

Bewährtes neu denken

vdz

**Umweltdaten der
deutschen
Zementindustrie
Environmental
Data of the German
Cement Industry
2020**

Inhalt / Contents

	Vorwort / Foreword	5
1	Zementherstellung / Cement manufacture	7
2	Produktions- und Strukturdaten / Production and structural data	11
3	Einsatzstoffe / Input materials	15
	3.1 Rohstoffe / Raw materials	16
	3.2 Brennstoffe / Fuels	17
4	Energie / Energy	19
5	Spurenelemente im Zement / Trace elements in cement	23
6	Emissionen / Emissions	27
	6.1 Treibhausgase / Kohlenstoffdioxid / Greenhouse gases / Carbon dioxide (CO ₂)	29
	6.2 Staub / Dust	30
	6.3 Stickstoffoxide / Nitrogen oxides (NO _x)	30
	6.4 Ammoniak / Ammonia (NH ₃)	32
	6.5 Schwefeldioxid / Sulphur dioxide (SO ₂)	33
	6.6 Kohlenstoffmonoxid (CO) und organischer Gesamtkohlenstoff (Σ C) / Carbon monoxide (CO) and total organic carbon (TOC)	34
	6.7 Dioxine und Furane / Dioxins und Furans (PCDD/F)	35
	6.8 Polychlorierte Biphenyle / Polychlorinated biphenyls (PCB)	36
	6.9 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) / Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)	37
	6.10 Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol / Benzene, toluene, ethylbenzene, xylene (BTEX)	38
	6.11 Benzol / Benzene (C ₆ H ₆)	39
	6.12 Formaldehyd / Formaldehyde (CH ₂ O)	40
	6.13 Benzo(a)pyren / Benzo(a)pyren (C ₂₀ H ₁₂)	40
	6.14 Gasförmige anorganische Chlorverbindungen / Gaseous inorganic chlorine compounds (HCl)	41
	6.15 Gasförmige anorganische Fluorverbindungen / Gaseous inorganic fluorine compounds (HF)	41
	6.16 Spurenelemente / Trace elements	42
	6.16.1 Cadmium / Cadmium (Cd)	44
	6.16.2 Thallium / Thallium (Tl)	44
	6.16.3 Quecksilber / Mercury (Hg)	45
	6.16.4 Antimon / Antimony (Sb)	45
	6.16.5 Arsen / Arsenic (As)	46
	6.16.6 Blei / Lead (Pb)	46
	6.16.7 Chrom / Chromium (Cr)	47
	6.16.8 Cobalt / Cobalt (Co)	47
	6.16.9 Kupfer / Copper (Cu)	48
	6.16.10 Mangan / Manganese (Mn)	48
	6.16.11 Nickel / Nickel (Ni)	49
	6.16.12 Vanadium / Vanadium (V)	49
	6.16.13 Zinn / Tin (Sn)	50
	6.16.14 Beryllium / Beryllium	50
	6.16.15 Selen / Selenium (Se)	51
	6.16.16 Tellur / Tellurium (Te)	51
	6.16.17 Zink / Zinc (Zn)	52
	Literatur / Literature	53
	Impressum / Imprint	55

Anmerkung: Zahlendarstellung in Tabellen und Grafiken entsprechend deutscher Regeln.

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

Liebe Leserinnen und Leser,

wir freuen uns, Ihnen unsere „Umweltdaten der deutschen Zementindustrie“ im neuen Erscheinungsbild zu präsentieren. Anlass für den neuen Markenauftritt sowie das neue Design aller Publikationen und der Website ist der Umzug des VDZ in unser neues Gebäude in Düsseldorf. Inhaltlich geben wir der interessierten Öffentlichkeit in gewohnter und transparenter Weise einen umfassenden Überblick sowohl zum Rohstoff- und Energieeinsatz als auch zu den verschiedenen Emissionen der deutschen Zementhersteller, so z.B. Kohlenstoffdioxid, organische Emissionen oder Stickstoffoxide. Ferner berichtet der VDZ nach 2016 in einem zusätzlichen Kapitel erneut über die Entwicklung der Spurenelementgehalte aller im Vorjahr geprüften Zemente. Die Analyse wurde dabei um die Schwermetalle Kupfer, Antimon und Mangan erweitert.

Die internationale Zementindustrie steht vor der großen Herausforderung, ihre CO₂ Emissionen in einem nie dagewesenen Ausmaß zu senken. In Deutschland sind die Zementhersteller hiervon mit jährlich 20 Mio. t bzw. 2 % der deutschlandweiten CO₂-Emissionen betroffen. Dabei setzt der Anspruch einer klimaneutralen Industrieproduktion ausgehend vom bisherigen Leitmotiv der kontinuierlichen Optimierung des Herstellungsprozesses eine völlig neue Herangehensweise voraus. Wie dieser Weg bis 2050 entlang der gesamten Wertschöpfungskette aussehen kann, zeigt die 2020 erschienene VDZ-Studie zur „Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien“. Dabei wird klar, dass nach Ausschöpfung aller übrigen Potentiale die CO₂-Abscheidung im Zementwerk und dessen anschließende Nutzung bzw. Speicherung (CCUS) für eine klimaneutrale Zement- und Betonherstellung von entscheidender Bedeutung ist. Um diesen Transformationsprozess erfolgreich zu gestalten, sind die entsprechenden Rahmenbedingungen zu schaffen. So müssen die erneuerbaren Energien und die Stromnetze weiter ausgebaut und eine funktionsfähige CO₂-Infrastruktur geschaffen werden. Die Zementindustrie kann den Pfad der Klimaneutralität nicht allein beschreiten. Vielmehr braucht es ein partnerschaftliches Miteinander von Zivilgesellschaft, Politik, Wissenschaft und Wirtschaft.

Neben der Minderung von Treibhausgasen rückt auch die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen immer mehr in den Blickpunkt von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Auch hier gilt es perspektivisch Umweltauswirkungen zu verringern, mit weniger Primärrohstoffen auszukommen oder diese im Sinne einer Kreislaufwirtschaft durch alternative Rohstoffe zu ersetzen. Die Zementherstellung ist ein ressourcenintensiver Prozess – so wurden im Jahr 2020 zur Produktion von 35,5 Mio. t Zement ca. 51 Mio. t Rohstoffe eingesetzt. Gleichwohl kommen zur Schonung natürlicher Ressourcen seit jeher industrielle Nebenprodukte wie Flugasche oder Hüttensand in großen Mengen zum Einsatz. Auch bei der Deckung des Brennstoffenergiebedarfs setzen die Hersteller in hohem Maße auf die Substitution fossiler Brennstoffe durch Alternativen wie

Dear readers,

we are proud to present the new-look version of our „Environmental data of the German cement industry“. This new presentation style and the new design concept for all VDZ publications and the website are intended to mark the association's move to its new premises in Düsseldorf. In its usual, transparent manner, the documentation provides the public with comprehensive information on both the use of raw materials and energy input, as well as on the various emissions produced by the German cement manufacturers, including carbon dioxide, organic emissions and nitrogen oxides, for example. As was the case in 2016, the VDZ report again contains an additional section on the development of the trace element content of all cements investigated over the course of the preceding year. The scope of analysis has now been extended to include the heavy metals copper, antimony and manganese.

The international cement industry is having to face up to the immense challenge of reducing its CO₂ emissions to an unprecedented extent. In Germany, cement manufacturers are responsible for 20 million tonnes of CO₂ emissions per annum, corresponding to 2% of the nationwide total. Working on the prevailing principle of continuously optimising the manufacturing process, the goal of achieving climate-neutral industrial production calls for a completely new approach. The VDZ study on the „Decarbonisation of cement and concrete – pathways to reduction and strategies for action“ published in 2020 maps out a possible route for the entire value chain until the year 2050. It soon becomes apparent that, after having exhausted all the other potential available, CO₂ capture at cement plants and its subsequent utilisation and storage (CCUS) will be of crucial importance for the climate-neutral production of cement and concrete. Appropriate general conditions will have to be created in order to ensure the success of this transformation process. It will demand the further development of renewable energies and power grids, as well as the establishment of a functioning CO₂ infrastructure, for instance. The cement industry cannot tread the path towards climate neutrality on its own. Close cooperation throughout all areas of civil society, politics, science and economics will be absolutely essential.

Alongside the reduction of greenhouse gases, the utilisation of natural resources is becoming an ever more important topic for politicians, the business sector and society in general. Here again the future aims must be to reduce both environmental impact and the consumption of primary raw materials, or to make use of alternative raw materials in the context of a circular economy. Cement production is a resource-intensive process – approximately 51 million tonnes of raw materials were employed in 2020 for the production 35.5 million tonnes of cement, for instance. Large quantities of industrial by-products, for example fly ash and blast furnace slag, have in fact always been used with a view to conserving natural resources. Manufacturers also obtain a good deal of the fuel ener-

z.B. Klärschlamm oder Altreifen. Darüber hinaus forscht der VDZ gemeinsam mit der Industrie an weiteren Möglichkeiten der Ressourcenschonung, wie z.B. dem Einsatz von Beton- und Ziegelbrechsanden als Zementhauptbestandteil oder gar dem Recycling des Zementsteins. Analog zur in 2020 veröffentlichten CO₂-Roadmap wird der VDZ Ende 2021 eine Ressourcenstudie vorlegen, um Minderungspotentiale entlang der gesamten Wertschöpfungskette aufzuzeigen. Ungeachtet aller Ambitionen und Potentiale ist schon heute klar, dass es eine „Ressourcenneutralität“ nicht geben kann. Der Einsatz natürlicher Ressourcen wird weiterhin notwendig sein, wenn auch in deutlich geringerem Maße. Eine sichere Versorgung mit Primärrohstoffen bleibt daher auch weiterhin unerlässlich.

Um den verschiedenen Erfordernissen des Klima- und Ressourcenschutzes sowie der Luftreinhaltung gerecht zu werden, sind enorme Investitionen nötig. Allein in den Jahren 2017 bis 2019 hat die deutsche Zementindustrie mehr als 800 Mio. Euro in ihren Maschinenpark investiert, was in etwa einem Zehntel des in diesem Zeitraum erwirtschafteten Branchenumsatzes entspricht. Nicht zuletzt dies zeigt, dass die deutschen Zementhersteller sich den zahlreichen umweltpolitischen Herausforderungen stellen. Sie werden auch künftig weitere Anstrengungen und Investitionen tätigen, um die Zementproduktion zukunftssicher und nachhaltig zu gestalten.

Düsseldorf, im Juli 2021

gy they require from alternatives such as sewage sludge and used tyres instead of from fossil fuels. Above and beyond this, VDZ and the industry are performing joint research work into further possible ways of conserving resources, for instance through the use of crushed concrete and brick sands as main cement constituents and even the recycling of hardened cement paste. In keeping with the CO₂ road map published in 2020, VDZ will be presenting a resource study outlining the reduction potential available along the entire value chain at the end of 2021. All the ambitions and potential cannot disguise the fact that „resource neutrality“ is not going to happen. There will still be a need to use natural resources, albeit on a far smaller scale. So a reliable supply of primary raw materials will continue to remain essential.

Enormous investments will be required to satisfy the various requirements of climate protection, resource conservation and air pollution control. The German cement industry invested more than 800 million euros in machinery in the years 2017 to 2019 alone, corresponding to roughly one tenth of the industry's turnover in this period. This in itself is a good indication of how German cement manufacturers are tackling the numerous challenges associated with environmental policy issues. And they will continue to intensify their efforts and carry on investing to ensure that cement production is both fit for the future and sustainable.

Duesseldorf, July 2021

1 Zementherstellung/ Cement manufacture



1 Zementherstellung

Zement ist ein Baustoff, der infolge chemischer Reaktionen mit Wasser selbstständig erhärtet und danach sowohl an der Luft als auch unter Wasser fest und raumbeständig bleibt.

Zement besteht aus fein gemahlenem Portlandzementklinker und Calciumsulfat (natürlicher Gips, Anhydrit oder Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen). Darüber hinaus kann Zement andere Hauptbestandteile wie Hüttensand, natürliche Pozzolane (z.B. Trass), Flugasche, Ölschieferabbrand oder Kalkstein enthalten. Eine schematische Darstellung des Herstellungsprozesses zeigt Bild 1-1.

Der sogenannte Portlandzementklinker entsteht aus einem Rohstoffgemisch, das hauptsächlich Calciumoxid (CaO), Siliciumdioxid (SiO_2), Aluminiumoxid (Tonerde, Al_2O_3) und Eisenoxid (Fe_2O_3) enthält. Kalkstein, Kreide und Ton oder deren natürlich vorkommendes Gemisch, der Kalksteinmergel, liefern diese chemischen Bestandteile. Kalkstein und Kreide bestehen

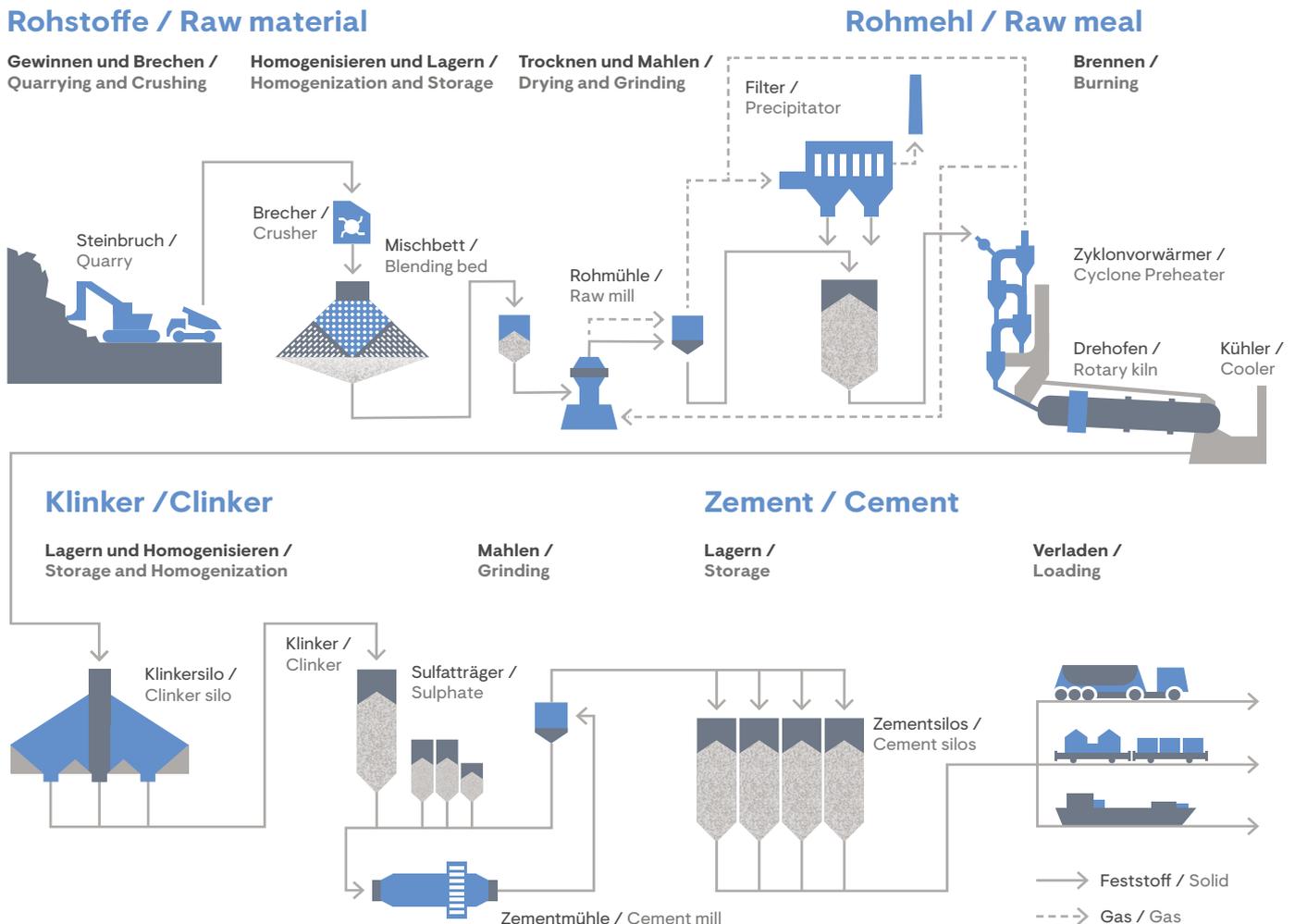
1 Cement manufacture

Cement is a construction material that sets automatically as a consequence of chemical reactions with water and subsequently retains its strength and soundness both when exposed to air and submerged in water.

Cement consists of finely ground Portland cement clinker and calcium sulphate (natural gypsum, anhydrite or gyps um from flue gas desulphurisation). In addition, cement may contain other main constituents, such as granulated blastfurnace slag, natural pozzolana (e.g. trass), fly ash, burnt oil shale or limestone. Fig. 1-1 depicts the manufacturing process schematically.

What is known as Portland cement clinker is made from a raw material mix mainly consisting of calcium oxide (CaO), silicon dioxide (SiO_2), aluminium oxide (alumina, Al_2O_3), and iron oxide (Fe_2O_3). These chemical constituents are supplied by limestone, chalk and clay or their natural blend, lime marl. Limestone and chalk are composed of calcium car-

Bild 1-1 Schematische Darstellung des Zementherstellungsprozesses vom Steinbruch bis zum Versand
Fig. 1-1 Schematic representation of the cement manufacturing process from quarry to dispatch

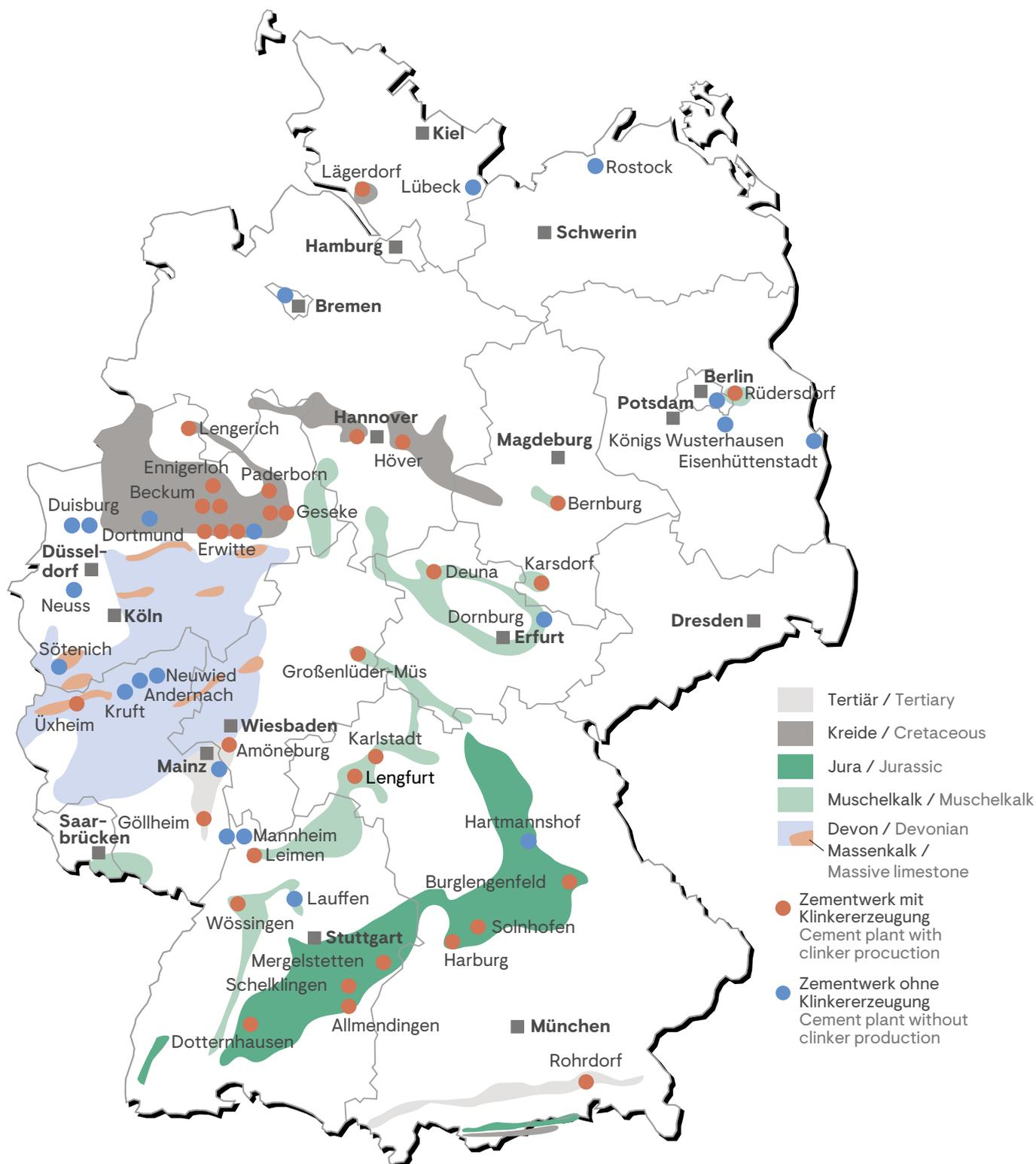


aus Calciumcarbonat (CaCO_3). Wesentliche Bestandteile des natürlichen Verwitterungsprodukts Ton sind feinkörnige und glimmerartige Minerale sowie in geringer Menge Quarz und Feldspat als Reste des Ausgangsmaterials. Tonminerale und Feldspat sind Verbindungen von Aluminiumoxid und Siliciumdioxid (Alumosilicate) und Alkalien wie Natrium und Kalium.

bonate (CaCO_3). The major constituents of clay, which is a natural product of weathering processes, are fine-grained mica-like minerals and smaller quantities of quartz and feldspar, which constitute residues of the starting material. Clay minerals and feldspar are compounds of aluminium oxide and silicon dioxide (aluminosilicates) with alkalis, such as so-

Bild 1-2 Zementwerke in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2021

Fig. 1-2 Cement works in the Federal Republic of Germany in the year 2021



Das für die Bildung der Schmelze erforderliche Eisenoxid ist als Eisenhydroxid Bestandteil der Tonminerale oder wird als Eisenerz zugesetzt. Damit der Zement die vorgegebenen Qualitätsanforderungen erfüllt, ist eine exakt definierte Rohmaterialzusammensetzung erforderlich. Abweichungen können nur in geringem Umfang toleriert werden.

