, wobei bis zu 100 Kornklassen im Bereich zwischen $0,04$ bis $2\,500\ \mu\text{m}$ gewählt werden können. Der flexible Messbereich sowie die Möglichkeit, Ergebnisse nun direkt digital zu verarbeiten, eröffnen neue Möglichkeiten in der Verarbeitung der gewonnenen Daten.

Während in der Forschung die Nassmessung aufgrund der guten Aufschlüsselung von Agglomeraten in einer Flüssigkeit besonders wichtig ist, kommt es bei der Qualitätskontrolle auf eine zeitnahe und ggf. automatisierbare Messung an, um schnell in den Prozess einzugreifen. Daher werden in vielen Werken Geräte nach dem Trockenverfahren eingesetzt.

Mit dem neuen Lasergranulometer kann der VDZ Proben zusätzlich nach dem Trockenverfahren untersuchen, um qualitative Unterschiede von Korngrößenverteilungen und Abweichungen von Qualitätsvorgaben zu bestimmen. Zwischen verschiedenen Herstellern und Geräten können dabei jedoch deutliche Unterschiede bestehen. Die universell vergleichbare Bestimmung von Pulvercharakteristika, die eine belastbare Extrapolation auf die Gebrauchswerteigenschaften der Zemente erlaubt, konnte bisher nicht realisiert werden. In mehreren Forschungsprojekten arbeitet der VDZ kontinuierlich an dieser Problemstellung.



Innenansicht des neuen Lasergranulometers im MVT-Labor des VDZ
Interior of the new laser granulometer

Practical example of process optimisation

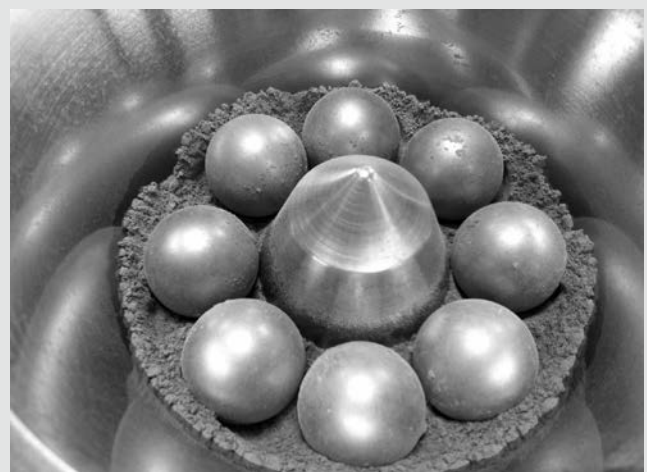
Extended measurement options for particle size distribution

The increasing requirements in terms of the fineness and product quality of cement are also associated with higher demands for the measuring techniques used. For decades, the Blaine method for measuring the specific surface has been employed alongside air-jet sieving as a way of describing the grinding results. Nowadays, these methods are supplemented by the use of laser granulometers, which permit high-speed, user-independent determination of the particle size distribution and are thus well suited to production control.

In 2013 a new laser granulometer went into operation in the VDZ mechanical process engineering laboratory. This new instrument, featuring a combination of laser diffraction and imaging measurement procedures, extends the measuring range from $500\ \mu\text{m}$ to up to $2\,500\ \mu\text{m}$. A far larger proportion of the sample can thus be processed in a single process step and it is possible to select up to 100 grain classes in the range between 0.04 and $2\,500\ \mu\text{m}$. The flexible measuring range and the option of direct digital processing of the results open up new possibilities with regard to processing of the data obtained.

Whereas in research, wet measurement is particularly important on account of the good breakdown of agglomerates in liquids, the important aspect in quality control is instant and possibly also automated measurement to permit rapid intervention in the process. This is why devices employing the dry process are used in many factories.

With the new laser granulometer, VDZ can additionally analyse samples employing the dry process in order to establish differences in quality with different particle size distribution and deviations from quality specifications. There may however be considerable differences between different manufacturers and devices. So far it has not been possible to obtain a universally comparable method of determining powder characteristics which would allow verifiable extrapolation of the working properties of cements. VDZ is working constantly on this problem in various research projects.



Labor-Kugelmühle zum Mahlen von Zement im Labor der mechanischen Verfahrenstechnik des VDZ
Laboratory scale ball mill for grinding cement in the laboratory of mechanical process engineering VDZ



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-18403-01-00

Die Labore der VDZ gGmbH sind durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025 (Bauwesen).

The laboratories of the VDZ gGmbH are accredited by Germany's National Accreditation Body (DAkkS) according to DIN EN ISO/IEC 17025 (Civil engineering and construction products).

1.8.2 Chemie und Mineralogie ■

Der VDZ ist führend bei der Analyse und Charakterisierung von anorganisch-mineralischen Stoffen, von Einsatz- und Brennstoffen der Steine-Erden- und Zementindustrie sowie von Zementen und den damit hergestellten Bauprodukten. Hierzu unterhält der VDZ ein leistungsstarkes und nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflabor mit qualifiziertem Personal und einer umfangreichen Ausstattung. Die Bandbreite der zu analysierenden Stoffe unserer physikalischen, chemischen und mineralogischen Untersuchungen umfasst:

- Zemente (Hauptbestandteile: Portlandzementklinker, Hütensand, Puzzolane, Trass, Flugasche, gebrannter Schiefer, Kalkstein, Silicastaub; Nebenbestandteile; Sulfatträger: Gips, Anhydrit; Zusätze), Rohmehl, Ofenstaub, weitere Bindemittel
- mineralische Rohstoffe (z. B. Tone, Mergel) und Gesteinskörnungen (Sand, Kies, Splitt)
- Kalk und Kalkprodukte
- Zusatzmittel und Zusatzstoffe für Beton und Mörtel, Pigmente
- Mörtel und Beton
- fossile und alternative Brennstoffe

Der VDZ berät seine Kunden auch in Fragen der Produktoptimierung, unterstützt Unternehmen bei der Erfassung und Bewertung des Status quo im Werk und prüft Einflüsse der Brenn- und Kühlbedingungen sowie der Roh- und Brennstoffe auf die Klinkereigenschaften. Die VDZ-Labore führen z. B. Untersuchungen zum Sulfatwiderstand und zur Leistungsfähigkeit von Zementen und Zementbestandteilen sowie zur Wirksamkeit von Chromatreduzierern durch. VDZ-Experten begleiten die Planung, Ausführung und Auswertung von Betriebsversuchen und führen Vorversuche zur Erlangung von Zulassungen durch.

1.8.3 Beton und Ausgangsstoffe ■

Das VDZ-Betonlabor bietet alle wichtigen Prüfungen an Frisch- und Festbeton sowie sämtlichen Betonausgangsstoffen unter Beachtung der relevanten Normen und Regelwerke an. Ein Schwerpunkt der Arbeit bildet dabei die Prüfung der Dauerhaftigkeit von Beton. Aktuelle Forschungsprojekte zu Carbonatisierung, Chlorideindringwiderstand, Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand sowie der Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion bilden dabei die Grundlage für die hohe Qualität unserer Prüfleistungen.

Für die gutachterliche Beurteilung von Gesteinskörnungen und Betonzusammensetzungen nach dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau ARS Nr. 04/2013 ist der VDZ vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bzw. von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) als Gutachter anerkannt. Im Hinblick auf die Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion an Fahrbahndecken aus Beton und anderen

1.8.2 Chemistry and mineralogy ■

VDZ is a leading specialist in the analysis and characterisation of inorganic mineral substances, of constituents and fuels for the building materials and cement industry as well as of cements and the construction products made with these. For this purpose VDZ maintains a high-performance, extensively equipped test laboratory with a staff of qualified personnel and accredited in accordance with DIN EN ISO/IEC 17025. The spectrum of substances which can be analysed in our physical, chemical and mineralogical investigations includes:

- Cements (main constituents: Portland cement clinker, blast furnace slag, pozzolanas, trass, fly ash, burnt shale, limestone, silica fume; minor additional constituents; sulphate agent: gypsum, anhydrite; additions), raw meal, kiln dust, other binders
- Mineral raw materials (e. g. clays, marl) and aggregates (quartz sand, gravel, crushed stone)
- Lime and lime products
- Admixtures and additives for concrete and mortar, pigments
- Mortar and concrete
- Fossil and alternative fuels

VDZ also advises customers on product optimisation aspects, helps companies with the determination and evaluation of the status quo at their plants and checks the influence of firing and cooling conditions as well as of raw materials and fuels on clinker properties. The VDZ laboratories conduct tests on the sulphate resistance and performance of cements and cement constituents as well as the effectiveness of chromate reducers for example. VDZ experts accompany the planning, implementation and evaluation of plant trials and perform preliminary trials for obtaining approvals.

1.8.3 Concrete and raw materials ■

The VDZ concrete laboratory is equipped to perform all important tests on fresh and hardened concrete as well as on all concrete constituents on the basis of the applicable standards and regulations. A focal point of the work is the durability testing of concrete. Current research projects on carbonation, resistance to chloride penetration, freeze-thaw resistance and freeze-thaw resistance with de-icing salt as well as the avoidance of detrimental alkali-silica reactions form the foundation for the high quality of our testing services.

VDZ is recognised by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) and the Federal Highway Research Institute (BASt) as an official expert for the assessment of aggregates and concrete compositions in accordance with the General Circular on Road Construction ARS no. 04/2013. Companies can benefit from the reliable results of our concrete tests with regard to the avoidance of a detrimental alkali-silica reaction in concrete road pavements and other concrete constructions.

Betonbauwerken profitieren Unternehmen von den verlässlichen Ergebnissen unserer Betonprüfungen.

Das erfahrene und interdisziplinäre Team des VDZ berät und erstellt komplexe Gutachten, um Schadensfälle an Betonbauwerken aufzuklären bzw. im Vorfeld zu verhindern. VDZ-Mitarbeiter analysieren Rissbildungen oder Verfärbungen an Bauwerken oder -elementen aus Mörtel und Beton und beurteilen z. B. Gesteinskörnungen, Betonzusammensetzungen oder die Frage, ob mit einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit, z. B. infolge einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) oder eines mangelnden Frost-Tausalz-Widerstands, gerechnet werden muss.

Darüber hinaus führt der VDZ Vorversuche sowie Zulassungsprüfungen zur Erlangung allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassungen (abZ), Europäisch Technische Bewertungen (ETA) oder KOMO-Attesten mit Produktzertifikat gemäß CUR 48 durch. Das Dienstleistungsprogramm umfasst alle Stufen des Zulassungsverfahrens wie z. B. die Antragstellung, die Erstellung und Durchführung des Versuchsprogramms, des Prüfberichts und eines Gutachtens über die Eignung des Produkts. Das Leistungsspektrum des VDZ umfasst auch die Erstellung von Ökobilanzen und Umweltprodukt-Deklarationen nach DIN EN ISO 14040 und EN 15804 für den Bereich Zement und Beton. Dabei finden die durch CEN/TC 350 für den Bausektor entwickelten Regeln Anwendung. Zudem sind Mitarbeiter des VDZ als „DGNB-Auditoren“ ausgebildet.

1.8.4 Produktzertifizierung ■

Bauprodukte nach Bauproduktenverordnung dürfen in der Europäischen Union (EU) nur mit einem gültigen CE-Zeichen gehandelt werden. In Deutschland ist ergänzend für viele Bauprodukte die Kennzeichnung mit dem Ü-Zeichen verpflichtend. Voraussetzung ist in beiden Fällen die Durchführung sogenannter Konformitätsbewertungsverfahren, durch die die Sicherheit und der Gesundheitsschutz bei der Verwendung der Produkte und die Sicherheit der Bauwerke gewährleistet werden sollen. Zu diesen Verfahren gehört auch die Zertifizierung von Produkten, die in der Regel Produktprüfungen, die erstmalige Besichtigung des Herstellwerkes, die Prüfung der werkseigenen Produktionskontrolle sowie die Beurteilung der Ergebnisse dieser Prüfungen und anschließend eine regelmäßige Überwachung der Produkte und der werkseigenen Produktionskontrolle beinhaltet.

Traditionell gehören die Überwachung und Zertifizierung von Bauprodukten zu den Kernkompetenzen des VDZ. Hierzu wurde unsere Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle (PÜZ-Stelle) eingerichtet, die für den Bereich Produktzertifizierung nach DIN EN ISO/IEC 17065 akkreditiert ist. Unsere PÜZ-Stelle ist im gesetzlich geregelten Bereich tätig und durch die zuständigen Bauaufsichtsbehörden anerkannt.

The experienced interdisciplinary VDZ team gives advice and draws up complex expert reports to clarify cases of damage to concrete constructions and to stop these happening. VDZ employees analyse crack formation or discolouration on structures or building components made of mortar and concrete and perform assessment, e.g. of aggregates and concrete compositions, or of whether impaired durability is to be expected as a result of a detrimental alkali-silica reaction (ASR) or due to a lack of freeze-thaw resistance with de-icing salt for instance.

In addition, VDZ conducts preliminary trials and the tests required for national technical approvals (abZ), European Technical Assessments (ETA) or KOMO approval with product certification as per CUR 48. The range of services includes all stages of the approval procedure, for example the application, preparation and implementation of the experimental programme, the test report and an expert report on the suitability of the product. The production of ecobalances and environmental product declarations according to DIN EN ISO 14040 and EN 15804 for the cement and concrete sector also forms part of the VDZ spectrum. The rules developed by CEN/TC 350 for the construction sector are applied. VDZ employees are also trained as “DGNB auditors”.

1.8.4 Product certification ■

Construction products according to the Construction Products Regulation may only be traded in the European Union (EU) if provided with valid CE marking. In Germany, the Ü mark of conformity is additionally obligatory for many construction products. A necessary prerequisite in both cases is the performance of so-called conformity assessment procedures, which are designed to ensure health and safety when using the products and the safety of the structures. These procedures also include the certification of products, usually comprising product testing, initial inspection of the production plant, checking of factory production control, assessment of the results of these tests and subsequently regular inspection of the products and factory production control.

The monitoring and certification of construction products have always been central areas of VDZ expertise. Our testing, inspection and certification body was set up for this purpose and is accredited for product certification as per DIN EN ISO/IEC 17065. It deals with the sector subject to statutory regulations and is recognised by the applicable supervising authorities.

By arrangement with agencies in other countries, the testing, inspection and certification body also conducts the necessary supplementary tests and inspections required for German producers to obtain BENOR, NF, KOMO and Dancert certificates.



Die PÜZ-Stelle der Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH ist notifiziert und durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17065 und DIN EN ISO/IEC 17025.

The testing, inspection and certification body of the Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH is a notified body and accredited by the DAkkS according to DIN EN ISO/IEC 17065 and DIN EN ISO/IEC 17025.



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-ZM-16069-01-01
D-ZM-16069-01-02
D-ZM-16069-01-03
D-ZM-16069-01-04

Die Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH ist durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17021 und zertifiziert in ihrer Zertifizierungsstelle FIZ-Zert Managementsysteme nach ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001 und OHSAS 18001.

The Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH is accredited by Germany's National Accreditation Body (DAkkS) according to DIN EN ISO/IEC 17021 and certifies management systems according to ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001 and OHSAS 18001.

Darüber hinaus führt die PÜZ-Stelle in Absprache mit ausländischen Stellen bei deutschen Herstellern die erforderlichen ergänzenden Prüfungen und Überwachungen zur Erlangung von BENOR-, NF-, KOMO- und Dancert-Zertifikaten durch.

1.8.5 Zertifizierung von Managementsystemen ■

Managementsysteme beschreiben die Aufgaben des Unternehmensmanagements und verknüpfen Unternehmensziele, -aufgaben und -prozesse, um diese zu erreichen. Gleichzeitig werden Methoden zur Verfügung gestellt, um Unternehmensziele und -prozesse erfolgreich steuern und kontrollieren zu können. Das heute bekannteste Managementsystem ist das Qualitätsmanagementsystem nach ISO 9001. Weitere Managementsysteme widmen sich beispielsweise dem Energie- und Umweltmanagement sowie dem Arbeits- und Gesundheitsschutz. Werden alle diese Aspekte in einem einheitlichen Managementsystem vereint, spricht man von einem integrierten Managementsystem. Durch Nutzung von Synergien und die Bündelung von Ressourcen ist – im Vergleich zu einzelnen, isolierten Managementsystemen – ein schlankeres, effizienteres Management möglich.

Die Zertifizierungsstelle der Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH (FIZ-Zert) ist für die Überwachung und Zertifizierung von Managementsystemen nach DIN EN ISO/IEC 17021 akkreditiert. Im Einzelnen können Qualitätsmanagementsysteme nach DIN EN ISO 9001, Umweltmanagementsysteme nach DIN EN ISO 14001, Energiemanagementsysteme nach DIN EN ISO 50001 sowie Arbeits- und Gesundheitsschutzmanagementsysteme nach OHSAS 18001 zertifiziert werden.

1.8.6 Verifizierung von CO₂-Emissionsberichten ■

Die Teilnahme am Emissionshandel der Europäischen Union (EU) verpflichtet Unternehmen, ihre Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO₂) zu überwachen und jährlich in einem Emissionsbericht auszuweisen. Als unabhängige und nach DIN EN ISO 14065 akkreditierte Prüfstelle verifiziert die Zertifizierungsstelle FIZ-Zert CO₂-Emissionsberichte gemäß den einschlägigen europäischen und nationalen Gesetzen und Richtlinien zur Vorlage bei den jeweiligen Überwachungsbehörden. Unsere qualifizierten Sachverständigen sind als Umweltgutachter bekanntgegeben bzw. verfügen über eine entsprechende Zulassung als geprüfte IHK-Sachverständige. Von den Branchenkenntnissen und der hohen fachlichen Kompetenz unserer Experten profitieren Kunden aus den verschiedenen Bereichen der Steine- und Erden-Industrie – insbesondere Zement, Kalk und Gips – sowie nahestehende Industriezweige.

1.8.5 Certification of management systems ■

Management systems describe the tasks of corporate management and create links between corporate objectives, tasks and processes with a view to achieving these. At the same time, they provide methods for achieving the successful control and monitoring of corporate objectives and processes. Today's most well-known management system is the quality management system according to ISO 9001. Other management systems are dedicated to energy and environmental management for example, as well as health and safety provisions. If all these aspects are combined to form one uniform management system, this is known as an integrated management system. The use of synergies and the bundling of resources make leaner and more efficient management possible than with separate, isolated management systems.

The certification body of the Research Institute of the Cement Industry (FIZ Zert) is accredited for the monitoring and certification of management systems in accordance with DIN EN/ISO 17021. Specifically, quality management systems can be certified in accordance with DIN EN ISO 9001, environmental management systems in accordance with DIN EN ISO 14001, energy management systems in accordance with DIN EN ISO 50001 and health and safety management systems as per OHSAS 18001.

1.8.6 Verification of CO₂ emission reports ■

The EU obliges companies to monitor their carbon dioxide (CO₂) emissions and to declare these in an annual emission report. As an independent test body accredited in accordance with DIN EN ISO 14065, the FIZ-Zert verifies CO₂ emission reports on the basis of the applicable European and national laws and directives for submission to the relevant inspection authorities. Our qualified experts are officially recognised environmental verifiers or are approved as experts by the German Chamber of Commerce and Industry. Customers from the various segments of the building materials industry – in particular cement, lime and gypsum – as well as allied industries benefit from the specialist knowledge and technical competence of our experts.

Praxisbeispiel Produktzulassungen

Vergussmörtel zur Ringspaltverfüllung von Off-Shore-Windenergieanlagen

Off-Shore-Windenergie ist ein wesentlicher Baustein der nachhaltigen, regenerativen Energieerzeugung weltweit und damit auch für die Umsetzung der Energiewende in Deutschland. Die Masten von Off-Shore-Windenergieanlagen werden oft als Dreibein-Konstruktion ausgeführt und im Meeresboden verankert. Dabei werden Stahlpfähle in Fundamentrohre eingeführt. Der Ringspalt wird mit speziellen hochfesten, selbstverdichtenden Mörteln vergossen. Diese sind – auf internationaler Ebene – beispielsweise nach DNV-OS-C502 (Det Norske Veritas, weltweit größte Schiffs- und Off-shore-Klassifikationsgesellschaft) zu prüfen und zuzulassen.

Untersucht wurde eine Mörtelfertigmischung mit einem Größtkorn der Gesteinskörnung von 3 mm. Zur Untersuchung der Frisch- und Festmörteleigenschaften bei verschiedenen Umgebungstemperaturen wurde im Labormaßstab Mörtel bei 0,5 °C und 20 °C hergestellt, gelagert und geprüft. Die Untersuchungen am Frischmörtel umfassten die Bestimmung der Konsistenz als Setzfließmaß über einen Zeitraum von bis zu 120 min, den Luftgehalt, das Blutverhalten sowie die Erstarrungszeiten. Es konnte gezeigt werden, dass der untersuchte Vergussmörtel auch 120 min nach Wasserzugabe im untersuchten Temperaturbereich gut verarbeitet werden kann. Der Erstarrungsbeginn liegt temperaturabhängig zwischen sechs und neun Stunden.

Am Festmörtel wurde die Druckfestigkeit bis zu einem Alter von 90 Tagen an Prüfkörpern bestimmt, die bei Temperaturen von 0,5 °C bzw. 20 °C hergestellt und gelagert wurden. Des Weiteren wurden die Biegezugfestigkeit, der statische Elastizitätsmodul sowie das Kriech- und Schwindverhalten ermittelt. Die Mörtel wiesen im Alter von 24 Stunden Druckfestigkeiten von 15 MPa bei 0,5 °C bzw. 90 MPa bei 20 °C auf, die bis zum Alter von 90 Tagen auf jeweils rund 150 MPa zunahm. Der Elastizitätsmodul lag nach 28 Tagen temperaturunabhängig bei rund 45 GPa. Das autogene Schwinden des Mörtels sowie das Kriechen unter Last lagen nach einem Jahr jeweils bei maximal 1 mm/m. Der Vergussmörtel konnte auf Basis der vorgestellten Untersuchungen eine Zulassung für die Nutzung im Off-Shore-Bereich erlangen.



Untersuchung des autogenen Schwindens mittels Schwindkegelmethode
Testing of autogenous shrinkage by shrink cone method

Practical example of product approvals

Grout for annular gap backfilling in offshore wind turbines

Offshore wind power is an essential element of sustainable, regenerative energy generation around the world and thus also for implementation of the energy transition process in Germany. The towers of offshore wind turbines are often designed as a tripod structure and anchored in the sea bed using a steel pile foundation. Special high-strength self-compacting mortars are employed for grouting of the annular gap. These have to be tested and approved – on an international level – on the basis of DNV-OS-C502 (Det Norske Veritas, the world's largest shipping and offshore classification society) for example.

A ready-mixed mortar with a maximum particle size of the aggregates of 3 mm was analysed. To investigate the fresh and hardened properties of the mortar at various ambient temperatures, mortar was produced, stored and tested on a laboratory scale at 0.5 °C and 20 °C. The studies on the fresh mortar included the determination of the consistency as slump flow over a period of up to 120 min, the air content, bleeding characteristics and the setting times. The results showed that the grout under investigation was still readily workable 120 minutes after the addition of water in the temperature range examined. The initial setting time is between six and nine hours depending on the temperature.

The compressive strength of the hardened mortar was determined at an age of up to 90 days on test samples which had been produced and stored at temperatures of 0.5 °C and 20 °C respectively. The flexural strength, the static modulus of elasticity and the creep behaviour and shrinkage behaviour were also determined. At an age of 24 hours the mortars exhibited compressive strengths of 15 MPa at 0.5 °C and 90 MPa at 20 °C, which increased to around 150 MPa in each case up to an age of 90 days. Irrespective of temperature, the modulus of elasticity after 28 days was approximately 45 GPa. After one year, the autogenous shrinkage of the mortar and the creep under load were both at maximum 1 mm/m. On the basis of the studies presented, the grout was approved for use in the offshore sector.



Test der Betondruckfestigkeit im VDZ-Betonlabor
Test of compressive strength in VDZ's concrete laboratory



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-PL-16069-01-01

Die Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH ist durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025 (Immissionsschutz) und DIN EN ISO/IEC 17025 (Bauwesen).

The Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH is accredited by Germany's National Accreditation Body according to DIN EN ISO/IEC 17025 (Immission control) and DIN EN ISO/IEC 17025 (Civil engineering and construction products).

1.8.7 Umweltmessstelle ■

Die Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH ist eine vom zuständigen nordrhein-westfälischen Umweltministerium gemäß § 29b BImSchG bekanntgegebene Umweltmessstelle. Auf Grundlage dieser Bekanntgabe ist sie befugt, Messungen im gesetzlich geregelten Bereich als unabhängiges Prüfinstitut durchzuführen. Für Messtätigkeiten im Ausland ist hervorzuheben, dass die FIZ GmbH zusätzlich auf Grundlage der internationalen Norm DIN EN ISO/IEC 17025 für die Durchführung von Umweltmessungen und Geräteprüfungen akkreditiert ist.

Das Dienstleistungsprogramm umfasst Messungen auf Grundlage der TA Luft sowie der 13. und 17. BImSchV ebenso wie auf Grundlage der europäischen Industrie-Emissionsrichtlinie (IE-Richtlinie). Im Schwerpunkt werden dabei folgende Dienstleistungen erbracht:

- Messungen von Emissionen und Immissionen gasförmiger und staubgebundener Komponenten
- Kalibrierung (QAL 2) sowie Funktionsprüfung (AST) kontinuierlich arbeitender Emissionsmeseinrichtungen
- Messung und Prognose von Emissionen und Immissionen im Bereich Lärm und Erschütterungen
- Beratung von Kunden bei der Auswahl von Messgeräten sowie der Einrichtung von Messplätzen
- Erstellen von Einbaubescheinigungen für kontinuierlich arbeitende Emissionsmessgeräte
- Sondermessungen (zum Beispiel Bestimmung von Dioxinen und Furanen im Prozess, Ermittlung rohstoffbedingter Emissionen).

Aufgrund der langjährigen Erfahrung beteiligen sich die Mitarbeiter der FIZ GmbH immer wieder auch an Forschungsvorhaben, deren Ergebnisse dann unmittelbar in die praktische Tätigkeit überführt werden können. So verfügt die FIZ GmbH beispielsweise über eine besondere Expertise bei der Prüfung kontinuierlich arbeitender Quecksilber-Emissionsmessgeräte. Diese Erfahrung hat an vielen Stellen geholfen, Geräte so zu modifizieren, dass diese tatsächlich zuverlässig für die Bestimmung von Quecksilberemissionen eingesetzt werden können.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Forschungstätigkeiten liegt in der Ermittlung von CO₂-Emissionen am Kamin. Dies bezieht sich sowohl auf die Messung der Gesamt-CO₂-Emissionen als auch auf die Bestimmung des biogenen CO₂-Anteils im Abgas. Die FIZ GmbH ist als Prüfinstitut nicht nur national sondern auch international tätig. Aktuell werden Projekte in Osteuropa, Russland, dem Nahen Osten und Südostasien durchgeführt. Grundsätzlich werden bei allen internationalen Projekten europäische Normen angewendet. Auf Kundenwunsch kann allerdings auch nach anderen Standards (zum Beispiel US EPA) gemessen werden.

1.8.7 Environmental monitoring body ■

The Research Institute of the Cement Industry is an environmental monitoring body appointed by the environment ministry of North Rhine-Westphalia as per § 29b of the Federal Pollution Control Act. On the basis of this appointment, it is authorised to conduct measurements as an independent test institute in the sector subject to statutory regulations. With respect to measurement activities in other countries, the FIZ GmbH is additionally accredited for the performance of environmental measurements and equipment tests in accordance with the international standard DIN EN ISO/IEC 17025.

The range of services includes measurements based on the Technical Instructions on Air Quality Control and the 13th and 17th protective decrees for immissions of the Federal Republic of Germany as well as on the basis of the European Industrial Emissions Directive (IE Directive). The following main services are provided:

- Measurement of emissions and environmental impact of gaseous and dust-bound components
- Calibration (QAL 2) and functional testing (AST) of continuously operating emission measuring devices
- Measurement and forecasting of emissions and environmental impact with respect to noise and vibrations
- Advice for customers on the selection of measuring instruments and the setting-up of measurement stations
- Production of installation certificates for continuously operating emission measuring instruments
- Special measurements (for example determination of dioxins and furans in the process, determination of emissions induced by raw materials).

In the light of their many years of experience, the employees of FIZ GmbH are often also involved in research projects the results of which can then be directly translated into practical activities. For example, the FIZ GmbH has particular expertise in the testing of continuously operating mercury emission measuring instruments. In many cases this experience has helped to modify devices in such a way that they really can be reliably used for the determination of mercury emissions.

A further focal point of these research activities is the determination of CO₂ emissions from stacks. This involves both measurement of the total CO₂ emissions and determination of the biogenic CO₂ content of the exhaust gas. The FIZ GmbH works as both a national and an international test institute. Projects are currently in progress in Eastern Europe, Russia, the Middle East and South East Asia. As a general rule, European standards are applied in all international projects. Measurements can however also be taken on the basis of other standards on request (for example US EPA).

Praxisbeispiel Emissionsmessungen im Ausland

Die möglichen Umweltauswirkungen der Herstellung von Zement rücken international vermehrt in das öffentliche Interesse. Der europäische Gesetzgeber hat diesem Umstand durch Regelungen in der Industrie-Emissionsrichtlinie (IED) Rechnung getragen. Darüber hinaus haben sich weltweit Zementhersteller in der Cement Sustainability Initiative (CSI) organisiert und verpflichtet, unabhängig von den nationalen umweltrechtlichen Vorgaben regelmäßig die wesentlichen Emissionen ihrer Drehofenanlagen messtechnisch zu erfassen. Aufgrund unserer umfangreichen Erfahrungen und Referenzen, speziell mit Emissionsmessungen an Drehofenanlagen der Zementindustrie, stellen Messungen im europäischen und nichteuropäischen Ausland (Südostasien und Naher Osten) vermehrt einen Schwerpunkt der Tätigkeiten unserer nach DIN EN ISO 17025 akkreditierten Umweltmessstelle dar.

Unsere Messungen orientieren sich üblicherweise an europäischen Normen (CEN Normen). Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, gemäß US-amerikanischen Standards (EPA) Messungen durchzuführen. Parallel werden die Messberichte entsprechend den Vorgaben des CSI-Protokolls erstellt.

Neben den kontinuierlich zu erfassenden Parametern, wie beispielsweise CO, NO_x, SO₂ und Gesamtkohlenstoff, werden Staub, HCl, HF, Schwermetalle und organische Abgasbestandteile gemessen. Dabei werden Konzentrationsbereiche von mehreren Milligramm bis zu weniger als einem Nanogramm quantifiziert. Die Palette aller bestimmbarer Substanzen reicht von Formaldehyd über Quecksilber bis hin zu polychlorierten Dibenzodioxinen (PCDD/F), Benzolen (PCBz) und Naphthalinen (PCN).

Im Rahmen der zahlreichen Messkampagnen konnte ein großer Erfahrungsschatz in der Realisierung von Auslandsmessungen gesammelt werden. Möglich wurde dies durch das Zusammenspiel der Fachkompetenzen der an den Messungen beteiligten Laboranten, Technikern und Ingenieuren mit der guten technischen Ausstattung des VDZ. Dadurch können die Zementwerke bereits im Vorfeld qualifiziert beraten und planungstechnisch unterstützt werden. Aufgrund zusätzlicher Messgeräte speziell für internationale Aufträge können Messungen in kurzen Abständen wahrgenommen werden.



Nach ausführlicher Beratung bei der Messplanung erfolgt die Probenahme durch unsere Messtechniker vor Ort.

Following extensive measurement consultations the sampling is carried out by our technicians at site.

Practical example of emission measurements abroad

Internationally there is more and more public awareness of the possible environmental effects of the production of cement. At European level, regulations have been introduced in the context of the Industrial Emissions Directive (IED) as a response to these concerns. In addition to this, cement manufacturers from around the world have joined together in the Cement Sustainability Initiative (CSI) and committed themselves to regularly measuring the main emissions from their rotary kiln plants irrespective of national environmental specifications. In the light of our extensive experience and references, particularly with regard to emission measurements on rotary kiln plants in the cement industry, measurements in European and non-European countries (South East Asia and the Middle East) are increasingly becoming a major part of the activities of our environmental monitoring body accredited in accordance with DIN EN ISO 17025.

Our measurements are generally based on European standards (CEN standards). Measurements can however also be taken in line with US standards (EPA). The test reports are produced in parallel in accordance with the specifications of the CSI protocol.

Alongside the parameters to be recorded continuously (such as CO, NO_x, SO₂ and total carbon), dust, HCl, HF, heavy metals and organic exhaust gas compounds are also measured. Concentration ranges of several milligrams to less than one nanogram are quantified in this process. The spectrum of substances which can be determined ranges from formaldehyde and mercury to polychlorinated dibenzodioxins (PCDD/F), benzenes (PCBz) and naphthalenes (PCN).

In the course of numerous measurement campaigns a wealth of measurement experience was gathered in taking measurements on an international scale. This was made possible by the combination of the technical expertise of the laboratory assistants, technicians and engineers involved in the measurements and the high standard of VDZ technical equipment. Cement works can thus be given qualified advice and planning assistance right from the start. Thanks to additional measuring instruments specially for international orders, measurements can be taken at short intervals.



Später werden die entnommenen Proben im Umweltlabor analysiert.

Later, the samples are analyzed in our environmental laboratory.

2

Forschungsthemen des VDZ / *Research Topics of VDZ*





2.1 Verfahrenstechnik der Zementherstellung / Cement production process technology

2.1.1 Entwicklung eines hocheffizienten SNCR-Verfahrens mit gestufter Verbrennung für reduzierte NO_x- und NH₃-Emissionen an Drehofenanlagen der Zementindustrie mit Vorcalciniertechnik ■

IGF-Vorhaben 17189 N gefördert durch die AiF
 Projektpartner: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Energieanlagen- und Energieprozesstechnik (LEAT)
 Universität Essen/Duisburg, Lehrstuhl für Umweltverfahrenstechnik und Anlagentechnik (LUAT)
 Projektzeitraum: 08/2011–12/2014

Hintergrund und Ziel

Das SNCR-Verfahren ist gegenwärtig die verbreitetste Sekundärmaßnahme zur Reduktion von Stickstoffoxiden in deutschen Zementwerken. Mit dem SNCR-Verfahren können derzeitige Emissionsgrenzwerte eingehalten werden. Die ab 01.01.2019 beschlossene Verschärfung auf einen Grenzwert von 200 mg/Nm³ stellt die deutsche Zementindustrie jedoch vor eine große Herausforderung. Die Betriebserfahrungen zeigen, dass unter den gegenwärtigen technischen Rahmenbedingungen das Reduktionsmittel stark überstöchiometrisch eingesetzt werden muss. Dies verursacht einerseits erhöhte Betriebsmittelkosten und andererseits unerwünscht hohe Ammoniakemissionen (sogenannter NH₃-Schlupf).

Vorgehensweise

Das Forschungsvorhaben hat das Ziel, die Anwendung der SNCR-Technik in Vorcalciniieranlagen mit Hilfe von CFD-Simulationen genauer zu beschreiben und mögliche Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Zu diesem Zweck wurden zunächst Modelle für die wesentlichen Einzelvorgänge, wie zum Beispiel die chemischen Abläufe sowie die Reduktionsmittelverdampfung, erarbeitet und in eine kommerzielle CFD-Software (ANSYS-FLUENT) implementiert. Die Überprüfung der verwendeten Modelle erfolgte dabei an mehreren experimentellen Aufbauten. Ergänzt wurden die Untersuchungen durch eine Messkampagne an einer industriellen Anlage, durch welche die wesentlichen Randbedingungen bestimmt und ein vertieftes Verständnis des Gesamtprozesses erarbeitet werden konnte. Darauf aufbauend wurden eine CFD-Simulation des Calcinator durchgeföhrt, die Simulationsergebnisse mit den tatsächlichen Messwerten verglichen und Optimierungspunkte aufgezeigt.

Partikel-Tropfen-Interaktion

Zur Untersuchung der Interaktion von verdampfenden Tröpfchen und festen Partikeln in einer hochbeladenen Strömung wurde am Lehrstuhl für Energieanlagen- und Energieprozesstechnik der Ruhr-Universität Bochum (LEAT) ein neuer Prüfstand aufgebaut und betrieben. In **Bild 2.1.1-1** ist die Versuchsanlage zur Untersuchung von Partikel-Tropfen-Interaktionen schematisch dargestellt.

Ein Beispiel für die Interaktion von Partikeln und Tropfen wird in **Bild 2.1.1-2** dargestellt und veranschaulicht den Düsenabreich in der Versuchsanlage. Für beide Zweiphasenströmungen (a und b) werden die Partikel- und Tropfenbahnen simuliert. Mit Berücksichtigung von Kollisionen zwischen den diskreten Phasen ergibt sich ein verändertes Bewegungsmuster der Tropfen. Mehrere Tropfen kollidieren mit Partikeln, veranschaulicht durch eine

2.1.1 Development of a high-efficiency SNCR process with staged combustion for reducing NO_x and NH₃ emissions in cement industry rotary kiln plants with precalcination ■

IGF project 17189 N supported by the AiF
 Project partners: Ruhr University in Bochum, Department of Energy Plant Technology (LEAT)
 University of Essen/Duisburg, Department of Environmental Process Engineering and Plant Technology (LUAT)
 Project period: 08/2011–12/2014

Background and aim

The SNCR process is the most widespread secondary measure of reducing nitrogen oxides used at present in German cement plants. The currently applicable emission limits can be met by employing the SNCR process. The tightening of the regulations to a limit value of 200 mg/Nm³ with effect from 1 January 2019 will however confront the German cement industry with a major challenge. Operating experience shows that highly over-stoichiometric use of the reducing agent is required under the prevailing technical conditions. This is associated with both higher material costs and unwanted high ammonia emissions (so-called NH₃ slip).

Approach

The aim of the research project is to describe the use of the SNCR method in precalcining plants in greater detail with the aid of CFD simulation and to identify possible potential for optimisation. For this purpose, the first step was to create models for the main individual processes such as the chemical processes and reducing agent evaporation for example and to implement these in a commercial CFD software (ANSYS-FLUENT). The models used were verified on several experimental set-ups. The studies were supplemented by a measurement campaign in an industrial plant to determine the principal general conditions and to gain an in-depth understanding of the process as a whole. Working on this basis, CFD simulation of the calciner was performed, the results of simulation were compared to the actual measured values and optimisation aspects were identified.

Particle-droplet interaction

A new test bench has been set up and put into operation at the Department of Energy Plant Technology of the Ruhr University in Bochum (LEAT) to study the interaction of evaporating droplets and solid particles in a heavily laden flow. A schematic representation of the test set-up for investigating particle-droplet interaction is shown in **Fig. 2.1.1-1**.

An example of the interaction of particles and droplets is illustrated in **Fig. 2.1.1-2**, which shows the area around the nozzle in the test set-up. The particle and droplet paths are simulated for both two-phase flows (a and b). If collisions between the discrete phases are taken into consideration, a different droplet movement pattern is obtained. Several droplets collide with particles, as shown by the change in colour, and alter their trajectory. This produces a higher droplet concentration along the centre lines of the flow field. Evaluation of the resultant temperature distribution reveals that the addition of a solid phase alters the evaporation behaviour. As a general rule, particle-droplet interaction appears

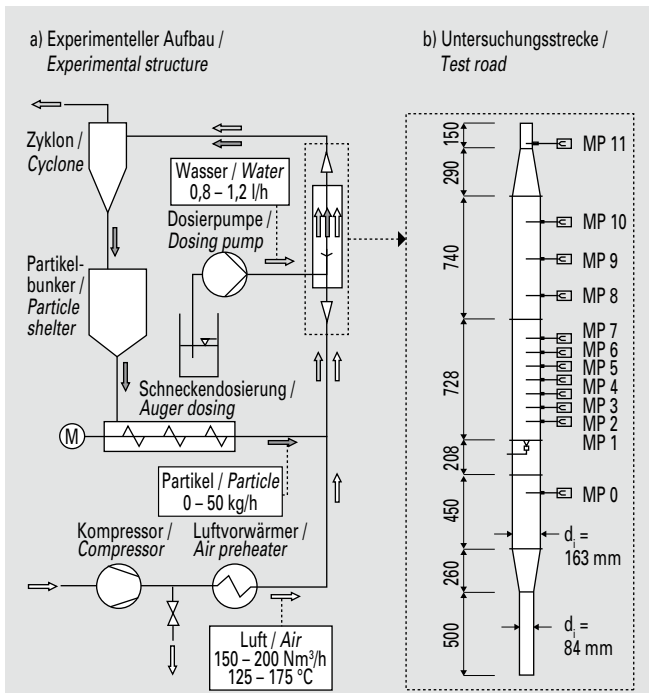


Bild 2.1.1-1 Schematische Abbildung der Versuchsanlage zur Untersuchung von Partikel-Tropfen-Interaktionen
Fig. 2.1.1-1 Schematic diagram of an experimental set-up of particle-droplet-interactions

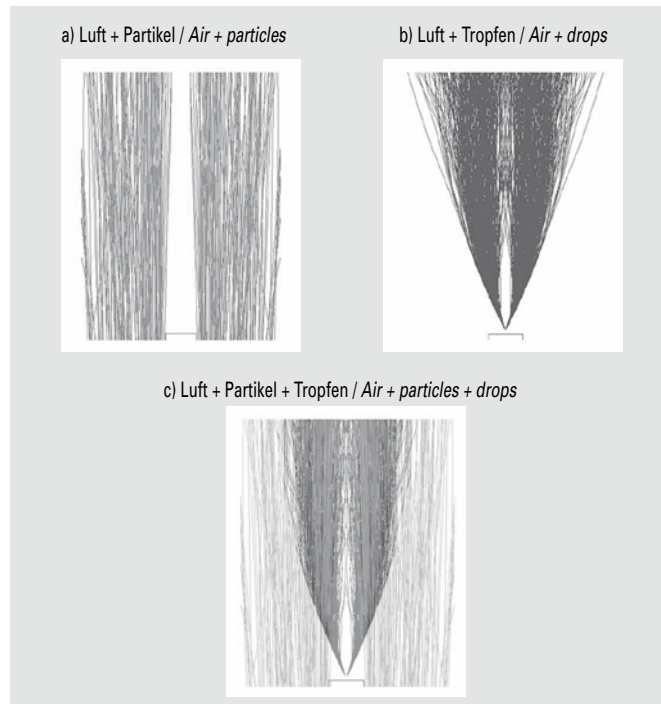


Bild 2.1.1-2 Einfluss der Partikel-Tropfen-Interaktionen auf die Tropfenbewegung
Fig. 2.1.1-2 Influence of particle-droplet interactions on droplet movement

Änderung der Farbe, und verändern ihre Flugbahn. Dies resultiert in einer höheren Tropfenkonzentration entlang der Mittellinien des Strömungsfeldes. Die Auswertung der resultierenden Temperaturverteilung zeigt dabei, dass sich das Verdampfungsverhalten unter Zugabe einer festen Phase verändert. Die Partikel-Tropfen-Interaktionen scheinen grundsätzlich die Verdampfung der flüssigen Phase zu fördern. Gleichzeitig lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass es infolge von Partikel-Tropfen-Kollisionen zu einer veränderten Flugbahn der Tropfen kommen kann, die wiederum in einer Verschiebung der lokalen Verdampfungspositionen resultiert. Die numerische Abbildung des beobachteten Phänomens wurde durch eine Kombination eines stochastischen Kollisionsmodells und eines angepassten Verdampfungsmodells berücksichtigt. Die damit berechneten Temperaturverteilungen weisen, im Vergleich zum konventionellen Verdampfungsmodell, eine deutlich bessere Übereinstimmung mit den experimentellen Daten auf.

to promote evaporation of the liquid phase. At the same time the results indicate that particle-droplet collisions can change the trajectory of the droplets, which in turn leads to a shift in the local evaporation positions. Numerical modelling of the phenomenon observed was incorporated by way of a combination of a stochastic collision model and an adapted evaporation model. The temperature distributions calculated with this exhibit far better conformity with the experimental data than is the case with the conventional evaporation model.

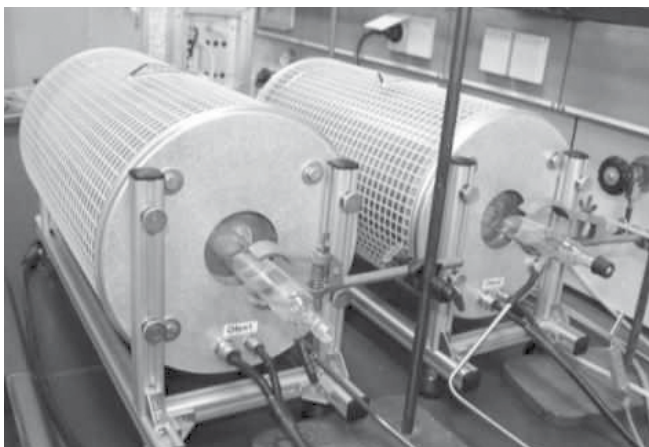


Bild 2.1.1-3 Laboröfen mit Rohrreaktoren
Fig. 2.1.1-3 Laboratory kilns with tube reactors

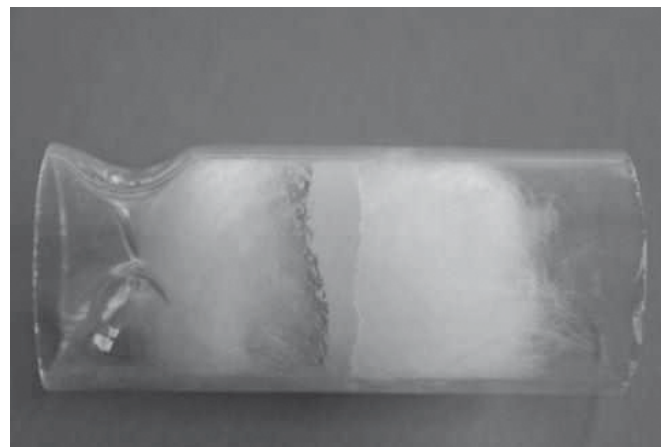


Bild 2.1.1-4 Rohmehl im Rohrreaktor
Fig. 2.1.1-4 Raw meal in the tube reactor

Einflüsse des Rohmaterials

Die spezifischen Einflüsse des Rohmaterials auf die Kinetik der SNCR-Reaktionen wurden vom VDZ in einem Modellofen untersucht (**Bilder 2.1.1-3** und **2.1.1-4**). Dazu wurden zunächst Referenzversuche mit einer definierten Gasmischung ohne Rohmaterial bei betriebsähnlichen Temperaturen durchgeführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse bestätigen die aus der Literatur bekannten wesentlichen Einflussfaktoren auf die chemischen Abläufe in SNCR-Anlagen. Die nachfolgenden Versuche haben gezeigt, dass die NO_x -Reduktion tendenziell bevorzugt wird. Diese Beobachtungen wurden sowohl bei den Variationen der NH_3 -Konzentrationen als auch bei den Variationen der NO -Konzentrationen festgestellt.

NO_x -Emissionen

Bei Betriebsmessungen in einem Vorcalcinator wurden umfangreiche Messdaten erhoben, um einerseits die benötigten Randbedingungen für die Simulation der Anlage bereitzustellen und andererseits die Auswirkungen verschiedener Eindüsepositionen auf die NO_x -Reduktionsgrade aufzuzeigen. Im **Bild 2.1.1-5** sind die Messstellen im Calcinator schematisch dargestellt.

Bei den Betriebsversuchen zeigte sich, dass die NO_x -Emissionen grundsätzlich in allen Versuchseinstellungen auf das Zielniveau von 200 mg/Nm^3 abgesenkt werden konnten (**Tabelle 2.1.1-1**). Allerdings verdeutlicht die benötigte Reduktionsmittelmenge, dass die Reduktionsgrade stark von der Position der Eindüse abhängig sind. Bei keiner Versuchseinstellung konnte ein signifikanter Ammoniak schlupf festgestellt werden. Bei allen durchgeführten Kurzzeitversuchen lag die NH_3 -Emission im Reingas (im Verbundbetrieb) bei ca. 3 mg/Nm^3 .

Simulationsergebnisse

Die am LUAT durchgeführten Simulationsrechnungen der industriellen Vorcalcineranlage bestätigen die bisherigen Versuchsergebnisse und Teilmodelle. Eine Überprüfung der Simulationsergebnisse erfolgt dabei durch die Gegenüberstellung mit den aus den Betriebsmessungen gewonnenen Messdaten. Es zeigt sich, dass die Bildung und Reduktion der Stickstoffoxide mit Hilfe mathematischer Simulationswerkzeuge zufriedenstellend beschrieben werden kann. Die Simulationswerkzeuge erlauben auch weitergehende Aussagen über Rauchgasspezies (wie CO , O_2 , CO_2) und die Beschreibung von Strömungsvorgängen mit Totzonenausbildungen, wobei letztere zur Optimierung von Eindüsepositionen wichtige Aussagen liefern (**Bild 2.1.1-6**). Es zeigte sich allerdings auch, dass aufgrund der komplexen Reaktionsmechanismen extreme Berechnungszeiten und teilweise ein numerisch instabiles Verhalten auftraten.

Weitere numerische Untersuchungen wurden an einem generischen Calcinator (eine geometrisch vereinfachte Version des

Influences of the raw material

The specific influences of the raw material on the kinetics of the SNCR reactions were investigated in a model kiln (**Figs 2.1.1-3** and **2.1.1-4**). For this purpose, reference experiments were first performed with a defined gas mixture without raw material at temperatures similar to those encountered in operation. The findings obtained confirm the available literature with respect to the main factors of influence on the chemical processes in SNCR systems. The experiments then conducted showed that NO_x reduction tends to have precedence. These observations were made with both variation of the NH_3 concentrations and variation of the NO concentrations.

NO_x emissions

Extensive measuring data were obtained from plant measurements in a precalciner both to obtain the conditions required for simulation of the plant and to identify the effects of various injection positions on NO_x reduction levels. A schematic representation of the measuring points in the calciner is shown in **Fig. 2.1.1-5**.

The plant trials revealed that it was basically possible to reduce NO_x emissions to the target level of 200 mg/Nm^3 in all trial settings (**Table 2.1.1-1**). The amount of reducing agent required however shows that the degree of reduction largely depends on the injection position. Significant ammonia slip was not found in any of the trial settings. The NH_3 emission level in the clean gas (in mill-on operation) was around 3 mg/Nm^3 in all the short-term trials conducted.

Simulation results

The simulation calculations performed at the LUAT for the industrial precalcining plant confirmed the experimental results obtained so far and the partial models. For verification, the simulation results are compared to the measuring data obtained from the plant measurements. This shows that the formation and reduction of nitrogen oxides can be satisfactorily described with the help of mathematical simulation tools. The simulation tools also provide further information on flue gas species (such as CO , O_2 , CO_2) and a description of flow processes with dead zones, with the latter yielding significant findings for the optimisation of injection zones (**Fig. 2.1.1-6**). It did, however, also become apparent that the complex reaction mechanisms gave rise to extreme calculation times and in some cases numerical instability.

Further numerical analyses were performed on a generic calciner (a geometrically simplified version of the industrial calciner). This involved studying the simulated NO profiles with variation of the injection locations. This calciner permits far simpler interpretation of the individual model effects on the system as a whole without having to forgo the typical conditions in a calciner. A parameter study of the reducing agent injection locations, which yielded

Tabelle 2.1.1-1 Normiertes NO_x -Profil im trockenen Zustand bezogen auf 10 Vol.-% Sauerstoff

Table 2.1.1-1 Standardised NO_x profile in dry state relating to 10 vol. % oxygen

| Versuchsreihe / Test series | | V1 | V2 | V3 | V4 |
|------------------------------------|------------------|------|------|------|------|
| Steigschacht / Riser duct | mg/Nm^3 | 2031 | 2026 | 1630 | 1261 |
| Calcinator Mitte / Calciner centre | mg/Nm^3 | 882 | 1231 | 878 | 764 |
| Calcinator oben / Calciner above | mg/Nm^3 | 704 | 1245 | 895 | 951 |
| Schwanenhals / Swan neck | mg/Nm^3 | 390 | 534 | 368 | 533 |
| Reingas / Clean gas | mg/Nm^3 | 217 | 202 | 202 | 195 |

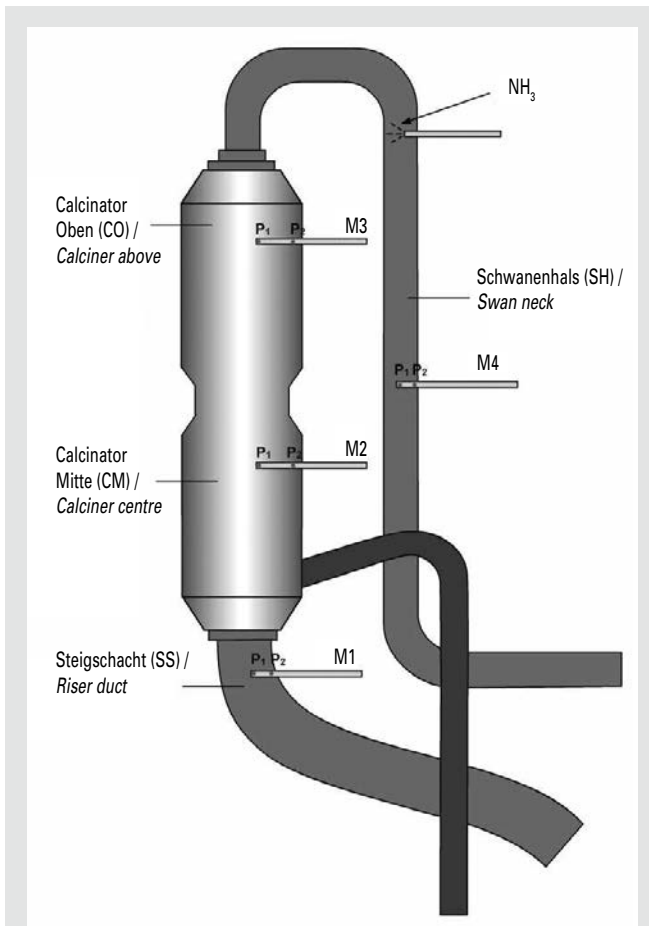


Bild 2.1.1-5 Schematische Darstellung der Messstellen im Calcinator
Fig. 2.1.1-5 Schematic diagram of the measuring points in the calciner

industriellen Calcinator) durchgeführt. Dabei wurden die simulierten NO-Profil unter Variation der Injektionsstellen untersucht. Dieser Calcinator ermöglicht eine deutlich einfachere Interpretation der einzelnen Modellauswirkungen auf das Gesamtsystem, ohne auf die typischen Randbedingungen in einem Calcinator zu verzichten. Eine Parameterstudie der Injektionsorte des Reduktionsmittels, bei der sich teilweise signifikante Unterschiede (Faktor 2,5) im Gesamtreduktionsgrad ergaben, veranschaulicht dabei die Einsatzmöglichkeiten der in diesem Forschungsvorhaben erstellten Werkzeuge und Methoden zur Optimierung des SNCR-Verfahrens in der Zementindustrie.

2.1.2 Heißbereichskorrosion in Zementwerken ■

IGF-Vorhaben 17365 N gefördert durch die AiF
 Projektpartner: RWTH Aachen, Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK)
 Projektzeitraum: 02/2012–07/2015

Hintergrund

Zur Herstellung der hydraulischen Zementklinkerphasen werden sehr hohe Brenntemperaturen benötigt, die bis zu 2000 °C (Gas-temperatur) in der Sinterzone des Drehrohrofens betragen können. Um den Schutz der Stützkonstruktion aus Stahl zu gewährleisten, müssen die Innenwände aller am Herstellungsprozess beteiligten Anlagenteile mit Feuerfestmaterial ausgekleidet werden. Vor allem in den senkrecht angeordneten Vorwärmbereichen müssen die

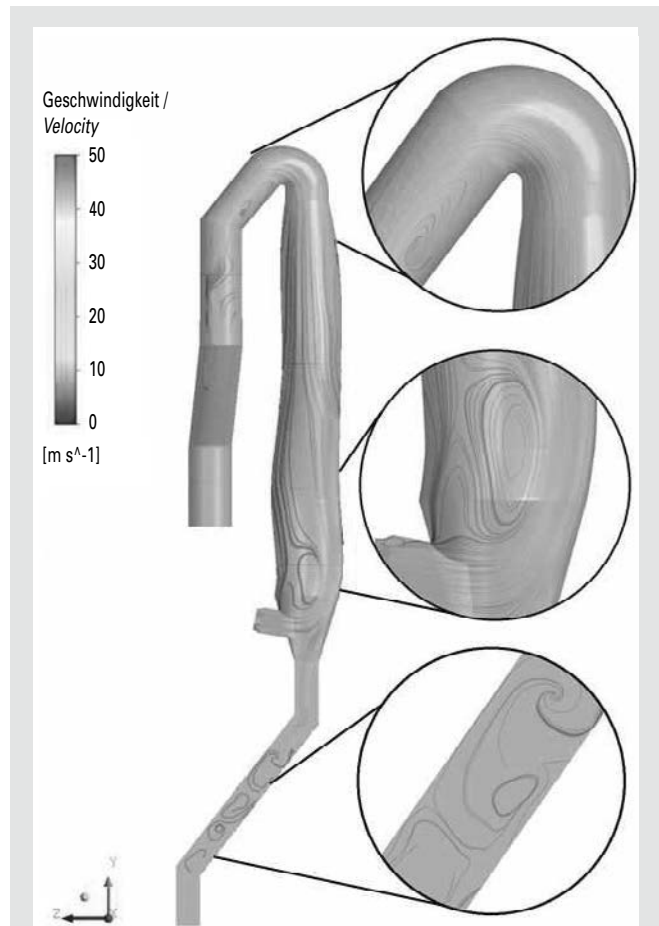


Bild 2.1.1-6 Strömungsprofil im Vorcalcinator
Fig. 2.1.1-6 Flow pattern in the precalciner

certain significant differences (factor 2.5) in the overall degree of reduction, illustrates the usage potential for the tools and methods created in this research project for optimisation of the SNCR process in the cement industry.

2.1.2 Corrosion in hot areas of cement works ■

IGF project 17365 N supported by the AiF
 Project partner: Aachen University, Department of Ferrous Metallurgy (IEHK)
 Project period: 02/2012–07/2015

Background

Very high firing temperatures, with gas temperatures sometimes reaching 2000 °C in the sintering zone of the rotary kiln, are required to produce the hydraulic cement clinker phases. To reliably protect the steel supporting structure, the inside walls of all the installations involved in the production process have to be lined with refractory material. Particularly in the vertical preheater areas, the brickwork has to be fixed to the outer supporting structure with metal anchoring systems. In these areas the gas atmosphere reaches temperatures of up to 1200 °C. As the hot gas atmosphere contains large proportions of corrosive substances such as sulphur dioxide (SO₂), hydrogen chloride (HCl) and both chloride-based and sulphate-based alkali salts, the metal components used in these areas are particularly exposed to high-temperature corrosion. These corrosive alkali salts and gases attack the individual alloying

Ausmauerungen mit metallischen Befestigungssystemen an der äußeren Stützkonstruktion fixiert werden. In diesen Bereichen erreicht die Gasatmosphäre Temperaturen von bis zu 1 200 °C. Dadurch, dass die heiße Gasatmosphäre große Anteile an korrosiven Substanzen wie Schwefeldioxid (SO₂), Chlorwasserstoff (HCl) und sowohl chloridische als auch sulfatische Alkalisalze enthält, sind die in diesen Bereichen eingesetzten Metallkomponenten besonders der Hochtemperaturkorrosion ausgesetzt. Diese korrosiven Alkalisalze und Gase greifen die einzelnen Legierungskomponenten selektiv an und schädigen somit die Stahllanker (**Bild 2.1.2-1**) signifikant. Die Korrosionserscheinungen sind keinesfalls nur auf den Vorwärmerbereich begrenzt. Durch die poröse Struktur der Feuerfestausmauerung einschließlich der Fugen und der damit verbundenen mangelnden Diffusionsdichtigkeit wird auch der Ofenmantel den korrosiven Stoffen ausgesetzt, was zu einer erhöhten Ofenmantelkorrosion führen kann.

Ziel

Mit diesem Forschungsprojekt wird die Problematik der Hochtemperaturkorrosion im Heißbereich des Vorwärmers und des Drehrohrofens untersucht. Zur Untersuchung im Bereich des Vorwärmers werden dort verschiedene Legierungen hitzebeständiger Stähle, die zur Herstellung von Ankern genutzt werden, eingebaut und über einen Zeitraum von mindestens einem Jahr den thermischen Belastungen im Werk ausgesetzt und nachher ausgewertet. Parallel zu Versuchen in Zementwerken werden die Legierungen in Laboröfen einer Gasatmosphäre, die der Gasatmosphäre in einer Drehofenanlage entspricht, ausgesetzt. Die Laboruntersuchungen sollen dem besseren Verständnis der Hochtemperaturkorrosion dienen. Auf der anderen Seite werden vergleichende Untersuchungen zum Schutz des Ofenmantels vor Korrosion durchgeführt. Um dies zu gewährleisten, wird im Drehrohrföfen in der oberen Übergangzone eine sogenannte Opferschicht eingebaut (**Bild 2.1.2-2**), die sich über den vollen Ofenumfang erstreckt und mindestens 1 m breit ist. Die Opferschicht, die mindestens eine Ofenreise im Ofen bleibt, soll als Diffusionsbarriere und gleichzeitig als Opfermaterial dienen, sodass der Ofenmantel ausreichend vor Korrosion geschützt wird.

elements selectively and thus cause significant damage to the steel anchors (**Fig. 2.1.2-1**). The corrosion phenomena are by no means restricted to the preheater area. Due to the porous structure of the refractory lining including the joints and the associated lack of diffusion tightness, the kiln shell is also exposed to the corrosive substances and increased kiln shell corrosion may therefore occur.

Aim

The aim of this research project is to investigate the issue of high-temperature corrosion in the hot area of the preheater and the rotary kiln. For the studies in the area of the preheater, various alloys of heat-resistant steels used for the production of anchors are inserted in this area, subjected to the thermal loads in the factory for a period of at least one year and then evaluated. In parallel with the trials in the cement works, the alloys are placed in laboratory kilns and exposed to a gas atmosphere corresponding to the gas atmosphere of a rotary kiln. The purpose of the laboratory scale tests is to gain a better understanding of high-temperature corrosion. Comparative studies are also performed with respect to protection of the kiln shell against corrosion. To ensure this, the upper transition zone of the rotary kiln is fitted with a so-called sacrificial layer (**Fig. 2.1.2-2**) which extends over the full circumference of the kiln and is at least 1 m wide. The purpose of the sacrificial layer, which remains in the kiln for at least one kiln campaign, is to act as both a diffusion barrier and as sacrificial material so that the kiln shell is adequately protected against corrosion.

Comparison of the laboratory and practical trials is intended to provide verifiable fundamental results which can be used as a basis for more cost and resource-efficient material selection and the design of anchor materials.



Bild 2.1.2-1 Metallanker im Vorwärmer werden von korrosiven Substanzen angegriffen

Fig. 2.1.2-1 Metal anchors in the preheater are attacked by corrosive substances



Bild 2.1.2-2 Opferschicht zum Schutz des Ofenmantels vor Korrosion

Fig. 2.1.2-2 Sacrificial layer to protect the kiln shell against corrosion

Durch den Vergleich von Labor- mit Praxisversuchen sollen belastbare und grundlegende Resultate erzielt werden, die als Grundlage einer kosten- und ressourceneffizienteren Werkstoffauswahl und Auslegung von Ankermaterialien dienen sollen.

2.1.3 Plasmavergasung von heterogenen alternativen Brennstoffen ■

EU Project: Seventh Framework Programme
Projektpartner: Europäisches Konsortium mit 19 Partnern
Projektzeitraum: 06/2010–05/2014

Hintergrund und Ziel

Beim Einsatz alternativer Brennstoffe mit heterogener Zusammensetzung und variierenden Feuchtegehalten kann es zu Schwankungen des Ofenbetriebs kommen. Zur Vergleichmäßigung des Ofenbetriebs bei hohem Einsatz alternativer Brennstoffe wurden bereits viele Untersuchungen durchgeführt. Durch die Vorbehandlung dieser Brennstoffe, wie z.B. durch Trocknung oder Vergasung, oder den Einsatz von Sauerstoffanreicherung können die Mitverbrennung optimiert und der Betrieb stabilisiert werden. Zusätzlich kann die pyrolytische Zersetzung schwer brennbarer alternativer Brennstoffe zu einem homogenen und aufgewerteten Brenngas im Calcinator führen. Ziel des EU-geförderten Forschungsprojektes war es, die wirtschaftliche Machbarkeit der Pyrolyse alternativer Brennstoffe mit Hilfe eines Plasmabrenners zu untersuchen und auch im Hinblick auf CO₂-Emissionsminderungen zu erforschen. Dazu wurden experimentelle Untersuchungen an einem Plasma-Brennkammer-Prototypen sowie Simulationsrechnungen zur Untersuchung des Einflusses dieser Technologie auf den Betrieb einer Zementdrehofenanlage durchgeführt.

Vorgehensweise

In dem untersuchten Fall wird durch ionisierte Gasmoleküle – das Plasma –, das durch einen elektrischen Lichtbogen erzeugt wird, in sauerstoffarmer Atmosphäre Brenngas mit einer Temperatur von ca. 1 000 °C hergestellt. Aufgrund der hohen Anteile an CO und H₂ weist dieses einen nennenswerten Heizwert auf. Die technische Machbarkeit der Vergasung mittels Plasma wurde an einem Prototyp mittels Fluff-, Tiermehl- und Klärschlammproben nachgewiesen. Insbesondere das Brenngas aus sehr feuchten Brennstoffen, z. B. mechanisch entwässertem Klärschlamm, weist ein hohes Heizwertpotenzial durch die Zersetzung des Wassers zu H₂ auf. In diesem Fall ist die thermische Energieeinsparung hoch, allerdings auf Kosten eines erhöhten elektrischen Energiebedarfs.

Simulation des Klinkerbrennprozesses

Die Prozesssimulationen des Klinkerbrennprozesses auf Basis der erhaltenen Brenngascharakterisierung zeigen, dass eine Stabilisierung des Prozesses möglich ist. Ein erheblicher Anteil an der im Gas enthaltenen Energie ist sensible Wärme. Die Reduzierung der Brennstoffmengen sowie die Möglichkeit, Aschen auszuschleusen, ermöglicht zudem eine Minderung von kreislaufbildenden Stoffen. Abhängig vom ursprünglichen Kreislaufniveau in einer Ofenanlage kann dies dazu führen, dass die Installation eines Bypasssystems ggf. vermieden werden kann.

Das CO₂-Minderungspotenzial dieser Technologie wird auf einen Referenzzustand bezogen (Bild 2.1.3-1), der auf einer kohlebefeuerter BAT-Ofenanlage beruht. Hieraus ergibt sich eine mögliche Minderung des Brennstoffenergiebedarfs von bis zu 20 bis 30 % durch den hohen Eintrag von sensibler Wärme aus dem Pyrolyseprozess. Die Erzeugung des Plasmas bedarf jedoch eines hohen

2.1.3 Plasma gasification of heterogeneous alternative fuels ■

EU Project: Seventh Framework Programme
Project partner: European consortium with 19 partners
Project period: 06/2010–05/2014

Background and aim

The use of alternative fuels with heterogeneous composition and varying moisture content can lead to fluctuations in kiln operation. Numerous studies have already been performed on ways of stabilising kiln operation when using large quantities of alternative fuels. Co-firing can be optimised and operation stabilised by pre-treating these fuels, for example by drying or gasification, or by employing oxygen enrichment. The pyrolytic decomposition of slow-burning alternative fuels can also result in a more homogeneous, valorised combustible gas in the calciner. The aim of the EU-backed research project was to investigate the economic feasibility of the pyrolysis of alternative fuels using a plasma torch and also to explore the aspect of the abatement of CO₂ emissions. For this purpose, experimental studies were conducted on a prototype plasma combustion chamber and simulation calculations performed to investigate the influence of this technology on the operation of cement kilns.

Approach

In the case under consideration, combustible gas is obtained in an oxygen-deficient atmosphere at a temperature of approx. 1 000 °C from ionised gas molecules – the plasma – which is produced by an electric arc. This gas has a significant calorific value on account of the high CO and H₂ content. The technical feasibility of plasma gasification was verified on a prototype using fluff, animal meal and sewage sludge specimens. In particular, the combustible gas obtained from very damp fuels, e.g. mechanically dewatered sewage sludge, exhibited considerable calorific value potential through the decomposition of the water to yield H₂. In this case the thermal energy savings are high, however at the expense of increased power consumption.

Simulation of clinker burning process

Simulation of the clinker burning process based on the combustible gas characterisation obtained reveals that it is possible to stabilise the process. A considerable proportion of the energy contained in the gas is sensible heat. Reduced fuel quantities and the possibility of ejecting ash also permit a reduction of substances generating recirculating systems. Depending on the original recirculating system level in a kiln plant, this may mean that a bypass system does not have to be installed.

The CO₂ reduction potential of this technology relates to a reference state (Fig. 2.1.3-1) based on a coal-fired BAT kiln plant. This yields a possible reduction in fuel energy requirement of up to 20 to 30 % through the high input of sensible heat from the pyrolysis process. A considerable amount of power is however required to produce the plasma, which, depending on the fuel, cuts the overall energy saving to 5 to 20 % as compared to the reference state. A reduction in fossil CO₂ emissions of up to 20 % results from the biogenic content of the alternative fuels and thus again corresponds to the saving achieved with direct use. If indirect CO₂ emissions from generation of the power are also included, overall CO₂ abatement decreases to 5 to 15 %.

Process simulation cannot however provide any information on the long-term behaviour of plasma pyrolysis, particularly in the case

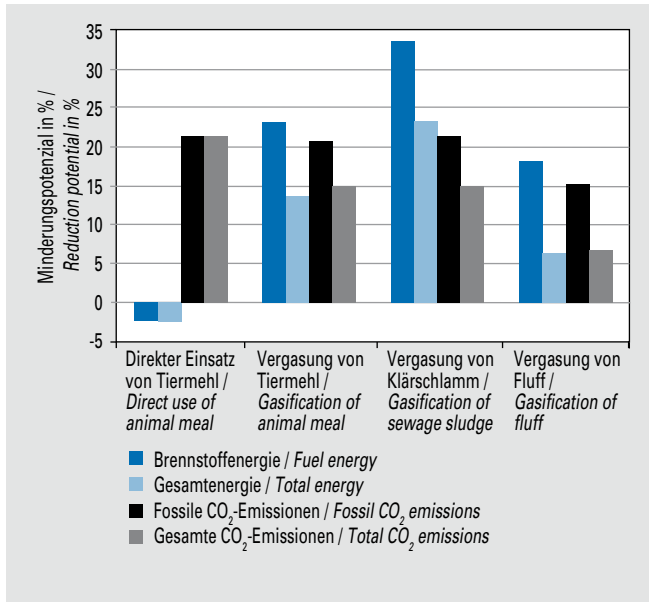


Bild 2.1.3-1 Energie und CO₂-Minderungspotenzial im Vergleich zum konventionellen kohlebefeuerten Betrieb bezogen auf einen Stromverbrauch des Plasmabrenners von 1,3 kWh/kg_{Bt} Brennstoff

Fig. 2.1.3-1 Energy and CO₂ mitigation potential compared to conventional coal fired mode regarding an electricity consumption by the plasma torch of 1.3 kWh/kg_{Bt} fuel

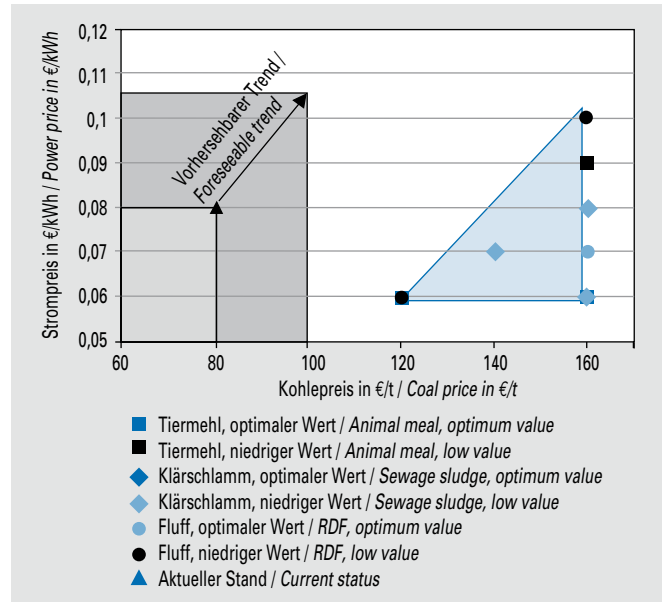


Bild 2.1.3-2 Wirtschaftlichkeit der Vergasung in Abhängigkeit von den Strom- und Kohlepreisen

Fig. 2.1.3-2 Economic efficiency of the gasification depending on electricity and coal prices

Stromeinsatzes, der die gesamte Energieeinsparung abhängig vom Brennstoff auf 5 bis 20 % verglichen zum Referenzzustand reduziert. Eine Verminderung der fossilen CO₂-Emissionen von bis zu 20 % resultiert aus dem biogenen Anteil der alternativen Brennstoffe und entspricht somit ebenfalls der Einsparung beim direkten Einsatz. Werden indirekte CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung miteinbezogen, so reduziert sich die gesamte CO₂-Minderung auf 5 bis 15 %.

Die Prozesssimulation kann allerdings keine Aufschlüsse über das Langzeitverhalten der Plasma-Pyrolyse insbesondere bei Schwankungen der Zusammensetzung und des Energieinhalts des Gases liefern. Eine großtechnische Erprobung des Systems wäre daher wünschenswert.

Die Wirtschaftlichkeit der Plasmavergasung von alternativen Brennstoffen wird durch die Kohle- und Strompreise dominiert (Bild 2.1.3-2). Unter heutigen Marktbedingungen (grauer Bereich) ist keines der berechneten Pyrolyseszenarios (blauer Bereich) wirtschaftlich.

Standortspezifisch könnte jedoch ein Nutzen aus der Stabilisierung des Ofenbetriebs und des Einsatzes schwer verwertbarer alternativer Brennstoffe gezogen werden.

2.1.4 Brenneroptimierung beim Einsatz alternativer Brennstoffe ■

Hintergrund

Der Einsatz von Alternativbrennstoffen in der Hauptfeuerung wird an vielen Drehrohröfen praktiziert. Erfahrungsgemäß ändert sich dadurch die Wärmefreisetzung in der Flamme, da Alternativbrennstoffe gegenüber traditionellen Regelbrennstoffen andere verbrennungstechnische Eigenschaften aufweisen. Ein Sinken der maximalen Flammentemperatur, ein Abflachen des Temperatur-

profils, der die gesamte Energieeinsparung abhängig vom Brennstoff auf 5 bis 20 % verglichen zum Referenzzustand reduziert. Large-scale testing of the system would therefore be desirable.

The cost-effectiveness of the plasma gasification of alternative fuels is governed by the price of coal and electricity (Fig. 2.1.3-2). Given the current market conditions (grey area), none of the calculated pyrolysis scenarios (blue area) are cost-effective.

In particular situations however benefits could arise from the stabilisation of kiln operation and the use of alternative fuels which are difficult to recycle.

2.1.4 Burner optimisation with the use of alternative fuels ■

Background

Alternative fuels are used in the main firing system of many rotary kilns. Experience has shown that this has the effect of altering the liberation of heat in the flame, as alternative fuels exhibit different combustion properties than traditional standard fuels. To ensure uniform clinker quality, suitable measures must be taken to compensate for a reduction in the maximum flame temperature, a flattening of the temperature profile in the rotary kiln and an increase in kiln inlet temperature.

Approach

In a research project, VDZ studied the effects of alternative fuels on the flame and methods of shaping the flame with the aid of the primary air supply. The aim was to derive generally valid findings and rules for setting the burner with large quantities of alternative fuel and at the same time to avoid negative effects on kiln operation, clinker quality and emissions.

As part of the project, an operational trial was performed in a rotary kiln plant with calciner in which the substitution rate for

profils im Drehofen und ein Ansteigen der Ofeneinlauftemperatur muss durch geeignete Maßnahmen kompensiert werden, um eine gleich bleibende Klinkerqualität zu gewährleisten.

Vorgehensweise

In einem Forschungsprojekt untersuchte der VDZ die Auswirkungen alternativer Brennstoffe auf die Flamme und Möglichkeiten zur Flammgestaltung mit Hilfe der Primärluftführung. Ziel war es, daraus allgemeingültige Erkenntnisse und Regeln für die Brennereinstellung bei hohen Alternativbrennstoffmengen abzuleiten und gleichzeitig negative Auswirkungen auf Ofengang, Klinkerqualität und Emissionen zu vermeiden.

Im Rahmen des Projektes wurde ein Betriebsversuch an einer Drehofenanlage mit Calcinator durchgeführt, bei der die Substitutionsrate fester und flüssiger alternativer Brennstoffe am Drehofenbrenner auf mehr als 50 % gesteigert und systematisch Veränderungen der Drall- und Axialluft Einstellungen am Brenner vorgenommen wurden. Der Einfluss der Drehofenflamme und der Brennstoffe auf den Klinkerbrand wurde anhand von Klinkerproben, der Einfluss auf die Schadstoffbildung anhand von Gaskonzentrationsmessungen u. a. im Ofeneinlauf beurteilt.