Das Rohstoffgemisch wird in einem Drehofen bei einer Temperatur von etwa 1.450 °C bis zum Sintern erhitzt. Aus den Ausgangsstoffen bilden sich dabei neue Verbindungen, die sogenannten Klinkerphasen. Das sind bestimmte Calciumsilicate und Calciumaluminat, die dem Zement seine charakteristische Eigenschaft der Erhärtung in Gegenwart von Wasser verleihen.

Der im Drehofen gebrannte Klinker wird anschließend in Zementmühlen unter Zusatz von Calciumsulfat und ggf. weiteren Hauptbestandteilen zu Zement gemahlen. Mit Hilfe des Calciumsulfats wird das Erstarrungsverhalten des Zements gesteuert, damit das Produkt bei der Betonherstellung optimal verarbeitet werden kann.

Die weiteren Hauptbestandteile neben Zementklinker sind silicatische, aluminatische oder kalkhaltige Stoffe. Sie tragen zur Erhärtung des Zements bei oder wirken sich günstig auf die physikalischen Eigenschaften des Betons aus.

dium and potassium. The iron oxide required for melt formation is either contained in the clay minerals in the form of ferrous hydroxide or it is added in the form of iron ore. For the cement to conform to the quality requirements stipulated, a precisely defined raw material composition must be complied with. Only a small margin of deviation can be tolerated.

The raw material mix is heated up to a temperature of approximately 1,450°C in a rotary kiln until it starts sintering. This results in the starting materials forming new compounds known as clinker phases. These are certain calcium silicates and calcium aluminates which confer on the cement its characteristic feature of setting in the presence of water.

The clinker burnt in the rotary kiln is subsequently ground to cement in finish mills with calcium sulphate and, if necessary, with further main constituents being added. The calcium sulphate serves to adjust the setting behaviour of the cement in order to obtain optimum workability of the product during concrete production.

Apart from cement clinker, substances of silicate, aluminate or calcareous nature represent the further main constituents. They contribute to the setting of the cement or have favourable effects on the physical properties of the concrete.

2 Produktions- und Strukturdaten/ Production and structural data



2 Produktions- und Strukturdaten

Zement ist ein homogenes Massengut, das zu Lande per Lkw transportiert wird und deshalb transportkostenintensiv ist. Zement wird überwiegend zu lokalen Absatzmärkten geliefert. Die Produktionsstandorte sind den Rohstoffvorkommen entsprechend über das Bundesgebiet verteilt und befinden sich in unmittelbarer Nähe zu den jeweiligen Kalksteinvorkommen. Im Jahr 2020 produzierten 21 Unternehmen in 54 Werken etwa 35,5 Mio. Tonnen Zement [1] (Bild 1-2).

Die Tabellen 2-1 und 2-3 geben einen Überblick über die Klinkerproduktion in Deutschland sowie den daraus hergestellten Zement. Zu den Hauptabnehmern gehören die Transportbetonindustrie mit ca. 56% sowie die Hersteller von Betonbauteilen mit ca. 22% des inländischen Zementversandes. Etwa sechs Prozent des Zements wird als Sackzement versandt.

Zementklinker wird heute in Deutschland zum überwiegenden Teil nach dem Trockenverfahren in Drehöfen mit Zyklonvorwärmer hergestellt. Einen deutlich geringeren Anteil an der Produktion haben Öfen mit Rostvorwärmer (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-1 **Produktion, Versand, Export und Import**
Table 2-1 **Output, deliveries, export and import**

Jahr / Year	Produktion / Production		Zementversand / Cement deliveries			
	Klinker / Clinker	Zement / Cement	Zementversand Inland / Domestic deliveries	Zementexporte / Cement exports	Zementversand gesamt / Total cement deliveries	Zementimport / Cement import
	1.000 t	1.000 t	1.000 t	1.000 t	1.000 t	1.000 t
2010	22.996	29.915	23.406	6.609	30.015	1.285
2011	24.775	33.540	26.767	7.174	33.941	1.305
2012	24.581	32.432	25.492	6.542	32.034	1.277
2013	23.127	31.308	25.201	6.055	31.256	1.344
2014	23.871	32.099	25.850	5.748	31.598	1.325
2015	23.355	31.160	25.334	6.262	31.596	1.308
2016	23.423	32.674	26.185	6.093	32.278	1.320
2017	24.802	33.991	27.265	6.211	33.476	1.603
2018	24.469	33.655	27.449	6.324	33.773	1.680
2019	24.578	34.186	27.554	6.571	34.125	1.198
2020	24.709	35.485	29.013	6.030	35.043	1.095

2 Production and structural data

Cement is a homogeneous bulk commodity that, given the high cost of road transport by truck is mainly delivered to local markets. Production facilities of the German cement industry are spread over the Federal Republic of Germany according to the appropriate mineral resources and located in the immediate vicinity of the respective limestone deposits. In 2020, 21 companies with their 54 works produced about 35.5 million t of cement in Germany [1] (Fig. 1-2).

Tables 2-1 and 2-3 give an overview of the clinker output in Germany and the cement made from it. The ready-mixed concrete industry (56% of domestic cement deliveries) and the manufacturers of concrete elements (22% of domestic cement deliveries) are among the principal buyers of cement. Six % of the cement is dispatched as bagged cement.

In Germany most of the cement clinker is nowadays produced in rotary kilns with cyclone preheaters applying the dry process. Kilns equipped with grate preheaters account for a significantly lower share of output (Table 2-2).

Quellen / Sources: VDZ, Statistisches Bundesamt, Deutsche Emissionshandelsstelle

Tabelle 2-2 Anzahl und Kapazität der Öfen mit Betriebsgenehmigungen in Deutschland
Table 2-2 Number and capacity of kilns with operating permits in Germany

	Stand: 01.01.2019 / As at 01. Jan 2019			Stand: 01.01.2020 / As at 01. Jan 2020			Stand: 01.01.2021 / As at 01. Jan 2021		
	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	36	99.060	94,7	36	99.060	96,3	36	99.060	96,3
Ofen mit Rostvorwärmer / Kilns with grate preheaters	5	4.400	4,2	2	2.600	2,5	2	2.600	2,5
Schachtofen / Shaft kilns	8	1.200	1,1	8	1.200	1,2	8	1.200	1,2
Summe / Total	49	104.660	100	46	102.860	100	46	102.860	100
mittlere Ofenkapazität in t/d / Average kiln capacity in t/d		Drehöfen / Rotary kilns		2.523		2.675		2.675	
		Schachtofen / Shaft kilns		150		150		150	

Quelle / Source: VDZ

Tabelle 2-3 Inlandsversand der Verbandsmitglieder nach Zementarten
Table 2-3 Domestic deliveries classified by cement types

Jahr/ Year	CEM						IV + V + Sonst./ Others	Gesamt/ Total
	I	II	II/S + II/P + II/V	II/T + II/LL + II/M	III			
	1.000 t							
2005 ¹⁾	13.226	8.055	3.740	4.315	3.621		193	25.095
2006	11.189	10.628	5.202	5.426	4.764		263	26.843
2007	8.932	11.299	5.259	6.040	4.883		286	25.399
2008	7.710	12.514	5.710	6.801	5.289		251	25.764
2009	8.031	11.122	3.075	8.047	4.212		223	23.588
2010	7.694	10.550	3.017	7.533	4.549		179	22.972
2011	8.286	12.000	3.987	8.013	5.664		268	26.218
2012	7.404	12.060	4.635	7.425	5.530		275	25.269
2013 ¹⁾	7.130	11.851	4.428	7.423	5.498		241	24.720
2014	7.554	11.826	4.456	7.370	5.677		279	25.336
2015	7.554	11.350	4.461	6.889	5.653		292	24.849
2016 ¹⁾	7.305	11.955	4.880	7.074	6.095		187	25.542
2017	7.342	12.262	5.029	7.233	6.752		240	26.596
2018 ¹⁾	7.344	12.589	5.012	7.578	6.214		249	26.396
2019	7.251	12.982	5.103	7.879	6.008		251	26.492
2020	7.437	14.099	5.223	8.877	6.195		314	28.045

Anmerkung/Note:

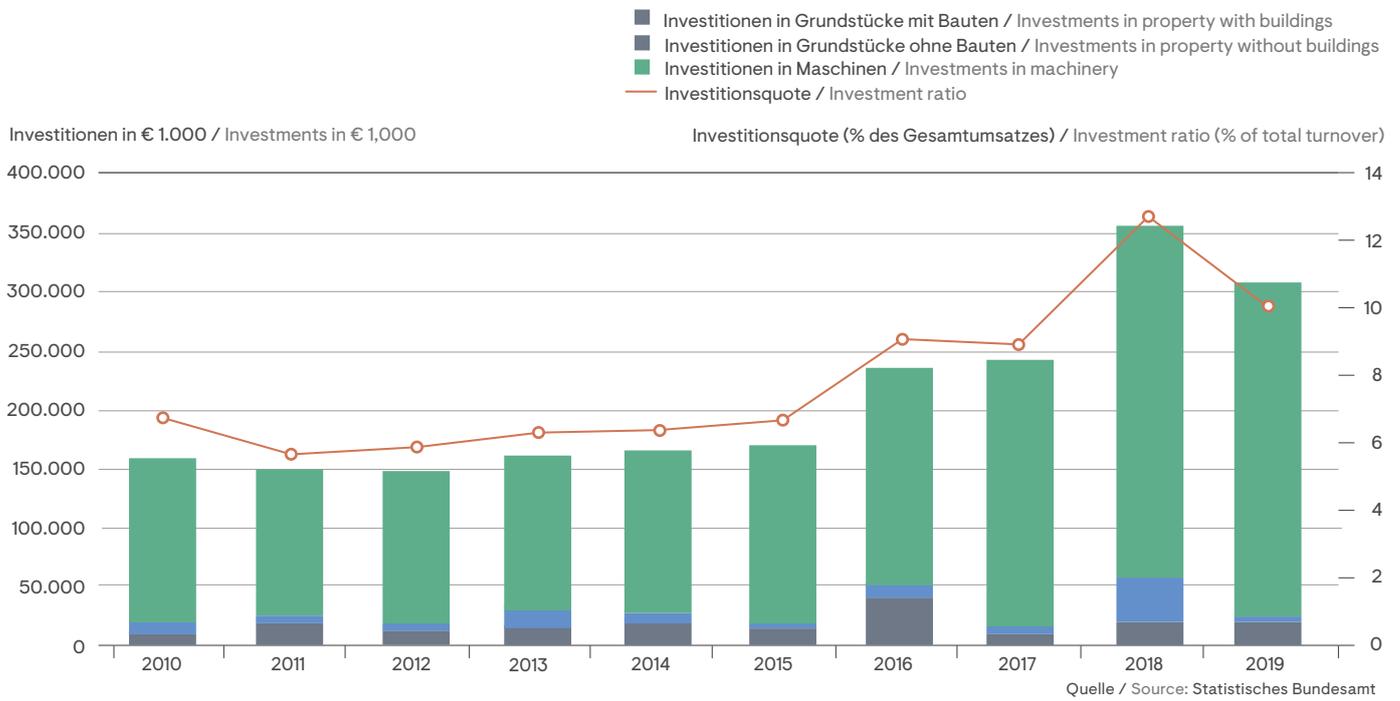
CEM I = Portlandzement; CEM II/S = Portlandhüttenzement; CEM II/P = Portlandpuzzolanement; CEM II/V = Portlandflugaschezement;
 CEM II/T = Portlandschieferzement; CEM II/LL = Portlandkalksteinzement; CEM II/M = Portlandkompositement; CEM III = Hochofenzement;
 CEM IV = Puzzolanement; CEM V = Kompositement; Sonstige = sonstige bauaufsichtlich zugelassene Zemente, Boden- und Tragschichtbinder (Festigkeit $\geq 32,5$ N/mm²), Klinkermehl

CEM I = Portland cement; CEM II/S = Portland-slag cement; CEM II/P = Portland pozzolana cement; CEM II/V = Portland-fly ash cement;
 CEM II/T = Portland-burnt shale cement; CEM II/LL = Portland-limestone cement; CEM II/M = Portland-composite cement; CEM III = blastfurnace cement;
 CEM IV = pozzolana cement; CEM V = composite cement; Other = other cements approved by the building supervisory authorities, road binders (strength ≥ 32.5 N/mm²), clinker meal

¹⁾ Werte wegen Änderung des Berichtskreises mit den Vorjahren nicht vergleichbar / Reporting different from that of the previous year

Quelle / Source: VDZ

Bild 2-1 Investitionen der deutschen Zementindustrie
Fig. 2-1 Investments of the German cement industry



3 Einsatzstoffe/ Input materials



3 Einsatzstoffe

3.1 Rohstoffe

Die wichtigsten Ausgangsstoffe zur Herstellung des Portlandzementklinkers sind Kalkstein oder Kreide und Ton oder deren natürlich vorkommendes Gemisch, der Kalksteinmergel. In Abhängigkeit von der Rohstoffsituation am Standort des Zementwerks kann es erforderlich sein, der Rohstoffmischung reinen Kalkstein, Eisenerz, Sand oder andere Korrekturstoffe zuzusetzen, um fehlende chemische Bestandteile auszugleichen. Neben natürlichen Rohstoffen können auch alternative Rohstoffe, wie z.B. Kalkschlämme, Gießereialsande und Flugaschen, eingesetzt werden. Sie enthalten als Hauptbestandteile ebenfalls Siliciumdioxid, Aluminiumoxid, Eisenoxid und/oder Calciumoxid und werden mit den Rohstoffen mengenmäßig so kombiniert, dass die Anforderungen an die vorgegebene Klinkerzusammensetzung erfüllt werden. Die Voraussetzungen, die die stoffliche Zusammensetzung eines alternativen Rohstoffs erfüllen müssen, hängen in erster Linie von der vorgegebenen Rohstoffsituation eines Zementwerkes, d.h. der Zusammensetzung des Kalkstein- bzw. Mergelvorkommens ab.

In Tabelle 3-1 werden die im Jahr 2020 eingesetzten Rohstoffe aufgeführt. Ihrer chemischen Zusammensetzung entsprechend lassen sie sich in unterschiedliche Gruppen einteilen. Der Einsatz erfolgt hauptsächlich als Rohmaterialkomponente beim Klinkerbrennprozess. Hüttensand, ein geringer Teil des Kalksteins, Ölschiefer (in gebrannter Form) sowie Trass werden als Hauptbestandteile im Zement verwendet.

Die Zementindustrie bemüht sich, den Anteil anderer Bestandteile neben Klinker im Zement zu erhöhen. So können die Qualität des Produkts gezielt verändert, die Wirtschaftlichkeit der Herstellung verbessert, natürliche Ressourcen geschont sowie Stoffe aus anderen Prozessen im Sinne des deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetzes sinnvoll verwertet werden.

Als Stoffe, die Zementklinker im Zement ersetzen können, sind in Deutschland in erster Linie Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke) und daneben Kalkstein von technischer Bedeutung. Hüttensand ist ein Produkt der Roheisenherstellung und wird unter anderem zur Herstellung von Portlandhütten- und Hochofenzementen verwendet.

Der Bedarf an Sulfatträgern, mit denen die Verarbeitungseigenschaften der Zemente gesteuert werden, wird zu ca. 89 % durch natürlichen Gips und/oder Anhydrit gedeckt. Bei dem restlichen Anteil handelt es sich um Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen.

Tabelle 3-1 Rohstoffeinsatz 2020
Table 3-1 Raw materials input in 2020

Gruppe / Group	Rohstoff / Raw material	Einsatz / Input quantity 1.000 t/a
Ca	Kalkstein / Mergel / Kreide / Limestone / Marl / Chalk	39.903
	Sonstige, wie: / Others, such as: - Kalkschlämme aus der Trink- und Abwasser- aufbereitung / Lime sludge from drinking water and sewage treatment - Kalkhydrat / Hydrated lime - Porenbetongranulat / Foam concrete granulates - Calciumfluorid / Calcium fluoride	80
Si	Sand / Sand	1.177
	Gießereialsand / Used foundry sand	148
Si-Al	Ton / Clay	610
	Bentonit / Kaolinit / Bentonite / Kaolinite	32
Fe	Eisenerz / Iron ore	133
	Sonstige Einsatzstoffe aus der Eisen- und Stahl- industrie, wie: / Other input materials from the iron and steel industries, such as: - Kiesabbrand / Roasted pyrite - verunreinigtes Erz / Contaminated ore - Eisenoxid-Flugasche-Gemisch / Iron oxide fly ash blends - Stahlwerksstäube / Dusts from steel plants - Walzzunder / Mill scale	116
Si-Al-Ca	Hüttensand / Granulated blastfurnace slag	6.418
	Flugasche / Fly ash	250
	Ölschiefer / Oil shale	164
	Trass / Trass	41
	Sonstige, wie: / Others, such as: - Papierreststoffe / Paper residuals - Aschen aus Verbrennungsprozessen / Ashes from incineration processes - Mineralische Reststoffe, z. B. ölver- unreinigte Böden / Mineral residuals, e. g. soil contaminated by oil	54
S	Natürlicher Gips / Natural gypsum	952
	Natürlicher Anhydrit / Natural anhydrite	680
	Gips aus der Rauchgasentschwefelung / Gypsum from flue gas desulphurisation	193
Al	Einsatzstoffe aus der Metallindustrie, wie: / Input materials from the metal industry, such as: - Aufbereitungsrückstände von Salz- schlacken / Residues from reproces- sing salt slag - Aluminiumhydroxid / Aluminium hydroxide	64

Quellen / Sources: VDZ, Fachverband Eisenhüttenschlacken

3.2 Brennstoffe

Brennstoffenergie wird bei der Zementherstellung im Wesentlichen für das Brennen des Zementklinkers aufgewendet. In geringem Umfang wird thermische Energie auch für die Trocknung von Rohstoffen und weiteren Zementhauptbestandteilen, wie z. B. Hüttensand, eingesetzt. Die traditionellen Brennstoffe in der deutschen Zementindustrie sind seit Mitte der 70er-Jahre Steinkohle und Braunkohle, in geringem Umfang auch schweres Heizöl. Seit 1990 wird ein nennenswerter Teil der Kohle durch Petrolkoks ersetzt. Petrolkoks ist eine kohleähnliche Fraktion des Mineralöls, die bei der Rohölaufbereitung entsteht. Zum Anfahren des Ofens sowie für Trocknungsprozesse werden darüber hinaus leichtes und schweres Heizöl sowie Gas verwendet. Die Gesamtaufstellung der in der Zementindustrie eingesetzten Energieträger zeigt Tabelle 3-2 [1, 2].

Neben den fossilen Brennstoffen werden heutzutage in hohem Maße alternative Brennstoffe beim Klinkerbrennprozess eingesetzt. Ihr Anteil am gesamten Brennstoffenergieeinsatz der deutschen Zementindustrie betrug 69,2 % im Jahr 2020. Eine Aufstellung der eingesetzten alternativen Brennstoffe sowie deren durchschnittliche Heizwerte enthält Tabelle 3-3.

3 Input materials

3.1 Raw materials

Limestone or chalk and clay or their natural blend – lime marl – constitute the most important raw materials for the production of Portland cement clinker. Depending on the raw material situation at the location of a cement works, it may be necessary to add pure limestone, iron ore, sand or other corrective substances to the raw material mix in order to compensate for the lack of certain chemical constituents. Apart from natural raw materials, also alternative raw materials can be utilised, such as lime sludge, used foundry sand and fly ash. They contain silicon dioxide, aluminium oxide, iron oxide and/or calcium oxide as main constituents as well and are combined with the raw materials in quantities apt to ensure compliance with the clinker composition specified. The preconditions to be met by the material composition of an alternative raw material primarily depend on the raw material situation prevailing at a cement works, i.e. the composition of the limestone and marl deposits, respectively.

Table 3-1 lists the raw materials utilised in the year 2020. They can be classified into different groups, according to their chemical composition. Most of them are utilised as raw material components in the clinker burning process. Blastfurnace slag, a small proportion of the limestone, oil shale (burnt) and trass are used as main constituents of cement.

Tabelle 3-2 Brennstoffenergieeinsatz nach Energieträgern
Table 3-2 Fuel energy consumption classified by energy sources

Brennstoff / Fuel		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Steinkohle / Coal	Mio. GJ/a / million GJ/a	10	9,8	7,8	8,9	8,1	8,3	8,2	7,9	7,3	6,6
	Anteil % / share %	10,6	10,4	8,7	9,6	9,0	9,1	8,4	8,2	7,6	6,8
Braunkohle / Lignite	Mio. GJ/a / million GJ/a	23,7	22,3	19,7	19,5	18,7	18,9	20,5	19,2	18,1	19,0
	Anteil % / share %	25,1	23,7	21,8	21,1	20,8	20,8	21,2	20,0	18,9	19,8
Petrolkoks / Petcoke	Mio. GJ/a / million GJ/a	2,1	3,2	3,2	4,1	3,4	3,2	3,5	2,7	2,4	2,1
	Anteil % / share %	2,2	3,4	3,5	4,4	3,7	3,6	3,7	2,8	2,5	2,2
Heizöl S / Heavy fuel oil	Mio. GJ/a / million GJ/a	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	0,6	0,5	0,2	0,2	0,2
	Anteil % / share %	0,5	0,4	0,2	0,2	0,4	0,6	0,5	0,2	0,2	0,2
Heizöl EL / Fuel oil	Mio. GJ/a / million GJ/a	0,2	0,7	1,2	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
	Anteil % / share %	0,2	0,7	1,3	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
Erdgas und andere Gase / Natural gas and other gases	Mio. GJ/a / million GJ/a	0,2	0,2	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7
	Anteil % / share %	0,2	0,2	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,7
Sonstige fossile Brennstoffe / Other fossil fuels	Mio. GJ/a / million GJ/a	0,1	0,1	1,4	< 0,1	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,4	0,4
	Anteil % / share %	0,1	0,2	1,6	< 0,1	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,4	0,4
Fossile Brennstoffe gesamt / Total fossil fuels	Mio. GJ/a / million GJ/a	36,7	36,6	33,8	33,9	31,9	32,1	33,9	31,2	29,9	29,6
	Anteil % / share %	38,9	39,0	37,5	36,6	35,4	35,2	35,0	32,5	31,1	30,8
Alternative Brennstoffe gesamt / Total alternative fuels	Mio. GJ/a / million GJ/a	57,7	57,3	56,6	58,6	58,2	59,1	63,0	64,8	66,1	66,4
	Anteil % / share %	61,1	61,0	62,5	63,4	64,6	64,8	65,0	67,5	68,9	69,2
Thermische Energie gesamt / Total thermal energy consumption	Mio. GJ/a / million GJ/a	94,4	93,9	90,4	92,5	90,1	91,2	96,9	96,0	96,0	96,0
	Anteil % / share %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 3-3 Einsatz und durchschnittliche Heizwerte alternativer Brennstoffe 2020
Table 3-3 Used quantity and average calorific value of alternative fuels in 2020

Alternative Brennstoffe / Alternative fuel	1.000 t	MJ/kg
Altreifen / Waste tyres	167	28
Altöl / Waste oil	68	30
Fraktionen aus Industrie-/Gewerbeabfällen / Fractions of industrial and commercial waste:		
- Zellstoff, Papier und Pappe / Pulp, paper and cardboard	71	4
- Kunststoff / Plastics	828	23
- Verpackungen / Packaging	-	-
- Abfälle aus der Textilindustrie / Wastes from the textile industry	4	26
- Sonstige / Others	1.129	22
Tiermehle und -fette / Meat and bone meal and animal fat	145	18
Aufbereitete Fraktionen aus Siedlungsabfällen / Mixed fractions of municipal waste		
Altholz / Waste wood	1	14
Lösungsmittel / Solvents	120	25
Bleicherde / Fuller's earth	-	-
Klärschlamm / Sewage sludge	678	2
Sonstige, wie: / Others, such as:		
- Ölschlamm / Oil sludge		
- Organische Destillationsrückstände / Organic distillation residues	119	5

The cement industry is making efforts to increase the share in the cement of constituents other than clinker. This allows to modify the quality of the product purposefully, to improve the economic efficiency of the manufacturing process, to conserve natural resources, and to utilise materials generated by other processes in a useful manner, as stipulated by the German Recycling Act.

The materials, having industrial importance as potential substitutes for cement clinker in the cement in Germany, are chiefly (granulated) blastfurnace slag and also limestone. Blastfurnace slag is a spin-off of pig iron production and is used, among others, in the manufacture of Portland slag and blastfurnace cements.

Natural gypsum and/or anhydrite cover about 89 % of the demand for sulphate agents, which serve to adjust the working properties of the cements. Gypsum from flue gas desulphurisation accounts for the remaining share.

3.2 Fuels

Cement clinker burning uses up most of the fuel energy consumed in cement manufacture. To a lesser extent thermal energy is also used for drying raw materials and other major cement constituents, such as granulated blastfurnace slag. Since the mid-1970ies, the traditional fuels of the German cement industry have been coal and lignite and, on a smaller scale, also heavy fuel oil. A significant portion of coal has been replaced by petcoke since the 1990ies. Petcoke is a coal-like fraction of mineral oil generated in crude oil processing. In addition to that, light and heavy fuel oil and gas are used for kiln start-up and drying processes. Table 3-2 lists all the energy sources exploited in the German cement industry [1, 2].

Apart from fossil fuels, the use of alternative fuels in the clinker burning process is gaining in importance nowadays. Alternative fuels accounted 69.2 % of the total fuel energy demand of the German cement industry in 2020. Table 3-3 lists the alternative fuels utilised and their average calorific values.

4 Energie/ Energy



4 Energie

Zur Herstellung einer Tonne Zement wurden in Deutschland 2020 durchschnittlich 2.733 MJ Brennstoffenergie und 109,4 kWh elektrische Energie eingesetzt (Tabellen 4-1 und 4-2). Brennstoffenergie wird im Wesentlichen für das Brennen des Klinkers benötigt; elektrische Energie wird vor allem für die Rohmaterialaufbereitung (ca. 25 %), für das Brennen und Kühlen des Klinkers (ca. 24 %) und für die Mahlung der Zemente (ca. 46 %) verwendet.

Die Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes in der Zementindustrie ist in Bild 4-1 dargestellt.

Nach 1990 hat u.a. die Modernisierung der Zementwerke in den neuen Bundesländern zu einer Abnahme des spezifischen Brennstoffenergieeinsatzes beigetragen. Bezogen auf die Tonne Zement liegt er seit vielen Jahren zwischen 2.700 und 3.000 MJ.

Der Anteil der alternativen Brennstoffe am Energieeinsatz konnte in den letzten 20 Jahren deutlich gesteigert werden. Dadurch nahm der Einsatz wertvoller fossiler Brennstoffe, wie vor allem Stein- und Braunkohle, stetig ab und macht heute nur noch etwa 31 % des Brennstoffenergieeinsatzes aus. Die hohe Energieeffizienz des Zementherstellungsprozesses wurde dadurch nicht beeinflusst [3, 5, 6].

Höhere Anforderungen an die Produktqualität sowie Maßnahmen zur Verbesserung des Umweltschutzes waren die wesentlichen Ursachen für den tendenziell steigenden elektrischen Energieeinsatz der letzten Jahrzehnte (Bild 4-2). Nach einigen Jahren der Stabilisierung, zu der u. a. Verbesserungen in der Mahltechnik beitrugen, stieg der spezifische elektrische Energiebedarf in den letzten Jahren wieder an. Wesentlicher Grund hierfür ist der gestiegene Bedarf an fein aufgemahlten leistungsstarken Zementen in der Baustoffindustrie.

Tabelle 4-1 **Thermischer Brennstoffenergieeinsatz**
Table 4-1 **Thermal fuel energy consumption**

Jahr / Year	Thermischer Brennstoffenergieeinsatz Thermal fuel energy consumption	
	absolut in Mio. GJ/a Absolute in million GJ/a	spezifisch in MJ/t Zement Specific in MJ/t cement
1997	99,3	2.975
1998	100,7	2.905
1999	102,3	2.800
2000	99,3	2.835
2001	89,8	2.790
2002	85,8	2.790
2003	91,3	2.740
2004	94,9	2.920
2005	88,7	2.785
2006	92,1	2.674
2007	99,5	2.915
2008	95,8	2.764
2009	88,2	2.848
2010	88,1	2.874
2011	94,4	2.759
2012	93,9	2.866
2013	90,4	2.857
2014	92,5	2.849
2015	90,1	2.869
2016	91,2	2.763
2017	96,9	2.824
2018	96,0	2.804
2019	96,0	2.772
2020	96,0	2.733

Quelle / Source: VDZ

4 Energy

In Germany, the production of one tonne of cement consumed an average of 2,733 MJ fuel energy and 109.4 kWh electrical energy in 2020 (Tables 4-1 and 4-2). Fuel energy is primarily required for clinker burning, while electrical energy is chiefly used for raw material pre-treatment (about 25 %), for burning and cooling the clinker (about 24 %) and for cement grinding (about 46 %).

The development of the specific energy consumption in the cement industry is shown in Figure 4-1.

After 1990 inter alia the modernisation of the cement works in the newly formed German States resulted in a decrease in specific fuel energy consumption. After that the cement specific fuel energy consumption was stabilized in the range of 2,700 to 3,000 MJ/t cement.

During the last 20 years the use of alternative fuels could be increased significantly. Therefore, the use of fossil fuels, especially hard coal and lignite, decreased continuously. As a result appr. 31 % of the fuel energy consumption is covered by fossil fuels today. The high energy efficiency of the cement production process was not affected by this substitution [3, 5, 6].

More demanding specifications for product quality and measures aimed at improving environmental protection were the major causes for the upward tendency in electrical power demand over the past decades (Fig. 4-2). After several years of stabilization, in particular due to improvements in grinding technologies, in the last years a noticeable increase of the specific electrical energy demand has been observed. The major reason for that is the increased demand of finely ground high performance cements within the building and construction industry.

Tabelle 4-2 Elektrischer Energieeinsatz
Table 4-2 Electrical power consumption

Jahr / Year	Elektrischer Energieeinsatz Electrical power consumption	
	absolut in Mio. MWh/a Absolute in million MWh/a	spezifisch in kWh/t Zement Specific in kWh/t cement
1997	3,47	103,9
1998	3,63	104,7
1999	3,73	102,0
2000	3,55	101,5
2001	3,21	99,8
2002	3,17	103,0
2003	3,32	99,5
2004	3,32	102,1
2005	3,24	101,9
2006	3,42	99,4
2007	3,40	99,7
2008	3,43	99,0
2009	3,15	101,8
2010	3,37	109,8
2011	3,74	109,4
2012	3,63	110,8
2013	3,49	110,0
2014	3,57	110,0
2015	3,49	111,2
2016	3,62	109,8
2017	3,77	110,0
2018	3,78	110,9
2019	3,85	111,9
2020	3,84	109,4

Quelle / Source: VDZ

Bild 4-1 Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes
Fig. 4-1 Development of the specific fuel energy consumption

Spezifischer Energieeinsatz in kJ/kg Zement / Specific energy demand in kJ/kg cement

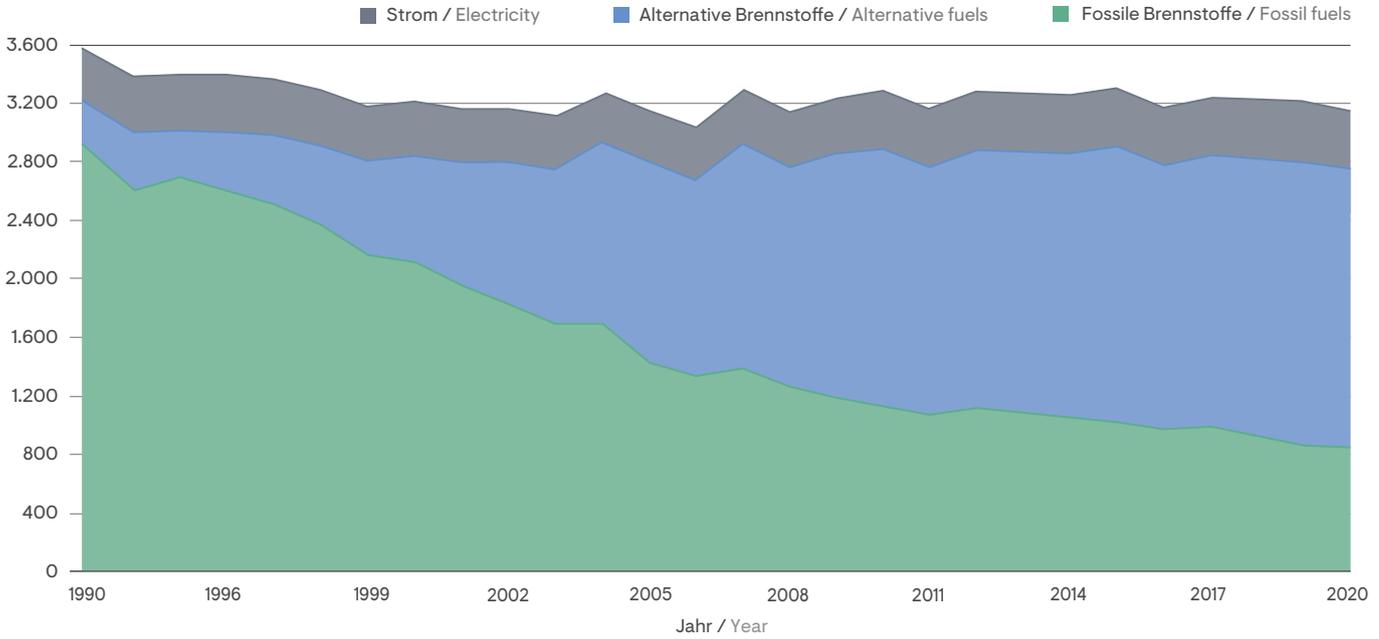
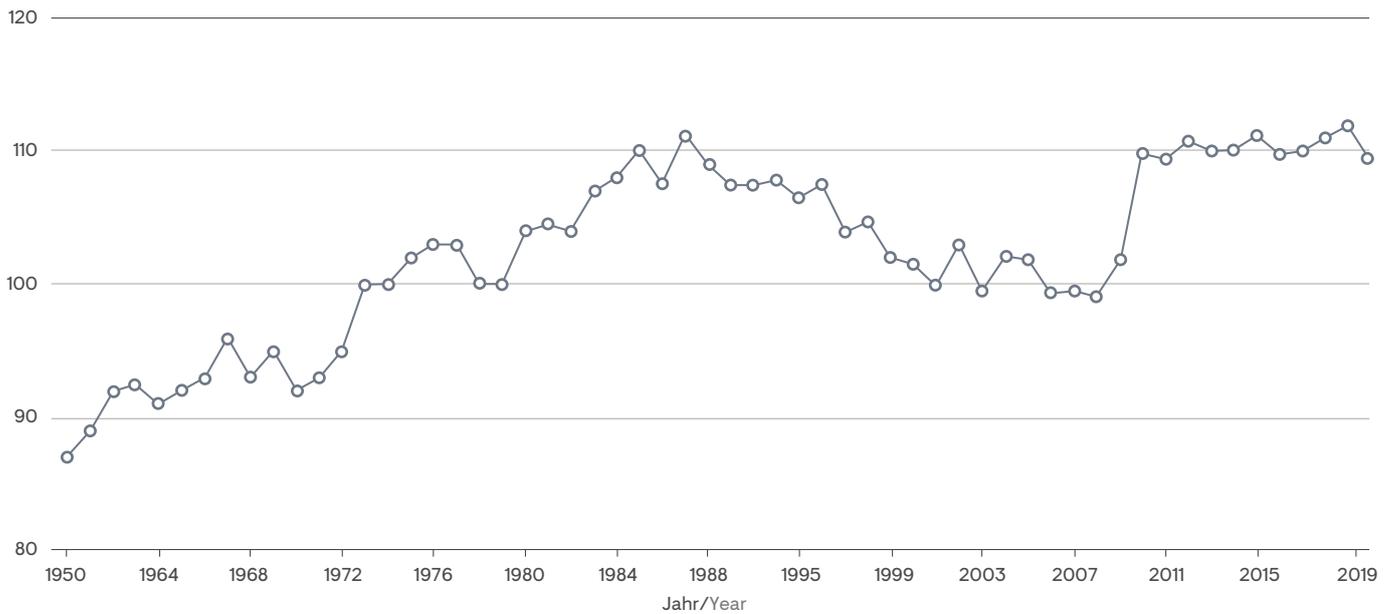


Bild 4-2 Entwicklung des spezifischen elektrischen Energieeinsatzes
Fig. 4-2 Development of the specific electrical power consumption

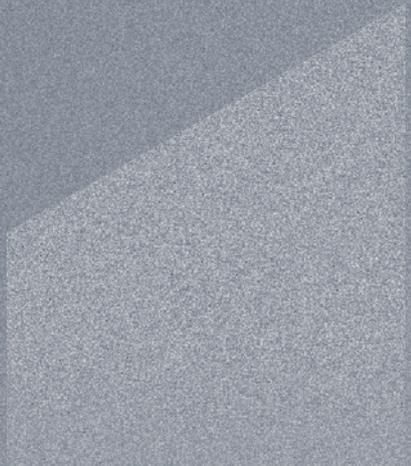
Spezifischer elektrischer Energieeinsatz in kWh/t Zement / Specific electrical power consumption in kWh/t cement



Anmerkung/Note:

Berücksichtigung der neuen Bundesländer seit 1987 / New Federal States included since 1987

5 Spurenelemente im Zement/ Trace elements in cement



5 Spurenelemente im Zement

Alle aus natürlichen Rohstoffen hergestellten Baustoffe enthalten in geringen Mengen Spurenelemente. Die Spurenelementgehalte in Zementen ergeben sich aus den Gehalten in den Hauptbestandteilen Portlandzementklinker, Puzzolane, Flugasche, gebrannter Schiefer, Kalkstein, Hüttensand und Silicastaub sowie den Nebenbestandteilen, Gips, Anhydrit und den Zementzusätzen. Für die Spurenelementgehalte im Portlandzementklinker sind im Wesentlichen deren Konzentrationen in den zur Klinkerherstellung verwendeten Roh- und Brennstoffen maßgebend. Diese Gehalte unterscheiden sich entsprechend der geochemischen Zusammensetzung der Rohstoffvorkommen.

Werden bei der Klinkerherstellung primäre Einsatzstoffe durch geeignete alternative Roh- bzw. Brennstoffe ersetzt, so ist deren Spurenelementgehalt ein wichtiges Qualitätskriterium. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die alternativen Roh- und Brennstoffe einen entsprechenden Anteil ebenfalls spurenelementhaltiger primärer Einsatzstoffe ersetzen. Bei der heute üblichen Verwendung sorgfältig ausgewählter und überwachter alternativer Einsatzstoffe in der deutschen Zementindustrie können sowohl geringfügige Erhöhungen als auch Verminderungen der Spurenelementgehalte in den Zementen auftreten. Generell werden diese Veränderungen jedoch durch die natürlichen Konzentrationsschwankungen in den primären Einsatzstoffen überdeckt.

Seit dem Jahr 1995 untersucht der VDZ in gewissen Abständen die im Rahmen der Produktzertifizierung überwachten deutschen Zemente aus der jeweils letzten Prüfperiode. Erstmals wurden im Jahr 1995 rund 100 Portlandzemente aus dem Überwachungszeitraum 1994 bezüglich der Gehalte von zehn Spurenelementen untersucht. In den Jahren 1999, 2002, 2006, 2012, 2016 und 2020 wurden sämtliche in Deutschland hergestellten und durch den VDZ überwachten Zemente aus einer Prüfperiode im jeweiligen Jahr zuvor hinsichtlich der Gehalte der im nationalen Luftreinhaltegesetz vorgesehenen Elemente analysiert. Im Jahr 2016 wurde die Zahl der untersuchten Spurenelemente um die Schwermetalle Kupfer, Antimon und Mangan erweitert. Die Auswertung der vorliegenden Analysen zeigt, dass sich die Mittelwerte der Spurenelementgehalte der untersuchten Normzemente für die sieben Herstellungszeiträume nicht signifikant verändert haben (Bild 5-1).