Ergebnisse

Die Betriebsuntersuchungen bestätigten die vom Einsatz konventioneller Brennstoffe bekannten Zusammenhänge bezüglich der NO-Bildung in der Hauptfeuerung. Diese stieg mit steigender Sinterzonentemperatur an, da die NO-Bildungsreaktion stark temperaturabhängig ist. Bei Absenkung des Luftüberschusses im Drehrohr nahm die NO-Bildung im Drehrohr ab, da die NO-Bildungsrate stark von der Sauerstoffkonzentration abhängt. Die Erhöhung des Axialimpulses der Brennerluft ermöglicht grundsätzlich höhere Einsatzraten alternativer Brennstoffe. Bei Erhöhung des Axialimpulses durch Steigerung der Axialluftmenge am Brenner wurde eine Zunahme der NO-Bildung festgestellt (**Bild 2.1.4-1**). Beides ist darauf zurückzuführen, dass mit steigendem Axialimpuls mehr Sekundärluft in die Flamme eingemischt wird, wodurch sich die Sauerstoffkonzentration – und damit die NO-Bildung – in der Flamme erhöht. Bei Erhöhung des Drallimpulses wurden dagegen keine Auswirkungen auf die NO-Bildung festgestellt, vermutlich, da die Zündung der festen Alternativbrennstoffe gegenüber der Kohle und der flüssigen Alternativbrennstoffe verzögert erfolgt

solid and liquid alternative fuels at the rotary kiln burner was increased to more than 50 % and changes were systematically made to the swirl air and axial air settings at the burner. Clinker samples were used to assess the influence of the rotary kiln flame and the fuels on clinker burning, and gas concentration measurements were taken, at the kiln inlet for example, to judge the effect on pollutant formation.

Results

The plant trials confirmed the known relationships regarding NO formation in the main firing system as found with the use of conventional fuels. NO formation increased with an increasing sintering zone temperature, as the NO formation reaction is highly temperature-dependent. A reduction in the excess air quantity in the rotary kiln led to a decrease in NO formation in the kiln, as the rate of NO formation is highly dependent on the oxygen concentration. Increasing the axial momentum of the burner air basically permits higher alternative fuel usage rates. An increase in NO formation was found on raising the axial momentum by increasing the quantity of axial air at the burner (**Fig. 2.1.4-1**). Both these phenomena can be attributed to the fact that more secondary air is mixed into the flame with rising axial momentum, which increases the oxygen concentration – and thus NO formation – in the flame. By contrast, increasing the swirl momentum had no effect on NO formation, presumably because ignition of the solid alternative fuels takes longer than that of coal and liquid alternative fuels and is therefore only slightly influenced by the swirl air. The measurement results also revealed that increased use of nitrogen-containing or liquid alternative fuels resulted in greater NO formation. The addition of more plastic-based fuels on the other hand had no significant effects on NO formation.

There was no influence on clinker quality with normal substitution rates. Only a distinct increase in the use of solid, coarse alternative fuels led to local reducing firing conditions in some cases. Under a reflected light microscope, the decomposition of alite was observed as an indicator of reducing conditions in several clinker samples (**Fig. 2.1.4-2**). X-ray diffractometry revealed reduced alite contents in these samples. In addition, the microstructures of these samples indicated an extended precooling zone in the rotary kiln, a sign of the delayed ignition of the solid alternative fuel. These phenomena occurred irrespective of the axial and swirl air settings

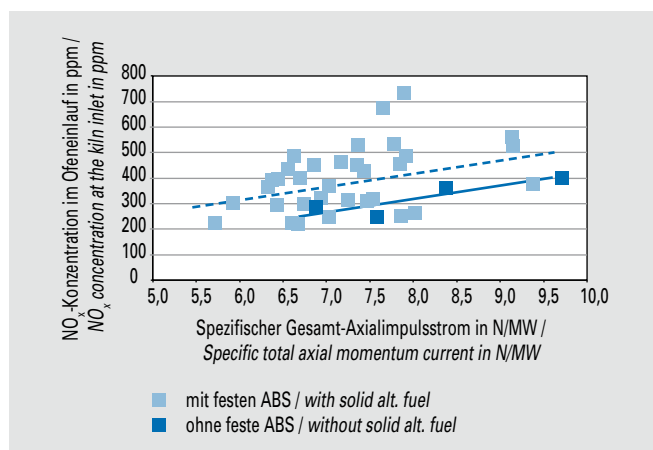


Bild 2.1.4-1 NO_x-Konzentration am Ofeneinlauf in Abhängigkeit vom spezifischen Gesamt-Axialimpulsstrom

Fig. 2.1.4-1 NO_x concentration at the kiln inlet in relation to the specific overall axial momentum flow

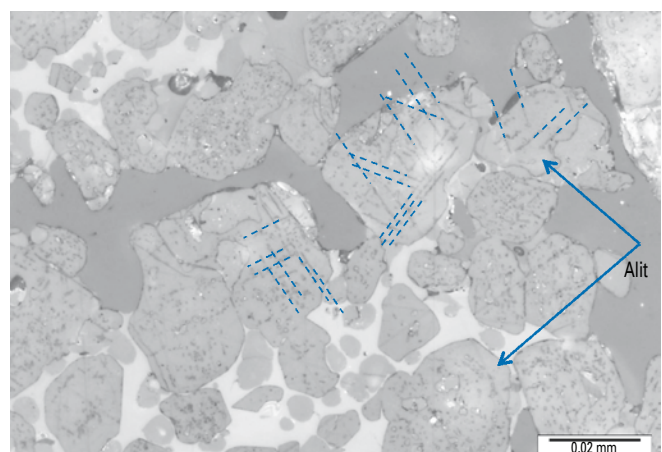


Bild 2.1.4-2 Mikroskopie einer geätzten Klinkerprobe: Zerfall von Alit in Belit sowie C₄AF und/oder Freikalk entlang kristallographischer Borzugsrichtungen (gestrichelte Linien)

Fig. 2.1.4-2 Microscopy of the etched clinker sample: alite decomposition in belite, C₄AF and/or free lime along crystallographic directions (dotted line)

und daher nur geringfügig über die Drallluft beeinflusst wird. Die Messergebnisse zeigten weiterhin, dass ein steigender Einsatz an stickstoffhaltigen oder flüssigen Alternativbrennstoffen zu einer Zunahme der NO-Bildung führte. Die Steigerung der Zugabe kunststoffstämmiger Brennstoffe hatte dagegen keine signifikanten Auswirkungen auf die NO-Bildung.

Die Klinkerqualität zeigte sich bei üblichen Substitutionsraten unbeeinflusst. Nur bei deutlicher Steigerung des Einsatzes fester grober Alternativbrennstoffe traten z.T. lokal reduzierende Brennbedingungen auf. Bei der Auflichtmikroskopie wurde der Zerfall von Alit als Indikator für reduzierende Bedingungen in mehreren Klinkerproben beobachtet (**Bild 2.1.4-2**). Die Röntgendiffraktometrie ergab bei diesen Proben verminderte Alitgehalte. Darüber hinaus wiesen die Gefüge dieser Proben auf eine verlängerte Vorkühlzone im Drehrohrofen hin, was auf verzögertes Zünden des festen Alternativbrennstoffes hindeutet. Diese Phänomene traten unabhängig von den vorgenommenen Axial- und Dralllufteinstellungen am Brenner auf. Eine aktive Flammgestaltung erfordert bei hohen Alternativbrennstoffraten ein Brennerdesign, das die Einstellung eines ausreichend hohen Axialimpulses ermöglicht.

2.1.5 Sauerstoffanreicherung in der Verbrennungsluft ■

IGF-Vorhaben IGF 16980 N
Projektzeitraum: 06/2012–11/2014

Hintergrund

Der Einsatz von festen alternativen Brennstoffen über die Drehofenfeuerung ist in vielen Zementwerken gängige Praxis. Eine wesentliche technische Herausforderung besteht darin, die Substitutionsraten zu maximieren, ohne dass dabei die Prozessstabilität und die Klinkerqualität beeinträchtigt werden. Die Anreicherung der Verbrennungsluft mit Sauerstoff wird als eine technische Möglichkeit angesehen, den Verbrennungsprozess zu unterstützen und Probleme hinsichtlich Klinkerqualität und Prozessschwankungen zu vermeiden.

Vorgehensweise

In dem Forschungsvorhaben wurde die Technologie der Sauerstoffanreicherung der Verbrennungsluft bei hohen Substitutionsraten (75 bis 100 %) untersucht. Im Rahmen des Vorhabens wurden Messkampagnen an zwei Drehofenanlagen durchgeführt und dabei gezielt einzelne Betriebsparameter wie z. B. die aufgegebene Sauerstoffmenge variiert, um Erkenntnisse über Wirkungsweise sowie Möglichkeiten und Grenzen dieses Verfahrens für die industrielle Praxis zu gewinnen. Die Zugabe des Sauerstoffs erfolgte über Lanzen an der Brennerspitze der Drehofenfeuerung.

Drehofenanlage 1

An einer Ofenanlage hat sich gezeigt, dass der Klinker bei Betriebseinstellungen mit Sauerstoffanreicherung einen Trend hin zu höheren Alitgehalten aufwies, verglichen mit den Betriebseinstellungen ohne Sauerstoffzugabe (**Bild 2.1.5-1**). Korrespondierend hierzu sanken die Belitgehalte im Klinker (**Bild 2.1.5-2**). Die Freikalkgehalte unterschieden sich zwar nicht signifikant, jedoch kann insgesamt von einer leichten Verbesserung der Brennbedingungen in der Sinterzone ausgegangen werden. Die gezielte Sauerstoffzugabe führte allerdings an dieser Anlage zu signifikant höheren NO_x-Konzentrationen im Ofeneinlauf, was auf den Anstieg der Temperatur im Flammenkern und der Sauerstoffkonzentration zurückzuführen ist.

made at the burner. With high alternative fuel rates, active flame shaping requires a burner design which permits the setting of an adequately high axial momentum.

2.1.5 Oxygen enrichment in combustion air ■

IGF project IGF 16980 N
Project period: 06/2012–11/2014

Background

The use of solid alternative fuels by way of the rotary kiln firing system is standard practice in many cement works. Maximising the substitution rates without impairing process stability and clinker quality represents a major technical challenge. Enrichment of the combustion air with oxygen is viewed as one technical means of assisting the combustion process and avoiding problems with regard to clinker quality and process fluctuations.

Approach

The research project investigated the technology of oxygen enrichment of the combustion air with high substitution rates (75–100 %). As part of the project, measurement campaigns were conducted in two rotary kiln plants and involved varying certain individual operating parameters such as the amount of oxygen applied, in order to obtain information on the efficacy, potential and limits of this method for industrial use. The oxygen was added by way of lances at the burner tip of the rotary kiln firing system.

Rotary kiln plant 1

In one kiln plant, operating settings with oxygen enrichment tended to result in clinker with higher alite contents than in the case of operating settings without oxygen addition (**Fig. 2.1.5-1**). The belite content in the clinker correspondingly dropped (**Fig. 2.1.5-2**). There were no significant differences in terms of free lime content, however a slight improvement in the firing conditions in the sintering zone can generally be assumed. The addition of oxygen did however lead to significantly higher NO_x concentrations in the kiln inlet of this plant, which can be attributed to the higher flame core temperature and oxygen concentration.

Thermographic investigation of the rotary kiln flame confirmed that the addition of oxygen resulted in improved combustion conditions in the flame. Shortening of the ignition path of the fuels and an increase in flame temperature were specifically found. The more compact flame made the precooling zone shorter, which was associated with an increase in secondary air temperature.

Investigation of the microstructure of clinker samples by means of light-optical photomicrography suggests that the shortening of the precooling zone resulted in less alite decomposition and secondary belite formation taking place during precooling of the clinker. Examination of the clinkers also revealed that the use of oxygen enrichment of the combustion air can counteract reducing firing conditions, as the oxygen concentration of the kiln atmosphere increases.

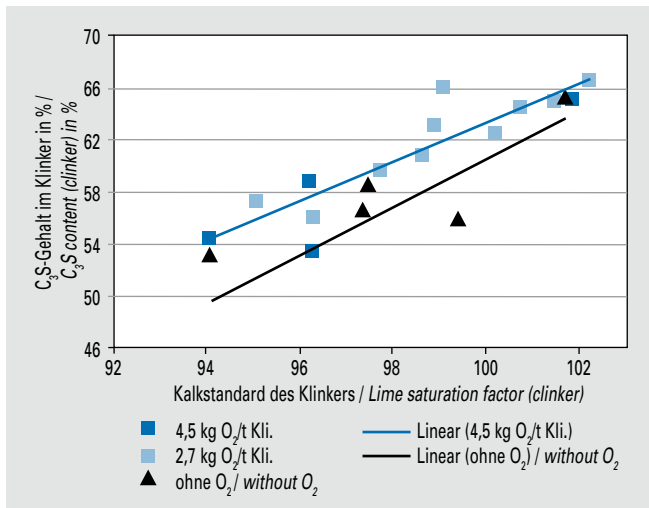


Bild 2.1.5-1 Alitgehalt der Klinker ohne und mit O₂-Zugabe
Fig. 2.1.5-1 Alite content of clinker without and with adding O₂

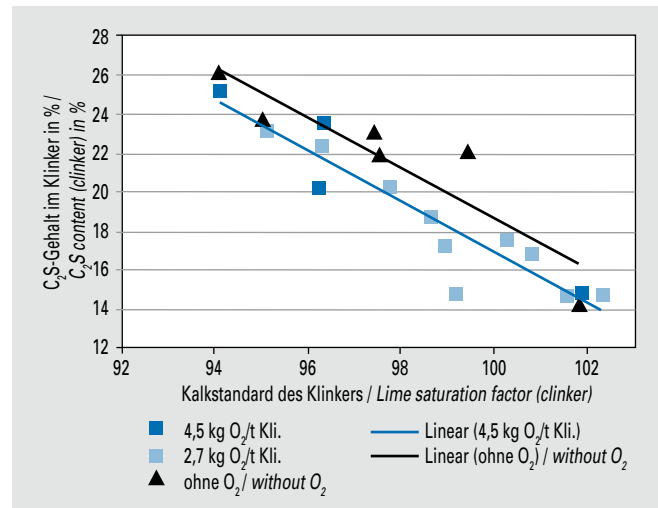


Bild 2.1.5-2 Belitgehalt der Klinker ohne und mit O₂-Zugabe
Fig. 2.1.5-2 Belite content of clinker without and with adding O₂

Thermografische Untersuchungen der Drehofenflamme bestätigten, dass die Sauerstoffzugabe zu einer Verbesserung der Verbrennungsbedingungen in der Flamme geführt hat. Im Einzelnen wurden eine Verringerung der Zündstrecke der Brennstoffe und eine Erhöhung der Flammentemperatur festgestellt. Die Straffung der Flamme bewirkte eine Verkürzung der Vorkühlzone und damit verbunden eine Erhöhung der Sekundärlufttemperatur.

Gefügeuntersuchungen an Klinkerproben mit Hilfe der Lichtmikroskopie lassen vermuten, dass die Verkürzung der Vorkühlzone dazu geführt hat, dass weniger Alitzerfall und Sekundärbelitbildung bei der Vorkühlung des Klinkers stattfinden. Die Untersuchung der Klinker hat zudem gezeigt, dass durch Einsatz einer Sauerstoffanreicherung der Verbrennungsluft reduzierenden Brennbedingungen entgegengewirkt werden kann, da sich die Sauerstoffkonzentration in der Ofenatmosphäre erhöht.

Drehofenanlage 2

Betriebsuntersuchungen an einer zweiten Ofenanlage weisen darauf hin, dass eine Verbesserung der Klinkereigenschaften an dieser Anlage ohne weitere anlagenspezifische Optimierung oder deutlich höheren Sauerstoffeinsatz kaum erreichbar ist.

Üblicherweise wird für einen Vergleich von Ofenanlagen hinsichtlich der Effizienz des Sauerstoffeinsatzes die eingesetzte Sauerstoffmenge auf die Klinkerleistung der Anlage bezogen. Der maximale Sauerstoffeinsatz betrug bei beiden Ofenanlagen jeweils 4,5 kg O₂/t Klinker. Bezieht man die Sauerstoffmenge hingegen auf die Feuerungswärmeleistung der Drehofenfeuerung, ergeben sich Werte von 12,1 kg O₂/MW (Ofenanlage 1) bzw. 5,9 kg O₂/MW (Ofenanlage 2). Bei Ofenanlage 1 ergab sich für die Brennerluft rechnerisch eine Zunahme des Sauerstoffgehalts um 3,7 Vol.-% (20,9 auf 24,6 Vol.-%). In der Flamme wurde die Sauerstoffkonzentration also deutlich angehoben. Bei Ofenanlage 2 hingegen wurde der Sauerstoffgehalt in der Brennerluft rechnerisch lediglich um 1,8 Vol.-% (von 20,9 auf 22,7 Vol.-%) erhöht.

Entsprechend der höheren Sauerstoffkonzentration in der Brennerluft – und damit am Flammenfuß und im Flammenkern – (bzw. entsprechend der höheren Sauerstoffzugabe bezogen auf die gleiche Feuerungswärmeleistung) ergaben sich bei Ofenanlage 1 eine schnellere Zündung der Brennstoffe sowie höhere Temperaturen

Rotary kiln plant 2

Trials in a second kiln plant indicate that improvement of the clinker properties in this plant is hardly possible without further plant-specific optimisation or the use of far more oxygen.

To compare kiln plants in terms of the efficiency of oxygen usage, the quantity of oxygen employed is usually referenced to the clinker throughput of the plant. The maximum amount of oxygen used was 4.5 kg O₂/t of clinker in each of the two plants. However, if the amount of oxygen is referenced to the heat output of the rotary kiln firing system, values of 12.1 kg O₂/MW (kiln plant 1) and 5.9 kg O₂/MW (kiln plant 2) are obtained. For kiln plant 1 this resulted in an arithmetic increase in the oxygen content of the primary air of 3.7 vol. % (from 20.9 to 24.6 vol. %). There was also a distinct rise in the oxygen concentration in the flame. With kiln plant 2, on the other hand, the arithmetic increase of the oxygen content of the primary air only amounted to 1.8 vol. % (from 20.9 to 22.7 vol. %).

The higher oxygen concentration in the primary air – and thus at the base of the flame and in the flame core – (or the greater addition of oxygen relative to the same firing system heat output) resulted in correspondingly faster ignition of the fuels in kiln plant 1 and higher temperatures in the flame. This is presumably the reason why the addition of 4.5 kg of oxygen per tonne of clinker was sufficient in kiln plant 1 to produce a positive effect on clinker quality, whereas the same specific quantity of oxygen relative to the clinker in kiln plant 2 had no significant effects. This confirmed the assumption that the use of oxygen can be considered to be more efficient in kiln plants with tertiary air ducting than for plants without tertiary air ducting.

in der Flamme. Dies ist vermutlich der Grund dafür, dass die Zugabe von 4,5 kg Sauerstoff je Tonne Klinker bei Ofenanlage 1 ausreichte, um einen positiven Effekt auf die Klinkerqualität zu bewirken, wogegen die gleiche klinkerbezogene spezifische Menge Sauerstoff bei Ofenanlage 2 keine signifikanten Auswirkungen zur Folge hatte. An dieser Stelle bestätigte sich die Vermutung, dass der Einsatz von Sauerstoff bei Ofenanlagen mit Tertiärluftleitung als effizienter anzusehen ist als bei Anlagen ohne Tertiärluftleitung.

Ergebnis

Die Untersuchungen ergaben, dass der Einsatz von Sauerstoff bei konventionellen Ofenanlagen weniger effektiv ist als bei Ofenanlagen mit Vorcalciniertechnik und Tertiärluftleitung, da bei gleicher spezifischer O₂-Menge nur geringere Sauerstoffkonzentrationen in der Flamme erreicht werden können. Vor dem Hintergrund, dass der Sauerstoffeinsatz mit hohen Betriebskosten verbunden ist, muss seine Anwendung sorgfältig abgewogen werden. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten spielt das Kostenverhältnis Kohle/Alternativbrennstoff eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grund wird diese Technologie in Deutschland deshalb derzeit kaum eingesetzt, da das Kostenverhältnis Kohle/Alternativbrennstoff dies nur selten rechtfertigt.

2.1.6 Anlagen- und produktspezifische Optimierung der Gattierung der Feinmahlkammer von Kugelmöhlen zur Zementmahlung ■

IGF-Vorhaben 16890 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 01/2011–12/2012

Hintergrund

Aufgrund des hohen Strombedarfs für das Mahlen von Zement kommt der Optimierung von bestehenden Mahlanlagen eine große Bedeutung zu. Vornehmlich werden Kugelmöhlen eingesetzt, die einen vergleichsweise hohen Energiebedarf, aber oftmals auch große Einsparpotenziale hinsichtlich der Stromkosten aufweisen. Die Gattierung der Möhlen, d. h. die Zusammensetzung der verwendeten Mahlkörper, stellt hierbei eine wesentliche Stellgröße dar. Untersuchungen lassen auf Einsparungen von im Mittel 5 %, in Einzelfällen bis zu 10 % schließen. Dabei ist eine Umsetzung solcher Optimierungsmaßnahmen in der Regel nur mit geringen bis gar keinen zusätzlichen Investitionskosten verbunden.

Die Kugelmühle ist jedoch ein messtechnisch schwer, im Betrieb gar nicht zugängliches System, das im Detail immer noch nicht vollständig verstanden ist. Entsprechend liegen bisher nur empirische Methoden zur Bemessung der Gattierung vor, die eine Festlegung a priori nur bedingt zulassen.

Die Anforderungen an eine optimale Gattierung ergeben sich aus zwei wichtigen Kriterien. Zum einen stehen beim Einsatz kleiner Kugeln pro Tonne Mahlkörper mehr Kontakte zur Verfügung, an denen eine Beanspruchung und damit möglicherweise eine Zerkleinerung des Mahlguts stattfinden. Zum anderen nimmt aber die Höhe der Beanspruchung je Kontakt ab, sodass je nach Größe des Mahlguts keine Zerkleinerung realisiert werden kann. Ferner liegen Ergebnisse in der Praxis vor, die bei gleicher Masse im Mühlenrohr eine Abnahme der absoluten elektrischen Leistungsaufnahme am Mühlenmotor beim Einsatz kleinerer Kugeln zeigen.

Eine Optimierung von Kugelmöhlen kann immer nur unter Berücksichtigung des zu mahlenden Materials und aller Elemente

Result

The investigations revealed that the use of oxygen is less effective in conventional kiln plants than in kiln plants with precalcination and tertiary air ducting, as only lower oxygen concentrations can be obtained in the flame for the same specific quantity of O₂. Given the fact that the use of oxygen is associated with high operating costs, its application requires careful consideration. From an economic point of view, the comparative costs of coal and alternative fuel are a crucial factor. Consequently this technology is scarcely used in Germany at present, as the comparative costs of coal and alternative fuel rarely make it justifiable.

2.1.6 Plant and product-specific optimisation of the charge grading in the fine grinding compartment of ball mills for cement grinding ■

IGF project 16890 N supported by the AiF
Project period: 01/2011–12/2012

Background

The optimisation of existing grinding plants is of great importance given the high energy demand associated with cement grinding. Use is primarily made of ball mills, which have a comparatively high energy demand but which often also offer great potential for savings with regard to electricity costs. The charge grading of the mills, in other words the composition of the grinding media used, is an important factor in this respect. Studies suggest that savings of 5 % could be attained on average and up to 10 % in individual cases. In addition, the extra capital costs associated with the implementation of such optimisation measures are generally very low or even non-existent.

Access to ball mills for measurement purposes is however difficult – even impossible when in operation – and the system is still not fully understood in detail. As a result, only empirical methods of dimensioning the charge grading are so far available and a priori only allow specification to a limited extent.

Two important criteria define the requirements for optimum charge grading. On the one hand, the use of small balls makes more contacts per tonne of grinding media available for stressing and thus possibly comminution of the mill feed. On the other hand the intensity of stress per contact is lower, with the result that, depending on the size of the mill feed, it may not be possible to achieve any comminution. For the same mass in the mill shell, practical results also reveal a decrease in absolute power input at the mill motor when using smaller balls.

Ball mill optimisation must always take into account the material to be ground and all elements of the grinding circuit. Optimisation of the charge grading is thus also a complex problem which cannot be viewed in isolation. Added to this, the diversity of types means that a wide range of different cements has to be ground in the same mill. Consequently, the requirements for charge grading arise from a variety of boundary conditions. Such complex optimisation problems are difficult to master employing heuristic approaches.

des Mahlkreislaufs erfolgen. Daher stellt auch die Optimierung der Gattierung ein komplexes Problem dar, das nicht losgelöst betrachtet werden kann. Hinzu kommt, dass aufgrund der Sortenvielfalt eine Vielzahl von Zementen auf einer Mühle gemahlen werden muss. Dies bedeutet, dass sich die Anforderungen an eine Gattierung aus verschiedenen Randbedingungen ergeben. Derart komplexe Optimierungsaufgaben sind mit heuristischen Ansätzen nur schwer zu bewältigen.

Beschreibung der Mahlkörperbewegung

In einem ersten Schritt wurde die Beschreibung der Mahlkörperbewegungen im Innern von Kugelmühen durch ein 2D-DEM-Modell realisiert. Modelle dieser Art können die Bewegung und Interaktion von Partikeln oder in diesem Fall von Mahlkugeln beschreiben. Die Ergebnisse bestätigen ein theoretisches Optimum aus der Beanspruchungsintensität und der zur Verfügung stehenden Anzahl an Kugelkontakten. **Bild 2.1.6-1** visualisiert diesen Zusammenhang. Ziel muss daher eine optimale Energieausnutzung je Kontakt bei maximaler Kontaktanzahl sein. Es konnte durch die Simulation auch gezeigt werden, dass bei der Kaskadenbewegung, die typisch für die Feinmahlkammer ist, die Mahlkörper überwiegend vollständig in Kontakt bleiben.

Übliche Auswertungen dieser Simulationsdaten betrachten häufig nur Stoßereignisse. Daher wurde der Kontaktweg der Mahlkörper in der Mühle neu eingeführt. Dieser beschreibt die Strecke, die die Mahlkörper unter Berücksichtigung von Einzugsbedingungen gegenseitig an ihren Oberflächen zurücklegen. Der Kontaktweg stellt eine wichtige Beschreibungsgröße für die vornehmlich reichende Zerkleinerung in der Feinmahlkammer dar. Die Simulationsergebnisse zeigen – wie erwartet – eine kubische Abhängigkeit des Kontaktwegs und der mittleren Normalkraft der Stöße von der Kugelgröße (**Bild 2.1.6-2**).

Eine quantitative Bestimmung erfordert jedoch die explizite Berücksichtigung der Zerkleinerung. Diese wurde im Rahmen des Forschungsprojekts in die Betrachtung integriert. Die Zerkleinerung wurde unter definierten Bedingungen an einem Mahlbarkeitstester nach Zeisel bestimmt und der generelle Einfluss der Variation der Beanspruchungssituation untersucht. Hierzu wurde eine neue Messung der Leistungsaufnahme während der Zerkleinerung mittels einer Kraftmessdose entwickelt. Langfristig wird angestrebt, die Rechenwerkzeuge so zu gestalten, dass einfache Messungen an diesem Testsystem ausreichende Materialparameter liefern. Dies würde aufwendige Testmahlungen vermeiden.

Es wurde ein grundsätzlicher Beschreibungsansatz entwickelt, der die Zerkleinerung in Abhängigkeit von den Kennwerten von

Description of grinding media movement

In an initial step, the movement of grinding media inside a ball mill was described by way of a 2D DEM model. Models of this type can be used to describe the movement and interaction of particles or, in this case, of grinding balls. The results confirm a theoretical optimum in terms of the exposure intensity and the number of ball contacts available. **Fig. 2.1.6-1** illustrates this relationship. The aim must therefore be to achieve optimum energy utilisation on each contact with a maximum number of contacts. Simulation also showed that, with the typical cascade-movement of the fine grinding compartment, the grinding media predominantly remain in full contact.

Standard evaluations of this simulation data often only give consideration to impact. This was the reason for introducing the contact path of the grinding media in the mill. The path describes the distance mutually covered by the surfaces of the grinding media, taking into account the intake conditions. The contact path is an important parameter for describing the primarily frictional comminution process in the fine grinding compartment. As expected, the simulation results show a cubic relationship between the contact path and the average normal force of the impacts and the ball size (**Fig. 2.1.6-2**).

Quantitative determination does however require explicit consideration of the comminution. This was incorporated into the considerations as part of the research project. Comminution was determined under defined conditions on a Zeisel grindability tester and the general effect of varying the exposure situation was studied. A new method of measuring the power input during comminution by way of a load cell was developed for this purpose. In the long term the aim is to design the calculation tools to allow adequate material parameters to be obtained from simple measurements on this test system. This would save the time and effort required for performing test grinding.

A basic descriptive approach was developed which permits comminution as a function of the charge grading characteristic values which can be determined from simulation. This makes it clear that optimum comminution for certain grain fractions is obtained with different grinding media sizes.

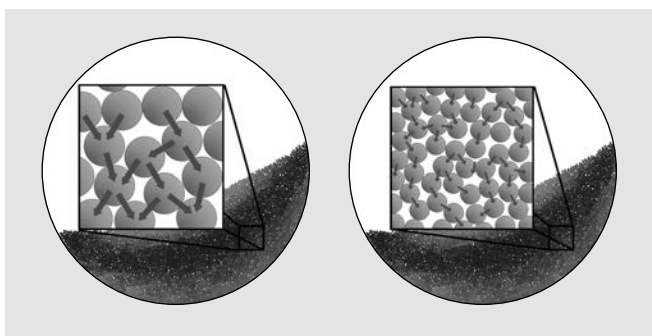


Bild 2.1.6-1 Zusammenhang zwischen Kugelanzahl und Höhe der Beanspruchung bei verschiedenen Kugelgrößen
Fig. 2.1.6-1 Relation between amount of balls and the stress intensity at different ball sizes

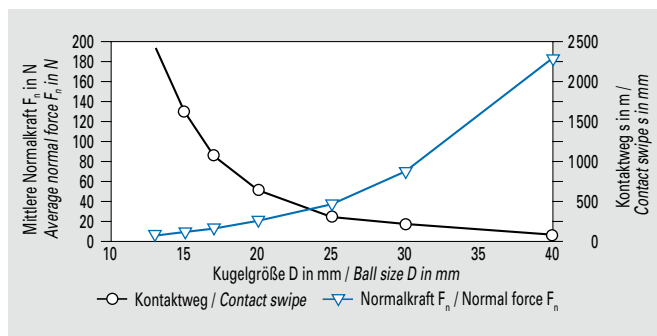


Bild 2.1.6-2 Kontaktweg und mittlere Normalkraft der Stöße in Abhängigkeit von der Kugelgröße
Fig. 2.1.6-2 Contact path and average normal force of splices depending on the ball size

Gattierungen, die aus der Simulation bestimmt werden können, erlaubt. Dabei erkennt man, dass die optimale Zerkleinerung für bestimmte Kornfraktionen durch verschiedene Mahlkörpergrößen erzielt wird.

Schlussfolgerungen

Für die Applikation auf industrielle Mahlanlagen sind noch weitere Untersuchungen erforderlich. Dabei liegt der Fokus auf Messungen an realen Anlagen zur Parametrierung der Modelle. Durch das Forschungsvorhaben konnten aber wesentliche Zusammenhänge und Einflussgrößen identifiziert werden, die derart vorher nicht bekannt waren. Diese erlauben ein besseres Verständnis der Kugelmühle und vereinfachen die Optimierung. In Zukunft sollen erprobte empirische Optimierungsmethoden schrittweise durch Simulation verbessert und erweitert werden.

Neben der Untersuchung der Mahlkörperbewegung durch Simulation wurden zudem Versuche an einer diskontinuierlich arbeitenden 40-kg-Labormühle durchgeführt. Bestimmt wurde die Leistungsaufnahme verschiedener monodisperser Kugelfüllungen. Es konnte gezeigt werden, dass die Abhängigkeit der Mahlkörpergröße und der Leistungsaufnahme durch die geometrischen Bedingungen (z. B. Panzerungsprofil) beeinflusst wird. Eine Untersuchung dieser Zusammenhänge mittels Simulation ist vielversprechend.

Die Versuchsreihen haben zudem gezeigt, dass der Verschleiß der Mahlkörper bei Kugel-Kugel-Kontakten drastisch ansteigt. Im Mittel wurden Werte von über 100 g Metallabrieb je Tonne Mahlkörper und Stunde [$g/(t_{MK} \cdot h)$] gemessen. Dies entspricht umgerechnet dem 10- bis 15-Fachen der üblichen Praxiswerte mit Mahlgut. Die Gewährleistung eines Mahlgutfüllstandes von 100 % und ein dementsprechendes Arbeitsverhalten der Trennwände sind daher von großer Bedeutung für den wirtschaftlichen Betrieb von Kugelmühlen.

2.1.7 Modifizierung des Mahlbarkeits-tests nach Zeisel ■

Für die Untersuchung und Optimierung von Mahlanlagen ist eine verlässliche und aussagekräftige Messtechnik von großer Bedeutung. Um den Einfluss des Mahlguts auf den Prozess bestimmen zu können, werden Mahlbarkeitsuntersuchungen (z. B. nach Bond oder Zeisel) durchgeführt. Durch die eingeschränkte Fraktion, die beim Mahlbarkeitstest nach Zeisel untersucht wird, können Effekte auf die Feinmahlung nicht vollständig bestimmt werden. Daher wurden Untersuchungen am Feinanteil $< 0,8$ mm durchgeführt.

Mahlbarkeitsprüfungen nach Zeisel

Die Mahlbarkeitsprüfung nach Zeisel ist ein etabliertes Verfahren zur Bestimmung des spezifischen Energiebedarfes der trockenen Zerkleinerung verschiedener harter und spröder Mahlgüter. Das Verfahren hat eine lange Tradition bei der Untersuchung von Klinkern, Hüttensanden und anderen Einsatzstoffen der Zementherstellung. Es zeigt bei genauer Einhaltung der Versuchsparameter eine hohe Wiederholgenauigkeit und ermöglicht den direkten Vergleich verschiedener Mahlgüter sowie unterschiedlicher Chargen. **Bild 2.1.7-1** zeigt die Testapparatur.

Mahlbarkeitsprüfungen generell beziehen sich in der Regel auf eine bestimmte, definierte Fraktion des Ausgangsmaterials. Material zu großer Korngröße wird achtsam vorzerkleinert, um eine ausreichend repräsentative Probe zu gewährleisten. Die Mahlbarkeitsprüfung nach Zeisel (ebenso wie die modifizierte

Conclusions

Further investigations are still required with regard to application to industrial grinding plants. The focus will then be on measurements on real plants for parametrisation of the models. The research project did however identify significant relationships and factors of influence which were not previously known in this form. These give more insight into ball mill processes and simplify optimisation. In the future, proven empirical optimisation methods are to be gradually improved and extended by the use of simulation.

In addition to the simulation of grinding media movement, trials were also conducted on an intermittently operating 40 kg laboratory batch mill. The power input was determined for various monodisperse ball fills. It became apparent that the geometrical conditions (e.g. lining profile) influence grinding media size and power input dependence. Study of these relationships using simulation is very promising.

The test series also revealed that grinding media wear increases drastically with ball-to-ball contact. Values of more than 100 g of metal abrasion per tonne of grinding media and hour [$g/(t_{GM} \cdot h)$] were measured on average. Following conversion this corresponds to 10–15 times the normal values found in practice with mill feed. A guaranteed 100 % material filling degree and corresponding operating characteristics of the partitions are thus of great significance for the economical operation of ball mills.

2.1.7 Modification of Zeisel grindability test ■

A reliable, informative measurement system is very important for the study and optimisation of grinding plants. Grindability tests (e.g. Bond or Zeisel) are performed in order to be able to determine the influence of the mill feed on the process. On account of the restricted sample fraction between 0.8–1 mm investigated in the Zeisel grindability test, any effects on fine grinding cannot be fully determined. Tests were therefore conducted on the fine fraction < 0.8 mm.

Zeisel grindability tests

The Zeisel grindability test is an established means of determining specific energy demand for the dry comminution of various hard and brittle mill feeds. The method has long been used for the investigation of clinker, blast furnace slag and other main constituents employed in cement production. Given strict compliance with the test parameters, it exhibits a high level of repeatability and permits the direct comparison of different materials and different batches. **Fig. 2.1.7-1** shows the test apparatus.

Grindability tests are generally applied to a specific, defined fraction of the starting material. Material of too large particle size is carefully pretreated to guarantee a representative sample. The Zeisel grindability test (and Schiller's modified closed-circuit version) is applied to the fraction between 0.8 (0.75) mm and 1 mm. As with other methods, comminution is performed on oversize material to make it part of this fraction. Material below the lower fraction limit does not enter into the sample. Any increased accumulation of certain phases or constituents of a sample in the fine fraction can thus not be detected by the grindability test. This is to be viewed as problematic with regard to the increase in the proportion of fine fractions in the clinker as a result of increased use of alternative fuels in the past.



Bild 2.1.7-1 Mahlbarkeitsprüfer nach Zeisel
Fig. 2.1.7-1 Grindability testing device acc. Zeisel

Variante im geschlossenen Kreislauf nach Schiller) bezieht sich auf die Fraktion zwischen 0,8 (0,75) mm und 1 mm. Wie auch bei anderen Verfahren wird Überkorn zerkleinert, um ebenfalls Teil dieser Fraktion zu werden. Material unterhalb der unteren Fraktionsgrenze geht nicht in die Probe ein. Eine verstärkte Anreicherung von bestimmten Phasen oder Bestandteilen einer Probe im Feinanteil kann somit durch den Mahlbarkeitstest nicht erfasst werden. In Hinblick auf den durch alternative Brennstoffe in der Vergangenheit angestiegenen Anteil an Feinfraktionen im Klinker ist dies als problematisch zu bewerten.

Analysen der Feinfraktion

Messungen haben gezeigt, dass insbesondere Klinker eine deutliche Anreicherung von schwerer mahlbaren Bestandteilen im Feinstbereich aufweisen kann. Höhere Feinheiten der Aufgabematerialien sind zunächst günstig für das Mahlen. Erst bei hohen Aufmahlgraden macht sich die schwere Mahlbarkeit im Feinbereich bemerkbar. Mit Standardmessmethoden sind derartige Effekte in der Praxis oft schwer nachvollziehbar. Daher wurden vom VDZ neben der konventionellen Erstanalyse der eigentlichen Fraktion nach Zeisel weitere Analysen der Feinfraktion <0,8 mm an verschiedenen Klinkern durchgeführt. Die Testparameter blieben hierzu unverändert. Um einen Vergleich zur Standardmessung zu ermöglichen, wurden der Blaine-Wert der Feinfraktion bestimmt und die Mahlbarkeitskurve gemäß der Originalmessung entsprechend korrigiert.

Die Untersuchungen haben teilweise große Unterschiede der Mahlbarkeit zwischen den Fraktionen nachgewiesen. **Bild 2.1.7-2** zeigt die Mahlbarkeitskurven der Fraktionen 0,8 bis 1 mm und < 0,8 mm für eine Klinkerprobe. Es ist erkennbar, dass die Feinfraktion deutlich schwerer mahlbar ist und hin zu höheren Blaine-Werten bis zu 50 % oberhalb der gröberen Fraktion liegt.

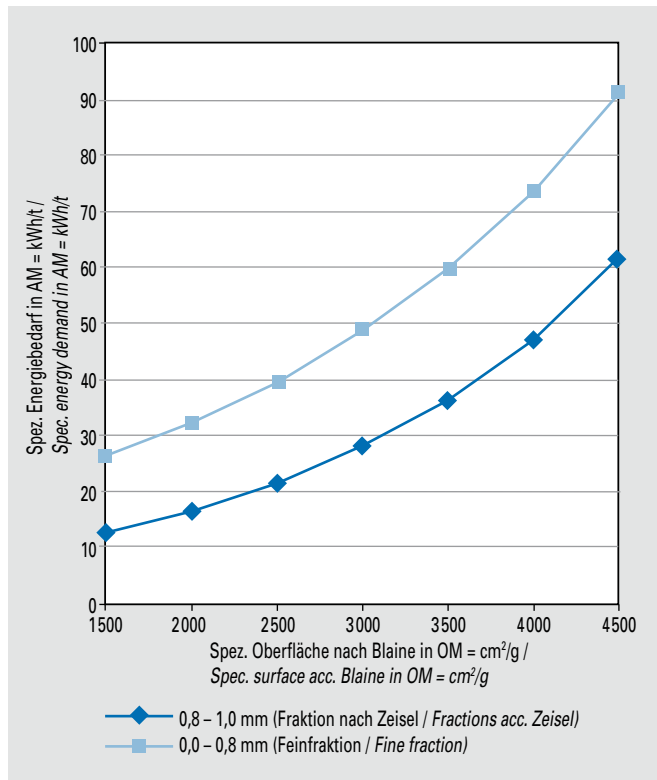


Bild 2.1.7-2 Vergleich der Mahlbarkeit der Fraktionen desselben Klinkers

Fig. 2.1.7-2 Comparison of the grindability of fractions of the same clinker

Analyses of fine fraction

Measurements have shown that clinker in particular may exhibit a distinct accumulation of constituents which are difficult to grind. Greater fineness of the feed materials is initially favourable for grinding in the ultrafine fraction. Grinding difficulties in the fine range only become apparent with high degrees of grinding. In practice such effects are often difficult to trace with standard measurement methods. This was why VDZ conducted further analyses of the fine fraction < 0.8 mm on various clinkers in addition to conventional analysis of the actual fraction employing the Zeisel method. The test parameters remained unchanged. To permit comparison with the standard measurement, the Blaine value of the fine fraction was determined and the grindability curve corrected accordingly in line with the original measurement.

In some cases the investigations revealed great differences in the grindability of the fractions. **Fig. 2.1.7-2** shows the grindability curves of the fractions 0.8 to 1 mm and < 0.8 mm for a clinker sample. It is apparent that the fine fraction is far more difficult to grind and, with higher Blaine values, is up to 50 % above the coarser fraction.

The additional investigation of the fine fraction is recommended for starting materials with a high proportion of < 0.8 mm or a very low yield when producing the fraction 0.8 to 1 mm. Examination solely of the coarse range leads to apparently lower grindability values which do not reflect the real process conditions. The method has already been successfully employed in several cases in practice to explain throughput variations.

Die zusätzliche Untersuchung der Feinfraktion wird bei Ausgangsmaterialien mit einem hohen Anteil $< 0,8$ mm oder einer sehr geringen Ausbeute beim Herstellen der Fraktion 0,8 bis 1 mm empfohlen. Die reine Untersuchung des Grobbereichs führt zu scheinbar geringeren Mahlbarkeitswerten, die nicht die realen Prozessbedingungen widerspiegeln. Das Verfahren wurde in der Praxis bereits in einigen Fällen erfolgreich zur Erklärung von Durchsatzveränderungen eingesetzt.

2.1.8 Feinstmahlung von Zementbestandteilen ■

Die Feinstmahlung von hydraulischen Bindemitteln gestaltet sich bei steigender Feinheit aufgrund einer Vielzahl von Effekten zunehmend schwieriger. Nimmt die Feinheit zu, steigen die Agglomerationsneigung sowie die Zerkleinerungsleistung und die Transporteigenschaften verschlechtern sich. Mit abnehmender Korngröße steigt darüber hinaus die Festigkeit der Einzelpartikel, sodass der spezifische Energiebedarf ansteigt. Betrachtet man vor diesem Hintergrund die über die letzten Jahre deutlich angestiegenen Produktfeinheiten, so bedarf es einer gezielten Auseinandersetzung mit der Feinstmahlung von Zement.

Hochdruckzerkleinerungsverfahren können bedingt durch die innere Reibung nur einen begrenzten Druck in ein Partikelbett einbringen und sind daher trotz ihrer hohen Effizienz in den maximalen Feinheiten limitiert. Kugelmöhlen können im Kreislauf wesentlich höhere Feinheiten erzielen, weisen dann jedoch einen extrem hohen spezifischen Energiebedarf auf. Im Allgemeinen führt Nassmahlung zu höherer Zerkleinerungsleistung im Feinstbereich, unter anderem durch Herabsetzung der Agglomerationsneigung. Diese ist für hydraulische Bindemittel allerdings nicht geeignet.

Das Forschungsinstitut des VDZ verfügt für Anwendungen der trockenen Feinstzerkleinerung über einen Horizontal-Attritor im Labormaßstab. Diese im Batchbetrieb arbeitende Rotormühle besteht aus einem horizontal liegenden zylindrischen Mahlraum

2.1.8 Superfine grinding of cement constituents ■

The fine grinding of hydraulic binders becomes steadily more difficult with increasing fineness. The agglomeration tendency rises and the comminution performance and transportation properties deteriorate as fineness increases. In addition, the strength of the individual particles increases with decreasing particle size, thus leading to higher specific power consumption. If the distinct increase in product fineness over the past few years is viewed against this background, there is a need to take a closer look at the superfine grinding of cement.

On account of internal friction, high-pressure comminution methods can only apply a limited amount of pressure to a particle bed and are thus restricted in terms of maximum fineness despite their high efficiency. Closed-circuit ball mills can achieve far higher degrees of fineness, but are then associated with extremely high specific power consumption. Generally speaking, wet grinding yields a higher comminution performance in the superfine range, for example as a result of a reduction in the agglomeration tendency. This is however not suitable for hydraulic binders.

For dry superfine comminution applications, the VDZ research institute has a laboratory-scale horizontal attritor. This stirred-media-mill for batch operation consists of a horizontal cylindrical grinding chamber (Fig. 2.1.8-1) with a volume of two litres. The internal rotor accelerates the grinding media (balls with a diameter of 3 mm). The grinding media filling ratio is similar to that of traditional ball mills. The high rotational speed as compared to agitator ball mills distributes the balls throughout the entire grinding chamber and produces high levels of kinetic energy. On account of the high stress intensity, this system is able to comminute material to a very small particle size in a particularly short exposure time. In future, the mill is also to be used in research projects for the assessment of separate superfine comminution for example.

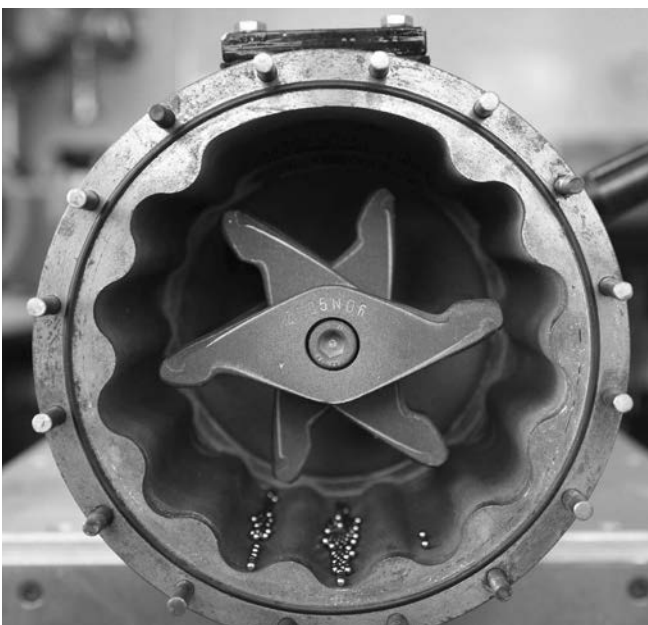


Bild 2.1.8-1 Wellenmahlkammer des Horizontal-Attritor
Fig. 2.1.8-1 Wave grinding chamber of the horizontal attritor

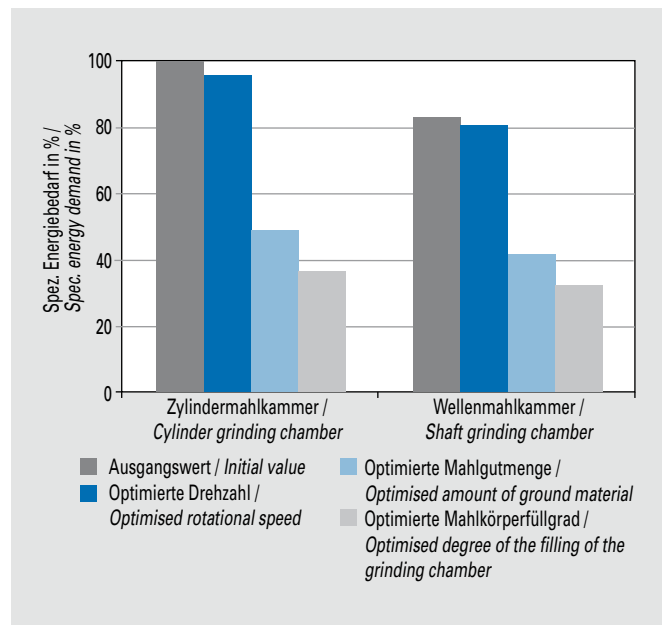


Bild 2.1.8-2 Energetische Optimierung durch Anpassung der Betriebsparameter und der Mahlkammergeometrie
Fig. 2.1.8-2 Energetic optimisation by adapting the operating parameters and the geometry of the grinding chamber

(Bild 2.1.8-1) mit zwei Litern Volumen. Der innen liegende Rotor beschleunigt die Mahlkörperfüllung aus Kugeln mit einem Durchmesser von 3 mm. Der Mahlkörperfüllgrad orientiert sich dabei eher an dem klassischer Kugelmühlen. Die im Vergleich zu Rührwerkskugelmühlen hohe Rotationsgeschwindigkeit verteilt die Kugeln im gesamten Mahlraum und erzeugt hohe kinetische Energien. Durch die hohe Beanspruchungsintensität ist dieses Aggregat in der Lage, Material in besonders kurzer Beanspruchungsdauer auf eine sehr geringe Korngröße zu zerkleinern. Die Mühle soll künftig u. a. in Forschungsprojekten zur Bewertung separater Feinstzerkleinerung eingesetzt werden.

Im Rahmen erster Inbetriebnahmeversuche wurden zunächst die Betriebsparameter Material- und Kugelfüllgrad sowie die Rotordrehzahl optimiert. Es konnte gezeigt werden, dass die Rotordrehzahl nur untergeordneten Einfluss auf den spezifischen Leistungsbedarf der Mühle hat und sich lediglich die Zerkleinerungsdauer sowie das Verschleiß- und Wärmeverhalten deutlich ändern. Eine deutliche Reduktion des spezifischen Energiebedarfs konnte durch die Veränderung von Mahlkörper und Mahlgutfüllgrad erreicht werden. Zur Verbesserung der Energieeffizienz wurden weiterhin Untersuchungen zur Eignung einer wellenförmig profilierten Mahlkammer-Geometrie zur Unterbrechung von Zentrifugaleffekten durchgeführt. Das Profil ist das Ergebnis umfangreicher Simulationsstudien der Universität Siegen [1]. In Versuchen zeigt es sowohl im Ausgangszustand als auch unter optimierten Bedingungen einen deutlich niedrigeren spezifischen Energiebedarf sowie größere Zerkleinerungsschritte als die Standard-Mahlkammer. Bild 2.1.8-2 zeigt den spezifischen Energiebedarf beider Kammern in den verschiedenen Optimierungsstadien bezogen auf die Standardmahlkammer mit üblichen Betriebsparametern.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurden die Mahlkörperbewegungen in beiden Mahlkammern visuell mittels Hochgeschwindigkeitsaufnahmen untersucht. Hieraus resultierte die Erkenntnis, dass das simulationstechnisch ermittelte Optimum nicht dem verfahrenstechnischen Optimum entspricht, da durch die Bewegung des Pulvers die prozesstechnischen Gegebenheiten abweichen. Dies ist ein bekanntes Problem der rechentechnisch notwendigen Vernachlässigung des Mahlguts bei der Simulation. Simulationen von Mahlanlagen können unter diesen Bedingungen nur als Anhaltspunkt zur Optimierung gesehen werden. Die Mahlanlage wird nun durch praktisch geprägte Versuchsreihen kontinuierlich weiter optimiert, um trockene Feinstzerkleinerung von Zement und dessen Bestandteilen im Labormaßstab durchführen zu können. In diesem Rahmen werden Möglichkeiten zur Untersuchung des Einflusses separater Feinstmahlung zur Steigerung der Energieeffizienz geschaffen.

2.1.9 Optimierung der halbtechnischen Umlaufmahanlage ■

Im VDZ steht für Mahlversuche eine halbtechnische Umlaufmahanlage mit beheizbarer Kugelmühle zur Verfügung (Bild 2.1.9-1). Der Betrieb der Anlage war durch verfahrenstechnische Gegebenheiten stark in der oberen Feinheit limitiert und ein stabiler Zustand konnte nicht über längere Zeit gewährleistet werden. Durch nachfolgend erläuterte Maßnahmen wurden diese Gegebenheiten verbessert. Die Mahlanlage eignet sich damit besonders für Mahlversuche im Rahmen von Forschungstätigkeiten sowie der

In the framework of initial commissioning trials, the material- and ball-filling ratio and the rotor speed were first optimised. It became apparent that the rotor speed has only a minor influence on the specific energy demand of the mill and that only the comminution time, the wear behaviour and the heat characteristics are subject to significant change. A distinct reduction in specific energy demand was achieved by altering the grinding media and material filling ratio. To improve energy efficiency, studies were also conducted into the suitability of a grinding chamber geometry with wave-profile as a means of interrupting centrifugal effects. The profile is the result of extensive simulation studies performed by the University of Siegen (Reichardt). In experiments it exhibits much lower specific energy demand and greater comminution progress than the standard grinding chamber in both the initial state and under optimised conditions. Fig. 2.1.8-2 shows the specific energy demand of both chambers in the various stages of optimisation referenced to the standard grinding chamber with the usual operating parameters.

Based on these findings, the grinding media movement in both grinding chambers was visually examined using high-speed images. This led to the conclusion that the optimum determined through simulation does not correspond to the process technology optimum, as the process technology factors differ on account of the movement of the powder. This is a known problem stemming from the fact that the mill feed has to be ignored in simulation for calculation reasons. Given these conditions, the simulation of grinding plants can only ever be viewed as a guide for optimisation. The grinding plant is now to be continuously further optimised in the course of realistic test series in order to be able to perform laboratory-scale dry superfine comminution of cement and its constituents. This will create ways of investigating the influence of separate superfine grinding as a means of increasing energy efficiency.

2.1.9 Optimisation of semi-industrial closed-circuit grinding plant ■

At VDZ a semi-industrial closed-circuit grinding plant with heatable ball mill is available for performing grinding trials (Fig. 2.1.9-1). On account of process technology factors, operation of the plant was greatly restricted in the upper fineness range and it was not possible to guarantee a stable condition over a lengthy period. The situation was improved by taking the action described in the following. The grinding plant is thus particularly suitable for grinding trials as part of research work and for commissioned research. In the past, for example, extensive test series were conducted to establish the process technology effect of grinding aids. The plant can run in both open- and in closed-circuit operation with a caged-rotor classifier. The mill feeds produced can be better compared to industrial products than is the case with batch-type mills.

So far, the classifier fines were separated in a cyclone and the clean gas was then routed to a filter for dedusting. The level of separating efficiency of the cyclone and the long transportation distances to the filter resulted in a considerable loss of superfines and thus restricted the maximum attainable fineness. In the course of converting the grinding plant, the cyclone was replaced and the clean gas returned to the blower in a closed circuit. As expected,

[1] Reichardt, R.: Ereignisdiskrete Simulation einer Hochenergie-Kugelmühle. Dissertation, Siegen 2005

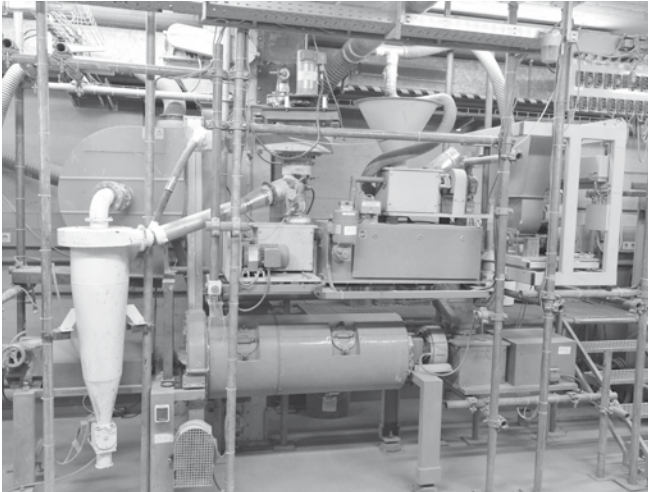


Bild 2.1.9-1 Halbtechnische Kugelmöhlen-Umlaufmahanlage im Mühlttechnikum des VDZ

Fig. 2.1.9-1 Semi-industrial ball mill closed-circuit grinding plant in the technical grinding school of the VDZ

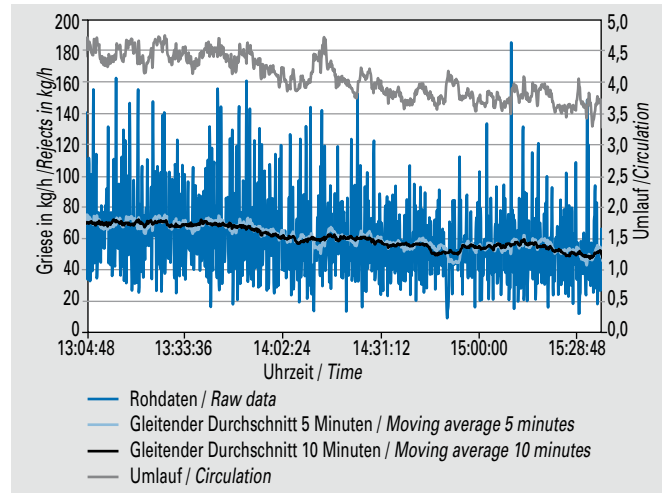


Bild 2.1.9-2 Umlaufauswertung: Verlauf der direkten und der geglätteten Rückgutmessung

Fig. 2.1.9-2 Evaluation of circulation: Course of direct and smoothed measurement of reject-materials

Auftragsforschung. In der Vergangenheit wurden beispielsweise umfangreiche Versuchsreihen zur Überprüfung der verfahrenstechnischen Wirkung von Mahlhilfsmitteln durchgeführt. Die Anlage kann im Durchlauf sowie im geschlossenen Kreislauf mit einem Stabkorbsichter betrieben werden. Die erzeugten Mahlgüter können im Gegensatz zu satzweise arbeitenden Mühlen besser mit industriellen Produkten verglichen werden.

Bislang wurde das Sichterfeingut in einem Zyklon abgeschieden und das Reingas danach zur Entstaubung in einen Filter geleitet. Die Abscheideleistung des Zyklons sowie die langen Transportwege zum Filter führten zu hohen Verlusten an Feinstgut und limitierten so die erreichbare maximale Feinheit. Im Rahmen eines Umbaus der Mahlanlage wurde der Zyklon ausgetauscht und das Reingas im geschlossenen Kreislauf wieder zum Gebläse zurückgeführt. Der Abscheidegrad des Zyklons hat sich erwartungsgemäß stark verbessert und der Anteil an Feinfraktionen im Fertiggut konnte gesteigert werden. Rezirkuliertes Feinstgut kann sich jedoch nun im Kreislauf anreichern und führt durch die kleine Bauweise schnell zur Verstopfung des Sichters und damit zum Ausfall der gesamten Anlage. Um den Sichterbetrieb zu stabilisieren, wird nun ein Teil der Luft abgezogen und separat entstaubt. Hierdurch kann die maximale Staubkonzentration verringert werden. Das Feinstgut kann dem Produkt später wieder zugeführt werden.

Diese Maßnahme hat zu einer deutlichen Verbesserung der Betriebsstabilität geführt. Insgesamt sind nach dem Umbau wesentlich höhere Produktfeinheiten erreichbar. Im Rahmen ausführlicher Versuchsmahlungen wurden zahlreiche Betriebsparameter an unterschiedlichen Materialien getestet und optimiert. Ferner

this led to a considerable improvement in the separation efficiency of the cyclone and an increase in the proportion of fine fractions in the finished product. Recirculated superfines can however now accumulate in the circuit, which soon leads to blockage of the classifier and thus failure of the entire plant on account of the small size. To stabilise classifier operation, part of the air is now extracted and dedusted separately. This permits the lowering of the maximum dust concentration. The superfines can be returned to the product again later.

This action has produced a great improvement in operating stability. All-in-all the conversion work has made it possible to achieve far greater product fineness. In the course of extensive grinding trials, numerous operating parameters were tested with various materials and optimised. In addition, the electrical system of the entire plant was renewed and a new data acquisition system including data recorders was installed. Alongside the improved recording of trial data, this facilitates the checking of mill operation in particular.

The mill is provided with a belt weigher for weighing the reject-material mass flow. This does however fluctuate considerably over short periods of time. With the original data acquisition system, the plant could therefore only be controlled to a very limited extent. This restriction was overcome by implementing moving averages. **Fig. 2.1.9-2** shows the profile of the returned material mass flow over a period of approx. 2.5 h. Operation of the grinding plant is considerably facilitated by forming the mean of the greatly fluctuating raw data. Tendencies in operating behaviour are easier to detect and operation can be better regulated, thus ensuring more stable operation over a longer time.

wurden die Elektrik der Gesamtanlage erneuert und eine neue Datenerfassung inkl. Messschreibern installiert. Neben der verbesserten Aufzeichnung von Versuchsdaten wurde insbesondere die Kontrolle der Mühle im Betrieb erleichtert.

Die Mühle ist mit einer Bandwaage zur Verwiegung des Rückgutmassenstroms ausgestattet. Dieser schwankt jedoch über kurze Zeitintervalle betrachtet sehr stark. Mittels der ursprünglichen Datenerfassung war daher die Steuerung der Anlage nur sehr eingeschränkt möglich. Durch Implementierung von gleitenden Mittelwerten wurde diese Einschränkung aufgehoben. **Bild 2.1.9-2** zeigt den Verlauf des Rückgutmassenstroms über ca. 2,5 Stunden. Der Betrieb der Mahlanlage wird durch die Mittelwertbildung der stark schwankenden Rohdaten deutlich erleichtert. Tendenzen im Betriebsverhalten sind leichter zu erkennen und der Betrieb ist besser nachzuregeln, wodurch ein stabilerer Betrieb über längere Zeit gewährleistet werden kann.

Die neue Fertiggutabscheidung, die besseren Kontrollmöglichkeiten sowie die Eliminierung von Störfaktoren haben den Betrieb der Anlage stark verbessert. Dies spiegelt sich vor allem in gleichmäßigeren Fertiggutfeinheiten wider. Gewünschte Betriebszustände können schneller eingestellt und stabil über längere Zeiträume aufrechterhalten werden. Dies verbessert die Möglichkeiten im Rahmen von Forschungsprojekten deutlich.

The new finished product separation system, improved monitoring and the elimination of disturbance factors have led to a distinct improvement in plant operation. This is reflected above all by the more uniform finished product fineness. Required operation states can be set more quickly and kept stable over longer periods of time. This offers vastly improved potential for research projects.

2.2 Umwelt- und Klimaschutz bei der Zementherstellung / Environmental and climate protection in cement production

2.2.1 CO₂-Minderung durch die Oxyfuel-Technologie im Zementklinkerbrennprozess ■

ECRA CCS Project Phase IV.A
 Projektpartner: ECRA
 Projektzeitraum: 05/2012–07/2014

Hintergrund und Ziel

Die Oxyfuel-Technologie sieht vor, die Verbrennungsluft durch reinen Sauerstoff aus einer Luftzerlegungsanlage zu ersetzen. Um die Temperaturprofile insbesondere im Ofen zu optimieren, wird ein gewisser Anteil an Abgas rezirkuliert. Hieraus resultiert ein Abgas, das hohe Anteile (bis 85 Vol.-% trocken) CO₂ enthält und somit relativ einfach zur weiteren Speicherung oder Verwendung aufbereitet werden kann. Es handelt sich bei dieser Technologie um ein integriertes Konzept (**Bild 2.2.1-1**), das sowohl den Prozess als auch die Materialumwandlung beeinflusst.

Die technische Machbarkeit und die wirtschaftlichen Auswirkungen dieser Technologie wurden bereits in vorhergehenden AiF-geförderten Projekten (AiF-Nr. 15322 und 16811) behandelt. Hierin wurde nachgewiesen, dass die Oxyfuel-Technologie grundsätzlich ohne signifikante Auswirkungen auf das Produkt in einem bestehenden Zementwerk nachgerüstet werden kann. Aufgrund einer Verdopplung des elektrischen Energiebedarfs, die v. a. aus der O₂-Erzeugung sowie der Aufbereitung des abgetrennten CO₂ resultiert, ist jedoch mit einer Steigerung der Produktionskosten von mindestens 40 % zu rechnen.

Verminderung von Falschluff

Der VDZ untersuchte in der vergangenen Phase des ECRA-Projektes verschiedene Teilaspekte der Technologie. Insbesondere die CO₂-Aufbereitung am Prozessende weist einen hohen elektrischen Energiebedarf abhängig vom CO₂-Gehalt im Abgas auf. Einen wesentlichen Einfluss auf die Zusammensetzung des Abgases hat Falschluff, die beim Klinkerbrennprozess unvermeidlich in das mit Unterdruck betriebene System eingezogen wird. Eine theoretische Studie postulierte, dass mittels verbes-

2.2.1 CO₂ reduction through the use of oxyfuel technology in the cement clinker burning process ■

ECRA CCS Project Phase IV.A
 Project partner: ECRA
 Project period: 05/2012–07/2014

Background and aim

Oxyfuel technology is based on the principle of replacing combustion air with pure oxygen from an air separation unit. A certain proportion of exhaust gas is recirculated to optimise the temperature profiles, particularly in the kiln. This results in an exhaust gas with a high (up to 85 vol. %, dry) CO₂ content which can then be relatively easily processed for further storage or use (**Fig. 2.2.1-1**). This technology is an integrated concept which influences both the process and material conversion.

The technical feasibility and the economic consequences of this technology have already been considered in previous projects supported by the AiF (AiF no. 15322 and 16811). These confirmed that oxyfuel technology can basically be retrofitted in an existing cement works without any significant effects on the product. An increase in production costs of at least 40 % must however be expected on account of a doubling of the electrical energy required, primarily for the generation of O₂ and processing of the captured CO₂.

Reduction of false air

VDZ studied various aspects of the technology in the previous phase of the ECRA project. In particular, processing of the CO₂ at the end of the process is associated with high power consumption as a function of the CO₂ content of the exhaust gas. False air, which is inevitably drawn into the lowpressure-operated system in the clinker burning process, has a considerable influence on the composition of the exhaust gas. A theoretical study postulated that false air infiltration can be significantly reduced if the seals, e.g. at service flaps, are kept in a better state of repair. The research institute performed measurements on an existing kiln to verify

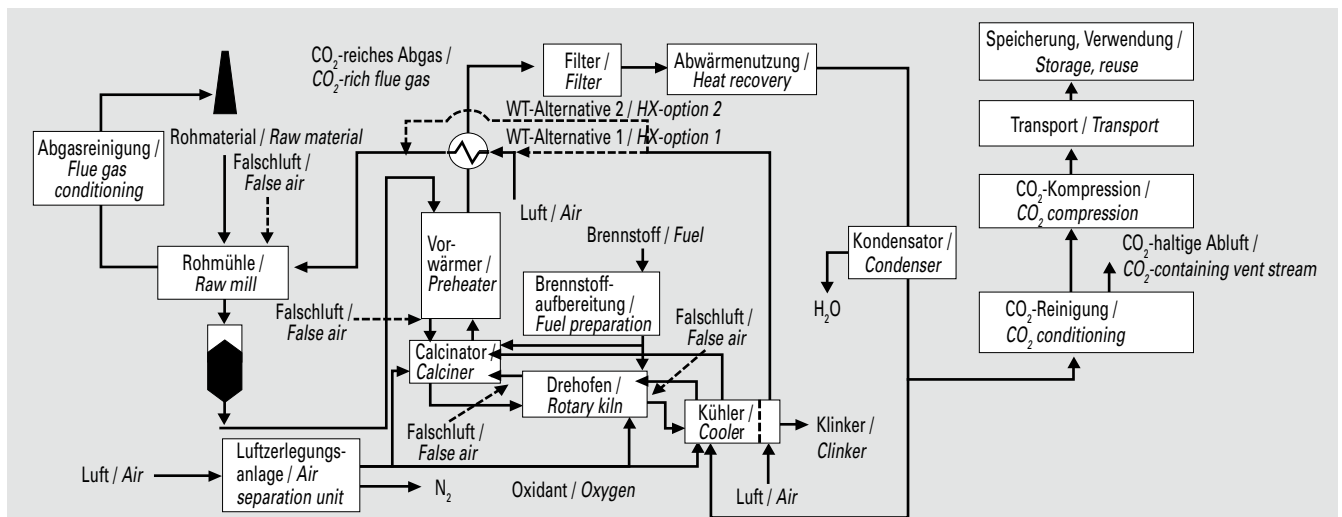


Bild 2.2.1-1 Fließbild der Oxyfuel-Technologie im Zementklinkerbrennprozess
Fig. 2.2.1-1 Layout of an oxyfuel cement plant

serter Instandhaltung von Dichtungen z.B. an Wartungskappen der Falschlufteinbruch signifikant verringert werden kann. Das Forschungsinstitut führte eine Messung an einem bestehenden Ofen durch, um dieses zu überprüfen. Es stellte sich heraus, dass das Niveau von ursprünglichen 15 % Falschlufteinbruch (bezogen auf den Rohgasvolumenstrom) auf 8 % nach Instandsetzung verringert werden konnte. Obwohl dieses ausreichend für den Oxyfuel-Betrieb ist, wäre eine weitere Reduzierung von Vorteil. Für den konventionellen Betrieb würden die Maßnahmen für die beschriebene Falschluftrreduzierung mit einer jährlichen Kostensenkung von ca. 75 000 € durch Einsparungen beim thermischen sowie elektrischen Energiebedarf einhergehen.

Simulationsstudie

Auf Basis des in vorherigen Projektphasen entwickelten Prozessmodells wurden zudem weitere Parameterstudien durchgeführt:

- Für unterschiedliche Anlagenstrukturen und Produktionskapazitäten konnte der Betrieb optimiert werden.
- Der Einsatz alternativer Brennstoffe führte zu einem geringfügig erhöhten thermischen Energiebedarf von < 1 %. Der flexible Einsatz von Verbrennungssauerstoff ohne Luftstickstofffracht verringert die absolute Abgasvolumenmenge und begünstigt den Ausbrand der Brennstoffpartikel.
- Die Implementierung eines Gasbypasses in das Oxyfuelkonzept bedarf einer gesonderten Rückführung des behandelten Bypassgases in den Klinkerbrennprozess, um die Emission des CO₂-haltigen Bypassgases in die Umgebung zu vermeiden. Die Studie ergab, dass verschiedenste Methoden geeignet sind, um eine zufriedenstellende Bypassleistung zu erzielen.
- Der Brennprozess unterliegt regelmäßig Prozessschwankungen, die möglicherweise durch den Oxyfuel-Betrieb noch verstärkt werden können. Simulationen zeigten, dass Schwankungen des Falschlufteinbruchs, z. B. hervorgerufen durch Abreinigungsarbeiten, die Abgaszusammensetzung am stärksten beeinflussen und somit den größten Einfluss auf die Effizienz des Verfahrens bezüglich der CO₂-Aufbereitung haben. Insbesondere diese Aufbereitung ist signifikant mitverantwortlich für die Erhöhung des elektrischen Energiebedarfs und sollte somit so effizient wie möglich gestaltet werden.
- Mittels Simulation wurden Verfahren zum An-/Abfahren entwickelt, die das schrittweise Umschalten von Luft- auf den Oxyfuel-Betrieb ermöglichen.

2.2.2 „Carbonate Looping“ ■

IGF-Vorhaben: 361 ZN / 1

Projektpartner: Institut für Energiesysteme und Energietechnik, TU Darmstadt

Projektzeitraum: 06/2010–05/2013

Das Carbonate-Looping-Verfahren (auch Calcium-Looping genannt) ist ein effizienter Prozess zur CO₂-Abscheidung aus Abgasen fossiler Verbrennungsprozesse. Dabei findet eine Absorption von CO₂ an Calciumoxid statt, das aus Kalkstein gebildet wird. Das bei dem Absorptionsprozess gebildete Calciumcarbonat wird unter Zufuhr von Wärme in einem Calcinator wieder regeneriert, wobei CO₂ freigesetzt wird. Bei diesem Kreisprozess wird das Sorbens mehr und mehr deaktiviert, so dass stetig ein Make-Up-Strom an Kalkstein zugeführt werden und ein entsprechender Feststoffstrom abgezogen werden muss. Nach der Anwendung des Carbonate-Looping-Prozesses z. B. in einem Kraftwerk könnte das ausgeschleuste, teilweise entsäuerte Sorbens als alternatives Rohmaterial in einem Zementwerk eingesetzt werden und dabei

this. Following repair work, false air infiltration (referenced to the raw gas volumetric flow) was found to have dropped from its original level of 15 % to 8 %. Although this is adequate for oxyfuel operation, a further reduction would be beneficial. In conventional operation, the thermal and electrical energy saved by the measures described for reducing the amount of false air would lower the annual costs by approx. € 75 000.

Simulation study

Further parameter studies were also performed on the basis of the process model developed in previous project phases:

- Operation was optimised for different plant structures and production capacities.
- The use of alternative fuels resulted in a slight increase (<1 %) in the amount of thermal energy required. The flexible use of combustion oxygen without atmospheric nitrogen load reduces the absolute exhaust gas volume and promotes the burn-out of the fuel particles.
- Implementation of a gas bypass in the oxyfuel concept requires separate return of the treated bypass gas to the clinker burning process to prevent the emission of the CO₂-containing bypass gas to the atmosphere. The study revealed that a variety of different methods can be employed to achieve satisfactory bypass results.
- The burning process is regularly subject to process fluctuations which may be intensified by oxyfuel operation. Simulation has shown that fluctuations in false air infiltration, caused for example by cleaning work, have the greatest influence on the exhaust gas composition and thus also on the efficiency of the process with regard to CO₂ processing. This processing in particular makes a significant contribution to the increase in the amount of electrical energy required and should therefore be designed to be as efficient as possible.
- By means of simulation, start-up/shut-down processes were developed which permit gradual switching from air to oxyfuel operation.

2.2.2 "Carbonate Looping" ■

IGF project: 361 ZN / 1

Project partner: Institute of Energy Systems and Technology, Darmstadt University

Project period: 06/2010–05/2013

Carbonate looping (also known as calcium looping) is an efficient method of capturing CO₂ from the exhaust gases of fossil combustion processes. It involves the absorption of CO₂ by calcium oxide obtained from limestone. The calcium carbonate formed in the absorption process is regenerated again when heated in a calciner and CO₂ is released. In this cyclic process the sorbent becomes increasingly deactivated, so that a constant make-up flow of limestone has to be supplied and a corresponding solid flow has to be removed. Following application of the carbonate looping process in a power plant for example, the partially calcined sorbent removed could be used as an alternative raw material in a cement works and so as a substitute for natural raw materials. Once it has been processed, the CO₂ captured can be transported to a storage location or put to some other use, e.g. methane or methanol synthesis.

Such potential utilisation of the deactivated sorbent in the cement industry was investigated in a joint research project with Darmstadt University. This first involved performing trials on a

natürliche Rohstoffe ersetzen. Das abgetrennte CO_2 kann nach einer Aufbereitung zu einer Speicherstätte transportiert werden oder einer Verwertung zugeführt werden, z. B. einer Methan- oder Methanol-Synthese.

Diese mögliche Verwertung des deaktivierten Sorbens in der Zementindustrie wurde in einem gemeinsamen Forschungsprojekt mit der TU Darmstadt untersucht. Dazu wurden zunächst Versuche an einer 1-MW_{th}-Anlage in Darmstadt durchgeführt, die aus zwei gekoppelten zirkulierenden Wirbelschichtreaktoren (Calcinator/Carbonator) besteht. Dabei wurden verschiedene Betriebsparameter (Temperaturen, umlaufende Feststoff-Massenströme etc.) variiert und der Einfluss auf die Verwertungseigenschaften des Sorbens untersucht. Darüber hinaus wurde an der TU Darmstadt für die Modellierung der CO_2 -Abscheidung ein Prozessmodell entwickelt, mit dem Simulationen der Versuchskampagnen durchgeführt werden konnten. Die damit berechneten CO_2 -Abscheideraten zeigten eine gute Übereinstimmung mit den tatsächlich gefundenen Messergebnissen.

Während der durchgeführten Versuchskampagnen wurden Feststoffproben an verschiedenen Stellen der Versuchsanlage entnommen und anschließend für die Untersuchungen des Forschungsinstituts der Zementindustrie bereitgestellt. Dabei wurde zunächst eine umfangreiche Charakterisierung der Proben durchgeführt und die Zusammensetzung sowie die Gehalte an Spurenkomponten ermittelt. Es zeigte sich, dass die stofflichen Voraussetzungen für eine Verwertung im Klinkerbrennprozess gegeben waren. Danach wurden aus den Sorbensproben und den erforderlichen Korrekturstoffen Rohmaterialmischungen zusammengestellt und Klinkerbrände in einem Laborofen durchgeführt. Bei chemisch-mineralogischen Untersuchungen zeigte sich, dass die relevanten Klinkerphasen entstanden waren und ein Gefüge gebildet wurde, das einem technisch hergestellten Zementklinker gleichkommt.

Weiterhin wurde mit dem sogenannten „VDZ-Prozessmodell“ untersucht, welche Auswirkungen der Einsatz dieses alternativen Rohstoffes auf den Klinkerbrennprozess hätte. Neben einer signifikanten Minderung der CO_2 -Emissionen und des Energiebedarfs würden aber auch Verschiebungen der Temperaturprofile im Drehrohrofen auftreten. Um nachteilige Auswirkungen auf den Prozess zu begrenzen, sollte der Anteil dieses sekundären Rohstoffes an der Rohmaterialmischung auf maximal 30 % begrenzt werden.

2.2.3 Untersuchung und Optimierung katalytischer Verfahren zur Minderung von Kohlenmonoxid und organischen Komponenten im Abgas von Drehofenanlagen der Zementindustrie ■

IGF-Vorhaben 17364 N gefördert durch die AiF
 Projektpartner: Institut für Chemische und Elektrochemische Verfahrenstechnik, TU Clausthal
 Projektzeitraum: 02/2011–07/2014

Hintergrund und Vorhaben

In den beiden in der deutschen Zementindustrie betriebenen SCR-Anlagen werden Katalysatoren mit Vanadiumpentoxid (V_2O_5) als aktiver Komponente zur Minderung von NO_x -Emissionen eingesetzt. Es ist bekannt, dass sie auch eine gewisse Minderungswirkung auf organische Verbindungen im Abgas haben. Im

1 MW_{th} plant in Darmstadt consisting of two linked circulating fluidised bed reactors (calcinor/carbonator). The influence of varying operating parameters such as temperatures, circulating solid mass flows, etc. on the utilisation properties of the sorbent was studied. A process model was also developed at Darmstadt University for the modelling of CO_2 capture to permit simulation of the trial campaigns. The CO_2 capture rates calculated in this way coincided well with the measurement results actually obtained.