5 Trace elements in cement

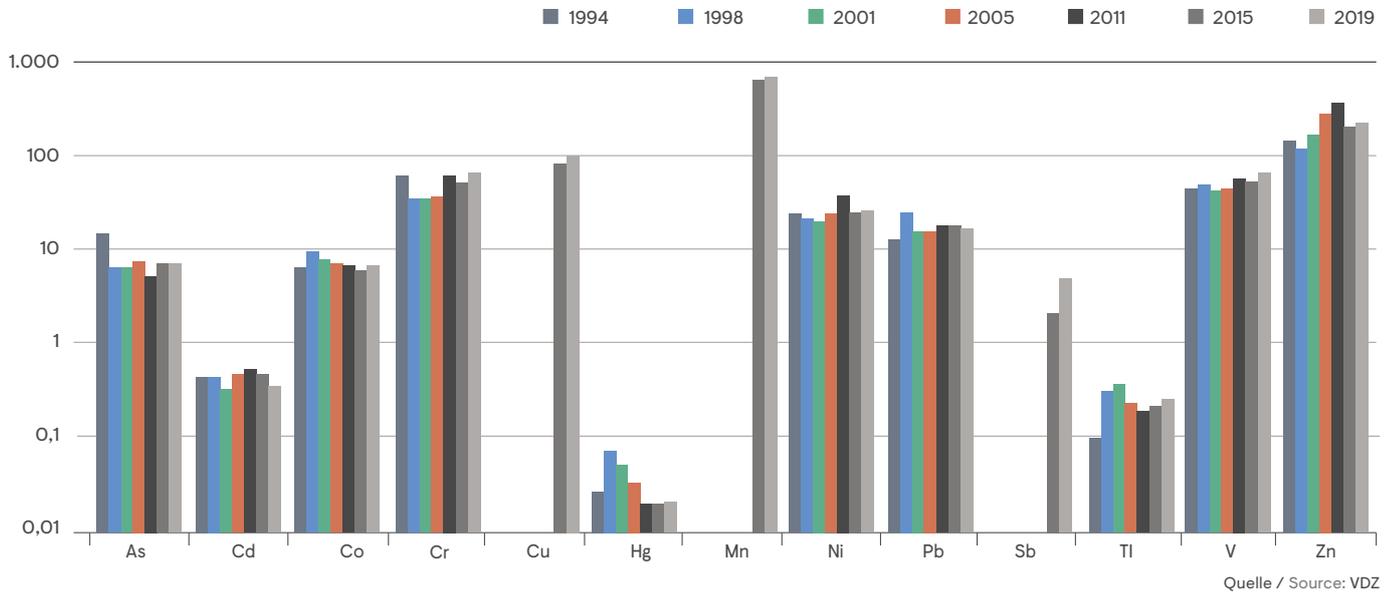
All building materials produced using natural raw materials contain small quantities of trace elements. The trace element contents of cements is made up of the amounts contained in the main constituents Portland cement clinker, pozzolanas, fly ash, burnt shale, limestone, blast furnace slag and silica fume, as well as in the secondary constituents gypsum and anhydrite and in the cement additives. In the case of Portland cement clinker, the trace element contents is essentially governed by the amounts contained in the raw materials and fuels used for clinker production. These amounts vary depending on the geochemical composition of the raw material deposits.

If suitable alternative raw materials and fuels are employed for clinker production instead of primary constituents, the trace element content of these becomes an important quality criterion. It is important to bear in mind that the alternative raw materials and fuels replace a corresponding proportion of primary constituents which also contain trace elements. Today's standard practice of employing carefully selected and monitored alternative constituents in the German cement industry may lead to both slight increases and reductions in the trace element contents of the cements. Generally speaking, these variations are however masked by the natural fluctuations in concentration in the primary constituents.

Since 1995, VDZ has been performing regular analysis of the German cements which had been monitored in the preceding testing period in connection with product certification. For the first time in 1995, around 100 Portland cements from the monitoring period 1994 were analysed to determine the amounts of ten trace elements contained in them. In 1999, 2002, 2006, 2012, 2016 and 2020, all the cements produced in Germany and monitored by VDZ in the testing period of each preceding year were analysed with regard to the amounts of elements contained as specified in the German Clean Air Act. In 2016, the number of trace elements analysed was extended to include the heavy metals copper, antimony and manganese. Evaluation of the analyses produced reveals that the mean values for the trace element contents of the standard cements investigated have not changed significantly over the course of the seven production periods (Fig. 5-1).

Bild 5-1 Mittlere Spurenelementgehalte in deutschen Normzementen für sieben Herstellungszeiträume
Fig. 5-1 Mean trace element contents in German standard cements for seven production periods

Spurenelementgehalte in mg/kg / Trace element contents in mg/kg



6 Emissionen/ Emissions



6 Emissionen

In Deutschland unterliegen die Errichtung und der Betrieb von Zementwerken den Bestimmungen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Je nach Brennstoffeinsatz werden unterschiedliche Anforderungen an die einzuhaltenden Emissionskonzentrationen gestellt. Falls ausschließlich Regelbrennstoffe eingesetzt werden, sind die Regelungen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) maßgeblich. Wird ein Teil der Regelbrennstoffe durch Abfälle als alternative Brennstoffe ersetzt, so gelten zusätzlich die Bestimmungen der 17. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (17. BImSchV). Auf dieser gesetzlichen Basis kann die zuständige Behörde sowohl Messungen aus besonderem Anlass als auch erstmalige und wiederkehrende Messungen anordnen, die nur von zugelassenen Messstellen durchgeführt werden dürfen.

Zur Bestimmung der Emissionen von Zementwerken stehen sowohl kontinuierliche als auch diskontinuierliche Messverfahren zur Verfügung, die in entsprechenden VDI-Richtlinien und DIN-Normen beschrieben sind (Tabelle 6-1). Kontinuierlich werden hauptsächlich Staub, Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenmonoxid (CO), Quecksilber (Hg) und Ammoniak (NH_3) sowie vermehrt die Summe organischer Verbindungen gemessen; die anderen immissionsrechtlich relevanten Parameter werden in der Regel diskontinuierlich auf der Basis von Einzelmessungen bestimmt.

Die in diesem Kapitel dargestellten Messergebnisse beruhen auf den gesetzlich vorgeschriebenen Emissionsmessungen an Drehofenanlagen der deutschen Zementindustrie. Kontinuierlich gemessene Emissionen wurden dabei in Jahresmittelwerte umgerechnet. Im Fall von diskontinuierlich gemessenen Emissionen werden Werte aus den jeweiligen Einzelmessungen an-

6 Emissions

In Germany, the erection and operation of cement works are subject to the provisions of the Federal Ambient Pollution Protection Act. Depending on the type of fuel utilised, different specifications for the emission concentrations to be complied with are laid down. If standard fuels are used exclusively, the regulations of the Clean Air Act (TA Luft) are decisive. If a proportion of the standard fuels is replaced by waste used as alternative fuels, the provisions of the German regulation on waste incineration (17th BImSchV) apply additionally. Proceeding from this legal basis, the competent authorities can order both measurements for special reasons and first-time and recurrent measurements to be carried out by accredited measuring bodies only.

Emissions from cement works can be determined both by continuous and discontinuous measuring methods, which are described in corresponding VDI guidelines and DIN standards (Table 6-1). Continuous measurement is primarily used for dust, NO_x , SO_2 , CO, Hg and NH_3 as well as more and more total organic carbon (TOC), while the remaining parameters relevant to ambient pollution legislation are usually determined discontinuously by individual measurements.

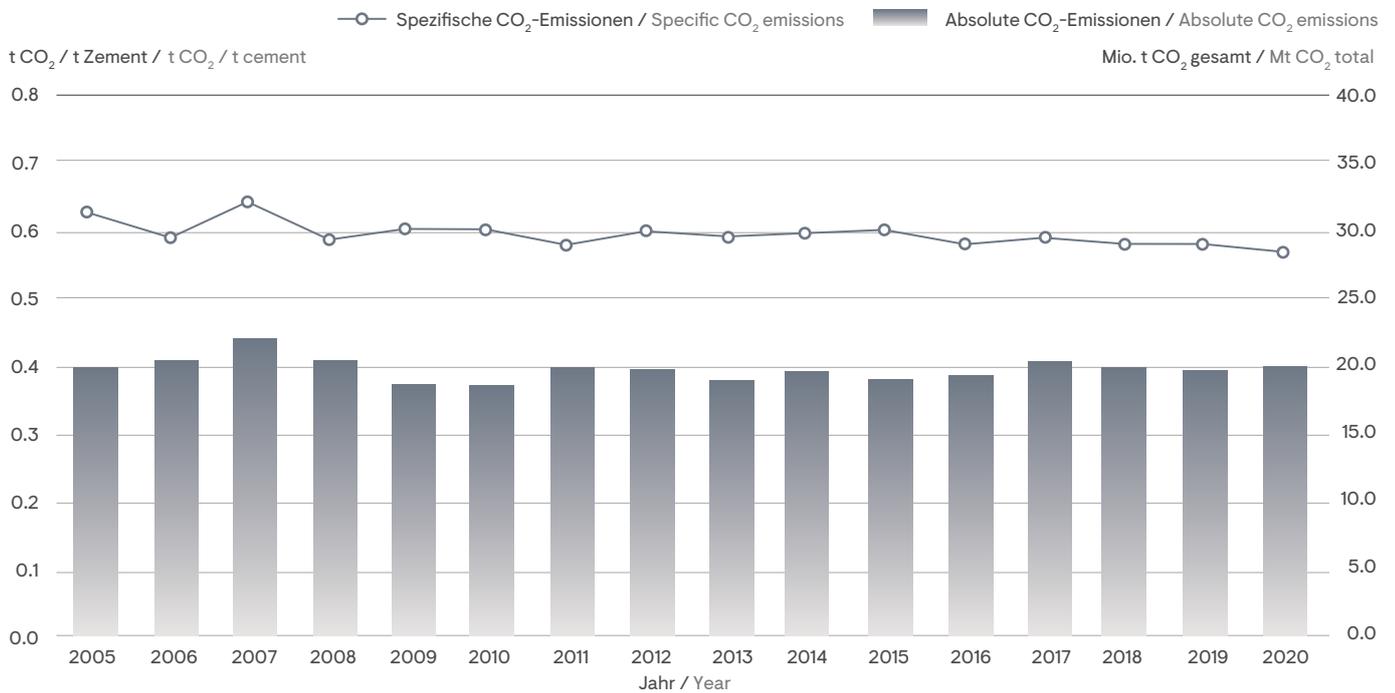
The measurement results presented in this chapter are based on the emission measurements at the rotary kiln plants of the German cement industry required by law. The emissions measured continuously were converted to annual averages. In the case of emissions measured discontinuously, the values are derived from the respective individual measurements. All measured values relate to 1 m^3 of dry gas under standard conditions with an oxygen content of 10 %.

Tabelle 6-1 Messverfahren für Emissionen

Table 6-1 Emission measuring methods

Messobjekt / Object of measurement	Norm, Richtlinie / Standard, guideline
Gesamtstaub / Total dust	DIN EN 13284-1
Schwermetalle / Heavy metals	DIN EN 13211, 14385
Schwefeloxide / Sulphur oxides	DIN EN 14791
Stickstoffoxide / Nitrogen oxides	DIN EN 14792
Kohlenstoffmonoxid / Carbon monoxide	DIN EN 15058
Gasförmige anorganische Chlorverbindungen / Gaseous inorganic chlorine compounds	DIN EN 1911, Teil 1 - 3
Gasförmige anorganische Fluorverbindungen / Gaseous inorganic fluorine compounds	VDI 2470, Blatt 1
Dioxine, Furane / Dioxins, furans	
- Probenahme / Sampling	DIN EN 1948, Teil 1
- Analyse / Analysis	DIN EN 1948, Teil 2 - 3
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe / Polycyclic aromatic hydrocarbons	DIN EN 1948 Teil 1 VDI 3874
Polychlorierte Biphenyle / Polychlorinated biphenyls	DIN EN 1948, Teil 4
Organisch gebundener Kohlenstoff / Total gaseous organic carbon	DIN EN 12619
Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol / Benzene, toluene, ethylbenzene, xylene	DIN EN 13649

Bild 6-1 Direkte CO₂-Emissionen der Zementindustrie
Fig. 6-1 Direct CO₂ emissions by the cement industry



Quelle / Source: DEHSt

gegeben. Sämtliche Messwerte sind auf einen Kubikmeter (m³) trockenes Abgas im Normzustand mit einem Sauerstoffgehalt von 10 % bezogen.

Aufgrund von Änderungen in den normativen Anforderungen zur Darstellung der Messergebnisse diskontinuierlich bestimmter Parameter werden sogenannte Feldblindwerte als kleinste darstellbare Konzentrationen ausgewiesen. Auf die bislang erfolgte Darstellung von Bestimmungsgrenzen wird deshalb verzichtet.

6.1 Treibhausgase / Kohlenstoffdioxid (CO₂)

Beim Klinkerbrennprozess werden klimarelevante Gase emittiert. Dies ist fast ausschließlich CO₂. Andere klimarelevante Gase, wie z. B. Distickstoffmonoxid (N₂O) oder Methan (CH₄), werden nur in sehr geringem Maße emittiert. CO₂-Emissionen sind sowohl rohstoff- als auch energiebedingt. Rohstoffbedingte CO₂-Emissionen entstehen bei der Entsäuerung des Kalksteins und haben einen Anteil von etwa 60 % an den direkten CO₂-Emissionen. Energiebedingte Emissionen entstehen sowohl direkt bei der Verbrennung der Brennstoffe als auch indirekt durch den Einsatz von elektrischer Energie. In Bild 6-1 ist die Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen dargestellt.

Am 01.01.2005 wurde in der EU ein Handelssystem für CO₂-Emissionen eingeführt. Der Emissionshandel erstreckt sich auf die direkten CO₂-Emissionen aus der Verbrennung aller Brennstoffe (ohne biogene Anteile) und der Entsäuerung des Kalksteins.

Due to regulatory changes in corresponding standards, so-called field blank values (as the smallest representative concentration for parameters that are measured discontinuously) are shown. The previous presentation of quantification limits is no longer used.

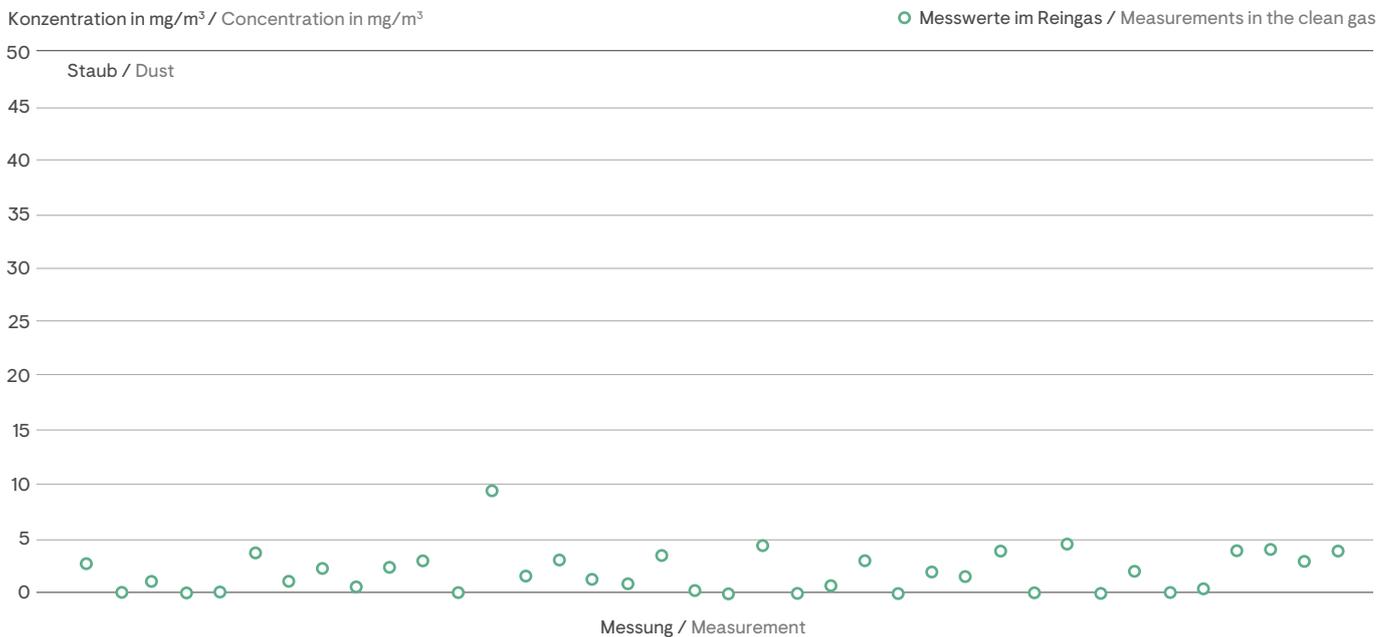
6.1 Greenhouse gases / carbon dioxide (CO₂)

During the clinker burning process greenhouse gases are emitted. This is almost entirely CO₂. Other greenhouse gases, such as dinitrogen monoxide (N₂O) or methane (CH₄), are emitted in very small quantities only.

CO₂ emissions are both raw material-related and energy-related. Raw material-related emissions are produced during limestone decarbonation (CaCO₃) and account for about 60 % of direct CO₂ emissions. Energy-related emissions are generated both directly through fuel combustion and indirectly through the use of electrical power. Figure 6-1 depicts the development of direct CO₂ emissions.

On January 1, 2005 a trading system for CO₂ emissions was introduced in the EU. Direct CO₂ emissions from the combustion of all fuels (without biogenous compounds) and decarbonation of limestone are covered by this trading system.

Bild 6-2 Staub (Jahresmittelwerte 2020)
Fig. 6-2 Dust (Annual mean values 2020)



6.2 Staub

Für die Erzeugung von 1 Tonne Portlandzement müssen während der Produktion ca. 1,5 bis 1,7 Tonnen Rohmaterialien, bis zu 0,15 Tonnen Kohle sowie 0,95 Tonnen Klinker staubfein gemahlen werden. Wesentliche Emissionsquellen für die staubförmigen Komponenten liegen dabei in den Bereichen der Aufbereitung des Rohmaterials und der Brennstoffe, des Klinkerbrennprozesses sowie der Zementmahlung. Während es in den 1950er-Jahren am Kamin von Drehofenanlagen noch zu Staubemissionen von bis zu 3.000 mg/m³ kam, sind diese heute in Deutschland auf 10 mg/m³ begrenzt. Bild 6-2 zeigt 38 Jahresmittelwerte der Konzentration von Staub aus kontinuierlicher Überwachung im Reingas von 38 Drehofenanlagen.

6.3 Stickstoffoxide (NO_x)

Der Klinkerbrennprozess ist ein Hochtemperaturprozess, bei dem Stickstoffoxide (NO_x) entstehen. Im Abgas von Drehofenanlagen liegen sie zu einem Anteil von etwa 95 % in Form von Stickstoffmonoxid (NO) und zu etwa 5 % als Stickstoffdioxid (NO₂) vor. Da NO in der Atmosphäre weitgehend zu NO₂ umgewandelt wird, werden die Emissionen als NO₂ pro m³ Abgas angegeben.

Die prozessbedingten NO_x-Gehalte im Abgas von Drehofenanlagen würden ohne Minderungsmaßnahmen in den meisten Fällen die heute gültige Vorgabe der europäischen Industrieemissionsrichtlinie von 0,50 g/m³ deutlich übersteigen.

Primäre Minderungsmaßnahmen betreffen eine Vergleichmäßigung und Optimierung des Anlagenbetriebs. Darüber hinaus wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um auf verschiedene Weise die anspruchsvollen NO_x-Grenzwerte einhal-

6.2 Dust

To manufacture 1 t of Portland cement, about 1.5 to 1.7 t raw materials, up to 0.15 t coal and 0.95 t clinker must be ground to dust fineness during production. In this process, the steps of raw material preparatory processing, fuel preparation, clinker burning and cement grinding constitute major emission sources for particulate components. While particulate emissions of up to 3,000 mg/m³ were measured at the stack of cement rotary kiln plants as recently as in the 1950ies, these are limited in Germany to 10 mg/m³ today.

Figure 6-2 shows 38 annual average values of dust concentrations from continuous monitoring in the clean gas of 38 rotary kilns.

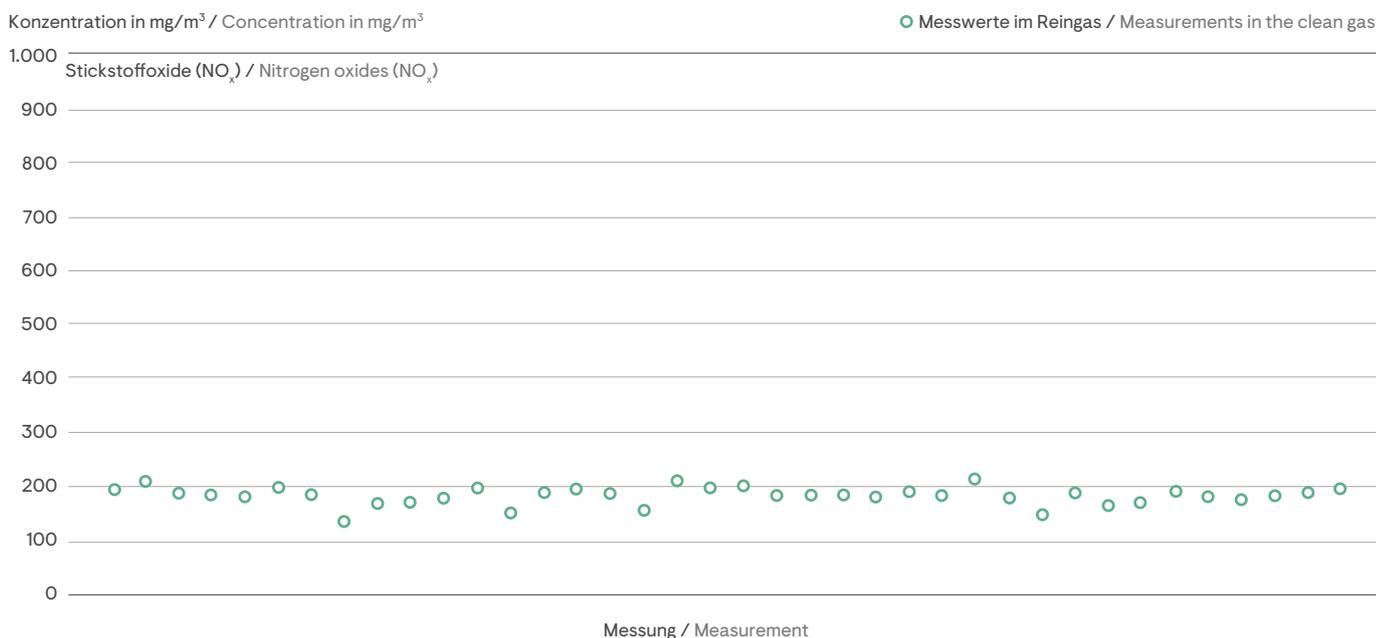
6.3 Nitrogen oxides (NO_x)

The clinker burning process is a high-temperature process resulting in the formation of nitrogen oxides (NO_x). Nitrogen monoxide (NO) accounts for about 95 %, and nitrogen dioxide (NO₂) for about 5 % of this compound present in the exhaust gas of rotary kiln plants. As most of the NO is converted to NO₂ in the atmosphere, emissions are given as NO₂ per m³ exhaust gas.

Without reduction measures, process-related NO_x contents in the exhaust gas of rotary kiln plants would considerably exceed the current specifications of the European Industry Emissions Directive of 0.50 g/m³.

Primary reduction measures are aimed at smoothing and optimising plant operation. Furthermore, considerable efforts were made to achieve compliance with the demanding NO_x values in different ways. In 2020, 38 kiln plants were operated in the German cement industry. At 20 of these plants, including

Bild 6-3 Stickstoffoxide (NO_x, Jahresmittelwerte 2020)
Fig. 6-3 Nitrogen oxides (NO_x, annual mean values 2020)



ten zu können. Im Jahr 2020 wurden in der deutschen Zementindustrie 38 Ofenanlagen betrieben. An 20 dieser Anlagen, darunter auch zwei Vorcalcinieranlagen, wird das SCR-Verfahren (selektive katalytische Reduktion) zur NO_x-Minderung angewendet. Darunter sind die High-Dust- und Low-Dust-Variante des SCR-Verfahrens vertreten als auch an zwei Ofenanlagen das DeCONO_x-Verfahren und in einem Fall eine Lösung mit katalytischen Filterschläuchen.

Darüber hinaus sind weitere 11 Vorcalcinieranlagen in Betrieb, an denen eine gestufte Zweitfeuerung zur Minderung der NO_x-Emissionen betrieben wird bzw. werden kann. An allen Vorcalcinieranlagen wird zusätzlich das SNCR-Verfahren (selektive nicht-katalytische Reduktion) angewendet. Ofenanlagen mit SCR-Anlagen sind zusätzlich mit SNCR-Technologie ausgestattet, mit der bei einem Ausfall der SCR-Anlage die Minderung der NO_x-Emissionen erfolgt. An allen weiteren Ofenanlagen (Anlagen mit Zyklonvorwärmer oder mit Rostvorwärmer) wird bis auf eine Ausnahme ebenfalls das SNCR-Verfahren angewendet. Somit sind diese Minderungsverfahren an insgesamt 37 Ofenanlagen installiert.

Um das Rohstoffgemisch in Portlandzementklinker umzuwandeln, sind hohe Prozesstemperaturen erforderlich. In der Sinterzone des Drehofens betragen die Brennguttemperaturen etwa 1.450°C. Um sie zu erreichen, sind Flammentemperaturen von ca. 2.000°C erforderlich.

Aus Gründen der Klinkerqualität findet der Brennvorgang unter oxidierenden Bedingungen statt. Unter diesen Voraussetzungen überwiegt die partielle Oxidation des molekularen Stickstoffs der Verbrennungsluft zu Stickstoffmonoxid, die auch als thermische NO-Bildung bezeichnet wird.

two precalcining plants, the SCR process (selective catalytic reduction) is used for NO_x reduction. These include the high-dust and low-dust variants of the SCR process as well as the DeCONO_x process at two kiln plants and, in one case, a solution with catalytic filter bags.

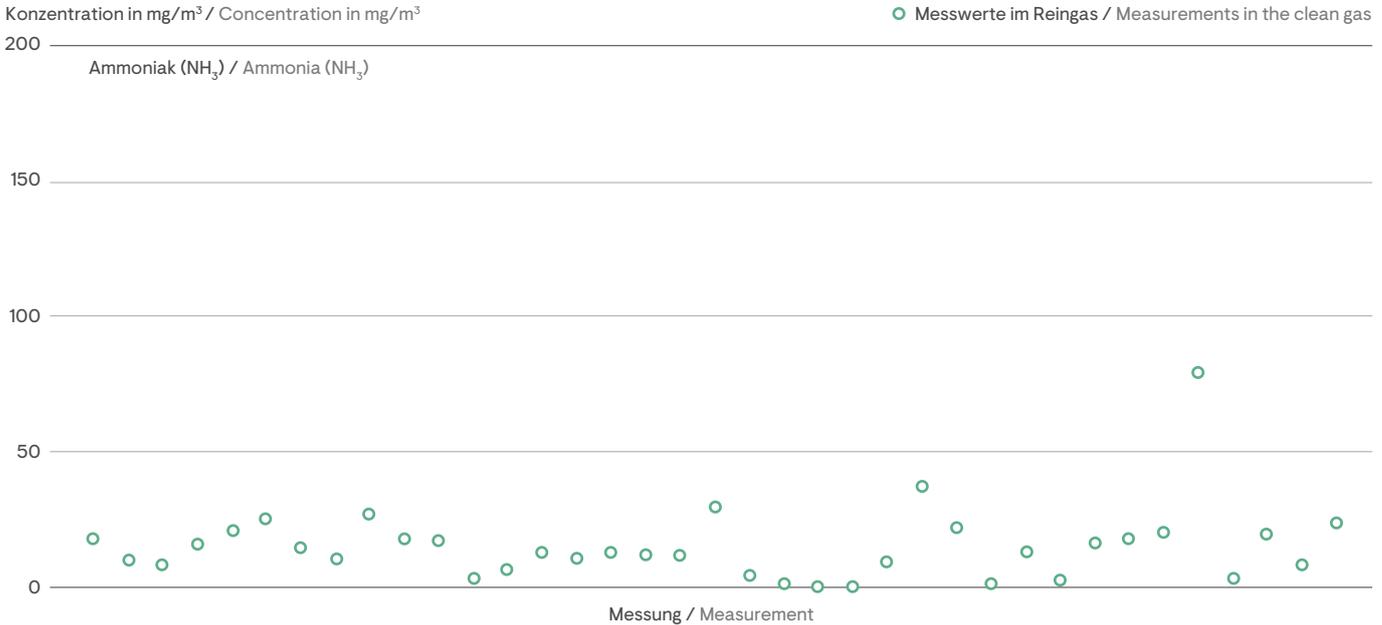
In addition, a further 11 precalcining plants are in operation at which a staged secondary firing system is or can be operated to reduce NO_x emissions. The SNCR process (selective non-catalytic reduction) is also used at all precalcining plants. Furnaces with SCR systems are additionally equipped with SNCR technology, which is used to reduce NO_x emissions in the event of SCR system failure. At all other kiln plants (plants with cyclone preheater or with grate preheater), with one exception, the SNCR process is also applied. Thus, these abatement processes are installed at a total of 37 kiln plants.

High process temperatures are required to convert the raw material mix to Portland cement clinker. Kiln charge temperatures in the sintering zone of rotary kilns range at around 1,450°C. To reach these flame temperatures about 2,000 °C are necessary.

For reasons of clinker quality the burning process takes place under oxidising conditions under which the partial oxidation of the molecular nitrogen in the combustion air resulting in the formation of nitrogen monoxide dominates. This reaction is also called thermal NO formation.

At the lower temperatures prevailing in a kiln inlet or calciner firing unit, however, thermal NO formation is negligible: here the nitrogen bound in the fuel can result in the formation of what is known as fuel-related NO.

Bild 6-4 Ammoniak (NH₃, Jahresmittelwerte 2020)
Fig. 6-4 Ammonia (NH₃, annual mean values 2020)



Die thermische NO-Bildung ist bei den niedrigeren Temperaturen in einer Ofeneinlauf- oder Calcinatorfeuerung hingegen kaum von Bedeutung: Hier kann der im Brennstoff gebundene Stickstoff zum sogenannten brennstoffbedingten NO führen.

Bild 6-3 zeigt 38 Jahresmittelwerte der Konzentration von Stickstoffoxiden (NO_x) aus kontinuierlicher Überwachung im Reingas von 38 Drehofenanlagen.

6.4 Ammoniak (NH₃)

Emissionen von Ammoniak können beim Klinkerbrennprozess zum einen durch Ausgasen und Verdampfen ammoniumhaltiger Verbindungen in den Rohmaterialien entstehen. Zum anderen kann der Einsatz des SNCR-Verfahrens, bei dem eine ammoniakalische Lösung im Steigschacht bzw. Calcinator der Ofenanlage eingedüst wird, zu einem gewissen NH₃-Schlupf führen, wenn die Umsetzung des Reduktionsmittels nicht vollständig ist.

Die rohstoffbedingten Ammoniakemissionen variieren zum Teil signifikant von Werk zu Werk bzw. Steinbruch zu Steinbruch sowie auch innerhalb eines Steinbruches. Bei der NO_x-Minderung mit dem SNCR-Verfahren spielen verschiedene prozesstechnische Parameter, wie die Temperatur an der Eindüsetelle, die Verweilzeit für die Reaktion mit Stickstoffmonoxid sowie die erforderliche NO_x-Minderung, eine Rolle, inwiefern NH₃ als Schlupf den Vorwärmer verlässt.

Im Abgasweg wird Ammoniak vor allem in der Rohmühle wieder eingebunden und mit dem Ofenmehl wieder zum Prozess zurückgeführt. Im Direktbetrieb der Ofenanlage (Stillstand der Rohmühle) entfällt diese Einbindung und i.d.R. treten höhere Ammoniakemissionen auf als im Verbundbetrieb. Bei Verwendung der SCR-Technologie zur NO_x-Minderung in der High-Dust-Variante

Figure 6-3 shows 38 annual average values of nitrogen oxides (NO_x) concentrations from continuous monitoring in the clean gas of 38 rotary kilns.

6.4 Ammonia (NH₃)

Ammonia (NH₃) emissions can occur from the clinker burning process on the one hand by the outgassing and vaporizing of ammonium-containing compounds in the raw materials. On the other hand, when using SNCR technology an ammonia-containing solution is injected into the riser duct or calciner of a cement kiln system. This can lead to a NH₃ slip if the conversion of the reducing agent is not complete.

Raw material-related ammonia emissions vary significantly from plant to plant, from quarry to quarry and within a quarry. If SNCR technology is applied for NO_x abatement, different process parameters like the temperature at the injection location, the residence time available for the reaction with nitrogen oxide and the required NO_x reduction have an impact on the ammonia slip from the preheater.

In the exhaust gas path, ammonia is mainly bound in the raw mill and is re-routed back to the process with the kiln feed. In direct operation of the kiln system (raw mill-off) this binding does not occur and normally higher NH₃ emissions occur compared to raw mill-on operation. When using High Dust-SCR technology (SCR catalyst installed after the preheater), ammonia leaving the preheater with the exhaust gas can be utilised as a reducing agent and the ammonia injection can be reduced.

Figure 6.4 shows 37 annual average values of ammonia (NH₃) concentration from continuous monitoring in the clean gas of 37 rotary kilns.

(Installation des Katalysators nach Vorwärmer) kann NH_3 , das den Vorwärmer mit dem Rohgas verlässt, als Reduktionsmittel genutzt und somit die Eindüsung von Ammoniaklösung reduziert werden.

Bild 6.4 zeigt 37 Jahresmittelwerte der Konzentration von Ammoniak (NH_3) aus kontinuierlicher Überwachung im Reingas von 37 Drehofenanlagen.

6.5 Schwefeldioxid (SO_2)

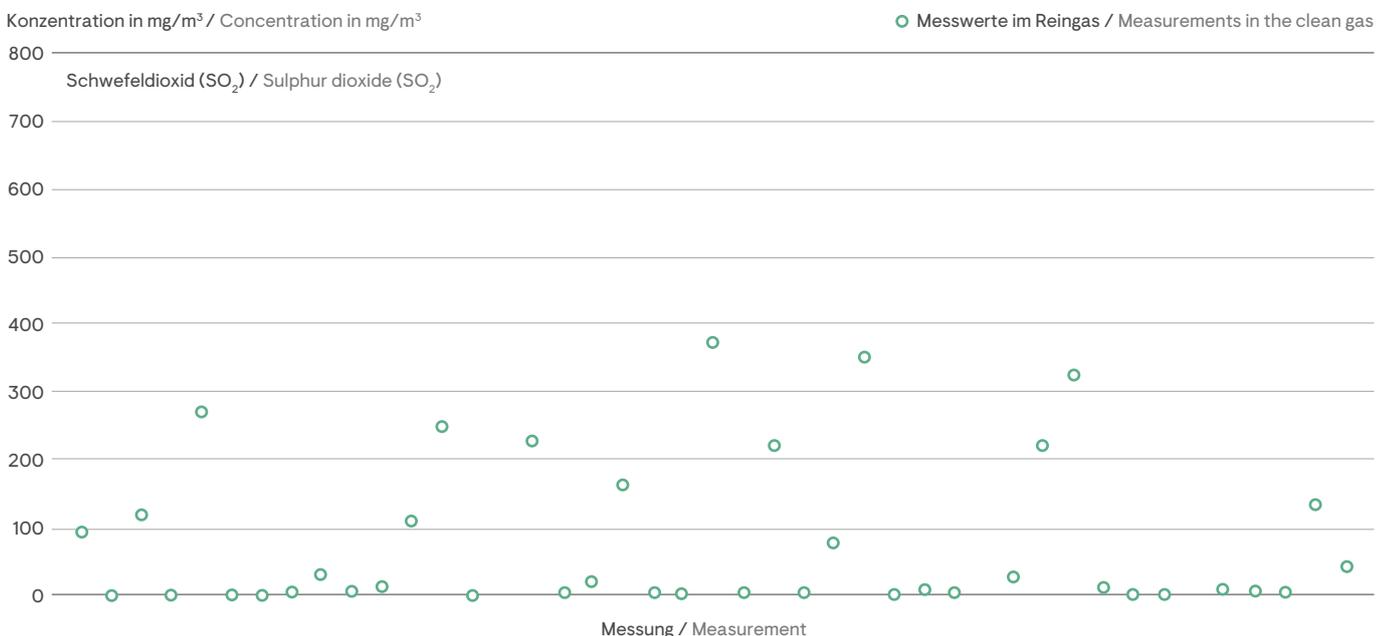
Schwefel wird dem Klinkerprozess über die Roh- und Brennstoffe zugeführt. In den Rohstoffen kann der Schwefel lagerstättenbedingt als Sulfid und als Sulfat gebunden vorliegen. Ursache für höhere SO_2 -Emissionen von den Drehofenanlagen der Zementindustrie können die im Rohmaterial enthaltenen Sulfide sein, die bei der Vorwärmung des Brennguts bei Temperaturen zwischen 370°C und ca. 420°C zu SO_2 oxidiert werden. Die Sulfide kommen überwiegend in Form von Pyrit oder Markasit in den Rohstoffen vor. Aufgrund der in den deutschen Rohstoffvorkommen auftretenden Sulfidgehalte können die SO_2 -Emissionskonzentrationen standortabhängig bis zu $1,2\text{g}/\text{m}^3$ betragen. Die Zementindustrie hat erhebliche Anstrengungen zur Reduzierung der SO_2 -Emissionen unternommen. So wird beispielsweise an 11 Ofenanlagen Kalkhydrat zur Minderung der SO_2 -Emissionen eingesetzt.

Der mit den Brennstoffen eingetragene Schwefel wird bei der Verbrennung im Drehofen vollständig zu SO_2 umgewandelt. Dieses SO_2 reagiert im Vorwärmer- und Ofenbereich zu Alkalisulfaten, die überwiegend im Klinker gebunden werden.

Bild 6-5 zeigt 40 Jahresmittelwerte sowie drei Einzelmesswerte der Konzentration von Schwefeldioxid aus kontinuierlicher Überwachung im Reingas von 38 Drehofenanlagen.

Bild 6-5 Schwefeldioxid (SO_2 , Jahresmittelwerte 2020)

Fig. 6-5 Sulphur dioxide (SO_2 , annual mean values 2020)



6.6 Kohlenstoffmonoxid (CO) und organischer Gesamtkohlenstoff (ΣC)

Die Abgaskonzentrationen von CO und organisch gebundenem Kohlenstoff sind bei Energieumwandlungsanlagen, wie z.B. Kraftwerken, ein Maß für den Ausbrand der eingesetzten Brennstoffe. Der Klinkerbrennprozess ist dagegen ein Stoffumwandlungsprozess, der aus Gründen der Klinkerqualität stets mit Luftüberschuss betrieben werden muss. In Verbindung mit den langen Verweilzeiten bei hohen Temperaturen führt dieses praktisch zu einem vollständigen Brennstoffausbrand. Die thermische Zersetzung organischer Bestandteile des Rohmaterials im Vorwärmer führt zu den entsprechenden rohmaterialbedingten Emissionen an Kohlenstoffmonoxid und organischem Gesamtkohlenstoff.

Ursache der Emissionen von CO und organisch gebundenem Kohlenstoff beim Klinkerbrennprozess sind vor allem die mit den natürlichen Rohstoffen in geringen Mengen zugeführten organischen Bestandteile (Überreste von Organismen und Pflanzen, die im Laufe der Erdgeschichte im Gestein eingebaut wurden). Sie werden beim Vorwärmen des Brennguts umgesetzt und weitgehend zu CO und CO₂ oxidiert. Ein sehr geringer verbleibender Anteil organischer Spurengase (organischer Gesamtkohlenstoff) wird emittiert. Der im Reingas vorliegende Gehalt an CO und organischen Spurengasen lässt beim Klinkerbrennprozess somit keinen Rückschluss auf die Verbrennungsbedingungen zu.

Bild 6-6 zeigt 37 Jahresmittelwerte der CO-Konzentration aus kontinuierlicher Überwachung im Reingas von 37 Drehofenanlagen.

6.6 Carbon monoxide (CO) and total organic carbon (TOC)

The exhaust gas concentrations of CO and organically bound carbon are a yardstick for the burn-out rate of the fuels utilised in energy conversion plants, such as power stations. By contrast, the clinker burning process is a material conversion process that must always be operated with excess air for reasons of clinker quality. In conjunction with long residence times in the high temperature range this practically leads to a complete fuel burn-out. The thermal decomposition of organic material in the preheater leads to the corresponding emissions of carbon monoxide and total carbon.

The emissions of CO and organically bound carbon during the clinker burning process are caused by the small quantities of organic constituents input via the natural raw materials (remnants of organisms and plants incorporated in the rock in the course of geological history). These are converted during kiln feed preheating and become oxidised to form CO and CO₂. In this process, small portions of organic trace gases (total organic carbon) are formed as well. In case of the clinker burning process, the content of CO and organic trace gases in the clean gas therefore does not permit any conclusions on combustion conditions.

Figure 6-6 shows 37 annual average values of carbon monoxide concentration from continuous monitoring in the clean gas of 37 rotary kilns.