Solid specimens were taken from various locations in the trial plant during the course of the trial campaigns and then submitted to the research institute of the cement industry for analysis. Extensive characterisation of the specimens was first performed and both the composition and the trace component content were determined. The material prerequisites for utilisation in the clinker burning process were found to be satisfied. Raw material mixtures were then produced from the sorbent specimens and the necessary corrective materials and clinker burning was performed in a laboratory kiln. Chemical and mineralogical analyses revealed that the relevant clinker phases had developed and a microstructure comparable to an industrially produced cement clinker had formed.

The so-called “VDZ process model” was also used to investigate what effects the use of this alternative raw material would have on the clinker burning process. In addition to a significant reduction in CO_2 emissions and power consumption, there would however also be shifts in the temperature profiles in the rotary kiln. To restrict detrimental effects on the process, the proportion of this secondary raw material in the raw material mixture should be limited to a maximum of 30 %.

2.2.3 Investigation and optimisation of catalytic methods of reducing carbon monoxide and organic components in the exhaust gas of rotary kiln plants in the cement industry ■

IGF project 17364 N funded by the AiF
 Project partner: Institute of Chemical and Electrochemical Process Engineering, Clausthal University
 Project period: 02/2011–07/2014

Background and aim

Both the SCR systems operated by the German cement industry employ catalysts with vanadium pentoxide (V_2O_5) as active component to reduce NO_x emissions. These are also known to have a certain reducing effect on organic compounds in the exhaust gas. As part of the IGF research project 17364 N funded by the AiF, studies were performed in conjunction with the research institute of the cement industry (FIZ) and the Institute of Chemical and Electrochemical Process Engineering at Clausthal University (ICVT) on the catalytic reduction of CO and organic components in the rotary kiln exhaust gas of cement plants. In addition to two standard SCR catalysts, two commercially available noble metal-based oxidation catalysts were also investigated. Both on a laboratory scale and in a trial plant attached to an industrial kiln plant, systematic tests were performed to establish which exhaust gas conditions and compositions have an influence on the oxidation action of the catalysts. In the laboratory set-up, the influences of various exhaust gas components on oxidation activity were observed in the temperature range between 250 and 400 °C. In

Rahmen des von der AiF geförderten IGF-Forschungsvorhabens 17364 N wurden in Zusammenarbeit des Forschungsinstituts der Zementindustrie (FIZ) und des Instituts für Chemische und Elektrochemische Verfahrenstechnik der TU Clausthal (ICVT) Untersuchungen zur katalytischen Minderung von CO und organischen Komponenten im Drehofenabgas von Zementanlagen durchgeführt. Dabei wurden neben zwei SCR-Standardkatalysatoren auch zwei am Markt verfügbare edelmetallbasierte Oxidationskatalysatoren untersucht. Sowohl im Labormaßstab als auch in einer an eine industrielle Ofenanlage angebauten Versuchsanlage wurde systematisch untersucht, welche Abgasrandbedingungen und -zusammensetzungen Einfluss auf die Oxidationswirkung der Katalysatoren haben. In der Laboranlage wurden die Einflüsse verschiedener Abgaskomponenten auf die Oxidationsaktivität im Temperaturbereich von 250 bis 400 °C betrachtet. In sechs Betriebsversuchen wurden die Katalysatoren bei einer üblichen Tail-End-SCR-Betriebstemperatur von 260 °C im industriellen Abgas eingesetzt.

Labor- und Betriebsversuche

Die Untersuchungen an den SCR-Katalysatoren bezüglich der Oxidationswirkung auf CO und organische Abgasbestandteile haben bestätigt, dass eine Minderung langkettiger Kohlenwasserstoffverbindungen mit typischerweise in SCR-Anlagen eingesetzten Katalysatoren möglich ist, dass jedoch eine unvollständige Oxidation zu einer entsprechenden Erhöhung der CO-Konzentration führen kann. Die Minderung der CO- und CH₄-Konzentration ist nicht möglich.

An beiden Oxidationskatalysatoren wurden zu Beginn der Betriebsversuche deutliche Umsätze von CO und NH₃ gemessen, die allerdings binnen weniger Stunden erheblich abfielen (Bild 2.2.3-1). Dieser Effekt wurde bei Betrachtung der Aktivität frischer Katalysatorelemente in der Laboranlage im untersuchten Temperaturbereich nicht beobachtet. Bereits eingesetzte

six plant trials, the catalysts were used at a normal tail-end SCR operating temperature of 260 °C in the industrial exhaust gas.

Laboratory and plant trials

With regard to the oxidation effect on CO and organic exhaust gas compounds, the SCR catalytic converter trials confirmed that it is possible to reduce long-chain hydrocarbon compounds with the catalysts typically employed in SCR systems, but that incomplete oxidation can result in an increase in the CO concentration accordingly. It is not possible to reduce the CO and CH₄ concentration.

At the start of the plant trials, substantial CO and NH₃ conversion rates were measured for both oxidation catalysts, however these decreased considerably within a few hours (Fig. 2.2.3-1). This effect was not observed when studying the activity of fresh catalyst elements in the laboratory set-up in the temperature range under consideration. It was possible to regenerate used catalyst elements in the laboratory by increasing the operating temperature (Fig. 2.2.3-2), a result also confirmed by further use in the cement works. The activity of both oxidation catalysts did however decline drastically again within a few hours.

One possible explanation for the loss of activity in the oxidation catalysts could be the formation of metal oxide sulphates through the oxidation of SO₂ at the catalysts to form SO₃. Chemical analyses of the catalyst elements employed revealed an increase in sulphate concentration after being used in industrial exhaust gas. It is also possible that, on account of the H₂O present in the exhaust gas or formed by the oxidation reactions, the SO₃ occurring, together with adsorbed NH₃, forms ammonium sulphates in the pore structure of the catalysts by way of capillary condensation, thus blocking access to the active centres for CO oxidation.

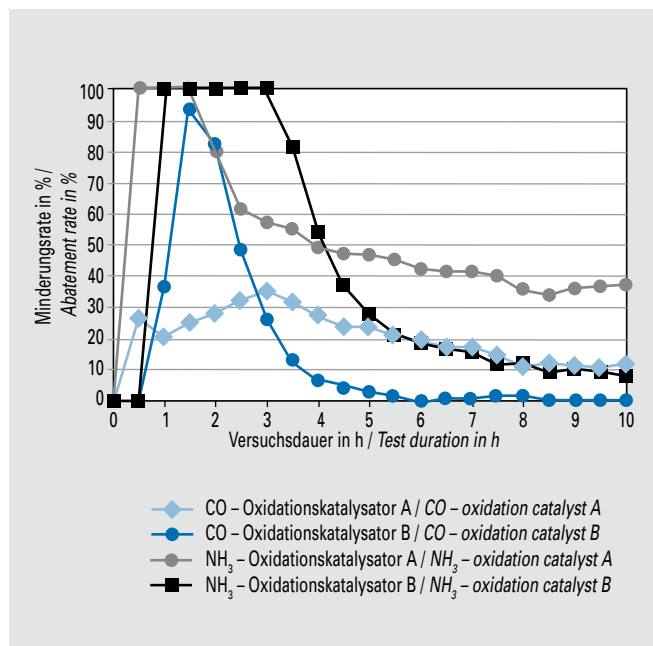


Bild 2.2.3-1 CO- und NH₃-Minderungsraten der Oxidationskatalysatoren A und B im Betriebsversuch (T = 260 °C)

Fig. 2.2.3-1 CO and NH₃ reduction rates in plant trials of oxidation catalysts A and B (T = 260 °C)

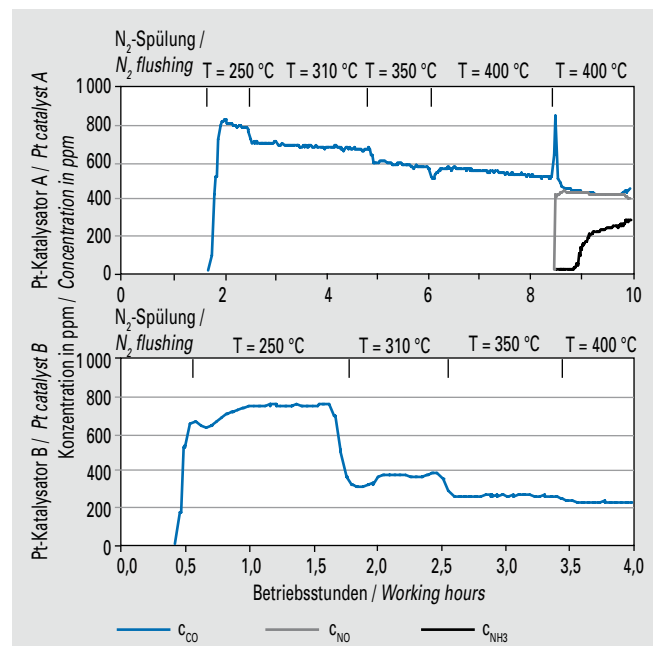


Bild 2.2.3-2 CO-Konzentrationen am Laborreaktorausgang bei unterschiedlichen Temperaturen für in industriellem Abgas deaktivierte Oxidationskatalysatoren, CO-Eingangskonzentration: 810 ppm, 10 Vol.-% O₂

Fig. 2.2.3-2 CO outlet concentrations at varying temperatures in lab trials after oxidation catalysts were deactivated in exhaust gas; CO inlet concentration: 810 ppm, 10 vol. % O₂

Katalysatorelemente konnten im Labor durch eine Erhöhung der Betriebstemperatur regeneriert werden (**Bild 2.2.3-2**), was auch bei einem weiteren Einsatz im Zementwerk bestätigt wurde. Allerdings fiel die Aktivität beider Oxidationskatalysatoren erneut binnen weniger Stunden drastisch ab.

Eine mögliche Ursache der Deaktivierung der Oxidationskatalysatoren könnte die Bildung von Metalloxidsulfaten durch das am Katalysator zu SO_3 oxidierte SO_2 sein. Chemische Untersuchungen der eingesetzten Katalysatorelemente zeigten eine Erhöhung der Sulfatkonzentration nach dem Einsatz im industriellen Abgas. Zudem besteht die Möglichkeit, dass das entstehende SO_3 mit adsorbiertem NH_3 durch das im Abgas vorhandene oder durch die Oxidationsreaktionen gebildete H_2O auf Grund von Kapillarkondensation Ammoniumsulfate im Porengefüge des Katalysators bildet und somit der Zugang zu den aktiven Zentren für die CO-Oxidation blockiert wird.

Ausblick

Hinsichtlich des Einsatzes von Oxidationskatalysatoren konnten wichtige Erkenntnisse bezüglich ihrer Wirkungsweise unter den spezifischen Abgasrandbedingungen einer Zementdrehofenanlage gewonnen werden. So zeigt sich, dass bei einer Temperatur oberhalb von $310\text{ }^\circ\text{C}$ eine Regeneration bereits deaktivierter Katalysatorelemente möglich ist. Es bleibt jedoch offen, ob durch eine Temperaturerhöhung alleine eine dauerhafte Oxidationswirkung erreicht werden kann. Da auch hier NH_3 , Staub und weitere Abgaskomponenten die Katalysatoraktivität beeinflussen können, sind weitere Untersuchungen erforderlich.

2.2.4 Senkung der Quecksilberfrachten in Zementdrehofenanlagen durch den Einsatz von Sorbentien – Emissionsminderung bei gleichzeitiger Beibehaltung der Produktqualität ■

IGF-Vorhaben 18023 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 01/2014–06/2016

Hintergrund

Vor dem Hintergrund internationaler Diskussionen über die Bedeutung von Quecksilber (Hg) und den damit verbundenen Risiken für Mensch und Natur ist die deutsche Zementindustrie bestrebt, ihre Quecksilberfrachten im Zementherstellungsprozess zukünftig zu begrenzen. Für eine nachhaltige Zementproduktion ist es dafür unumgänglich, dass mit einem ökologisch und ökonomisch vertretbaren Verfahren eine Minderung der Quecksilberemissionen unter Ausschluss von Auswirkungen auf Produkt und Prozess erreicht wird.

Eine Technologie zur Minderung der Hg-Frachten könnte die Eindüsung von Sorptionsmitteln in den Abgasweg bei anschließender reststofffreier und umweltverträglicher Nutzung des angefallenen Staubes im Produkt sein. Voraussetzung dafür ist, dass die hohen Qualitätsanforderungen an den Zement weiterhin erfüllt werden und eine Beeinflussung des Endprodukts ausgeschlossen werden kann. Während sich das Verfahren in anderen Industrien wie z. B. der Kraftwerksindustrie als wirksam erwiesen hat, liegen in der Zementindustrie bisher nur begrenzte Erfahrungen vor. Einzelne Versuche mit Sorbentien haben zwar vielversprechende Ansätze gezeigt, insbesondere zur Begrenzung der Emissionen im Direktbetrieb. Allgemeingültige Aussagen zur Wirkungsweise unter den

Outlook

Important findings were obtained with regard to the efficacy of oxidation catalysts converters used under the specific exhaust gas conditions of a rotary cement kiln. For example, it became apparent that the regeneration of already deactivated catalyst elements is possible at temperatures above $310\text{ }^\circ\text{C}$. Whether or not an increase in temperature alone is sufficient to achieve a longterm oxidation however remains to be clarified. Further investigations are required, as here again NH_3 , dust and other exhaust gas components may have an influence on catalysts activity.

2.2.4 Reduction of mercury loads in rotary cement kilns through the use of sorbents – abatement of emissions whilst maintaining product quality ■

IGF project 18023 N funded by the AiF
Project period: 01/2014–06/2016

Background

In the light of international discussions about the significance of mercury (Hg) and the associated risks for humans and nature, the German cement industry is making efforts to restrict mercury loads in the cement production process. An essential prerequisite for sustainable cement production is an ecologically and economically acceptable method of reducing mercury emissions without any affect on products and processes.

One technology for reducing Hg loads could be the injection of sorbents into the exhaust gas pipe with subsequent residue-free and environmentally compatible utilisation of the shuttled dust in the product. This is subject to the proviso that the cement continues to satisfy the high quality requirements and that there is no influence on the end product. Whilst the technique has proven to be effective in other industries, e.g. the power plant industry, only limited experience has been gained so far in the cement industry. Individual tests with sorbents reveal promising approaches, in particular with regard to the limitation of emissions in mill-off operation, however generally applicable statements regarding their effectiveness under the specific exhaust gas conditions of rotary cement kilns and optimum operating conditions cannot be derived from these.

Approach

One of the aims of the research project is to examine the extent to which the various types of mercury compounds, the alkaline atmosphere or the high dust load in the rotary kiln exhaust gas influence the effectiveness of the additives. The injection location in the exhaust path and the quantity required to achieve an optimum abatement rate with minimum use of sorbent are also still unknown. The effects which dusts doped with sorbents could have on product quality if used in cement grinding as practiced likewise remain to be clarified. For this reason, consideration is to be given to the possible effects of residue-free, environmentally compatible utilisation of the precipitated dust occurring in the product. This is intended to assess the extent and the conditions under which sorbent-supported dust shuttling could be an ecologically and economically viable option for reducing mercury loads in the cement industry.

spezifischen Abgasbedingungen von Zementdrehofenanlagen und den optimalen Betriebsbedingungen können daraus jedoch nicht abgeleitet werden.

Vorgehensweise

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wird untersucht, inwiefern die unterschiedlichen Quecksilberbindungsformen, die basische Atmosphäre oder die hohe Staubbelastung im Drehofenabgas die Effektivität der Additive beeinflussen. Ebenso ist bisher nicht bekannt, in welcher Quantität und in welchem Bereich des Abgaswegs derartige Sorbentien in den Abgasweg eingedüst werden müssen, um eine optimale Minderungsrate bei minimalem Sorbenseinsatz zu ermöglichen. Letztendlich ist bisher nicht geklärt, welche Auswirkungen die mit Sorbentien dotierten Stäube auf die Produktqualität haben können, wenn diese wie bisher bei der Mahlung des Zements eingesetzt werden. Deshalb sollen mögliche Auswirkungen einer reststofffreien und umweltverträglichen Nutzung des angefallenen Staubes im Produkt betrachtet werden. Dies soll eine Bewertung ermöglichen, inwieweit bzw. unter welchen Randbedingungen eine sorbensunterstützte Staubausschleusung eine ökologisch sinnvolle und wirtschaftlich vertretbare Möglichkeit zur Minderung der Quecksilberfrachten in der Zementindustrie darstellen könnte.

2.2.5 Trockene CO₂-Abtrennung ■

IGF-Vorhaben: 17796 N
 Projektpartner: VDZ gGmbH, TU Dortmund, IUTA e.V.
 Projektzeitraum: 12/2013–11/2015

Die Abtrennung von CO₂ aus dem Abgas eines industriellen Prozesses ist u. a. mit sogenannten Post-Combustion-Verfahren möglich, die am Ende des Abgaswegs installiert werden und dadurch keine Auswirkungen auf den eigentlichen Produktionsprozess haben. Dabei können verschiedene physikalische oder chemische Maßnahmen angewendet werden. Im Vergleich zu Absorptionsverfahren, wie z. B. der Aminwäsche, befinden sich die CO₂-Adsorptionsverfahren in einem deutlich früheren Stadium der technischen Entwicklung. In den letzten Jahren konnten aber deutliche Verbesserungen hinsichtlich der Selektivität und Kapazität der Sorbentien und der erforderlichen Desorptionstemperaturen erreicht werden, so dass die Adsorptionsverfahren nunmehr für einen breiteren Anwendungsbereich grundsätzlich zur Verfügung stehen. Als Sorbentien zur Bindung des CO₂ kommen z. B. Silicagele, Zeolithe oder Molekularsiebe in Frage, die zur Verbesserung der Abtrenneigenschaften auch mit immobilisierten Aminen versehen sein können. Eine Freisetzung bzw. Desorption des CO₂ von dem beladenen Sorbens kann durch eine Temperaturerhöhung oder Druckerniedrigung erreicht werden.

Abgesehen von aktuellen Versuchen im Rahmen des CCS-Projektes im norwegischen Zementwerk Brevik gibt es bisher keine Erfahrungen über den Einsatz von Adsorptionsverfahren in der Zementindustrie. Daher werden in einem gemeinsamen Forschungsprojekt des VDZ mit dem Institut für Energie- und Umwelttechnik (Duisburg) und dem Lehrstuhl für Technische Chemie der TU Dortmund Untersuchungen zur CO₂-Adsorption aus synthetischen Gasgemischen im Labor und Technikum sowie auch in einem Zementwerk mit einem Teilgasstrom des Reingases der Ofenanlage durchgeführt. Ergänzend dazu wird der Adsorptionsprozess mit den auftretenden Stoff- und Wärmetransportphänomenen modellhaft simuliert und auch die Anbindung einer Adsorptionseinheit an eine Drehofenanlage in einem Modell für den Gesamtprozess untersucht.

2.2.5 Dry sorbent CO₂ capture ■

IGF project: 17796 N
 Project partners: VDZ gGmbH, TU Dortmund, IUTA e.V.
 Project period: 12/2013–11/2015

One method of capturing CO₂ from the exhaust gas of an industrial process is to install so-called post-combustion techniques at the end of the exhaust gas pipe where they have no influence on the actual production process. Various physical or chemical procedures can be applied for this purpose. CO₂ adsorption processes are at a far earlier stage of technical development than absorption methods such as amine scrubbing for example. Significant improvements have however been achieved in recent years with regard to the selectivity and capacity of the sorbents and the necessary desorption temperatures, so that adsorption techniques are now basically available for a wider range of applications. Use can be made for example of silica gels, zeolites or molecular sieves as sorbents for binding the CO₂. These can also be provided with immobilised amines to improve the capture properties. Release or desorption of the CO₂ from the loaded sorbent can be achieved by an increase in temperature or a reduction in pressure.

Apart from the trials currently being conducted as part of the CCS project at the Brevik cement works in Norway, no experience has as yet been gained with the use of adsorption techniques in the cement industry. This is why studies are being performed on CO₂ adsorption from synthetic gas mixtures in the laboratory and pilot plant stations, as well as at a cement works, with a partial flow of clean gas, in a joint project of VDZ with the Institute of Energy and Environmental Technology (Duisburg) and the Department of Technical Chemistry at Dortmund University. As a supplement to this, the adsorption process and the material and heat transport phenomena occurring are being simulated in a model as well as the connection of an adsorption unit to a rotary kiln plant is being investigated in a model for the process as a whole.

2.3 Leistungsfähigkeit von Zement / Performance of cement

2.3.1 Chemisch-mineralogische Zusammensetzung ■

Der in den letzten Jahren beobachtete Trend einer allmählichen Verlagerung der produzierten Sorten weg vom Portlandzement hin zu Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen hält unvermindert an. Insbesondere Hochofenzemente und Portlandflugaschazemente haben geringfügig Marktanteile hinzugewonnen. Die durchschnittliche chemische Zusammensetzung der einzelnen Zementarten hat sich in den letzten Jahren nicht signifikant verändert. Darum wird an dieser Stelle auf die tabellierte Daten in den vorherigen Tätigkeitsberichten verwiesen.

Stattdessen soll hier die Bandbreite der mineralogischen Zusammensetzung der in Deutschland produzierten Zemente, insbesondere der CEM I, beleuchtet werden. Die Daten stammen aus einer umfangreichen Untersuchungskampagne im Rahmen eines Forschungsvorhabens. Die dort eingesetzte Röntgenbeugungsanalyse mit quantitativer Rietveld-Auswertung (QRBA) liefert zwar in der Regel keine Phasenzusammensetzungen in vergleichbarer Präzision zu chemischen Analysedaten, lässt aber bei immer gleichartiger Präparation und Auswertung einen sehr guten Vergleich verschiedener Zementproben zu. Gehalte einzelner Phasen können durch Ergebnisse anderer Prüfverfahren verifiziert werden (nasschemische Freikalk- oder CO₂-Bestimmung, thermische Analyse der Sulfatträgerzusammensetzung).

Mineralogie und Feinheit von Portlandzementen

Tabelle 2.3.1-1 zeigt die Bandbreite der mineralogischen Zusammensetzung von CEM I und **Bild 2.3.1-1** die Häufigkeitsverteilung von Alit in dieser Zementart, getrennt nach Festigkeitsklassen (ohne CEM I-SR). Bis zu einer Festigkeitsklasse von 42,5 R zeigen sich keine systematischen Veränderungen der Klinkerzusammensetzung. Erst bei der Festigkeitsklasse 52,5 N und noch deutlicher bei 52,5 R deutet sich die vermehrte Verwendung von Klinkern mit erhöhten Alitgehalten an. Maßgebliche Steuergröße für die Einstellung der Zementfestigkeit bleibt aber die Mahlfeinheit, wie

2.3.1 Chemical and mineralogical composition

The gradual shift observed in recent years away from Portland cement towards the production of cements with several main constituents is still continuing. Blast furnace cements and Portland fly ash cements in particular have slightly increased their market share. There has been no significant change to the average chemical composition of the individual cement types over the past few years. Reference is therefore made to the data tables in earlier activity reports in this respect.

Here, the intention is to discuss the mineralogical composition spectrum of cements produced in Germany and in particular CEM I. The data come from an extensive examination campaign conducted as part of a research project. Although the Rietveld quantitative X-ray diffraction analysis (QXRD) method employed does not generally supply phase composition data with a precision comparable to that of chemical analyses, it does however permit very good comparison of different cement specimens given consistently uniform preparation and evaluation. The contents of individual phases can be verified by results from other testing procedures (wet chemical free lime or CO₂ determination, thermal analysis of sulphate carrier composition).

Mineralogy and fineness of Portland cements

Table 2.3.1-1 shows the mineralogical composition spectrum of CEM I and **Fig. 2.3.1-1** the frequency distribution of alite in this cement type, broken down according to strength classes (without CEM I-SR). Up to a strength class of 42,5 R no systematic variation can be seen in the clinker composition. The increased use of clinkers with higher alite content only becomes apparent in strength class 52,5 N and even more so in 52,5 R. The fineness of grinding however remains the definitive control parameter for adjusting the strength of cement, as shown by the frequency distribution of the Blaine values of these cements in **Fig. 2.3.1-2**. No CEM I 52,5 R with less than about 4 600 cm²/g were generally

Tabelle 2.3.1-1 Mineralogische Zusammensetzung deutscher Portlandzemente (ohne CEM I-SR), gemessen mit QRBA (M.-%)

Table 2.3.1-1 Mineralogical composition of German Portland cements (without CEM I-SR) by means of QRBA (mass %)

| Mineralphase / Phases | CEM I 32,5 N+R | | | CEM I 42,5 N | | | CEM I 42,5 R | | | CEM I 52,5 N | | | CEM I 52,5 R | | |
|----------------------------------|----------------|------|-------------------|--------------|------|-------------------|--------------|------|-------------------|--------------|------|-------------------|--------------|------|------|
| | (n = 22) | | | (n = 30) | | | (n = 34) | | | (n = 23) | | | (n = 36) | | |
| | Ø | Min | Max | Ø | Min | Max | Ø | Min | Max | Ø | Min | Max | Ø | Min | Max |
| Alit / Alite | 60,0 | 45,2 | 67,1 | 60,7 | 53,3 | 68,0 | 60,2 | 45,3 | 67,3 | 61,3 | 54,3 | 69,7 | 64,7 | 52,4 | 73,8 |
| Belit / Belite | 14,4 | 6,9 | 30,9 | 14,6 | 7,3 | 24,7 | 13,8 | 7,4 | 29,5 | 14,4 | 7,3 | 23,2 | 11,6 | 3,9 | 21,0 |
| C ₃ A _{cub} | 5,0 | 1,9 | 8,8 | 5,5 | 0,8 | 9,5 | 5,6 | 2,5 | 10,1 | 5,8 | 2,3 | 9,1 | 5,2 | 2,1 | 9,6 |
| C ₃ A _{orth} | 2,9 | 0,0 | 5,4 | 2,6 | 1,0 | 7,3 | 2,8 | 0,6 | 5,7 | 3,2 | 0,5 | 7,3 | 3,5 | 0,1 | 6,2 |
| SUM C ₃ A | 7,9 | 2,5 | 12,7 | 8,1 | 1,8 | 12,4 | 8,5 | 4,1 | 13,4 | 8,9 | 5,9 | 12,6 | 8,6 | 2,2 | 14,2 |
| C ₄ AF | 7,5 | 1,9 | 12,7 | 6,6 | 2,1 | 10,5 | 7,3 | 2,2 | 12,8 | 5,9 | 1,6 | 11,3 | 6,3 | 1,6 | 12,4 |
| Arcanit / Arcanite | 0,9 | 0,3 | 1,7 | 0,8 | 0,2 | 1,8 | 0,9 | 0,1 | 1,9 | 0,8 | 0,1 | 1,6 | 0,8 | 0,2 | 1,4 |
| Periklas / Periclase | 0,7 | 0,0 | 3,2 | 0,5 | 0,0 | 2,6 | 0,7 | 0,0 | 3,6 | 0,6 | 0,0 | 2,6 | 0,5 | 0,0 | 2,9 |
| Freikalk / Free lime | 0,5 | 0,1 | 1,5 | 0,5 | 0,1 | 1,9 | 0,6 | 0,1 | 2,5 | 0,4 | 0,0 | 1,6 | 0,4 | 0,0 | 2,6 |
| Anhydrit / Anhydrite | 2,2 | 0,3 | 4,5 | 2,4 | 0,4 | 3,8 | 2,4 | 0,3 | 4,0 | 2,7 | 0,2 | 4,3 | 2,5 | 0,4 | 4,5 |
| Bassanit / Bassanite | 1,5 | 0,1 | 3,7 | 1,4 | 0,0 | 2,9 | 1,5 | 0,0 | 3,7 | 1,4 | 0,0 | 4,0 | 1,8 | 0,1 | 4,7 |
| Gips / Gypsum | 0,4 | 0,1 | 3,1 | 0,4 | 0,0 | 2,1 | 0,6 | 0,1 | 2,6 | 0,4 | 0,1 | 2,2 | 0,2 | 0,0 | 1,3 |
| Quarz / Quartz | 0,4 | 0,0 | 1,3 | 0,3 | 0,0 | 1,5 | 0,4 | 0,0 | 1,4 | 0,3 | 0,0 | 1,1 | 0,3 | 0,0 | 0,8 |
| Calcit / Calcite | 3,4 | 0,6 | 5,3 ¹⁾ | 3,6 | 0,3 | 6,0 ¹⁾ | 3,0 | 0,1 | 5,9 ¹⁾ | 2,6 | 0,1 | 5,9 ¹⁾ | 1,9 | 0,0 | 4,3 |

¹⁾ Werte < 5 M.-% gemäß Referenzprüfung / Values < 5 mass % acc. reference analysis

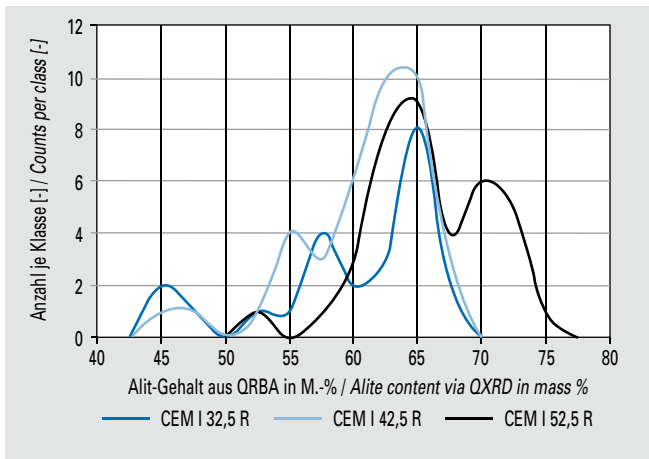


Bild 2.3.1-1 Häufigkeitsverteilung von Alit in CEM I verschiedener Festigkeitsklassen (Klassenbreite 2,5 M.-%)

Fig. 2.3.1-1 Frequency distribution of alite in CEM I of different strength classes (class width 2.5 mass %)

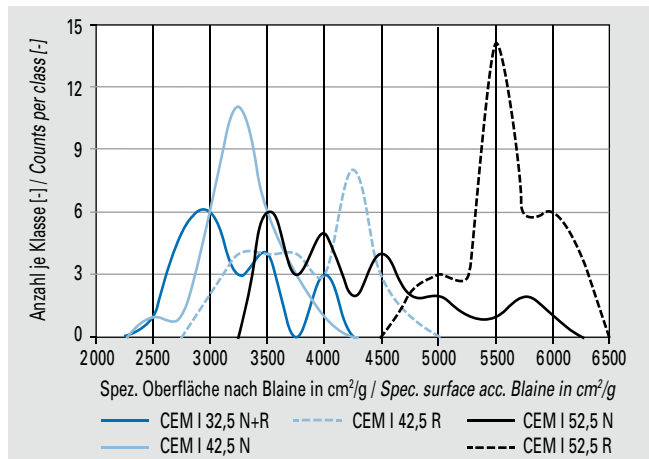


Bild 2.3.1-2 Häufigkeitsverteilung der Feinheit (nach Blaine) von CEM I verschiedener Festigkeitsklassen (Klassenbreite 250 cm²/g)

Fig. 2.3.1-2 Frequency distribution of fineness acc. Blaine of CEM I of different strength classes (class width 250 cm²/g)

aus der Häufigkeitsverteilung der Blaine-Werte dieser Zemente in **Bild 2.3.1-2** hervorgeht. So wurden in der Regel keine CEM I 52,5 R mit weniger als rd. 4600 cm²/g produziert. Die Feinheiten der CEM I 42,5 N betragen maximal rd. 4000 cm²/g.

Weiterhin sind mit steigenden Festigkeitsklassen im Mittel eine tendenzielle Erhöhung des besonders reaktiven orthorhombischen C₃A und parallel dazu eine Erhöhung des leichtlöslichen Sulfat-trägers Bassanit zu erkennen. Die Gehalte an Nebenbestandteilen sind in den Zementen der hohen Festigkeitsklassen reduziert. Die gelegentliche Überschreitung der zulässigen Nebenbestandteile durch röntgenografisch ermittelte Calcitgehalte hielt einer chemischen Überprüfung in der Regel nicht Stand. Hier wäre eine werkspezifische Anpassung der Röntgenauswertung notwendig, worauf in der Untersuchungskampagne aber verzichtet wurde.

Vergleich Röntgenbeugung – Bogue

Die Klinkerphasenzusammensetzung wird klassischerweise nach den Ansätzen von Bogue aus ihrer chemischen Analyse abgeleitet. Dabei bleiben Aspekte wie Mischkristallbildung, Fremdioneneinbau und im großtechnischen Prozess unvermeidliche Inhomogenitäten und thermodynamische Ungleichgewichte unberücksichtigt. Deshalb treten zwischen den rechnerisch ermittelten und den gemessenen Phasengehalten, vor allem bei den Calciumsilicaten Alit und Belit, teilweise deutliche Unterschiede auf (**Bild 2.3.1-3**). Die Gehalte an Aluminat und vor allem an Aluminatferrit zeigen hingegen eine bessere Übereinstimmung. Im Allgemeinen korrelieren die mittels Röntgenbeugung ermittelten Phasengehalte besser mit den Zementeigenschaften als die nach Bogue berechneten Werte.

Quantifizierung von Hüttensandgehalten

Die röntgenografische Quantifizierung des Hüttensandgehaltes in Zementen muss in der Regel werks- und zum Teil auch sortenspezifisch an den Prüfergebnissen aus dem Referenzverfahren nach DIN EN 196-4 justiert werden. **Bild 2.3.1-4** zeigt die relative Häufigkeitsverteilung der Hüttensandgehalte in den Zementarten CEM II/B-M (S-LL), CEM II/B-S sowie in den Hochofenzementen CEM III/A und CEM III/B. Erwartungsgemäß zeigt sich, dass

- die Hüttensandgehalte in den CEM II/B-M meist unter 20 M.-% liegen, um noch entsprechende Mengen an Kalksteinmehl verwenden zu können,
- im CEM II/B-S die Hüttensandgehalte meist um 30 M.-% liegen, ohne dass die normative Obergrenze erreicht wird,

produced, for example. The maximum fineness of CEM I 42,5 N was about 4000 cm²/g.

On average, increasing strength classes also tend to be accompanied by an increase in particularly reactive orthorhombic C₃A and, in parallel with this, an increase in the faster soluble sulphate carrier bassanite. Cements in the high strength classes have a lower minor additional constituent content. The occasional exceeding of the normative minor additional constituent limits by QXRD-determined calcite contents was generally not confirmed by chemical examination. Plant-specific adaptation of the X-ray analysis would have been required here but was not conducted in the examination campaign.

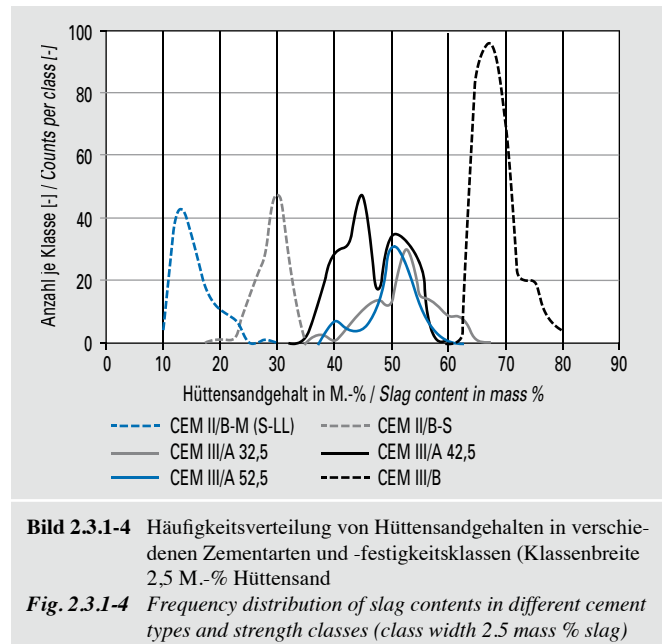
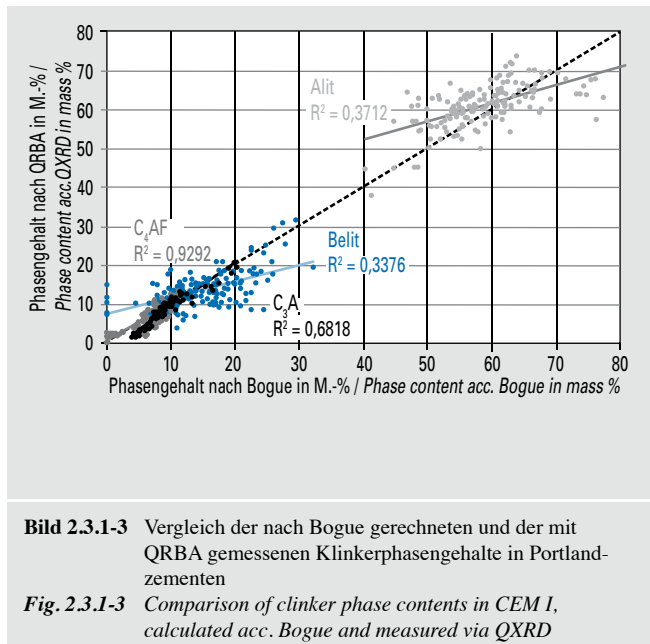
Comparison of X-ray diffraction and Bogue method

The phase composition of clinker is traditionally derived by means of chemical analysis employing the Bogue calculations. This method does not take into account aspects such as solid solution formation and the incorporation of foreign ions or the unavoidable inhomogeneity and thermodynamic disequilibrium associated with industrial scale processes. This explains the distinct differences sometimes found between the arithmetically calculated phase content and the measured phase content, particularly in the case of the calcium silicates alite and belite (**Fig. 2.3.1-3**). A higher level of correspondence is however evident for the aluminate content and above all the aluminate ferrite content. Generally speaking, the phase contents determined by way of X-ray diffraction exhibit better correlation with the cement properties than the values calculated using the Bogue method.

Quantification of slag content

Quantification of the slag content in cements via QXRD generally requires plant-specific and sometimes also type-specific adjustments on the basis of the test results from the reference method as per EN 196-4. **Fig. 2.3.1-4** shows the relative frequency distribution of the slag content in the cement types CEM II/B-M (S-LL) and CEM II/B-S as well as in the blast furnace cements CEM III/A and CEM III/B. As expected it can be seen that

- The slag content of CEM II/B-M is generally below 20 mass % in order to be able to use corresponding amounts of limestone meal
- The slag content of CEM II/B-S is mostly about 30 mass % without the normative upper limit being reached



- im CEM III/B die Hüttensandgehalte meist unter 70 M.-% liegen.

Beim CEM III/A treten in Abhängigkeit von der Festigkeitsklasse verschiedene Verteilungsmuster auf. Beim CEM III/A 32,5 wird die gesamte Bandbreite der normativ erlaubten Hüttensandgehalte bis 65 M.-% ausgeschöpft, wobei die meisten Zemente zwischen 50 und 60 M.-% Hüttensand aufweisen. Auch die CEM III/A 52,5 enthalten in der Regel Hüttensandgehalte knapp über 50 M.-%, sind dann aber meist mit höherer Feinheit oder alitreichen Klinkern produziert. Die CEM III/A 42,5 zeigen eine bimodale Verteilung mit Hüttensandgehalten von unter bzw. über 50 M.-% auf. Die Zementeigenschaften werden hierbei durch geeignete Kombinationen von Hüttensandgehalten, Mahlfineinheit und Klinkerqualitäten angesteuert.

2.3.2 Anwendung der quantitativen Röntgenbeugungsanalyse in der Qualitätskontrolle von Zementen ■

IGF-Vorhaben 17397 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 07/2012–06/2014

Hintergrund

Mit der quantitativen Röntgenbeugungsanalyse (QRBA) können prinzipiell Klinker- bzw. Zementzusammensetzungen ermittelt werden. Für die Qualitätskontrolle in der Zementproduktion ist allerdings eine Automatisierung der Auswertung notwendig, ohne dass wesentliche Qualitätseinbußen der Analysen auftreten dürfen. Hierbei stellen die Reproduzierbarkeit, die Auswirkung von Produktionsschwankungen oder die Quantifizierung von Zementen mit teilmorphen Hauptbestandteilen eine Herausforderung dar. Eine hinreichend präzise QRBA könnte Referenzprüfungen in der Eigen- und Fremdüberwachung ergänzen oder sogar ersetzen.

Ziel und Vorgehensweise

Im Forschungsvorhaben wurden robuste, automatisierte Präparationsmethoden und Auswertedateien formuliert und deren Reproduzierbarkeit ermittelt. Durch die Anwendung auf eine Vielzahl von Werks- und Laborzementen bekannter Zusammensetzung und teilweise variierender Ausgangsstoffe unterschiedlicher Fein-

- The slag content of CEM III/B is usually less than 70 mass %

The distribution patterns for slag contents in CEM III/A differ depending on the strength class. For CEM III/A 32,5, use is made of the full spectrum of the normatively permissible slag content up to 65 mass %, with most cements exhibiting between 50 and 60 mass % slag. CEM III/A 52,5 cements usually also have a slag content of slightly above 50 mass % but are then generally produced with greater fineness or alite-rich clinkers. CEM III/A 42,5 cements exhibit bimodal distribution with slag contents of below or above 50 mass %. The cement properties are then adjusted by the use of appropriate combinations of slag content, fineness of grinding and clinker grades.

2.3.2 Use of quantitative X-ray diffraction analysis in cement quality control ■

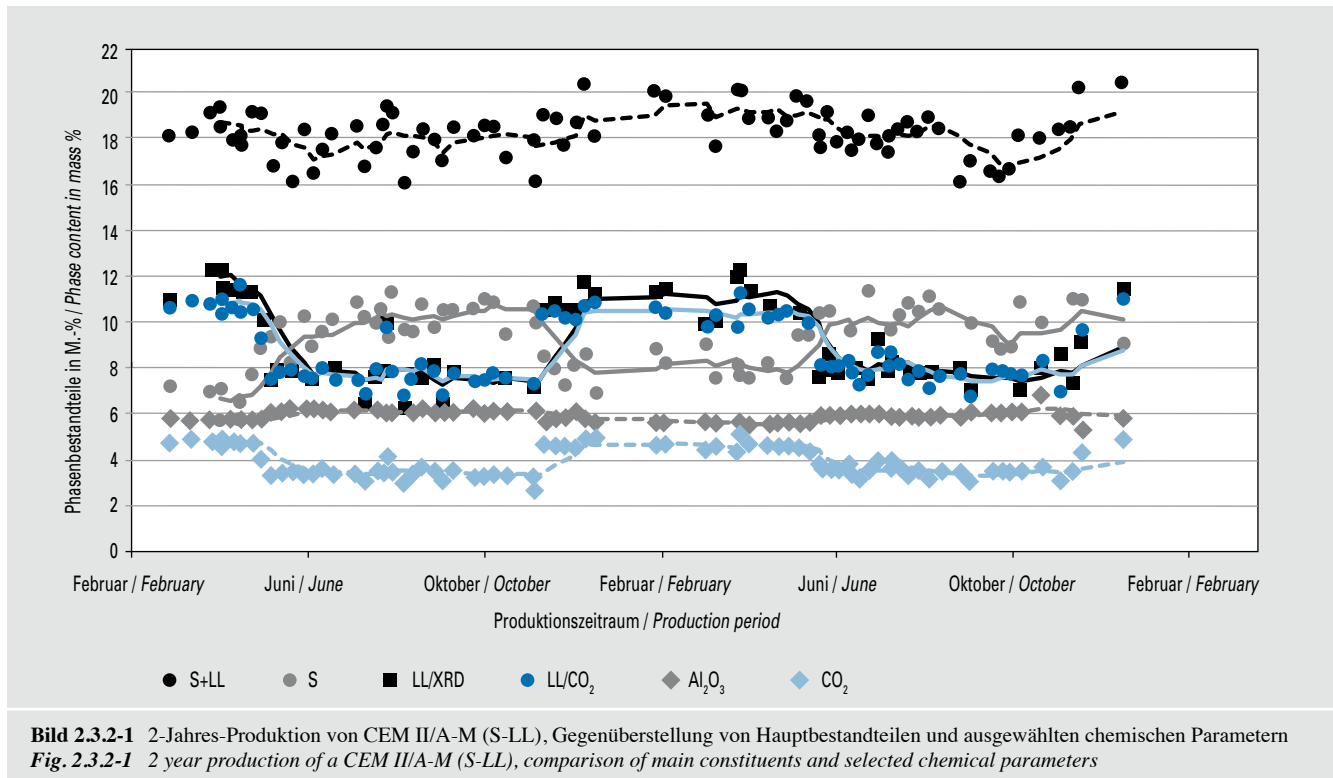
IGF project 17397 N supported by the AiF
Project period: 07/2012–06/2014

Background

Quantitative X-ray diffraction analysis (QXRD) can basically be used to determine the composition of clinker and cement. Quality control in cement production however requires automation of the evaluation process. At the same time, though, it must be ensured that there is no significant loss of quality in the analyses. Reproducibility, the influence of production fluctuations and the quantification of cements with partly amorphous main constituents all represent a challenge in this respect. Sufficiently accurate QXRD could supplement or even replace reference tests as part of factory production control and third-party inspection.

Aim and approach

The research project involved the formulation of robust, automated preparation methods and evaluation files and determination of their reproducibility. The use of a variety of plant and laboratory cements of a known composition and in some cases with varying raw materials of differing fineness made it possible to define the precision of the QXRD method and thus also the limits of its applicability. Concluding tests in cement plants were performed to verify the applicability of the analysis system in actual pro-



heit ließen sich die Präzision des röntgenografischen Verfahrens und damit auch Grenzfälle seiner Anwendbarkeit definieren. In abschließenden Werksversuchen wurde die Anwendbarkeit des Analysesystems in der Produktionspraxis belegt. In **Bild 2.3.2-1** zeichnen die Röntgenbeugungsdaten beispielsweise typische Sommer- und Winterrezepturen eines CEM II/A-M (S-LL) nach. Die saisonal alternierenden Gehalte von Kalksteinmehl und Hütensandmehl ergänzen sich zu Gesamtgehalten von knapp 20 M.-% an Hauptbestandteilen neben dem Klinker. Die Röntgenergebnisse stehen in sehr guter Übereinstimmung mit chemischen Kenndaten der Proben, z. B. den CO_2 - oder den Aluminiumgehalten.

Generell ist zwischen werksinternen und externen Qualitätskontrollen zu unterscheiden. Werksintern können durch den Einsatz von immer gleichen Ausgangsstoffen, Produktionsverfahren, Probenpräparationen und angepassten Auswertungen eine sehr hohe Wiederholpräzision der QRBA erreicht und frühzeitig Schwankungen in Produkteigenschaften erkannt werden. Dies gelingt bei vollkristallinen Systemen wie Portland- und Portlandkalksteinzementen sowie bei hütensandhaltigen Sorten. **Tabelle 2.3.2-1** zeigt die Wiederholstandardabweichung bei ein- und mehrfacher Präparation, Messung und Auswertung der Phasenzusammensetzung eines Portlandzementes. Die Messung an unterschiedlichen Präparaten führt erwartungsgemäß zu etwas größeren Schwankungen, insbesondere bei texturanfälligen Mineralen wie Anhydrit oder Portlandit. Flugaschehaltige Zemente und komplexere Kompositzemente verlangen eine sehr exakte Einstellung der Auswertung und liefern teilweise Ergebnisse mit verminderter Präzision. Ein Wechsel von Ausgangsstoffen bei vollkristallinen Systemen erfordert häufig noch keine Anpassung der Auswertung. Veränderungen in der relativen Feinheit der Hauptbestandteile oder das Auftreten alumosilikatischer Mineralphasen (z. B. Tone in Kalksteinmehlen) können aber bereits zu einer verringerten Präzision führen. Die Auswertung hütensandhaltiger Zemente muss bei den genannten Produktionsänderungen überprüft werden, während z. B. der Einsatz einer Flugasche aus anderer Bezugsquelle in der Regel eine Anpassung der Auswertung notwendig macht.

duction. By way of example, the X-ray diffraction data plotted in **Fig. 2.3.2-1** represent typical summer and winter mix formulations for a CEM II/A-M (S-LL). The seasonally alternating limestone meal and ground granulated blast furnace slag contents together make up a total main constituent content of just under 20 mass % in addition to the clinker. The X-ray results correspond very well to the chemical characteristic data of the specimens, e.g. the CO_2 or aluminium content.

A basic distinction is to be made between factory production control and external quality control. At the plant, the consistent use of identical raw materials, production processes, specimen preparations and adjusted evaluations permits very high QXRD repeatability and the early detection of fluctuations in product properties. This applies to fully crystalline systems such as Portland and Portland-limestone cements and types containing blast furnace slag as well. **Table 2.3.2-1** shows the repeatability standard deviation for single and multiple preparation, measurement and evaluation of the phase composition of a Portland cement. As is to be expected, measurement on different specimens produces somewhat higher variations, in particular for minerals such as anhydrite or portlandite on account of their textural properties. Cements containing fly ash and more complex blended cements require extremely accurate adjustment of the evaluation and sometimes yield less precise results. A change of raw materials in fully crystalline systems often does not necessitate adaptation of the evaluation. Changes to the relative fineness of the main constituents or the occurrence of alumosilicate mineral phases (e.g. clay in limestone meal) can however reduce precision. Given the above-mentioned changes in production it is necessary to check the evaluation of cements containing blast furnace slag, whereas the use of fly ash from a different source for example generally means having to adjust the evaluation.

Conclusions

QXRD can accordingly be used in many cases for quality control as part of factory production control as per DIN EN 197-2 and also

Tabelle 2.3.2-1 Reproduzierbarkeit der Präparation, Messung und Auswertung von Röntgenbeugungsversuchen an Portlandzement**Table 2.3.2-1** Reproducibility of the preparation, measurement and evaluation of XRD analyses on Portland cement

| Mineralphase / Phases | Wiederholbarkeit / Reproducibility | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|-------|-------|----------------------|--|-------|-------|----------------------|
| | Präparation und Messung ¹⁾ Preparation and Measurement ¹⁾ | | | | Messung ²⁾ Measurement ²⁾ | | | |
| | Mittelwert Mean | Min | Max | St.-abw. St.-dev. | Mittelwert Mean | Min | Max | St.-abw. St.-dev. |
| C ₃ S | 66,1 | 65,27 | 66,91 | 0,64 | 65,2 | 64,52 | 65,57 | 0,4 |
| C ₂ S | 5,7 | 4,95 | 6,48 | 0,5 | 6,1 | 5,63 | 6,32 | 0,28 |
| C ₃ A _{cub} | 2,5 | 2,4 | 2,64 | 0,11 | 2,5 | 2,42 | 2,65 | 0,1 |
| C ₃ A _{orth} | 4,6 | 4,29 | 4,76 | 0,18 | 4,4 | 4,29 | 4,52 | 0,09 |
| C ₃ A _{total} | 7,1 | 6,92 | 7,29 | 0,13 | 6,9 | 6,91 | 7,01 | 0,04 |
| C ₄ AF | 9,2 | 8,83 | 9,49 | 0,27 | 8,9 | 8,77 | 9,37 | 0,25 |
| Freikalk / Free lime | 0,6 | 0,51 | 0,71 | 0,08 | 0,6 | 0,55 | 0,68 | 0,05 |
| Periklase / Periclase | 1,3 | 1,13 | 1,41 | 0,11 | 1,3 | 1,2 | 1,36 | 0,07 |
| Quarz / Quartz | 0,3 | 0,22 | 0,39 | 0,06 | 0,3 | 0,24 | 0,39 | 0,06 |
| Arcanit / Arcanite | 0,9 | 0,82 | 1,03 | 0,08 | 0,9 | 0,78 | 0,93 | 0,07 |
| Gips / Gypsum | 0,1 | 0,06 | 0,12 | 0,02 | 0,1 | 0,07 | 0,12 | 0,02 |
| Bassanit / Bassanite | 2,5 | 2,23 | 2,77 | 0,2 | 2,6 | 2,47 | 2,77 | 0,11 |
| Anhydrit / Anhydrite | 1,8 | 1,23 | 2,23 | 0,37 | 2,1 | 1,97 | 2,18 | 0,08 |
| Kalzit / Calcite | 3 | 2,74 | 3,23 | 0,23 | 3,1 | 3,02 | 3,23 | 0,09 |
| Portlandit / Portlandite | 0,6 | 0,21 | 1,05 | 0,36 | 1,1 | 1 | 1,15 | 0,06 |
| Dolomit / Dolomite | 0,9 | 0,72 | 1,13 | 0,15 | 0,8 | 0,69 | 0,82 | 0,05 |

¹⁾ Sechs Präparationen, jede einfach gemessen / Six preparations, each in single measurement

²⁾ Eine Präparation, 10-fach gemessen / One preparation, measured 10 times

Schlussfolgerungen

In der Eigenüberwachung der Werke gemäß DIN EN 197-2 kann die QRBA demnach in vielen Fällen zur Qualitätskontrolle genutzt und auch seitens eines Fremdüberwachers anerkannt werden. Eine werksinterne, regelmäßige Überprüfung der Verfahren durch einen für die Methode fachkundigen Mitarbeiter und Vergleichsversuche mit den Referenzverfahren sind hierfür allerdings Voraussetzung. Die Anwendung der QRBA in der externen Qualitätskontrolle, z. B. durch einen Fremdüberwacher, kann bei vollkristallinen Zementen noch zu zufriedenstellenden Ergebnissen führen. Gegebenenfalls ist aber bereits hier ein Abgleich und/oder eine werkspezifische Anpassung der Auswertefiles notwendig. Spätestens bei der Prüfung von Zementen mit teilkristallinen Hauptbestandteilen ist eine werkspezifische, gegebenenfalls sogar eine sortenspezifische Definition von Auswerteparametern unerlässlich. Einflüsse von werksinternen Umstellungen oder Veränderungen können damit in der Regel nicht aufgefangen werden. Der Einsatz unterschiedlicher Ausgangsstoffe oder Produktionsverfahren für die Herstellung eines Zementes kann dazu führen, dass eine Fremdüberwachung röntgenographisch ohne weitere Abgleiche mit den Referenzprüfverfahren nicht erfolgen kann. Generell muss eine Anwendung der QRBA in der Fremdüberwachung in enger Abstimmung mit dem überwachten Werk erfolgen.

2.3.3 Mikroskopie – ein wichtiges Werkzeug der Klinker- und Zementanalytik ■

Die beim Klinkerbrennprozess eingesetzten Roh- und Brennstoffe wie auch die jeweiligen Brennbedingungen beeinflussen die Klinkereigenschaften und häufig auch das Mikrogefüge des Klinkers. Die korrekte Interpretation von Gefügemerkmalen ist für die mikroskopische Beurteilung von Klinker daher von gro-

accepted by a third-party inspector. This does however pre-suppose in-factory regular checking of the processes by personnel with experience of the method and the performance of comparative tests employing the reference method. Use of QXRD in external quality control, e.g. by a third-party inspector, can basically produce satisfactory results for fully crystalline cements. Coordination and/or factory-specific adaptation of the evaluation files may however be necessary in this case. At the latest when checking cements with partly X-ray amorphous main constituents, a plant-specific or possibly even a type-specific definition of evaluation parameters is essential. Changes in the production processes generally cannot be accommodated. The use of different raw materials or production processes for the production of a cement may mean that third-party inspection via QXRD cannot be performed without further coordination with the reference test methods. As a general rule, the use of QXRD in third-party inspection demands close cooperation with the factory being inspected.

2.3.3 Microscopy – an important tool in clinker and cement analysis ■

The raw materials and fuels used in the clinker burning process and the respective burning conditions influence the clinker properties and often also the microstructure of the clinker. The correct interpretation of microstructural characteristics is thus of great importance for the microscopic assessment of clinker. VDZ regularly publishes case studies of interesting microstructural features from research projects and examinations of technical clinkers.

Effect of barium on clinker microstructure

During the examination of a technical clinker for evidence of reducing conditions, a nodule was observed with a core consisting primarily of belite and free lime crystals which were in

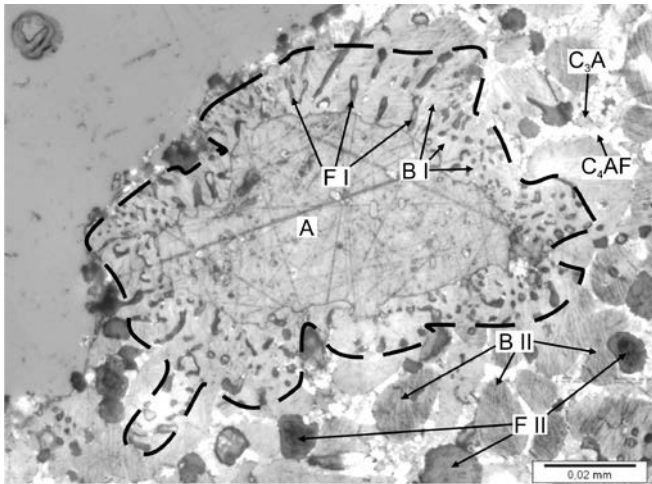


Bild 2.3.3-1 Alitkristall (A); Symplektit aus Belit (B I) und Freikalk (F I), gestrichelte Linie markiert äußeren Rand; grobkristalline Mischung aus Belit (B II) und Freikalk (F II)

Fig. 2.3.3-1 Alite crystal (A); symplectite of belite (B I) and free lime (F I), dashed line marks external boundary; coarse mixture of belite (B II) and free lime (F II)

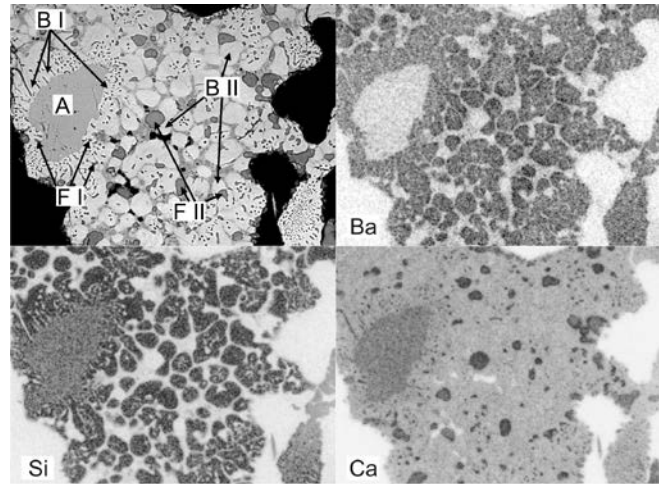


Bild 2.3.3-2 REM-Bild (oben links, Bezeichnungen vergl. Bild 2.3.3-1) und Elementverteilungsbilder des gleichen Ausschnitts; Breite des Ausschnitts 235 μm

Fig. 2.3.3-2 SEM micrograph (top left, designation cf. Fig. 2.3.3-1) and elemental maps of the same area; width of each image 235 μm

ßer Bedeutung. Der VDZ veröffentlicht regelmäßig Fallbeispiele interessanter Gefügemerkmale aus Forschungsprojekten und Untersuchungen an technischen Klinkern.

Auswirkung von Barium auf das Klinkergefüge

Bei der Untersuchung eines technischen Klinkers auf Hinweise, ob reduzierende Bedingungen vorliegen, wurde eine Granalie beobachtet, deren Kern hauptsächlich aus Belit- und Freikalkkristallen bestand, die in direktem Kontakt miteinander standen. Der Alitgehalt in diesem Bereich war gering. Mehrere Alitkristalle waren randlich von symplektitisch verwachsenen Kristallen aus Belit (B I in den **Bildern 2.3.3-1** und **2.3.3-2**) und feinkristallinem Freikalk (F I in den **Bildern 2.3.3-1** und **2.3.3-2**) umgeben. Die Freikalkkristalle waren dabei gelängt und oft radialstrahlig um die Alitkristalle angeordnet. Entsprechende Symplektite traten auch ohne Alitkristall im Kern auf. Neben den Symplektiten mit oder ohne Alitkristall im Kern bestand die Granalie aus grobkristallinem Belit (B II) und Freikalk (F II in den **Bildern 2.3.3-1** und **2.3.3-2**).

Der direkte Kontakt von Belit und Freikalk in technischen Klinkern wird in der Regel durch Einbau von Phosphor in Belit, durch Alitzerfall aufgrund von reduzierenden Brennbedingungen oder durch Schwachbrand verursacht. Schwachbrand führt jedoch zu deutlich feiner ausgebildeten Belit- und Freikalkkristallen als im hier untersuchten Klinker. Darüber hinaus zeigen große Alitkristalle (**Bild 2.3.3-1**) für die Alitbildung ausreichende Sinterbedingungen an und sprechen ebenfalls gegen Schwachbrand. Phosphor kann durch die Stabilisierung von Belit lokal die Bildung von Alit verhindern und führt zu gemischten Nestern aus Belit und Freikalk. Symplektitische Verwachsungen aus Belit und Freikalk wie in **Bild 2.3.3-1** treten im Zusammenhang mit Phosphor jedoch in der Regel nicht auf.

Die Symplektite und das orientierte Wachstum der Freikalkkristalle um Alitkristalle weisen auf einen teilweisen Zerfall der Alitkristalle hin. Die Symplektite stellen wahrscheinlich Pseudomorphosen nach Alit dar. Die häufigste Ursache für den Zerfall von Alit sind lokal reduzierende Brennbedingungen, verursacht durch schwelende Brennstoffpartikel im Klinkerbett. Gegen reduzierende Brennbedingungen spricht jedoch, dass die Bildung von Alit teilweise verhindert wurde, wie dies durch die grobkristalline Mischung aus Belit- und Freikalkkristallen um die Symplektite

direct contact with one another. The alite content was low in this area. Several alite crystals were surrounded by symplectitically intergrown belite crystals (B I in **Fig.s 2.3.3-1** and **2.3.3-2**) and fine-grained free lime crystals (F I in **Fig.s 2.3.3-1** and **2.3.3-2**). The free lime crystals were elongated and often arranged radially around the alite crystals. Corresponding symplectites also occurred without an alite crystal in the core. In addition to the symplectites with or without alite crystal in the core, the nodule consisted of granular crystalline belite (B II) and free lime (F II in **Fig.s 2.3.3-1** and **2.3.3-2**).

Direct contact between belite and free lime in technical clinkers is usually caused by the incorporation of phosphorus in belite, alite decomposition caused by reducing burning conditions or underburning. Underburning does however result in far finer belite and free lime crystals than those in the clinker examined here. In addition to this, large alite crystals (**Fig. 2.3.3-1**) are an indication of adequate sintering conditions for alite formation and also speak against underburning. Through belite stabilisation, phosphorus can locally prevent the formation of alite and leads to mixed belite and free lime clusters. Symplectitic belite and free lime intergrowths as shown in **Fig. 2.3.3-1** do not however normally occur in conjunction with phosphorus.

The symplectites and the oriented growth of the free lime crystals around alite crystals are an indication of partial decomposition of the alite crystals. The symplectites are probably pseudomorphs after alite. Alite decomposition is most frequently caused by local reducing burning conditions created by smouldering fuel particles in the clinker bed. What speaks against reducing burning conditions, however, is the fact that the formation of alite was partially prevented, as is shown by the coarsely crystalline mixture of belite and free lime crystals around the symplectites. Such prevention of alite formation is not typical of reducing conditions.

angezeigt wird. Eine solche Behinderung der Alitbildung ist untypisch für reduzierende Bedingungen.

Hohe Bariumgehalte gemessen

Messungen mittels energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) ergaben ungewöhnlich hohe Bariumgehalte in der Klinkergranalie. Die Alitkristalle enthielten weniger als 2 M.-% Barium. In den Belitkristallen der durch Alitzerfall entstandenen Symplektite (B I) lag der Bariumgehalt bei ca. 7 M.-%. Die grobkristallinen Belite (B II) in der Umgebung der Symplektite enthielten ca. 10 M.-% Barium. Die Bariumverteilung in Alit und den beiden Belitgenerationen ist in den mittels EDX-Messungen erstellten Elementverteilungsbildern in **Bild 2.3.3-2** dargestellt.

Aus der Bariumverteilung und den Gefügebeziehungen der Klinkerphasen lässt sich ableiten, dass der hohe Bariumgehalt in den B-II-Belitkristallen die Bildung von Alit verhindert und so das Nebeneinander von grobkristallinem Belit (B II) und Freikalk (F II) ermöglicht hat. Die Bariumkonzentrationen in den verbliebenen Alitkristallen waren dagegen so niedrig, dass die Alitbildung nicht verhindert wurde und die Alitkristalle auch nachträglich nicht zerfielen. In einigen Alitkristallen waren die Bariumgehalte dagegen einerseits ausreichend niedrig, um die Bildung von Alit in der Sinterzone zuzulassen, aber andererseits so hoch, dass die Alitkristalle instabil waren und nach Passieren der Sinterzone in symplektitisch verwachsenen Belit (B I) und Freikalk (F I) zerfielen. Von diesem Zerfall waren teilweise ganze Alitkristalle, teilweise aber auch nur die äußeren Zonen von Alitkristallen betroffen, was auf von innen nach außen zunehmende Bariumgehalte in den Alitkristallen hindeutet.

Ergebnis

Als Quelle für das Barium im untersuchten Klinker kann Baryt angenommen werden. Dieses Mineral tritt in den Kalksteinformationen auf, die für die Herstellung des Klinkers verwendet wurden. Die vertieften Untersuchungen ergaben somit, dass die besondere Form von Alitzerfall nicht, wie befürchtet, auf reduzierende Bedingungen zurückzuführen war, sondern auf ungewöhnliche Rohmehlbestandteile.

2.3.4 Einfluss der Aschen von Sekundär-brennstoffen auf die Viskosität der Klinkerschmelze und deren Auswirkungen auf die feuerfeste Auskleidung der Sinterzone des Drehrohrofens ■

IGF-Vorhaben 16905 N gefördert durch die AiF
Projektpartner: Forschungsgemeinschaft Feuerfest e.V.
Projektzeitraum: 01/2012–08/2014

Hintergrund und Ziel

Vor dem Hintergrund steigender Einsatzmengen alternativer Brennstoffe sind Kenntnisse über die Auswirkungen der eingetragenen Substanzen auf die Zusammensetzung der Klinkerschmelze und die Ausbildung des Klinkergefüges von essentieller Bedeutung. Hierzu wurde der Einfluss von vier herkömmlichen alternativen Brennstoffen – Fluff (F), Gummischnitzel (G), Tiermehl (T) und Klärschlamm (K) bzw. deren Aschen – detailliert untersucht.

Vorgehensweise

Es wurde eine Datenbasis mit möglichen Bandbreiten der Zusammensetzung von Alternativbrennstoffen bzw. deren Aschen

High barium contents measured

Measurements employing energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) yielded unusually high barium contents in the clinker nodule. The alite crystals contained less than 2 mass % barium. The barium content in the belite crystals of the symplectites (B I) formed by alite decomposition was approx. 7 mass %. The coarsely crystalline belites (B II) in the area around the symplectites contained about 10 mass % barium. The barium distribution in the alite and the two belite generations is shown in **Fig. 2.3.3-2** in the elemental maps based on EDX measurements.

It can be deduced from the barium distribution and the microstructural relationships of the clinker phases that the high barium content in the B-II belite crystals has prevented the formation of alite and so permitted the coexistence of coarsely crystalline belite (B II) and free lime (F II). By contrast, the barium concentrations in the remaining alite crystals were so low that alite formation was not prevented and there was also no subsequent decomposition of the alite crystals. In some alite crystals on the other hand, the barium content was sufficiently low to permit the formation of alite in the sintering zone but at the same time high enough for the alite crystals to be unstable and decompose into symplectitically intergrown belite (B I) and free lime (F I) after passing through the sintering zone. In some cases this decomposition affected entire alite crystals, in other cases however only the outer zones of alite crystals, which is an indication of an increase in barium content from the inside to the outside of the alite crystals.

Result

Barite can be assumed to be the source of the barium in the clinker investigated. This mineral occurs in the limestone formations used for production of the clinker. The in-depth analyses thus revealed that the special form of alite decomposition could not be attributed to reducing conditions, as had been feared, but rather to unusual raw meal constituents.

2.3.4 Influence of the ashes of alternative fuels on the viscosity of the clinker melt and their effects on the refractory lining of the sintering zone of a rotary kiln ■

IGF project 16905 N supported by the AiF
Project partner: Forschungsgemeinschaft Feuerfest e.V.
Project period: 01/2012–08/2014

Background and aim

Against the background of the increasing use of alternative fuels, it is essential to be aware of the effects of the substances introduced on the composition of the clinker melt and the formation of the clinker structure. For this purpose, a detailed study was made of the influence of four standard alternative fuels – domestic waste (F), ashes of used tyres (G), animal meal (T) and sewage sludge (K).

Approach

A database was created containing the possible composition spectra of alternative fuels and the ashes of these. To investigate the uniformity of the composition of the alternative fuels, four sub-samples of each of the fuels supplied in a treated state were analysed. Used tyres, animal meal and sewage sludge exhibited a very narrow spectrum for all the parameters analysed, whereas greater fluctuations occurred with domestic waste on account of its composition.

Tabelle 2.3.4-1 Chemische Zusammensetzung der Alternativbrennstoffaschen in M.-%**Table 2.3.4-1** Chemical composition of alternative fuel ashes in mass %

| Parameter / Parameters | F | G | T | K |
|---|-------|-------|-------|-------|
| CO ₂ | 4,8 | 2,22 | 2,01 | 2,35 |
| H ₂ O | 0,23 | 3,74 | 0,69 | 2,12 |
| CaO | 11,59 | 20,9 | 35 | 14,25 |
| SiO ₂ | 39,26 | 23,08 | 2,64 | 16,34 |
| Al ₂ O ₃ | 11,51 | 4,92 | 0,13 | 5,59 |
| Fe ₂ O ₃ | 8,1 | 1,99 | 0,33 | 5,25 |
| SO ₃ | 1,95 | 10,25 | 2,1 | 0,81 |
| TiO ₂ | 1,55 | 0,27 | 0,01 | 0,96 |
| P ₂ O ₅ | 0,42 | 0,33 | 33,87 | 28,02 |
| Mn ₂ O ₃ | 0,14 | 0,04 | 0,01 | 0,08 |
| MgO | 1,58 | 7,55 | 1,31 | 10,89 |
| K ₂ O | 1,07 | 0,57 | 4,73 | 1,09 |
| Na ₂ O | 8,76 | 0,73 | 6,01 | 0,71 |
| Na ₂ O-Äquivalent / Na ₂ O-equivalent | 9,46 | 1,1 | 9,12 | 1,42 |
| Cl ⁻ | 3,91 | 6,55 | 3,69 | n. d. |
| S ²⁻ | 0,87 | 3,86 | n. d. | n. d. |

n. d.: Nicht bestimmt / Not determined

erstellt. Um die Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung der alternativen Brennstoffe zu untersuchen, wurden jeweils vier Teilproben der im aufbereiteten Zustand angelieferten Brennstoffe analysiert. Gummischnitzel, Tiermehl und Klärschlamm wiesen eine sehr enge Bandbreite für alle untersuchten Parameter auf, während beim Brennstoff Fluff materialbedingt größere Schwankungen auftraten.

Aschen alternativer Brennstoffe

Die Brennstoffe wurden gemäß DIN EN 15403 bei 550 °C verascht. In der chemischen Zusammensetzung der Aschen (**Tabelle 2.3.4-1**) fielen vor allem unterschiedliche Calcium- und Siliciumgehalte auf. Die Aschen von Fluff wiesen den höchsten Siliciumgehalt auf und zeigten den höchsten Alkaligehalt von rd. 9,5 M.-% (Na₂O-Äquivalent). Das Verhältnis von Calcium zu Silicium der Gummigranulatasche und des Klärschlammes betrug etwa 1:1. Die Tiermehlasche wies kaum Silicium auf, zeigte aber den höchsten Calciumgehalt von 35 M.-%. Die Tiermehl- bzw. Klärschlammaschen verfügten erwartungsgemäß über hohe Phosphatgehalte, die bei rund 34 bzw. 28 M.-% lagen.

Um das Verhalten der Brennstoffaschen im Drehrohrföfen in unterschiedlichen Temperaturbereichen zu simulieren, wurden thermische Analysen durchgeführt. Es zeigte sich, dass Fluffasche oberhalb von 1 200 °C keine kristallinen Phasen aufwies und somit komplett aufgeschmolzen war. Die Gummigranulatasche war erst bei Temperaturen über 1 300 °C aufgeschmolzen und die Tiermehlasche wies noch bei 1 450 °C geringe kristalline Anteile auf. Insgesamt betrachtet tragen die Brennstoffaschen somit zur früheren Schmelzbildung bei. Insbesondere bei hohen Ascheeinträgen können sowohl die Bildung der Klinkerphasen als auch der Zeitpunkt der Entstehung und das Verhalten der Klinkerschmelze beeinflusst werden.

Tabelle 2.3.4-2 Mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Klinker mit maximalen Ascheanteilen in M.-%**Table 2.3.4-2** Mineralogical composition of the clinker samples with the maximal ashes content in mass %

| | Klinker/Ascheanteil im Rohmehl / Clinker/Ash content in raw meal | | | | |
|----------------------------------|--|------------|------------|------------|-----------------|
| | R1 / 0 | R1 / 3,4 G | R1 / 6,8 F | R1 / 7,4 K | R1 / 4,6 T |
| β-C ₃ S | 59,2 | 55 | 36,8 | 33,1 | 24 |
| β-C ₂ S | 9,2 | 23,2 | 34,4 | 35,4 | 34,7 |
| α-C ₂ S | 7,2 | - | 5 | 9,2 | 12,5 |
| C ₃ A _{cube} | 0,5 | < 0,5 | < 0,5 | 1,5 | 0,8 |
| C ₃ A _{orth} | 10,9 | 5,7 | 10,8 | 3,5 | 5,3 |
| C ₄ AF | 11,7 | 14,3 | 11,5 | 13 | 12,3 |
| Freikalk / Free lime | - | - | - | 2,5 | 8,5 |
| Periklas / Periclase | Spuren / Traces | 1 | < 0,5 | 0,6 | Spuren / Traces |
| Quarz / Quartz | < 0,5 | - | - | - | - |
| Arcanit / Arcanite | 1,1 | < 0,5 | < 0,5 | 0,8 | 0,5 |
| Aphthalit / Aphthalite | - | 0,8 | 0,8 | - | < 0,5 |

Ashes of alternative fuels

In accordance with EN 15403, the fuels were reduced to ashes at 550 °C. The most conspicuous aspects of the chemical composition of the ashes (**Table 2.3.4-1**) were the differences in calcium and silicon content. Domestic waste ashes contained the most silicon and exhibited the highest alkali content of around 9.5 mass % (Na₂O equivalent). The ratio of calcium to silicon in the used tyre ash and the sewage sludge was approx. 1:1. The animal meal ash contained scarcely any silicon but had the highest calcium content of 35 mass %. As expected, the animal meal and sewage sludge ashes exhibited a high phosphate content of around 34 mass % and 28 mass % respectively.

Domestic waste ash was found to have no crystalline phases above 1 200 °C and had thus completely melted. The used tyre ash only melted at temperatures of more than 1 300 °C and the animal meal ash still exhibited a low crystalline proportion at 1 450 °C. All-in-all it can thus be said that the fuel ashes contribute to earlier melt formation. The introduction of large quantities of ash in particular can have an influence on both the formation of the clinker phases and the time of occurrence as well as the behaviour of the clinker melt.

Untersuchungen der Laborklinker

Im nächsten Schritt wurden die Aschen zwei unterschiedlichen Rohmehlen (R1 = Tonerdemodul 1,2; R2 = Tonerdemodul 1,7) zugemischt und im Labormaßstab zu Klinker gebrannt. Hierbei entsprach der maximale Ascheanteil dem Anteil der Asche, der bei vollständigem Einsatz des jeweiligen Brennstoffes anfällt. Die notwendige Menge des Brennstoffes wurde über die Feuerwärmeleistung unter der Annahme von 3 800 kJ/kg Klinker berechnet. Erwartungsgemäß beeinflussten die Calcium- und Siliciumgehalte der Brennstoffaschen die entsprechenden zementchemischen Parameter wie Kalkstandard und Silicatmodul und somit die Silicatphasenbildung im Klinker. Wie aus **Tabelle 2.3.4-2** hervorgeht, wurde eine Absenkung des Alitgehaltes in der Reihenfolge Gummigranulat-, Fluff-, Klärschlamm- und Tiermehlaschezugabe ermittelt. Dieser Effekt wird in Zementwerken durch eine Korrektur der Rohmehlzusammensetzung ausgeregt. Bei phosphathaltigen Brennstoffen, wie Tiermehl und Klärschlamm, wurde die Klinkerqualität zusätzlich durch Phosphor- und Kaliumeinbau in die silicatischen Phasen des Klinkers beeinflusst. Es bildete sich ein Gefüge, das hauptsächlich aus fein verwachsenem Belit und Freikalk bestand. Dieses Gefüge ist typisch für die Anwesenheit größerer Mengen an Phosphor. Dabei stabilisiert der Einbau von Phosphor die reaktive α -Belit-Phase (**Tabelle 2.3.4-2**). Daran gekoppelt ist auch ein Einbau von Al-Ionen in Belit, die somit der Grundmasse entzogen werden. Dies hat eine Verschiebung des Verhältnisses von Al_2O_3 zu Fe_2O_3 in der Grundmasse zur Folge, was direkt die Viskosität der Klinkerschmelze beeinflussen kann.