Bild 6-6 Kohlenstoffmonoxid (CO, Jahresmittelwerte 2020)
Fig. 6-6 Carbon monoxide (CO, annual mean values 2020)

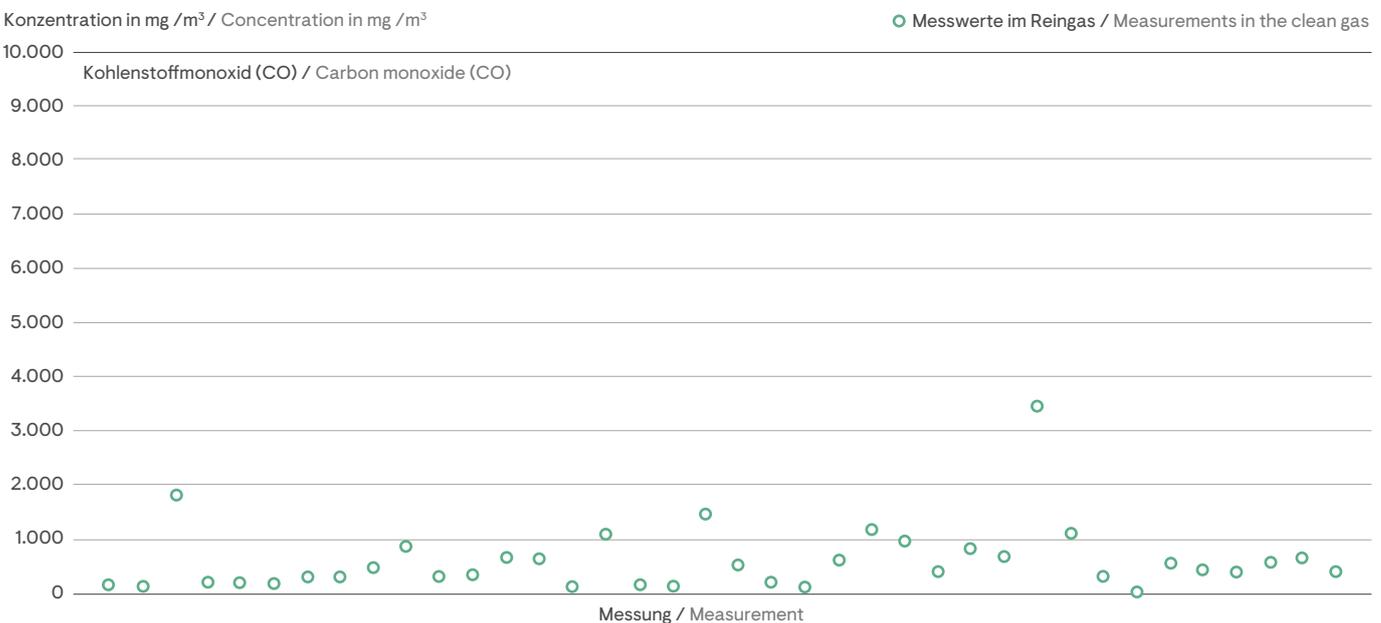


Bild 6-7 Organischer Gesamtkohlenstoff (ΣC , Jahresmittelwerte 2020)
Fig. 6-7 Total organic carbon (TOC, annual mean values 2020)

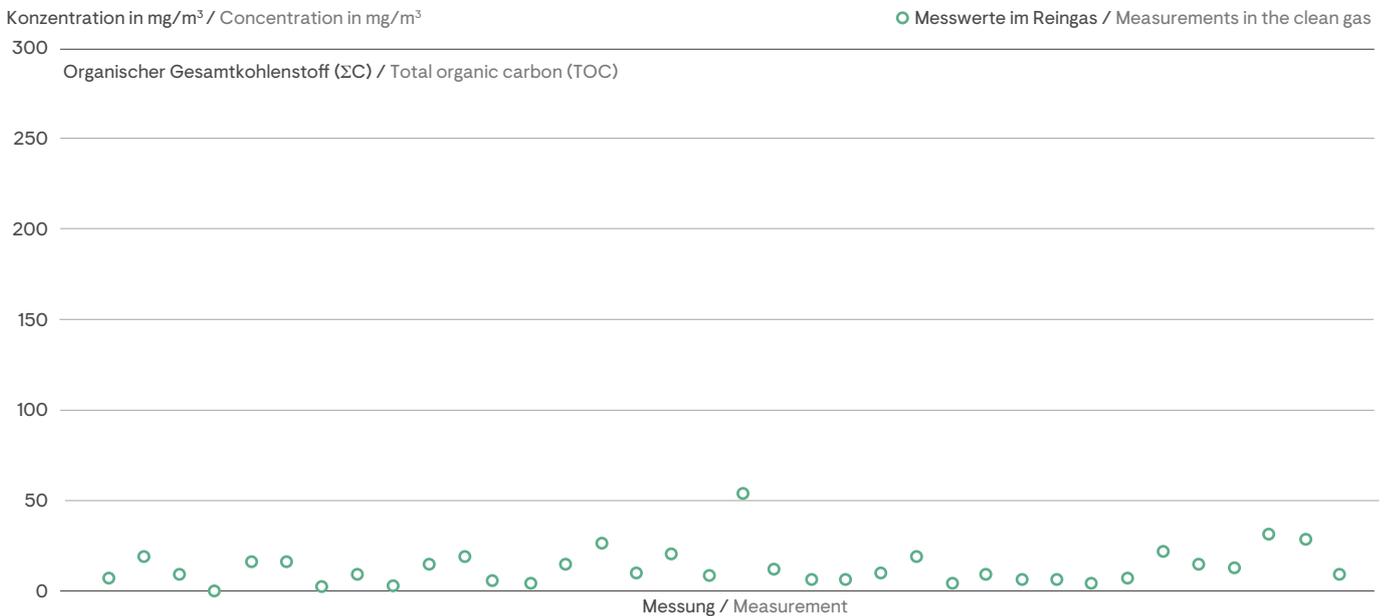


Bild 6-7 zeigt 36 Jahresmittelwerte der Gesamtkohlenstoffkonzentration aus kontinuierlicher Überwachung im Reingas von 36 Drehofenanlagen.

Figure 6-7 shows 36 annual average values of total organic carbon concentration from continuous monitoring in the clean gas of 36 rotary kilns.

6.7 Dioxine und Furane (PCDD/F)

Drehofenanlagen der Zementindustrie unterscheiden sich von klassischen Feuerungsanlagen in erster Linie durch die Verbrennungsbedingungen beim Klinkerbrennen. Brenngut und Drehofenabgase werden im Gegenstrom geführt und intensiv durchmischt. Temperaturverlauf und Gasverweilzeit in Drehöfen bieten daher besonders günstige Bedingungen, um organische Verbindungen, die über Brennstoffe eingetragen werden oder daraus entstehen, vollständig zu zerstören.

6.7 Dioxins and furans (PCDD/F)

Rotary kilns of the cement industry and classic combustion plants mainly differ in terms of the combustion conditions prevailing during clinker burning. Kiln feed and rotary kiln exhaust gases are conveyed in counter-flow and mixed thoroughly. Thus, temperature distribution and residence time in rotary kilns afford particularly favourable conditions for organic compounds, introduced either via fuels or derived from them, to be completely destroyed.

Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (kurz: Dioxine und Furane) liegen deshalb in Abgasen von Drehöfen der Zementindustrie nur in sehr geringen Konzentrationen vor. Untersuchungen haben gezeigt, dass ihre Emissionen unabhängig von der Art der Einsatzstoffe sind und durch verfahrenstechnische Maßnahmen nicht beeinflusst werden können.

For that reason, only very low concentrations of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (in short: dioxins and furans) can be found in the exhaust gas from cement rotary kilns. Investigations have shown that their emissions are independent of the type of input materials used and cannot be influenced by process technology measures.

Anmerkung: Aus der Norm lässt sich keine Bestimmungsgrenze ableiten. Für die Beurteilung der Messergebnisse kann die externe Streuung des Verfahrens (Vergleich verschiedener Labors) herangezogen werden. Sie beträgt gemäß DIN EN 1948 $\pm 0,05 \text{ ng ITEQ/m}^3$ (ITEQ: Internationales Toxizitätsäquivalent).

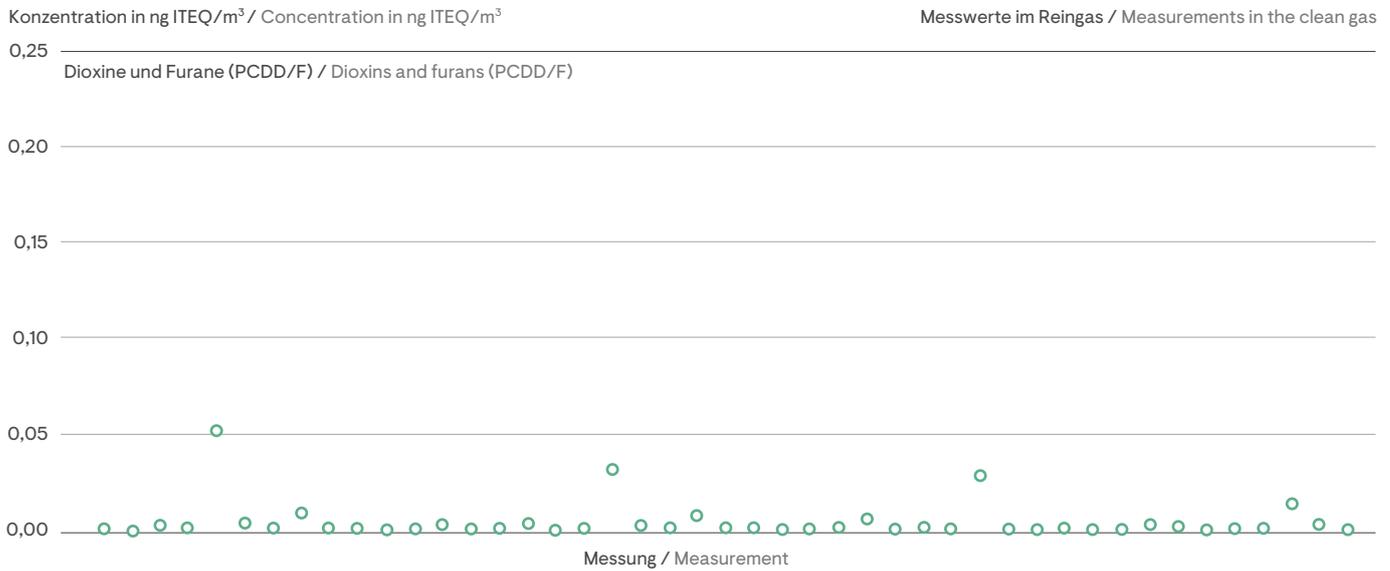
Note: No limit of quantification can be deduced from the standard. To evaluate the measurement results, interlaboratory variation of the method (comparison between different laboratories) can be referred to. Pursuant to DIN EN 1948 it amounts to $\pm 0.05 \text{ ng ITEQ/m}^3$ (ITEQ: international toxicity equivalent).

Im Bild 6-8 sind 121 Messwerte der Konzentration von Dioxinen und Furanen aus 2020 im Reingas von 36 Drehofenanlagen dargestellt. In 76 Fällen konnten keine PCDD/F nachgewiesen werden.

Figure 6-8 shows 121 dioxin and furan concentration values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns in 2020. In 76 cases there were no PCDD/F detected.

Bild 6-8 Dioxine und Furane (PCDD/F, Messwerte 2020)

Fig. 6-8 Dioxin and furan (PCDD/F, measurements 2020)



6.8 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Das Emissionsverhalten der PCB ist mit dem der Dioxine und Furane vergleichbar. PCB können mit alternativen Roh- und Brennstoffen in den Prozess gelangen. In Drehofenanlagen der Zementindustrie ist eine praktisch vollständige Zerstörung dieser Spurenkomponenten gewährleistet.

Bild 6-9 und Bild 6-10 zeigen 113 Werte aus Messungen an 32 Drehofenanlagen, 3 Werte nach DIN, 110 Werte nach WHO.

6.8 Polychlorinated biphenyls (PCB)

The emission behaviour of PCB is comparable to that of dioxins and furans. PCB may be introduced into the process via alternative raw materials and fuels. The rotary kiln systems of the cement industry guarantee a virtually complete destruction of these trace components.

Figure 6-9 and Figure 6-10 show 113 values from measurements at 32 rotary kilns, 3 values acc. to DIN, 110 values acc. to WHO.

Bild 6-9 Polychlorierte Biphenyle (PCB nach DIN, Messwerte 2020)

Fig. 6-9 Polychlorinated biphenyls (PCB acc. to DIN, measurements 2020)

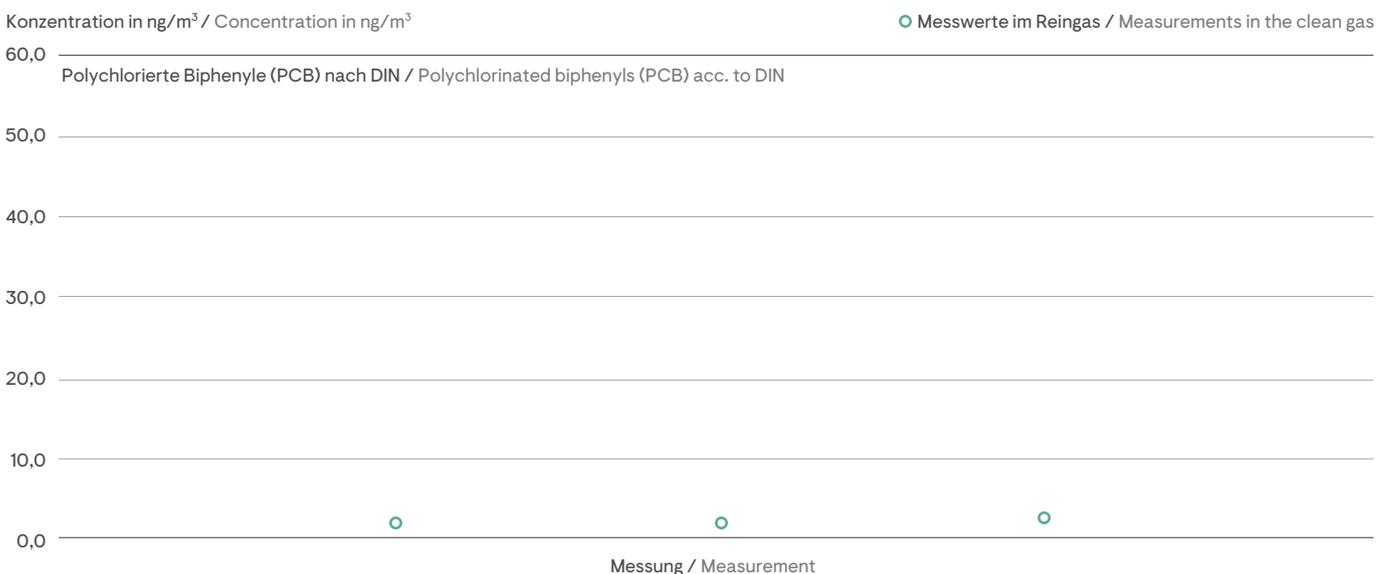
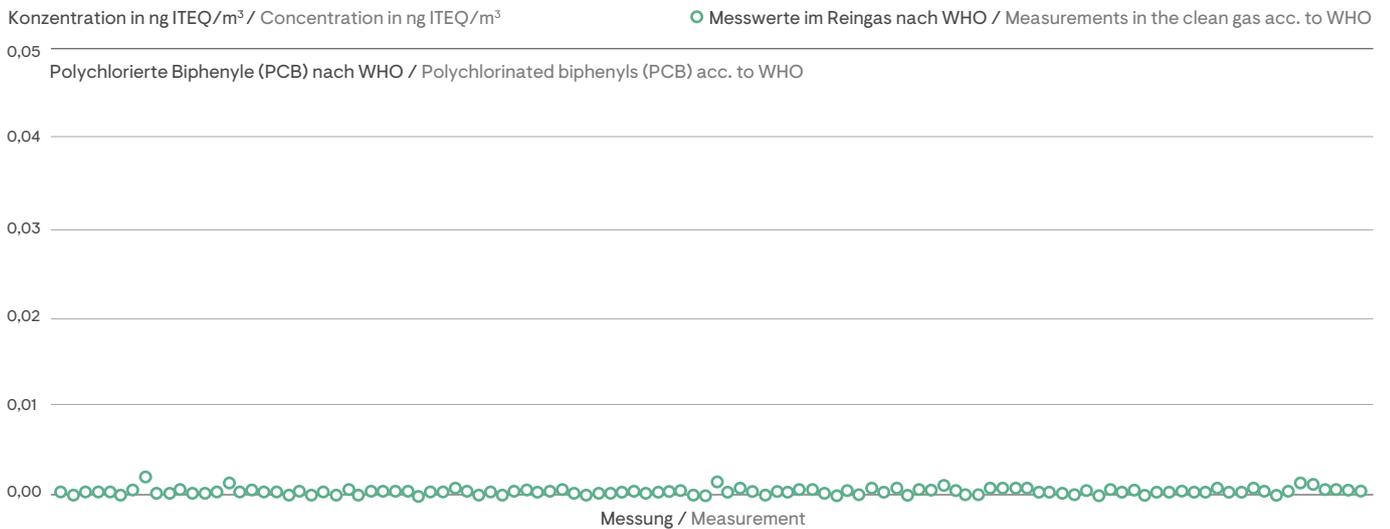


Bild 6-10 Polychlorierte Biphenyle (PCB nach WHO, Messwerte 2020)

Fig. 6-10 Polychlorinated biphenyls (PCB acc. to WHO, measurements 2020)



6.9 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Im Abgas von Drehofenanlagen der Zementindustrie liegt im Allgemeinen eine Verteilung der PAK (nach EPA 610) vor, in der Naphthalin mit einem Massenanteil von über 90% dominiert. In Drehofenanlagen der Zementindustrie ist eine praktisch vollständige Zerstörung der aus den Brennstoffen stammenden PAK gewährleistet. Emissionen entstammen den organischen Bestandteilen im Rohmaterial.

Bild 6-11 zeigt 34 Messwerte der Konzentration von PAK im Reingas von 10 Drehofenanlagen.

6.9 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)

PAHs (according to EPA 610) in the exhaust gas of rotary kilns usually appear at a distribution dominated by naphthalene, which accounts for a share of more than 90 % by mass. The rotary kiln systems of the cement industry guarantee a virtually complete destruction of the PAHs input via fuels. Emissions are caused by organic constituents in the raw material.

Figure 6-11 shows 34 PAH concentration values in the clean gas at 10 rotary kilns.

Bild 6-11 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK nach EPA 610, Messwerte 2020)

Fig. 6-11 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH acc. to EPA 610, measurements 2020)

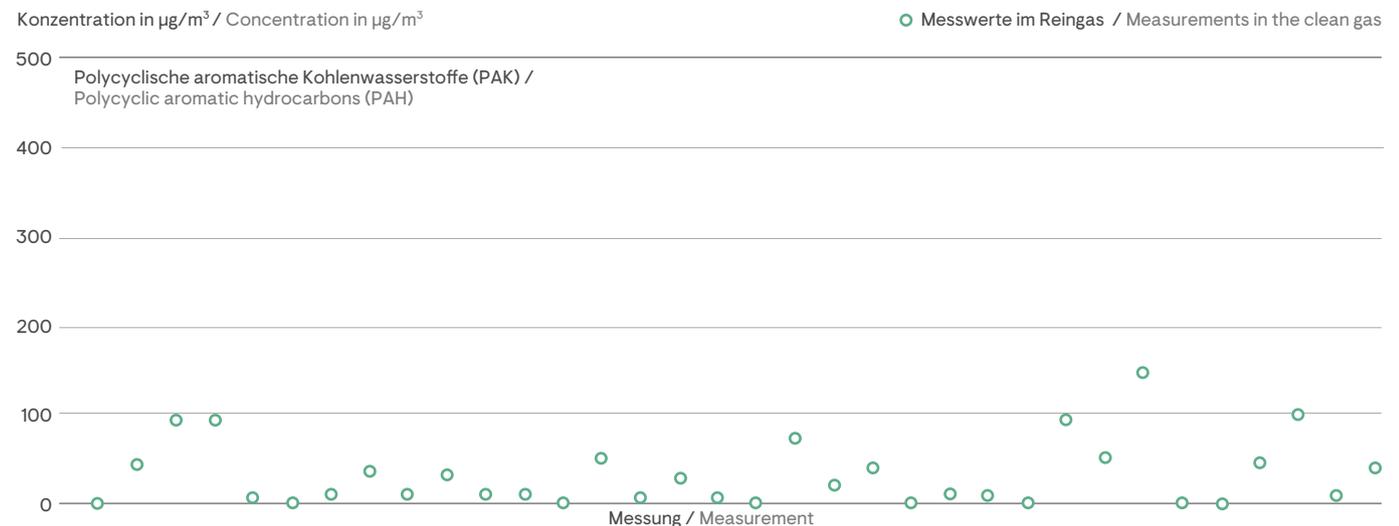
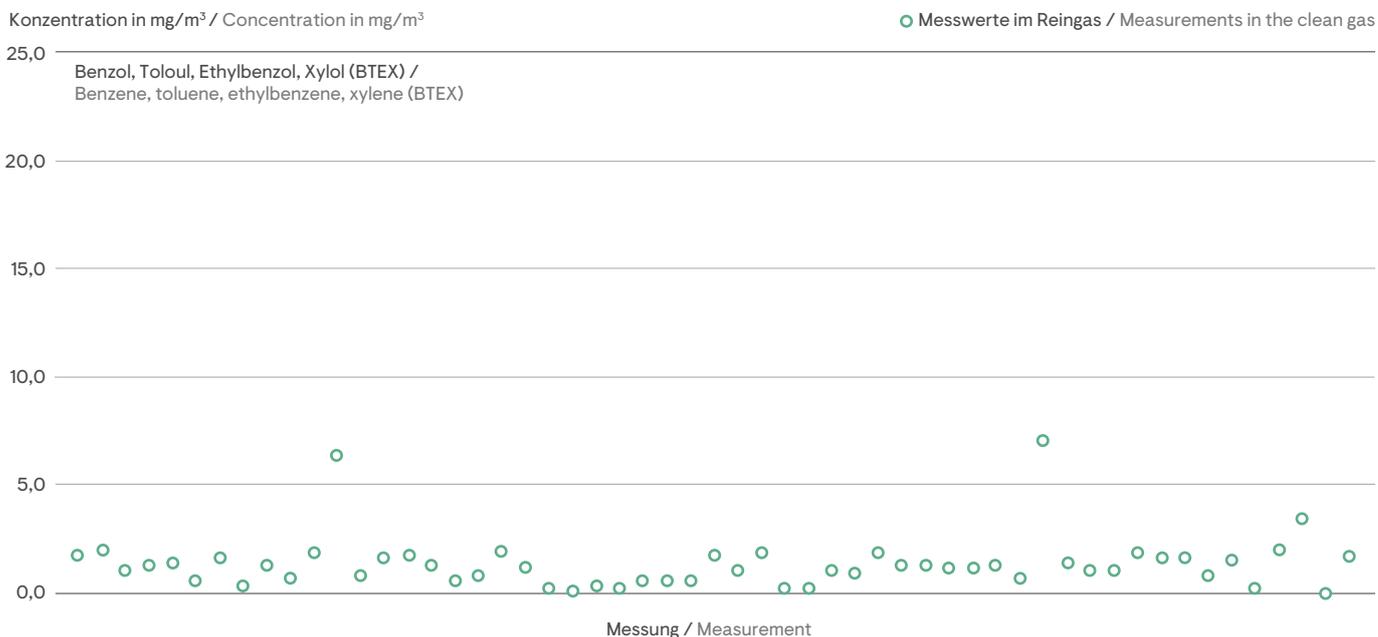


Bild 6-12 Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol BTEX (Messwerte 2020)**Fig. 6-12 Benzene, toluene, ethylbenzene, xylene BTEX (measurements 2020)****6.10 Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol (BTEX)**

Im Abgas von Drehofenanlagen der Zementindustrie liegen die oben genannten Verbindungen im Allgemeinen in einer charakteristischen Verteilung vor. BTEX entstehen bei der thermischen Zersetzung organischer Bestandteile des Rohmaterials im Vorwärmer. Sie sind zu etwa 10 % an den Gesamtkohlenstoffemissionen beteiligt.