Untersuchungen der Grundmasse

Die Änderung der Klinkerviskosität durch die jeweilige Aschezugabe wurde an Grundmassegemischen im Temperaturbereich von 1 300 bis 1 450 °C mittels Hochtemperatur-Rotationsviskosimeter untersucht. **Bild 2.3.4-1** zeigt, dass mit steigendem Tonerdemodul (TM) die Viskosität der Klinkerschmelze tendenziell ansteigt. Es wird angenommen, dass der steigende Gehalt an Aluminiumoxid Trennstellen im geschmolzenen System schließt und so die Viskosität erhöht. Wie aus **Bild 2.3.4-1** ebenso hervorgeht, verringert sich mit zunehmender Aschemenge die Schmelztemperatur und damit die Viskosität der Grundmasse. Über alle Viskositätsmessungen an den geschmolzenen Grundmassen aschehaltiger und aschefreier Klinker hinweg bestätigte sich, dass mit einem steigenden Aluminiumoxidgehalt ein geringfügiger Anstieg der Viskosität verbunden ist (**Bild 2.3.4-2**). Seitens der Forschungs-

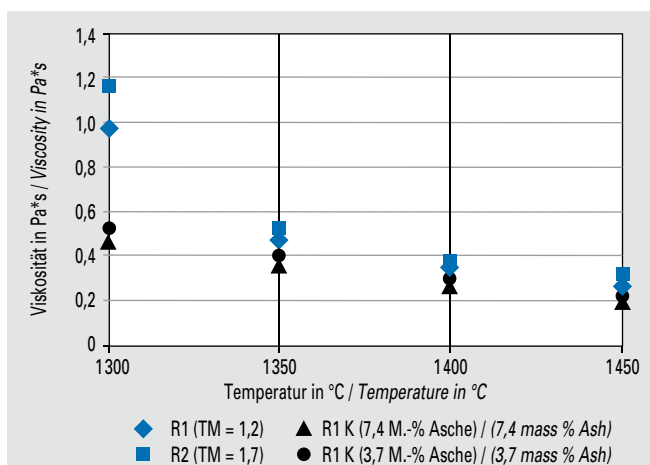


Bild 2.3.4-1 Viskositäten von Referenzklinkern (R1, R2) und Klinkern mit unterschiedlichen Klärschlammashanteilen

Fig. 2.3.4-1 Viscosity of reference clinker samples (R1, R2) and clinker samples with different sewage sludge ash contents

Analyses of the laboratory clinkers

In the next step, the ashes were added to two different raw meals (R1 = alumina ratio 1.2; R2 = alumina ratio 1.7) and burned to clinker on a laboratory scale. The maximum ash content corresponded to the amount of ash occurring with full use of the respective fuel. The amount of fuel required was calculated using the firing heat capacity and assuming 3 800 kJ/kg clinker. As expected, the calcium and silicon contents of the fuel ashes influenced the corresponding cement chemistry parameters such as lime standard and silica ratio and thus also the silicate phase formation in the clinker. As **Table 2.3.4-2** shows, a reduction in the alite content was found in the order used tyre, domestic waste, sewage sludge and animal meal ash addition. This effect is regulated in cement works by altering the raw meal composition. In the case of fuels containing phosphate such as animal meal and sewage sludge, the clinker quality was additionally influenced by the introduction of phosphorus and potassium in the silicate phases of the clinker. The microstructure mainly exhibited finely intergrown belite and free lime. This microstructure is typical for the presence of large quantities of phosphorus. At the same time, the introduction of phosphorus stabilises the reactive α -belite phase (**Table 2.3.4-2**). Linked to this is the introduction of Al ions into belite which is extracted from the matrix. This results in a shift in the ratio of Al_2O_3 to Fe_2O_3 in the matrix, which can have a direct influence on the viscosity of the clinker melt.

Analyses of the matrix

The change in clinker viscosity produced by the addition of each ash was examined on interstitial mass mixes in the temperature range from 1 300 to 1 450 °C using a high-temperature rotational viscosimeter. **Fig. 2.3.4-1** shows that the viscosity of the clinker melt tends to increase with increasing alumina ratio (AR). It is assumed that the increasing aluminium oxide content closes gaps in the molten system and thus increases the viscosity. As **Fig. 2.3.4-1** also shows, the melt temperature and consequently the viscosity of the matrix decrease with an increasing quantity of ash. All viscosity measurements on the molten matrices of clinker with and without ash confirmed that an increase in aluminium oxide content is associated with a slight increase in viscosity (**Fig. 2.3.4-2**). The Forschungsgemeinschaft Feuerfest e.V. (FGF e.V.) developed a rotary kiln test rig to be able to investigate typical reactions between fuels, clinker melts and refractory products.

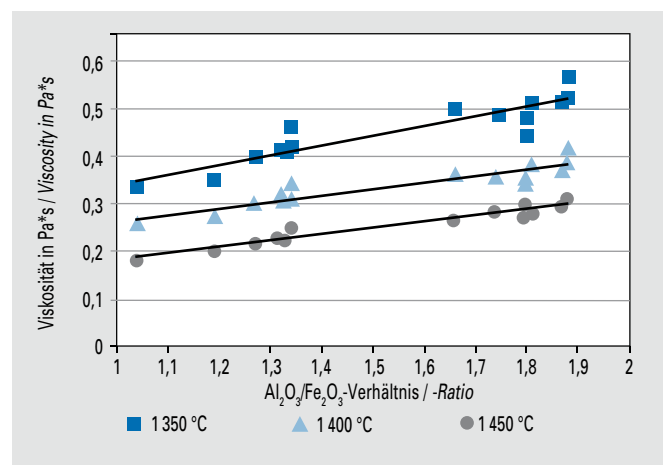


Bild 2.3.4-2 Abhängigkeit der Viskosität vom Verhältnis Al_2O_3/Fe_2O_3 in der Grundmasse

Fig. 2.3.4-2 Viscosity as a function of the Al_2O_3/Fe_2O_3 ratio in the interstitial mass

gemeinschaft Feuerfest e. V. (FGF e. V.) wurde ein Drehtrommelversuchsstand entwickelt, der Untersuchungen typischer Reaktionen zwischen Brennstoffen, Klinkerschmelzen und feuerfesten Erzeugnissen erlaubt.

Ergebnis

Insgesamt betrachtet haben die Untersuchungen gezeigt, dass durch den Einsatz von alternativen Brennstoffen kein negativer Einfluss auf die Ansatzbildung und die Dauerhaftigkeit von Feuerfestmaterial in der Sinterzone zu erwarten ist.

2.3.5 Einfluss der Kalksteinzusammensetzung auf Portlandkalksteinzement ■

IGF-Vorhaben 17226 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 07/2011–06/2014

Hintergrund

Die Eignung von Kalksteinen als Zementhauptbestandteil wird anhand der Gehalte an CaCO_3 , TOC und tonigen Bestandteilen gemäß DIN EN 197-1 beurteilt. Diese Vorgehensweise hat sich seit Langem bewährt. Wie bereits frühere Forschungsarbeiten zeigten, muss die Dauerhaftigkeit von Betonen mit Portlandkalksteinzementen durch die Verwendung nicht normkonformer Kalksteine in den Zementen nicht zwangsläufig beeinträchtigt werden. Deshalb wurde der Einfluss verschiedener Kalksteinparameter wie die geologische Herkunft, Gefügebeschaffenheit und die mineralogische Zusammensetzung auf die Eigenschaften von Portlandkalksteinzementen und auf die Dauerhaftigkeit damit hergestellter Betone systematisch untersucht.

Vorgehensweise

Nach Voruntersuchungen an insgesamt 40 Kalksteinen wurden 23 normgerechte und nicht normgerechte Kalksteine ausgewählt, die sich vor allem in ihrer geologischen Herkunft unterschieden. Besonderes Augenmerk wurde auf eine möglichst große mikrostrukturelle Gefügeviefalt sowie Bandbreite bezüglich der Gehalte an Nebenbestandteilen, insbesondere Ton, Dolomit und Quarz, gelegt. Bezüglich ihrer Phasenzusammensetzung wurden die Kalksteine wie folgt klassifiziert (beispielhafte Kalksteinzusammensetzungen in **Tabelle 2.3.5-1**): Kalksteine mit hohem Dolomitgehalt (KS04), Kalksteine mit hohem Quarz- und Tongehalten (KS06, KS23, KS24), Kalksteine mit hohem Quarz- oder Tongehalten (KS01, KS34 bzw. KS26, KS32) sowie reiner Kalkstein (KS03R, Referenzkalkstein) und Kalksteine mit niedrigen Gehalten an Nebenbestandteilen (KS05).

Anschließend wurden Portlandkalksteinzemente mit einem Kalksteinanteil von 15, 20 bzw. 30 M.-% hergestellt. Hierzu wurden Kalksteine auf eine Feinheit von 5000 cm^2/g (Blaine) gemahlen und mit unterschiedlichen Portlandzementen (CEM I 52,5 R und CEM I 32,5 R) homogenisiert.

Ergebnisse

Die Festigkeitsuntersuchungen zeigten, dass geringere, nicht normgemäße Calcitgehalte nicht automatisch zu niedrigeren Druckfestigkeiten führen. So wurden beispielsweise bei CEM II/A- bzw. CEM II/B-Zementen mit einem Kalkstein mit 61 M.-% Calcit (KS39) im Alter von 28 Tagen identische Druckfestigkeiten ermittelt wie bei Verwendung des Referenzkalksteins mit 97 M.-% Calcit (rund 66 MPa bei CEM II/A und rund 53 MPa bei CEM II/B). Insgesamt betrachtet variierte der Wasseranspruch

Result

All-in-all, the investigations revealed that no negative influence on incrustation and the durability of refractory material in the sintering zone is to be expected with the use of alternative fuels.

2.3.5 Influence of limestone composition on Portland-limestone cement ■

IGF project 17226 N supported by the AiF
Project period: 07/2011–06/2014

Background

The suitability of limestones as main cement constituent is assessed on the basis of the CaCO_3 , TOC and argillaceous constituent content as per EN 197-1. This procedure has been successfully employed for a long time. As shown by earlier research work, the durability of concretes with Portland-limestone cements is not necessarily impaired by the use of non-standard limestones in the cements. The influence of various limestone parameters such as its geological origin, microstructure and mineralogical composition on the properties of Portland-limestone cements and the durability of concretes produced with these was therefore systematically investigated.

Approach

After preliminary studies on a total of 40 limestones, 23 standard and non-standard limestones were selected which primarily differed in terms of their geological origins. Particular emphasis was placed on the greatest possible microstructural diversity and spectrum with regard to the content of minor additional constituents, above all clay, dolomite and quartz. The limestones were classified as follows in terms of their phase composition (limestone composition examples are given in **Table 2.3.5-1**): Limestones with high dolomite content (KS04), limestones with high quartz and clay contents (KS06, KS23, KS24), limestones with high quartz or clay contents (KS01, KS34 or KS26, KS32) as well as pure limestone (KS03R, reference limestone) and limestones with low minor additional constituent contents (KS05).

Portland-limestone cements with a limestone content of 15, 20 and 30 mass % were then produced. For this purpose, limestones were ground to a fineness of 5000 cm^2/g (Blaine) and homogenised with different Portland cements (CEM I 52,5 R and CEM I 32,5 R).

Results

The strength analyses revealed that lower, non-standard calcite contents do not automatically result in lower compressive strengths. For example, the same compressive strengths were determined for 28-day old CEM II/A and CEM II/B cements with limestone with 61 mass % calcite (KS39) as when using the reference limestone with 97 mass % calcite (roughly 66 MPa for CEM II/A and around 53 MPa for CEM II/B). Overall, the water demand of the CEM II/B cements varied between approx. 31 and 36 mass % and generally increased with increasing specific surface (**Table 2.3.5-1**). As expected, the methylene blue adsorption correlated with the clay content in each case.

Mortar analysis permits the conclusion that neither the type and content of the mineral phases nor the microstructural characteristics of the limestones have a significant influence on the 2, 7 and 28-day cement compressive strength or the porosity of the hardened cement paste. This means that, in addition to the clinker properties, the granulometric parameters of the limestones and the

Tabelle 2.3.5-1 Eigenschaften von Kalksteinen und damit hergestellten CEM II/B-Zementen (mit 30 M.-% Kalkstein und 70 M.-% CEM I 52,5 R) und entsprechenden Betonen**Table 2.3.5-1** Properties of limestones and CEM II/B cements (with 30 mass % limestone and 70 mass % CEM I 52,5 R) and corresponding concretes

| Eigenschaften / Properties | KS03R | KS05 | KS04 | KS26 | KS32 | KS39 | KS24 | KS23 | KS06 | KS01 | KS34 |
|---|---------------------|---------------------|------------------------|--------------------|--------------------|--|-----------------------|------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| Kalkstein / Limestone | | | | | | | | | | | |
| Geologischer Ursprung / Geological origin | Devon / Devonian | Devon / Devonian | Kreide / Cretaceous | Jura / Jurassic | Jura / Jurassic | Muschel- kalk / Muschel- kalk | Tertiär / Tertiary | Kreide / Cretaceous | Devon / Devonian | Kreide / Cretaceous | Kreide / Cretaceous |
| CaCO ₃ ¹⁾ | 100 | 76,9 | 66,1 | 73,4 | 70 | 63,4 | 65,7 | 66,9 | 41,4 | 72,2 | 64,9 |
| TOC ¹⁾ | 0,02 | 0,111 | 0,01 | 0,157 | 0,359 | 0,123 | 0,163 | 0,173 | 0,262 | 0,138 | 0,138 |
| MB ¹⁾ | 0,07 | 0,6 | 0,13 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,83 | 0,83 | 0,9 | 0,57 | 0,47 |
| Calcit / Calcite ²⁾ | 97 | 70 | 27 | 73 | 68 | 61 | 67 | 67 | 41 | 71 | 65 |
| Dolomit / Dolomite ²⁾ | 1 | 7 | 64 | 5 | 3 | - | 2 | 2 | < 1 | < 0,5 | - |
| Quarz / Quartz ²⁾ | 1 | 7 | 1 | 4 | 5 | 7 | 10 | 13 | 18 | 18 | 23 |
| Ton / Clay ²⁾ | < 1 | 7 | 3 | 15 | 16 | 19 | 14 | 15 | 22 | 5 | 8 |
| BET Oberfläche / BET surface area ³⁾ | 13436 | 50576 | 25299 | 144417 | 67071 | 93835 | 118190 | 119489 | 102805 | 64871 | 76535 |
| Wasseranspruch / Water demand⁴⁾ | 31 | 33,5 | 31,5 | 32,5 | 33 | 34,5 | 32,5 | 35 | 35,5 | 31,5 | 32,5 |
| Beton / Concrete | | | | | | | | | | | |
| Würfelfverfahren / Cube method ⁵⁾ | 3,3 | 9,1 | 3,3 | 4,3 | 4,8 | 4,5 | 4 | 7,7 | 6 | 16,7 | 14,1 |
| CF-Methode / CF method ⁶⁾ | < 0,2 | < 0,2 | < 0,2 | < 0,2 | n. d. | n. d. | n. d. | < 0,2 | < 0,2 | n. d. | < 0,2 |
| CDF-Methode / CDF method ⁷⁾ | n. d. | n. d. | n. d. | < 0,3 | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | < 0,3 | n. d. | < 0,3 |
| CIF-Methode / CIF method ⁸⁾ | 92 | 93 | 78 | 59 | n. d. | n. d. | n. d. | 53 | 68 | n. d. | 70 |
| Carbonatisierung / Carbonation ⁹⁾ | 5,6 | 4,8 | 4,6 | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | n. d. | 4,9 | n. d. | 5,4 |
| D _{Cl,M} ¹⁰⁾ | 23,3 | 24,6 | 21,6 | 22,8 | n. d. | n. d. | n. d. | 24,7 | 23,7 | n. d. | 26 |

¹⁾ Kriterien nach DIN EN 197-1 in M.-%; MB: Methylenblau-Wert / Criteria acc. to DIN EN 197-1 in mass %; MB: Methylene blue value

²⁾ Röntgendiffraktometrisch bestimmte Gehalte in M.-%; Ton: Illit + Kaolinit / Contents in mass % determined by means of XRD; Clay: Illite + Kaolinit

³⁾ Spezifische Oberfläche der Kalksteine nach BET in cm²/g / BET surface area of limestones in cm²/g

⁴⁾ Wasseranspruch von CEM II/B-Zementen in M.-% / Water demand of CEM II/B cements in mass %

⁵⁾ Abwitterung von Beton in M.-% im Würfelverfahren nach 100 Frost-Tau-Wechseln (FTW) / Scaling of concretes in mass % using the cube method after 100 freeze-thaw cycles

⁶⁾ Abwitterung von Beton in kg/m² im CF-Verfahren nach 28 FTW / Scaling of concretes in kg/m² using the CF method after 28 freeze-thaw cycles

⁷⁾ Abwitterung von Beton in kg/m² im CDF-Verfahren nach 28 FTW / Scaling of concretes in kg/m² using the CDF method after 28 freeze-thaw cycles

⁸⁾ Relativer dynamischer E-Modul von Beton in % im CIF-Verfahren nach 28 FTW / Relative dynamic elastic modulus of concretes in % using the CIF method after 28 freeze-thaw cycles

⁹⁾ Carbonatisierungstiefe von Beton in mm im Prüfalalter von 1 Jahr / Depth of carbonation of concretes in mm tested at 1 year

¹⁰⁾ Chloridmigrationskoeffizient von Beton in (x10⁻¹²) m²/s im Prüfalalter von 35 Tagen / Chloride migration coefficient of concretes in (x10⁻¹²) m²/s tested at 35 days

n. d.: Nicht bestimmt / Not determined

der CEM II/B-Zemente zwischen rund 31 und 36 M.-% und nahm in der Regel mit steigender spezifischer Oberfläche zu (**Table 2.3.5-1**). Erwartungsgemäß korrelierte die Methylenblau-Adsorption mit dem jeweiligen Tongehalt.

Aus den Untersuchungen an Mörteln lässt sich schließen, dass sich weder Art und Gehalt der Mineralphasen noch die mikrostrukturelle Gefügebeschaffenheit der Kalksteine signifikant auf die 2-, 7- und 28-Tage-Zementdruckfestigkeit sowie die Porosität des Zementsteins auswirken. Somit waren für die geprüften Zementeiigenschaften neben den Klinkereigenschaften im Wesentlichen die granulometrischen Parameter der Kalksteine und der Kalksteingehalt maßgebend. Die mikroskopischen Untersuchungen an Mörteln zeigten lediglich bei Verwendung von CEM II/B-Zementen mit den dolomitreichen Kalksteinen ein etwas dichteres und mit den quarzreichen Kalksteinen ein etwas lockereres Mikrogefüge.

limestone content were essentially definitive for the cement properties investigated. Microscopic mortar analysis merely revealed a somewhat denser microstructure when using CEM II/B cements with dolomite-rich limestones and a somewhat less consolidated microstructure with quartz-rich limestones.

Durability of concretes

Concrete tests based on the approval principles of the German Institute for Building Technology revealed that, in addition to the limestone content in the cement, the phase composition of the limestones and the type and proportion of minor additional constituents are significant for the durability of concretes. Together with the limestone compositions and water demand of CEM II/B cements with 30 mass % limestone, **Table 2.3.5-1** also provides a summary of the durability of concretes produced with these. Concretes based on CEM II/B cements (with use of CEM I 52,5 R)

Dauerhaftigkeit von Betonen

Betonprüfungen nach Zulassungsgrundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik ergaben, dass neben dem Kalksteingehalt im Zement auch die Phasenzusammensetzung der Kalksteine bzw. die Art und der Anteil der Nebenbestandteile für die Dauerhaftigkeit von Betonen maßgeblich sind. Neben den Kalksteinzusammensetzungen und dem Wasseranspruch der CEM II/B-Zemente mit 30 M.-% Kalkstein gibt **Tabelle 2.3.5-1** auch einen Überblick über die Dauerhaftigkeit damit hergestellter Betone. Betone auf Basis von CEM II/B-Zementen (bei Verwendung von CEM I 52,5 R) mit nicht normgerechten dolomitreichen Kalksteinen zeigten einen hohen inneren und äußeren Frostwiderstand (CDF-/CIF-Test und Würfelverfahren) sowie einen Carbonatisierungs- und Chlorideindringwiderstand, der sogar höher war als beim Einsatz vom Referenzkalkstein (KS04 und KS03R). Des Weiteren korrelierte das Abwitterungsverhalten der Betone mit CEM II/B-Zementen im Würfelverfahren mit dem Massenverhältnis an Quarz zu Ton im Kalkstein. Mit steigendem Quarzgehalt nahm die Abwitterung zu. Enthielt der Kalkstein zusätzlich zum Quarz einen hohen Anteil an Ton (KS06, KS23, KS24, KS39), wiesen die Betone im Würfelverfahren nur eine relativ geringe Abwitterung auf. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an den Kalksteinmehlen deuteten darauf hin, dass die Verteilung der Tonbestandteile bzw. die Verteilung der Calcit- und Dolomitbereiche im Kalksteingefüge für die Dauerhaftigkeit der Betone von Bedeutung sind.

Beim Einsatz von Kalksteinen mit hohem Quarz- und/oder Tonanteilen erwies sich allerdings die innere Schädigung (Prüfung mittels CIF-Verfahren) bei den Betonen als Schwachstelle. Ein stärkeres Wasseraufnahmevermögen der tonigen Komponenten oder im Falle quarzreicher Kalksteine die Ausbildung von weniger dichtem Zementstein- bzw. Betongefüge könnten mögliche Ursachen dafür sein. Betone mit gröberen CEM II/B-Zementen auf der Basis von CEM I 32,5 R wiesen im Würfelverfahren meist einen nur geringen Frostwiderstand auf. Die Abhängigkeiten des Frostwiderstandes von der Kalksteinmineralogie waren jedoch ähnlich wie bei den Zementen mit CEM I 52,5 R. Betone auf Basis von CEM II/A-Zementen mit 15 M.-% an nicht normgerechten Kalksteinen aller Typen zeigten durchweg eine gute Dauerhaftigkeit.

2.3.6 Sulfatwiderstandsprüfverfahren ■

IGF-Vorhaben 18024 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 01/2014–06/2016

Hintergrund

CEM I-SR- und CEM III/B-SR-Zemente weisen in der Praxis durchweg einen hohen Sulfatwiderstand auf. Allerdings wird diese seit vielen Jahrzehnten bekannte Eigenschaft von dem derzeit vom Sachverständigenausschuss des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) geforderten Prüfverfahren zur Bestimmung des Sulfatwiderstands nicht in allen Fällen abgebildet. Hierfür sollen zum einen die Ursachen ermittelt werden und zum anderen das Prüfverfahren so modifiziert werden, dass sich für genormte Zemente mit bekanntermaßen hohem bzw. niedrigem Sulfatwiderstand eindeutige Prüfergebnisse erzielen lassen. Gelingt dies, soll in einem weiteren Schritt das modifizierte Prüfverfahren genutzt werden, um auch den Sulfatwiderstand von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen, insbesondere wenn diese auch Flugasche oder natürliche Pozzolane enthalten, zuverlässig beurteilen zu können. Ziel des Forschungsprojekts ist somit die Entwicklung eines robusten, neuen, praxisingerechteren Prüfverfahrens zur Bestimmung des Sulfatwiderstands von Zementen.

with non-standard dolomite-rich limestones exhibited a high inner and outer frost resistance (CDF/CIF test and cube method) as well as a carbonation and chloride penetration resistance which was even higher than when using reference limestone (KS04 and KS03R). Further, the scaling behaviour of the concretes with CEM II/B cements correlated with the mass ratio of quartz to clay in the limestone when checked using the cube method. Scaling increased with increasing quartz content. If the limestone contained a high proportion of clay in addition to the quartz (KS06, KS23, KS24, KS39), the cube method revealed a relatively low level of scaling in the concretes. Scanning electron microscopic analysis of the limestone meals indicated that the distribution of the clay constituents and the distribution of the calcite and dolomite domains in the limestone structure are of significance for the durability of the concretes.

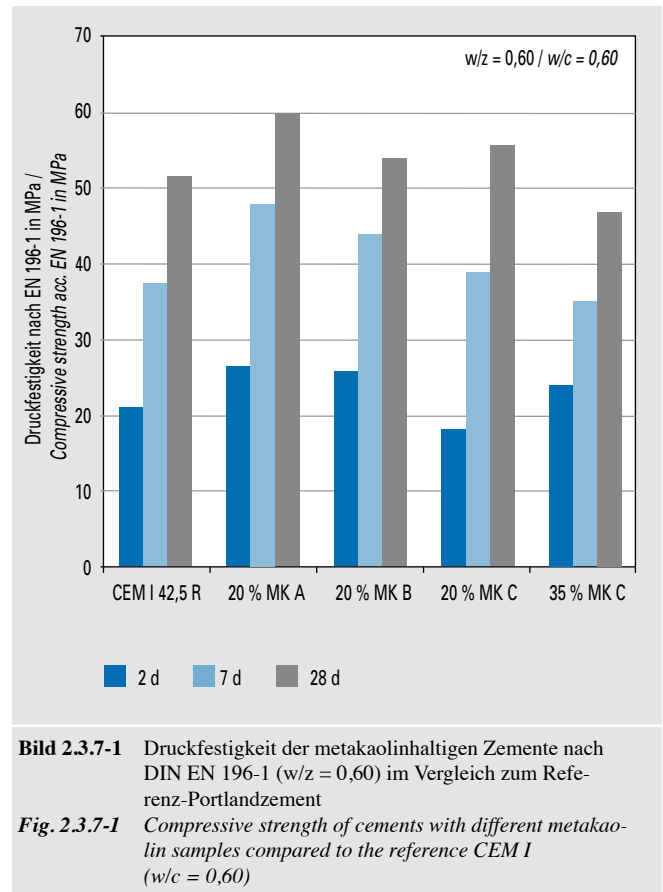
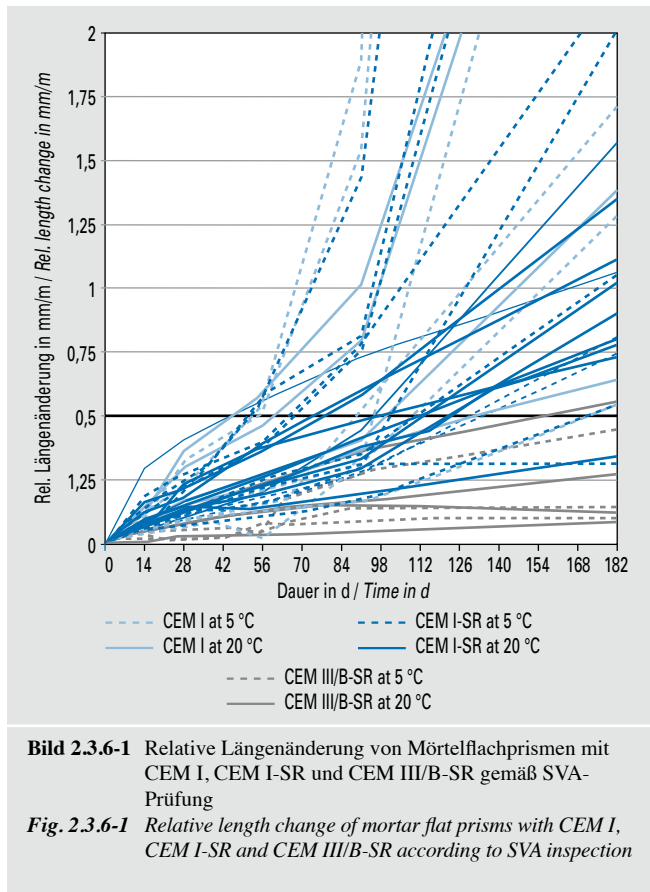
When using limestones with a high proportion of quartz and/or clay, internal damage (checking with CIF method) did however prove to be a weak point of the concretes. Possible reasons for this could be the higher water-absorption capacity of the argillaceous components or, in the case of quartz-rich limestones, the formation of a less dense hardened cement paste or concrete microstructure. When employing the cube method, concretes with coarser CEM II/B cements based on CEM I 32,5 R generally only exhibited low frost resistance. The relationships between frost resistance and limestone mineralogy were however similar to those for cements with CEM I 52,5 R. Concretes based on CEM II/A cements with 15 mass % non-standard limestones of all types exhibited good durability throughout.

2.3.6 Sulphate resistance test method ■

IGF project 18024 N supported by the AiF
Project period: 01/2014–06/2016

Background

In practice, all CEM I-SR and CEM III/B-SR cements exhibit a high sulphate resistance. This property, which has been known for decades, is however not always reflected by the test method for determining sulphate resistance currently required by the expert committee of the German Institute for Building Technology (DIBt). The intention is to identify the reasons for this and to modify the test method to make it possible to obtain clear-cut test results for standardised cements known to have a high or low sulphate resistance. If this proves successful, the next step will be to use the modified test method to be able to reliably assess the sulphate resistance of cements with several main constituents as well, particularly if these also contain fly ash or natural pozzolana. The aim of the research project is thus to develop a new, robust and more realistic test method for determining the sulphate resistance of cements.



Vorgehensweise

Zu Beginn wurden zehn CEM I-SR-Zemente und damit die nahezu vollständige Palette der in Deutschland hergestellten SR-Portlandzemente sowie fünf CEM III/B-SR-Zemente und fünf Portlandzemente ohne SR-Eigenschaft mittels SVA-Verfahren geprüft. Hierzu gehörte die Herstellung von Mörtelflachprismen gemäß EN 196-1 mit anschließender Vorlagerung bei 20 °C in Calciumhydroxidlösung, gefolgt von der Lagerung in Prüf- und Referenzlösung. Die Hälfte der Flachprismen wurde mit Messzapfen ausgestattet, sodass Längenmessungen durchgeführt werden könnten. Die Prismen ohne Messzapfen dienten zur Bestimmung des dynamischen E-Moduls mittels Resonanzfrequenzmessung. Die Prüfkörper wurden bei 20 °C und bei 5 °C über 182 Tage in Prüflösung auf Basis von Natriumsulfat mit einer Sulfatkonzentration von 30 g/l und in Referenzlösung (Calciumhydroxid) gelagert. Die Differenz der Längenänderung aus den in Prüf- und Referenzlösung gelagerten Prüfkörpern zeigt **Bild 2.3.6-1**.

Ergebnisse

Die Prüfkriterien von maximal 0,5 mm/m Längenänderung nach 91 Tagen bzw. 0,8 mm/m nach 182 Tagen wurden im Wesentlichen nur von den CEM III/B-SR-Zementen eingehalten. Zwischen den CEM I- und CEM I-SR-Zementen war keine eindeutige Differenzierung anhand der Längenänderungen möglich und somit auch keine Korrelation zum Tricalciumaluminatgehalt des Zementklinkers. Die Dehnungen betragen bis zu rund 10 mm/m, ohne dass dabei äußere Schäden an den Mörtelprüfkörpern erkennbar waren. Gefügeuntersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskopie ergaben, dass im oberflächennahen Gefüge stark gedehnter Prüfkörper häufig Gipsbänder und Gipssäume in Kontakt mit Sandpartikeln auftraten. Durch diese sekundäre Gipsbildung, die durch die hohe Sulfatkonzentration der Prüflösung ausgelöst wird, wird vermutlich die mit einer sekundären Ettringitbildung einhergehende Längenänderung überlagert. Bei der Modifizierung

Approach

To start with, ten CEM I-SR cements and thus almost the entire range of SR Portland cements produced in Germany, as well as five CEM III/B-SR cements and five non-SR Portland cements were tested using the SVA (expert committee) method. This included producing flat mortar prisms as per EN 196-1 with subsequent preliminary storage at 20 °C in calcium hydroxide solution, followed by storage in the test and reference solution. Half the flat prisms were provided with measuring pegs to enable length measurements to be taken. The prisms without measuring pegs were intended for determination of the dynamic elastic modulus by way of resonance frequency measurement. The test specimens were stored at 20 °C and at 5 °C for 182 days in a sodium sulphate-based test solution with a sulphate concentration of 30 g/l and in a reference solution (calcium hydroxide). The difference in length change for the test specimens stored in the test and reference solutions is shown in **Fig. 2.3.6-1**.

Results

The test criteria of max. 0.5 mm/m length change after 91 days and 0.8 mm/m after 182 days were essentially only satisfied by the CEM III/B-SR cements. No distinct differentiation between the CEM I and CEM I-SR cements was possible on the basis of the changes in length and thus also no correlation with the tricalcium aluminate content of the cement clinker. The amount of expansion was up to around 10 mm/m, without any outwardly visible signs of damage to the mortar test specimens. Structural analyses performed using scanning electron microscopy revealed a frequent occurrence of gypsum bands and gypsum fringes in contact with sand particles in the near-surface microstructure of greatly expanded test specimens. This secondary gypsum formation, triggered by the high sulphate concentration of the test solution, probably overlies the change in length associated with secondary ettringite formation. The modified test version will therefore employ a far

des Prüfverfahrens wird daher mit einer deutlich niedrigeren, praxisgerechteren Sulfatkonzentration von nur noch 3 g/l gearbeitet, die sich zudem aus Natrium- und Calciumsulfat zusammensetzt. Weitere Modifikationen betreffen die Prüfkörpergeometrie (zylindrisch statt rechteckig), den Wasserzementwert (0,6 anstatt 0,5), die Vorlagerung und die Prüfkriterien.

2.3.7 Metakaolin aus Papierschlamm ■

Gefördert über das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand
 Projektpartner: Papiertechnische Stiftung, Fa. Stora Enso, Fa. CalciTech Synthetic Minerals (CTSM)
 Projektzeitraum: 09/2010–10/2013

Hintergrund

In dem Kooperationsprojekt wurde ein neues Verfahren zur Herstellung von Calciumcarbonat und Metakaolin aus Reststoffen der Papierindustrie entwickelt. Der VDZ untersuchte dabei die Verwendbarkeit des Metakaolins als Zementhauptbestandteil.

Rohstoffbasis des von CTSM entwickelten Verfahrens sind Aschen aus der Papierindustrie, die bei der Verbrennung von Deinking-schlamm anfallen und derzeit entsorgt werden müssen. Aus den Aschen wird das Calcium gelöst und mit CO₂ als Carbonat ausgefällt. Zurück bleiben die tonigen Bestandteile der Asche, die zu feinkörnigem Metakaolin (MK) aufbereitet werden.

Metakaolin als Puzzolan

Die Normeigenschaften des Metakaolins wurden nach DIN EN 197-1 untersucht. In Abhängigkeit von den Ausgangsaschen und den Verfahrensbedingungen konnten in den Proben reaktive Kieselsäuregehalte von bis zu rund 30 M.-% nachgewiesen werden. Zudem enthielten die Metakaoline einen beträchtlichen Anteil an reaktiven Aluminiumoxiden, die ebenfalls zur Zementleistungsfähigkeit beitragen können. Somit war bei entsprechender Verfahrensführung die Herstellung von Metakaolin möglich, das die Anforderungen an ein natürliches getempertes Puzzolan (Q) erfüllt.

Metakaolin als Zementbestandteil

Aus einem Portlandzement und verschiedenen Metakaolin-Charakteren vergleichbarer Feinheit (Lageparameter $x' \sim 10 \mu\text{m}$, Steigungsmaß $n \sim 0,7$) wurden Zemente mit jeweils 5 bis 35 M.-% Metakaolin hergestellt und zunächst hinsichtlich ihrer zementtechnischen Eigenschaften untersucht. Zugabemengen von bis zu 20 M.-% Metakaolin hatten keine signifikanten Auswirkungen auf den Wasseranspruch und das Erstarrungsverhalten der untersuchten Zemente.

In **Bild 2.3.7-1** sind exemplarisch die Druckfestigkeiten des im Projekt verwendeten Portlandzements im Vergleich zu denen von Zementen mit 20 bzw. 35 M.-% Metakaolin (MK) dargestellt. Die Herstellung der Prüfkörper erfolgte mit einem Wasserzementwert von 0,60. Beim Einsatz von 20 M.-% MK A und MK B konnte zu allen Prüfzeitpunkten eine im Vergleich zum Portlandzement höhere Druckfestigkeit erreicht werden. Der Einsatz von 20 M.-% MK C führte zu einer leicht verringerten Frühfestigkeit. Die Steigerung der Substitutionsrate auf 35 M.-% MK C bewirkte verringerte Druckfestigkeiten im Alter von 7 und 28 Tagen.

Ergebnis

Zemente mit bis zu 20 M.-% normgerechtem Metakaolin ergaben gut verarbeitbare und im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit (Carbonatisierung, Chlorideindring- und Frostwiderstand) leistungsfähige Betone.

lower, more realistic sulphate concentration of just 3 g/l, which will then be composed of sodium and calcium sulphate. Further modifications will affect the test specimen geometry (cylindrical rather than rectangular), the water-cement ratio (0.6 instead of 0.5), the preliminary storage conditions and the test criteria. The research project is scheduled for completion by mid-2016.

2.3.7 Metakaolin from paper sludge ■

Supported by the Central Innovation Programme for SME
 Project partner: Papiertechnische Stiftung, Stora Enso Co., CalciTech Synthetic Minerals (CTSM) Co.
 Project period: 09/2010–10/2013

Background

The purpose of this joint project was to develop a new process for producing calcium carbonate and metakaolin from waste materials from the paper industry. In this connection VDZ studied the possibility of using metakaolin as cement main constituent.

As raw material basis, the process developed by CTSM uses ashes from the paper industry which arise from the combustion of de-inking sludges and currently have to be disposed of. The calcium is separated from the ash and precipitated with CO₂ as carbonate, leaving behind the argillaceous constituents of the ash, which are treated to form fine-grained metakaolin (MK).

Metakaolin as pozzolana

The standard properties of metakaolin were examined in accordance with EN 197-1. Contents of reactive silicon dioxide of up to about 30 mass % were detected in the samples depending on the starting ashes and the process conditions. In addition, the metakaolins contained a substantial proportion of reactive aluminium oxides, which can also contribute to the cement performance. With appropriate process control it was thus possible to produce metakaolin which satisfies the requirements of EN 197-1 for a natural calcined pozzolana (Q).

Metakaolin as cement constituent

Cements with 5 to 35 mass % metakaolin were produced from a Portland cement and various metakaolin batches of comparable fineness (position parameter $x' \sim 10 \mu\text{m}$, slope $n \sim 0,7$) and first examined with respect to their technical cement properties. Additions of up to 20 mass % metakaolin had no significant effect on the water demand and the setting behaviour of the cements studied.

By way of example, **Fig. 2.3.7-1** compares the compressive strengths of the Portland cement used in the project to those of cements with 20 and 35 mass % metakaolin (MK). The test specimens were produced with a water-cement ratio of 0.60. When using 20 mass % MK A and MK B, the compressive strength attained at all testing times was higher than that of Portland cement. The use of 20 mass % MK C led to a slight reduction in early strength. Increasing the substitution rate to 35 mass % MK C resulted in lower 7 and 28-day compressive strengths.

Result

Cements with up to 20 mass % metakaolin, which fulfilled the requirements of EN 197-1, resulted in concretes with good working properties and high performance in terms of durability (carbonation, chloride penetration resistance and frost resistance).

2.3.8 Optimierung und Dauerhaftigkeit von Puzzolanzementen mit natürlichen getemperten Tonen und damit hergestellten Betonen ■

IGF-Vorhaben 17930 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 01/2014–12/2015

Hintergrund und Ziele

Die Herstellung von Zementen mit einem verringerten Klinkeranteil ist aus ökologischen und ökonomischen Gründen für die Zementindustrie von großer Bedeutung. Die begrenzte Verfügbarkeit konventioneller Zementhauptbestandteile wie z.B. Hütensand und Steinkohlenflugasche erfordert jedoch die Nutzung alternativer Zementhauptbestandteile wie getemperten Töne. Das derzeit laufende Forschungsprojekt schließt daher an das abgeschlossene Projekt „Nutzung von natürlichen getemperten Tonen als Zementhauptbestandteil“ (IGF 16566 N) an, in dem die prinzipielle Eignung mineralologisch verschiedenartig zusammengesetzter, calcinierter Töne als Zementhauptbestandteil nach DIN EN 197-1 nachgewiesen wurde. Ziel ist es, Optimierungspotenziale in der Abstimmung der Zementhauptbestandteile Klinker und getempertem Ton zu erarbeiten sowie die Leistungsfähigkeit der resultierenden tonhaltigen Zemente hinsichtlich der Dauerhaftigkeit in Beton zu untersuchen.

Untersuchungsumfang

Tonproben, die sich durch mindere keramotechnische Qualitäten und eine hohe Verfügbarkeit auszeichnen bzw. als Korrekturstoff in der Klinkerproduktion eingesetzt werden, wurden bei verschiedenen Temperaturen zwischen 800 und 1200 °C gebrannt. Anschließend wurden die Töne in einer Kugelmühle aufgemahlen und hinsichtlich ihrer reaktiven Bestandteile nach verschiedenen Verfahren untersucht. Mit vier verschiedenen Portlandzementen wurden Zemente mit 20 bzw. 40 M.-% getempertem Ton hergestellt und nach den Vorgaben der EN 197-1 untersucht (Tabelle 2.3.8-1).

2.3.8 Optimisation and durability of pozzolanic cements with natural calcined clays and concretes produced with these ■

IGF project 17930 N supported by the AiF
Project period: 01/2014–12/2015

Background and aims

The production of cements with a lower clinker content is of great significance in the cement industry for ecological and economic reasons. The limited availability of conventional cement main constituents such as blast furnace slag and siliceous fly ash however necessitates the use of alternative cement main constituents such as calcined clays. The research project currently in progress thus continues the completed project “Utilisation of natural calcined clays as main cement constituent” (IGF 16566 N), which verified the suitability of calcined clays with different mineralogical compositions as cement main constituent in accordance with EN 197-1. The aim is to look for optimisation potential in the adjustment of the cement main constituents clinker and calcined clay and to investigate the performance of the resultant pozzolanic cements with respect to durability in concrete.

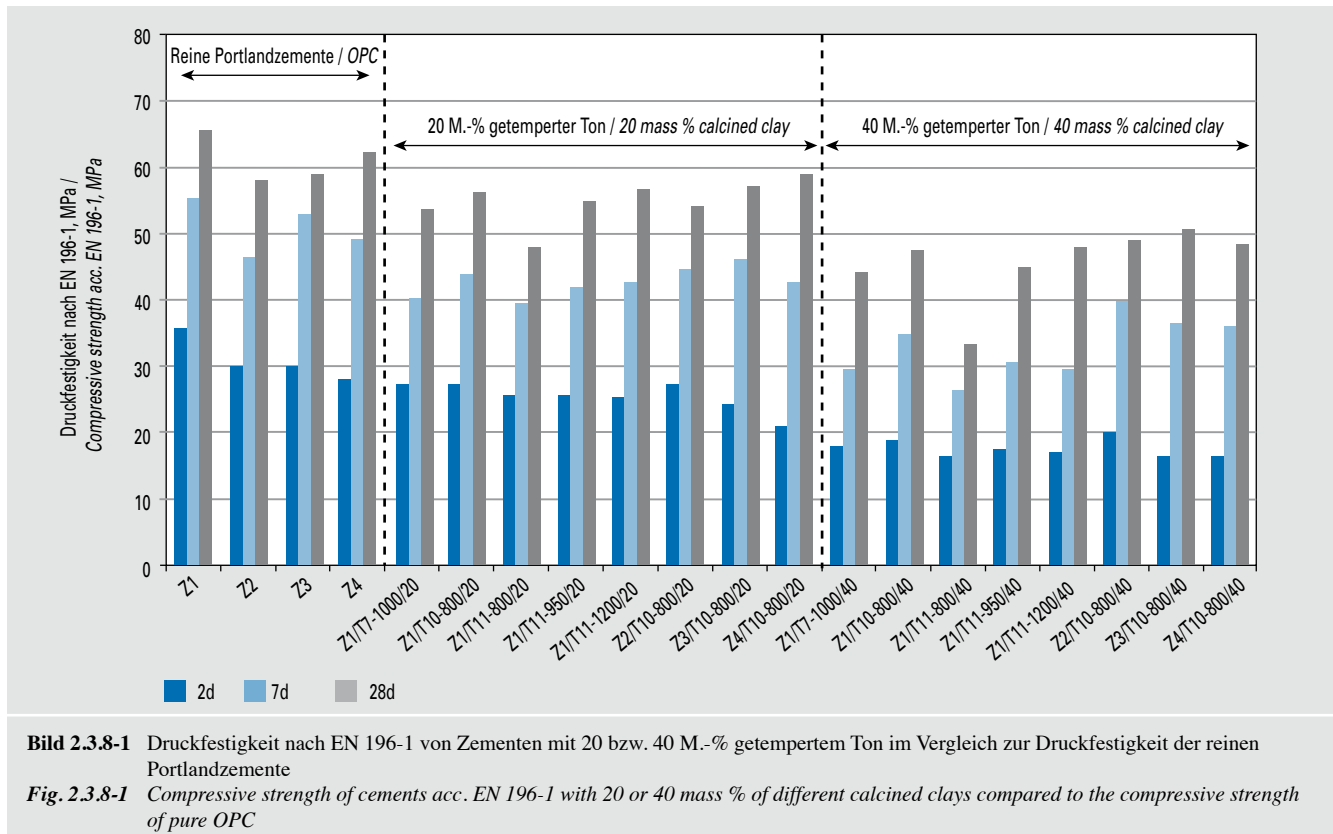
Scope of investigation

Clay samples of low ceramic qualities and a high level of availability were calcined at various temperatures between 800 and 1200 °C. The clays were then ground in a ball mill and their reactive components were examined using various methods. Four different Portland cements were used to produce cements with 20 and 40 mass % calcined clay, which were then examined on the basis of the specifications of EN 197-1 (Table 2.3.8-1).

Tabelle 2.3.8-1 Chemisch-mineralogische und granulometrische Daten der getemperten Töne sowie der vier Portlandzemente
Table 2.3.8-1 Chemical-mineralogical and granulometric properties of calcined clays as well as of the four Portland cements

| Getempertem Ton / Calcined clay | Reaktives SiO ₂ / Reactive SiO ₂ | Si acc. Surana ¹⁾ , ppm | Al acc. Surana ¹⁾ , ppm | x' (RRSB), μm | n (RRSB), - |
|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------|-------------|
| Name-Temperatur / Name-temperature | acc. EN 197-1, mass % | | | | |
| T7-1000 | 20,9 | 50014 | 13453 | 13,07 | 0,83 |
| T7-1200 | 28,4 | 24868 | 2532 | 12,18 | 0,77 |
| T10-800 | 24,7 | 65320 | 51284 | 13,06 | 0,77 |
| T10-1000 | 34,3 | 65999 | 13055 | 12,51 | 0,67 |
| T11-800 | 29,1 | 12445 | 8654 | 12,91 | 0,69 |
| T11-950 | 27,6 | 28958 | 12926 | 12,19 | 0,66 |
| T11-1200 | 23,7 | 16895 | 4209 | 11,76 | 0,74 |
| Zement / Cement | C ₃ S, mass % | C ₂ A, mass % | Na ₂ O eq., mass % | x' (RRSB), μm | n (RRSB), - |
| Z1 | 55 | 13,4 | 0,77 | 19,35 | 0,8 |
| Z2 | 56 | 11,4 | 0,71 | 17,59 | 0,75 |
| Z3 | 61 | 9,5 | 1,13 | 16,89 | 0,76 |
| Z4 | 58 | 2,4 | 0,61 | 14,39 | 0,73 |

¹⁾ Surana, M., Joshi, S., Spectrophotometric method for estimating the reactivity of pozzolanic materials, *Advances in Cement Research*, 1 (1988) 238-241



Im weiteren Verlauf des Projekts wird unter anderem der Einfluss verschiedener Sulfatgehalte sowie unterschiedlicher Feinheiten der calcinierten Tone auf die Zementleistungsfähigkeit ermittelt. An ausgewählten tonhaltigen Zementen wird abschließend ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Dauerhaftigkeit in Betonen untersucht.

Druckfestigkeiten tonhaltiger Zemente

Bild 2.3.8-1 zeigt exemplarisch die Druckfestigkeitsentwicklung nach EN 196-1 von Zementen mit einem Tongehalt von 20 bzw. 40 M.-% im Vergleich zur Druckfestigkeit der reinen Portlandzemente. Die Frühfestigkeiten waren tonunspezifisch und wurden von dem jeweiligen Portlandzement dominiert. Zwischen einer Hydrationsdauer von 7 und 28 Tagen setzte die pozzolanische Reaktion der getemperten Tone erkennbar ein. In der Reihe der Zemente mit Z1 wies der Zement mit dem getemperten Ton T10-800 zu allen Prüfaltem die höchste Druckfestigkeit auf. Dies kann auf die hohen Gehalte an reaktiven Komponenten nach Surana (**Tabelle 2.3.8-1**) in dieser Probe zurückgeführt werden, die sich positiv auf die Zementdruckfestigkeit auswirken. Hingegen trug der getemperte Ton T11-800, der nur über einen geringen Gehalt an reaktiven Komponenten nach Surana (**Tabelle 2.3.8-1**) verfügt, am wenigsten zur Festigkeitsentwicklung der damit hergestellten Zemente bei. Die höchste Normdruckfestigkeit im gesamten Untersuchungsprogramm wurde durch die Kombination des SR-Zements Z4 mit 20 M.-% des getemperten Tons T10-800 erreicht. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der reaktiven Komponenten des getemperten Tons für seinen Festigkeitsbeitrag im Zement.

Other topics to be studied in the course of the project include the influence of different sulphate contents and different finesses of the calcined clays on cement performance. The final step will be to examine the performance of selected clay containing cements in terms of their durability in concretes.

Compressive strengths of pozzolanic cements

Fig. 2.3.8-1 shows examples of the compressive strength development according to EN 196-1 of cements with a clay content of 20 and 40 mass % as compared to the compressive strength of pure Portland cements. The early strengths were not clay-specific and were dominated by the Portland cement in each case. The pozzolan reaction of the calcined clays visibly set in between a hydration period of 7 and 28 days. In the series of cements with Z1 the cement with the calcined clay T10-800 had the highest compressive strength at all test ages. This can be attributed to the high content of reactive components according to Surana (**Table 2.3.8-1**) in this sample, which have a positive influence on the compressive strength of the cement. Calcined clay T11-800 on the other hand, which has only a low reactive component content according to Surana (**Table 2.3.8-1**), contributed least to the strength development of the cements produced with it. The highest standard compressive strength in the entire investigation programme was attained by the combination of SR cement Z4 with 20 mass % of the calcined clay T10-800. This emphasises the importance of the reactive components of the calcined clay for its contribution to the cement strength.

2.3.9 Vermeidung einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion durch den gezielten Einsatz von Steinkohlenflugasche als Zementhauptbestandteil ■

IGF-Vorhaben 17249 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 08/2011–07/2014

Hintergrund

Es ist bekannt, dass kieselsäurereiche Flugaschen als Zementhauptbestandteil oder als Betonzusatzstoff zur Vorbeugung gegen eine schädigende Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) im Beton beitragen. Diese Wirkung wird im Wesentlichen drei Mechanismen zugeschrieben:

- Reduzierung der Alkalität der Porenlösung im Zementstein
- Absenkung des Portlanditgehalts im Zementstein
- Verdichtung des Porengefüges

Vorgehensweise und Ziel

Es wurde unter anderem untersucht, wie diese Mechanismen bei der Verwendung von Flugasche als Zementhauptbestandteil von folgenden Faktoren beeinflusst werden:

2.3.9 Prevention of a damaging alkali-silica reaction through the specific use of siliceous fly ash as main cement constituent ■

IGF project 17249 N supported by the AiF
Project period: 08/2011–07/2014

Background

Siliceous fly ashes used as main cement constituent or as concrete addition are known to contribute towards the prevention of a damaging alkali-silica reaction (ASR) in concrete. This effect can essentially be attributed to three mechanisms:

- Reduction of the alkalinity of the pore solution in the hardened cement paste
- Lowering of the portlandite content in the hardened cement paste
- Densification of the pore structure

Approach and aim

One of the aspects investigated was how these mechanisms are influenced by the following factors when using fly ash as main cement constituent:

Tabelle 2.3.9-1 Chemische Zusammensetzung und physikalische Eigenschaften der Portlandzemente und Flugaschen
Table 2.3.9-1 Chemical composition and physical properties of OPCs and fly ashes

| Komponente / Component | | | ZA1 | ZB1 | V01 | V02 | V07 | V08 | V10 | V11 | V13 | V14 | V18 |
|--|---|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Chemische Zusammensetzung / Chemical composition | TOC | M.-%/ mass % | - | - | 1,48 | 2,41 | 0,66 | 2,61 | 3,25 | 7,68 | 2,31 | 3,82 | 1,50 |
| | CO ₂ | | 1,09 | 1,93 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| | H ₂ O | | 0,31 | 0,77 | 0,08 | 0,13 | 0,15 | 0,20 | 0,13 | 0,09 | 0,19 | 0,11 | 0,20 |
| | SiO ₂ | | 21,65 | 20,38 | 53,18 | 51,14 | 54,33 | 51,10 | 52,51 | 49,96 | 52,31 | 53,00 | 51,31 |
| | Al ₂ O ₃ | | 4,21 | 4,28 | 26,47 | 22,59 | 24,91 | 24,32 | 25,53 | 24,14 | 24,68 | 27,25 | 26,95 |
| | TiO ₂ | | 0,21 | 0,20 | 1,44 | 0,95 | 1,08 | 1,01 | 1,26 | 1,01 | 1,13 | 1,47 | 1,07 |
| | P ₂ O ₅ | | 0,13 | 0,04 | 0,96 | 0,13 | 0,35 | 0,37 | 0,51 | 0,37 | 0,52 | 1,28 | 0,57 |
| | Fe ₂ O ₃ | | 3,07 | 2,39 | 5,71 | 10,26 | 8,02 | 7,47 | 6,80 | 7,11 | 7,87 | 3,97 | 7,55 |
| | Mn ₂ O ₃ | | 0,07 | 0,04 | 0,05 | 0,09 | 0,07 | 0,10 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | 0,04 | 0,09 |
| | MgO | | 0,84 | 1,43 | 1,73 | 1,82 | 1,84 | 2,38 | 1,52 | 1,75 | 1,91 | 1,32 | 2,11 |
| | CaO | | 64,80 | 63,69 | 5,61 | 5,85 | 3,55 | 4,31 | 3,69 | 2,46 | 3,37 | 4,74 | 3,11 |
| | SO ₃ | | 3,15 | 3,39 | 0,54 | 0,80 | 0,56 | 0,62 | 1,33 | 0,28 | 0,66 | 0,96 | 0,48 |
| | K ₂ O | | 0,58 | 1,28 | 1,49 | 1,96 | 2,30 | 3,43 | 1,94 | 3,79 | 2,87 | 1,08 | 3,68 |
| | Na ₂ O | | 0,23 | 0,23 | 1,02 | 1,12 | 1,82 | 1,70 | 1,20 | 1,43 | 1,53 | 0,76 | 1,13 |
| | Na ₂ O _{Aqu} / Na ₂ O _{eq} | | 0,61 | 1,07 | 2,01 | 2,42 | 3,33 | 3,95 | 2,47 | 3,93 | 3,43 | 1,48 | 3,56 |
| Physikalische Eigenschaften / Physical properties | Lösungswärme / Heat of solution | J/g | - | - | 1 301 | 1 374 | 1 365 | 1 708 | 1 276 | 1 612 | 1 418 | 1 021 | 1 563 |
| | Spez. Oberfl. nach Blaine / Spec. surface acc. Blaine | cm ² /g | 3 150 | 4 580 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Lageparameter / Position parameter x' (Zustand uG / state uG) | µm | - | - | 25,68 | 30,69 | 26,61 | 21,00 | 34,46 | 30,13 | 27,38 | 25,89 | 31,50 |
| | Steigungsmaß / Slope n (Zustand uG / state uG) | - | - | - | 0,75 | 0,85 | 0,72 | 0,69 | 0,81 | 0,70 | 0,77 | 0,80 | 0,82 |
| | Lageparameter / Position parameter x' (Zustand gG / state gG) | µm | - | - | 9,75 | 10,82 | 8,57 | - | 9,13 | 9,51 | 9,68 | 10,23 | 10,12 |
| Steigungsmaß / Slope n (Zustand gG / state gG) | - | - | - | 0,95 | 1,00 | 0,95 | - | 0,95 | 1,02 | 0,97 | 0,99 | 0,98 | |

Zustand uG: Ausgangszustand; Zustand gG: Grobanteil [$> 45 \mu\text{m}$] abgesiebt, gemahlen und mit Feinanteil [$< 45 \mu\text{m}$] gemischt; -: nicht bestimmt /
State uG: original state; state gG: coarse fraction [$> 45 \mu\text{m}$] from classification ground and mixed with fine fraction [$< 45 \mu\text{m}$]; -: not determined

- Alkaligehalt der Portlandzementklinkerkomponente
- chemische Zusammensetzung der Flugasche
- Flugaschegehalt
- Aufbereitungszustand der Flugasche (Zustand uG und gG)

Dabei wurde auch der Einfluss der für die Zementherstellung typischen Aufbereitung der Flugasche auf das Porengefüge untersucht. Die Erkenntnisse sollen dazu beitragen, die Leistungsfähigkeit flugaschehaltiger Zemente hinsichtlich der Vorbeugung einer schädigenden ASR optimieren zu können.

Untersuchungen an Zementsteinen

Zunächst wurden aus bis zu neun verschiedenen deutschen Steinkohlenflugaschen in unterschiedlichen Aufbereitungszuständen (uG und gG) durch Mischen mit zwei verschiedenen Portlandzementen Laborzemente hergestellt. Die Portlandzemente wiesen Alkaligehalte ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) von 0,61 (ZA1) und 1,07 M.-% (ZB1) auf (Tabelle 2.3.9-1). Die Flugascheanteile in den Laborzementen lagen bei 20, 30 und 40 M.-%. Die Laborzemente wurden mit einem Wasserzementwert $w/z = 0,50$ für bis zu 365 Tage bei 20 °C in luftdicht verschlossenen PE-Flaschen hydratisiert. Anschließend wurden aus den Zementsteinen Porenlösungen ausgepresst und auf ihre Alkaliionkonzentrationen untersucht. Durch Thermoanalyse und Vergleich mit reinem Portlandzementstein als Referenz wurde ermittelt, wie stark der Portlanditgehalt im jeweiligen Zementstein durch die pozzolanische Reaktion der Flugasche abgesenkt wurde. Die Kapillarporosität der Zementsteine wurde mittels Quecksilberdruckporosimetrie ermittelt.

Einflüsse auf Porenlösung und Zementsteineigenschaften

Die Alkaliionkonzentration der Porenlösung flugaschehaltiger Zementsteine wurde im Wesentlichen vom Alkaligehalt der jeweiligen Portlandzementklinkerkomponente und vom Flugaschegehalt im Laborzement bestimmt. Bild 2.3.9-1 zeigt dies beispielhaft für Laborzemente mit der Flugasche V13, die eine für die verwendeten Flugaschen durchschnittliche Zusammensetzung aufwies (Tabelle 2.3.9-1). Mit sinkendem Alkaligehalt der Portlandzementklinkerkomponente und steigendem Flugaschegehalt im Zement sank die Alkaliionkonzentration der Porenlösung. Dabei wurden die Konzentrationen stärker abgesenkt, als aus der

- Alkali content of the Portland cement clinker component
- Chemical composition of the fly ash
- Fly ash content
- Processing state of the fly ash (state uG and gG)

The influence on the pore structure of the typical processing of the fly ash for cement production was also investigated. The findings are intended to contribute towards optimising the performance of cements containing fly ash with regard to the prevention of a damaging ASR.

Analyses of hardened cement pastes

First of all, laboratory cements were produced from up to nine different German siliceous fly ashes in different processing states (uG and gG) by mixing with two different Portland cements. The Portland cements had alkali contents ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) of 0.61 (ZA1) and 1.07 mass % (ZB1) (Table 2.3.9-1). The laboratory cements had fly ash contents of 20, 30 and 40 mass %. The laboratory cements were hydrated with a water-cement ratio $w/c = 0.50$ for up to 365 days at 20 °C in air-tight PE bottles. Pore solutions were then pressed out of the hardened cement pastes and examined as to their alkali ion concentrations. The extent to which the portlandite content in the corresponding hardened cement paste was reduced by the pozzolanic reaction of the fly ash was determined by means of thermal analysis and comparison with pure hardened Portland cement paste as reference. The capillary porosity of the hardened cement pastes was analysed by way of mercury intrusion porosimetry.

Effects on pore solution and hardened cement paste properties

The alkali ion concentration of the pore solution of hardened cement pastes containing fly ash was essentially determined from the alkali content of the corresponding Portland cement clinker component and the fly ash content of the laboratory cement. Fig. 2.3.9-1 shows this by way of example for laboratory cements with fly ash V13 with an average composition for the fly ashes used (Table 2.3.9-1). The alkali ion concentration of the pore solution decreased with decreasing alkali content of the Portland cement clinker component and increasing fly ash content in the cement. The drop in the concentrations was greater than to be

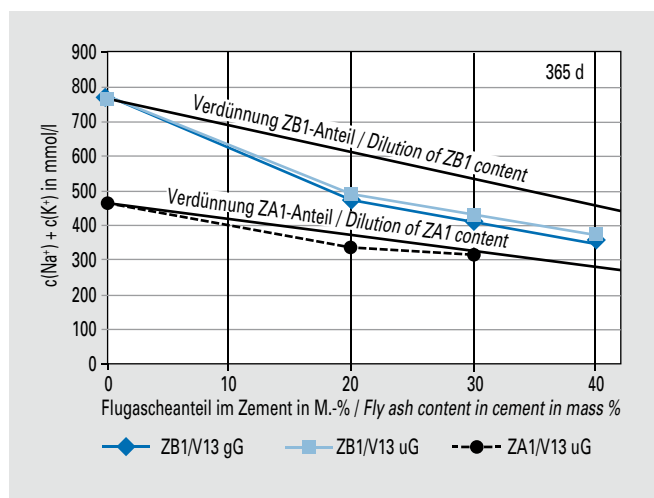


Bild 2.3.9-1 Alkaliionkonzentrationen von Porenlösungen in Zementsteinen nach 365 d Hydratation in Abhängigkeit vom Flugaschegehalt im Zement

Fig. 2.3.9-1 Alkali ion concentrations of pore solutions in hardened cement pastes after 365 d of hydration depending on the fly ash content in cement

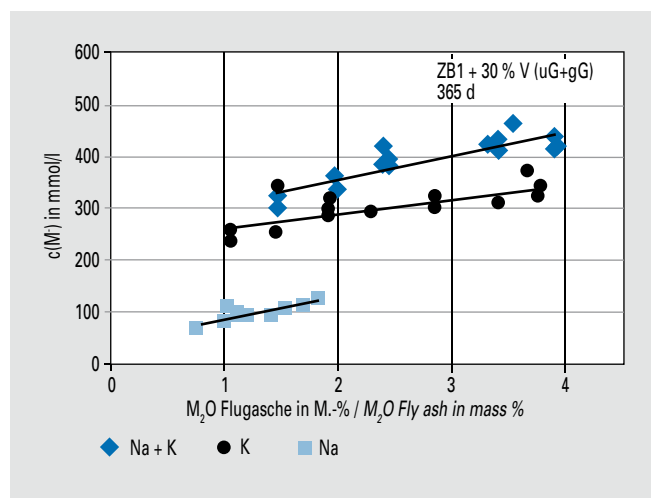


Bild 2.3.9-2 Alkaliionkonzentrationen von Porenlösungen in Zementsteinen nach 365 d Hydratation in Abhängigkeit vom Alkaligehalt der Flugasche (M = Na und/oder K)

Fig. 2.3.9-2 Alkali ion concentrations of pore solutions in hardened cement pastes after 365 d of hydration depending on the alkali content of fly ash (M = Na and/or K)

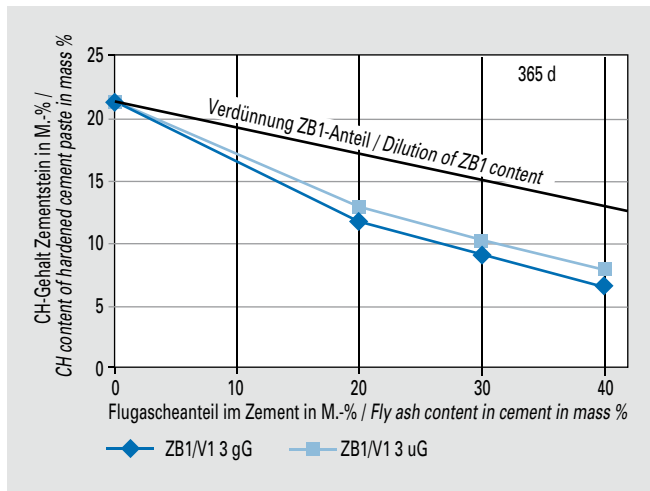


Bild 2.3.9-3 Portlanditgehalt in Zementsteinen nach 365 d Hydratation (in M.-% vom unhydratisierten Zement) in Abhängigkeit vom Flugaschegehalt im Zement

Fig. 2.3.9-3 Portlandite content of hardened cement pastes after 365 d of hydration (in mass % of the non-hydrated cement) depending on the fly ash content in cement

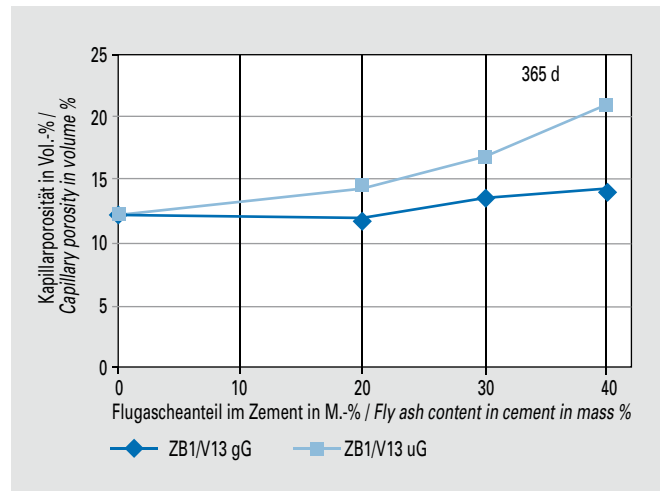


Bild 2.3.9-4 Kapillarporosität von Zementsteinen nach 365 d Hydratation in Abhängigkeit vom Flugaschegehalt im Zement

Fig. 2.3.9-4 Capillary porosity of hardened cement pastes after 365 d of hydration depending on the fly ash content in cement

Verdünnung des Portlandzementklinkeranteils im Laborzement zu erwarten war. Dies zeigt eine aktive Einbindung von Alkalien in den Reaktionsprodukten der Flugaschen an. Bei höherem Alkaligehalt in der Portlandzementklinkerkomponente (ZB1) war die Alkalibindung stärker ausgeprägt. Die Aufbereitung der Flugasche (Mahlung des Grobanteils, Zustand gG) wirkte sich gegenüber der Flugasche im Ausgangszustand (Zustand uG) zwar nur schwach, aber systematisch in Form einer weiteren Absenkung der Alkaliionenkonzentration aus (im Mittel ca. 20 mmol/l). Auch der Alkaligehalt der Flugasche hatte einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Porenlösung. Bei Flugaschen mit niedrigen Alkaligehalten war die Alkaliionenkonzentration in den Porenlösungen $c(M^+)$ der entsprechenden Zementsteine bei sonst gleicher Laborzementzusammensetzung in der Regel niedriger als bei Flugaschen mit hohen Alkaligehalten (**Bild 2.3.9-2**). Dieser Zusammenhang galt für Na und K.

Der Verbrauch von Portlandit bei der pozzolanischen Reaktion war erwartungsgemäß vor allem vom Flugaschegehalt im Laborzement abhängig (**Bild 2.9.3-3**). Allerdings wirkte sich hier die Aufbereitung der Flugasche (gG) deutlich in Form von höheren Portlanditumsätzen aus. Im Mittel ergab sich ein höherer Portlanditumsatz von ca. 1,4 M.-% bezogen auf den unhydratisierten Zement. Andere Einflüsse konnten nicht eindeutig identifiziert werden. Die Untersuchung des Porengefüges ergab, dass die Kapillarporosität der flugaschehaltigen Zementsteine mit zunehmendem Anteil nicht aufbereiteter Flugasche (uG) im Laborzement zunahm (**Bild 2.9.3-4**). Diesem Trend wirkte die Aufbereitung der Flugasche deutlich entgegen. Bei sonst gleicher Laborzementzusammensetzung stieg die Kapillarporosität in den Zementsteinen mit Flugaschen im Zustand gG auch bei 40 M.-% Flugascheanteil im Laborzement im Vergleich zum Portlandzementstein nur geringfügig an.

Ergebnis

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass sich eine für den Herstellungsprozess von Zementen mit Steinkohlenflugasche typische Aufbereitung der Flugasche positiv auf die Wirkungsmechanismen auswirkt, mit denen Flugasche zur Vorbeugung einer schädigenden AKR beiträgt.

expected from the dilution of the Portland cement clinker content in the laboratory cement. This is an indication of the active incorporation of alkalis in the reaction products of the fly ashes. Alkali binding was more pronounced with a higher alkali content in the Portland cement clinker component (ZB1). The processing of the fly ash (grinding of the coarse component, state gG) had only a slight, but systematic influence with respect to the fly ash in original condition (state uG) in the form of a further reduction of the alkali ion concentration (on average approx. 20 mmol/l). The alkali content of the fly ash also had an effect on the composition of the pore solution. For fly ashes with a low alkali content, the alkali ion concentration in the pore solutions $c(M^+)$ of the corresponding hardened cement pastes was generally lower than for fly ashes with a high alkali content with an otherwise identical laboratory cement composition (**Fig. 2.3.9-2**). The relationship was true for Na and K.

As expected, portlandite consumption in the pozzolan reaction primarily depended on the fly ash content in the laboratory cement (**Fig. 2.9.3-3**). However, the processing of the fly ash (gG) in this case had a distinct influence in the form of greater portlandite conversion. On average, a greater portlandite conversion of approx. 1.4 mass % in relation to the non-hydrated cement occurred. Other influences were not clearly identified. Examination of the pore structure revealed that the capillary porosity of the hardened cement pastes containing fly ash increased with an increasing proportion of non-treated fly ash (uG) in the laboratory cement (**Fig. 2.9.3-4**). Processing of the fly ash clearly counteracted this tendency. With an otherwise identical laboratory cement composition, the capillary porosity in the hardened cement pastes with fly ash in state gG only increased slightly as compared to the hardened Portland cement paste, even with a 40 mass % fly ash content in the laboratory cement.

Result

All-in-all, the results show that the processing of fly ash typically occurring in the production process of cements with siliceous fly ash has a positive effect on the mechanisms with which fly ash contributes towards the prevention of a damaging ASR.

2.3.10 Eignung verschiedener anorganischer Stoffe zur Verwendung als Nebenbestandteil ■

IGF-Vorhaben 17638 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 01/2013–12/2015

Hintergrund

Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen tragen durch ihren gegenüber Portlandzement verringerten Anteil an Portlandzementklinker zur Minderung von CO₂-Emissionen bei. Mit geringen Klinkergehalten sind im Allgemeinen im Vergleich zu Portlandzement geringere Frühfestigkeiten verbunden. Es wurde untersucht, ob der Einsatz ausgewählter, derzeit nicht von der DIN EN 197-1 abgedeckter anorganischer Stoffe als Nebenbestandteil die (Früh-) Festigkeiten verschiedener Zementarten verbessert und ob andere Zementeigenschaften verändert werden.

Bei den ausgewählten Stoffen handelt es sich um Calciumsilicathydrate (CSH), Calciumaluminathydrate (CAH), Branntkalk (CaO), Löschkalk (Ca(OH)₂), gefälltes Siliciumdioxid (SiO₂), Calciumsulfoaluminat-Klinkermehl (CSA) und Calciumaluminat-zement (CA). Die CSH- und CAH-Phasen wurden durch Hydratation von Portlandzementklinkermehl bzw. CA-Zement eigens im Labor hergestellt. Alle Stoffe wurden als Nebenbestandteil mit jeweils 5 M.-% in verschiedenen Laborzementen (CEM I, CEM III/A, CEM III/B, CEM II/A-LL und CEM II/B-V) eingesetzt. Bei der Zusammensetzung der Laborzemente wurde der in den Grenzen der jeweiligen Zementart minimal erforderliche Klinkergehalt eingesetzt, um bei den Versuchen mögliche Effekte auf klinkerarme Zemente möglichst deutlich sichtbar zu machen. Als Folge davon waren etwa die Frühfestigkeiten des Referenzzementes mit CEM III/A-Zusammensetzung (35 M.-% Klinker, 60 M.-% Hütten sand, 5 M.-% Kalksteinmehl) relativ niedrig (1 d: 5,3 MPa, 2 d: 13,3 MPa).

An den Laborzementen wurden neben der Druckfestigkeit nach 1, 2, 28 und 91 d verschiedene Normeigenschaften (Wasseranspruch, Erstarrungsbeginn und -ende sowie ggf. Raumbeständigkeit) untersucht. Dadurch sollen auch mögliche negative Einflüsse der untersuchten Stoffe auf die Zementeigenschaften beim maximal für Nebenbestandteile erlaubten Gehalt (5 M.-%) erfasst werden. Des Weiteren wird untersucht, wie die verschiedenen als Nebenbestandteil eingesetzten Stoffe die Hydratation der Zemente und das Gefüge des Zementsteins beeinflussen und ob die Dauerhaftigkeit damit hergestellter Betone beeinträchtigt wird.

Beeinflussung der Zementeigenschaften

Das gefällte SiO₂ wies wie erwartet eine sehr hohe spezifische Oberfläche auf (> 1 900 000 cm²/g nach BET). Dadurch erhöhte es den Wasseranspruch der Laborzemente gegenüber den jeweiligen Referenzzementen (Nebenbestandteil Kalksteinmehl/nebenbestandteilsfrei) um bis zu 11,5 M.-% von 31,0 bis 34,0 M.-% auf 41,0 bis 43,5 M.-%. Der hohe Wasseranspruch hatte zudem zur Folge, dass die Dauer bis zum Erstarrungsbeginn um 35 bis 85 min verlängert wurde. Die Verwendung von CSA-Klinkermehl bzw. CA-Zement beim CEM III/A führte zu einer starken Verkürzung des Erstarrungsbeginns um 160 bzw. 165 min auf 20 bzw. 15 min (**Bild 2.3.10-1**). Das jeweilige Erstarrungsende lag bei 45 bzw. 30 min. Auch 5 M.-% CAH-Phasen reduzierten den Erstarrungsbeginn um 100 min, während das Erstarrungsende gegenüber der Referenz (Kalksteinmehl als Nebenbestandteil) unverändert blieb. CSA-Klinkermehl, CA-Zement und CAH-Phasen waren

2.3.10 Suitability of various inorganic substances for use as minor additional constituent ■

IGF project 17638 N supported by the AiF
Project period: 01/2013–12/2015

Background

As they have a lower proportion of Portland cement clinker than Portland cement, cements with several main constituents help to reduce CO₂ emissions. Generally speaking, low clinker contents are associated with lower early strengths as compared to Portland cement. A study was conducted to establish whether the use of selected inorganic substances not currently covered by DIN EN 197-1 as minor additional constituent improves the (early) strengths of various cement types and whether other cement properties are changed.

The selected substances are calcium silicate hydrate (CSH), calcium aluminate hydrate (CAH), quicklime (CaO), slaked lime (Ca(OH)₂), precipitated silicon dioxide (SiO₂), calcium sulphoaluminate clinker meal (CSA) and calcium aluminate cement (CA). The CSH and CAH phases were specially produced in the laboratory by way of the hydration of Portland cement clinker meal or CA cement. All the substances were used as minor additional constituent with 5 mass % in each case in various laboratory cements (CEM I, CEM III/A, CEM III/B, CEM II/A-LL and CEM II/B-V). As regards the composition of the laboratory cements, use was made of the minimum required clinker content within the limits of the corresponding cement type to make any effects on low-clinker cements as visible as possible in the tests. Consequently, the early strengths e.g. of the reference cement with CEM III/A composition (35 mass % clinker, 60 mass % blast furnace slag, 5 mass % limestone meal) were relatively low (1 d: 5.3 MPa, 2 d: 13.3 MPa).

In addition to the compressive strength after 1, 2, 28 and 91 d, various standard properties of the laboratory cements (water demand, initial and final setting time as well as, if appropriate, soundness) were investigated. This was intended to also allow the detection of possible negative effects of the substances investigated on the cement properties with the maximum content permitted for minor additional constituents (5 mass %). A study was also made of how the various substances used as minor additional constituents affect the hydration of the cements and the microstructure of the hardened cement paste and whether this has a detrimental influence on the durability of concretes produced with these.