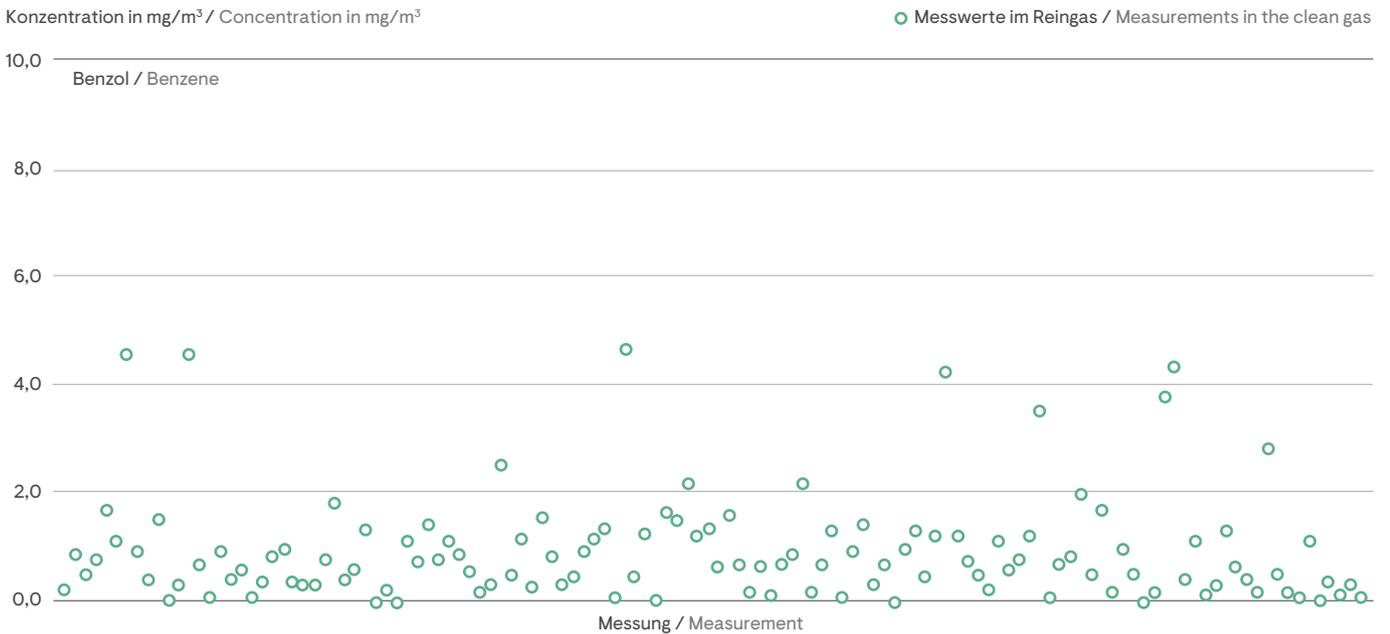
In 2020 wurden 55 Werte aus Messungen der BTEX-Konzentration im Reingas von 15 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-12).

6.10 Benzene, toluene, ethylbenzene, xylene (BTEX)

As a rule the above compounds are present in the exhaust gas of rotary kilns in a characteristic ratio. BTEX is formed during the thermal decomposition of organic raw material constituents in the preheater. They account for about 10 % of total carbon emissions.

Figure 6-12 shows 55 BTEX concentration values from measurements in the clean gas at 15 rotary kilns.

Bild 6-13 Benzol (C₆H₆, Messwerte 2020)
Fig. 6-13 Benzene (C₆H₆, measurements 2020)



6.11 Benzol (C₆H₆)

Benzol entsteht bei der thermischen Zersetzung organischer Bestandteile des Rohmaterials im Vorwärmer. Es ist im Allgemeinen zu mehr als der Hälfte an den Emissionen von BTEX beteiligt.

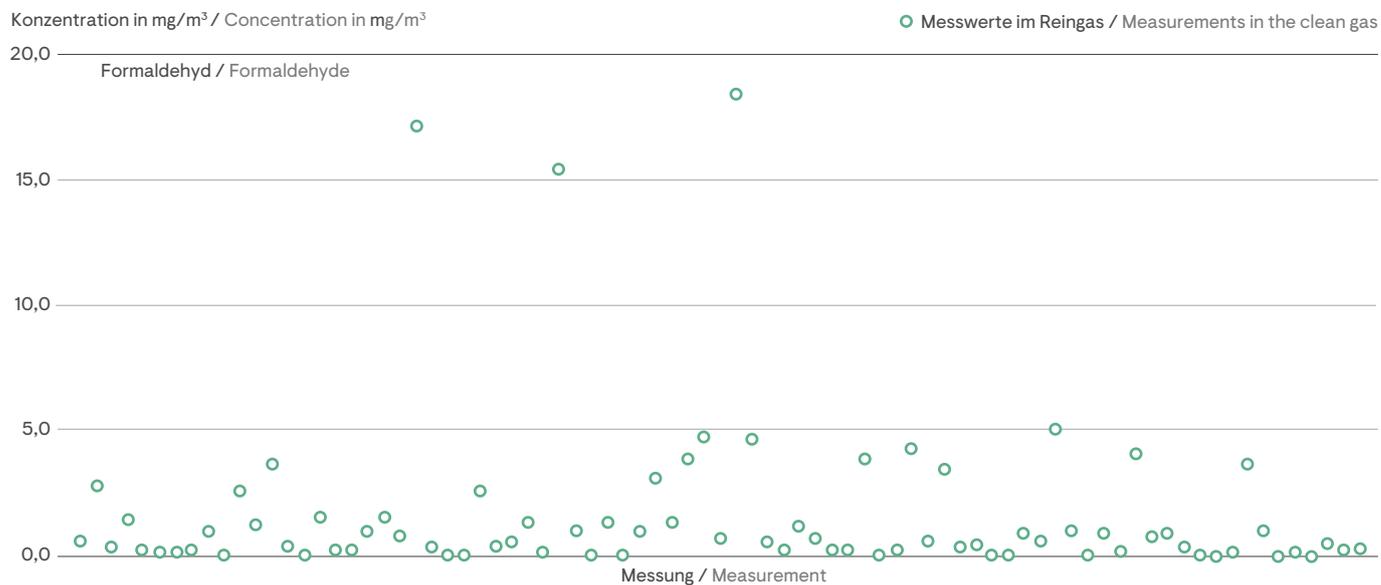
Bild 6-13 zeigt 126 Werte aus Messungen der Benzolkonzentration im Reingas von 36 Ofenanlagen.

6.11 Benzene (C₆H₆)

Benzene is produced during the thermal decomposition of organic raw material constituents in the preheater. As a rule, it accounts for more than half of the BTEX emissions.

Figure 6-13 shows 126 benzene concentration values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

Bild 6-14 Formaldehyd (CH₂O, Messwerte 2020)
Fig. 6-14 Formaldehyde (CH₂O, measurements 2020)



6.12 Formaldehyd (CH₂O)

In 2020 wurden 81 Werte aus Messungen im Reingas von 23 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-14).

6.12 Formaldehyde (CH₂O)

Figure 6-14 shows 81 values from clean gas measurements at 23 rotary kilns.

6.13 Benzo(a)pyren (C₂₀H₁₂)

In 2020 wurden 117 Werte aus Messungen an 15 Ofenanlagen ermittelt (Bild 6-15). Dabei konnte in 110 Fällen kein Benzo(a)pyren nachgewiesen werden.

6.13 Benzo(a)pyren (C₂₀H₁₂)

Figure 6-15 shows 117 values from clean gas measurements at 15 rotary kilns. In 110 cases no benzo(a)pyren was detected.

Bild 6-15 Benzo(a)pyren (C₂₀H₁₂, Messwerte 2020)
Fig. 6-15 Benzo(a)pyren (C₂₀H₁₂, measurements 2020)

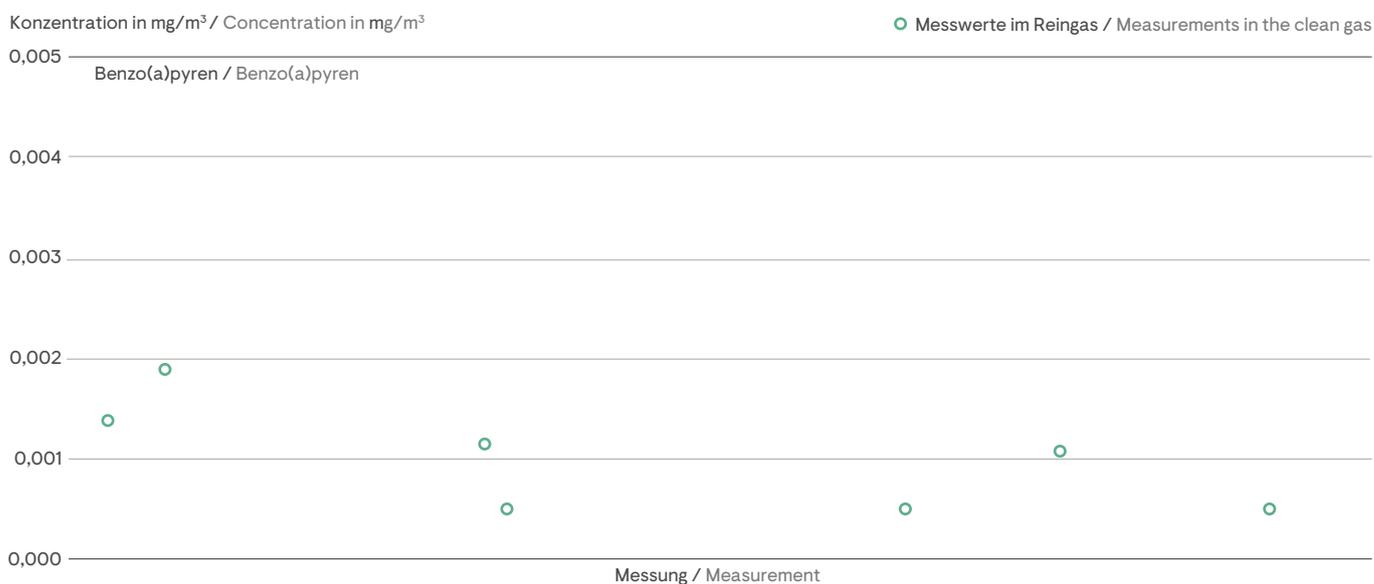
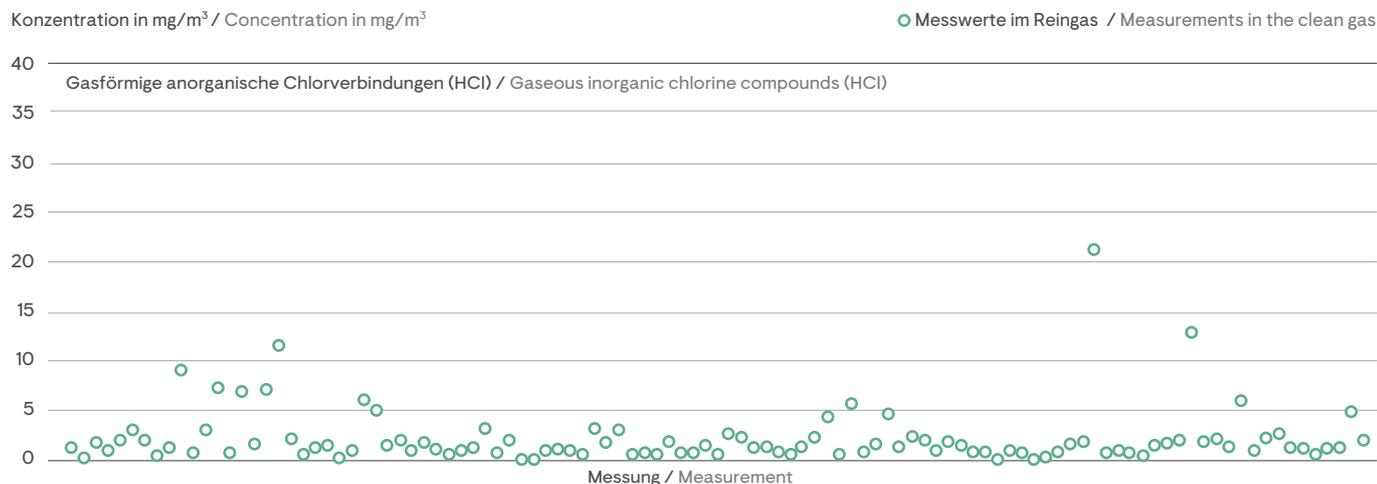


Bild 6-16 Gasförmige anorganische Chlorverbindungen (HCl, Messwerte 2020)
Fig. 6-16 Gaseous inorganic chlorine compounds (HCl, measurements 2020)



6.14 Gasförmige anorganische Chlorverbindungen (HCl)

Rohmaterialien und Brennstoffe des Klinkerbrennprozesses enthalten als Nebenbestandteile Chloride. Sie werden beim Verfeuern der Brennstoffe oder Erhitzen des Brennguts freigesetzt und reagieren überwiegend mit den Alkalien aus dem Brenngut unter Bildung von Alkalichloriden. Diese zunächst dampfförmig vorliegenden Verbindungen kondensieren bei Temperaturen zwischen 700 °C und 900 °C am Brenngut bzw. am Ofengasstaub, gelangen anschließend erneut in den Drehofen und verdampfen erneut. Dieser Kreislauf im Bereich zwischen Drehofen und Vorwärmer kann zur Bildung von Ansätzen führen. Über einen Gasabzug am Ofeneinlauf können Alkalichloridkreisläufe wirkungsvoll reduziert und damit Betriebsstörungen vermindert werden. Gasförmige anorganische Chlorverbindungen werden beim Klinkerbrennprozess nicht oder nur in sehr geringen Mengen emittiert. Das Auftreten von Chlorwasserstoff (HCl) im Abgas kann aufgrund der basischen Ofenatmosphäre weitgehend ausgeschlossen werden. Werden gasförmige anorganische Chloride im Abgas von Drehofenanlagen nachgewiesen, so ist dies im Allgemeinen auf feinste Kornfraktionen von Alkalichloriden im Reingasstaub zurückzuführen. Sie können Messgasfilter passieren und das Vorliegen der gasförmigen Verbindungen vortäuschen.

Bild 6-16 zeigt 107 Werte aus Messungen der HCl-Konzentration im Reingas von 37 Drehofenanlagen.

6.15 Gasförmige anorganische Fluorverbindungen (HF)

Fluor liegt in Drehöfen der Zementindustrie zu 90 bis 95 % im Klinker und der Rest in Form des unter den Bedingungen des Brennbetriebs stabilen Calciumfluorids an Staub gebunden vor. Die Emission gasförmiger Fluorverbindungen, insbesondere auch von Fluorwasserstoff, ist wegen des hohen Calciumüber-

6.14 Gaseous inorganic chlorine compounds (HCl)

Chlorides are minor additional constituents contained in the raw materials and fuels of the clinker burning process. They are released when the fuels are burnt or the kiln feed is heated and primarily react with the alkalis from the kiln feed to form alkali chlorides. These compounds, which are initially vaporous, condense on the kiln feed or the kiln dust, respectively, at temperatures between 700 °C and 900 °C, subsequently re-enter the rotary kiln system and evaporate again. This cycle in the area between the rotary kiln and the preheater can result in coating formation. A bypass at the kiln inlet allows to effectively reduce alkali chloride cycles and to thus diminish operational malfunctions. During the clinker burning process gaseous inorganic chlorine compounds are either not emitted at all or only in very small quantities. Owing to the alkaline kiln gas atmosphere, the formation of hydrogen chloride (HCl) in the exhaust gas can be largely ruled out. Gaseous inorganic chlorides detected in the exhaust gas of rotary kiln systems are generally attributable to ultra-fine grain size fractions of alkali chlorides in the clean gas dust. They can pass through measuring gas filters, thus feigning the presence of the gaseous compounds.

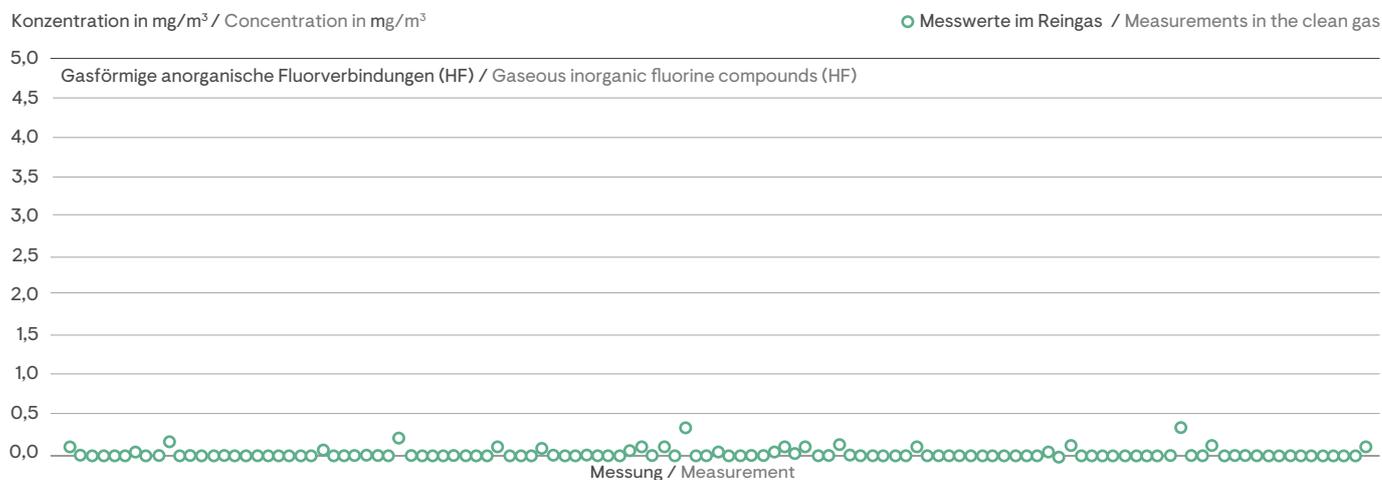
Figure 6-16 shows 107 HCl concentration values from measurements in the clean gas at 37 rotary kilns.

6.15 Gaseous inorganic fluorine compounds (HF)

Of the fluorine present in rotary kilns, 90 to 95 % is bound in the clinker and the remainder is bound with dust in the form of calcium fluoride stable under the conditions of the burning process. Owing to the great calcium excess, the emission of gaseous fluorine compounds and of hydrogen fluoride in particular, is virtually excluded.

Bild 6-17 Gasförmige anorganische Fluorverbindungen (HF, Messwerte 2020)

Fig. 6-17 Gaseous inorganic fluorine compounds (HF, measurements 2020)



schusses praktisch ausgeschlossen. Feinste Staubfraktionen, die das Messgasfilter passieren, können bei Drehofenanlagen der Zementindustrie geringe Gehalte an gasförmigen Fluorverbindungen vortäuschen.

Bild 6-17 zeigt 119 Werte aus Messungen der HF-Konzentration im Reingas von 37 Drehofenanlagen.