Influence on cement properties

As expected, the precipitated SiO₂ had a very high specific surface (> 1 900 000 cm²/g according to BET). Consequently, it increased the water demand of the laboratory cements as compared to the respective reference cements (minor additional constituent limestone meal/without minor additional constituent) by as much as 11.5 mass % from 31.0–34.0 mass % to 41.0–43.5 mass %. The high water demand also led to the period before the initial setting time being extended by 35 to 85 min. The use of CSA clinker meal and CA cement for CEM III/A considerably shortened the initial setting time by 160 and 165 minutes to 20 and 15 minutes respectively (**Fig. 2.3.10-1**). The corresponding final setting times were 45 and 30 minutes. 5 mass % CAH phases also reduced the initial setting time by 100 minutes, whereas the final setting time remained unaltered in relation to the reference (limestone meal as

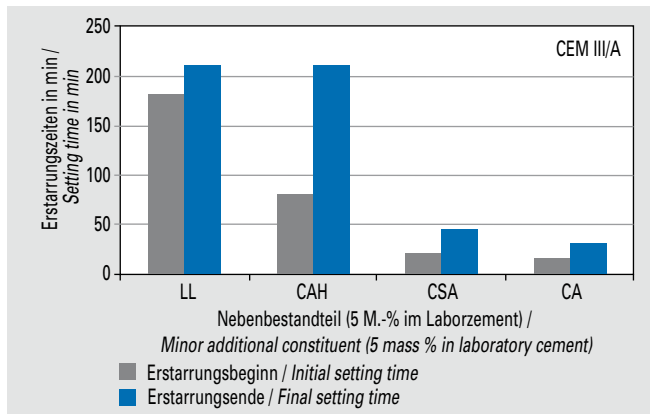


Bild 2.3.10-1 Erstarrungszeiten (Beginn und Ende) der Laborzemente mit CEM III/A-Zusammensetzung und verschiedenen Nebenbestandteilen

Fig. 2.3.10-1 Initial and final setting times of laboratory cements with CEM III/A composition and different minor additional constituents

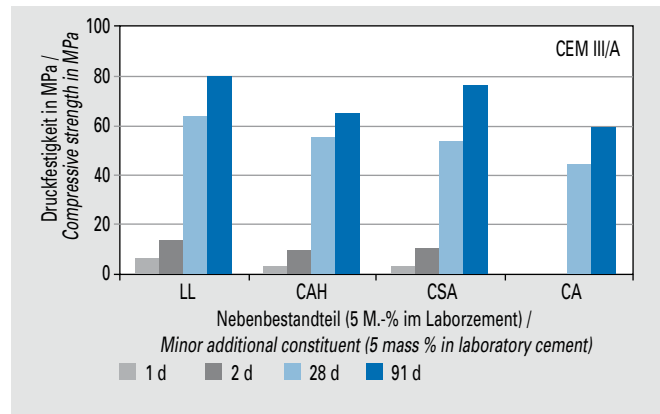


Bild 2.3.10-2 Druckfestigkeiten von Normmörtelprismen mit Laborzementen mit CEM III/A-Zusammensetzung und verschiedenen Nebenbestandteilen (1, 2, 28 und 91 d)

Fig. 2.3.10-2 Compressive strength of standard mortar prisms with laboratory cements with CEM III/A composition and different minor additional constituents (1, 2, 28 and 91 d)

als Aluminiumquellen ausgewählt worden, die potenziell in der Lage sein könnten, die Frühfestigkeit hüttensandhaltiger Zemente zu verbessern. Die 5%ige Zugabe beeinträchtigte nicht nur das Erstarrungsverhalten, sondern auch die Entwicklung der Frühfestigkeiten des Laborzements mit CEM III/A-Zusammensetzung. Nach 1 und 2 d waren die Festigkeiten bei Verwendung von 5 M.-% CA-Zement nicht messbar (**Bild 2.3.10-2**). Erste Untersuchungen weisen darauf hin, dass dies auf die Untersulfatisierung der Laborzemente infolge der Zugabe reaktiver Aluminate zurückzuführen ist. Beim Einsatz von je 5 M.-% Branntkalk, Löschkalk oder CSH-Phasen als Nebenbestandteil wurden in verschiedenen Laborzementen teilweise Steigerungen in den 1- oder 2-d-Festigkeiten von bis zu 20 % beobachtet.

Insgesamt betrachtet zeigen die Untersuchungen, dass eine pauschale Zugabe von die Hydratation potenziell beschleunigenden Stoffen nicht per se zu einer Erhöhung der Frühfestigkeiten führt. Die Systeme müssen einzeln optimiert werden, indem die Eigenschaften der Zementbestandteile aufeinander abgestimmt werden.

2.3.11 Wechselwirkungen zwischen Steinkohlenflugasche bzw. natürlichem getempertem Ton als Zementhauptbestandteil und Fließmitteln auf der Basis von Polycarboxylatether sowie deren Einflüsse auf rheologische Eigenschaften von Zementleim und Beton ■

IGF-Vorhaben 16726 N gefördert über die AiF
Projektzeitraum: 08/2012–07/2014

Hintergrund und Ziele

In Deutschland werden zunehmend Zemente mit Steinkohlenflugasche als weiterem Hauptbestandteil neben Klinker hergestellt. Zur Verringerung des Klinkeranteils im Zement sind auch getemperte Tone geeignet. Damit flugaschehaltige Zemente bzw. Zemente mit getempertem Ton vom deutschen Markt angenommen bzw. in diesen eingeführt werden können, müssen auch deren Einflüsse auf rheologische Eigenschaften von Beton sowie auf die Wirkung von Fließmitteln bekannt sein.

minor additional constituent). CSA clinker meal, CA cement and CAH phases had been selected as sources of aluminium which could be potentially capable of improving the early strength of cements containing blast furnace slag. The 5 % addition not only impaired the setting behaviour, but also the development of the early strengths of the laboratory cement with CEM III/A composition. After 1 and 2 d, the strengths were not measurable when using 5 mass % CA cement (**Fig. 2.3.10-2**). Initial analyses indicate that this can be attributed to the under-sulphatisation of the laboratory cements on account of the addition of reactive aluminates. Increases in the 1 or 2 d strengths of up to 20 % were observed in some cases in various laboratory cements on using 5 mass % quicklime, slaked lime or CSH phases as minor additional constituent.

All-in-all, the studies show that a general addition of substances potentially accelerating hydration does not necessarily lead to an increase in early strengths. The systems must be individually optimised by matching the properties of the cement constituents to one another.

2.3.11 Interactions between siliceous fly ash or natural calcined clay as cement main constituent and polycarboxylate ether-based superplasticizers and their influences on rheological properties of cement paste and concrete ■

IGF project 16726 N supported by the AiF
Project period: 08/2012–07/2014

Background and aims

In Germany cements are increasingly being produced with siliceous fly ash as a further cement main constituent alongside clinker. Calcined clays are also suitable for reducing the clinker content in cement. For cements containing fly ash and cements with calcined clay to be accepted on or introduced onto the German market, also influences of these cements on rheological properties of concrete and on the effect of superplasticizers must be known.

Es wurden Stoffparameter zur gezielten Steuerung der rheologischen Eigenschaften von Zementleim bzw. Beton sowie zur Wirkungsweise von Fließmitteln bestimmt. Der Anteil an Flugasche bzw. getempertem Ton in den Laborzementen betrug 20, 35 oder 55 M.-%. Alle Zemente wurden mit dem gleichen Klinker und Sulfatträger (CEM I 42,5 R) hergestellt.

Zemente mit Steinkohlenflugasche

Die Flugaschen erfüllten die Anforderungen der EN 197-1 an kieselsäurereiche Flugasche (V). Bei vergleichbarer chemisch-mineralogischer Zusammensetzung unterschieden sich zwei Flugaschen in der Feinheit (x') und in der Breite (n) ihrer Partikelgrößenverteilung sowie in der spezifischen Oberfläche nach BET (Tabelle in **Bild 2.3.11-1**). Die Unterschiede in der spezifischen Oberfläche ergaben sich vorrangig durch unterschiedliche Gehalte an porösem, kohlenstoffhaltigem Rückstand (Restkoks). Diese wurden über den Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) quantifiziert. Trotz deutlich größerem Gehalt an TOC bzw. Restkoks und daher deutlich größerer spezifischer Oberfläche verringerte die feine Flugasche mit breiter Partikelgrößenverteilung (V21) mit steigendem Anteil im Zement dessen Wasseranspruch. Mit diesen Zementen hergestellte Leime wiesen bei gleichem w/z-Wert jeweils einen geringeren Scherwiderstand und damit eine weichere Konsistenz als der Referenzleim mit Portlandzement CEM I auf (**Bild 2.3.11-1**). Bei vergleichbarer Konsistenz konnten mit diesen Flugaschezementen Leime mit geringeren w/z-Werten hergestellt werden. Ein geringerer w/z-Wert verringert die Entmischungsfahr und erhöht die Dauerhaftigkeit von Beton. Enthielt die Flugasche eine größere Anzahl an zusammengesinterten, nicht kugelförmigen Partikeln, war sie gröber und die Partikelverteilung enger (V11). Damit hergestellte Zemente wiesen jeweils einen größeren Wasseranspruch als der Portlandzement auf und entsprechende Zementleime jeweils eine steifere Konsistenz bzw. einen größeren Scherwiderstand (**Bild 2.3.11-1**). Die Verteilung und die Form der Flugaschepartikel beeinflussten die rheologischen Eigenschaften von Zementleim deutlich stärker als der Restkoksgehalt. Die Untersuchungen zeigten, dass bei Abstimmung der Partikelgrößenverteilungen des Klinkers und der Flugasche im Zement die Verarbeitbarkeit von Beton verbessert werden kann.

Wie aus der Tafel in **Bild 2.3.11-2** hervorgeht, wirkten leicht lösliche Bestandteile der Flugaschen, insbesondere Alkali- und

Material parameters were determined for the specific control of rheological properties of cement paste and concrete as well as for the mode of action of superplasticizers. The proportion of fly ash or calcined clay in the laboratory-made cements was 20, 35 or 55 mass %. All cements were produced with the same clinker and sulphate carrier (CEM I 42,5 R).

Cements with siliceous fly ash

The fly ashes met the requirements of EN 197-1 for siliceous fly ash (V). With a comparable chemical and mineralogical composition, two fly ashes differed in terms of the fineness (x') and width (n) of their particle size distribution as well as in terms of the BET specific surface (Table in **Fig. 2.3.11-1**). The differences in the BET specific surface were primarily the result of differing contents of porous, carbonaceous residue (residual coke). The content of residual coke was quantified by way of the total organic carbon (TOC) content. Despite its far greater TOC/residual coke content and its consequently far larger BET specific surface, an increasing proportion of the fine fly ash with broad particle size distribution (V21) in the cement reduced the water requirement of the cement. With the same w/c ratio, cement pastes produced with these cements exhibited a lower shear resistance in each case and thus a softer consistency than the reference cement paste with the Portland cement CEM I (**Fig. 2.3.11-1**). With a comparable consistency, it was possible to produce cement pastes with lower w/c ratios with these fly ash cements. A lower w/c ratio reduces the segregation sensitivity and increases the durability of concrete. Fly ash with a higher number of sintered and non-spherical particles was coarser with a narrower particle size distribution (V11). Cements produced with V11 always had a greater water requirement than the Portland cement and the corresponding cement pastes all had a stiffer consistency and a higher shear resistance (**Fig. 2.3.11-1**). The distribution and the shape of the fly ash particles influenced the rheological properties of cement paste to a far greater extent than the residual coke content. The analyses revealed that the workability of concrete can be improved by the adjustment of the particle size distributions of the clinker and the fly ash in the cement.

As can be seen from the table in **Fig. 2.3.11-2**, readily soluble fly ash constituents, in particular alkali and sulphate ions in V11, counteracted the pore solution dilution effect known from the

129

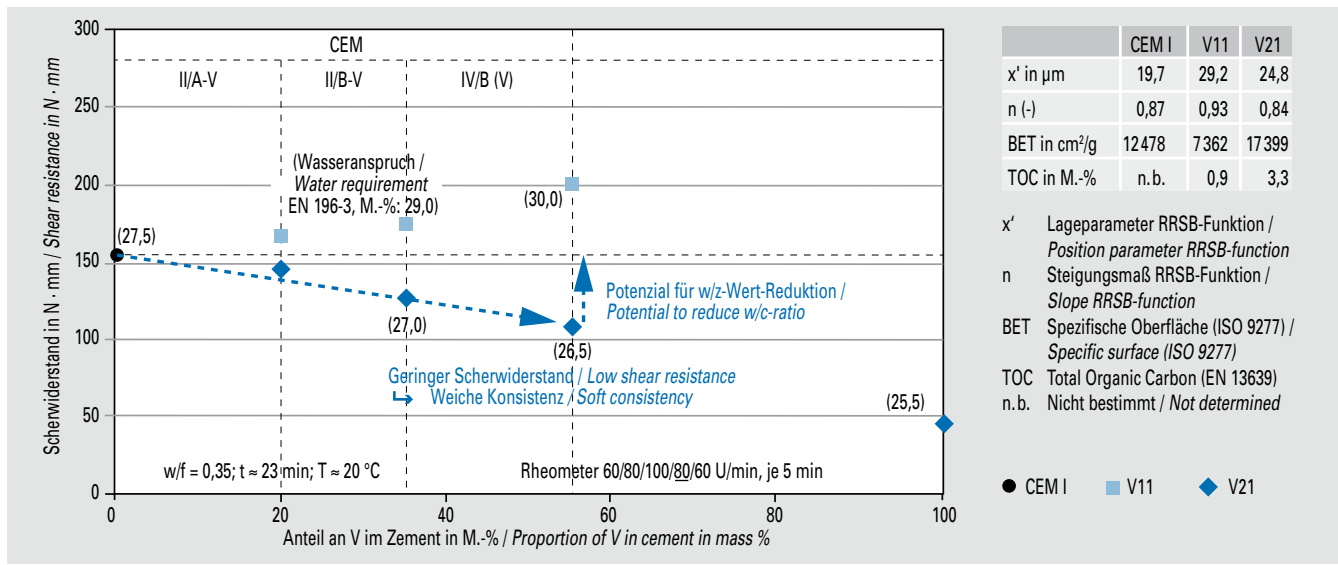


Bild 2.3.11-1 Scherwiderstand von Zementleim in Abhängigkeit von der Art und dem Anteil an Flugasche im Zement
Fig. 2.3.11-1 Shear resistance of fresh cement paste in dependence of the type and proportion of fly ash in the cement

Sulfationen in V11, dem von der Klinkersubstitution durch z. B. Hüttensand bekannten Verdünnungseffekt der Porenlösung entgegen. Dies kann mit steigendem Anteil an Flugasche im Zement die Zusammensetzung der Porenlösung sowie das Zeta-Potential von Zementleim und damit die Sorption und Wirkung von Fließmitteln deutlich beeinflussen. **Bild 2.3.11-2** zeigt die Verflüssigungsdauer eines PCE-Fließmittels für Transportbeton (PCE11) in Kombination mit dem Portlandzement CEM I und mit den Zementen mit 55 M.-% Flugasche V11 oder V21 (CEM IV/B (V)). Aufgrund der im Vergleich zum Portlandzement nahezu unveränderten Konzentration an SO_4^{2-} in der Porenlösung des Zements Z55V11 und des nahezu gleichen Zeta-Potentials (Tabelle in **Bild 2.3.11-2**) verhielt sich das PCE11 in Kombination mit diesem Zement ähnlich wie mit dem Portlandzement. Das schwach negativ geladene PCE11 verblieb zunächst vorrangig unsorbiert in der Porenlösung. Es sorbierte über die Versuchsdauer und verflüssigte den Zementleim. In Kombination mit dem Zement Z55V21 führte die geringere Sulfationenkonzentration und das positivere Zeta-Potential zu einer stärkeren Sorption des PCE11. In Kombination mit der größeren spezifischen Oberfläche der V21 führte dies zu einem verstärkten Rücksteifen des Zementleims. Dies zeigt, dass die Abstimmung des Fließmittels auf die Zement- und insbesondere Betonzusammensetzung von großer Bedeutung ist.

Zemente mit getempertem Ton

Die zu tempernden Tone waren von minderer keramotechnischer Qualität, hoher Verfügbarkeit und unterschieden sich in der mineralogischen Zusammensetzung. Die für die Untersuchungen zur Rheologie und Dauerhaftigkeit (Abschnitt 2.3.7) erforderlichen großen Mengen an getempertem Ton wurden in einem elektrisch beheizbaren Kammerofen (Brennraum: 450 l) zu Chargen von jeweils etwa 55 kg oxidierend gebrannt und kühlten natürlich ab. Die getemperten Tone erfüllten die Anforderung der EN 197-1 an ein natürliches getempertes Puzzolan (Q) von $\geq 25,0$ M.-% reaktionsfähigem SiO_2 . Sie unterschieden sich im Gehalt an nicht zersetzten Tonmineralen. Die getemperten Tone wurden in einer Kugelmühle auf gleiche Feinheit ($x' \approx 13 \mu\text{m}$) gemahlen. Das Steigungsmaß n der jeweiligen Partikelgrößenverteilung betrug rund 0,7. Durch Abstimmung der Partikelgrößenverteilung des jeweiligen getemperten Tons auf die des Klinkers (Füllereffekt) konnten Zemente hergestellt werden, deren jeweiliger Wasseranspruch mit dem von Portlandzement vergleichbar oder nur geringfügig höher war. Mit diesen Zementen hergestellte Leime wiesen jeweils eine mit

clinker substitution with blast furnace slag for example. With an increasing proportion of fly ash in the cement this can have a significant influence on the composition of the pore solution and the zeta potential of cement paste and thus on the sorption and dispersing effect of superplasticizers. **Fig. 2.3.11-2** shows the duration of plastification of a PCE superplasticizer for ready-mixed concrete (PCE11) in combination with the Portland cement CEM I and the cements with 55 mass % fly ash V11 or V21 (CEM IV/B (V)). On account of the virtually unchanged concentration of SO_4^{2-} in the pore solution of the cement Z55V11 in comparison to the Portland cement and the more or less identical zeta potential (Table in **Fig. 2.3.11-2**), the behaviour of the PCE11 in combination with this cement was similar to that with the Portland cement. The PCE11 with low negative charge initially remained for the most part unsorted in the pore solution. Sorption took place over the duration of the test and the cement paste was plasticised. In combination with the cement Z55V21, the lower sulphate ion concentration and the more positive zeta potential led to greater sorption of the PCE11. Together with the larger BET specific surface of V21, this resulted in intensified stiffening of the cement paste. The analyses showed the importance of adjusting the superplasticizer to the cement and in particular to the concrete composition.

Cements with calcined clay

The clays to be calcined were of low ceramic qualities with a high level of availability and differed in terms of their mineralogical composition. The large quantities of calcined clay required for investigating rheology and durability (Section 2.3.7) were calcined with an oxidising atmosphere in an electrically heated chamber furnace (combustion chamber: 450 l) in roughly 55 kg batches and allowed to cool naturally. The calcined clays met the requirement of EN 197-1 for a natural calcined pozzolona (Q) with $\geq 25,0$ mass % reactive SiO_2 . They contained different amounts of non-decomposed clay minerals. The calcined clays were ground in a ball mill to the same fineness ($x' \approx 13 \mu\text{m}$). The slope n of the particle size distribution in each case was around 0.7. Adjustment of the particle size distribution of the corresponding calcined clay to that of the clinker (filler effect) made it possible to produce cements with a water requirement comparable to that of Portland cement or only slightly higher. Cement pastes produced with these cements all exhibited a consistency comparable to the reference cement paste with Portland cement.

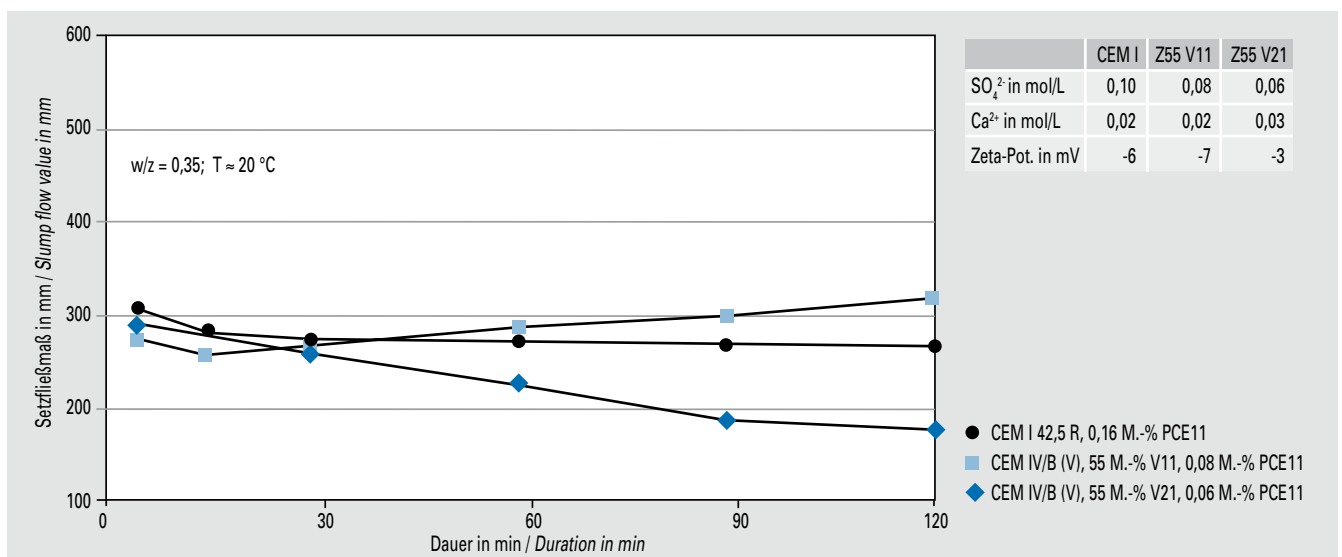


Bild 2.3.11-2 Setzfließmaß von Zementleim in Abhängigkeit von der Art und dem Anteil an Flugasche im Zement sowie dem Fließmittel
Fig. 2.3.11-2 Slump flow value of fresh cement paste in dependence of the type and proportion of fly ash in the cement and the superplasticizer

dem Referenzleim mit Portlandzement vergleichbare Konsistenz auf. Ein kaolinitisch-illitischer Ton wurde bei 800 °C getempert (Q31). Er wies 29 M.-% reaktionsfähiges SiO₂ sowie noch relativ viele Tonminerale (hoher Methyleneblauwert, MBW) und daher eine sehr große spezifische BET-Oberfläche auf (Tabelle in Bild 2.3.11-3). Durch das Wasserbindevermögen der Tonminerale bzw. deren große spezifische Oberfläche wiesen mit Q31 hergestellte Zemente jeweils einen sehr hohen Wasseranspruch von bis zu 43 M.-% auf. Mit diesen Zementen hergestellte Leime waren bei dem gewählten w/z-Wert von 0,35 nicht prüffähig. Wurde der Ton bei 1000 °C bzw. 1100 °C getempert (Q32 bzw. Q33), zersetzten sich die Tonminerale (reduzierter MBW) und die spezifische Oberfläche verringerte sich signifikant. Damit hergestellte prüffähige Zemente wiesen einen deutlich geringeren Wasseranspruch auf. Bild 2.3.11-3 zeigt, dass bei vergleichbarem Scherwiderstand von Zementleim die Substitution des Klinkers durch getemperten Ton im Zement mit steigender Brenntemperatur des Tons erhöht werden konnte. Die Zementleime mit den Zementen mit Q33 wiesen jeweils einen gleichen bzw. geringeren Scherwiderstand als die Leime mit dem Portlandzement bzw. mit den Zementen mit Q32 auf. Die Zemente erfüllten mindestens die Anforderungen der Festigkeitsklasse 32,5. Die Untersuchungen zu den Einflüssen der Brenntemperatur wurden zusätzlich finanziell durch die Dres. Edith und Klaus Dyckerhoff-Stiftung gefördert.

Im Gegensatz zu Flugasche (s.o.) wiesen die getemperten Tone keine leicht löslichen Bestandteile auf. Mit steigendem Anteil an getempertem Ton im Zement verringerte sich somit die Konzentration der Alkali- und Sulfationen in der Porenlösung deutlich, die der Calciumionen blieb gleich oder stieg geringfügig an. Deshalb und auch infolge der verringerten Sulfationenkonzentration sorbierten Fließmittel verstärkt. Mit der Zersetzung der Tonminerale bzw. der Verringerung der spezifischen Oberfläche der getemperten Tone verringerte sich die zur Verflüssigung des jeweiligen Zements erforderliche Fließmittelmenge. Dies kann in Verbindung mit der verstärkten Sorption zu einer Verringerung der spezifischen Wirkung der Fließmittel, wie z. B. der Konsistenzhaltung, führen.

Die für den jeweiligen Ton erforderlichen Brennbedingungen sind somit nicht nur hinsichtlich der maximalen Druckfestigkeit von damit hergestelltem Zement, sondern auch mit Hinblick auf dessen Verarbeitbarkeit sowie Dauerhaftigkeit (Abschnitt 2.3.7) zu optimieren.

One kaolinite-illitic clay was calcined at 800 °C (Q31). It exhibited 29 mass % reactive SiO₂ and still a relatively high content of non-decomposed clay minerals (high methylene blue value, MBV) and hence a very large BET specific surface (Table in Fig. 2.3.11-3). Due to the water-binding capacity of the residual clay minerals and their large BET specific surface, cements produced with Q31 all had a very high water requirement of up to 43 mass %. Cement pastes produced with these cements were not testable with the chosen w/c ratio of 0.35. Calcining this clay at 1000 °C and 1100 °C (Q32 and Q33) caused the residual clay minerals to decompose (reduced MBV) and brought about a significant reduction in the BET specific surface. The water requirement of testable cements with Q32 or Q33 was far lower. Fig. 2.3.11-3 shows that with a comparable shear resistance of the cement paste, the substitution of calcined clay for clinker in the cement can be increased with increasing clay calcining temperatures. The cement pastes with the cements with Q33 all had the same or a lower shear resistance than the pastes with Portland cement or with the cements with Q32. The cements at least met the requirements of strength class 32,5. The studies on the influences of the calcining temperature were additionally financed by the Dr. Edith and Dr. Klaus Dyckerhoff foundation.

In contrast to fly ash (see above), the calcined clays did not reveal any readily soluble constituents. An increasing amount of calcined clay in the cement thus led to a distinct reduction in the concentration of alkali and sulphate ions in the pore solution, whereas that of the calcium ions remained the same or increased slightly. For this reason and also as a result of the lower sulphate ion concentration, increased superplasticizer sorption occurred. The decomposition of the clay minerals and the reduction of the BET specific surface of the calcined clays were associated with a reduction in the amount of superplasticizer required to fluidise the corresponding cement paste. In conjunction with the increased sorption, this can lead to a decrease in the specific effect of the superplasticizers, in terms of maintaining consistency for example.

There is thus a need to optimise the calcining conditions required for the corresponding clay, not just in terms of the maximum compressive strength of cement produced with it, but also with regard to its workability and durability (2.3.7).

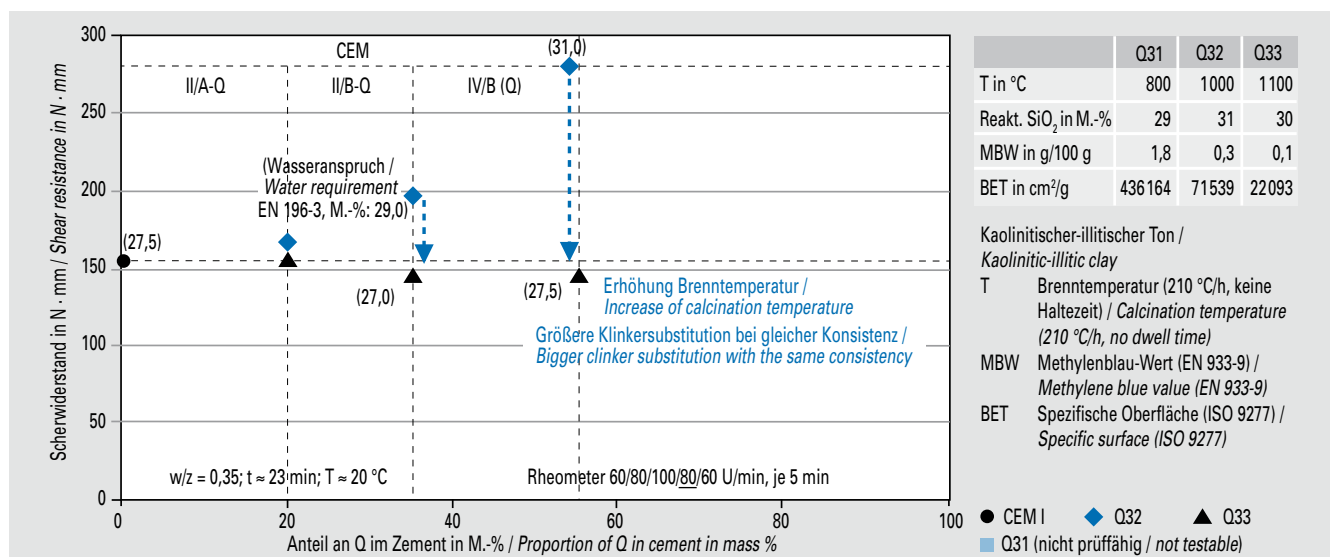


Bild 2.3.11-3 Scherwiderstand von Zementleim in Abhängigkeit von der Brenntemperatur des Tons und dem Anteil an getempertem Ton im Zement
Fig. 2.3.11-3 Shear resistance of cement paste in dependence of clay's calcination temperature and the proportion of calcined clay in the cement

2.3.12 Analysenkonzept zur Quantifizierung von Zement, seinen Hauptbestandteilen sowie Zusatzstoffen in erhärteten Betonen ■

IGF-Vorhaben 17829 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 06/2013–11/2015

Hintergrund

Bei einer Revitalisierung und Umnutzung von Bauwerken mit zementgebundenen Baustoffen, aber auch bei Mängeln und Schadensfällen, ist die Kenntnis der Betonzusammensetzung von großer Bedeutung. Oft liegen entsprechende baubegleitende Dokumentationen nicht mehr vor. Deshalb wäre eine präzise nachträgliche Bestimmung des Zementgehaltes, der Zementart, des Gehaltes an Zusatzstoffen und Gesteinskörnung im Festbeton wünschenswert und notwendig. Dies ist jedoch mit den bisher verfügbaren Analyseverfahren nicht oder nur unzureichend möglich. Daher werden die Leistungsfähigkeit der verfügbaren Verfahren auf den Prüfstand gestellt und neue Analyseansätze entwickelt, mit denen der Zementgehalt sowie die Zementart oder der Zusatzstoffgehalt am erhärteten Beton zuverlässig bestimmt werden können.

Nasschemische Analyse oder Bildanalyse

Zum einen sollen nasschemische Methoden in Anlehnung an DIN 52170 und CEN/TR 196-4 so optimiert werden, dass möglichst viele Parameter mit möglichst hoher Genauigkeit bestimmt werden können. Zum anderen werden bildanalytische Ansätze untersucht, deren Bilder durch Element-Mappings mittels Mikro-Röntgenfluoreszenzanalyse (Mikro-RFA) und energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) gewonnen werden. Die so ermittelten Methoden sollen an diversen Betonen validiert werden. Die Einflüsse des Zement- und Zusatzstoffgehaltes, des Betonalters, verschiedener Zementarten und Gesteinskörnungen auf die Anwendbarkeit und die Genauigkeit der Verfahren sollen ermittelt werden.

Betonzusammensetzungen

Zunächst wurden sieben Betone mit bekannter Zusammensetzung hergestellt (**Tabelle 2.3.12-1**). Bislang wurden drei verschiedene Zementarten (CEM I, CEM II/B-M (S,LL), CEM III/B), zwei verschiedene Gesteinskörnungen (Rheinkies, Kalksteinsplitt) sowie ggf. Flugasche als Zusatzstoff eingesetzt. Im Alter von 91 Tagen wurden die Betonwürfel für die nasschemischen und bildanalytischen Verfahren vorbereitet.

Zementgehaltsbestimmung nach DIN 52170

Die Zementgehaltsbestimmung nach DIN 52170 beruht im Wesentlichen auf der Annahme, dass der Zementstein und alle Zementbestandteile durch Salzsäure gelöst werden können und die Gesteinskörnung salzsäureunlöslich oder carbonatisch ist. Ungenauigkeiten bei der Bestimmung des Zementgehaltes treten insbesondere bei Abweichungen von diesen Annahmen auf. Dass Betone reaktive Zusatzstoffe, wie z. B. Steinkohlenflugasche enthalten können, wurde in dieser Norm, die im Jahr 1980 veröffentlicht wurde, nicht betrachtet und führt ebenfalls zu einer Unschärfe bei der Zementgehaltsbestimmung. **Bild 2.3.12-1** zeigt die nach DIN 52170-2 ermittelten Zementgehalte der Betone B0 bis B6 und den Vergleich mit den in der Betonrezeptur vorgegebenen Zementgehalten (Sollwert). Dieser Vergleich zeigt bei drei Betonen (B2, B4, B5) relativ gute Übereinstimmungen. Bei einem Beton (B6) wurde der Zementgehalt über- und bei drei Betonen (B0, B1, B3) deutlich unterbestimmt (bis zu 23 M.-%). Dieses Ergebnis zeigt,

2.3.12 Analytical concept for the quantification of cement, its main constituents and additions in hardened concretes ■

IGF project 17829 N supported by the AiF
Project period: 06/2013–11/2015

Background

Knowledge of the concrete composition is very important in terms of the revitalisation and conversion of buildings with cement-bound building materials, as well as in the case of defects and damage. Often, the corresponding documentation accompanying construction is no longer available. For this reason, precise subsequent determination of the cement content, cement type, addition content and aggregate in the hardened concrete would be desirable and necessary. This is however not possible, or only to an insufficient extent, with the analytical methods currently available. The performance of the available methods is therefore to be investigated and new analytical approaches developed to permit the reliable determination of the cement content as well as the cement type or the addition content of hardened concrete.

Wet chemical analysis or image analysis

On the one hand, wet chemical methods based on DIN 52170 and CEN/TR 196-4 are to be optimised in such a way that as many parameters as possible can be determined as accurately as possible. On the other hand, image analysis-based approaches are to be investigated, in which images are obtained through element mapping by way of micro X-ray fluorescence analysis (micro XRF) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX). The methods obtained are then to be validated on various concretes. The influences of cement and addition content, the age of the concrete and various cement types and aggregates on the applicability and precision of the methods are to be determined.

Concrete compositions

To start with, seven concretes of known composition were produced (**Table 2.3.12-1**). So far, use has been made of three different cement types (CEM I, CEM II/B-M (S,LL), CEM III/B), two different aggregates (Rhenish gravelly sand, crushed limestone) and sometimes fly ash as additive. At an age of 91 days the concrete cubes were prepared for wet chemical and image analysis.

Determination of cement content as per DIN 52170

DIN 52170 is essentially based on the assumption that the hardened cement paste and all cement constituents can be dissolved by hydrochloric acid and that the aggregate is insoluble in hydrochloric acid or that it is a carbonate. Inaccuracies in the determination of the cement content occur in particular in the case of non-conformity with these assumptions. The fact that concretes may contain reactive additions such as siliceous fly ash was not taken into consideration in this standard published in 1980 and also results in indistinct determination of the cement content. **Fig. 2.3.12-1** shows the cement contents of the concretes B0 to B6 determined in accordance with DIN 52170-2 and a comparison with the cement contents (target values) specified in the concrete mix formulation. This comparison reveals relatively good correlation for three concretes (B2, B4, B5). For one concrete (B6) the cement content determined was too high and for three concretes (B0, B1, B3) it was far too low (up to 23 mass %). This indicates that the standardised method used for cement content determination in Germany on the basis of DIN 52170 is able to yield good

Tabelle 2.3.12-1 Betonrezepturen von sieben Betonen, die zur nachträglichen Analyse der Betonzusammensetzung hergestellt wurden**Table 2.3.12-1** Composition of seven concretes, mixed for the subsequent determination of the cement content

| | | B 0 | B 1 | B 2 | B 3 | B 4 | B 5 | B 6 |
|---|---------------------------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| Zementgehalt / Cement content | [kg/m ³] | 320 | | | | 320 | | |
| w/z _{eq} | | 0,55 | | | | 0,55 | | |
| Flugaschegehalt / Fly ash content | [kg/m ³] | 0 | | | | 60 | | |
| Zementart / Cement type | CEM I | x | x | x | | | | |
| | CEM II/B-M (S, LL) | | | | x | x | | |
| | CEM III/B | | | | | | x | x |
| Gesteinskörnung (Sieblinie A/B 16) / Aggregate (grading curve A/B 16) | silikatisch / siliceous | x | x | | x | | x | |
| | carbonatisch / carbonatic | | | x | | x | | x |

das das in Deutschland genormte Verfahren zur Zementgehaltsbestimmung nach DIN 52170 zwar in einigen Fällen gute Ergebnisse liefern kann, häufig jedoch große Abweichungen zwischen den Analyseergebnissen und den tatsächlichen Zementgehalten in den Betonen bestehen. Insbesondere Minderbefunde bei der Bestimmung des Zementgehalts können in Gutachten zu falschen Schlussfolgerungen führen.

Auf der Suche nach alternativen Methoden

Alternativ zur DIN 52170 wird die Eignung der Bildanalyse für die Bestimmung des Zementgehaltes überprüft. Diese Analyse wurde an Betonquerschnitten auf Flächen von je 100 cm² durchgeführt. Ein Mikro-RFA-Mapping einer solchen Fläche von Beton B5 für das Element Calcium ist in **Bild 2.3.12-2** gezeigt. Da die verwendete Gesteinskörnung (Rheinkiesand A/B 16) sehr wenig Calcium enthielt, erscheint die Gesteinskörnung auf diesem Mapping schwarz. Über die Bestimmung der Flächenanteile der Gesteinskörnung und der Bindemittelmatrix sollen die Anteile der Gesteinskörnung sowie des Bindemittels bestimmt werden. Diese Bestimmung ist sowohl von der Repräsentativität der untersuchten Gesamtfläche, der Auflösung der bildgebenden Methode (Mikro-RFA), der bildanalytischen Auswertung sowie der Umrechnung der Flächenanteile in Massenanteile und ggf. von weiteren Faktoren abhängig. Der Einfluss dieser Faktoren auf das Ergebnis der Zementgehaltsbestimmung wird derzeit untersucht.

results in certain cases but that considerable non-conformity often exists between the analysis results and the actual cement contents of the concretes. Especially low findings when determining the cement content can lead to incorrect conclusions being drawn in expert reports.

The search for alternative methods

As an alternative to DIN 52170, the suitability of image analysis for the determination of the cement content is being investigated. This analysis was performed on concrete cross-sections over areas of 100 cm² in each case. The micro-XRF element mapping of such an area of concrete B5 for calcium is shown in **Fig. 2.3.12-2**. As the aggregate used (Rhenish gravelly sand with a grading curve A/B 16 according to DIN 1045-2) contained very little calcium, the aggregate appears black in this mapping. The proportions of aggregate and binder are to be determined by way of determination of the area percentages of the aggregate and binder matrix. Such determination depends on the representativeness of the total area examined, the resolution of the imaging method (micro-XRF) and image analysis as well as on conversion of the area percentages into weight percentages and possibly also other factors. The influence of these factors on the result of cement content determination is currently being studied.

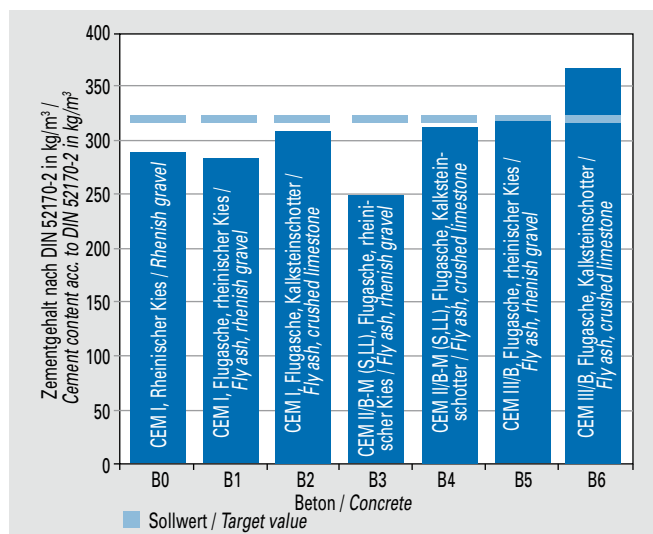


Bild 2.3.12-1 Vergleich der nach DIN 52170-2 ermittelten Zementgehalte von 7 Betonen mit dem tatsächlichen Zementgehalt
Fig. 2.3.12-1 Cement content of 7 concretes compared with the determined cement contents according to DIN 52170-2

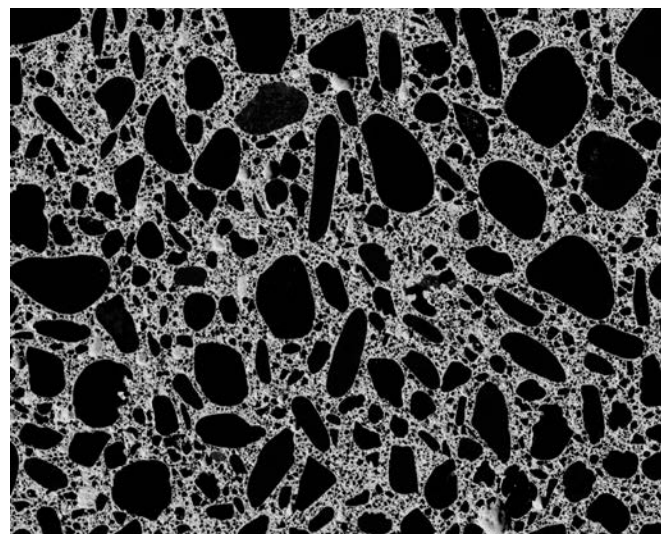


Bild 2.3.12-2 Mikro-RFA Element-Mapping (Calcium) eines Betonquerschnitts von Beton B5 mit einer Kantenlänge von 10 cm
Fig. 2.3.12-2 Micro-XRF element mapping (calcium) of a concrete cross section

2.3.13 Analysekonzep zur Bestimmung von Spurenelementen in Eluaten zementgebundener Baustoffe ■

IGF-Vorhaben 16989 N gefördert durch die AiF
 Projektpartner: Institut für Bauforschung (ibac), RWTH Aachen
 Projektzeitraum: 06/2012–05/2014

Hintergrund und Ziele

Für den Bereich Grundwasser und Boden erfolgt der Nachweis der Umweltverträglichkeit von Bauprodukten anhand von Auslaugversuchen, bei denen die Freisetzung von Spurenelementen ermittelt wird. Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass aus zementgebundenen Baustoffen nur sehr geringe Spurenelementmengen auslaugen. Ziel des Vorhabens war es, Ursachen für die teilweise auftretenden größeren Streuungen der Analyseergebnisse bei Vergleichsversuchen zum Langzeitstandtest zu identifizieren. Es wurden Maßnahmen erarbeitet, die zu einer Verbesserung der Reproduzierbarkeit sowie der Vergleichbarkeit der Ergebnisse führen.

Lagerung der Probekörper variiert

Als Probekörper für den Langzeitstandtest wurden 15 Betonwürfel mit einer Kantenlänge von 10 cm hergestellt (CEM I 42,5 R = 280 kg/m³, w/z = 0,6, Rheinkiesand A/B 16 = 1915 kg/m³) und die Behandlungs- und Lagerungsbedingungen systematisch variiert. Alle Probekörper wurden nach einem Tag ausgeschalt und 56 Tage vorgelagert. Drei dieser Würfel wurden in einem Klimaraum bei 20 °C und 95 % rel. Luftfeuchte vorgelagert. Diese Würfel hatten somit über die gesamte Lagerungszeit Luftkontakt und die Möglichkeit, oberflächlich zu carbonatisieren (hellblau in den **Bildern 2.3.13-1** und **2.3.13-2** dargestellt). Drei weitere Würfel wurden dreifach in PE-Folie eingeschweißt und bei 20 °C bis zu einem Alter von 7 Tagen gelagert. Bei einem Alter von 7 Tagen wurden diese Würfel der Folie entnommen und in einem Klimaraum bei 20 °C und 65 % rel. Luftfeuchte bis zu einem Alter von 56 Tagen weiter vorgelagert (mittelblau in den **Bildern 2.3.13-1** und **2.3.13-2**). Auch diese Würfel hatten somit über mehrere Wochen Kontakt zu Luft und damit die Möglichkeit, eine oberflächliche Carbonatisierungsschicht aufzubauen. Die neun verbleibenden Würfel wurden ebenfalls separat dreifach in Folie eingeschweißt und bei 20 °C bis zu einem Alter von 56 Tagen vorgelagert. Durch den Luftsabschluss konnten diese Würfel nicht carbonatisieren (dunkelblau in den **Bildern 2.3.13-1** und **2.3.13-2**).

Oberflächenbehandlung und Auslaugung

Im Alter von 56 Tagen wurden die neun in Folie verschweißten Würfel ausgepackt. Die Oberfläche von drei Würfeln wurde mit einer Kunststoffbürste händisch abgebürstet und mit Druckluft gereinigt (schwarz gestrichelt in den **Bildern 2.3.13-1** und **2.3.13-2**). Drei weitere Würfel wurden für drei Sekunden in entionisiertes Wasser getaucht, um oberflächlich anhaftende Verunreinigungen abzuwaschen (grau in den **Bildern 2.3.13-1** und **2.3.13-2**). Die verbleibenden drei Würfel wurden ohne eine Oberflächenbehandlung in dem Langzeitstandtest untersucht. Im Langzeitstandtest wurden alle Würfel insgesamt für 64 Tage in einzelnen Behältern in deionisiertem Wasser eluiert. Das Wasser wurde dabei nach acht definierten Zeiträumen (0,25 d, 1 d, 2,25 d, 4 d, 9 d, 16 d, 36 d, 64 d) gewechselt und jeweils auf die Spurenelementgehalte analysiert. Hierzu wurden die Eluate aufgeteilt und in beiden Forschungsstellen parallel untersucht.

Grundsätzlich sind die ermittelten Freisetzungen von Kobalt aus den 15 Betonwürfeln (**Bild 2.3.13-1**) als sehr gering einzustufen

2.3.13 Analytical concept for the determination of trace elements in eluates of cement-bound building materials ■

IGF project 16989 N supported by the AiF
 Project partner: Institute of Building Research (ibac), Aachen University
 Project period: 06/2012–05/2014

Background and aims

With regard to groundwater and soil, the environmental compatibility of construction products is verified on the basis of leaching tests in which the release of trace elements is determined. Numerous investigations have proven that only very low quantities of trace elements leach out of cement-bound building materials. The aim of the project was to identify the causes of the sometimes greater scatter in the analysis results from comparison trials with respect to the long-term tank leaching test. Measures were developed to improve the reproducibility and comparability of the results.

Varying test specimen storage conditions

15 concrete cubes with an edge length of 10 cm (CEM I 42,5 R = 280 kg/m³, water-cement ratio = 0.6, Rhenish gravelly sand with a grading curve A/B 16 according to DIN 1045-2, 1915 kg/m³) were produced as test specimens for the long-term tank leaching test and the treatment and storage conditions were systematically varied. All the test specimens were demoulded after one day and put into preliminary storage for 56 days. Three of these cubes were placed in preliminary storage in a climatic chamber at 20 °C and 95 % relative humidity. These cubes were therefore in contact with air over the entire storage period and surface carbonation was possible (shown in light blue in **Fig.s 2.3.13-1** and **2.3.13-2**). Another three cubes were sealed in three layers of PE foil and stored at 20 °C until they were 7 days old. On reaching an age of 7 days these cubes were removed from the foil and subjected to further preliminary storage in a climatic chamber at 20 °C and 65 % relative humidity until they were 56 days old (mid-blue in **Fig.s 2.3.13-1** and **2.3.13-2**). These cubes thus also had contact with air for several weeks and were able to build up a surface carbonation layer. The nine remaining cubes were also separately sealed in three layers of foil and placed in preliminary storage at 20 °C until they were 56 days old. Due to the exclusion of air, carbonation was not possible on these cubes (dark blue in **Fig.s 2.3.13-1** and **2.3.13-2**).

Surface treatment and leaching

At an age of 56 days the nine cubes sealed in foil were unpacked. The surface of three of the cubes was brushed by hand with a plastic brush and cleaned with compressed air (dashed black line in **Fig.s 2.3.13-1** and **2.3.13-2**). Three other cubes were immersed for three seconds in de-ionized water to wash off any impurities clinging to the surface (grey in **Fig.s 2.3.13-1** and **2.3.13-2**). The remaining three cubes were examined without surface treatment in the long-term tank leaching test. In this test, all the cubes were eluted for a total of 64 days in de-ionized water in separate tanks. The water was changed after eight defined time periods (0.25 d, 1 d, 2.25 d, 4 d, 9 d, 16 d, 36 d, 64 d) and analysed for its trace element content in each case. For this purpose the eluates were divided up and examined in parallel at both research locations.

The release of cobalt from each of the 15 concrete cubes (**Fig. 2.3.13-1**) can generally be viewed as very low and well below the

und liegen weit unter den geltenden zulässigen Freisetzen (rund $5,9 \text{ mg/m}^2$). Die Freisetzungskurven für die einzelnen oberflächenbehandelten Würfel liegen nahezu übereinander (schwarz und grau) und unterscheiden sich nur geringfügig von identisch gelagerten, aber nicht oberflächenbehandelten Würfeln (dunkelblau). Dahingegen setzten die Würfel, die während der Vorlagerung Luftkontakt hatten (mittelblau und hellblau), wesentlich weniger Kobalt frei, als die 56 Tage in Folie vorgelagerten Würfel. Diese geringere Freisetzung kann damit begründet werden, dass das Gefüge der carbonatisierten Probekörper dichter und damit undurchlässiger ist. Zudem erfolgt die Freisetzung pH-abhängig, sodass mit sinkendem pH-Wert auch die Kobaltfreisetzung abnimmt. Die maximalen Freisetzen von Chrom (Bild 2.3.13-2) liegen insgesamt deutlich unter den zulässigen Freisetzen (rund $3,5 \text{ mg/m}^2$). Hier ist im Vergleich zum Kobalt ein anderes Verhalten zu beobachten. Aus den carbonatisierten Probekörpern wurde mehr Chrom freigesetzt als aus den anderen Betonwürfeln. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass die Freisetzung von sogenannten Oxoanionen, wie z. B. Chromaten (CrO_4^{2-}), auch abhängig vom pH-Wert erfolgt. Mit sinkendem pH-Wert, z. B. aufgrund von Carbonatisierung, kann hierbei ein größerer Anteil dieser Oxoanionen in die Lösung übergehen und eluieren.

Einheitliche Lagerung und Analyse notwendig

Die Ergebnisse zeigen, dass für ein reproduzierbares, vergleichbares und damit belastbares Ergebnis als Grundlage für die Beurteilung der Umweltverträglichkeit eines Baustoffes nicht nur eine korrekte Analytik, sondern insbesondere eine definierte Probenlagerung und -behandlung unverzichtbar sind. Diese Anforderung kann z. B. über die Vorlagerung des Betons in Folie unter Luftabschluss auch in verschiedenen Laboratorien praktikabel erfüllt werden. Über die hier gezeigten Ergebnisse hinaus wurden in dem Projekt verschiedene Eluatstabilisierungen und Analysemethoden für die Eluatanalytik auf ihre Eignung untersucht und mögliche Fehlerquellen identifiziert. Die erarbeiteten Ergebnisse wurden verwendet, um die bestehende Vorschrift CEN/TS 16637-2 für den Langzeitstandtest zu konkretisieren und zu ergänzen.

German limit value (around 5.9 mg/m^2). The release curves for the individual surface-treated cubes virtually coincide (black and grey) and differ only slightly from cubes stored in identical conditions but not surface-treated (dark blue). In contrast, the cubes which had contact with air during preliminary storage (mid-blue and light blue) released far less cobalt than the cubes put into preliminary storage wrapped in foil for 56 days. The reason for this lower release level is that the microstructure of the carbonated test specimens is denser and thus less permeable. In addition, the level of release depends on the pH value and so cobalt release decreases with a decreasing pH value. All-in-all, the maximum chromium release levels (Fig. 2.3.13-2) are well below the German limit value (around 3.5 mg/m^2). As compared to cobalt, a different behaviour can be observed here. More chromium was released from the carbonated test specimens than from the other concrete cubes. This can be attributed to the fact that the release of so-called oxyanions such as chromates (CrO_4^{2-}) also depends on the pH value. As the pH value drops, e.g. due to carbonation, a greater proportion of these oxyanions go into solution and elute.

Uniform storage and analysis necessary

The findings show that not just correct analysis but, in particular, defined specimen storage and treatment are essential to obtain a reproducible, comparable and thus verifiable result as a basis for assessment of the environmental compatibility of a building material. This requirement can, for example, be practically fulfilled in different laboratories by placing the concrete in preliminary storage in foil with the exclusion of air. Above and beyond the results shown here, the project also investigated the suitability of various forms of eluate stabilisation and methods of eluate analysis and identified possible sources of error. The results obtained were used to specify and supplement the existing technical specification CEN/TS 16637-2 for the long-term tank leaching test.

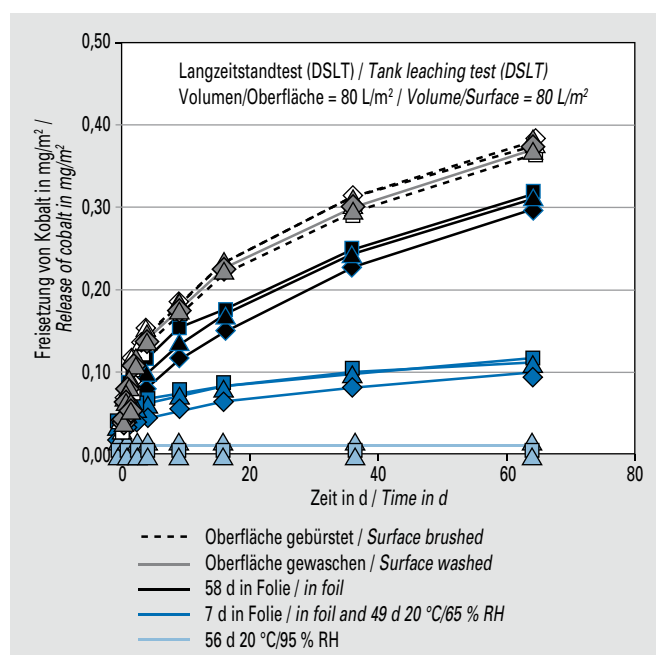


Bild 2.3.13-1 Freisetzung von Kobalt im Langzeitstandtest bei unterschiedlicher Betonvorlagerung

Fig. 2.3.13-1 Release of cobalt in the tank-leaching test with different preliminary storage conditions

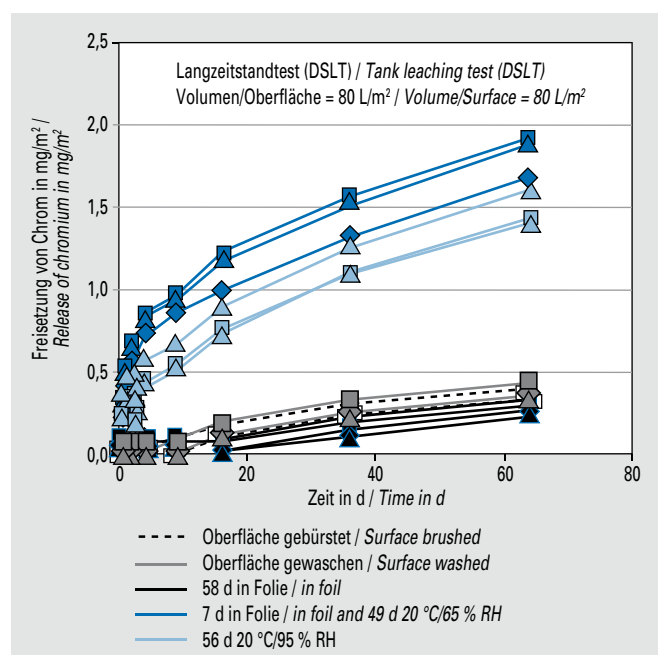


Bild 2.3.13-2 Freisetzung von Chrom im Langzeitstandtest bei unterschiedlicher Betonvorlagerung

Fig. 2.3.13-2 Release of chromium in the tank-leaching test with different preliminary storage conditions

2.4 Leistungsfähigkeit von Beton / Performance of concrete

2.4.1 Granulometrie der Zementhauptbestandteile – Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit von Betonen mit kalksteinhaltigen Zementen ■

IGF-Vorhaben 17853 BG gefördert durch die AiF
 Projektpartner: F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar
 Projektzeitraum: 12/2013–12/2016

Hintergrund

Die Herstellung von Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen bietet aufgrund des effizienten Einsatzes von Portlandzementklinker eine Möglichkeit, CO₂-Emissionen zu senken. Im Lichte der Erweiterung der europäischen Zementnorm EN 197-1 gewinnen gegebenenfalls neue kalksteinhaltige Zemente an Bedeutung, mit denen bisher wenige Erfahrungen vorliegen. Insbesondere dauerhaftigkeitsrelevante Eigenschaften von Beton sind zu untersuchen.

Ziel des Forschungsvorhabens

Die Verfahrenstechnik der Zementherstellung kann über ihren Einfluss auf die Granulometrie des Zements sowie seiner Hauptbestandteile neben den Zementeigenschaften auch das Ergebnis von Dauerhaftigkeitsprüfungen an Betonen zum Teil erheblich beeinflussen. Frühere Untersuchungen des VDZ hatten gezeigt, dass die Mahlfeinheit und die Breite der Korngrößenverteilung (KGV) des Klinkers deutliche Auswirkungen auf die wesentlichen Zementeigenschaften haben können. Ziel ist es, die granulometrischen Einflüsse der eingesetzten Hauptbestandteile systematisch

2.4.1 Granulometry of cement main constituents – effects on the durability of concretes with cements containing limestone ■

IGF project 17853 BG sponsored by AiF
 (Federation of Industrial Cooperative Research Associations)
 Project partners: F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde, Bauhaus-Universität Weimar
 Project duration: 12/2013–12/2016

Background

On the basis of efficient use of Portland cement clinker, production of cements with several main constituents offers a possibility to reduce CO₂ emissions. In view of the expansion of European cement standard EN 197-1, new cements containing limestone – with which there is currently little experience – may increase in importance. In particular, durability-related properties have to be tested.

Aim of the research project

Due to its influence on the granulometry of cements and its main constituents, process technology of cement production can not only have a considerable effect on cement properties but at times also on the result of durability tests on concrete. Earlier VDZ research has shown that the clinker's fineness (according to Blaine) and particle size distribution (PSD) range can have significant impact on the essential properties of cement. The aim is to systematically collect data on the granulometric influences of the

Tabelle 2.4.1-1 Granulometrie der in den Versuchszementen zur Anwendung kommenden Hauptbestandteile
Table 2.4.1-1 Granulometry of main constituents used in test cements

| Hauptbestandteile / Main constituents | Mahlfeinheit nach Blaine / Fineness acc. to Blaine | RRSB Steigungsmaß n / RRSB slope n | Beschreibung des Mahlaggregats und der Betriebsweise (labortechnisch) / Description of the grinding unit and the operation mode (laboratory tests) |
|---|--|------------------------------------|--|
| | [cm ² /g] | [-] | |
| Klinker KA / Clinker KA | | | |
| Grob breit / Coarse wide | ca. 3 800–4 000 | n. b. | Diskontinuierliche Kugelmühle / Batch mill |
| Fein breit / Fine wide | ca. 4 800–5 000 | n. b. | Diskontinuierliche Kugelmühle / Batch mill |
| Grob eng / Coarse narrow | ca. 3 800–4 000 | ca. 1,0–1,1 | Wälzmühle / Roller mill |
| Fein eng / Fine narrow | ca. 4 800–5 000 | ca. 1,0–1,1 | Wälzmühle / Roller mill |
| Hüttensand SC / Granulated slag SC | | | |
| Grob breit / Coarse wide | ca. 3 900–4 100 | n. b. | Diskontinuierliche Kugelmühle / Batch mill |
| Fein breit / Fine wide | ca. 4 900–5 100 | n. b. | Diskontinuierliche Kugelmühle / Batch mill |
| Grob eng / Coarse narrow | ca. 3 900–4 100 | ca. 1,1 | Wälzmühle / Roller mill |
| Fein eng / Fine narrow | ca. 4 900–5 100 | ca. 1,2 | Wälzmühle / Roller mill |
| Flugasche VE / Fly ash VE | | | |
| Originalzustand / Original state | ca. 4 000 | ca. 0,80–0,85 | – |
| Selektiv gemahlen / Selectively ground | ca. 6 000 | ca. 0,99–1,00 | Kontinuierliche Kugelmühle mit Sieb / Ball mill + separator |
| Vollständig gemahlen / Completely ground | ca. 6 000 | ca. 1,05–1,06 | Kontinuierliche Kugelmühle mit Sieb / Ball mill + separator |
| Kalkstein LLG / Limestone LLG | | | |
| Grob gemahlen / Coarsely ground | ca. 4 500 | n. b. | Wälzmühle / Roller mill |
| Fein gemahlen / Finely ground | ca. 7 500 | n. b. | Diskontinuierliche Kugelmühle / Batch mill |

n. b.: Nicht bestimmbar in RRSB / Not determined in RRSB

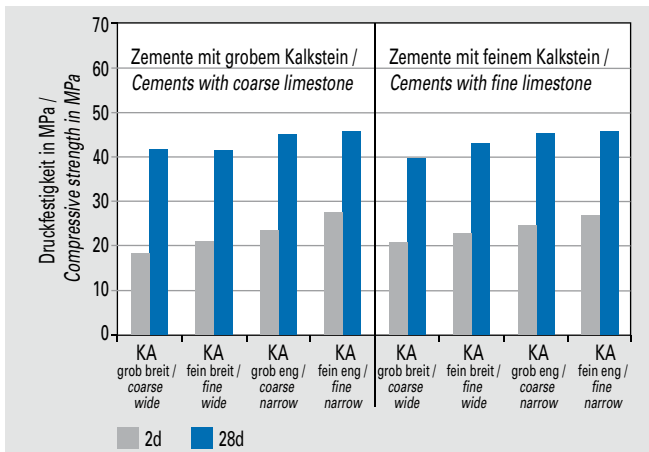


Bild 2.4.1-1 Normdruckfestigkeit der CEM II/B-LL-Zemente mit 35 M.-% Kalkstein

Fig. 2.4.1-1 Standard compressive strength of CEM II/B-LL cements with 35 mass % limestone

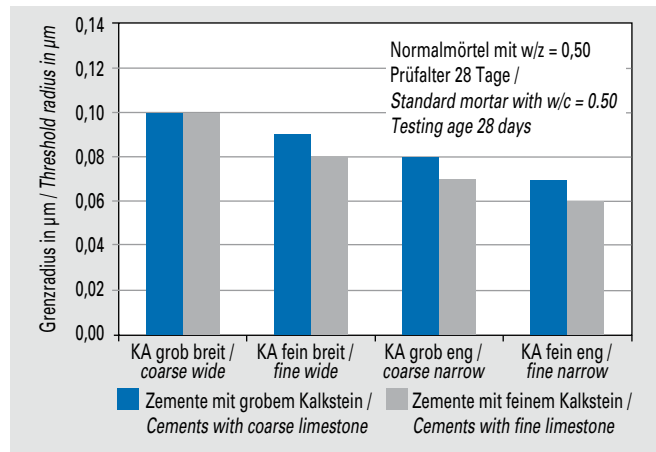


Bild 2.4.1-2 Grenzzadius der Porengrößenverteilung der Normmörtel unter Verwendung der CEM II/B-LL-Zemente mit 35 M.-% Kalkstein

Fig. 2.4.1-2 Threshold radius of the pore size distribution of standard mortar by using CEM II/B-LL cements with 35 mass % limestone

zu erfassen sowie die stoffspezifischen Auswirkungen der KGV auf die Eigenschaften kalksteinhaltiger Zemente und der mit ihnen hergestellten Betone zu ermitteln. Die Leistungsfähigkeit der Zemente ergibt sich dabei im normativ beschriebenen System „Zement nach DIN EN 197“ in „Beton nach DIN EN 206-1 / DIN 1045-2“ anhand zulassungsrelevanter Prüfungen und Bewertungskriterien.

Vorgehensweise

Die Aufbereitung der im ersten Arbeitsabschnitt verwendeten Ausgangsstoffe Klinker KA, Kalkstein LLG, Steinkohlenflugasche VE, Hüttensand SC und Sulfatträger erfolgte auf Labormahl-, Sicht- und Mischanlagen. Klinker und Hüttensand wurden in zwei unterschiedlichen Mahlfineheiten (fein/grob) sowie in breiter bzw. enger KGV hergestellt. Flugasche lag im Originalzustand sowie aufbereitet (vollständig bzw. selektiv gemahlen) vor. Der Kalkstein wurde auf ca. 4 500 cm²/g (grob) und ca. 7 500 cm²/g (fein) nach Blaine gemahlen, vgl. **Tabelle 2.4.1-1**. Alle Zemente wurden durch getrenntes Mahlen und anschließendes Mischen mit einem auf Art und Anteil der Hauptbestandteile abgestimmten Sulfatträrgemisch – bestehend aus Halbhydrat und Anhydrit – hergestellt. Neben dem Referenzzement CEM II/B-S mit 35 M.-% Hüttensand wurden CEM II/B-LL-Zemente mit 35 M.-% Kalkstein sowie CEM II/B-M-Zemente mit 25 M.-% Kalkstein in Kombination mit 10 M.-% Hüttensand bzw. Flugasche verwendet. Im weiteren Verlauf ist die Herstellung und Anwendung von Zementen mit 20 M.-% Kalkstein in Kombination mit 20 M.-% Hüttensand oder Flugasche geplant.

Erste Ergebnisse

In den Untersuchungen an den CEM II/B-LL-Zementen wurden acht granulometrisch unterschiedliche Zusammensetzungen betrachtet. Die chemisch-mineralogische Zementzusammensetzung blieb unverändert. Für die Beurteilung des Einflusses der KGV der Hauptbestandteile wurden die Zementeigenschaften nach DIN EN 196 geprüft. Der Wasseranspruch für Normsteife betrug bei den Zementen mit grobem Kalkstein 22,5 bis 29,5 M.-%, bei Verwendung des feinen Kalksteins betragen diese Werte 24,0 bis 30,5 M.-%. Der Wasseranspruch nahm sowohl in Abhängigkeit vom RRSB-Steigungsmaß der KGV als auch in Abhängigkeit von der Feinheit des Klinkers zu. Die CEM II/B-M-Zemente mit

main constituents used and to determine the substance-specific effects of PSD on the properties of cements containing limestone and the concretes produced using them. The performance of the cements are evaluated according to the normative system “Cement according to DIN EN 197” in “Concrete according to DIN EN 206-1/ DIN 1045-2” on the basis of approval relevant testing and assessment criteria.

Approach

The raw materials used in the first phase – clinker KA, limestone LLG, siliceous fly ash VE, blast furnace slag SC and sulphate agents – were prepared in laboratory mills, classifying systems and mixers. The clinker and blast furnace slag were produced in two different finenesses (fine/coarse) as well as with a wide and a narrow PSD. Fly ash was available both untreated and treated (totally and partially ground). The limestone was ground to approx. 4 500 cm²/g (coarse) and approx. 7 500 cm²/g (fine) according to the Blaine scale (**Table 2.4.1-1**). All cements were produced through separate grinding and subsequent mixing with a sulphate agent mixture consisting of hemihydrate and anhydrite tailored to the type and share of the main constituents. Besides the reference cement CEM II/B-S with 35 mass % blast furnace slag, CEM II/B-LL cements with 35 mass % limestone as well as CEM II/B-M cements with 25 mass % limestone combined with 10 mass % blast furnace slag or fly ash, respectively. For subsequent phases, production and application of cements with 20 mass % limestone in combination with 20 mass % blast furnace slag or fly ash is also planned.

Initial results

The tests conducted on the CEM II/B-LL cements examined eight granulometrically different compositions. The chemical/mineralogical composition of the cement remained unchanged. For assessing the influence of the main constituents' PSD, the cement properties were examined based on DIN EN 196. To achieve standard stiffness, the cements with coarse limestone demanded 22.5 mass % to 29.5 mass % water, where fine limestone was used the water demand was 24.0 to 30.5 mass %. The water demand increased both in correlation to the PSD's RRSB slope as well as in correlation to the clinker's fineness. The CEM II/B-M cements with a wider clinker PSD and a lower clinker fineness displayed a substantially lower water demand under otherwise identical

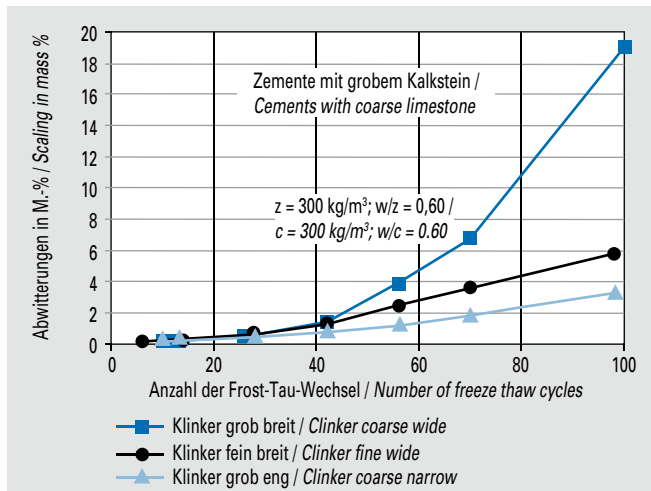


Bild 2.4.1-3 Abwitterungen von CEM II/B-LL-Betonen
Fig. 2.4.1-3 Scaling of concretes made with CEM II/B-LL cements

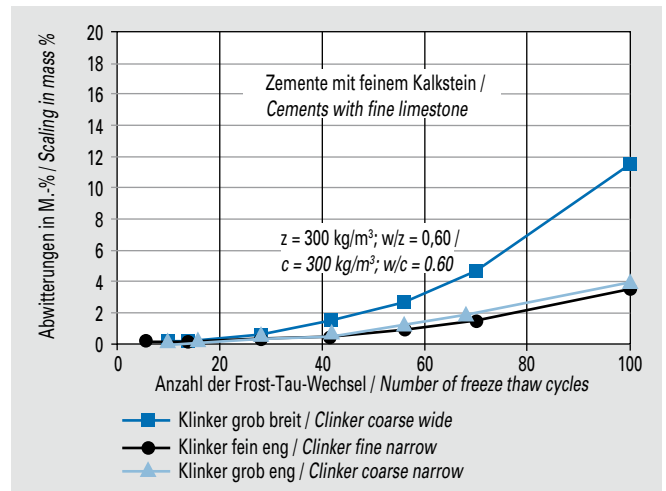


Bild 2.4.1-4 Abwitterungen von CEM II/B-LL-Betonen
Fig. 2.4.1-4 Scaling of concretes made with CEM II/B-LL cements

breiterer KGV des Klinkers und einer geringeren Feinheit des Klinkers wiesen unter sonst gleichen Bedingungen einen deutlich geringeren Wasseranspruch auf als die Zemente mit Klinker enger KGV und hoher Feinheit. Die Granulometrie der Hauptbestandteile Hüttensand, Flugasche und Kalkstein hatte keinen signifikanten Einfluss auf den Wasseranspruch dieser Zemente.

Die Festigkeitsprüfungen an den CEM II/B-LL-Zementen zeigen insbesondere im Alter von zwei Tagen den Einfluss der Granulometrie des verwendeten Klinkers. Je feiner der Klinker bzw. je enger seine KGV, desto höher die Normdruckfestigkeit des Zements. Unter Verwendung des größeren Kalksteins wurden in Abhängigkeit von der KGV des Klinkers Werte zwischen rd. 18 und rd. 28 MPa erreicht. Bei Verwendung des feineren Kalksteins wurden Werte zwischen ca. 21 und ca. 27 MPa erzielt. Die Druckfestigkeit im Alter von 28 Tagen nahm erwartungsgemäß in Abhängigkeit von Steigung und Lage der KGV des Klinkers zu und erreichte Werte von rd. 40 bis 46 MPa (**Bild 2.4.1-1**). Auch auf die Druckfestigkeit der CEM II/B-M-Zemente wirkten sich die Mahlfineinheit des Klinkers und die Steigung seiner KGV aus. Besonders deutlich nahm die Druckfestigkeit zu, wenn die Klinkermehle mit feinem Hüttensand enger KGV kombiniert wurden. Im Alter von zwei Tagen nahm die Druckfestigkeit von 20 auf 30 MPa zu, im Alter von 28 Tagen stieg die Druckfestigkeit von 48 auf 56 MPa an, wenn die Lage und Steigung der KGV des Klinkers von „grob breit“ auf „fein eng“ verändert wurde. Die Kombination aus selektiv – d. h. unter Verwendung eines Siebers – gemahlener Flugasche und einem Kalkstein hoher Feinheit führte in Abhängigkeit von der Granulometrie des Klinkers zu einem Anstieg der Druckfestigkeiten. Im Alter von zwei Tagen wurden Werte von 18 bis 24 MPa, im Alter von 28 Tagen Werte von 39 bis 49 MPa erreicht. Die Feinheit des Kalksteins beeinflusste die Druckfestigkeit im Alter von zwei und 28 Tagen nicht signifikant, während die Feinheit des Hüttensandes deutlichen Einfluss auf die 28-d-Druckfestigkeit nahm, der Einfluss der Flugaschefeinheit auf die 28-d-Druckfestigkeit war gering.

Die Porosität und die Porengrößenverteilung können für verschiedene dauerhaftkeitsrelevante Eigenschaften zementgebundener Baustoffe von Bedeutung sein. Die am CEM II/B-LL-Normmörtel mittels Quecksilberdruckporosimetrie ermittelten Porengrößenverteilungen im Alter von 28 Tagen zeigten in allen Porengrößenbereichen mit zunehmender Klinkerfeinheit – aber konstanter Breite der KGV – einen geringfügigen Anstieg des Porenvolu-

conditions than the cements with narrower clinker PSD and high fineness. The granulometry of the main constituents blast furnace slag, fly ash and limestone displayed no significant influence on these cements' water demand.

The strength tests conducted on the CEM II/B-LL cements show, particularly after 2 days, the influence of the employed clinker's granulometry. The finer the clinker or narrower its PSD, the greater the cement's standard compressive strength. When using the coarser limestone, values between approx. 18 and approx. 28 MPa were achieved depending on the clinker's PSD. When using the finer limestone, the values achieved lay between approx. 21 MPa and approx. 27 MPa. After 28 days, the compressive strength increased as expected in correlation to slope and position of the clinker's PSD and reached values of approx. 40 MPa to 46 MPa. (**Fig. 2.4.1-1**) The clinker's fineness and its PSD slope also affected the compressive strength of the CEM II/B-M cements. The compressive strength increased in particular where the clinker was combined with fine blast furnace slag with narrow PSD. After 2 days, compressive strength increased from 20 MPa to 30 MPa; after 28 days, compressive strength increased from 48 MPa to 56 MPa where position and slope of the clinker's PSD was shifted from coarse-wide to fine-narrow. The combination of selectively ground – i.e. using a classifier – fly ash and a high-fineness limestone resulted, depending on the clinker's granulometry, in increasing compressive strength. After 2 days, values of 18 to 24 MPa were reached; after 28 days, the values lay between 39 and 49 MPa. The limestone's fineness did not significantly affect compressive strength after 2 to 28 days whereas the fineness of the blast furnace slag had significant influence on the 28-day compressive strength; the impact of fly ash fineness on the 28-day compressive strength was low.

The porosity and pore size distribution can be significant for various properties related to the durability of cement-bound building materials. The pore size distributions determined in the CEM II/B-LL standard mortars by means of mercury intrusion porosimetry after 28 days showed a slight increase in pore volume with increasing clinker fineness – but constant PSD range – across all pore size ranges. The threshold radius at which, during the measurement, larger quantities of mercury first ingressed into the specimen and which is thus a measure of the mortar's permeability dropped with increasing fineness of the clinker used in the cement. The threshold radius also decreased with the slope of the clinker's

mens. Der Grenzzadius, bei dem während der Messung erstmals größere Mengen Quecksilber in die Probe eindringen und der somit ein Maß für die Durchlässigkeit des Mörtels ist, verringerte sich mit zunehmender Feinheit des im Zement verwendeten Klinkers. Zudem verringerte sich der Grenzzadius, je enger die KGV des Klinkers war. Bei Verwendung des feineren Kalksteins in Kombination mit dem größeren Klinker breiter Korngrößenverteilung wurde der Grenzzadius – im Vergleich zur Verwendung des größeren Kalksteins – nicht verändert. Alle anderen Klinker-Kalkstein-Kombinationen führten zu geringeren Grenzzadien und zu verfeinerten Porenbildern, wenn ein Kalkstein höherer Feinheit eingesetzt wurde (**Bild 2.4.1-2**). Darüber hinaus nahm mit der Verringerung der Grenzzadien auch der Anteil feinerer Poren, insbesondere der Anteil der Gelporen ($< 0,03 \mu\text{m}$) zu.

In ersten Untersuchungen an CEM II/B-LL-Frischbetonen mit einem Zementgehalt $z = 320 \text{ kg/m}^3$ und einem Wasserzementwert $w/z = 0,50$ wurden die Auswirkungen der Granulometrie der Zementhauptbestandteile auf die Konsistenz ebenso wie an Frischbetonen mit einem Zementgehalt $z = 300 \text{ kg/m}^3$ und einem Wasserzementwert $w/z = 0,60$ ermittelt. Die Mischungszusammensetzungen der Betone orientierten sich an den Grenzwerten für die Zusammensetzung von Betonen nach DIN EN 206 und DIN 1045-2 in Abhängigkeit von den Umwelteinwirkungen. Wurde die Konsistenz unter Verwendung des größeren Klinkers mit breiter KGV mit plastisch ($w/z = 0,50$) bzw. weich ($w/z = 0,60$) beschrieben, so wurden unter Verwendung des feineren Klinkers mit enger KGV eine steife ($w/z = 0,50$) bzw. eine plastische Konsistenz ($w/z = 0,60$) ermittelt. Die Feinheit des Hauptbestandteils Kalkstein wirkte sich nur auf die Konsistenz der Betone aus, die mit Zementen unter Verwendung des feinen Klinkers enger KGV hergestellt wurden. Hier führte die Erhöhung der Kalksteinfeinheit zu einer verringerten Verarbeitbarkeit.

Die Prüfung des Frostwiderstands nach dem Würfelverfahren entspricht den Maßstäben, die bisher bei der Zulassung von Zementen durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) angelegt werden. Die Prüfung der Betone mit dem Würfelverfahren erfolgte bis 100 Frost-Tau-Wechsel mit zwei Wechseln pro Tag. Die bisher ermittelten Ergebnisse machen deutlich, dass die Abwitterungen der Betone nach 100 Frost-Tau-Wechseln deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Granulometrie der im Zement verwendeten Hauptbestandteile aufweisen. Aus den **Bildern 2.4.1-3** und **2.4.1-4** geht hervor, dass bei Verwendung eines groben Klinkers mit breiter KGV starke Abwitterungen auftraten und der in den Zulassungsprüfungen des DIBt verwendete Grenzwert für Abwitterungen von 10 M.-% (100 FTW) nicht eingehalten wurde. Dagegen haben Betone auf Basis der Zemente mit vergleichsweise feinerem Klinker bzw. mit einem Klinker engerer KGV den Grenzwert deutlich eingehalten. Die Abwitterungen der CEM II/B-LL-Betone erreichten im Würfelrostversuch umso geringere Werte, je kleiner der in den Porositätsmessungen am Normmörtel unter Verwendung des gleichen Zements ermittelte Grenzzadius war. Darüber hinaus wird deutlich, dass die Verwendung eines feineren Kalksteins in Abhängigkeit von der entsprechenden Klinkergranulometrie zu geringeren Grenzzadien führen und somit der Frostwiderstand eines CEM II/B-LL-Betons verbessert werden kann. Im Gegensatz dazu kann ein vergleichsweise grob gemahlener Kalkstein im Zement – je nach Klinkergranulometrie – den Frostwiderstand des Betons deutlich herabsetzen. Den maßgeblichen Einfluss auf den Frostwiderstand haben jedoch die Feinheit des Hauptbestandteils Klinker sowie die Steigung seiner KGV.

PSD. When using the finer limestone combined with the coarser clinker with wider particle size distribution, the threshold radius remained unchanged compared with using the coarser limestone. All other clinker-limestone combinations resulted in lower threshold radii and finer pore structure when a finer limestone was used (**Fig. 2.4.1-2**). Furthermore, the decrease in threshold radii also coincided with an increase of the share of finer pores, particularly the share of gel pores ($< 0.03 \mu\text{m}$).

First tests on the CEM II/B-LL fresh concretes with a cement content of $c = 320 \text{ kg/m}^3$ and a water-cement ratio $w/c = 0.50$ as well as on fresh concretes with a cement content of $c = 300 \text{ kg/m}^3$ and a water-cement ratio of $w/c = 0.60$ determined the impacts of the cement's main constituents' granulometry on consistency. The concretes' mixture compositions were based on the limit values for concrete composition depending on environmental effects specified in DIN EN 206 and DIN 1045-2. While the consistency when using the coarser clinker with wide PSD was described as plastic ($w/c = 0.50$) or soft ($w/c = 0.60$), the consistency determined using the finer clinker with narrow PSD is stiff ($w/c = 0.50$) or plastic ($w/c = 0.60$). The fineness of the main constituent limestone affected the consistency of only those concretes that were produced using the cements with fine clinker and narrow PSD. Here, increasing the limestone fineness resulted in less workability.

The freeze-thaw resistance test using the cube test corresponds to the benchmarks currently applied by the German Institute for Building Technology (DIBt) for approval of cements. The concretes were tested using the cube test and up to 100 freeze-thaw cycles at 2 cycles per day. The results obtained so far make it evident that the granulometry of the main constituents used in the cement produces significant differences in the scaling of the concretes after 100 freeze-thaw cycles. **Figs 2.4.1-3** and **2.4.1-4** show that use of coarse clinker with broad PSD resulted in considerable scaling and that the scaling limit value of 10 mass % specified in the DIBt's approval tests was not complied with. Conversely, the concretes produced using the cements with comparatively finer clinker or a clinker with narrower PSD easily met the limit value. In the cube frost tests, the scaling levels of the CEM II/B-LL concretes were lower the smaller the threshold radius was that was determined using the same cement in the porosity measurements conducted on the standard mortar. Furthermore, it is shown that using a finer limestone led to smaller threshold radii depending on the respective clinker granulometry, thus facilitating improvement of the freeze-thaw resistance of CEM II/B-LL concretes. Conversely, a comparatively coarsely ground limestone in the cement can – depending on the clinker granulometry – substantially reduce a concrete's freeze-thaw resistance. However, it is the fineness of the main constituent clinker as well as its PSD slope that present the defining influence on freeze-thaw resistance.

2.4.2 Reduzierung der Umweltwirkung der Betonbauweise durch Zemente mit hohen Kalksteingehalten – Dauerhaftigkeit und praktische Umsetzbarkeit ■

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) (Projekt-Nr. 28790/01)
 Projektpartner: Spenner Zement GmbH & Co. KG, TU Darmstadt, Institut für Massivbau
 Projektzeitraum: 05/2011–09/2013

Ziel

Ziele waren die labor- und werkseitige Herstellung, Prüfung und Verwendung von Zementen mit Kalksteingehalten jenseits der in DIN EN 197-1 beschriebenen Maximalgehalte. Es wurden Kalksteingehalte zwischen 30 und 70 M.-%, bezogen auf den sulfat-trägerhaltigen Zement, verwendet. Dabei wurden die Auswirkung der Klinker-reduzierung im Zement in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Kalksteins als weiterem Hauptbestandteil auf die Festigkeitsentwicklung und die Dauerhaftigkeit von Beton untersucht. Im Zentrum stand die Frage, in wieweit den Auswirkungen der Klinkersubstitution im Zement durch Optimierung der Korngrößen- und Komponentenverteilung sowie der Anpassung der Betontechnologie unter Laborbedingungen und unter praxisnahen Bedingungen begegnet werden kann.

Zemente und Zementhauptbestandteile

Es wurden je ein CEM I 42,5 N, CEM I 52,5 R, CEM II/A-LL 32,5 R und CEM II/B-LL 32,5 R als Referenzzement verwendet. Die Prüfzemente wurden durch getrennte Mahlung und anschließendes Mischen eines CEM I 52,5 R und verschiedener Kalksteinqualitäten hergestellt. Für die Mörtelversuche erfolgte das Mischen der Komponenten im Labor. Für die Betonversuche wurden werkseitig produzierte Zemente verwendet. Da sich in der Gesamtschau der Versuche gezeigt hat, dass 50 M.-% Kalkstein im Zement eine gewisse Grenze darstellt, bis zu der man mit einer angepassten, anspruchsvollen Betontechnologie dauerhafte Betone im Labor herstellen kann, werden im Folgenden die Ergebnisse mit diesem Kalksteingehalt dargestellt. Ergebnisse mit 30, 35, 65 und 70 M.-%

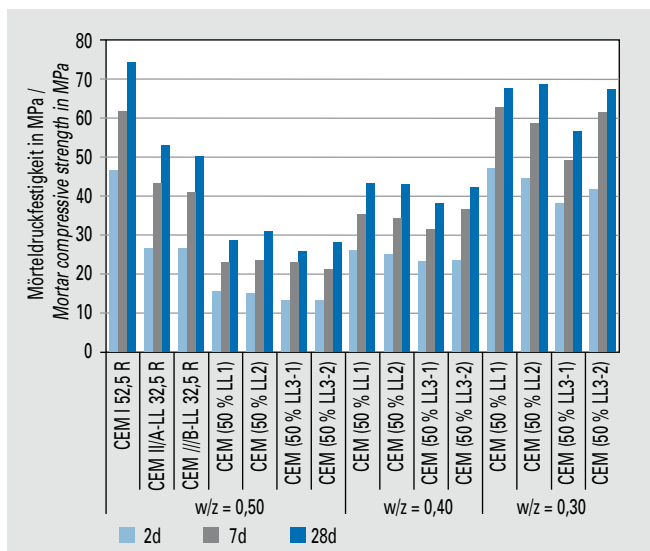


Bild 2.4.2-1 Mörteldruckfestigkeiten von Zementen mit 50. M.-% Kalkstein
Fig. 2.4.2-1 Mortar compressive strength of cements with 50 mass % limestone

2.4.2 Reduction of environmental impact of concrete constructions through the use of cements with high limestone content – durability and feasibility ■

Sponsored by the German environmental foundation DBU (project no. 28790/01)
 Project partners: Spenner Zement GmbH & Co. KG, TU Darmstadt, Institut für Massivbau
 Project duration: 05/2011–09/2013

Aim

The aims were to produce, test and employ cements with limestone contents beyond the maximum levels specified in DIN EN 197-1 both under laboratory and under factory conditions. Limestone contents between 30 mass % and 70 mass % in relation to the cement containing the sulphate agent were used. The effects of reducing the clinker content in the cement in correlation to the properties of limestone as an additional main constituent on the strength development and durability of concrete were examined. The key question was how the effects of clinker substitution in cement could be countered under laboratory conditions and under near-practical conditions through optimisation of particle size distribution and component distributions as well as through adaptation of the concrete technology.

Cements and cement main constituents

The reference cements used were CEM I 42,5 N, CEM I 52,5 R, CEM II/A-LL 32,5 R and CEM II/B-LL 32,5 R. The test cements were produced by separate grinding and subsequent mixing of a CEM I 52,5 R with various limestone qualities. For the mortar tests, the components were mixed in the laboratory. For the testing of the concretes, factory-produced cements were used. As the totality of the tests has shown that 50 mass % limestone in the cement represents a certain critical limit value up to which it is possible to produce, in the laboratory and using adapted, sophisticated concrete technology, durable concretes, the following will detail the results obtained using this limestone content. The

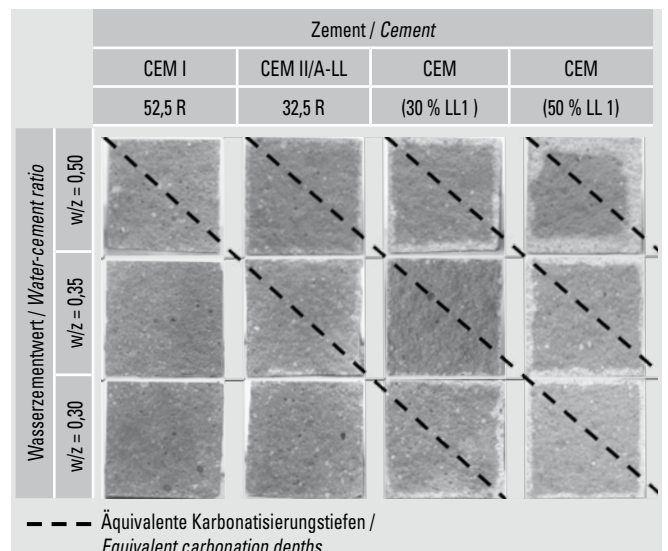


Bild 2.4.2-2 Carbonatisierungstiefen von Mörteln im Alter von 140 Tagen
Fig. 2.4.2-2 Carbonation depths of mortar at the age of 140 days

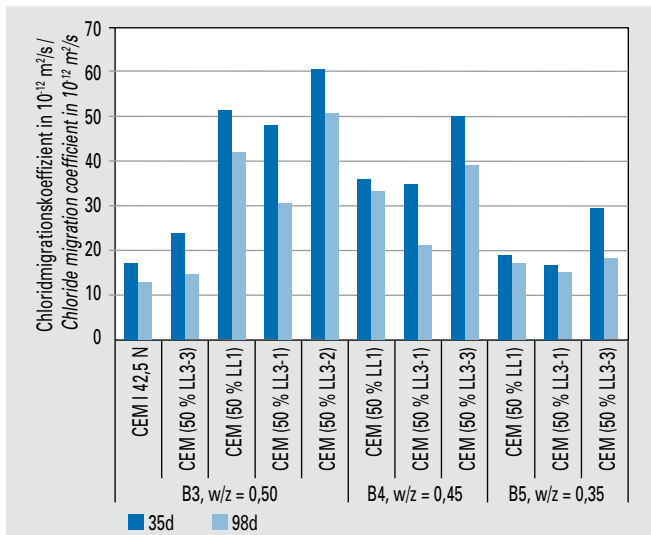


Bild 2.4.2-3 Chloridmigrationskoeffizienten der untersuchten Betone
Fig. 2.4.2-3 Chloride migration coefficients of tested concretes

Kalkstein stehen im Abschlussbericht des Forschungsvorhabens zur Verfügung.

Mörteleigenschaften

Die Druckfestigkeit sowohl von Normmörteln als auch von Mörteln mit abweichenden Zementgehalten und Wasserzementwerten wurde in Anlehnung an DIN EN 196-1 geprüft. Normmörtel mit einem Wasserzementwert von $w/z = 0,50$ wurden gemäß DIN EN 196-1 prinzipiell ohne die Verwendung von Fließmitteln mit einem Zementgehalt von 450 g und einem Normsandgehalt von 1350 g hergestellt. Mörtel mit einem Wasserzementwert von $w/z = 0,40$ wurden, um einen konstanten Leimgehalt beizubehalten, mit einem Zementgehalt von 490 g je Mischung hergestellt, Mörtel mit $w/z = 0,30$ mit 560 g je Mischung. Es wurde ein PCE-basiertes Fließmittel verwendet, um ein konstantes Ausbreitmaß von 130 ± 5 mm zu erzielen. In **Bild 2.4.2-1** ist zu erkennen, dass der Laborzement mit Kalkstein LL3-2 ähnliche Druckfestigkeiten wie die Zemente mit den Kalksteinen LL1 und LL2 und damit deutlich höhere Festigkeiten als der Zement mit LL3-1 aufweist. Bei den Kalksteinen LL3-1 und LL3-2 handelte es sich um Kalkstein aus der gleichen Provenienz in veränderter Granulometrie. Die Festigkeitsentwicklung bei Verwendung hoher Kalksteingehalte außerhalb der in DIN EN 197-1 festgelegten Maximalgehalte hing hier also weniger von der chemischen Zusammensetzung des Kalksteins, sondern vielmehr von den Korngrößen- und Komponentenverteilungen der Zementhauptbestandteile ab.

Carbonatisierung

Die Carbonatisierungsprüfungen wurden an Feinbetonprismen nach DIN EN 196-1 (Wasserlagerung bis zum 7. Tag) durchgeführt. Die Carbonatisierungstiefe wurde nach Lagerung im Normklima (20°C und 65 % rel. Luftfeuchte) im Alter bis zu 140 Tagen bestimmt. Um eine zu den Referenzproben gleichwertige Carbonatisierungstiefe zu erzielen, ist der Wasserzementwert bei Zementen mit hohem Kalksteingehalt deutlich zu reduzieren. Bei Zementen mit 50 bzw. 60 M.-% Kalkstein ergeben sich bei Wasserzementwerten von $w/z = 0,35$ bzw. $0,30$ Carbonatisierungstiefen wie bei Mörteln mit CEM I, CEM II/A-LL bzw. CEM II/B-LL und $w/z = 0,50$ (**Bild 2.4.2-2**).

Chlorideindringwiderstand

Der Widerstand gegenüber eindringenden Chloriden wurde mit Hilfe eines Schnellverfahrens (Migrationstest) an Betonen mit

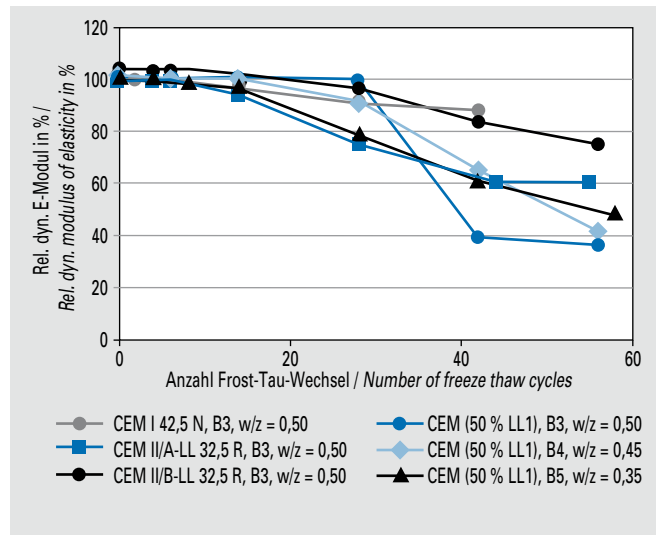


Bild 2.4.2-4 Entwicklung des relativen dynamischen E-Moduls
Fig. 2.4.2-4 Development of the relative dynamic modulus of elasticity

research project's final report details the results obtained with 30, 35, 65 and 70 mass % limestone.

Mortar properties

The compressive strength of standard mortars and of mortars with different cement contents and water-cement ratios was examined based on DIN EN 196-1. The standard mortars with a water-cement ratio of $w/c = 0,50$ were generally produced in accordance with DIN EN 196-1 using no superplasticisers and with a cement content of 450 g and a standard sand content of 1,350 g. In order to retain a constant paste content, mortars with a water-cement ratio of $w/c = 0,40$ were produced with a cement content of 490 g per mixture, mortars with $w/c = 0,30$ with 560 g per mixture. A PCE-based superplasticiser was used in order to obtain a constant flow diameter of 130 ± 5 mm. **Fig. 2.4.2-1** shows that the laboratory cement with limestone LL3-2 has similar compressive strengths compared to the cements with limestone LL1 and LL2, and thus considerably higher strengths than the cement with LL3-1. The LL3-1 and LL3-2 limestones share the same provenance but possess different granulometries. The strength development when using higher limestone contents outside the maximum levels specified in DIN EN 197-1 here depended less on the chemical composition of the limestone and more on the particle size distribution and constituent distribution of the cement main constituents.

Carbonation

The carbonation tests were conducted on fine concrete prisms according to DIN EN 196-1 (water storage up to day 7). Carbonation depth was determined after storage in standard climate (20°C and 65 % relative humidity) for 140 days. To obtain a carbonation depth equivalent to the reference samples, the water-cement ratio in cements with high limestone content needs to be substantially reduced. For cements with 50 or 60 mass % limestone, water-cement ratios of $w/c = 0,35$ or $w/c = 0,30$ result in the same carbonation depths as in mortars with CEM I, CEM II/A-LL or CEM II/B-LL and $w/c = 0,50$ (**Fig. 2.4.2-2**).

Resistance to chloride penetration

Resistance to penetration by chlorides was determined by means of a rapid test method (migration test) using concretes with water-cement ratios between $w/c = 0,50$ and $w/c = 0,35$. **Fig. 2.4.2-3** shows that concretes with cements containing 50 mass % limestone can

Wassermenge zwischen $w/z = 0,50$ und $w/z = 0,35$ ermittelt. **Bild 2.4.2-3** zeigt, dass der Chloridmigrationskoeffizient von Betonen mit Zementen mit 50 M.-% Kalkstein gegenüber Betonen mit praxisüblichen Zementen gleichwertig sein kann. Der Wassermengewert ist dazu auf $w/z = 0,35$ zu verringern. Bezüglich ihres Widerstands gegenüber eindringenden Chloriden sind die gewählten Referenzbetone jedoch nicht optimal. Hüttensandhaltige Zemente sind hier leistungsfähiger.

Frostwiderstand

Der Frostwiderstand von Betonen wurde mittels des CIF-Verfahrens gemäß CEN/TR 15177 bestimmt. Beim Frostangriff ohne Einwirkung von Taumitteln ist bei nicht geeigneten Ausgangsstoffen bzw. nicht geeigneter Betonzusammensetzung i. d. R. hauptsächlich mit einer inneren Gefügeschädigung zu rechnen. Diese kann durch den relativen dynamischen E-Modul beschrieben werden. Dieser wurde bis zu 56 Frost-Tau-Wechseln bestimmt. Die Ergebnisse sind in **Bild 2.4.2-4** als Mittelwerte von je fünf Prüfkörpern eingetragen. Zum Vergleich sind die Ergebnisse mit den Referenzbetonen mit CEM I 42,5 N, CEM II/A-LL 32,5 R und CEM II/B-LL 32,5 R dargestellt. Es zeigt sich, dass der Frostwiderstand von Betonen mit Zementen mit 50 M.-% Kalkstein gegenüber Betonen mit praxisüblichen Zementen gleichwertig sein kann. Der Wassermengewert ist dazu mindestens auf 0,45 zu verringern.

Kriechen und Schwinden

An je zwei Zylindern mit den Abmessungen $\varnothing = 158$ mm, $l = 300$ mm wurden in Anlehnung an DAfStb-Heft 422, Abschnitt 2.6 das Schwinden bzw. nach Abschnitt 2.7 das Kriechen gemessen. Die Probekörper wurden nach dem Betonieren einen Tag in der Schalung belassen, danach bis zum 7. Tag unter Wasser und anschließend bei einer Temperatur von 20 °C und einer rel. Luftfeuchte von (65 ± 2) % gelagert. Das Schwinden wurde ab dem 7. Tag gemessen. Die Kriechspannung von $\sigma_u = 1/3 f_{c,cyl}$ für die Kriechversuche wurde im Alter von 28 Tagen aufgebracht. Die Betone mit CEM (50 % LL1) mit Wassermengewert $w/z = 0,45$ bzw. $0,35$ zeigen sowohl beim Schwinden als auch beim Kriechen ein vergleichbares Verhalten wie der Referenzbeton mit CEM II/A-LL und Wassermengewert $w/z = 0,50$.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend kann zum jetzigen Zeitpunkt festgestellt werden, dass für die Herstellung und Verwendung kalksteinreicher Zemente (bis 50 M.-% LL) anspruchsvolle verfahrenstechnische Maßnahmen im Zementwerk und ebenso anspruchsvolle beton-technologische Maßnahmen (wasserarmer Beton mit entsprechenden Zusatzmitteldosierungen) in der Betonherstellung erforderlich wären. Werden diese Maßnahmen unter Praxisbedingungen beherrscht, können zulassungsfähige Dauerhaftigkeitskennwerte am Beton erzielt werden. Die Robustheit derartiger Systeme im Baubetrieb bedarf einer weiteren Absicherung. Kriechen und Schwinden solcher Betone müssen weiter untersucht werden. Der Einfluss der Kalksteinqualität auf das Ergebnis von Frostversuchen bedarf ebenfalls einer weiteren Absicherung.

Durch die effiziente Ausnutzung des Portlandzementklinkers in Zementen mit hohem Kalksteingehalten könnten dann die Werte einer Ökobilanz verbessert werden. In der Bilanzierung von Betonen mit niedrigeren Wassermengewerten mit den kalksteinreichen Zementen liegt das Treibhauspotenzial bei gleicher Leistungsfähigkeit (Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit im Labor) rund 25 % unter dem Treibhauspotenzial eines Betons mit CEM II/A-LL bzw. dem Durchschnittszement der VDZ-EPD.

display chloride migration coefficients equivalent to concretes with commonly used cements. This requires the water-cement ratio to be reduced to $w/c = 0.35$. However, the reference concretes selected are not optimal in respect to their resistance to chloride penetration. Cements containing blast furnace slag are more efficient in this respect.

Freeze-thaw resistance

Freeze-thaw resistance of concretes was determined using the CIF method according to CEN/TR 15177. When exposed to frost without the application of thawing agents, the use of unsuitable raw materials or unsuitable concrete composition will usually result in internal structural damage. This can be described by the relative dynamic modulus of elasticity.

The relative dynamic modulus of elasticity was determined using up to 56 freeze-thaw cycles. The results are depicted in **Fig. 2.4.2-4** as mean values per 5 test specimens. For comparison, the results obtained with the reference concretes CEM I 42,5 N, CEM II/A-LL 32,5 R and CEM II/B-LL 32,5 R are also shown. **Fig. 2.4.2-4** shows that concretes with cements containing 50 mass % limestone can display freeze-thaw resistances equivalent to concretes with commonly used cements. This requires the water-cement ratio to be reduced at least to 0.45.

Creep and shrinkage

Based on DAfStb booklet 422, shrinkage (section 2.6) and creep (section 2.7) were measured on 2 cylinders of $\varnothing = 158$ mm and $l = 300$ mm. After casting, the test specimens were left in the formwork for 1 day, then stored under water until day 7 and subsequently stored at a temperature of 20 °C and relative humidity of (65 ± 2) %. Shrinkage was measured as of day 7. The creep tension of $\sigma_u = 1/3 f_{c,cyl}$ for creep testing was applied after 28 days. The concretes with CEM (50 % LL1) with water-cement ratio $w/c = 0.45$ or 0.35 display both shrinkage and creep behaviour equivalent to reference concrete with CEM II/A-LL and water-cement ratio $w/c = 0.50$.

Summary of the results

In summary, it can at the present time be said that the manufacture and use of limestone-rich cements (up to 50 mass %) would require complex process engineering measures in the cement works and equally sophisticated concrete technology measures (low-water concrete with corresponding doses of admixture). Where such measures are mastered in practice, durability values can be obtained for concrete that would meet the requirements of technical approval. Robustness of such systems in operative construction requires further assurance. Creep and shrinkage of these concretes need to be examined further. The effect of limestone quality on the results of frost testing also requires further assurance.

Efficient exploitation of the potential offered by Portland cement clinker in cements with high limestone contents would then allow improvement of ecobalances. On balance, concretes with lower water-cement ratios and limestone-rich cements display a global warming potential roughly 25 % lower than concrete with CEM II/A-LL or the VDZ-EPD average cement at identical performance (compressive strength and durability under laboratory conditions).

2.4.3 Erforschung des Dreistoffsystems Klinker, Hüttensand und Kalkstein mit dem Ziel der Absenkung des Klinkeranteils im Zement zur Verminderung der CO₂-Emissionen in der Zementproduktion ■

Gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) (Projekt-Nr. 28790/02)
 Projektpartner: Spenner Zement GmbH & Co. KG, TU Darmstadt, Institut für Massivbau
 Projektzeitraum: 08/2014–07/2016

Hintergrund und Ziel

Das Forschungsvorhaben baut auf den Ergebnissen des abgeschlossenen Forschungsprojektes zu den Umweltwirkungen der Betonbauweise durch neuartige Zemente auf und nimmt Bezug auf die aktuelle Erweiterung der europäischen Zementnorm EN 197-1.

Bisherige Forschungsprojekte haben gezeigt, dass einige Dauerhaftigkeitseigenschaften weiter zu verbessern sind. Dies wird z. B. durch die effiziente Kombination von Kalkstein mit Hüttensand als drittem Hauptbestandteil möglich. In diesem Forschungsvorhaben soll ein entsprechendes Zusammensetzungsfeld im Dreistoffsystem Klinker (K) – Hüttensand (S) – Kalkstein (LL) untersucht werden, das sich an die Zemente der derzeitigen bzw. zukünftigen europäischen Norm anlehnt und die Ergebnisse des vorangegangenen Forschungsvorhabens und der dort definierten technischen Grenzen berücksichtigt (**Bild 2.4.3-1**). Die Dauerhaftigkeit von Betonen wird mit den Methoden aus dem Vorläuferprojekt untersucht. Diese werden durch weitere Prüfverfahren (Schnellcarbonatisierung, Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes) ergänzt.

Erste Ergebnisse

Bisher wurden Untersuchungen an Laborzementen durchgeführt. Hierzu wurden ein CEM I 52,5 R (Z1), ein Kalkstein mit einer Feinheit von 4200 cm²/g nach Blaine sowie ein Hüttensand mit einer Feinheit von 4800 cm²/g nach Blaine als Ausgangsstoffe verwendet. Als Referenzzemente kamen neben dem CEM I 52,5 R ein CEM I 42,5 R (Z2) sowie ein CEM III/A 42,5 N (Z3) zum Einsatz. Aus den Ausgangsstoffen wurden neun Laborzemente hergestellt (**Tabelle 2.4.3-1**).

2.4.3 Investigation of ternary system clinker, blast furnace slag and limestone with the aim of lowering the proportion of clinker in cement to reduce CO₂ emissions in cement production ■

Sponsored by the German environmental foundation DBU (project no. 28790/02)
 Project partners: Spenner Zement GmbH & Co. KG, TU Darmstadt, Institut für Massivbau
 Project duration: 08/2014–07/2016

Background and aim

The research project expands upon the results of the completed research project on the environmental impact of concrete constructions through novel types of cement and addresses the current expansion of the European cement standard EN 197-1.

Previous research has shown that a number of durability properties require further improvement. This can be achieved, for example, by efficient combination of limestone with blast furnace slag as the third main constituent. This research project aims to investigate a corresponding field of composition within the ternary system of clinker (K) – blast furnace slag (S) – limestone (LL), which is based on the cements of the current or future European standards and takes into account the results of the previous research project and the technical limits that it defined (**Fig. 2.4.3-1**). The durability of concretes is examined using the methods from the previous project. These are complemented with further testing procedures (rapid carbonation, testing of freeze-thaw resistance with de-icing salt).

Initial results

So far, tests have been conducted on laboratory cements. The raw materials used were CEM I 52,5 R (Z1), limestone with a Blaine fineness of 4200 cm²/g and blast furnace slag with a Blaine fineness of 4800 cm²/g. Besides the CEM I 52,5 R, CEM I 42,5 R (Z2) and CEM III/A 42,5 N (Z3) were used as reference cements. The raw materials were used to produce nine laboratory cements (**Table 2.4.3-1**).

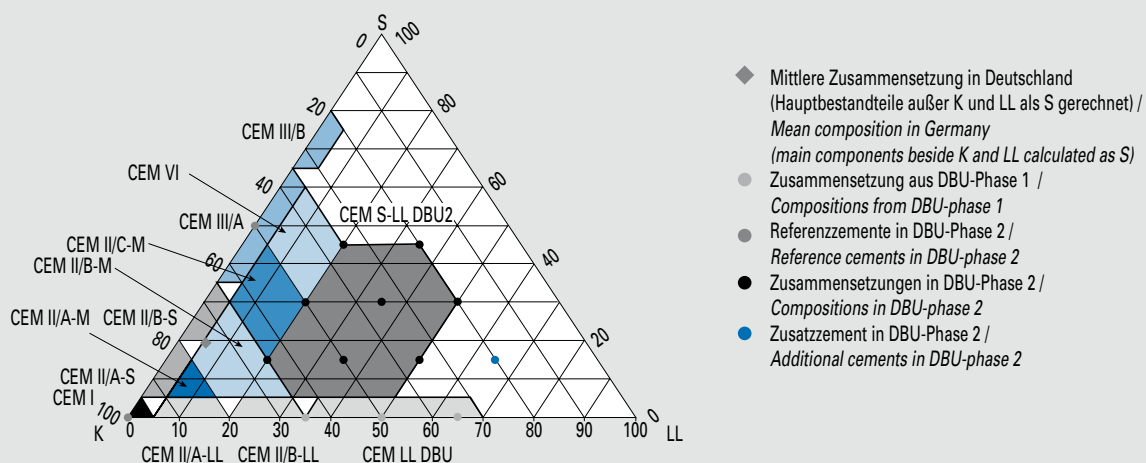
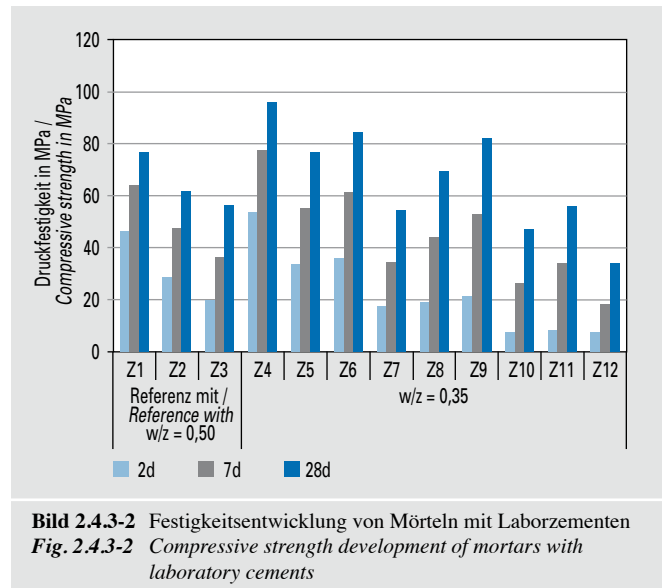


Bild 2.4.3-1 Dreistoffsystem Klinker, Hüttensand und Kalkstein
Fig. 2.4.3-1 Ternary system clinker, granulated blast furnace slag and limestone

Tabelle 2.4.3-1 Zusammensetzung der Laborzemente**Table 2.4.3-1** Composition of laboratory cements

| Name / Name | Anteile in M.-% / Share in mass % | | |
|-------------|-----------------------------------|----------|----------|
| | CEM I 52,5 R | LL 3 500 | HÜS 4800 |
| Z1 | 100 | 0 | 0 |
| Z4 | 65 | 20 | 15 |
| Z5 | 50 | 35 | 15 |
| Z6 | 50 | 20 | 30 |
| Z7 | 35 | 50 | 15 |
| Z8 | 35 | 35 | 30 |
| Z9 | 35 | 20 | 45 |
| Z10 | 20 | 50 | 30 |
| Z11 | 20 | 35 | 45 |
| Z12 | 20 | 65 | 15 |



Normmörtel mit einem Wasserzementwert von $w/z = 0,50$ wurden gemäß DIN EN 196-1 prinzipiell ohne die Verwendung von Fließmitteln mit einem Zementgehalt von 450 g je Mischung hergestellt. Mörtel mit einem Wasserzementwert von $w/z = 0,40$ wurden, um einen konstanten Leimgehalt beizubehalten, mit einem Zementgehalt von 500 g je Mischung hergestellt, Mörtel mit $w/z = 0,35$ mit 535 g je Mischung. Es wurde ein PCE-basiertes Fließmittel verwendet, um ein konstantes Ausbreitmaß zu erzielen.

Die Festigkeitsentwicklung mit $w/z = 0,35$ im Vergleich zu den Referenzmörteln mit $w/z = 0,50$ zeigt **Bild 2.4.3-2**. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden die Zemente Z6, Z8 und Z10 für weitere Untersuchungen ausgewählt. Z6 entspräche in der überarbeiteten EN 197-1 einem CEM II/C-M. Bei den beiden anderen Zementen handelt es sich um solche, die auch über die zukünftige Normung hinausgehen würden. Diese Zemente werden in der zweiten Phase des Forschungsvorhabens laborseitig mit Hüttensand in weiteren Feinheiten und mit anderen chemischen Zusammensetzungen hergestellt. An diesen Zementen werden ebenfalls Mörteluntersuchungen durchgeführt. In Phase 3 des Forschungsvorhabens werden Betonversuche mit werksseitig produzierten Zementen durchgeführt werden.

2.4.4 Einfluss der Mischdauer auf die Luftporenbildung in Frisch- und Festbeton ■

IGF-Vorhaben 17227N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 08/2011–08/2013

Hintergrund und Ziel

Luftporenbildner (LP-Bildner) sollen im Frischbeton gleichmäßig verteilte Mikro-Luftporen mit einem Durchmesser $\leq 300 \mu\text{m}$ in ausreichender Anzahl erzeugen. Im erhärteten Beton dienen die Poren als Ausweichraum zum Abbau des beim Gefrieren der Porenflüssigkeit entstehenden Drucks. Außerdem verringern sie die kapillare Wasseraufnahme. Beide Wirkungsmechanismen führen zu einem hohen Frost-Tausalz-Widerstand des Betons. In der Praxis wurde bei einigen Betonfahrbahndecken bei Verwendung von LP-Bildnern mit synthetischer Wirkstoffbasis ein stark erhöhter Luftgehalt im Festbeton festgestellt. Laboruntersuchungen des

The standard mortars with a water-cement ratio of $w/c = 0.50$ were generally produced in accordance with DIN EN 196-1 using no superplasticisers and with a cement content of 450 g per mixture. In order to retain a constant paste content, mortars with a water-cement ratio of $w/c = 0.40$ were produced with a cement content of 500 g per mixture, mortars with $w/c = 0.35$ with 535 g per mixture. A PCE-based superplasticiser was used in order to obtain a constant flow diameter.

Fig. 2.4.3-2 shows the strength development with $w/c = 0.35$ compared with the reference mortars with $w/c = 0.50$. The results were used as the basis for selecting the cements Z6, Z8 and Z10 for the subsequent tests. Z6 corresponds to CEM II/C-M in the revised version of EN 197-1. The other two cements go beyond the requirements specified by the future standard. These cements are produced in the laboratory in the second phase of the research project using blast furnace slag. They are produced with additional degrees of fineness and other chemical compositions. These cements are also used to conduct mortar tests. In phase 3 of the research project, concretes will be tested using factory-produced cements.

2.4.4 Influence of mixing time on air entrainment in fresh and hardened concrete ■

IGF project 17227 N sponsored by AiF
(Federation of Industrial Cooperative Research Associations)
Project duration: 08/2011–08/2013

Background and aim

Air entraining admixtures (AEAs) are intended to produce a sufficiently high number of evenly distributed micro-air pores with a diameter of $\leq 300 \mu\text{m}$ in fresh concrete. In hardened concrete, the pores serve as expansion space to reduce the pressure that arises when the pore fluid freezes. They also reduce the capillary water absorption. In tandem, the two operating mechanisms ensure a high freeze-thaw resistance with de-icing salt of the concrete. In practice, a number of concrete road pavings showed a much higher air content in the hardened concrete when using AEAs based on a synthetic active agent. Laboratory research conducted

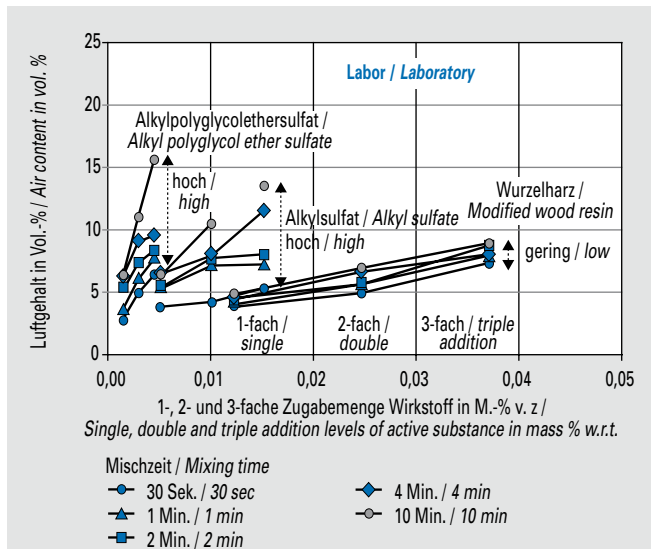


Bild 2.4.4-1 Luftgehalt in Abhängigkeit von der Wirkstoffzugabemenge des LP-Bildners und der Mischzeit, Einstufung des Nachaktivierungspotenzials

Fig. 2.4.4-1 Air content in relation to the quantity of air-entraining agent active substance added and the mixing time, classification of the re-activation potential

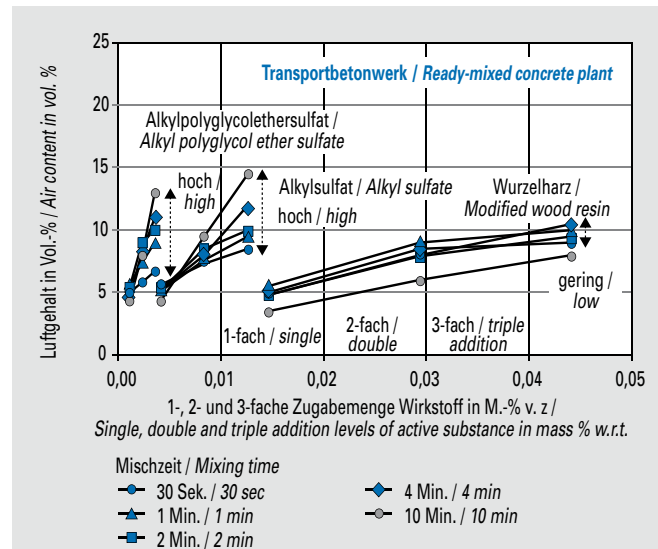


Bild 2.4.4-2 Luftgehalt in Abhängigkeit von der Wirkstoffzugabemenge des LP-Bildners und der Mischzeit, Einstufung des Nachaktivierungspotenzials

Fig. 2.4.4-2 Air content in relation to the quantity of air-entraining agent active substance added and the mixing time, classification of the re-activation potential

VDZ zeigten, dass eine wesentliche Erhöhung des Luftgehalts dann auftreten kann, wenn der LP-Bildner bei zu kurzer Mischzeit überdosiert wurde, um den angestrebten Luftgehalt einzuhalten. Der Frischbeton kann in diesem Fall nicht ausreichend aktivierten LP-Bildner enthalten. Bei einem nachträglichen Eintrag von Mischenergie, z. B. während des Transports im Mischfahrzeug mit drehender Trommel oder beim Einbau (Verteilerschnecke eines Gleitschalungsfertigers) kann sich der Luftgehalt erhöhen. Eine nachträgliche Erhöhung kann vermieden werden, wenn der LP-Bildner bereits bei der Herstellung durch eine ausreichend lange Mischzeit vollständig aktiviert wurde. Die Kenntnis der mischzeitabhängigen Luftporenbildung ist daher von großer Bedeutung für die Abschätzung des Nachaktivierungspotenzials. Bisherige Empfehlungen basierten auf Versuchen mit Labormischern (Volumen rund 0,1 m³). Die Luftporenbildung wird aber auch durch Faktoren wie z. B. Mischertyp, Mischungsgröße und Mischintensität beeinflusst.

Vorgehensweise

Es wurde untersucht, ob die Ergebnisse der Laborversuche auf die Mischanlage eines Transportbetonwerks (Volumen rund 2 m³) übertragbar sind. Es wurden drei LP-Bildner mit unterschiedlichem Nachaktivierungspotenzial ausgewählt: ein natürlicher LP-Bildner auf Wurzelharzbasis und zwei synthetische LP-Bildner (Wirkstoff Alkylsulfat bzw. Alkylpolyglycoethersulfat). Unter Verwendung gleicher Betonzusammensetzungen wurden im VDZ und in einem Transportbetonwerk gleichartige Versuchsreihen durchgeführt. Zunächst wurde in einem Vorversuch die LP-Bildnermenge ermittelt, die im Labor bzw. in der Praxis nach einer Mischzeit von rund zwei Minuten einen Luftgehalt von 5 Vol.-% ergab. Diese LP-Bildnermenge wurde als einfache Zugabemenge bezeichnet. Anschließend wurde der Luftgehalt nach Mischzeiten von 30 Sekunden sowie nach 1, 2, 4 und 10 Minuten mit der einfachen und einer überhöhten (doppelten bzw. dreifachen) LP-Bildnermenge bestimmt. Bei einem wesentlichen Anstieg des Luftgehalts bei überhöhter Zugabemenge und langer Mischzeit besteht die Gefahr einer Erhöhung des Luftgehalts auch in der praktischen Anwendung.

by VDZ showed that a considerable increase of the air content can occur when, in order to obtain the desired air content in spite of too short a mixing time, the AEA is overdosed. In such cases, the fresh concrete may contain insufficiently activated AEA. The air content can increase during subsequent input of mixing energy, e.g. during transport in a ready-mixed concrete lorry with rotating drum or during construction (slipform paver's spreading screw). A subsequent increase can be prevented during production by allowing the AEA to be fully activated through a sufficiently long mixing time. Knowledge of air entrainment as a function of mixing time is thus of great significance for estimation of the re-activation potential. Current recommendations have been based on tests conducted using laboratory mixers (volume approx. 0.1 m³). However, air entrainment is also affected by factors such as mixer type, mixture volume and mixing intensity.

Approach

It was examined whether the results of the laboratory tests could be applied to the mixing plant of a ready-mixed concrete plant (volume approx. 2 m³). Three AEAs with different re-activation potential were selected: one natural AEA based on wood resin and two synthetic AEAs (active agent: alkyl sulphate and alkyl polyglycol ether sulphate, respectively). Identical test series were conducted by VDZ and at a ready-mixed concrete plant using the same concrete compositions. First, a preliminary test was conducted to determine the AEA quantity with which an air content of 5 vol. % was obtained after a mixing time of around 2 minutes in the laboratory and under practical conditions. This AEA quantity was designated the single added amount. The air content was then determined after mixing times of 30 seconds, 1 minute, 2 minutes, 4 minutes and 10 minutes using the single added amount and an overdosed (double and triple dose) AEA quantity. A significant increase of air content through overdosing the agent together with a long mixing time bears the risk that the air content will also be increased in practical application.

Versuchsergebnisse

Die im Labor und in der Praxis ermittelten Luftgehalte wurden in Abhängigkeit von der Wirkstoffmenge des LP-Bildners und der Mischzeit dargestellt (**Bild 2.4.4-1** und **2.4.4-2**). Bei einfacher Zugabemenge war kein Einfluss des LP-Bildners zu erkennen. Der Luftgehalt erreichte nach einer Mischzeit von rund 2 Minuten den angestrebten Wert von 5 Vol.-% und änderte sich danach nicht wesentlich. Bei zwei- und dreifacher Zugabemenge zeigte sich ein wirkstoffabhängiges Verhalten. Beim LP-Bildner auf Wurzelharzbasis stieg der Luftgehalt bei Verdreifachung der Dosierung auf max. 10 Vol.-% an. Bei den beiden synthetischen LP-Bidnern war ein Anstieg auf mehr als 15 Vol.-% zu verzeichnen. LP-Bidner auf Wurzelharzbasis haben ein geringes Nachaktivierungspotenzial, da auch bei hohen Dosierungen der größte Anteil des Wirkstoffs in der Porenlösung ausfällt. LP-Bidner mit synthetischer Wirkstoffbasis weisen aufgrund der guten Löslichkeit ein höheres Nachaktivierungspotenzial auf. Es sind wesentlich geringere Dosierungen erforderlich, um den angestrebten Luftgehalt zu erreichen. Die Darstellungen verdeutlichen, dass die Ergebnisse der Laborversuche auf die Praxis übertragbar sind. Die im Vorschriftenwerk beschriebene Vorgehensweise mit der Ermittlung der mischzeitabhängigen Luftporenbildung mit „einfacher“ und überhöhter LP-Bidner-Dosierung nach kurzer und verlängerter Mischzeit ist geeignet, das Nachaktivierungspotenzial eines Betons bereits in der Erstprüfung zu kennzeichnen.

2.4.5 Präzisionswerte für das Schnellprüfverfahren (80 °C) und den Mörtelschnelltest (70 °C) ■

Forschungsvorhaben FE 89.0260/2011
 Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
 Projektpartner: TU Hamburg-Harburg, Bauhaus-Uni Weimar, TU München, BTU Cottbus, Erftlabor
 Projektzeitraum: 11/2011–03/2014

Ziel

Für die beiden in der Alkali-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (Ausgabe 02/2007) beschriebenen Schnelltests (Schnellprüfverfahren (80 °C) und Mörtelschnelltest (70 °C)) lagen bisher keine Präzisionswerte vor. Daher war eine Trennung der Streuung von Messergebnissen in die materialspezifische und in die verfahrensbedingte Komponente nicht möglich. Die Beurteilung, ob die Reaktivität einer Probe signifikant anders ist als die einer anderen, war erschwert. Daher wurde, solange keine Präzisionswerte vorlagen, mit einem Schätzwert der Standardabweichung der Dehnung von $s = 0,10$ bis $0,20$ mm/m gearbeitet. Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung von Präzisionswerten beider AKR-Schnelltests, um die Grenze für die maximal zulässige Dehnung einer zu überwachenden Gesteinskörnung fundiert festlegen zu können.

Vorgehensweise

Der VDZ wurde beauftragt, die verfahrensbedingte Streuung der beiden Schnelltests zu ermitteln. Die Untersuchungen wurden unter der Federführung des VDZ im Rahmen des Forschungsvorhabens FE 89.0260/2011 durchgeführt. Alle fünf zum Zeitpunkt des Projektstarts (Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)) vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bzw. von der BASt anerkannten Einrichtungen für die Erstellung von AKR-Gutachten nahmen an den Untersuchungen teil. Ein Granulit und ein Rhyolith wurden unter Wiederhol- (Fall 1) und Vergleichsbedingungen (Fall 2a) untersucht. Die Untersuchung einer alkalireaktiven Grauwacke erfolgte einmal

Test results

The air contents determined in the laboratory and in practice have been depicted as a function of the added quantity of AEA and mixing time (**Figs 2.4.4-1** and **2.4.4-2**). Adding the single added amount of AEA produced no discernible influence. The air content reached the desired value of 5 vol. % after a mixing time of around 2 minutes and then no longer changed significantly. With the double and triple added amount, agent-affected behaviour was discernible. The AEA on wood resin basis increased the air content up to a maximum of 10 vol. % with the triple dose. The two synthetic AEAs produced an increase to more than 15 vol. %. AEAs on wood resin basis possess a low re-activation potential as even with higher dosages the greater part of the agent precipitates in the pore solution. Synthetic-based AEAs possess a higher re-activation potential due to the good solubility. Substantially lower dosages are required to obtain the desired air content. The graphs illustrate that the laboratory test results can be applied to practical conditions. The procedure described in the specifications for determining air entrainment as a function of mixing time using “single” and overdosed added amounts of AEA after a short and a long mixing time is suitable for identifying a concrete’s re-activation potential even within an initial test.

2.4.5 Precision values for the accelerated mortar bar test (80 °C) and the accelerated mortar bar test (70 °C) ■

Research project FE 89.0260/2011
 Client: Federal Highway Research Institute BASt
 Project partners: TU Hamburg-Harburg, Bauhaus-Uni Weimar, TU München, BTU Cottbus, Erftlabor
 Project duration: 11/2011–03/2014

Aim

So far, no precision values have been available for the two accelerated mortar bar tests (80 °C and 70 °C respectively) described in the German Committee for Structural Concrete’s Alkali Guidelines (issue 02/2007). This made separation of the measurement results’ scatter into material-specific and process-specific impossible. Judging whether a sample’s reactivity was significantly different than another’s was difficult. Therefore, while no precision values were available, an estimate of the expansion’s standard deviation of $s = 0.10$ to 0.20 mm/m was used. The aim of this research was to determine precision values for both ASR accelerated mortar bar tests in order to obtain a sound basis for specification of the limit for maximum permissible expansion of aggregates under supervision.

Approach

VDZ was commissioned to determine the process-specific scatter for the two accelerated mortar bar tests. The research took place under the leadership of VDZ within research project FE 89.0260/2011. At the time the order was placed (client: Federal Highway Research Institute (BASt)) all five institutions publicly appointed for ASR testing by the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (BMVI) or rather by the BASt participated. A granulite and a rhyolite were examined under repeat (case 1) and under reproducible conditions (case 2a). Each laboratory tested an alkali-reactive greywacke once (case 2b). Precision values (overall mean value, standard deviation, variation coefficient, repeat limit, intermediate limit and reproducibility limit) in accordance with DIN ISO 5725-2 were determined based on the expansions determined. In addition, VDZ evaluated the round robin tests conducted by the DIBt (German Institute for Building Technology) during the

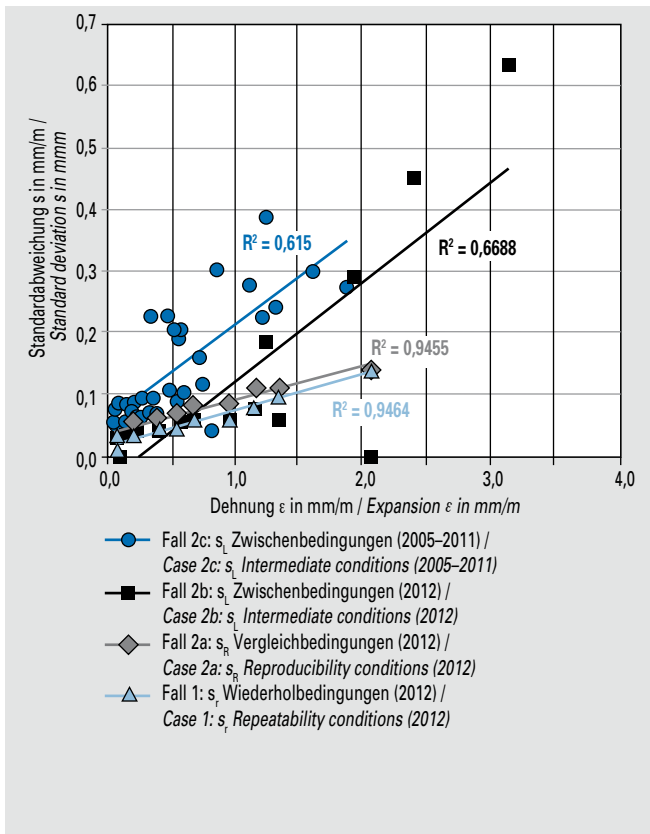


Bild 2.4.5-1 Standardabweichungen mit dem Referenzprüfverfahren 2005–2011 und 2012

Fig. 2.4.5-1 Standard deviation of accelerated mortar bar test 2005–2011 and 2011

je Labor (Fall 2b). Auf Basis der ermittelten Dehnungen wurden Präzisionswerte (Gesamtmittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient, Wiederhol- und Vergleichsgrenze) gemäß DIN ISO 5725-2 ermittelt. Zusätzlich wertete der VDZ die Ringversuche des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) der Jahre 2005–2011 (Organisator TU Hamburg) aus, in denen zwischen 17 und 31 Labore verschiedene Gesteinskörnungen untersuchten.

Diese unter Zwischenbedingungen – d.h. durch mehrere Labore und jeweils nur einmal – erzeugten Ergebnisse wurden in die Ermittlung der Präzisionswerte einbezogen (Fall 2c). Auf Basis der ermittelten Präzisionswerte wurden Vorschläge erarbeitet, wie weit ein Ergebnis aus einer WS-Bestätigungsprüfung vom Startwert der jeweiligen WS-Grundprüfung (beide Schnelltests) nach oben hin abweichen darf.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die mit dem Referenzprüfverfahren unter Wiederhol- und Vergleichbedingungen ermittelten Standardabweichungen liegen im Wertebereich bis 2,0 mm/m Dehnung unter 0,15 mm/m.

Für Fall 1 (Wiederholbarkeit) hat sich bestätigt, dass Standardabweichungen bei Prüfung innerhalb eines Labors am geringsten sind (siehe s_r in **Bild 2.4.5-1**). Für Fall 2a (Vergleichbarkeit) sind die Standardabweichungen zwischen Dehnungsergebnissen mehrerer Labore erwartungsgemäß höher. Unterschiede zur Standardabweichung unter Wiederholbedingungen sind gering (siehe s_R in **Bild 2.4.5-1**). Im Fall 2b, d.h. unter Berücksichtigung einer Gesteinskörnung mit hoher Dehnung, kommt es zu einer signifikanten Zunahme der Standardabweichungen.

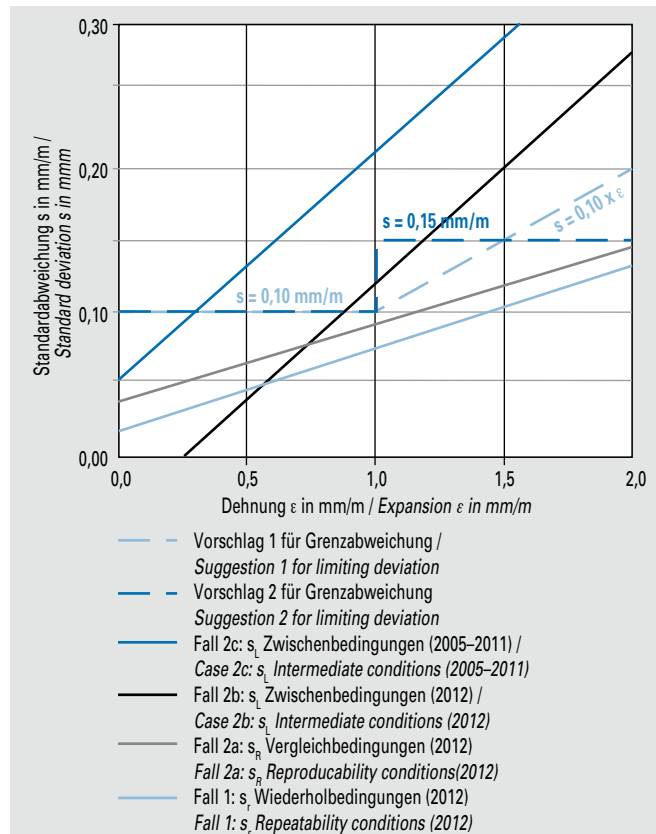


Bild 2.4.5-2 Idealisierter Verlauf der Standardabweichungen mit dem Referenzprüfverfahren und zwei Vorschläge

Fig. 2.4.5-2 Idealised trend of standard deviations of accelerated mortar bar test and two proposals

years 2005–2011 (organised by TU Hamburg) in which between 17 and 31 laboratories examined various aggregates.

These results, obtained under intermediate conditions, i.e. by several different laboratories and once only respectively, were included in the determination of the precision values. (Case 2c). Based on the precision values determined, suggestions were compiled as to how far the result of a WS confirmation test may deviate positively from the initial value of the respective WS aggregate test (both accelerated mortar bar tests).

Results and conclusions

The standard deviation determined using the reference method under repeat and comparison conditions are lower than 0.15 mm/m within the value range up to an expansion of 2.0 mm/m.

For case 1 (repeatability), it has been confirmed that standard deviation in tests is lowest within a single laboratory (see s_r in **Fig. 2.4.5-1**). For case 2a (reproducibility), the standard deviation among the expansion results from several laboratories are higher as expected. Differences to standard deviation under comparison conditions are low (see s_R in **Fig. 2.4.5-1**). In case 2b, i.e. when taking into account an aggregate with high expansion, there is a significant increase in standard deviation.

The results of the round robin tests 2005–2011 present the greatest standard deviation under intermediate conditions (see s_L in **Fig. 2.4.5-1**). Deviation attained in repeat tests are not included in this standard deviation. Including the deviation from the repeat tests would result in an even greater standard deviation.

Die Ergebnisse der Ringversuche 2005–2011 zeigen unter Zwischenbedingungen die höchsten Standardabweichungen (siehe s_L in **Bild 2.4.5-1**). Abweichungen aus Wiederholversuchen sind in diesen Standardabweichungen noch nicht enthalten. Die Standardabweichungen wären bei Berücksichtigung der Wiederholabweichungen noch größer.

Vorschläge zur Verwendung der Präzisionswerte

Bisher orientierte man sich bei der Festlegung der zulässigen Abweichung von Dehnungen für WS-Bestätigungsprüfungen am Schätzwert der Standardabweichungen (0,10 bis 0,20 mm/m). Die Vergleichsuntersuchungen haben gezeigt, dass bei routinierter Arbeitsweise unter Vergleichsbedingungen bis zu einer Dehnung von rund 1,0 mm/m eine Verfahrenspräzision von 0,10 mm/m erreichbar ist (unter Wiederholbedingungen bis rund 1,5 mm/m, siehe **Bild 2.4.5-2**). Bis 2,0 mm/m Dehnung wird unter allen Bedingungen eine Standardabweichung von 0,15 mm/m eingehalten.

Aus den Ergebnissen können Varianten für eine maximal zulässige Überschreitung einer Dehnung in Vergleichsuntersuchungen mit dem Schnellprüfverfahren vorgeschlagen werden:

- Zulässige Überschreitung bei Dehnungen bis zu 1,0 mm/m: 0,10 mm/m
- Zulässige Überschreitung bei Dehnungen bis 2,0 mm/m: Entweder 10 % des Dehnungswerts (Vorschlag 1) oder 0,15 mm/m (Vorschlag 2).

Bei einer Dehnung $\leq 1,00$ mm/m – bestimmt mit dem Referenzprüfverfahren – ist das Ergebnis einer Bestätigungsprobe dann signifikant unterschiedlich, wenn die Dehnung der Referenzprobe um mehr als 0,10 mm/m überschritten wird. Diesem Bericht liegen Teile des im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE 89.0260/2011/ laufenden Forschungsvorhaben zugrunde.

2.4.6 Alkali-Kieselsäure-Reaktion bei Betonen des kommunalen Straßenbaus ■

als IGF-Vorhaben beantragt
Projektzeitraum: 08/2015–03/2018

Hintergrund und Ziel

Viele Verkehrsflächen im kommunalen Bereich werden gemäß dem Allgemeinen Rundschreiben Straßenbau (ARS) Nr. 04/2013 zur Alkaliempfindlichkeit den Belastungsklassen Bk1,8 bis Bk100 und damit der Feuchtigkeitsklasse WS zugeordnet. Früher wurde in diesen Anwendungen die Feuchtigkeitsklasse WA zugrunde gelegt. Die aktuelle Zuordnung ist gegebenenfalls nicht praxisgerecht.

Die Eignung von Gesteinskörnungen bzw. von Betonen für die Feuchtigkeitsklasse WS kann durch eine WS-Grundprüfung oder eine AKR-Performance-Prüfung des Betons nachgewiesen werden. Betroffen hiervon sind auch geringer belastete Verkehrsflächen, beispielsweise für Bushaldebuchten oder Parkflächen. Da in vielen Regionen weder WS-Grundprüfungen noch Performance-Prüfungen vorliegen, ist vielfach kein Transportbeton lieferbar. Oftmals werden nunmehr Betone, bei denen von langjährigen guten Praxiserfahrungen berichtet wird, von der Verwendung ausgeschlossen.

Suggestions for using the precision values

So far, the definition of permissible deviation for expansion in WS confirmation tests has been based on estimates of standard deviation (0.10 mm/m to 0.20 mm/m). The comparison tests have shown that, with thoroughness and under reproducible conditions, a precision of up to 0.10 mm/m is attainable up to an expansion of around 1.0 mm/m (under repeat conditions up to about 1.5 mm/m – **Fig. 2.4.5-2**). Up to an expansion of 2.0 mm/m, standard deviation does not exceed 0.15 mm/m under all conditions.

The results allow us to suggest variants for a maximum excess expansion in comparison tests when using the accelerated mortar bar test:

- Permissible excess for expansion up to 1.0 mm/m: 0.10 mm/m
- Permissible excess for expansion up to 2.0 mm/m: Either 10 % of the expansion value (suggestion 1) or 0.15 mm/m (suggestion 2).

For an expansion ≤ 1.00 mm/m – determined using the reference test method – the result for a confirmation sample deviates significantly if the reference sample's expansion is exceeded by more than 0.10 mm/m. This report is based on parts of the research project carried out at the request of the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure represented by the Federal Highway Research Institute, under research project No. 89.0260/2011/.

2.4.6 Alkali-silica reaction in concrete used for municipal road construction ■

IGF project application pending
Project duration: 08/2015–03/2018

Background and aim

Many road pavements in municipal areas are classified as load class Bk1.8 to Bk100 according to the German Federal Ministry for Transport's General Road Construction Circular ARS no. 04/2013 and is thus classified as moisture class WS. These applications used to be considered moisture class WA. It is possible that the current classification fails to meet practical requirements.

Suitability of aggregates or concretes for moisture class WS can be verified by subjecting the concrete to a WS aggregate test or an ASR performance test. This also affects road surfaces subjected to lower loads, e.g. bus stops or parking areas. As, for many regions, neither WS aggregate tests nor performance tests are available, ready-mixed concrete can often not be supplied. Now, concretes which have produced many years of good practical experiences are frequently being excluded from use.

The WS classification was selected for motorways (high dynamic loads and external alkali supply). However, the lower velocities mean that municipal road surfaces are subjected to lower dynamic traffic loads. Furthermore, gritting agents are often given preference over thawing agents in urban areas, meaning that the alkali supply and the risk of damage through an alkali-silica reaction (ASR) are lower than for a motorway. It may therefore be that moisture class WA or a comparable classification is sufficient.

The research project applied for with the IGF therefore aims to provide fundamental findings to allow concrete for use in municipal

Die Einstufung WS wurde für Autobahnen (hohe dynamische Belastung und Alkali-Zufuhr von außen) gewählt. Bei kommunalen Flächen ist aber infolge der geringeren Geschwindigkeit die dynamische Verkehrsbelastung nicht so hoch. Zudem werden im innerstädtischen Bereich oft keine Taumittel, sondern abstumpfende Mittel eingesetzt, sodass die Alkali-Zufuhr und das Risiko einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) im Vergleich zum Autobahnbau geringer ausfallen. Möglicherweise ist die Feuchtigkeitsklasse WA oder eine vergleichbare Zuordnung ausreichend.

Ziel des bei der IGF beantragten Forschungsvorhabens ist es daher, für den Bereich kommunaler Verkehrsflächen grundlegende Erkenntnisse zur praxismgerechten Zuordnung der Feuchtigkeitsklasse und der entsprechenden Bewertung des Betons durch ein Performance-Prüfverfahren zu liefern.

Vorgehensweise

Im Forschungsprojekt sollen Betondecken ohne Anzeichen einer schädigenden AKR mit rund zehnjähriger Liegedauer untersucht werden. Aus den Decken sollen Bohrkerne entnommen und mit einem für die Feuchtigkeitsklasse WA entwickelten Prüfverfahren bewertet werden. Bei positivem Ergebnis könnte ein Beton gleicher Zusammensetzung unter vergleichbaren Randbedingungen im kommunalen Straßenbau eingesetzt werden. Damit könnte eine vermehrte Anzahl auch regional verfügbarer Gesteinskörnungen verwendet werden. Die praxismgerechte Wahl der Feuchtigkeitsklasse und die Bewertung durch ein geeignetes Prüfverfahren ermöglichen den Einsatz regional verfügbarer Ausgangsstoffe. Damit werden die Dauerhaftigkeit und die Wirtschaftlichkeit der Betonbauweise verbessert.

2.4.7 Ableitung praxismgerechter Bewertungskriterien für AKR-Performance- und WS-Grundprüfungen zur zielsicheren Vermeidung von AKR-Schäden bei Betonstraßen ■

Ziel

Mit der Einführung des neuen Allgemeinen Rundschreibens Straßenbau (ARS) Nr. 04/2013 des damaligen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung wurde das bis dahin gültige

traffic projects to be assigned a moisture class suitable for practical applications and evaluated through a performance test method.

Approach

The research project intends to examine concrete carriageway paving that has been in place for roughly ten years and that does not display signs of ASR damage. Drill cores are to be removed from the paving and to be evaluated using a test method developed for moisture class WA. If the results prove positive, a concrete of identical composition could be used in municipal road construction, provided conditions are comparable. This would facilitate employment of a greater range of aggregates that are regionally available. Assignment of a moisture class suitable for practical applications and evaluation by means of a suitable test method allow the use of regionally available raw materials. This improves durability and cost-effectiveness of concrete construction.

2.4.7 Inference of evaluation criteria for ASR performance tests and for WS aggregate tests suitable for practical application with the aim of assured prevention of ASR damage to concrete roads ■

Aim

With the introduction of the new General Road Construction Circular ARS no. 04/2013 by the former German Federal Ministry for Transport, Building and Urban Development, the previously valid ARS no. 12/2006 was replaced. Road surfaces of load classes Bk1.8 to Bk100 as per German Directives for Standard Road Design (RStO) 12 are classified as moisture class WS. The alkali reactivity of this moisture class's aggregates or concretes is to be verified by means of one of the following tests:

- Expert report on concrete composition, generally in the form of an ASR performance test
- WS basic test of the coarse aggregates with $d \geq 2$ mm
- WS confirmation testing of coarse aggregate following successful WS basic test or mix design assessment through testing of the concrete constituents following successful ASR performance testing

Tabelle 2.4.7-1 Zuordnung der Merkmale zu Schadenskategorien

Table 2.4.7-1 Allocation of the features to damage categories

| Schadenskategorie <i>Damage category</i> | Schadensmerkmale <i>Damage features</i> |
|---|--|
| I | – Verfärbung im Bereich der Quertugen/Fugenkreuze (i. A. beginnend im Fugenkreuz) / <i>Discolouration in the area of the transverse joints / joint intersections (generally starting at the joint intersection)</i> – Keine über Schwindrisse hinausgehende Rissbildung / <i>No cracking beyond shrinkage cracks</i> |
| II | – Ausgeprägte Verfärbung im Bereich der Fugen / <i>Marked discolouration in joint areas</i> – Rissbildungen in Fugenkreuzbereichen / <i>Cracking in the joint intersection areas</i> – Beginnende bis ausgeprägte Netzißbildung / <i>Incipient to marked crazing</i> – Ggf. Längs- und Querrisse an den Quertugen / <i>Possible longitudinal and transverse cracks at the transverse joints</i> – Ggf. zusätzliche Längsrißbildung in Rüttelgassen, noch kein Substanzverlust / <i>Possible additional longitudinal cracking in vibration channels, but still no loss of substance</i> |
| III | – Ausgeprägte Verfärbung im Bereich der Fugen / <i>Marked discolouration in the joint areas</i> – Sehr ausgeprägte Rissbildung (häufig mit Verfärbungen) / <i>Very marked cracking (often with discolouration)</i> – Ggf. Kantenschäden und/oder Eckabbrüche / <i>Possible edge damage and/or broken corners</i> – Ggf. Substanzverlust, z. B. Verschotterung / <i>Possible loss of substance, e. g. crumbling</i> |

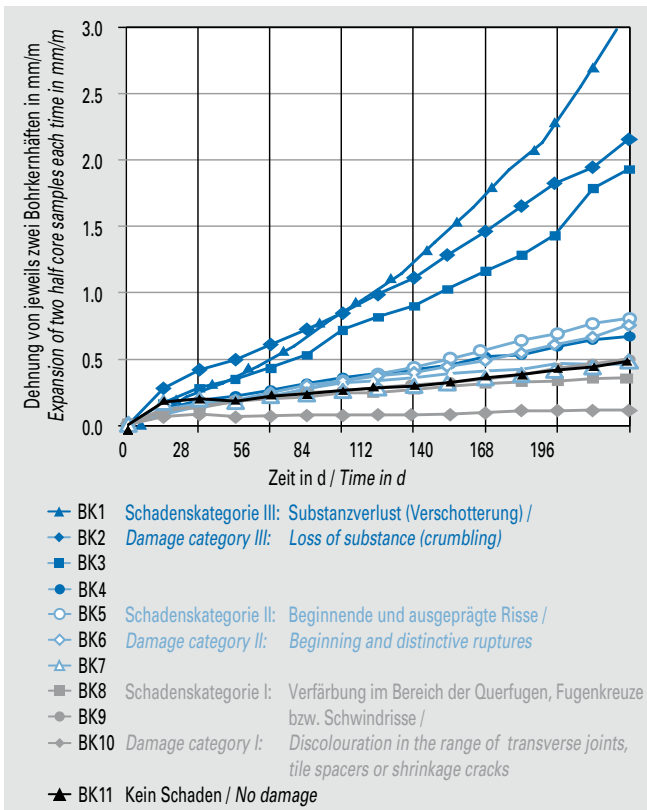


Bild 2.4.7-1 Dehnungen von Bohrkernhälften
Fig. 2.7.7-1 Expansion of half core samples

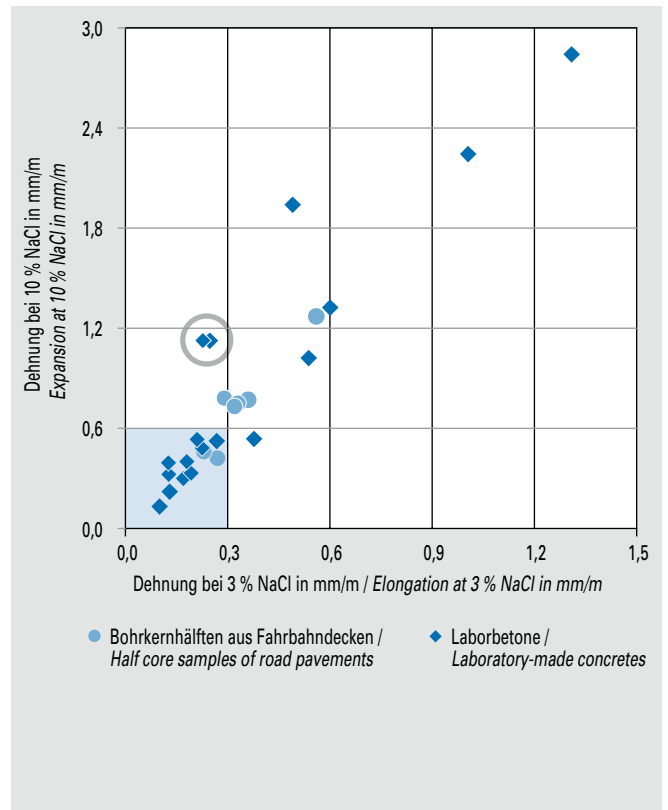


Bild 2.4.7-2 Dehnungen von Bohrkernhälften aus Fahrbahndecken und Laborbetonen
Fig. 2.4.7-2 Expansion of half core samples of road pavements and laboratory-made concretes

ARS Nr.12/2006 ersetzt. Verkehrsflächen der Belastungsklassen Bk1,8 bis Bk100 gemäß Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO) 12 werden der Feuchtigkeitsklasse WS zugeordnet. Die Alkaliempfindlichkeit der Gesteinskörnungen beziehungsweise der Betone für diese Feuchtigkeitsklasse ist durch eine der folgenden Prüfungen nachzuweisen:

- Gutachten zum Beton, in der Regel durch eine AKR-Performance-Prüfung
- *WS-Grundprüfung* der groben Gesteinskörnungen mit $d \geq 2$ mm
- *WS-Bestätigungsprüfung* der groben Gesteinskörnung bei Vorliegen einer bestandenen WS-Grundprüfung oder eine Rezepturbewertung durch Prüfung der Betonausgangsstoffe bei Vorliegen einer bestandenen AKR-Performance-Prüfung

Die AKR-Performance- und die WS-Grundprüfung können mit den Verfahren 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen und Klimawechsellagerung durchgeführt werden. Beide Verfahren führen zu einer vergleichbaren Bewertung identischer Betone. Für den 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen wurden durch den VDZ seit 2005 Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, Gesteinskörnungen und Betone praxistgerecht zu bewerten. Praxistgerecht bedeutet, dass einerseits Schäden sicher vermieden werden. Andererseits muss es weiterhin möglich sein, mit Gesteinskörnungen bzw. Betonen zu bauen, die sich in der Praxis nachweislich bewährt haben.

Vorgehensweise

Zur Herleitung der Bewertungskriterien wurden aus verschiedenen stark geschädigten Betonfahrbahndecken Bohrkern entnommen und deren Hälften im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von

The ASR performance test and the WS aggregate test can be conducted using the methods 60 °C concrete test with external alkali supply and alternating climate storage. Both methods provide comparable results for evaluation of identical concretes. Since 2005, VDZ has been conducting experiments regarding the 60 °C concrete test with external alkali supply with the aim of evaluating aggregates and concretes suitable for practical application. Suitable for practical application means, on the one hand, reliably preventing damage. On the other hand, it must also continue to be possible to build with aggregates and concretes that have verifiably proved successful in practice.

Approach

For the purpose of inferring evaluation criteria, drill cores were removed from concrete road paving in various states of damage. These were halved and the halves subjected to the 60 °C concrete test with external alkali exposure using a 3 % sodium chloride (NaCl) solution. The road pavings were sorted into the damage categories shown in **Table 2.4.7-1** according to their damage features. **Fig. 2.4.7-1** shows the expansions of the drill core halves. The markers have been coloured to correspond to the damage categories of the road pavings. The higher the road paving’s damage category, the higher also the residual expansion of the drill core halves. Concretes from undamaged road pavings or from damage category I road pavings displayed, after 10 cycles (140 days), a maximum expansion of 0.3 mm/m. These federal motorway pavings from the inside lane displayed, after 10 to 18 years of intense use, no signs of ASR damage or displayed only slight crocodile cracking not caused by alkali-silica reaction. There were cases of discoloured transverse joints/spacer joints. With larger expansion

außen durch eine 3%ige Natriumchlorid-Lösung (NaCl) geprüft. Die Fahrbahndecken wurden in Abhängigkeit von ihrem Zustand in Schadenskategorien nach **Tabelle 2.4.7-1** eingestuft. In **Bild 2.4.7-1** sind die Dehnungen der Bohrkernhälften dargestellt. Die Marker wurden entsprechend der Schadenskategorie der Fahrbahndecke eingefärbt. Je höher die Schadenskategorie der Fahrbahndecke, desto höher waren die Restdehnungen der Bohrkernhälften. Betone aus Fahrbahndecken ohne Schaden oder aus solchen der Schadenskategorie I wiesen nach zehn Zyklen (140 Tage) eine maximale Dehnung von 0,3 mm/m auf. Diese Fahrbahndecken von Bundesautobahnen wiesen nach 10 bis 18 Jahren intensiver Nutzung in der ersten Fahrspur keine Anzeichen einer schädigenden AKR bzw. nur leichte Netzrisse auf, die nicht auf eine AKR zurückzuführen waren. Zum Teil waren die Bereiche der Quertugen/Fugenkreuze verfärbt. Bei größeren Dehnungen muss bei Fahrbahndecken der Feuchtigkeitsklasse WS nach 9 bis 15 Jahren von Schädigungen entsprechend der Schadenskategorie II oder III ausgegangen werden.

Vergleich verschiedener Natriumchlorid-Konzentrationen

Vergleichsprüfungen mit einer 10%igen NaCl-Lösung im 60 °C-Betonversuch (bisherige Vorgehensweise) zeigten, dass in den meisten Fällen die Bewertung wie mit einer 3%igen NaCl-Lösung erzielt wird, wenn ein Bewertungskriterium von 0,60 mm/m nach zehn Zyklen angesetzt werden würde (**Bild 2.4.7-2**). Zwei Ausnahmen mit einer unterschiedlichen Bewertung sind gekennzeichnet. Mit der 3%igen NaCl-Lösung und einem Bewertungskriterium der Dehnung von 0,30 mm/m scheint die Übertragbarkeit auf Praxisverhältnisse im Vergleich zur Prüfung mit einer 10%igen NaCl-Lösung und einem Bewertungskriterium von 0,50 mm/m nach zehn Zyklen (derzeitige Praxis) verbessert werden zu können.

2.4.8 Erweiterung der Datenbasis AKR-Performance-Prüfverfahren ■

IGF-Nummer: 16569 N
Projektzeitraum: 05/2010–08/2013

Ziel

Schäden infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) an Betonbauwerken können vermieden werden, indem Betone eingesetzt werden, deren Alkaliempfindlichkeit gering ist. Der VDZ hat im IFG-Forschungsprojekt 16569 N Kriterien für AKR-Performance-Prüfungen entwickelt, um die Alkaliempfindlichkeit von Betonen für Bauteile der Feuchtigkeitsklassen WF (feucht) und WA (feucht + Alkalizufuhr von außen) praxisgerecht bewerten zu können. Dazu wurde untersucht, unter welchen Bedingungen der 60 °C-Betonversuch mit und ohne Alkalizufuhr von außen die Festlegungen zu Maßnahmen der Alkali-Richtlinie in den Feuchtigkeitsklassen WF und WA abbildet.

Alkali-Richtlinie

Zur Vermeidung von AKR-Schäden dürfen in bestimmten Fällen alkaliempfindliche Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S nur in Kombination mit einem NA-Zement nach DIN 1164-10 oder alkaliempfindliche Gesteinskörnungen (E I, E I-O, E I-OF oder E I-S) eingesetzt werden. Diese Festlegungen berücksichtigen alle potenziell möglichen stofflichen Kombinationen („worst-case-Betrachtung“). Es gibt also Betone, welche die zuvor genannten Festlegungen nicht erfüllen, die aber dennoch in der Praxis zu keinem AKR-Schaden führen würden. Um solche Betone einsetzen zu können, ermöglicht die Alkali-Richtlinie seit der Ausgabe 2007 deren Verwendung, wenn durch ein Gutachten

sions, it has to be assumed that damage of damage categories II or III will occur in concrete road pavings of moisture class WS after 9 to 15 years.

Comparison of various sodium chloride concentrations

Comparison tests with 10 % NaCl solution in the 60 °C concrete test (current method) showed that in most cases the same evaluation as with 3 % NaCl solution would be obtained if an evaluation criterion of 0.60 mm/m after ten cycles were applied (**Fig. 2.4.7-2**). Two exceptions with a differing evaluation have been highlighted. With 3 % NaCl solution and an evaluation criterion for the expansion of 0.30 mm/m, it would appear that transfer to practical conditions works better than the test with 10 % NaCl solution and an evaluation criterion of 0.50 mm/m after ten cycles (current practice).

2.4.8 Extension of the base data for ASR performance testing ■

IGF number: 16569 N
Project duration: 05/2010–08/2013

Aim

Damage caused by an alkali-silica reaction (ASR) in concrete structures can be avoided by using concretes with a low alkali reactivity. In IGF research project 16569 N, VDZ developed criteria for ASR performance testing in order to obtain an evaluation of the alkali reactivity of concrete compositions for elements of the WF (moist) and WA (moist + external supply of alkalis) moisture classes that is suitable for practical application. Investigations were carried out to find the conditions under which the 60 °C concrete test with and without external supply of alkalis reproduces the requirements concerning measures in the Alkali Guidelines for the WF and WA moisture classes.

Alkali Guidelines

To prevent ASR damage, in certain cases it is only permissible to use alkali-reactive aggregates of the E III-S alkali reactivity class in combination with low-alkali cement as specified in DIN 1164-10 or other aggregates that are not reactive to alkalis (alkali reactivity class: E I, E I-O, E I-OF or E I-S). These specifications take into account all potential material combinations (“worst-case approach”). This means that there are concretes that do not fulfil the above-mentioned requirements but which, in spite of this, would not lead to any ASR damage in practice. To enable the use of such concretes, the Alkali Guidelines allow their use since issue 2007 under the provision that the non-reactivity to alkalis is verified by an expert report. Such an expert report is usually based on an ASR performance test. The test is intended to provide information about whether a concrete is sufficiently non-reactive to alkalis in the corresponding moisture class so that it will not be damaged by an ASR during the planned service life. The ASR performance test methods and the conditions for attestation of conformity have not yet been described in the Alkali Guidelines. In France, the 60 °C concrete test (without alkali supply) has been standardised in AFNOR P 18-454 since 2004 and is employed there, as it is in Switzerland, for evaluation of a concrete’s non-reactivity to alkalis.

Before the ASR performance tests can also find their way into the Alkali Guidelines in Germany it must be proved that concrete compositions that are composed, and can be used, in accordance with the rules in the Alkali Guidelines can also be evaluated appropriately. The requirements in the Alkali Guidelines reflect the

die Alkaliunempfindlichkeit nachweisen wird. Ein solches Gutachten beruht in der Regel auf einer AKR-Performance-Prüfung. Diese soll Auskunft geben, ob ein Beton in der entsprechenden Feuchtigkeitsklasse ausreichend alkaliunempfindlich ist, sodass er während der geplanten Nutzungsdauer nicht durch eine AKR geschädigt wird. Die AKR-Performance-Prüfverfahren und die Bedingungen für den Konformitätsnachweis sind bisher nicht in der Alkali-Richtlinie beschrieben. In Frankreich ist der 60 °C-Betonversuch (ohne Alkalizufuhr) seit 2004 in AFNOR P 18-454 genormt und wird dort ebenso wie in der Schweiz zur Bewertung der Alkaliunempfindlichkeit von Betonen angewendet.

Bevor auch in Deutschland AKR-Performance-Prüfungen Eingang in die Alkali-Richtlinie finden können, muss der Nachweis erbracht werden, dass Betone, die nach den Regeln der Alkali-Richtlinie zusammengesetzt und anwendbar sind, auch entsprechend bewertet werden. Die Festlegungen der Alkali-Richtlinie spiegeln die Erfahrungen mit Betonen in Deutschland wider, die entweder keine AKR-Schäden aufweisen oder mit denen nachweislich AKR-Schäden aufgetreten sind.

Ergebnisse Feuchtigkeitsklasse WF

Für das Forschungsprojekt wurden Betone entsprechend den Festlegungen der Alkali-Richtlinie zusammengesetzt. Gemäß Alkali-Richtlinie sind bei diesen Betonen in Bauwerken, die feuchter Umgebung ausgesetzt sind, während einer Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren keine AKR-Schäden zu erwarten. In Bild 2.4.8-1 sind die Dehnungen nach 140 Tagen im 60 °C-Betonversuch zusammengefasst. Die Betone mit Hochofenzementen lagerten vor Beginn der Prüfung zum Teil 28 Tage bei 20 °C und 100 % rel. Luftfeuchte.

Die Ergebnisse zeigen, dass fünf Betone bei Ansatz des Orientierungswertes von 0,20 mm/m gemäß AFNOR FD P 18-456 die Prüfung bestanden. Zwei Betone (E III-S, z = 350 kg/m³ und CEM I) zeigten Dehnungen über dem Orientierungswert. In diesen Fällen läge das Ergebnis des 60 °C-Betonversuchs ohne Alkalizufuhr auf der sicheren Seite. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass der

experience with concrete compositions in Germany that either exhibit no ASR damage or with which there has been verifiable ASR damage.

Results for moisture class WF

For the research project, concretes were mixed in accordance with the requirements of the Alkali Guidelines. According to the Alkali Guidelines, these concretes are not expected to exhibit any ASR damage in structures that are exposed to a moist environment during a service life of at least 50 years. Fig. 2.4.8-1 summarises the expansions after 140 days in the 60 °C concrete test. In some cases, the concretes containing blast furnace cements were stored for 28 days at 20 °C and 100 % relative humidity before the start of the test.

The results show that five concretes passed the test when employing the guide value of 0.20 mm/m (‰) as specified in AFNOR FD P 18-456. Two concretes (E III-S, c = 350 kg/m³, and CEM I) exhibited expansions above the guide value. In these cases, the results of the 60 °C concrete test without alkali supply would lie on the safe side. The research shows that the guide value should for the time being remain unchanged. Furthermore, investigations in Switzerland show that this method allows adequate distinction between non-reactive and potentially reactive concretes if the concretes are produced with Portland cement.

It is recommended that concrete compositions containing slag cements or fly ash are pre-stored for 28 days at 20 °C and 100 % relative humidity in order to allow the concrete sufficient time for hydration.

Results for moisture class WA

The expansions after ten cycles of alternating storage are shown in Fig. 2.4.8-2 for various concretes with supply of alkalis through a 3 % and a 10 % NaCl solution. The concrete compositions correspond to the requirements of the Alkali Guidelines. ASR damage is not to be expected. With a 10 % NaCl solution, four of the seven concretes exhibited expansions after 10 cycles of alternat-

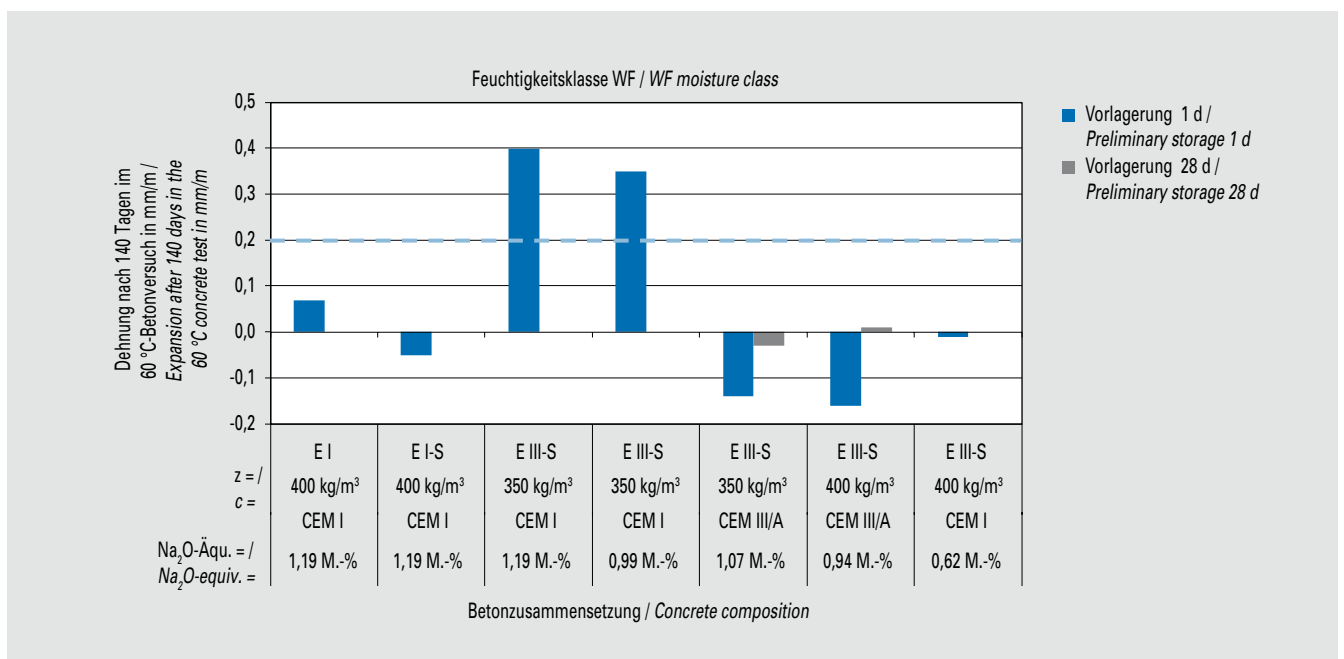


Bild 2.4.8-1 Dehnung unterschiedlicher Betone nach 140 Tagen im 60 °C-Betonversuch ohne Alkalizufuhr
Fig. 2.4.8-1 Expansion of various concrete compositions after 140 days in the 60 °C concrete test without external alkali supply

Orientierungswert zunächst nicht verändert werden sollte. Zudem zeigen Untersuchungen in der Schweiz, dass mit dem Verfahren angemessen zwischen nicht reaktiven und potenziell reaktiven Betonen unterschieden werden kann, wenn die Betone mit Portlandzement hergestellt werden.

Sowohl bei hüttensandhaltigen Zementen als auch bei Verwendung von Flugasche ist eine Vorlagerung von 28 Tagen bei 20 °C und 100 % rel. Luftfeuchte zu empfehlen, um dem Beton ausreichend Zeit für die Hydratation zu geben.

Ergebnisse Feuchtigkeitsklasse WA

In **Bild 2.4.8-2** sind die Dehnungen nach zehn Zyklen der Wechsellagerung für verschiedene Betone bei einer Alkalizufuhr durch eine 3%ige und eine 10%ige NaCl-Lösung dargestellt. Die Betone entsprechen den Festlegungen der Alkali-Richtlinie. Ein AKR-Schaden sollte nicht zu erwarten sein. Bei einer 10%igen NaCl-Lösung weisen vier der sieben Betone nach zehn Zyklen der Wechsellagerung Dehnungen auf, die über dem Wert von 0,50 mm/m liegen. In diesem Fall würden die Betone von einer Verwendung ausgeschlossen werden, obwohl sie nach Alkali-Richtlinie eingesetzt werden dürften. Die Prüfung mit einer 10%igen Natriumchlorid-Lösung erscheint daher nicht sachgemäß, da sie praxisbewährte Lösungen unverhältnismäßig beansprucht und bewerten würde.

Im Gegensatz dazu werden bei einer Alkalizufuhr von außen durch eine 3%ige NaCl-Lösung die Betone praxisgerecht bewertet. Bei allen Betonen, die den Festlegungen der Alkali-Richtlinie entsprechen, lagen die Dehnungen nach zehn Zyklen der Wechsellagerung unter 0,50 mm/m. Daher empfehlen wir, die Alkaliempfindlichkeit von Betonen der Feuchtigkeitsklasse WA mit dem 60 °C-Betonversuch mit einer Alkalizufuhr von außen durch eine 3%ige-Natriumchlorid-Lösung zu prüfen und einen Dehnungsgrenzwert von 0,50 mm/m nach zehn Zyklen (168 Tagen) der Wechsellagerung anzusetzen. Bei einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung eines NA-Zementes wurde bereits so getestet und bewertet.

ing storage that lay above the limit of 0.50 mm/m. In this case, the concretes would be debarred from use although, according to the Alkali Guidelines, their use would be permitted. Testing using a 10 % sodium chloride solution thus appears inexpedient as it places unrealistically high loads on compositions that have proven their worth in practice and produces evaluations that are excessively stringent.

Conversely, supplying alkalis externally using a 3 % NaCl solution results in an evaluation of concretes that is suitable for practical application. For all concretes that met the requirements of the Alkali Guidelines, ten cycles of alternating storage resulted in expansion of less than 0.50 mm/m. We therefore recommend testing the alkali reactivity of concretes in moisture class WA by means of the 60 °C concrete test with an external alkali supply via a 3 % sodium chloride solution and to use an expansion limit value of 0.50 mm/m after 10 cycles (168 days) of alternating storage. There has already been a national technical approval procedure for a low-alkali cement that employed this testing and evaluation method.

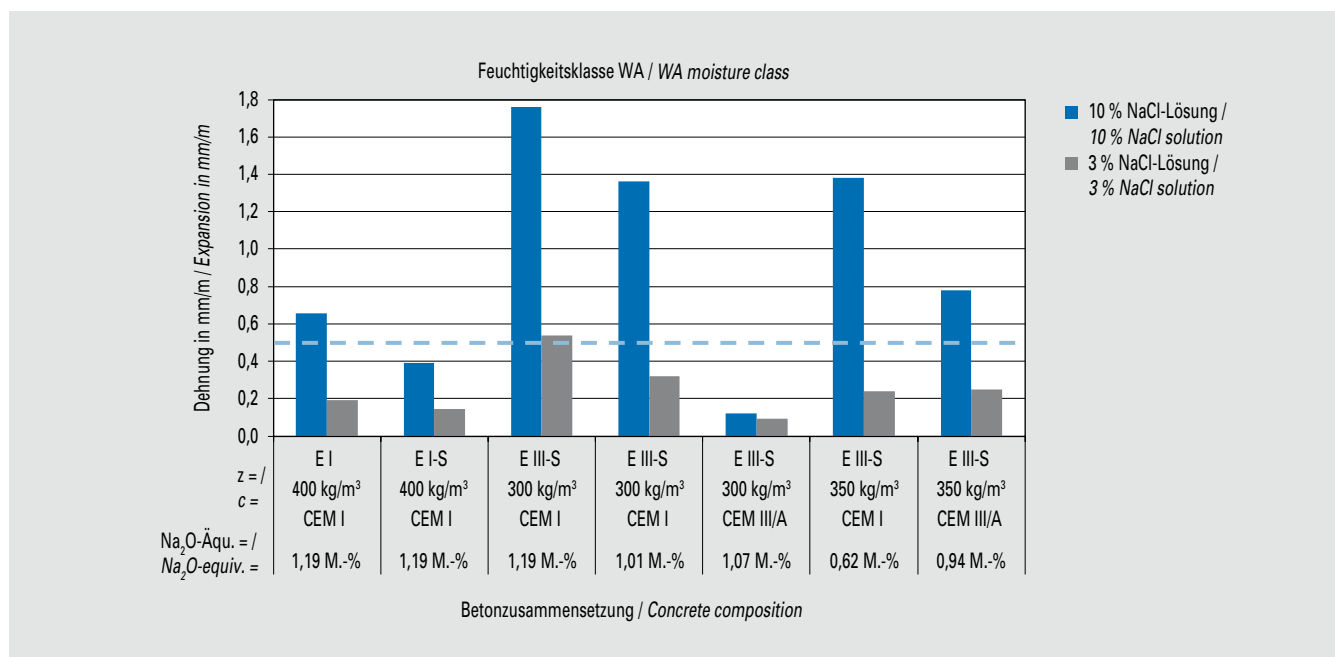


Bild 2.4.8-2 Dehnung unterschiedlicher Betone nach zehn Zyklen der Wechsellagerung im 60 °C-Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen
Fig. 2.4.8-2 Expansion of various concrete compositions after ten cycles of alternating storage in the 60 °C concrete test with external supply of alkalis

2.4.9 Kriterien für neue Alkaliempfindlichkeitsklasse E II-S ■

IGF-Nummer: 17248 BG
 Projektpartner: BTU Cottbus-Senftenberg
 Projektzeitraum: 08/2011–12/2014

Hintergrund und Ziel

Die Alkali-Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) fordert bei Gesteinskörnungen der Alkaliempfindlichkeitsklasse E III-S Maßnahmen in Abhängigkeit von der Feuchtigkeitsklasse des Bauteils und des Zementgehalts. Diese sind bisher der Austausch der Gesteinskörnung oder die Verwendung von NA-Zementen nach DIN 1164-10. Um hier ggf. wirtschaftlichere Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden infolge einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) entwickeln zu können, wäre die Einführung einer Alkaliempfindlichkeitsklasse E II-S auch für Gesteinskörnungen nach dem alten Teil 3 der Alkali-Richtlinie, Ausgabe 2007, erforderlich. Während im alten Teil 2 der Alkali-Richtlinie eine solche Einstufung (E II-O, E II-OF) schon seit 1974 mit Einführung der Vorläufigen Alkali-Richtlinie existiert, wurde eine Alkaliempfindlichkeitsklasse E II-S bisher nicht definiert, weil die bisherigen Untersuchungsergebnisse eine weitgehende Differenzierung nicht zuließen. Eine neue Alkaliempfindlichkeitsklasse E II-S würde gegebenenfalls differenziertere Maßnahmen ermöglichen und die Wettbewerbsfähigkeit des Baustoffs Beton stärken. Das Projekt verfolgt deshalb folgende Ziele:

- Definition von Randbedingungen zur Einstufung von Gesteinskörnungen in die Alkaliempfindlichkeitsklasse E II-S
- Definition von vorbeugenden Maßnahmen für die Alkaliempfindlichkeitsklasse E II-S

2.4.9 Criteria for new alkali reactivity class E II-S ■

IGF number: 17248 BG
 Partner: BTU Cottbus-Senftenberg
 Project duration: 08/2011–12/2014

Background and aim

For aggregates in alkali reactivity class E III-S, the German Committee for Structural Concrete's (DAfStb) Alkali Guidelines prescribe measures based on the structural element's moisture class and cement content. The current preventive measures include exchanging the reactive aggregate or the use of low-alkali cements according to DIN 1164-10. To facilitate development of more cost-effective measures for prevention of damage through alkali-silica reaction (ASR), introduction would be required of an alkali reactivity class E II-S (medium alkali-reactive) that also includes aggregates as defined in the former part 3 of the Alkali Guidelines, issue 2007. While the former part 2 of the Alkali Guidelines had already included such a classification (E II-O, E II-OF) since the preliminary Alkali Guidelines' introduction in 1974, an alkali reactivity class E II-S has never been defined because current research has so far not been able to produce results that allowed a broader distinction. A new alkali reactivity class E II-S could potentially allow distinct measures and improve concrete's competitiveness as a construction material. The project therefore pursues the following aims:

- Definition of boundary conditions for classification of aggregates in alkali reactivity class E II-S
- Definition of preventative measures for alkali reactivity class E II-S

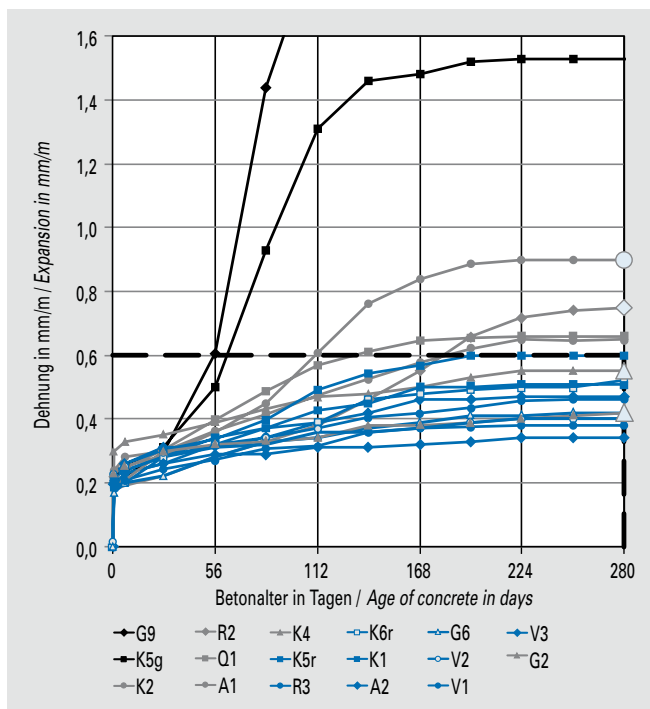


Bild 2.4.9-1 Dehnungen von Gesteinskörnungen im Nebelkammerversuch; hellblauer Marker: erster Riss mit Breite $\geq 0,2$ mm am 30-cm-Würfel

Fig. 2.4.9-1 Expansion and maximum crack width in the concrete test with fog chamber storage; blue marker: first crack with a width of ≥ 0.20 mm at the 30-cm-cube

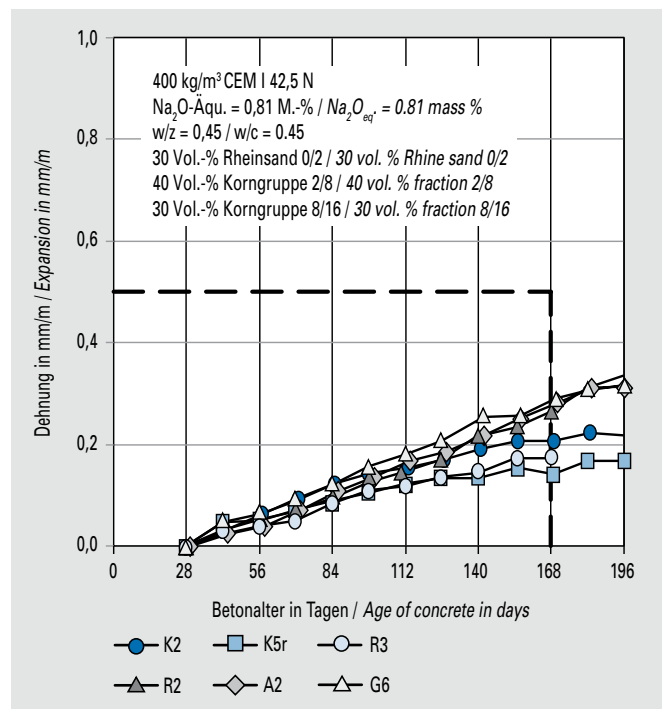


Bild 2.4.9-2 Dehnung verschiedener Betone im 60 °C-Betonversuch

Fig. 2.4.9-2 Expansion of concrete compositions with the 60 °C concrete prism test

Ergebnisse

Bild 2.4.9-1 zeigt die Ergebnisse der Nebelkammerversuche der BTU. Die Gesteinskörnungsauswahl deckt alkaliunempfindliche (E I-S, blau) und alkaliempfindliche Gesteinskörnungen (E III-S, schwarz und grau) ab. Eine Gesteinskörnung wird mit E I-S bewertet, wenn nach neun Monaten Nebelkammerlagerung die Dehnung der Betonbalken $\leq 0,60$ mm/m (‰) und die maximale Rissbreite am 30-cm-Würfel $< 0,20$ mm beträgt. Der erste Riss mit einer Breite von $\geq 0,20$ mm ist im Bild durch einen hellblauen Marker gekennzeichnet. Bei einer Reihe von Gesteinskörnungen liegt die Dehnung nah am Grenzwert, der teilweise nur geringfügig (grau) über- oder unterschritten wird. Dies sind potenzielle E II-S-Gesteinskörnungen. Beim Betonversuch mit Nebelkammerlagerung könnte für die Klasse E II-S auf Basis der Ergebnisse ein Grenzwert bei 0,90 mm/m liegen. Weitere Untersuchungen sind jedoch notwendig, um die Grenze zwischen den Alkaliempfindlichkeitsklassen E II-S zu E III-S genauer definieren zu können.

Bauteile der Feuchtigkeitsklasse WA (feucht + Alkalizufuhr von außen) dürfen bei Zementgehalten größer 350 kg/m^3 nicht mit E III-S-Gesteinskörnungen hergestellt werden. **Bild 2.4.9-2** zeigt beispielhaft, dass es möglich wäre, solche Bauteile mit potenziellen E II-S-Gesteinskörnungen und entsprechenden Zementen auszuführen. Im 60°C -Betonversuch mit Alkalizufuhr von außen lagen die Dehnungen von Betonen mit diesen Gesteinskörnungen unter dem Beurteilungswert von 0,50 mm/m nach zehn Zyklen der Wechsellagerung (entspricht 168 Tagen). Die Betone wurden mit 400 kg/m^3 CEM I 42,5 N (Na_2O -Äqu. = 0,81 M.-%) hergestellt. Weitere Maßnahmen für E II-S-Gesteinskörnungen werden erarbeitet, wenn die Kriterien für eine Klasse E II-S breiter abgesichert wurden und herausgearbeitet wurde, auf welches Gesteinskörnungsvolumen die Kriterien in Deutschland etwa angewendet werden könnten.

2.4.10 Einfluss unterschiedlicher Taumittel auf die Dauerhaftigkeit von Betonpflastersteinen ■

Projektpartner: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG), Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB)

Projektzeitraum: 01/2012–04/2013

Hintergrund und Ziel

Besonders strenge Winter können vielerorts zu einer Knappheit der üblichen Streusalze (NaCl) führen. Entsprechend werden nicht selten Taumittel eingesetzt, von denen weder die Zusammensetzung noch die genaue Herkunft bekannt sind. Es ist zu untersuchen, ob dadurch vermehrt Schäden an Betonprodukten für den Straßenbau in Form von erhöhten Abwitterungen auftreten können. In einer gemeinsamen Initiative der Projektpartner wurde untersucht, welches Schädigungspotenzial verschiedene Taumittel auf Betonpflastersteine haben können.

Taumittel können Beton auf verschiedene Arten schädigen. Bei unbewehrtem Beton ist der am häufigsten auftretende Schaden auf einen Frost-Taumittel-Angriff zurückzuführen. Dieser kann in Laborprüfverfahren gemäß DIN CEN/TS 12390-9 mit dem CDF-Prüfverfahren geprüft werden. Die maximal mögliche Schädigung wird dabei mit einer Salzkonzentration erreicht, bei der die Prüflösung während der Prüfung im vorgegebenen Temperaturzyklus reproduzierbar einfriert und wieder auftaut. Die pessimale NaCl -Konzentration im Frost-Taumittel-Prüfverfahren

Results

Fig. 2.4.9-1 shows the results of the BTU's 40°C fog chamber tests. The selection of aggregates covers aggregates without alkali reactivity (E I-S, blue) and with alkali reactivity (E III-S, black and grey). An aggregate is classified as E I-S if nine months of 40°C fog chamber storage produce an expansion of the concrete prisms ≤ 0.60 mm/m (‰) and a maximum crack width in the 30-cm cube of < 0.20 mm. The first crack with a width ≥ 0.20 mm is marked light blue in the image. A range of aggregates displays expansion close to the limit value, which is exceeded (grey) or approached within very small margins. These are potential E II-S aggregates. Based on the results, a limit value for class E II-S concrete 40°C fog chamber tests could lie at 0.90 mm/m. However, further research is required to allow a more precise distinction of the border between the alkali reactivity classes E II-S and E III-S.

Components in moisture class WA (damp + external alkali supply) may not be produced using E III-S aggregates if they contain more than 350 kg/m^3 of cement. **Fig. 2.4.9-2** illustrates by way of an example that it would be possible to construct such components using potential E II-S aggregates and corresponding cements. In the 60°C concrete test with external alkali supply, the expansions of the concretes with these aggregates lay below the evaluation value of 0.50 mm/m after 10 cycles of alternating storage (corresponds to 168 days). The concretes were produced with 400 kg/m^3 CEM I 42,5 N (Na_2O equivalent = 0.81 mass %). Further measures for E II-S aggregates will be established when the criteria for a class E II-S have been successfully validated on a broader basis and it has been found which aggregate volume the criteria might be applied to in Germany.

2.4.10 Effects of various thawing agents on the durability of concrete pavement blocks ■

Project partners: Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V. (SLG), Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB)

Project duration: 01/2012–04/2013

Background and aim

Especially cold winters can in many places cause a shortage of common de-icing salts (NaCl). Correspondingly, thawing agents are frequently employed of which neither the composition nor the precise origins are known. It is to be investigated whether this causes an increase in damage to concrete products for road construction in the form of increased scaling. In a joint initiative by the project partners, the potential of various thawing agents to damage concrete pavement blocks was examined.

Thawing agents may cause damage to concrete in a number of ways. In unreinforced concrete, the most frequently occurring damage is caused by a freeze-thaw attack. This can be tested in laboratory tests according to DIN CEN/TS 12390-9 by means of the CDF test method. The greatest possible damage is caused by a salt concentration at which the test solution reproducibly freezes and then thaws again during the test within the specified temperature cycle. The pessimal NaCl concentration in the freeze-thaw test with temperature cycles between $+20^\circ\text{C}$ and -20°C lies at approximately 3 mass %. With a 3 % NaCl solution, the freezing point of the pore solution lies between 10°C and -20°C (cf. enthalpy peak in **Fig. 2.4.10-1**), at higher concentrations below -20°C . Accordingly, the pore solution no longer reliably freezes

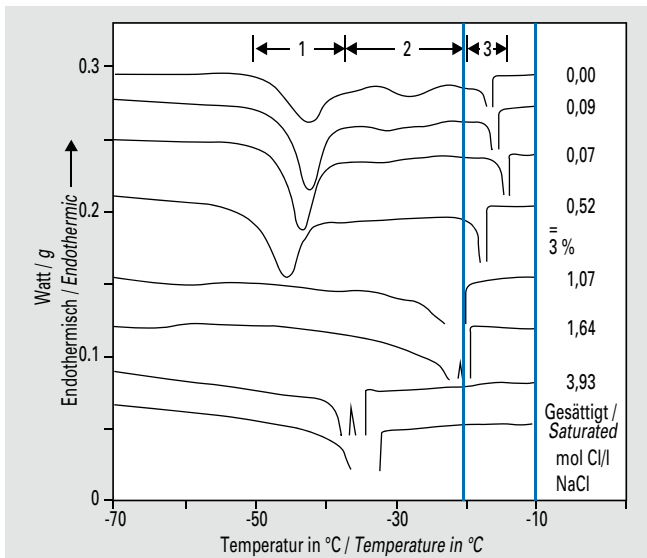


Bild 2.4.10-1 DSC Thermoanalysen¹⁾
Fig. 2.4.10-1 DSC thermal analysis¹⁾

¹⁾ Beddoe, R. E.; Setzer, M. J.: A low-temperature DSC investigation of hardened cement paste subjected to chloride action, Cement and Concrete Research 1988, Heft-Nr. 2, S. 249-256

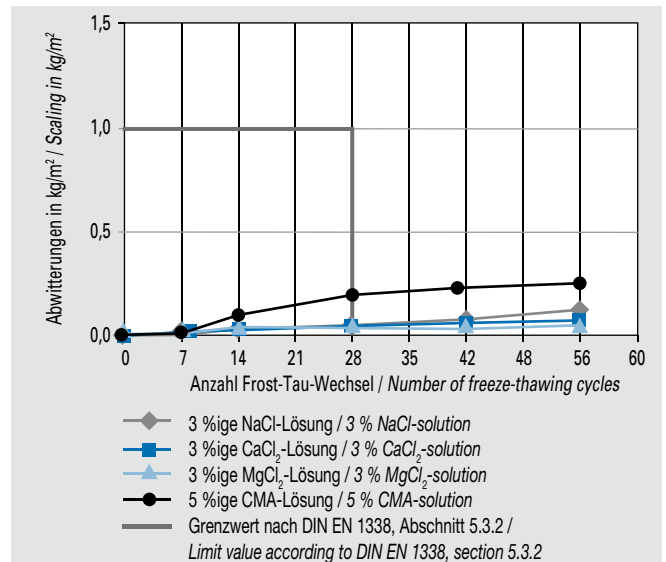


Bild 2.4.10-2 Abwitterungen nach 56 Frost-Tau-Wechseln gemäß DIN EN 1338, Anhang D

Fig. 2.4.10-2 Scaling after 56 Freeze-thawing cycles according to DIN EN 1338, annex D

bei Temperaturzyklen zwischen +20 °C und -20 °C liegt bei rund 3 M.-%. Bei einer 3%igen NaCl-Lösung liegt der Gefrierpunkt der Porenlösung zwischen 10 °C und -20 °C (vgl. Enthalpie-Peak in **Bild 2.4.10-1**), bei höheren Konzentrationen unterhalb von -20 °C. Entsprechend friert die Porenlösung bei Temperaturen bis -20 °C nicht mehr zuverlässig ein, sodass die Prüfkörper im Laborprüfverfahren nicht mehr geschädigt werden.

Hochkonzentrierte Taumittel-Lösungen, insbesondere Erdalkalichloride, führen zwar nicht zu Schäden durch Frost-Taumittel-Angriffe, da die Porenlösungen im Beton nicht mehr einfrieren. Sie können dennoch Schäden verursachen, die auf die Bildung von Calcium- und Magnesiumoxychloriden zurückzuführen sind. Hierbei reagieren die Tausalze mit Bestandteilen der Porenlösung. Die dabei entstehenden Komplexsalze können einen Kristallisationsdruck hervorrufen, der zu Abplatzungen und Rissbildung an Betonprüfkörpern führt.

Vorgehensweise

Auf Grundlage des dargestellten Kenntnisstands wurde gemeinsam von VDZ und SLG ein Versuchsprogramm entwickelt, mit dem das Schädigungspotenzial verschiedener Taumittel und Taumittelkonzentrationen auf industriell gefertigte Betonpflastersteine untersucht wurde. Der Frost-Taumittel-Widerstand der Betonpflastersteine wurde mit den Tausalzen Natriumchlorid (NaCl), Calciumchlorid (CaCl₂) und Magnesiumchlorid (MgCl₂) mit einer Konzentration von jeweils 3 % sowie mit einer 5%igen Taumittelösung aus Calcium-Magnesium-Acetat (CMA) geprüft. Rechnerisch besitzen diese Lösungen in etwa dieselbe Auftauleistung.

Zur Untersuchung eines möglichen Kristallisationsdruckes bei wechselnder Befeuchtung und Trocknung wurden die gleichen Taumittel verwendet. Die Konzentrationen der Lösungen entsprachen jeweils den Konzentrationen mit optimaler Auftauleistung. Sofern bekannt, wurde die Konzentration des eutektischen Punkts (Konzentration, bei der die maximale Gefrierpunktniedrigung vorliegt) gewählt. Des Weiteren wurden Prüfkörper zur Untersuchung einer möglichen Schädigung durch Komplexsalzbildung in

at temperatures down to -20 °C, meaning that the specimens no longer suffer damage in the laboratory test.

Highly concentrated thawing agent solutions, especially alkaline earth chlorides, do not cause damage through freeze-thawing as the pore solutions in the concrete no longer freeze. However, they can still cause damage through the formation of calcium and magnesium oxychlorides. In such a case, the de-icing salts react with constituents of the pore solution. The resulting complex salts can produce explosive crystallisation pressure which in turn results in spalling and cracking in concrete specimens.

Approach

Based on the described current knowledge, VDZ and the SLG developed a test series for examining the potential damage caused in industrially produced concrete pavement blocks by thawing agents and thawing agent concentrations. The freeze-thaw resistance with de-icing salt of the concrete pavement blocks was tested using the de-icing salts sodium chloride (NaCl), calcium chloride (CaCl₂) and magnesium chloride (MgCl₂) and a calcium magnesium acetate (CMA) thawing agent solution at concentrations of 3 % and 5 % respectively. Mathematically, these solutions possess roughly the same thawing capacity.

For the purposes of investigating potential explosive crystallisation pressure under alternating moistening and drying, the same thawing agents were used. The solution concentrations always corresponded to the concentrations with the best possible thawing performance. Where known, the concentration for the eutectic point (concentration at which the maximum lowering of the freezing temperature is achieved) was selected. Furthermore, test specimens were stored for one year at a temperature of (6 ± 1) °C in thawing agent solutions with optimal thawing capacity in order to investigate potential damage through the formation of complex salts.

Taumittellösungen mit optimaler Auftauleistung bei einer Temperatur von $(6 \pm 1)^\circ\text{C}$ über die Dauer eines Jahres eingelagert.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Untersuchungen zeigten, dass Betonwaren mit einem ausreichenden Zementgehalt und einem geringen äquivalenten Wasserzementwert in Laboruntersuchungen widerstandsfähig gegenüber verschiedenen Taumitteln sind. Weder durch einen Frost-Taumittel-Angriff mit verschiedenen Salzlösungen pessimaler Konzentration (**Bild 2.4.10-2**) noch durch den Kristallisations Sprengdruck oder die Bildung von Komplexsalzen von Erdalkalichloriden hoher Konzentration wurden die Betonpflastersteine signifikant geschädigt. Die Untersuchungen konnten nur einen vergleichsweise kleinen Ausschnitt der Taumittel berücksichtigen, die – insbesondere in strengen Wintern – zum Einsatz kommen können. Die Ergebnisse sind insofern nicht auf andere Taumittel übertragbar. Vor diesem Hintergrund können in der Praxis Schädigungen von Betonwaren durch die Verwendung von wenig gebräuchlichen Taumitteln bzw. deren unsachgemäße Ausbringung nicht immer ausgeschlossen werden, selbst wenn die Betonwaren nach den derzeit gültigen technischen Regelungen als Frost-Tausalz-widerstandsfähig einzustufen sind.

2.4.11 Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Laborprüfverfahren zur Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstandes von vorgefertigten Straßenbauerzeugnissen auf Praxisverhältnisse ■

IGF-Vorhaben 17996 N gefördert durch die AiF
Projektpartner: Universität Kassel
Projektzeitraum: 12/2013–11/2016

Hintergrund und Ziel

Seit Februar 2005 muss der Frost-Tausalz-Widerstand von Betonpflastersteinen mit dem modifizierten Slab-Test gemäß DIN EN 1338 geprüft werden. Von manchen Auftraggebern wird das CDF-Verfahren favorisiert, auch wenn es z. T. Diskrepanzen zwischen Laborprüfergebnissen und dem Praxisverhalten verlegter Steine gibt. So löste sich vereinzelt der Vorsatz verlegter zweischichtiger Betonpflastersteine nach wenigen Wintern vom Kernbeton – trotz bestandener Laborprüfung mit dem CDF-Verfahren (**Bild 2.4.11-1**). Mit dem Forschungsvorhaben soll ein Bewertungshintergrund für die Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von erdfeucht hergestellten Betonpflastersteinen ge-

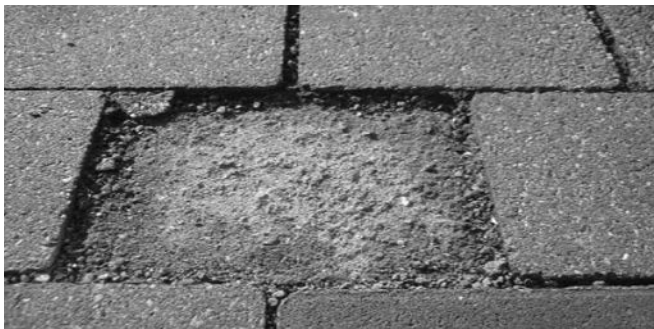


Bild 2.4.11-1 Teilweise abgewitterter Vorsatzbeton von Betonpflaster¹⁾
Fig. 2.4.11-1 Partly scaled facing concrete of concrete pavement¹⁾

¹⁾ Quelle: Torsten Braun, Universität Kassel / Source: Torsten Braun, University Kassel

Summary of the results

The research showed that concrete products with a sufficient cement content and a low equivalent water-cement ratio prove resistant to various thawing agents in laboratory tests. The concrete paving blocks displayed no significant damage through either freeze-thawing from saline solutions with pessimal concentrations (**Fig. 2.4.10-2**) or through explosive crystallisation pressure or the formation of complex salts by highly concentrated alkaline earth chlorides. The research was able to examine only a comparatively small range of the thawing agents that might be employed, particularly in cold winters. Thus, the results cannot be transferred to other thawing agents. This means that, in practice, damage to concrete products through the use of uncommon thawing agents or improper application thereof cannot be entirely ruled out even if the currently applicable technical regulations would classify the concrete products as freeze-thaw resistant.

2.4.11 Transferability of results from laboratory test procedures to determine the freeze-thaw resistance with de-icing salt of pre-fabricated paving products in practical conditions ■

IGF project 17996 N sponsored by AiF (Federation of Industrial Cooperative Research Associations)
Project partners: Kassel University
Project duration: 12/2013–11/2016

Background and aim

Since February 2005, the freeze-thaw resistance with de-icing salt for concrete pavement blocks has to be tested with the modified slab test according to DIN EN 1338. Some clients favour the CDF method even though this will sometimes produce discrepancies between laboratory test results and the behaviour in practice of laid paving. In isolated cases, the face of laid dual-layer concrete paving blocks separated from the core concrete after only a few winters despite the laboratory tests using the CDF method having supplied positive results (**Fig. 2.4.11-1**). This research project is to create a secured assessment background for testing the freeze-thaw resistance with de-icing salt of concrete pavement blocks produced to be earth-dry. Based on the results, proposals will be developed for testing in realistic conditions.

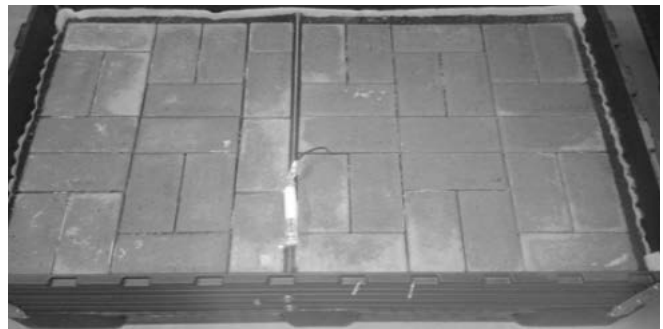


Bild 2.4.11-2 Labormaßstäbliches Betonpflaster
Fig. 2.4.11-2 Lab-scaled concrete pavement

schaffen werden. In Abhängigkeit von den Ergebnissen werden Vorschläge für die realitätsnahe Prüfung erarbeitet.

Vorgehensweise

Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) werden analysiert und bilden die Grundlage für eine Klimasimulation sowie eine entsprechende Anwendung von Taumitteln im Labormaßstab. Hierzu wirken Temperatur, Regenereignisse und Tausalz in einer Frostkammer alternierend auf Betonpflastersteinflächen ein. Die Korrelation zwischen dem Abwitterungsverhalten der Betonpflastersteine in den genormten Laborprüfverfahren und dem Abwitterungsverhalten von Betonpflastersteinflächen in der Frostkammer wird untersucht (Bild 2.4.11-2).

Weiterhin wird der Einfluss des Zementleimgehalts im Kernbeton auf die Verbundfestigkeit zwischen Vorsatz- und Kernbeton untersucht, um die Ursachen für die Ablöseerscheinungen zu ermitteln. Aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens sollen Empfehlungen für die Baustoffauswahl und zur Betonzusammensetzung erarbeitet werden, die von Baustoffherstellern sowie Betonpflastersteinherstellern genutzt werden können, um zielsicher Betonwaren mit hohem Frost-Tausalz-Widerstand herzustellen.

2.4.12 AquaCem – Wiederverwendung von Restwasser in der Herstellung von Luftporen- und hochfesten Betonen ■

IGF-Vorhaben 124 EN gefördert durch die AiF

Projektpartner: National Centre for Technical and Scientific Research for the Cement Industry (CRIC), Belgien, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ)

Projektzeitraum: 06/2014–05/2016

Ziel

Es wird untersucht werden, ob die in allen drei beteiligten Ländern bestehende Beschränkung der Nutzung von Restwasser in Transportbetonwerken für Luftporen- und hochfesten Beton aufgehoben werden könnte. Darüber hinaus ist in Belgien grundsätzlich nur die Verwendung von feststofffreiem Restwasser zur Herstellung von Beton zugelassen. Daher ist für das CRIC auch die Fragestellung von Interesse, ob feststoffhaltige, nicht gefilterte Restwässer zur Herstellung aller Betone verwendet werden können und wie hoch der maximale Feststoffanteil im Restwasser sein darf. Zum Dritten wird der Fragestellung nachgegangen, welchen Einfluss im Restwasser eventuell vorhandene Zusatzmittel, insbesondere Verzögerer, auf die Eignung von Restwasser zur Herstellung von Beton haben können.

Vorgehensweise

Die Untersuchungen werden sowohl mit künstlich hergestelltem Restwasser gemäß CUR28 (CUR = Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gouda, NL) als auch mit Restwasser aus je drei Transportbetonwerken in Belgien, Deutschland und Österreich durchgeführt. Das Restwasser aus den Transportbetonwerken wird auf verschiedene Dichten auf- bzw. abkonzentriert und in einigen Fällen mit Verzögerern versetzt.

Vorversuche werden zunächst an Mörteln durchgeführt. Weitere Versuche folgen im Anschluss an drei verschiedenen Betonrezepturen (üblicher Beton, LP-Beton, hochfester Beton). An den Betonen wird der Einfluss von Restwasser auf Verarbeitbarkeit, Festigkeitsentwicklung und Dauerhaftigkeit untersucht.

Approach

Climate data from the German National Meteorological Service (DWD) are analysed and used as a basis for a climate simulation and for corresponding application of thawing agents at laboratory scale. Concrete pavement blocks are subjected to alternating temperatures, rain phenomena and de-icing salt in a frost chamber. The correlation between scaling behaviour of the concrete pavement blocks in the standardised laboratory testing procedure and scaling behaviour of the laid concrete pavement in the frost chamber is investigated (Fig. 2.4.11-2).

Furthermore, the influence of paste content in the core concrete on the bond strength between face and core concrete is examined to research the causes for detachment phenomena. The results of the research project are to be used to formulate recommendations for selecting construction material and for concrete composition that can be used by construction material manufacturers and by concrete pavement producers to manufacture concrete products with specifically high freeze-thaw resistance with de-icing salt.

2.4.12 AquaCem – reuse of recycling water in the manufacture of air-entrained and high-strength concrete ■

IGF project 124 EN sponsored by AiF (Federation of Industrial Cooperative Research Associations)

Project partners: National Centre for Technical and Scientific Research for the Cement Industry (CRIC), Belgium, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (VÖZ)

Project duration: 06/2014–05/2016

Aim

It is to be investigated whether the restriction on use of recycling water in ready-mixed concrete plants for air-entrained and high-strength concrete that is in place in all three involved countries could be lifted. Further, there is a stipulation in Belgium that only recycling water that is free of particulate matter may be used to manufacture concrete. For this reason, CRIC is interested in the question if recycling water that contains particulate matter and has not been filtered could be used to manufacture all concretes, and how high the maximum proportion of particulate matter in the recycling water can be. Thirdly, the research will look into the question of what influence any admixtures in the recycling water, particularly retarders, could have on the suitability of recycling water in the manufacture of concrete.

Approach

The research is conducted using both artificially produced recycling water according to CUR28 (CUR = Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Gouda, NL) as well as recycling water from three ready-mixed concrete plants from each of the countries Belgium, Germany and Austria. The recycling water from the ready-mixed concrete plants will be concentrated up and down to various defined densities, and mixed in some cases with retarders.

Preliminary tests will be carried out on mortars. Further tests will then be carried out based on three different concrete formulas (standard concrete, air-entrained concrete, high-strength concrete). The influence of recycling water on the concrete's workability, strength development and durability will be examined.

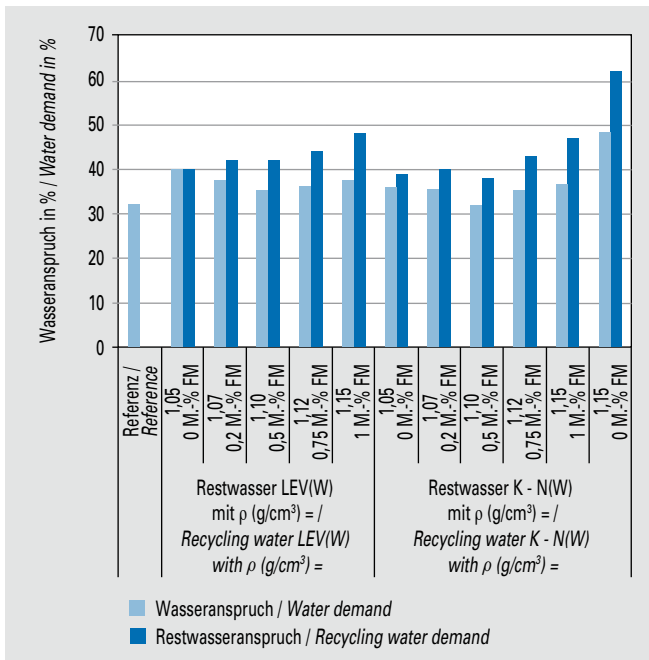


Bild 2.4.12-1 Wasseranspruch mit Restwasser unterschiedlicher Dichte
Fig. 2.4.12-1 Water requirement with recycling water of different densities

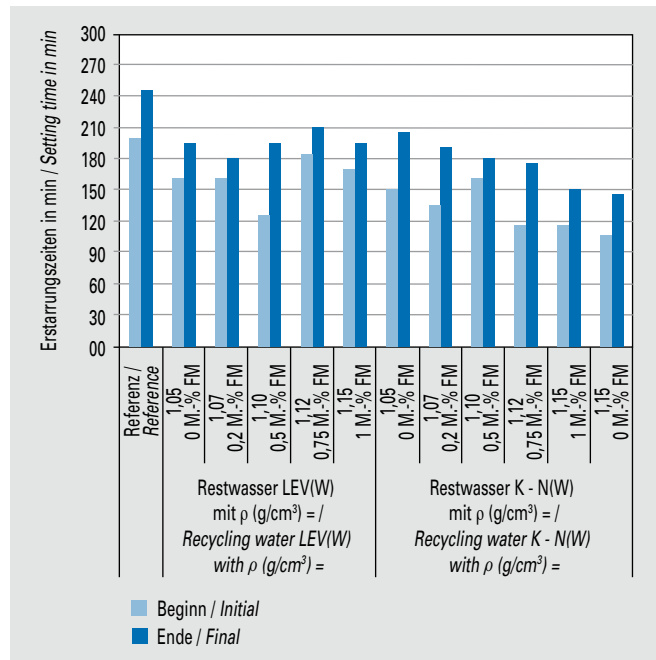


Bild 2.4.12-2 Erstarrungszeiten mit Restwasser unterschiedlicher Dichte
Fig. 2.4.12-2 Setting time with recycling water of different densities

Ergebnisse mit künstlichem Restwasser

Für die Versuche mit künstlichem Restwasser gemäß CUR28 wurde von allen drei Projektpartnern ein CEM I 52,5 N gemäß EN 480-1 verwendet. Es wurden sechs künstliche Restwässer gemäß CUR28 mit verschiedenen Verzögerern hergestellt. Diese wurden bei (20 ± 2) °C für 16 Stunden gelagert und anschließend auf einem 2-mm-Sieb abgeseibt und gefiltert. (24 ± 2) Stunden nach der Filtration wurden Zementleime gemäß EN 196-3 und Mörtel gemäß EN 196-1 mit den künstlichen Restwässern hergestellt. Es konnten keine signifikanten Auswirken auf den Wasseranspruch, das Erstarrungsverhalten oder die Festigkeitsentwicklung von Mörteln festgestellt werden.

Weitere Versuche mit realem Restwasser

Im weiteren Projektverlauf werden Restwasserprobenahmen in drei Transportbetonwerken je Projektpartner vorgenommen. Die Werke sollen jeweils einmal im Winter und einmal im Sommer beprobt werden, sodass insgesamt sechs Restwasserproben zu untersuchen sind. Bis zum Frühjahr 2015 wurden seitens des VDZ zwei der drei Winterprobenahmen durchgeführt. Nach der Probenahme lagerten die Restwässer bei (20 ± 2) °C und wurden permanent mit einem Flügelmischer mit rund 1000 U/min in Bewegung gehalten, um Sedimentationen weitestgehend zu vermeiden.

Der Wasseranspruch sowie die Erstarrungszeiten wurden gemäß EN 196-3 bestimmt. Als Zement wurde ein CEM I 52,5 N gemäß EN 480-1 verwendet. Für eine Referenzmischung wurde Leitungswasser verwendet. In den Prüfmischungen wurden die Restwässer mit definierten Dichten verwendet. Abweichend von EN 196-3 wurde zusätzlich jeweils die Fließmittelmenge verwendet, die für das Erreichen eines konstanten Mörtelausbreitmaßes gemäß EN 1015-3 benötigt wurde. Den Wasseranspruch bzw. die Erstarrungszeiten zeigen **Bild 2.4.12-1** bzw. **Bild 2.4.12-2**.

Mit steigender Dichte des Restwassers nimmt der Wasseranspruch zu. Mit der Verwendung von Fließmitteln lässt sich dies teilweise kompensieren. Ebenfalls sinken mit steigender Restwasserdichte

Results using artificial recycling water

For the tests using artificial recycling water according to CUR28, all three project partners used CEM I 52,5 N according to EN 480-1. Six artificial recycled waters according to CUR28 were produced with different retarders. These were stored for 16 hours at (20 ± 2) °C and subsequently strained through a 2-mm sieve and filtered. (24 ± 2) hours after filtration, cement pastes according to EN 196-3 and mortars according to EN 196-1 were produced using the artificial recycled waters. No significant effects on the mortar's water demand, setting behaviour or strength development were discernible.

Additional tests with real recycling water

During the subsequent project phases, recycling water samples are taken in three ready-mixed concrete plants per project partner. Samples are to be taken from each works once in summer and once in winter, obtaining a total of six samples of recycling water for examination. By spring 2015, VDZ has completed two of the three winter samplings. Following sampling, the recycling waters were stored at (20 ± 2) °C. The samples were permanently stirred using a vane mixer at approx. 1000 rpm in order to prevent sedimentation as far as possible.

Water demands and setting times were determined according to EN 196-3. As cement, CEM I 52,5 N according to EN 480-1 was used. The reference mixture was produced using tap water. In the test mixtures, the recycling waters were used with defined densities. Deviating from EN 196-3, the amount of superplasticiser required in each case for achieving a constant mortar flow diameter according to EN 1015-3 was added every time. **Figs 2.4.12-1** and **2.4.12-2** show the water demand and setting times.

With increasing recycling water density, the water demand increases. This can be compensated for to some extent by using superplasticisers. The setting times also shorten with increasing recycling water density. Use of recycling water has no significant effect on strength development if superplasticisers are used to obtain a constant workability at a constant water-cement ratio.

die Erstarrungszeiten. Auf die Festigkeitsentwicklung hat die Verwendung von Restwasser keinen signifikanten Einfluss, wenn mit Hilfe von Fließmitteln eine konstante Verarbeitbarkeit bei konstantem Wasserzementwert eingestellt wird. Ob die Verwendung von Restwasser die Dauerhaftigkeit von Betonen beeinflusst, wird sich in der nächsten Phase des Forschungsvorhabens zeigen.

2.4.13 Feuchte in Beton und Zementestrich ■

IGF-Vorhaben 7928 N gefördert durch die AiF
Projektzeitraum: 01/2014–07/2016

Ziel und Vorgehensweise

Die neuen europäischen Normen (Eurocodes) zur Brandbemessung von Bauteilen lassen im Gegensatz zu der bisher in Deutschland verwendeten Bemessung über Tabellen eine Verwendung sogenannter allgemeiner Rechenverfahren zu. Diese Verfahren erlauben, die Brandbemessung unter Ansatz der tatsächlich im Bereich der zu bemessenden Bauteile vorhandenen Brandlasten und nicht konservativ über einen auf der sicheren Seite liegenden standardisierten „Einheitsbrand“ durchzuführen. Dies kann für alle Baustoffe eine wirtschaftlichere Heißbemessung im Vergleich zu den traditionellen Bemessungsmethoden ermöglichen.

Für den Baustoff Beton wird die Bemessung mittels allgemeiner Rechenverfahren heute noch dadurch erschwert, dass bei ihrer Anwendung für die meisten Expositionsklassen auch der Nachweis zu führen ist, dass im Brandfall keine explosiven Betonabplatzungen auftreten können. Explosive Abplatzungen treten meist als eine Folge der Kombination von Temperaturspannungen und verdampfender Feuchtigkeit auf. Um den geforderten Nachweis zu führen, muss der bemessende Ingenieur

- entweder belegen können, dass der Feuchtigkeitsgehalt der Betonbauteile kleiner als k M.-% ist (wobei k in den nationalen Anhängen zu den Eurocodes festgelegt ist)
- oder über eine „genauere Beurteilung des Gesteinskörnungstyps, der Erwärmungsgeschwindigkeit und der Durchlässigkeit“ nachweisen, dass explosive Abplatzungen unwahrscheinlich sind.

Da letzterer Nachweis nur von Experten auf dem Gebiet des Brandschutzes erbracht werden kann, benötigt der „normale“ Anwender vertiefte Kenntnisse darüber, welche Feuchtigkeitsgehalte Betone mit verschiedenen betontechnologischen Eigenschaften aufweisen können.

Im Rahmen des Forschungsprojektes soll daher ermittelt werden, welche Feuchtegehalte sich in Betonen mit in der Praxis üblichen Zusammensetzungen unter verschiedenen natürlichen Umgebungsbedingungen einstellen und in welchem Maße sich die Feuchtegehalte unterschiedlich zusammengesetzter Betone unterscheiden. Es soll bei bekannten betontechnologischen Parametern der Prozentbereich, in dessen Grenzen sich der Feuchtegehalt eines weitestgehend hydratisierten Betons unter gegebenen Umweltbedingungen bewegen wird, besser spezifiziert werden können, als dies nach aktuellem Kenntnisstand möglich ist.

Einen weiteren Schwerpunkt des Forschungsvorhabens stellt das Austrocknungsverhalten von Zementestrichen dar. Aus Estrich verarbeitenden Betrieben wurde in der Vergangenheit berichtet, dass Zementestriche mit CEM II- und CEM III-Zementen ein ungünstigeres Austrocknungsverhalten als Estriche mit Portland-

Whether the use of recycling water affects the durability of concretes will be investigated in the next project phase.

2.4.13 Moisture in concrete and cement screed ■

IGF project 7928 N sponsored by AiF
(Federation of Industrial Cooperative Research Associations)
Project duration: 01/2014–07/2016

Aim and approach

The new European standards (Eurocodes) for fire safety design of components facilitate – unlike the procedure previously used in Germany, which used design tables – the use of what is referred to as simplified calculation methods. These methods facilitate fire safety design considering only those fire loads existing in the area of the components to be designed rather than prescribing a conservative safe-side approach based on a “standard fire”. This can facilitate a more cost-effective fire-exposure design for all construction materials compared with the traditional design methods.

Where the construction material concrete is concerned, design based on the simplified calculation methods is today still handicapped by the fact that, if the methods are used, most exposure classes require an additional verification that, in the event of a fire, there will be no explosive spalling. Explosive spalling is generally caused by a combination of thermal stresses and vaporising moisture. To produce the required verification, the designing engineer needs to

- either prove that the moisture content of the concrete is lower than k % by weight (where k is specified in the national appendices to the Eurocodes)
- or provide a more accurate assessment of the aggregate type, heating rate and permeability to show that there will be no spalling.

As the latter proof can be supplied only by fire safety experts, “normal” designers require access to detailed findings on the moisture contents concretes with different concrete technology properties may possess.

The aim of this research project is thus to determine which moisture contents arise in concretes with the usual standard compositions under different natural environmental conditions and to what extent the moisture contents differ among concretes of different composition. With familiar concrete technology parameters, the percent range between whose limits the moisture content of a concrete which has been hydrated as far as possible under given exposure conditions will move is to be better specified than is possible according to the current level of knowledge.

The research project also devotes resources to the investigation of cement screeds’ drying behaviour. Companies processing screed have in the past reported that cement screeds with CEM II and CEM III cements display poorer drying behaviour than screeds with Portland cement. This today still occasionally leads to uncertainty among screed processors regarding screeds with CEM II and CEM III cements. This research project intends to examine the effects of the cement type on the drying behaviour of cement-bound screeds. The aim is to establish whether the use of CEM II and CEM III cements really affects the drying behaviour of cement screeds. Should this be validated, reasons are to be identified and

zement zeigen sollen. Dies führt heute vereinzelt immer noch zu Unsicherheiten bei den Verarbeitern von Estrichen mit CEM II- und CEM III-Zementen. In diesem Forschungsprojekt soll der Einfluss der Zementart auf das Austrocknungsverhalten von zementgebundenen Estrichen untersucht werden. Es soll verifiziert werden, ob die Verwendung von CEM II- und CEM III-Zementen tatsächlich das Austrocknungsverhalten von Zementestrichen beeinflusst. Falls sich dies bestätigen sollte, sollen hierfür Gründe gefunden und ergänzende Empfehlungen zur Anwendung dieser Estriche erarbeitet werden.

2.4.14 Randbedingungen für das ziel-sichere Erreichen projektierter Betoneigenschaften im modernen 5-Stoff-System diverser Betonausgangsstoffe ■

IGF-Vorhaben 17517 N gefördert durch die AiF
 Projektpartner: Ruhr-Universität Bochum, Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Lehrstuhl für Baustofftechnik
 Projektzeitraum: 05/2012–11/2014

Ziel

Einhergehend mit der Entwicklung zu weicheren Betonen wird vermehrt beobachtet, dass sich Frischbetoneigenschaften bei länger andauernden Bauvorhaben trotz gleicher Betonzusammensetzung und gleichen Ausgangsstoffen unerwartet signifikant verändern. Bei Betonen, die zuvor mehrfach ohne Schwierigkeiten verarbeitet werden konnten, treten in diesen Fällen scheinbar ohne nachvollziehbare Gründe ungewollte Abweichungen vom bisherigen Verhalten auf, wie zum Beispiel eine veränderte Konsistenz, ein Absondern von Wasser (Bluten), Anzeichen für Sedimentation

supplemental recommendations on employment of these screeds are to be drafted.

2.4.14 Boundary conditions for accurately achieving projected concrete properties in the modern 5-component system of diverse concrete constituents ■

IGF project 17517 N sponsored by AiF
 (Federation of Industrial Cooperative Research Associations)
 Project partners: Ruhr-Universität Bochum, Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Lehrstuhl für Baustofftechnik
 Project duration: 05/2012–11/2014

Aim and approach

Along with the trend towards softer concretes, there have been increasing reports of unexpected, significant changes in the properties of fresh concrete in prolonged building projects despite the concrete compositions and raw materials remaining the same. Concretes that, before, could be processed on multiple occasions without problems, in these cases display undesired deviations from the previous behaviour, apparently without evident cause. Examples of such deviations include changes in consistency, secretion of water (bleeding), signs of sedimentation or accelerated or decelerated strength development. The research project aimed to identify the primary parameters at cause. Furthermore, criteria were to be drafted for designing concrete formulas that prevent occurrence of undesired behaviour in fresh concrete and keep susceptibility to material- and production-related fluctuation to a minimum.

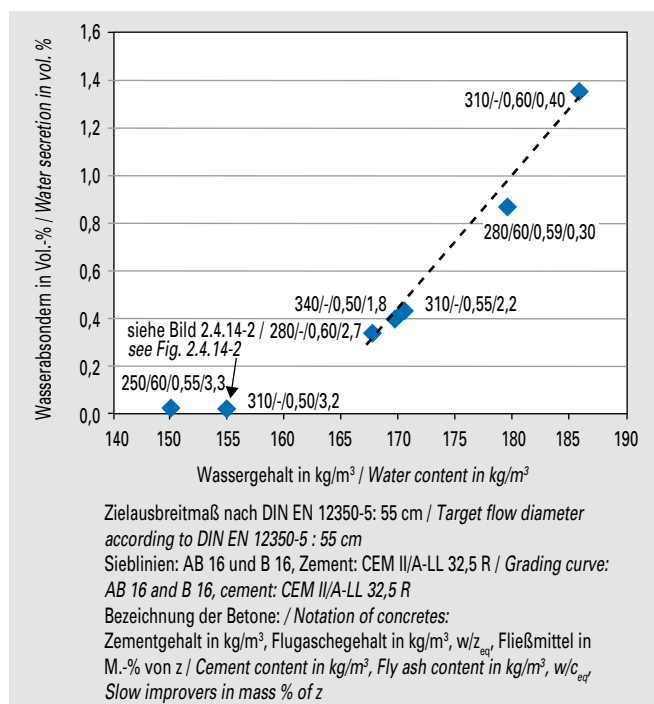


Bild 2.4.14-1 Wasserabsondern nach dem DBV-Eimertest (Frischbetontemperatur ca. 20 °C, Fließmittel auf PCE-Lignin-Basis)

Fig. 2.4.14-1 Water secretion according to DBV-bucket test (wet concrete temperature approx. 20 °C, flow improvers on PCE-lignin basis)

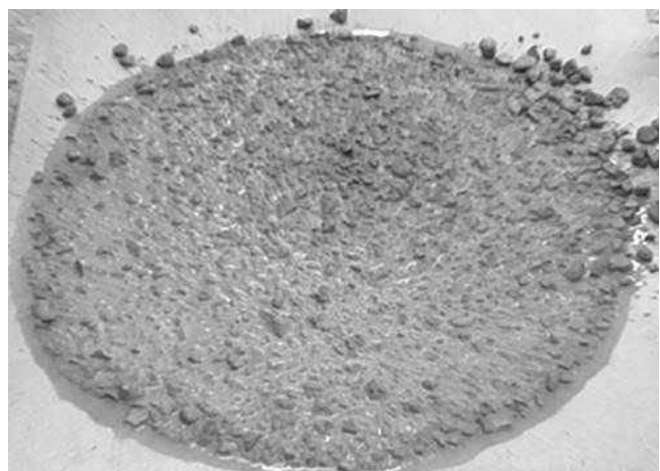


Bild 2.4.14-2 Entmischungerscheinungen bei einem Beton mit einem Leimgehalt von ca. 260 l/m³

Fig. 2.4.14-2 Appearance of segregation with a paste content of approx. 260 l/m³

oder eine beschleunigte oder verlangsamte Festigkeitsentwicklung. Mit dem Projekt sollten die wichtigsten Einflussparameter identifiziert werden, die dafür verantwortlich sind. Darüber hinaus sollten Kriterien für den Entwurf von Betonrezepturen erarbeitet werden, damit kein unerwünschtes Frischbetonverhalten auftritt und die Anfälligkeit gegenüber material- und produktionsbedingten Schwankungen möglichst gering ist.

Vorgehensweise

Im einem ersten Arbeitsschritt wurden Betone mit Leimgehalten von rd. 245 l/m³ bis rd. 300 l/m³ hergestellt. Die Betone hatten äquivalente Wasserzementwerte zwischen 0,45 und 0,65. Zur Einstellung der Zielkonsistenz (Ausbreitmaß 55 cm, 0 min nach Mischzeitende) wurden vier verschiedene Fließmittel verwendet.

Häufig bestand eine nahezu lineare Abhängigkeit zwischen der Menge des Zugabewassers im Beton und der gemessenen Blutwassermenge nach dem Eimerverfahren des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins (DBV-Merkblatt „Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton“, Bild 2.4.14-1). Bei Wassergehalten > 170 l/m³ kam es regelmäßig zu Blutwassermengen, die den im DVB-Merkblatt für Konstruktionsbetone genannten Anhaltswert von 0,3 Vol.% zum Teil deutlich überschritten, dabei aber auf dem Ausbreittisch meist optisch stabil wirkten und einen guten Zusammenhalt aufwiesen. Auf der anderen Seite führten geringe Wasser- und Leimgehalte in Kombination mit hohen Fließmitteldosierungen zu Betonen, die auf dem Ausbreittisch Entmischungerscheinungen, insbesondere das Absetzen von Zementschlümpe, zeigten (Bild 2.4.14-2). Diese Betone wiesen meist weder ein Wasserabsondern im DBV-Eimertest noch ein Sedimentieren grober Gesteinskörnung im Sedimentationsversuch nach der Richtlinie „Selbstverdichtender Beton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) oder andere messbare Frischbetoneigenschaften auf, die ihre Eignung in Frage stellen würden.

Robustheit durch hohe Leimgehalte

In einem zweiten Arbeitsschritt wurde gezeigt, dass bei weichen Betonen mit geringen Leimgehalten bei einer Veränderung der Betonausgangsstoffe vermehrt mit dem Auftreten folgender unerwarteter Phänomene gerechnet werden muss:

Approach

As a first step, concretes were produced with a paste content of approx. 245 l/m³ to approx. 300 l/m³. The concretes possessed equivalent water-cement ratios between 0.45 and 0.65. Four different superplasticisers were used to obtain the desired consistency (flow value 55 cm, 0 minutes after end of mixing time).

Frequently, there was an almost linear correlation between the quantity of water in the concrete and the water separation measured using the bucket method of the German Association for Concrete and Building Technology DBV (DBV code of practice “Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton” – special methods for testing fresh concrete, Fig. 2.4.14-1). With water contents > 170 l/m³, the water separation regularly exceeded the guide value of 0.3 vol. % specified in the DVB code of practice for structural building concrete, at times substantially, while the concrete appeared stable to the eye on the flow table and displayed good cohesion. Conversely, low water and paste contents combined with high superplasticiser dosage produced concretes that on the flow table displayed segregation phenomena, particularly the segregation of slurry (Fig. 2.4.14-2). The said concretes in the most cases displayed neither water secretion in the DBV bucket test nor sedimentation of coarse aggregate in the sedimentation test according to the DAfStb (German Committee for Structural Concrete) guideline on self-compacting concrete nor any other measurable fresh concrete properties that would compromise their suitability.

Robustness through high paste content

During a second step, it was shown that with soft concretes with low paste content, if the concrete constituents are changed, the following unexpected phenomena will occur with increased frequency:

- unforeseeable significant differences in the quantity of secreted water in the DBV bucket test (bleeding)
- uncontrolled late liquidisation of the concretes, i.e. softening of the consistencies over time
- unplanned increased air content in the fresh concrete
- accelerated strength development

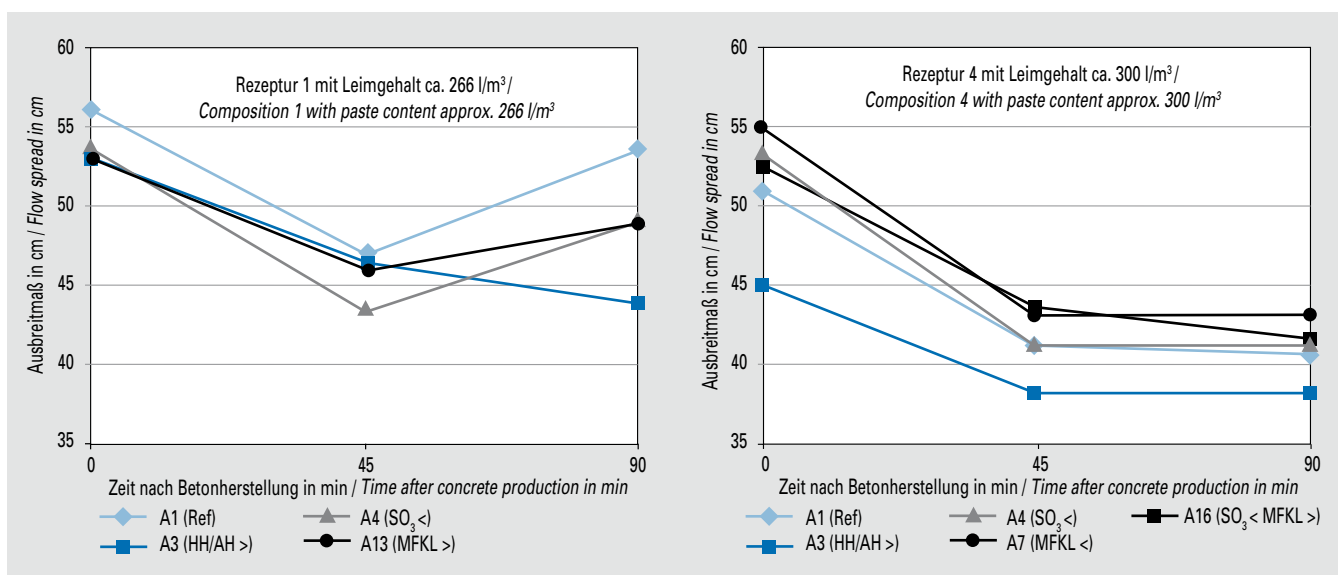


Bild 2.4.14-3 Zeitliche Entwicklung der Konsistenz von Betonen gleicher Zusammensetzung für Leimgehalte von ca. 266 l/m³ sowie ca. 300 l/m³
Fig. 2.4.14-3 Temporal development of the consistency of concretes with the same composition with paste content approx. 266 l/m³ and approx. 300 l/m³

- nicht vorhersehbare deutliche Unterschiede bei der abgesonderten Wassermenge im DBV-Eimertest (Bluten)
- unkontrollierte Nachverflüssigung der Betone, also weichere Konsistenzen mit fortschreitender Zeit
- ungeplanter erhöhter Luftgehalt im Frischbeton
- beschleunigte Festigkeitsentwicklung

Dabei zeigte sich, dass diese Phänomene sowohl bei einer praxisüblichen Veränderung großtechnisch hergestellter Zementeigenschaften als auch bei der Wahl einer anderen Charge der gleichen Gesteinskörnung oder des gleichen verwendeten Fließmittels auftreten können. Durch eine Erhöhung des Leimgehalts konnte das Auftreten unerwarteter Änderungen der Frischbetoneigenschaften weitestgehend vermieden werden. Die untersuchten Betone mit erhöhtem Leimgehalt zeigten auch bei einer Veränderung der Betonausgangsstoffe erwartungsgemäße Frischbetoneigenschaften und konnten somit als „robust“ eingestuft werden.

Beispiele für diese Beobachtungen sind in **Bild 2.4.14-3** und **2.4.14-4** dargestellt: ein Beton mit einem Leimgehalt von ca. 266 l/m³ zeigte bei einer Veränderung von Zementeigenschaften im Labor (Mahlfeinheit des Zementklinkers, Sulfatgehalt, Löslichkeit des Sulfats) z. T. eine unplanmäßige Nachverflüssigung sowie große Unterschiede bei der abgesonderten Wassermenge im DBV-Eimertest. Demgegenüber entwickelte sich die Konsistenz eines Betons mit einem Leimgehalt von ca. 300 l/m³ auch bei einer Veränderung der Zementeigenschaften stets erwartungsgemäß. Die abgesonderte Wassermenge wies geringere Schwankungen als bei der leimärmeren Betonzusammensetzung auf.

Berücksichtigung der Robustheit beim Betonentwurf

Da gewisse Schwankungen der Eigenschaften der Betonausgangsstoffe aus marktüblicher großtechnischer Produktion unvermeidbar sind, muss dies beim Betonentwurf berücksichtigt werden, um weitgehend konstante Frischbetoneigenschaften über längere Zeiträume sicherzustellen. Eine übermäßige Reduzierung des Bindemittel- und Leimgehalts im Beton, welche durch die Entwicklung leistungsfähiger Fließmittel vermeintlich ermöglicht wird, kann die Ursache für unerwartete Frischbetoneigenschaften und wenig robuste Betone sein.

It was also found that these phenomena may occur both as a result of common modifications of the properties of mass-produced cements as well as when using a different batch of the same aggregate or the same superplasticiser. By increasing the paste content, it was largely possible to prevent the occurrence of unexpected changes to the fresh concrete's properties. Those concretes with increased paste content that were examined displayed the expected fresh concrete properties even where the raw materials were changed and were thus classified as “robust”.

Examples for these observations are displayed in **Fig. 2.4.14-3** and **Fig. 2.4.14-4**. A concrete with a paste content of approx. 266 l/m³ occasionally displayed, when cement properties were changed in the laboratory (cement clinker fineness, sulphate content, sulphate solubility), an undesired late liquidisation and strong fluctuations in the quantity of water secreted in the DBV bucket test. By comparison, the consistency of a concrete with a paste content of approx. 300 l/m³ developed as expected even where the cement properties were changed. The quantity of water secreted fluctuated less than it did with the lower-paste concrete composition.

Consideration of robustness when designing concrete

As a certain degree of fluctuation of the properties of raw materials for concrete from common commercial mass production are unavoidable, this needs to be taken into consideration when designing a concrete in order to ensure fresh concrete properties that are as constant as possible over longer periods of time. Excessive reduction of binder and paste content in the concrete – which is allegedly possible through the development of high-performance superplasticisers – may cause unexpected fresh concrete properties and concretes with low robustness.

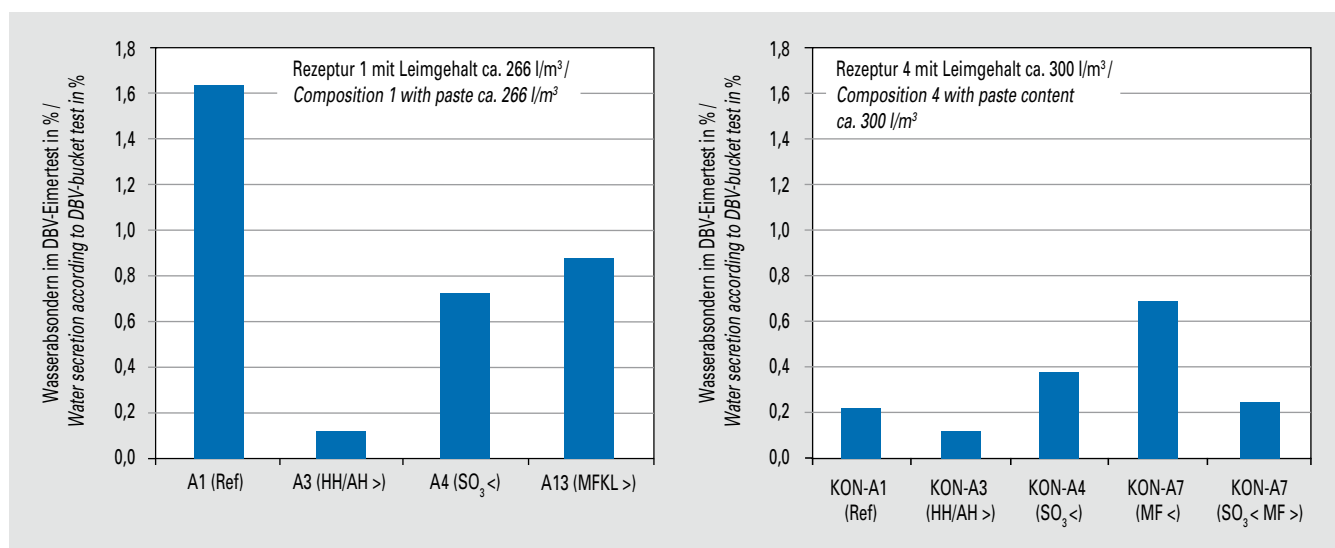


Bild 2.4.14-4 Zeitliche Entwicklung des Wasserabsonderns von Betonen gleicher Zusammensetzung für Leimgehalte von ca. 266 l/m³ sowie ca. 300 l/m³

Fig. 2.4.14-4 Temporal development of the water secretion of concretes with the same composition with paste content approx. 266 l/m³ and approx. 300 l/m³

2.4.15 Ermittlung hydratationsgradbasierter Kennwerte zur Vorhersage der Dauerhaftigkeit von Beton ■

IGF-Vorhaben 17123 N
 Projektpartner: TU Clausthal
 Projektzeitraum: 01/2012–12/2013

Hintergrund

In der Entwicklung neuer, noch klinkereffizienterer Zemente wird man sich immer weniger auf die Erfahrungen der Vergangenheit berufen können. Die Errichtung qualitativ hochwertiger, dauerhafter Betonbauwerke muss oberstes Ziel bleiben.

Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit des Betons konnte man sich bisher auf die Erfahrungen der Baupraxis berufen. Die Messung der Druckfestigkeit als Kontrollinstrument schien in vielen Fällen ausreichend zu sein. Dies wird bei Neu- bzw. Weiterentwicklungen ggf. nicht mehr ausreichen. Anzustreben wären daher Parameter, die ohne allzu großen zeitlichen Aufwand einen Hinweis auf das Dauerhaftigkeitspotenzial eines Betons geben. Das Verfahren zur Beurteilung neuer Zemente könnte mit solchen Kennwerten unterstützt und ggf. beschleunigt werden. Vor den eigentlichen Dauerhaftigkeitsprüfungen könnte dann ein Zementhersteller feststellen, ob ein Zement geeignet erscheint, Zulassungsprüfungen zu bestehen oder eine Widerstandsklasse des Betons (siehe Abschnitt 1.5.2) zu erreichen.

Vorgehensweise

Der VDZ und die TU Clausthal haben deshalb in einem gemeinsamen Forschungsvorhaben Kennwerte auf Basis des Hydratationsgrads HG von Zementstein und der Porenradialverteilung P von Normmörteln entwickelt, die Rückschlüsse auf Dauerhaftigkeitskriterien zulassen.

Es wurden zwei Portlandzemente und fünf weitere Zementhauptbestandteile (zwei Hüttensande, zwei Steinkohlenflugaschen und ein Kalkstein) in unterschiedlicher Feinheit ausgewählt. Aus diesen Komponenten wurden 28 Laborzemente innerhalb und außerhalb der Grenzen der derzeitigen DIN EN 197-1 hergestellt. Zur Erweiterung der Datenbasis wurden Zemente aus Zulassungsverfahren – nach Freigabe durch den Antragsteller – anonymisiert in das Projekt mit einbezogen. Aus diesen Zementen wurden Betone gemäß den Vorgaben der DIBt-Zulassungsverfahren hergestellt und deren Druckfestigkeit und Dauerhaftigkeit geprüft.

Der Frostwiderstand wurde mit dem Würfel- und dem CIF-Verfahren, der Frost-Tausalz-Widerstand mit dem CDF-Verfahren ermittelt. Der Chlorideindringwiderstand (Migrationskoeffizient) wurde mit dem Schnelltest gemäß des BAW-Merkblattes geprüft. Der Widerstand gegen Carbonatisierung wurde an Feinbetonen mit $w/z = 0,50$ mit einer Sieblinie A8/B8 nach 7 und 28 Tagen Vorlagerung bestimmt.

Für die Dauerhaftigkeit eines Betons sind zum einen der Hydrationsfortschritt und zum anderen das sich ausbildende Porensystem von entscheidender Bedeutung. Bei Frostbeanspruchungen hat zusätzlich das Luftporensystem einen Einfluss auf die Abwitterung bzw. die innere Gefügeschädigung. Entsprechende Parameter wurden daher zur Ableitung von Kennwerten zur Vorhersage der Dauerhaftigkeit ausgewertet. Der Hydrationsgrad wurde mittels Simultanthermoanalyse zu verschiedenen Prüfzeitpunkten am Zementstein bestimmt. Die Porenradialverteilung wurde gemäß

2.4.15 Determination of hydration-degree-based characteristic values for predicting the durability of concrete ■

IGF project 17123 N
 Project partners: TU Clausthal
 Project duration: 01/2012–12/2013

Background

As new, even more clinker-efficient cements are developed it will be increasingly difficult to refer to previous experience. The construction of high-quality, long-lasting concrete structures must remain the prime objective.

Previously, it has been possible to rely on experience from construction practice in regard to the durability of concrete. Measuring the compressive strength appeared to be a sufficient means of monitoring in many cases. However, this may no longer be sufficient for new and further developments. The aim should therefore be to find parameters that provide evidence of the potential durability of a concrete without being too time-consuming. Such parameters could assist and perhaps even accelerate the procedure for assessment of new cements. Before the actual durability tests, cement producers could then determine whether a cement seems likely to pass approval testing or achieve a concrete resistance class (see chapter 1.5.2).

Approach

In a joint research project, the VDZ and TU Clausthal have therefore developed a set of characteristic values based on the degree of hydration of hardened cement paste and the pore size distribution of standard mortars that allows conclusions to be drawn regarding the durability criteria.

Two Portland cements and five additional cement main constituents (two blast furnace slags, two fly ashes and a limestone) of varying fineness were selected. These constituents were used to produce 28 laboratory cements, both within and beyond the limits of the current version of DIN EN 197-1. To expand the existing data, cements from technical approvals were anonymously included in the project after being released by the applicant. These cements were used to produce, in accordance with the DIBt approval procedures, concretes whose compressive strength and durability were then examined.

The freeze-thaw resistance was determined by means of the cube and the CIF method, the freeze-thaw resistance with de-icing salt was determined by means of the CDF method. Resistance to chloride penetration (migration coefficient) was tested according to the accelerated test detailed in the BAW code of practice. Carbonation resistance was determined for fine concretes with $w/c = 0.50$ with a grading curve A8/B8 after a pre-storage of 7 and 28 days.

The durability of a concrete is decisively affected by both the degree of hydration and the pore system formation. When subjected to frost exposure, the air entrainment also affects scaling and internal structural damage. Corresponding parameters were thus evaluated to derive characteristic values for predicting the durability. The degree of hydration was determined by means of simultaneous thermal analysis of the hardened cement paste at various points of time. Pore size distribution was, in accordance with DIN 66133, examined using 28-day-old standard mortar and evaluated in regard to a variety of characteristic parameters

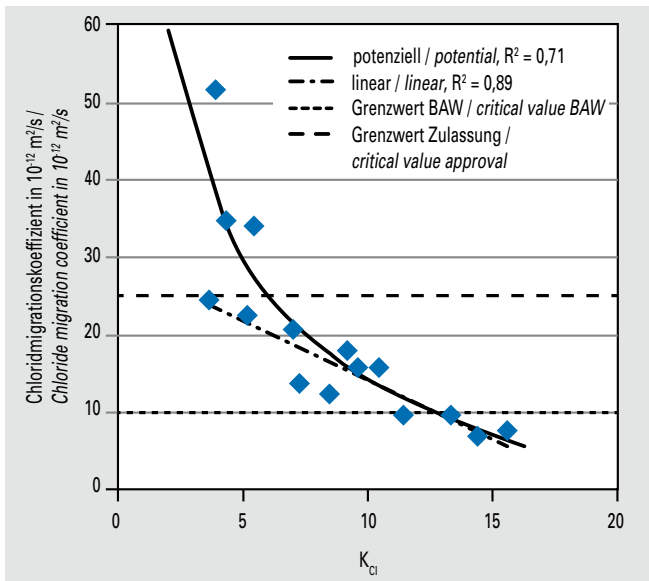


Bild 2.4.15-1 Korrelation zwischen dem Chloridmigrationskoeffizienten und dem Kennwert K_{Cl}
Fig. 2.4.15-1 Correlation between chloride migration coefficient and characteristic value K_{Cl}

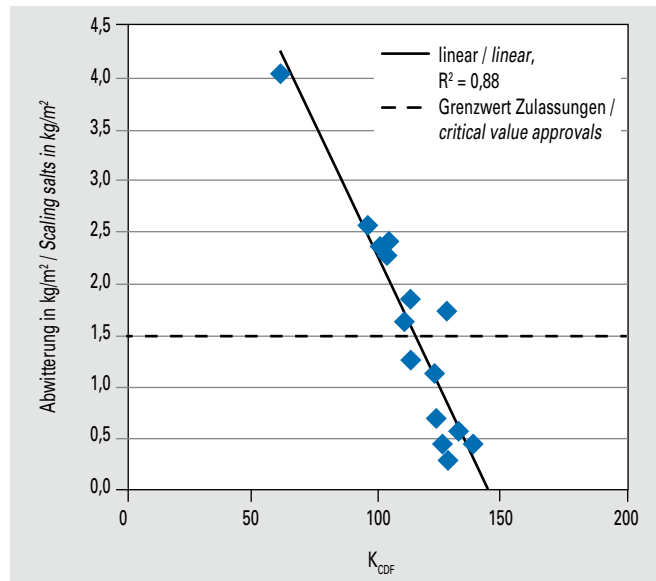


Bild 2.4.15-2 Korrelation zwischen dem Frostwiderstand (Abwitterung, CDF) und dem Kennwert K_{CDF}
Fig. 2.4.15-2 Correlation between freeze-thaw resistance (scaling, CDF) and characteristic value K_{CDF}

DIN 66133 am Normmörtel im Alter von 28 Tagen untersucht und hinsichtlich verschiedener charakteristischer Parameter (Kapillar- und Gelporosität, Grenzradius) ausgewertet. Diese Parameter sowie Parameterkombinationen wurden mit den Ergebnissen der Dauerhaftigkeitsuntersuchungen zum jeweiligen Bewertungszeitpunkt korreliert. In den folgenden Diagrammen ist die jeweils beste Korrelation, bezogen auf den Korrelationskoeffizient R^2 , angegeben.

Ergebnisse

In **Bild 2.4.15-1** ist der Zusammenhang zwischen dem Kennwert K_{Cl} und dem Chlorideindringwiderstand (Migrationskoeffizient) dargestellt. Bei einem Zement, der mindestens einen Kennwert von $K_{Cl} > 7$ aufweist, kann davon ausgegangen werden, dass die Prüfung des Chlorideindringwiderstands nach derzeit in Zulassungsverfahren gängigen Kriterien bestanden wird.

In **Bild 2.4.15-2** ist eine lineare Korrelation der Abwitterung im CDF-Versuch (Frost-Tausalz-Angriff) mit einem Kennwert K_{CDF} dargestellt. Ein Zement mit einem Kennwert < 120 besteht die Prüfung üblicherweise nicht. Zwischen der Betondruckfestigkeit und dem Chloridmigrationskoeffizienten bzw. der Abwitterung im CDF-Versuch bestehen deutlich weniger signifikante bzw. gar keine Korrelationen. Dies bedeutet, dass die Druckfestigkeit als Ersatzparameter für die Dauerhaftigkeit bei den hier untersuchten Zementen und Betonen nicht ausreichend ist. Weitere Kennwerte liegen für den relativen dynamischen E-Modul im CIF-Verfahren, für die Abwitterung im Würfelverfahren sowie für die Carbonatisierung von Feinbetonen vor. Für die Bestimmung der Kennwerte sind keine Versuche am Festbeton notwendig. Die Dauerhaftigkeit der zulassungskonform zusammengesetzten Betone lässt sich anhand von Zementstein- und Mörtel Eigenschaften abschätzen. Bisher wurde eine begrenzte Anzahl von Zementen bzw. Zementhauptbestandteilen verwendet. Die Ergebnisse müssen durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.

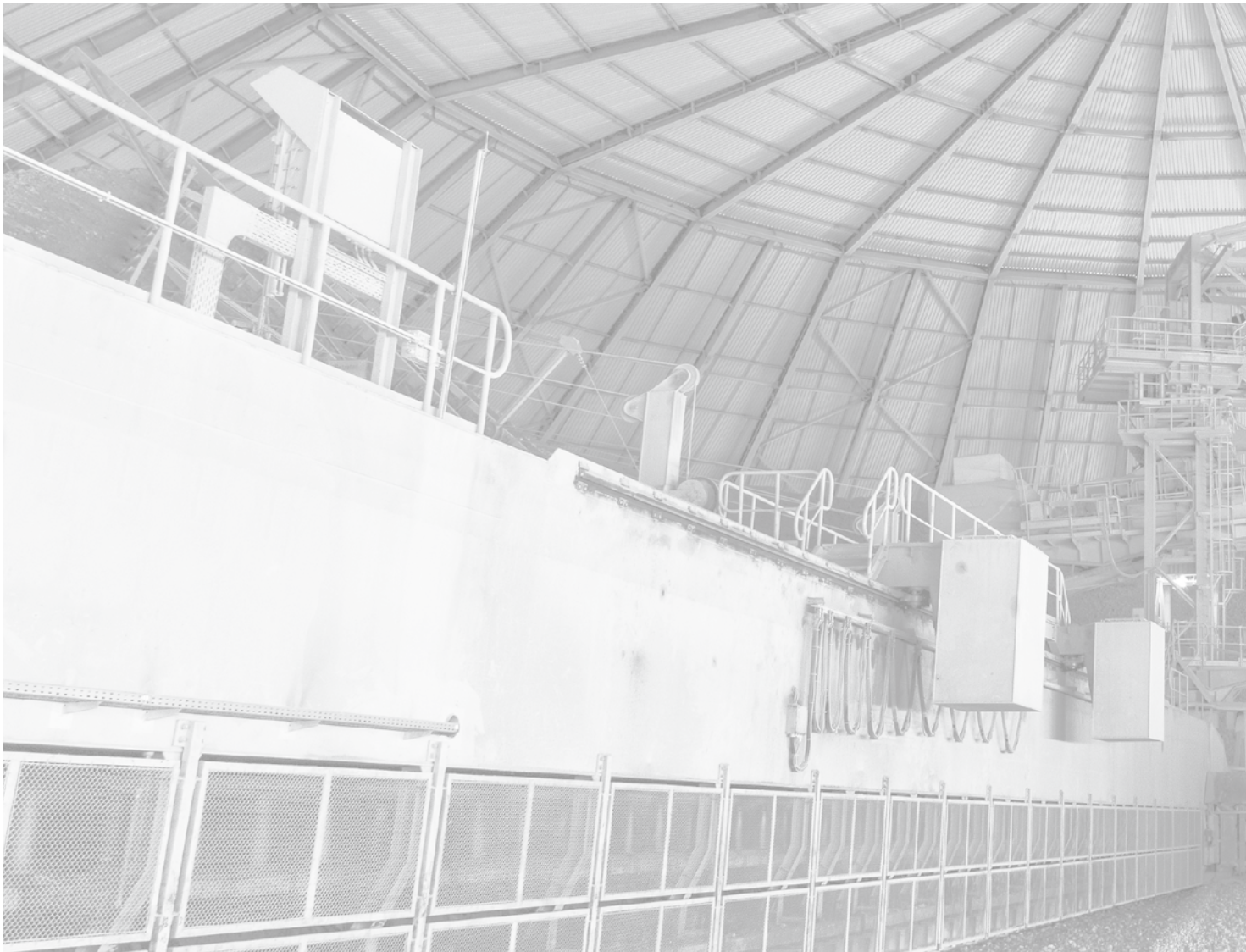
(capillary and gel porosity, threshold radius). These parameters and parameter combinations were correlated with the results of the durability testing at the respective time of evaluation. The following diagrams show the respectively best correlation, based on correlation coefficient R^2 .

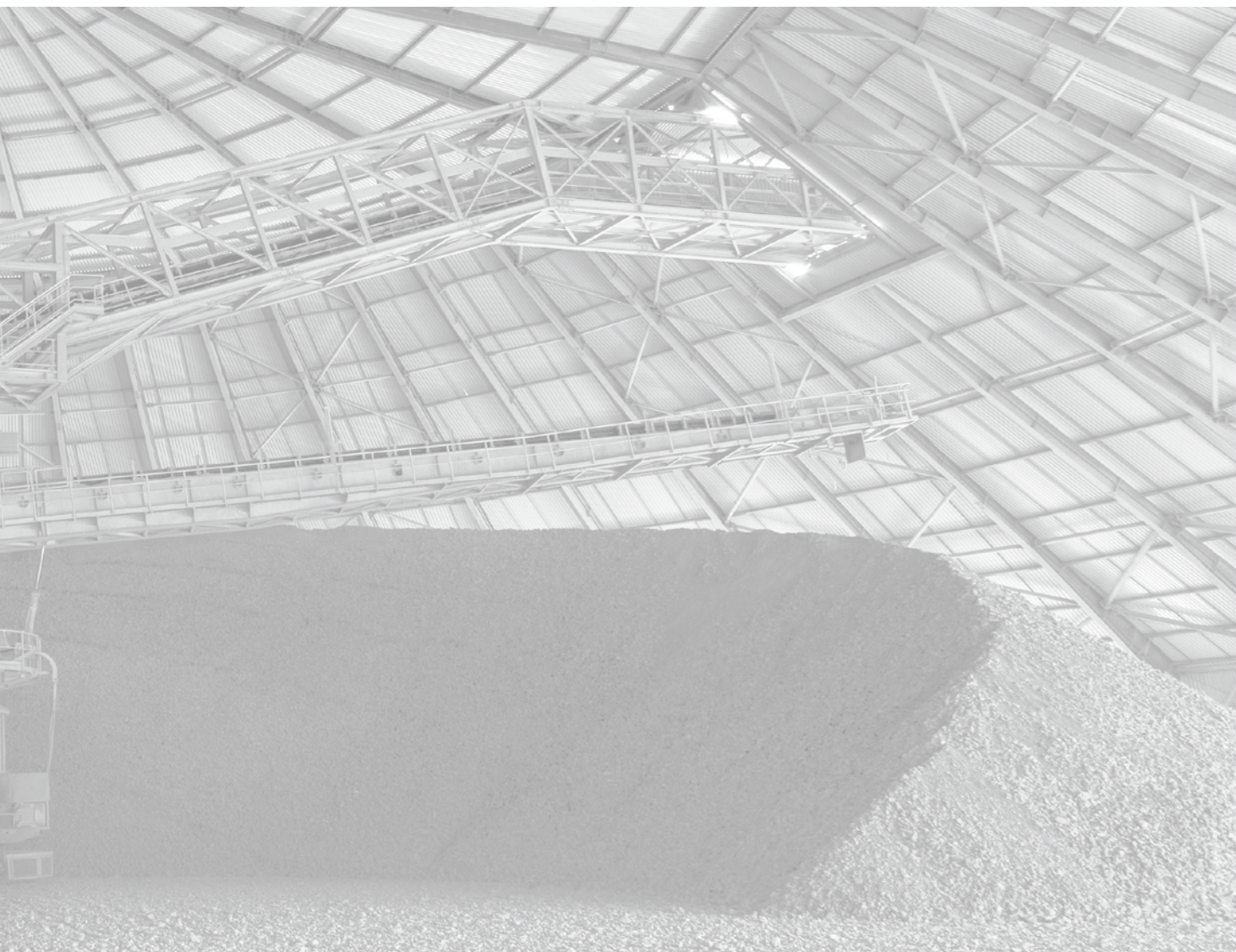
Results

Fig. 2.4.15-1 shows the correlation between the characteristic value K_{Cl} and the resistance to chloride penetration (migration coefficient). Cement with a value of at least $K_{Cl} > 7$ can safely be assumed to meet the criteria currently required in approval testing regarding the resistance to chloride penetration.

Fig. 2.4.15-2 shows a linear correlation between scaling in the CDF test (freeze-thaw attack) and the characteristic value K_{CDF} . Cements with a value < 120 will usually fail the test. There is significantly less correlation between a concrete's compressive strength and the chloride migration coefficient and no correlation at all between compressive strength and scaling in the CDF test. This means that compressive strength is not a sufficient substitute parameter for durability for the cements and concretes examined here. Further characteristic values are available for the relative dynamic modulus of elasticity in the CIF test, for scaling in the cube test and for carbonation of fine concretes. Characteristic value determination does not require testing of hardened concrete. The durability of the concretes, composed in compliance with approval requirements, can be estimated based on the properties of the hardened cement paste and mortars. So far, a limited number of cements and cement main constituents have been used. However, the results require confirmation by additional research.

Anhang / Annex





**Vorstand des Vereins Deutscher
Zementwerke e. V. /
Board of VDZ**

Präsident / Chairman

Gerhard Hirth, Ulm

Vizepräsidenten / Vice Chairmen

Christian Knell, Heidelberg

Dr. Dirk Spenner, Erwitte

Klaus Bauer, Ulm (bis / until 22.09.2015)

Dirk Beese, Wiesbaden

Karl Brüggem, Karsdorf

Dr. Michael Bücken, Solnhofen

Danilo Buscaglia, Karsdorf

Jens Diebold, Hamburg (ab / from 22.09.2015)

Mike Edelmann, Rohrdorf

Urs Fankhauser, Hamburg (bis / until 22.09.2015)

Bernward Goedecke, Wiesbaden

Marcel Kecke, Karsdorf

Urs Kern, Dotternhausen

Marcel Krogbeumker, Beckum

Rüdiger Kuhn, Rüdersdorf

Wolfgang Matthias, Erwitte

Winfried Müller, Großenluder

Maximilian Graf Pückler-Märker, Harburg

Jörg Ramcke, Üxheim-Ahütte

Eduard Schleicher, Ulm

Volker Schneider, Heidelberg

Norbert Schultz, Wiesbaden

Hubertus Seibel, Erwitte

Thomas Spannagl, Ulm (ab / from 22.09.2015)

Kurt Tausendpfund, Pommelsbrunn

Matthias von der Brelje, Hamburg

Ottmar Walter, Heidelberg

**Hauptgeschäftsführer des VDZ und
Leiter des Forschungsinstituts /
Chief Executive of VDZ and
Head of the Research Institute**

Dr. Martin Schneider

VDZ gGmbH

Geschäftsführer / Managing Directors

Dr.-Ing. Volker Hoenig

Dr.-Ing. Christoph Müller

Forschungsinstitut der Zementindustrie GmbH

Geschäftsführer / Managing Director

Dr.-Ing. Martin Oerter

**Technisch-Wissenschaftlicher Beirat /
Technical Scientific Advisory Board**

Vorsitzender / Chairman

Volker Schneider, Heidelberg

Obleute der Ausschüsse und Kommissionen /

Representatives of the committees and commissions

Eckhard Bohlmann, Heidelberg (Betontechnik / Concrete Technology)

Dr. Wolfgang Dienemann, Leimen (Zementchemie / Cement Chemistry)

Michael Gieding, Heidelberg (Kommission Transportbeton / Ready-Mix Concrete Commission)

Bernward Goedecke, Wiesbaden (Umwelt und Verfahrenstechnik / Environment + Process Engineering)

Dr. Stefan Lorenz, Wiesbaden (Energie / Energy)

Peter Lyhs, Rüdersdorf (Kommission Alkali-Kieselsäure-Reaktion / Alkali-Silica Reaction Commission)

Wolfgang Matthias, Erwitte (Ständiger Gast / Permanent Guest)

Dr. Hendrik Möller, Ulm (Fachausschuss Überwachungsgemeinschaft / Supervisory Association Expert Committee)

VDZ und sein Forschungsinstitut /

VDZ and its Research Institute

Dr. Martin Schneider

**Haushaltsbeirat und Rechnungsprüfer /
Budget Advisory Board and Accountants**

Vorsitzender / Chairman

Frank Schramm, Heidelberg

Karl Brüggem, Karsdorf

Dr.-Ing. Stefan Fink, Ulm

Gerlinde Geiß, Harburg

Gerhard Hirth, Ulm

Volker Janke, Düsseldorf (Rechnungsprüfer / Accountant)

Ralf Keller, Ulm (Rechnungsprüfer / Accountant)

Veröffentlichungen / Publications

Schriftenreihe der Zementindustrie / Publication series of the cement industry

- Schäffel, Patrick: *Zum Einfluss schwindreduzierender Zusatzmittel und Wirkstoffe auf das autogene Schwinden und weitere Eigenschaften von Zementstein.*
Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013 (Schriftenreihe der Zementindustrie 78)
- Koring, Kristina: *CO₂-Emissionsminderungspotential und technologische Auswirkungen der Oxyfuel-Technologie im Klinkerbrennprozess.*
Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013 (Schriftenreihe der Zementindustrie 79)
- Fleiger, Philipp: *Einfluss der Gattierung auf die Beanspruchungssituation und Zerkleinerung bei der Feinmahlung von Zement.*
Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2014 (Schriftenreihe der Zementindustrie 80)
- Schulze, Simone E.: *Zur Reaktivität von Steinkohlenflugaschen und ihrer Rolle bei der Hydratation flugaschehaltiger Zemente.*
Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2014 (Schriftenreihe der Zementindustrie 81)

Merkblätter und Prüflisten / Codes of practice and checklists

Sicherheits-Merkblätter / Safety codes of practice

- Nr. 119 Sturz bei der Nutzung unerlaubter Abkürzungen zum Arbeitsplatz
- Nr. 120 Verbrennung bei Reinigungsarbeiten im Wärmetauscher
- Nr. 121 Verletzung beim schnellen Beseitigen einer Störung
- Nr. 122 Verletzung beim Beseitigen eines Materialstaus
- Nr. 123 Verletzung durch einen abfliegenden Druckbehälterdeckel
- Nr. 124 Quetschung bei Wartungsarbeiten an einer Schurre
- Nr. 125 Unzureichende Absprachen bei der Durchführung von Erdarbeiten
- Nr. 126 Verletzung bei Arbeiten mit einem Trennschleifer
- Nr. 127 Umkippen eines Lkw während der Entladung
- Nr. 128 Verletzungen durch austretendes Heißmehl

Sicherheits-Prüflisten / Safety checklists

- Nr. 99 Sicherer Zugang zu Arbeitsstellen
- Nr. 100 Reinigungsarbeiten im Wärmetauscher
- Nr. 101 Unsicheres Beseitigen von Störungen und Arbeiten ohne Rücksprache
- Nr. 102 Umgang mit Materialströmen sowie Flucht- und Rettungswegen
- Nr. 103 Arbeiten an druckbeaufschlagten Anlagen
- Nr. 104 Arbeiten an Anlagenteilen in stark schmutzgefährdeten Bereichen
- Nr. 105 Erlaubnisschein für Erdarbeiten
- Nr. 106 Arbeiten mit portablen Maschinen und Gerätschaften
- Nr. 107 Entladen von Muldenkippern
- Nr. 108 Arbeiten im Heißmehlbereich

Verfahrenstechnische Merkblätter / Codes of practice

- Vt 11 Monolithische feuerfeste Zustellung in Zementwerken (Neuaufgabe)
- Vt 12 Health and safety in hot areas of cement plants (englische Ausgabe)
- Vt 17 Drehofenfeuerungen für den Sekundärbrennstoffeinsatz

VDZ-Mitteilungen

- Nr. 148 (Mai 2012) – Nr. 158 (September 2015)

VDZ Bulletins (Cement International)*VDZ und BDZ bilden neue Einheit*

In: Cement International 10 (2012) 1, S. 26

Cements containing increased levels of limestone: Research project sounds out possible optimization procedures

In: Cement International 10 (2012) 2, S. 20

ASR: Alkali reactivity class E II-S: Is it possible to define the new class for aggregates?

In: Cement International 10 (2012) 2, S. 22

Careful choice of superplasticizer: The pore solution can have a significant influence on the plasticizing effect

In: Cement International 10 (2012) 2, S. 23

Investigations of low-clinker cements for durable concretes: Research project for the production of high performance cements containing ground granulated blastfurnace slag and siliceous fly ash

In: Cement International 10 (2012) 1, S. 27

ASR: New WS basic test for the WS moisture class: Scheme developed by the FGSV for assessing the suitability of aggregates for concrete pavements

In: Cement International 10 (2012) 1, S. 28

Cements containing increased levels of limestone: Research project sounds out possible optimization procedures

In: Cement International 10 (2012) 2, S. 20

ASR: Alkali reactivity class E II-S: Is it possible to define the new class for aggregates?

In: Cement International 10 (2012) 2, S. 22

Careful choice of superplasticizer: The pore solution can have a significant influence on the plasticizing effect

In: Cement International 10 (2012) 2, S. 23

Third phase of the ECRA CCS project completed: The oxy-fuel and post-combustion methods of CO₂ separation in cement kiln plants have been examined

In: Cement International 10 (2012) 3, S. 22

Effect of de-icing salts on hardened cement paste: De-icing salts can intensify the alkali-aggregate reaction

In: Cement International 10 (2012) 3, S. 23

Accreditation successfully completed: Experts confirm the high degree of competence at the Research Institute

In: Cement International 10 (2012) 5, S. 28

Clays: From raw material to pozzolanic main constituent: Clays were examined in a research project for their suitability as main cement constituents

In: Cement International 10 (2012) 5, S. 28–30

Influence of magnesium during sulfate attack: Focusing on mortars and concretes made with mixtures of cement and fly ash

In: Cement International 10 (2012) 6, S. 20

The VDZ's experience with the modified CDF method: Can the resistance to freeze-thaw with de-icing salt with moderate water saturation be tested by the freeze-thaw laboratory test method?

In: Cement International 10 (2012) 6, S. 20–21

EPD for German cement published: Provision of data for the life cycle analysis of construction works

In: Cement International 10 (2012) 6, S. 22

Energy efficiency – something new for the cement industry?: Modern production conditions require new approaches – VDZ-Working-Group puts forward a scheme

In: Cement International 10 (2012) 6, S. 24

HORIZON2020 – research for the future: European industry will profit with the SPIRE roadmap

In: Cement International 10 (2012) 6, S. 25

Increase in the use of monolithic castables in cement plants: Complete and fundamental revision of VDZ's important Vt 11 code of practice from 1994

In: Cement International 11 (2013) 2, S. 25

REACH requires flue dust mineralogy: Quantitative phase analysis for filter and bypass dusts

In: Cement International 11 (2013) 2, S. 26

Cements with increased limestone content: Special requirements for production and processing

In: Cement International 11 (2013) 2, S. 26–27

Adhesion of TiO₂-modified textile-reinforced concrete: Cement-based adhesives with promising properties

In: Cement International 11 (2013) 2, S. 27

Granulated blastfurnace slag and limestone affect the pore solution: Changes in the pore solution caused by main cement constituents have an effect on the zeta potential

In: Cement International 11 (2013) 1, S. 23–24

Declaration of performance and CE marking: Examples have been agreed with European Commission

In: Cement International 11 (2013) 1, S. 24

Medium-term forecast: Development of the German cement market: Cement Forecast working group: Further growth momentum in housing construction, civil engineering remains stable

In: Cement International 11 (2013) 1, S. 25

New ordinance package comes into effect with the 17th BImSchV (Federal Pollution Control Ordinance): Implementation of the IED in Germany entails far-reaching changes in the pollution control law

In: Cement International 11 (2013) 3, S. 16

The health effects of cement: CEMBUREAU health studies are nearly complete

In: Cement International 11 (2013) 3, S. 17

Dependable production of industrial concrete floors: Findings from investigations that formed part of an IGF project: The quantity of bleed water is not the only factor

In: Cement International 11 (2013) 3, S. 17–19

Trends in the cement market in 2012 and 2013: Stable cement demand is also expected in 2013 in the fields of building construction and civil engineering

In: Cement International 11 (2013) 3, S. 19

Concrete road construction: Dependable avoidance of ASR: Advice for working out practical evaluation criteria for performance testing and aggregate tests for the WS moisture class

In: Cement International 11 (2013) 4, S. 18–19

Well equipped for research and analysis: Even faster and more precise thanks to four new appliances

In: Cement International 11 (2013) 4, S. 20

Pore solution influences admixture charge: The effective amount of charge is also dependent on the cement and w/c ratio

In: Cement International 11 (2013) 4, S. 21

Process dust analysis: Diffractometry needs chemical backup: Quantitative phase analysis of process dusts can only be achieved by a combination of analytical methods

In: Cement International 11 (2013) 4, S. 22

Concrete paving blocks pass stress test: A suitable mix formulation ensures durability in the presence of a wide variety of de-icing agents

In: Cement International 11 (2013) 4, S. 22

Plastering and masonry binder test under revision: State of the test standard EN 413-2 harmonized for Europe

In: Cement International 11 (2013) 4, S. 23

Ten years of ECRA – from an idea to an institution: Research activities are being further strengthened through cooperation with the University of Mons

In: Cement International 11 (2013) 5, S. 19

Cement standard EN 197-1 is currently being revised again: New ternary cements with low clinker contents are to be incorporated in the standard

In: Cement International 11 (2013) 5, S. 20

On the trail of the optimum grinding media charge grading: Stress conditions and size reduction in the fine grinding compartment of a cement mill

In: Cement International 11 (2013) 5, S. 21

Emissions trading: Backloading adopted: One-off retention of 900 million certificates now permitted

In: Cement International 11 (2013) 6, S. 18

Bromine water can be replaced in chromate analysis: Use of sodium peroxodisulfate increases safety in laboratory

In: Cement International 11 (2013) 6, S. 18–19

Chromate determination in cementitious products: Reference method for cements and cementitious mixtures

In: Cement International 11 (2013) 6, S. 19

Dependable production of air-entrained concrete under operational conditions: Findings from laboratory tests can be transferred to practical conditions in ready-mixed concrete plants

In: Cement International 11 (2013) 6, S. 19–20

National implementation of EN 206 has started: Revision of DIN 1045-2 is taking place after the vote on EN 206 was positive

In: Cement International 11 (2013) 6, S. 22

Aktuelle Studie der Baustoffindustrie veröffentlicht: Zentrales Ergebnis: Kein weiterer Rückgang der Steine-Erden-Rohstoffnachfrage bis 2030 zu erwarten

In: Cement International 11 (2013) 6, S. 24

Reference materials and cements for quality assurance: ASR test cement and reference materials for determining chlorine or chromate content are available

In: Cement International 11 (2013) 6, S. 25

Utilization of CO₂ for synthesis of methanol and methane: Carbon capture and reuse (CCR) – an alternative to storage in geological strata?

In: Cement International 12 (2014) 1, S. 22

Lowering of costs by reducing false air: Minimizing false air by improved maintenance

In: Cement International 12 (2014) 1, S. 23

Limestone properties under the spotlight: Portland-limestone cements containing non-standard limestones

In: Cement International 12 (2014) 1, S. 23–24

Thermally activated clays on a large scale: Burning conditions in laboratory furnace transferable to chamber furnace

In: Cement International 12 (2014) 1, S. 24

Trace element analysis of concrete eluates put to the test: Comparable leaching results can only be achieved with clearly defined preliminary storage of the concrete

In: Cement International 11 (2014) 2, S. 20

Optimization potential of concrete pavements: Noise-reducing concrete pavements with rapid repair system

In: Cement International 11 (2014) 2, S. 22

Medium-term forecast of cement consumption from 2013 to 2017: Growth stimulus in housing construction due to continuing urbanization and high immigration, civil engineering stable

In: Cement International 11 (2014) 2, S. 22–23

Agreement over state aid guidelines and reform of the REA: Cement producers will still receive relief from the REA reallocation charge through the Special Equalisation Scheme

In: Cement International 12 (2014) 3, S. 17

Study: Competitive power costs: The cement industry is dependent on relief from the REA reallocation charge

In: Cement International 12 (2014) 3, S. 17

Fly ash as a main constituent of cement: The residual coke has little effect on consistency and superplasticizer demand

In: Cement International 12 (2014) 3, S. 18

VDZ and standard sand - a strong team: In future VDZ will have a majority shareholding in Normensand GmbH

In: Cement International 12 (2014) 3, S. 18–20

VDZ-Weiterbildung bleibt stark nachgefragt: Das Bildungsprogramm wird in den kommenden Jahren ausgeweitet

In: Cement International 12 (2014) 3, S. 20

VDZ-Mitglieder wählen neuen Vorstand: Gerhard Hirth erneut VDZ-Präsident

In: Cement International 12 (2014) 3, S. 20–21

Correct description of the performance of cement in concrete: Will the performance characteristics in EN 197-1 be sufficient for appropriate characterisation of new cements?

In: Cement International 12 (2014) 4, S. 22

Metakaolin from paper sludge as a cement constituent: Successful conclusion of a research project on the use of metakaolin from the paper industry

In: Cement International 12 (2014) 4, S. 24

Gypsum, hemihydrate, anhydrite – focus on sulfate agents: Reliable characterization of the sulfate agent by a combination of complementary methods

In: Cement International 12 (2014) 4, S. 24

Focus on the constituents of cement and concrete: Research projects about pozzolan and concrete analysis have been initiated

In: Cement International 12 (2014) 5, S. 18

Are always lower limit values really necessary?: The LAWA is updating the way in which insignificance thresholds for groundwater are derived

In: Cement International 12 (2014) 5, S. 18

Plans for classification of formaldehyde as carcinogenic: First measurements carried out in cement plants - industry-specific solutions needed

In: Cement International 12 (2014) 5, S. 19

Gasification of heterogeneous fuels using plasma: Studies indicate the potential of using alternative fuels that are difficult to exploit

In: Cement International 12 (2014) 5, S. 19

Energy efficiency continues at a high level: Cement companies optimise their processes regarding market demands and raw materials

In: Cement International 12 (2014) 6, S. 16

General dust limit value lowered in Germany: New safety data sheet templates resulting from amended TRGS 900

In: Cement International 12 (2014) 6, S. 17

Efficiency through accurate weighing and metering: Focus on scale maintenance and determination of measuring errors

In: Cement International 12 (2014) 6, S. 17

Wiki for cement analysis

In: Cement International 12 (2014) 6, S. 17

SCR demonstration projects completed successfully: Long-term operational experience with the high-dust and tail-end process now available

In: Cement International 13 (2015) 1, S. 17

Draft standard for CO₂ reporting: Methods for cement plants successfully confirmed in field tests

In: Cement International 13 (2015) 1, S. 18

Medium-term forecast for cement consumption: High immigration is driving demand for multiple-family dwellings

In: Cement International 13 (2015) 1, S. 18–19

German Cement Works Association (VDZ) launches new website

In: Cement International 13 (2015) 1, S. 19

Increased demand for seminars, courses and online training: Updated training program extends VDZ's offers to English and Russian speaking employees in the non-metallic minerals industry

In: Cement International 13 (2015) 1, S. 18

Stage I of the development of an oxy-fuel pilot plant: VDZ helps ECRA to find a location for an industrial-scale oxy-fuel cement kiln

In: Cement International 13 (2015) 2, S. 22

Rotary kiln shells cooled by water evaporation: Selective water atomization for low-noise temperature stabilization

In: Cement International 13 (2015) 2, S. 22–24

Image and market trends in concrete: Good positioning in both image values and market share

In: Cement International 13 (2015) 2, S. 24

VDZ active in "Carbon Concrete Composite" consortium: VDZ to help bring the innovative building material carbon concrete to marketability

In: Cement International 13 (2015) 2, S. 27

Making progress through qualifications: VDZ training for internal auditors at home and abroad

In: Cement International 13 (2015) 2, S. 27

German cement market in 2014 – dispatch and usage: Cement consumption up by 2.2 % multi-storey apartment construction as the main growth driver

In: Cement International 13 (2015) 3, S. 16

EU finalizes EEG subsidy procedure: The Commission approves majority of industrial relief

In: Cement International 13 (2015) 3, S. 16–17

Separate climate protection policies in the federal states: Federal state governments are developing targets and planning abatement measures for CO₂ emissions

In: Cement International 13 (2015) 3, S. 17

Umweltdaten / Environmental Data

Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2011. / *Environmental Data of the German cement industry 2011.*
Düsseldorf, 2012

Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2012. / *Environmental Data of the German cement industry 2012.*
Düsseldorf, 2013

Umweltdaten der deutschen Zementindustrie 2013. / *Environmental Data of the German cement industry 2013.*
Düsseldorf, 2014

Monitoring-Bericht / Monitoring report

Verminderung der CO₂-Emissionen: Monitoring-Abschlussbericht 1990–2012; Beitrag der deutschen Zementindustrie; 11. aktualisierte Erklärung zur Klimavorsorge.

Düsseldorf, 2013

Betontechnische Berichte / Concrete technology reports

Betontechnische Berichte 2010–2012 / *Concrete technology reports 2010–2012*

Zahlen und Daten

Zahlen und Daten: 2012; Stand: April 2012.
Düsseldorf, 2012

Zahlen und Daten: 2013; Stand: Mai 2013.
Düsseldorf, 2013

Zahlen und Daten: 2014 ; Stand: Mai 2014.
Düsseldorf, 2014

Zahlen und Daten: 2015; Stand: April 2015.
Düsseldorf, 2015

Zementindustrie im Überblick

Zementindustrie im Überblick: 2012.
Berlin, 2012

Zementindustrie im Überblick: 2013.
Berlin, 2013

Zementindustrie im Überblick: 2014.
Berlin, 2014

Zementindustrie im Überblick: 2015.
Berlin, 2015

Kongressband / Congress proceedings

Verein Deutscher Zementwerke, VDZ (Hrsg): *Process Technology of Cement Manufacturing: 7th International VDZ Congress 2013; Proceedings (Düsseldorf 25.–27.09.2013).*
Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013

Tagungsberichte / Conference reports

2012 Cement Process Technology Conference of the German Cement Works Association
In: *Cement International* 10 (2012) 2, S. 28–34

Annual Cement Conference 2012: Düsseldorf, Germany (27.–28.09.2012)
In: *Cement International* 10 (2012) 6, S. 26–30

Bal, Muriel: VDZ Congress 2013
In: *International Cement Review* (2013) 11, S. 45–46

Fachtagung Zementchemie 2013 des Vereins Deutscher Zementwerke (VDZ): Düsseldorf, Germany (18.04.2013)
In: *Cement International* 11 (2013) 3, S. 21–23

7th International VDZ Congress on 'Process technology of cement manufacturing': Düsseldorf, Germany (25.–27.09.2013)
In: *Cement International* 11 (2013) 6, S. 26–31

VDZ-Jahrestagung Zement 2014
In: *beton* 64 (2014) 11, S. 450–454

Jahrestagung Zement 2014 des Vereins Deutscher Zementwerke (VDZ): 2014 Annual Cement Conference of the German Cement Works Association
In: *Cement International* 12 (2014) 6, S. 18–31

Einzelveröffentlichungen / Individual publications

- Alonso, Maria T.; Schäffel, Patrick: *Das Wasserabsondern von Beton für Industrieböden: Laborergebnisse und Übertragbarkeit auf praktische Verhältnisse*
In: beton 64 (2014) 11, S. 455–460; 12, S. 509–515
- Alonso, Maria T.; Schäffel, Patrick: *Zielsichere Herstellung von Industriebetonböden: Praxis- und Laborergebnisse sowie Hinweise zur Stabilität*
In: beton 65 (2015) 01–02, S. 49–57; 3, S. 109–114
- Bock, Klaus; Oerter, Martin: *Ja, ich will...: ...den Energiesteuerspitzenausgleich für 2013*
In: Steinbruch und Sandgrube (2013) 11, S. 22–24
- Böhm, Matthias: *Effects of alternative fuels and raw materials on clinker properties*
In: International Cement Microscopy Association, ICMA (Hrsg): Proceedings of the 34th international conference on cement microscopy (Halle/Saale 01.–04.04.2012). ICMA, 2012
- Böhm, Matthias; Lipus, Klaus: *Evaluation of portland cement clinker with optical microscopy – case studies III*
In: Copuroglu, Oguzhan (Hrsg): Proceedings of the 15th Euroseminar on microscopy applied to building materials (Delft 17.–19.06.2015). Delft, 2015, S. 33–37
- Boos, Peter; Baetzner, Silvan: *Standard sand as the standard for worldwide monitoring of cement quality*
In: Cement International 11 (2013) 1, S. 72–77
- Borchers, Ingmar; Müller, Christoph: *Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen für die Feuchtigkeitsklassen WF und WA*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 2. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 327–336
- Borchers, Ingmar; Müller, Christoph: *Seven years of field site tests to assess the reliability of different laboratory test methods for evaluating the alkali-reactivity potential of aggregates*
In: Drimalas, Thanos; Ideker, Jason H.; Fournier, Benoit (Hrsg): 14th international conference on alkali-aggregate reactions: Proceedings (Austin, Tx. 20.–25.05.2012). Austin, 2012, 10 S.
- Borchers, Ingmar; Müller, Christoph: *Praxisgerechte Prüfung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen für die Feuchtigkeitsklassen WF und WA in AKR-Performance-Prüfungen*
In: beton 64 (2014) 10, S. 403–409
- Borchers, Ingmar; Müller, Christoph: *Praxisgerechte Prüfung der Alkaliempfindlichkeit von Betonen für die Feuchtigkeitsklassen WF und WA in AKR-Performance-Prüfungen*
In: Cement International 12 (2014) 06, S. 78–85
- Buzzi, L.; Canonico, F.; Schäffel, Patrick: *Durability Properties of concrete based industrial calcium sulfoaluminat cement*
In: Norwegian Concrete Association (Hrsg.): Proceedings ICDC 2012, International Congress on Durability of Concrete 2012 (June 18–21, 2012). – Trondheim: Norwegian Concrete Association, 2012, 15 S.
- Draeger, Utz; Glöckner, Martin; Kirchner, Doris; Spanka, Gerhard; Wurbs, Johanna; Wiens, Udo; Ilvonen, Outi: *Prüfnormen zur Bestimmung der Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauproduktionen – Europäische Harmonisierung erreicht Zielgerade: Bauproduktnormen; CEN/TC 351 „Bewertung der Freisetzung gefährlicher Stoffe aus Bauprodukten“*
In: DIN-Mitteilungen (2012) 2, S. 19–27
- Ehrlich, Norbert; Riffel, Siegfried: *Neue Merkblätter für Verkehrsflächen aus Beton: Kommunale Verkehrsflächen/Whitotopping*
In: beton 63 (2013) 11, S. 432–439

- Ehrlich, Norbert; Riffel, Siegfried: *Neue Merkblätter für Verkehrsflächen aus Beton*
In: Straße und Autobahn 65 (2014) 06, S. 448–457
- Eichas, Klaus; Suchak, Christian: *Einfluss von Alternativbrennstoffen auf den modernen Klinkerbrennprozess*
In: Refratechnik (Hrsg): Refra Kolloquium 2012 : Treffpunkt der Zementindustrie (Berlin 05.–08.12.2012). – Berlin, 2013, S. 49–58
- Eickschen, Eberhard: *Working Mechanisms of air-entraining admixtures and their subsequent activation potential*
In: Malhotra, V. M. (Hrsg): Tenth international conference on superplasticizers and other chemical admixtures (Prag 28.–31.10.2012). Farmington Hills: American Concrete Institute, ACI, 2012 (ACI Publication SP-288), S. 305–315
- Eickschen, Eberhard; Müller, Christoph: *Interactions of air-entraining agents and plasticizers in concrete*
In: Cement International 11 (2013) 2, S. 88–101
- Eickschen, Eberhard; Müller, Christoph: *Luftporenbildung in Labor und Praxis: Air void formation in the laboratory and in practice*
In: beton 63 (2013) 12, S. 511–520
- Eickschen, Eberhard; Müller, Christoph: *Air void formation in the laboratory and in practice*
In: Cement International 12 (2014) 01, S. 68–77
- Eickschen, Eberhard; Müller, Christoph: *Air void formation in the laboratory and in practice*
In: Innovative Solutions – Benefiting Society: 12th International Symposium on Concrete Roads 2014; Proceedings (Prag 23.–26.09.2014). Prag, 2014, S. 51
- Eickschen, Eberhard; Müller, Christoph: *Luftporenbildung in Labor und Praxis*
In: Straße und Autobahn 66 (2014) 10, S. 799–807
- Emberger, Bernhard; Koring, Kristina; Böhm, Matthias; Hoenig, Volker: *Die Nutzung von Faserzementabfällen als alternatives Rohmaterial für die Herstellung von Zementklinker*
In: Cement International 11 (2013) 4, S. 88–98
- Feldrappe, Volkert; Schulze, Simone; Ehrenberg, Andreas; Rickert, Jörg: *CEM X-Zemente: Möglichkeiten und Grenzen der Leistungsfähigkeit von Zementen mit Hüttensand, Steinkohlenflugasche und Klinker*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 1. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 192–199
- Fleiger, Kristina; Hoenig, Volker; Wolter, Albrecht: *Oxyfuel: Prospects and limits*
In: International Cement Review (2014) 08, S. 71–74
- Fleiger, Philipp: *Mill Audits. Tools to Increase Grinding Efficiency*
In: Verein Deutscher Zementwerke, Hrsg. Process Technology of Cement Manufacturing: 7th International VDZ Congress; Proceedings (Düsseldorf 25.–27.09. 2013.) Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013, S. 124–128
- Goldammer, Klaus-Reiner; Rickert, Jörg: *Verbundforschung „Sichtbeton“*
In: beton 63 (2013) 3, S. 71
- Guhl, Dennis: *Wirtschaftsdaten – Zementmarkt in Deutschland: Chancen und Risiken*
In: TBIINFO 59 (2015) 2, S. 20–24
- Herrmann, Jens; Rickert, Jörg: *Einfluss des Zementhauptbestandteils Kalkstein bzw. Hüttensand auf die Rheologie von Zementleim und Beton sowie Wechselwirkungen mit Fließmitteln*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 1. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 780–787

- 178
- Herrmann, Jens; Rickert, Jörg: *Wechselwirkungen zwischen Hüttensand bzw. Kalkstein als Zementhauptbestandteil und Fließmitteln auf der Basis von Polycarboxylatether*
In: Gesellschaft Deutscher Chemiker, GDCh (Hrsg): Tagung Bauchemie der GDCh-Fachgruppe Bauchemie (Dübendorf 11.–12.10.2012). GDCh, 2012 (GDCh-Monographie 45), S. 256–257
- Herrmann, Jens; Rickert, Jörg: *Influences or Slag of Limestone on the Performance of Superplasticizers*
In: Malhotra, V. M. (Hrsg): Tenth international conference on superplasticizers and other chemical admixtures (Prag 28.–31.10.2012). Farmington Hills: American Concrete Institute, ACI, 2012 (ACI Publication SP-288), S. 317–328
- Herrmann, Jens; Rickert, Jörg: *Reducing discolorations in fair-faced concrete surfaces: Influences of cement main constituents and interactions with superplasticizers*
In: Concrete Plant International (2013) 4, S. 46–51
- Herrmann, Jens; Rickert, Jörg: *Verringerung von Farbunterschieden in Sichtbetonoberflächen: Einflüsse der Zementhauptbestandteile und Wechselwirkungen mit Fließmitteln*
In: BWI Betonwerk International (2013) 4, S. 58–63
- Herrmann, Jens; Rickert, Jörg: *Influences of fly ash and slag on cement-superplasticizer-interactions*
In: Gesellschaft Deutscher Chemiker, GDCh (Hrsg): 1st International Conference on the Chemistry of Construction Materials (Berlin 07.–09.10.2013). GDCh, 2013 (GDCh-Monographie 46), S. 457–460
- Herrmann, Jens; Rickert, Jörg: *Einflüsse von Restkoks in Flugaschezementen auf Wechselwirkungen mit Fließmitteln*
In: Gesellschaft Deutscher Chemiker, GDCh (Hrsg): Tagung Bauchemie der GDCh-Fachgruppe Bauchemie (Kassel 06.–08.10.2014). GDCh, 2014 (GDCh-Monographie 48), S. 96–99
- Heuschkel, S.; Kühn, A.; Lipus, Klaus; Möller, H.: *Produktbezogener Arbeits- und Gesundheitsschutz*
In: Cement International 10 (2012) 2, S. 92–101
- Hoening, Volker; Koring, Kristina; Fleiger, Philipp; Müller, Christoph; Palm, Sebastian; Reiners, Jochen: *Energieeffizienz bei der Zementherstellung*
In: Cement International 11 (2013) 3, S. 50–67; 4, S. 46–55
- Hoening, Volker; Hoppe, Helmut; Fleiger, Kristina: *Zementindustrie: Kapitel 7.6.3*
In: Fishedick, Manfred; Görner, Klaus; Thomeczek, Margit (Hrsg.): CO₂: Abtrennung, Speicherung, Nutzung: Ganzheitliche Bewertung im Bereich von Energiewirtschaft und Industrie. Berlin: Springer, 2015, S. 238–241
- Hoening, Volker; Hoppe, Helmut; Fleiger, Kristina: *Zementindustrie: Kapitel 7.7.3*
In: Fishedick, Manfred; Görner, Klaus; Thomeczek, Margit (Hrsg.): CO₂: Abtrennung, Speicherung, Nutzung: Ganzheitliche Bewertung im Bereich von Energiewirtschaft und Industrie. Berlin: Springer, 2015, S. 248–249
- Hoening, Volker; Hoppe, Helmut; Fleiger, Kristina: *Zementindustrie: Kapitel 8.3.6.3*
In: Fishedick, Manfred; Görner, Klaus; Thomeczek, Margit (Hrsg.): CO₂: Abtrennung, Speicherung, Nutzung: Ganzheitliche Bewertung im Bereich von Energiewirtschaft und Industrie. Berlin: Springer, 2015, S. 384–388
- Horsch, Johannes; Spanka, Gerhard: *Legal environmental requirements for the reuse of recycled aggregates in Germany*
In: Andres, Ana u. a. (Hrsg.): Resource Efficiency in Construction: Proceedings of the 9th International conference on environmental and technical implications of construction with alternative materials (Santander 10.–12.06.2015). International Society for Construction with Alternative Materials, ISCOWA; 2015, S. 160–166
- Kalkert, P.; Kosetzki, N.; Küllertz, Peter: *Ofenmantelkühlung durch Wasserverdampfung, geregelt durch Infrarot Temperaturmessung*
In: Cement International 13 (2015) 02, S. 62–69

- Kirchner, Georg; Hoenig, Volker: *Energy Efficiency of Cement Production: Leavers, Potentials and Limitations*
In: Verein Deutscher Zementwerke, Hrsg. Process Technology of Cement Manufacturing: 7th International VDZ Congress; Proceedings (Düsseldorf 25.–27.09. 2013.) Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013, S. 112–116
- Koring, Kristina; Hoenig, Volker: *CO₂ emission reduction potential and technological aspects of the oxyfuel technology in cement clinker production*
In: International Energy Agency, IEAGHG (Hrsg.): 3rd Oxyfuel Combustion Conference: Special Session Other Industrial Application of Oxyfuel Combustion for CO₂ Capture (Ponferrada 11.09.2013)
- Koring, Kristina; Hoenig, Volker: *CO₂-Emissionsminderungspotential und technologische Auswirkungen der Oxyfuel-Technologie im Zementklinkerbrennprozess: Simulationsstudie und Laboruntersuchungen zum Einsatz der Oxyfuel-Technologie*
In: VDI Wissensforum (Hrsg.): 26. Deutscher Flammentag: Verbrennung und Feuerung ; Duisburg, 11. und 12. September 2013 (Duisburg 11.–12.09.2013). Düsseldorf: VDI-Verl., 2013 (VDI-Berichte 2161), S. 291–299
- Lipus, Klaus; Rickert, Jörg: *Einfluss von Magnesium auf den Sulfatwiderstand flugaschehaltiger Mörtel und Betone*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg.): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 2. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 390–397
- Lipus, Klaus; Böhm, Matthias: *Mechanism of enhanced sulfate attack by low magnesium concentrations*
In: TU Delft (Hrsg.): 14th Euroseminar on microscopy applied to building materials (Helsingor 10.–14.06.2013)
- López-Sabirón, Ana M.; Aranda-Usón, Alfonso; Fleiger, Kristina; Schäfer, Stefan; Irazustabarrena, Ane; Ferreira, German: *Identification of the main environmental categories improved in combustion processes by the replacement of fossil fuels with syngas from solid waste plasma torch gasification*
In: University of Zagreb (Hrsg.): 9th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (Venedig–Istanbul 20.–27.09.2014)
- Müller, Christoph: *Aktuelle Regelwerke für Beton: Dauerhaftigkeit im Blickpunkt*
In: beton 62 (2012) 3, S. 68–75
- Müller, Christoph; Palm, Sebastian: *Impulse der Betonbauweise in der Nachhaltigkeitsdiskussion: Regelwerk – Auswirkungen der Bauproduktenverordnung*
In: Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteileindustrie, BDB (Hrsg.): 56. BetonTage – Kongressunterlagen: Wandel gestalten (Neu-Ulm 07.–09.02.2012). Gütersloh: Bauverl., 2012, S. 76–77
- Müller, Christoph; Severins, Katrin: *Nachhaltigkeit der Betonbauweise: Ökologisch und technisch optimierte Zemente*
In: Gesellschaft Deutscher Chemiker (Hrsg): Aktuelles aus der Bauchemie: Wochenschau zu Bauen und Chemie. Frankfurt am Main: Gesellschaft Deutscher Chemiker, GDCh, 2012 (HighChem hautnah Bd. 7), S. 20–22
- Müller, Christoph: *Stellung von Zement in der Nachhaltigkeitsbewertung von Gebäuden*
In: Müller, Harald S. (Hrsg): Nachhaltiger Beton: Symposium; 9. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 15. März 2012 (Karlsruhe 15.03.2012). Karlsruhe : KIT Scientific Publishing, 2012, S. 25–28
- Müller, Christoph; Borchers, Ingmar; Eickschen, Eberhard: *Erfahrungen mit AKR-Prüfverfahren: Hinweise zur Ableitung praxisingerechter Bewertungskriterien für Performance und WS-Grundprüfungen*
In: beton 62 (2012) 10, S. 397–406
- Müller, Christoph: *Cement and concrete within the concept of sustainable development*
In: Bager, Dirch H.; Silfwerbrand, Johan (Hrsg): Concrete structures for sustainable community: fib Symposium Stockholm 2012; Proceedings (Stockholm 11.–14.06.2012). Stockholm: Swedish Concrete Association, 2012, S. 21–25

- Müller, Christoph; Eickschen, Eberhard;
Breitenbücher, Rolf; Köster, Caroline: *Überprüfung des Zeitbeiwerts für Fahrbahndeckenbetone*
In: Griffing: Aktuelles über Verkehrsflächen aus Beton (2013) 1, S. 2–7
- Müller, Christoph: *Regelwerke für Beton: Praxisgerechte Anforderungen*
In: Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteileindustrie, BDB (Hrsg.): 57. BetonTage – Kongressunterlagen: Concrete solutions (Neu-Ulm 05.–07.02.2013). Gütersloh: Bauverl., 2013, S. 79–81
- Müller, Christoph: *Neuartige klimafreundliche Zemente*
In: Rüppel, Uwe, (Hrsg.): 2. Darmstädter Ingenieurkongress – Bau und Umwelt (Darmstadt 12.–13.03.2013). Aachen: Shaker, 2013
- Müller, Christoph: *Dauerhaftigkeitsanforderungen an Ingenieurbauwerke: Aktuelle Forschung und neue Nachweisverfahren*
In: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein, DBV (Hrsg.): Vorträge zum Deutschen Bautechnik-Tag (Hamburg 11.–12.04.2013). Berlin, 2013 (DBV-Heft 23), S. 91–92
- Müller, Christoph; Eickschen, Eberhard;
Breitenbücher, Rolf; Köster, Caroline: *Überprüfung des Zeitbeiwerts für Fahrbahndeckenbetone*
In: Straße und Autobahn 64 (2013) 4, S. 213–224
- Müller, Christoph: *Resource efficiency in the production of cement and concrete*
In: Indo-German Environment Partnership (Hrsg.): Resource Initiative – Leveraging Efficiency to meet India's needs (New Delhi 23.05.2013)
- Müller, Christoph: *Industrieböden sicher herstellen*
In: Markt und Mittelstand (2013) 9, S. 44
- Müller, Christoph: *Durability requirements for concrete today and in the future*
In: Verein Deutscher Zementwerke, Hrsg. Process Technology of Cement Manufacturing: 7th International VDZ Congress; Proceedings (Düsseldorf 25.–27.09.2013.) Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013, S. 223–227
- Müller, Christoph: *Betontechnik: Aktuelle Trends und Entwicklungen*
In: beton 63 (2013) 10, S. 390–392
- Müller, Christoph; Borchers, Ingmar;
Eickschen, Eberhard: *Erfahrungen mit AKR-Prüfverfahren: Hinweise zur Ableitung praxisgerechter Bewertungskriterien für Performance- und WS-Grundprüfungen*
In: Cement International 11 (2013) 3, S. 86–93
- Müller, Christoph: *Betontechnik: Aktuelle Trends und Entwicklungen*
In: Breitenbücher, Rolf; Mark, Peter (Hrsg.): Beiträge zur 1. Jahrestagung mit 54. Forschungskolloquium. Bochum: Ruhr-Universität Bochum, 2013 (DAfStb-Forschungskolloquium; DAfStb-Jahrestagung 54; 1)
- Müller, Christoph; Eickschen, Eberhard;
Breitenbücher, Rolf; Reimann, Caroline: *Überprüfung des Zeitbeiwerts für Fahrbahndeckenbetone*
In: Beton-Informationen 54 (2014) 1, S. 3–15
- Müller, Christoph; Palm, Sebastian;
Graubner, Carl-Alexander; Proske, Tilo;
Hainer, Stefan; Rezvani, Moien; Neufert, Winfried;
Reuken, Ines: *Zemente mit hohen Kalksteingehalten – Dauerhaftigkeit und praktische Umsetzbarkeit*
In: beton 64 (2014) 1–2, S. 43–50
- Müller, Christoph; Palm, Sebastian; Graubner,
Carl-Alexander; Proske, Tilo; Hainer, Stefan;
Rezvani, Moien; Neufert, Winfried; Reuken, Ines: *Zemente mit hohen Kalksteingehalten: Dauerhaftigkeit und praktische Umsetzbarkeit*
In: Cement International 109 (2014) 02, S. 78–85
- Müller, Christoph; Palm, Sebastian: *Klimaschutz durch CO₂-Reduzierung und hochwertiger Beton: Wie geht das zusammen?*
In: Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteileindustrie, BDB (Hrsg.): 58. BetonTage – Kongressunterlagen: Concrete Solutions; Smart concretes for everyday practice; Intelligente Betone für die Praxis (Neu-Ulm 18.–20.02.2014). Gütersloh: Bauverl., 2014, S. 94–97

- Müller, Christoph; Palm, Sebastian; Wolter, Albrecht; Bohne, Thomas: *Hydratationsgrad basierte Kennwerte zur Vorhersage der Dauerhaftigkeit von Beton*
In: beton 64 (2014) 07–08, S. 305–309
- Müller, Christoph: *Durability requirements for concrete today and in the future*
In: Indian Concrete Institute; Norwegian Concrete Association (Hrsg.): Proceedings ICDC 2014, 2nd International congress on durability of concrete (New Delhi 04.–06.12.2014)
- Müller, Christoph: *Welchen Trends folgt die Betonbauweise und welchen besser nicht?*
In: Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteilindustrie, BDB (Hrsg.): 59. BetonTage – Kongressunterlagen: Concretes of the future; Betone der Zukunft (Neu-Ulm 24.–26.02.2015). Gütersloh: Bauverl., 2015, S. 70–72
- Nebel, Holger; Spanka, Gerhard: *Harmonization of test methods for the execution of the European Construction Products Directive (CPD): Validation of a European leaching test for construction products*
In: Arm, Maria; Vandecasteele, Carlo; Heynen, John; Suer, Pascal; Lind, Bo: Towards effective, durable and sustainable production and use of alternative materials in construction: Proceedings of the 8th International conference on Sustainable management of waste and recycled materials in construction; WASCON 2012 (Gothenburg 30.05.–01.06.2012). ISCOWA; SGI, 2012, 9 S.
- Oerter, Martin; Zunzer, Ute: *Aktuelle Entwicklung bei Messung und Minderung von Quecksilberemissionen in der Zementindustrie*
In: Thomé-Kozmiensky, Karl J.; Versteysl, Andrea; Thiel, Stephanie; Rotard, Wolfgang; Appel, Markus (Hrsg.): Immissionsschutz: Band 3: Aktuelle Entwicklungen im anlagenbezogenen Planungsprozess und Immissionsschutz. Neuruppin: TK-Verl., 2012, S. 537–545
- Oerter, Martin: *Legal background*
In: World Cement (2013) 6, S. 57–61
- Oerter, Martin: *Use of SRF in cement plants*
In: Kühle-Weidemeier, Matthias; Balhar, Michael (Hrsg.): Waste-to-Resources 2015: 6. Internationale Tagung MBA, Sortierung und Recycling; Energie und Rohstoffe aus Rest- und Bioabfällen (Hannover 05.–08.05.2015). Göttingen: Cuvillier, 2015, S. 223–230
- Oerter, Martin: *Anforderungen der Zementindustrie an alternative mineralische Rohstoffe*
In: Thomé-Kozmiensky, Karl-J. (Hrsg.): Mineralische Nebenprodukte und Abfälle 2, Neuruppin: TK Verlag, 2015, S. 513–518
- Palm, Sebastian; Müller, Christoph: *Zemente mit erhöhten Kalksteingehalten: Festigkeitsentwicklung und Dauerhaftigkeit*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg.): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 1. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 200–205
- Palm, Sebastian; Müller, Christoph: *Strength and durability gain in cements with high limestone content*
In: Zement i ego primenienie (2013) 2, S. 36–39
- Palm, Sebastian: *Reduzierung der Umweltwirkung der Betonbauweise durch Zemente mit hohen Kalksteingehalten und daraus hergestellte Betone*
In: Verband deutscher Betoningenieure, VDB: VDB Regionalfachtagung (Göllheim 28.10.2013)
- Palm, Sebastian; Müller, Christoph; Wolter, Albrecht: *Hydratationsgrad basierte Kennwerte zur Vorhersage der Dauerhaftigkeit von Beton: Kolloquium Forschung & Entwicklung für Zement und Beton, 6. November 2013*
In: Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, VÖZ (Hrsg.): Kolloquium 2013 Forschung & Entwicklung für Zement und Beton: Kurzfassungen der Beiträge; Ausgabe 7.11.2013. Wien: VÖZ, 2013, 11 S.

- Pierkes, Roland; Rickert, Jörg: *Auswirkung von Tausalz auf den Phasenbestand in Zementstein*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 2. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 345–352
- Pierkes, Roland; Schulze, Simone: *Calcined clays as a main constituent for cement*
In: Univ. Halle: 10th Building Materials Analysis Conference (Halle 18.–20.03.2013)
- Pierkes, Roland; Rickert, Jörg: *Effect of sand on the evaluation of potentially alkali-reactive aggregates*
In: Cement International 11 (2013) 6, S. 72–78
- Rickert, Jörg; Herrmann, Jens: *Zemente mit mehreren Hauptbestandteilen: Wechselwirkungen mit PCE-Fließmitteln*
In: Bundesverband Deutsche Beton- und Fertigteileindustrie, BDB (Hrsg.): 56. BetonTage – Kongressunterlagen: Wandel gestalten (Neu-Ulm 07.–09.02.2012). Gütersloh: Bauverl., 2012, S. 84–85
- Rickert, Jörg: *Zeta-Potential und Rheologie von Zementleimen – Einfluss von Fließmittel sowie Hüttensand und Kalkstein*
In: Cement International 10 (2012) 1, S. 76–85
- Rickert, Jörg; Herrmann, Jens: *Verringerung von Farbunterschieden in Sichtbetonoberflächen: Einflüsse verflüssigender Betonzusatzmittel und der Vibrationsverdichtung*
In: beton 63 (2013) 3, S. 72–79
- Schäfer, Stefan; Thomas, Ludger: *Motivating, efficient and flexible: VDZ's enhanced cement training*
In: Verein Deutscher Zementwerke, Hrsg. Process Technology of Cement Manufacturing: 7th International VDZ Congress; Proceedings (Düsseldorf 25.–27.09. 2013.) Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013, S. 118–122
- Schäfer, Stefan; Thomas, Ludger; Seidensticker, Christoph: *Training and development as a factor for success*
In: World Cement 45 (2014) 4, S. 125–128
- Schäffel, Patrick: *Einfluss schwindreduzierender Zusatzmittel auf das Schwinden und auf mechanische sowie dauerhaftigkeitsrelevante Eigenschaften von Beton*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 1. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 384–391
- Schäffel, Patrick: *Schwindreduzierende Zusatzmittel im Beton: Möglichkeiten und Grenzen*
In: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein, DBV (Hrsg): Regionaltagung Bauausführung, Hamburg 19. Februar 2013. Wiesbaden: DBV, 2013 (DBV Regionaltagungen), 6 S.
- Schäffel, Patrick; Palm, Sebastian; Ulonska, Dietmar: *Betonpflastersteine bestehen „Stresstest“*
In: BWI Betonwerk International (2013) 6, S. 94–100
- Schäffel, Patrick; Palm, Sebastian; Ulonska, Dietmar: *Dauerhaftigkeit von Betonpflastersteinen gegen verschiedene Taumittel*
In: beton 64 (2014) 1–2, S. 16–19
- Schäffel, Patrick: *Influence of shrinkage-reducing admixtures on shrinkage and mechanical as well as durability related properties of concrete*
In: Mechtcherine, Viktor; Schroefl, Christof (Hrsg): International RILEM conference on application of superabsorbent polymers and other new admixtures in concrete construction (Dresden, Germany 14.–17.09.2014). Bagneux: RILEM, 2014 (RILEM Proceedings PRO 95), S. 151–157
- Schäffel, Patrick: *Wirkungsweise schwindreduzierender Zusatzmittel und deren Einfluss auf wesentliche Eigenschaften von Beton*
In: Müller, Harald S. u. a. (Hrsg): Betonverformungen beherrschen: Grundlagen für schadensfreie Bauwerke; 11. Symposium Baustoffe und Bauwerks-erhaltung (Karlsruhe 12.03.2015). Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2015, S. 105–112

- Scheydt, Jennifer C.; Breit, Wolfgang;
Schäffel, Patrick: *Bestimmung des E-Moduls von Beton – Vergleich von DIN EN 12390-13 und DIN 1048-5: Endlich europäisch genormt*
In: beton 65 (2015) 04, S. 132–135
- Schneider, Martin: *Nachhaltige Zementproduktion in Gegenwart und Zukunft*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 1. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 58–66
- Schneider, Martin: *The current situation and prospects for the cement industry in Germany*
In: Zement i ego primenenie (2012) 1, S. 120–125
- Schneider, Martin: *Technology Developments in the Cement Industry*
In: Verein Deutscher Zementwerke, Hrsg. Process Technology of Cement Manufacturing: 7th International VDZ Congress; Proceedings (Düsseldorf 25.–27.09. 2013.) Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013, S. 28–33
- Schneider, Martin: *Technology developments in the cement industry*
In: Cement International 12 (2014) 01, S. 42–47
- Schulze, Simone; Rickert, Jörg: *Zur Reaktion von Steinkohlenflugaschen in Zementen mit mehreren Hauptbestandteilen*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 1. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 635–642
- Schulze, Simone; Rickert, Jörg: *Influences of the chemical composition of fly ashes on their reactivity*
In: VDZ i zementnaja promischlennost germanii (2012) 1, S. 170–175
- Schulze, Simone; Rickert, Jörg: *Pozzolanic Activity of calcined clays*
In: V. M.: Twelfth International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues (Prag 30.10.–02.11.2012). Farmington Hills: American Concrete Institute, ACI, 2012 (ACI Publication SP-289), S. 277–287
- Schulze, Simone; Rickert, Jörg: *Reactivity of class F fly ashes used as cement main constituent*
In: VGB PowerTech (Hrsg): Eurocoalash 2014: proceedings (München 14.–15.10.2014). Essen: VGB PowerTech, 2014, S. 31–42
- Severins, Katrin; Müller, Christoph: *Einfluss der Betriebsweise von Zementmahlanlagen auf die Leistungsfähigkeit von Zement im Beton*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 2. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 476–480
- Suchak, Christian; Hoenig, Volker; Schneider, Martin: *Bypassing challenges*
In: International Cement Review (2012) 4, S. 63–65
- Suchak, Christian; Hoenig, Volker: *Low Temperature Corrosion in Cement Plants*
In: Verein Deutscher Zementwerke, Hrsg. Process Technology of Cement Manufacturing: 7th International VDZ Congress; Proceedings (Düsseldorf 25.–27.09. 2013.) Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013, S. 188–191
- Suchak, Christian; Hoenig, Volker: *Low-temperature corrosion*
In: International Cement Review (2013) 12, S. 70–72
- Weise, F.; Maier, B.; Alonso, Maria T.;
Müller, Christoph: *Analyse des Verhaltens von Gesteinskörnungen im Beton bei Frosttauwechselbeanspruchung*
In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 2. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 453–467

- Wolter, Albrecht; Palm, Sebastian: *Aktuelle Entwicklungen von Multikompositen und ihren Hauptbestandteilen*
 In: Bauhaus-Universität Weimar (Hrsg.): 18. Internationale Baustofftagung 12.–15. September 2012, Weimar; Tagungsbericht Bd. 1. – Weimar, 2012 (ibausil: 18), S. 1–11
- Zunzer, Ute; Oerter, Martin; Kahr, G.: *Messung von biogenen CO₂-Emissionen im Rahmen des CO₂-Emissionsrechthandels*
 In: VDI Wissensforum (Hrsg.): Anlagenbezogenes Monitoring: Neue Anforderungen – Neue Konzepte (Karlsruhe 14.–15.10.2014). – Düsseldorf: VDI-Verl., 2014 (VDI-Berichte 2215), S. 243-264

Weitere Veröffentlichungen / Other publications

Institut Bauen und Umwelt; Verein Deutscher Zementwerke, VDZ (Hrsg.): *Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025: Zement; Deklarationsnummer EPD-VDZ-2012111-D; Ausstellungsdatum 16.03.2012; Gültig bis 15.03.2017.*
 Königswinter: Institut Bauen und Umwelt, 2012

Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt; Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie; Sozialpolitische Arbeitsgemeinschaft der Deutschen Zementindustrie; Verein Deutscher Zementwerke, VDZ (Hrsg.): *Nachhaltigkeit und Zementindustrie: Dokumentation von Beiträgen und Handlungsoptionen.*
 Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2013

Institut Bauen und Umwelt (Hrsg.): *Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25; InformationsZentrum Beton GmbH; Deklarationsnummer: EPD-IZB-2013411-D; Ausstellungsdatum: 26.07.2013; Gültigkeit: 25.07.2018.*
 Berlin: Institut Bauen und Umwelt, 2013

Institut Bauen und Umwelt (Hrsg.): *Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30; InformationsZentrum Beton GmbH; Deklarationsnummer: EPD-IZB-2013421-D; Ausstellungsdatum: 26.07.2013; Gültigkeit: 25.07.2018.*
 Berlin: Institut Bauen und Umwelt, 2013

Institut Bauen und Umwelt (Hrsg.): *Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 30/37; InformationsZentrum Beton GmbH; Deklarationsnummer: EPD-IZB-2013431-D; Ausstellungsdatum: 26.07.2013; Gültigkeit: 25.07.2018.*
 Berlin: Institut Bauen und Umwelt, 2013

Institut Bauen und Umwelt (Hrsg.): *Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 35/45; InformationsZentrum Beton GmbH; Deklarationsnummer: EPD-IZB-2013441-D; Ausstellungsdatum: 26.07.2013; Gültigkeit: 25.07.2018.*
 Berlin: Institut Bauen und Umwelt, 2013

Institut Bauen und Umwelt (Hrsg.): *Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 45/55; InformationsZentrum Beton GmbH; Deklarationsnummer: EPD-IZB-2013451-D; Ausstellungsdatum: 26.07.2013; Gültigkeit: 25.07.2018.*
 Berlin: Institut Bauen und Umwelt, 2013

Institut Bauen und Umwelt (Hrsg.): *Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025 und EN 15804: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 50/60; InformationsZentrum Beton GmbH; Deklarationsnummer: EPD-IZB-2013461-D; Ausstellungsdatum: 26.07.2013; Gültigkeit: 25.07.2018.*
 Berlin: Institut Bauen und Umwelt, 2013

Buttermann, Hans Georg; Baten Tina: *Wettbewerbsfähige Stromkosten: Voraussetzung für die Zementherstellung am Standort Deutschland.*
 Münster: o. Verl., 2013 (Energie und Umwelt Analysen)

Becke, Alice; Reiners Jochen; Sülün, Ceyda: *Erläuterungen zu den Umweltproduktdeklarationen für Beton.*
 Düsseldorf: Verlag Bau + Technik, 2014



VDZ
Postfach 30 10 63
D-40410 Düsseldorf
Tannenstraße 2
D-40476 Düsseldorf

VDZ
P.O. Box 30 10 63
40410 Duesseldorf, Germany
Tannenstrasse 2
40476 Duesseldorf, Germany