6.16 Spurenelemente

Für das Emissionsverhalten der einzelnen Elemente im Klinkerbrennprozess sind die Eintragungssituation, das Verhalten in der Anlage sowie der Abscheidegrad der Entstaubungseinrichtung von Bedeutung. Die mit den Roh- und Brennstoffen dem Brennprozess zugeführten Spurenelemente können in Abhängigkeit von ihrer Flüchtigkeit ganz oder teilweise in den heißen Zonen des Vorwärmers und/oder Drehofens verdampfen, mit den in der Gasphase vorliegenden Bestandteilen reagieren und in den kälteren Bereichen des Ofensystems auf dem Brenngut kondensieren. Je nach Flüchtigkeit und Betriebsbedingungen können sich Kreisläufe ausbilden, die entweder auf Ofen und Vorwärmer beschränkt bleiben oder auch die Mahltrocknungsanlage mit einschließen.

Spurenelemente aus den Brennstoffen gelangen zunächst in die Verbrennungsgase, werden jedoch aufgrund des Rückhaltevermögens von Ofen und Vorwärmer nur in äußerst geringem Maße emittiert. Tabelle 6-2 enthält repräsentative Emissionsfaktoren für Drehofenanlagen mit Zyklonvorwärmer. Mit ihnen lässt sich abschätzen, welcher Anteil der Spurenelemente aus den Roh- und Brennstoffen durchschnittlich mit dem Reingas emittiert wird.

ed. Ultra-fine dust fractions that pass through the measuring gas filter may simulate low contents of gaseous fluorine compounds in rotary kiln systems of the cement industry.

Figure 6-17 shows 119 HF concentration values from measurements in the clean gas at 37 rotary kilns.

6.16 Trace elements

The emission behaviour of the individual elements in the clinker burning process is determined by the input scenario, the behaviour in the process and the precipitation efficiency of the dust collection device. The trace elements introduced into the burning process via the raw materials and fuels may evaporate completely or partially in the hot zones of the preheater and/or rotary kiln depending on their volatility, react with the constituents present in the gas phase and condense on the kiln feed in the cooler sections of the kiln system. Depending on the volatility and the operating conditions, this may result in the formation of cycles that are either restricted to the kiln and the preheater or include the combined drying and grinding plant as well.

Trace elements from the fuels initially enter the combustion gases, but are emitted to an extremely small extent only owing to the retention capacity of the kiln and the preheater. Table 6-2 gives representative emission factors for rotary kiln systems equipped with cyclone preheaters. These coefficients serve to calculate the average proportion of trace elements from raw materials and fuels emitted with the clean gas.

Tabelle 6-2 Emissionsfaktoren (EF, emittierter Anteil des Gesamteintrags) für Drehofenanlagen mit Zyklonvorwärmer
Table 6-2 Emission factors (EF, emitted portion of the total input) for rotary kiln systems with cyclone pre-heater

Komponente / Component	EF in % / EF in %
Cadmium / Cadmium	0,17
Thallium / Thallium	1,3
Quecksilber / Mercury	40,0
Antimon / Antimony	0,03
Arsen / Arsenic	0,023
Blei / Lead	0,05
Chrom / Chromium	0,012
Cobalt / Cobalt	0,019
Kupfer / Copper	0,0093
Mangan / Manganese	0,018
Nickel / Nickel	0,03
Vanadium / Vanadium	0,052
Zinn / Tin	0,074

Quelle / Source: Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen

Unter den Bedingungen des Klinkerbrennprozesses werden die nichtflüchtigen Elemente (z. B. Arsen, Vanadium, Nickel) vollständig in den Klinker eingebunden. Elemente wie Blei und Cadmium reagieren im Bereich zwischen Drehofen und Vorwärmer bevorzugt mit den im Überschuss zur Verfügung stehenden Chloriden und Sulfaten zu schwerflüchtigen Verbindungen. Aufgrund des hohen Oberflächenangebots kondensieren diese Verbindungen bei Temperaturen zwischen 700 °C und 900 °C an den Brenngutpartikeln. Die im Ofen-Vorwärmer-System gespeicherten schwerflüchtigen Elemente werden so im Zyklonvorwärmer wieder abgeschieden und verbleiben praktisch vollständig im Klinker.

Thallium und seine Verbindungen kondensieren im oberen Bereich des Zyklonvorwärmers bei Temperaturen zwischen 450 °C und 500 °C, sodass sich zwischen Vorwärmer, Rohmaterialtrocknung und Abgasreinigungsanlage ein Kreislauf ausbilden kann.

Quecksilber und seine Verbindungen werden in Ofen und Vorwärmer nicht abgeschieden. Auf dem Abgasweg kondensieren sie infolge der Abkühlung des Gases und werden von den Rohmaterialpartikeln teilweise adsorbiert. Dieser Anteil wird im Ofenabgasfilter abgeschieden.

Aufgrund des Verhaltens der Spurenelemente beim Klinkerbrennprozess sowie der hohen Abscheideleistung der Entstaubungseinrichtungen liegen die Emissionskonzentrationen der Spurenelemente insgesamt auf einem niedrigen Niveau.

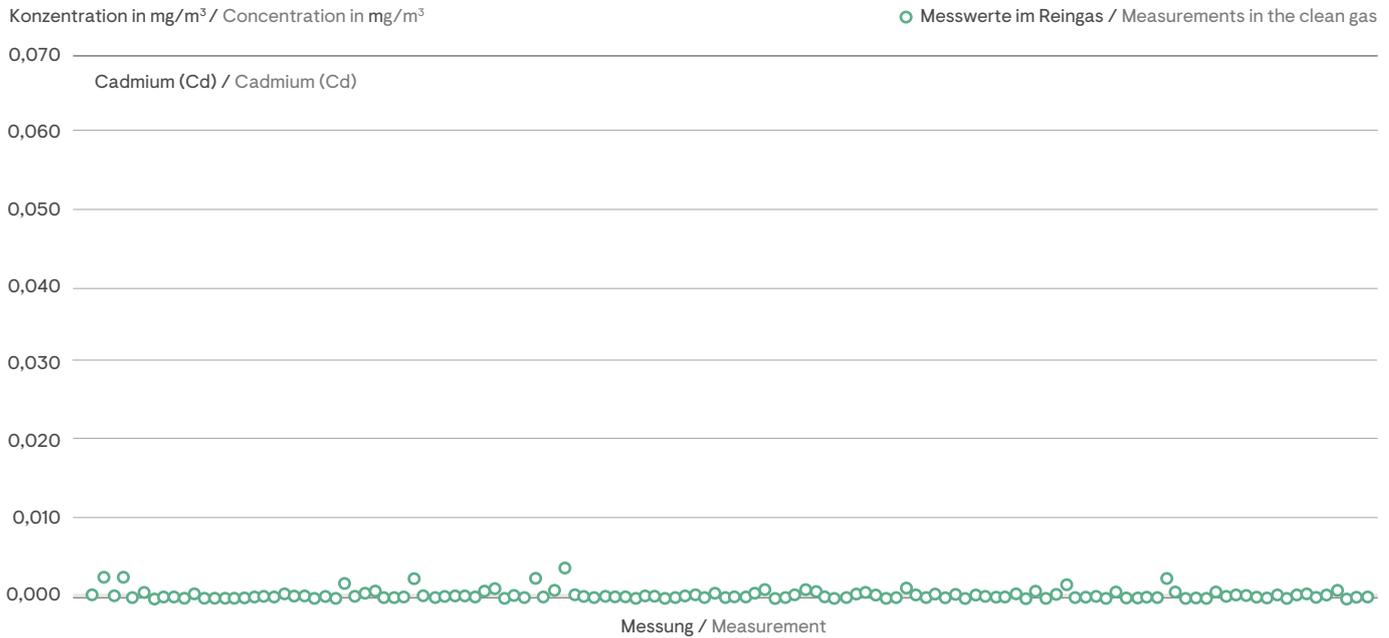
Under the conditions prevailing in the clinker burning process, non-volatile elements (e.g. arsenic, vanadium, nickel) are completely bound in the clinker. Elements such as lead and cadmium preferably react with the excess chlorides and sulphates in the section between the rotary kiln and the preheater, forming low-volatile compounds. Owing to the large surface area available, these compounds condense on the kiln feed particles at temperatures of between 700 °C and 900 °C. In this way, the low-volatile elements accumulated in the kiln-preheater-system are precipitated again in the cyclone preheater, remaining almost completely in the clinker.

Thallium and its compounds condense in the upper zone of the cyclone preheater at temperatures of between 450 °C and 500 °C. As a consequence, a cycle can be formed between preheater, raw material drying and exhaust gas purification.

Mercury and its compounds are not precipitated in the kiln and the preheater. They condense on the exhaust gas route due to the cooling of the gas and are partially adsorbed by the raw material particles. This portion is precipitated in the kiln exhaust gas filter.

Owing to trace element behaviour during the clinker burning process and the high precipitation efficiency of the dust collection devices, trace element emission concentrations are on a low overall level.

Bild 6-18 Cadmium (Cd, Messwerte 2020)
Fig. 6-18 Cadmium (Cd, measurements 2020)



6.16.1 Cadmium (Cd)

In 2020 wurden 128 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-18).

6.16.1 Cadmium (Cd)

Figure 6-18 shows 128 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

6.16.2 Thallium (Tl)

In 2020 wurden 128 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-19).

6.16.2 Thallium (Tl)

Figure 6-19 shows 128 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

Bild 6-19 Thallium (Tl, Messwerte 2020)
Fig. 6-19 Thallium (Tl, measurements 2020)

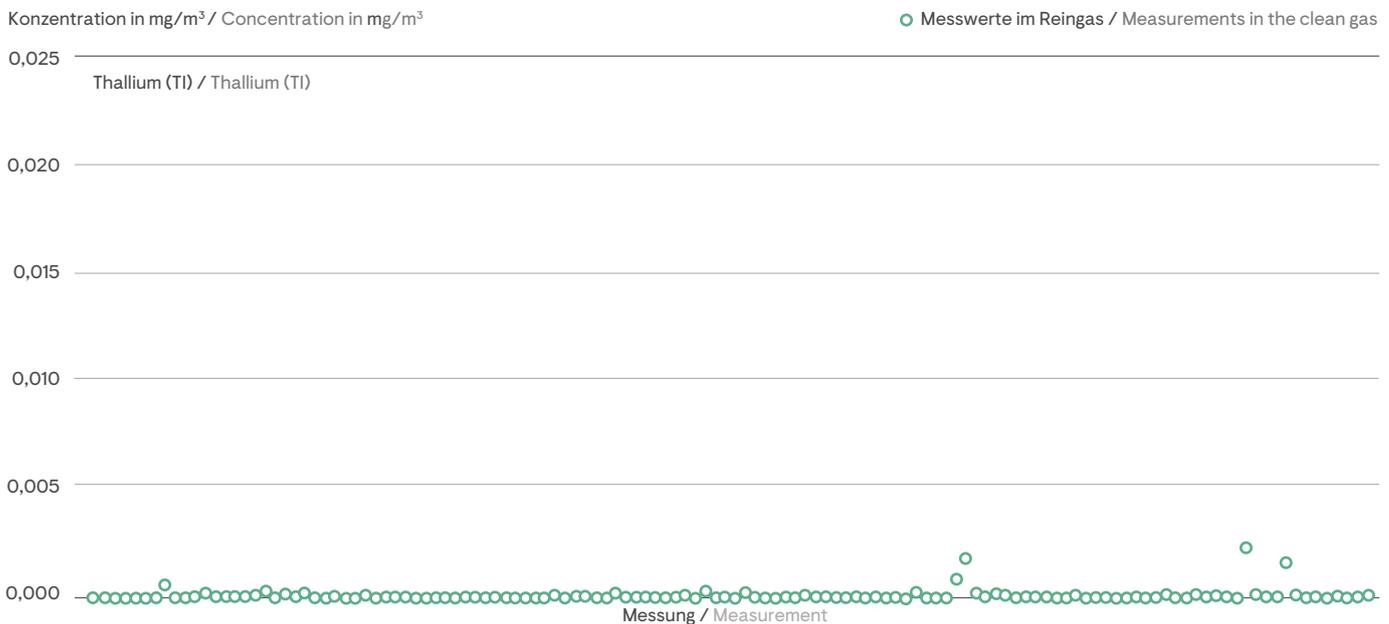
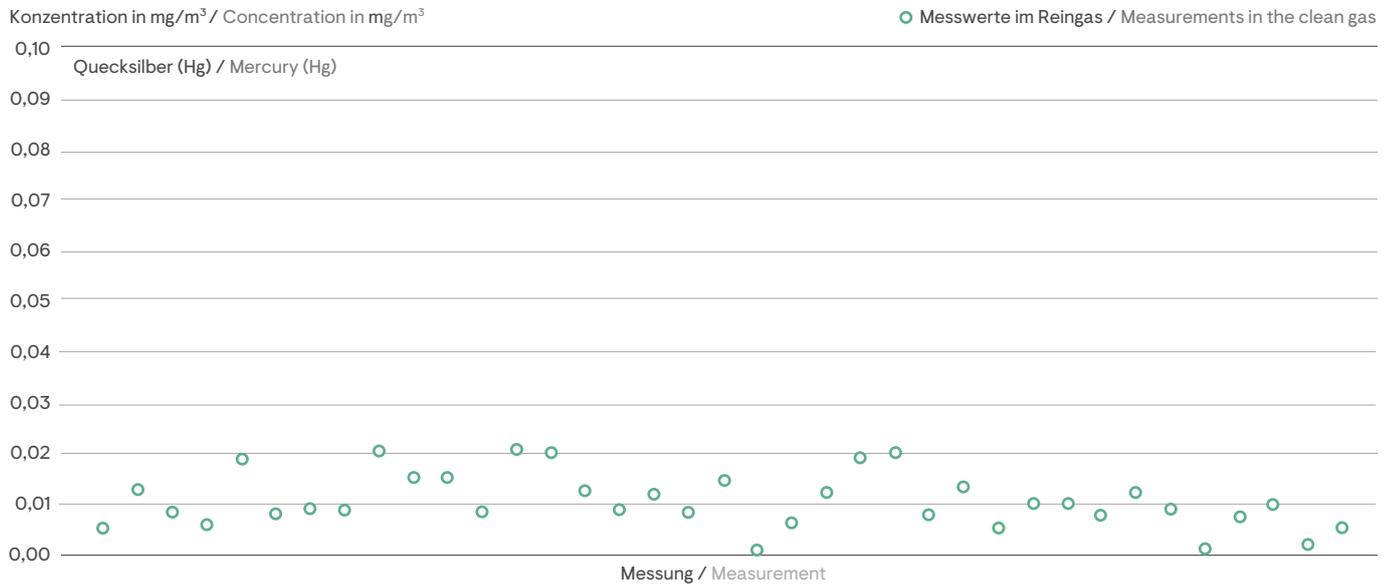


Bild 6-20 Quecksilber (Hg, Jahresmittelwerte 2020)
Fig. 6-20 Mercury (Hg, Annual mean values 2020)



6.16.3 Quecksilber (Hg)

In 2020 wurden 37 Jahresmittelwerte der Hg-Konzentration aus kontinuierlicher Überwachung von 37 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-20).

6.16.4 Antimon (Sb)

In 2020 wurden 134 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-21).

6.16.3 Mercury (Hg)

Figure 6-20 shows 37 annual average Hg concentration values from continuous monitoring at 37 rotary kilns.

5.16.4 Antimony (Sb)

Figure 6-21 shows 134 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

Bild 6-21 Antimon (Sb, Messwerte 2020)
Fig. 6-21 Antimony (Sb, measurements 2020)

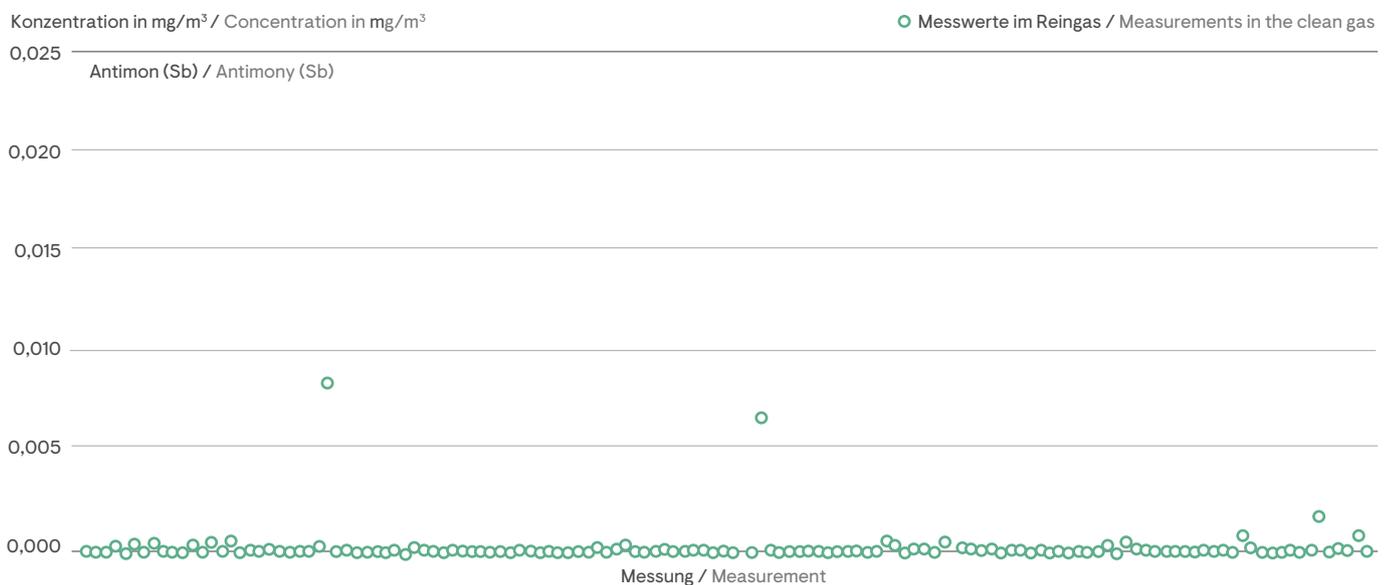
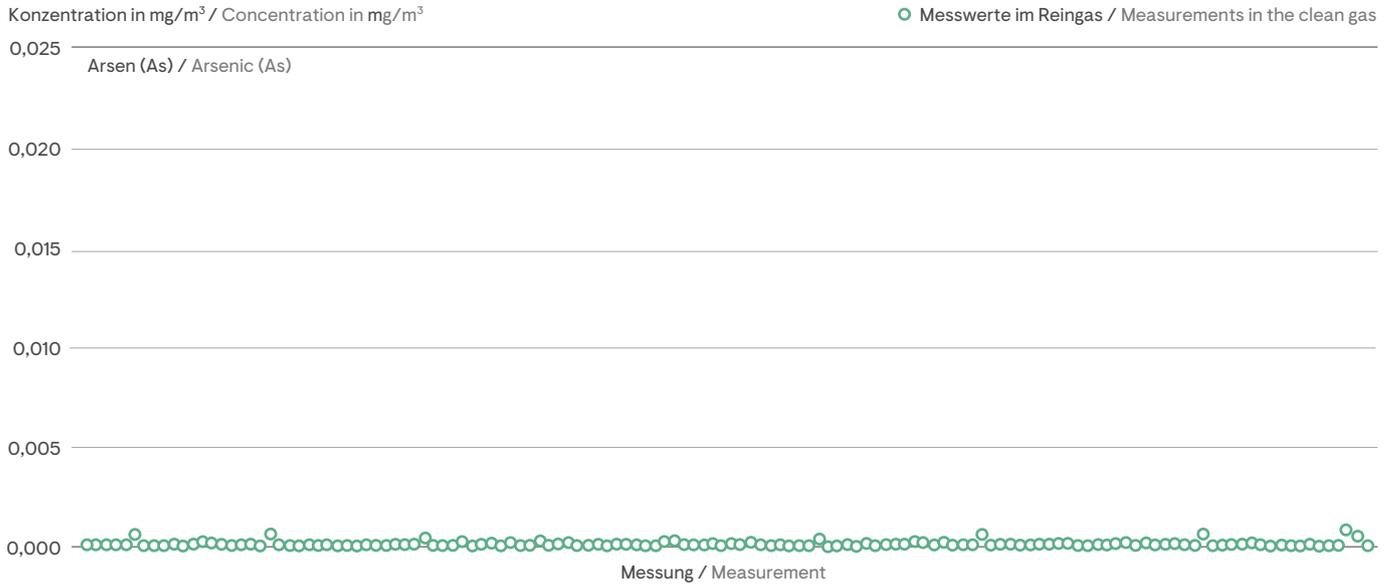


Bild 6-22 Arsen (As, Messwerte 2020)
Fig. 6-22 Arsenic (As, measurements 2020)



6.16.5 Arsen (As)

In 2020 wurden 134 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-22).

6.16.5 Arsenic (As)

Figure 6-22 shows 134 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

6.16.6 Blei (Pb)

In 2020 wurden 139 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-23).

6.16.6 Lead (Pb)

Figure 6-23 shows 139 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

Bild 6-23 Blei (Pb, Messwerte 2020)
Fig. 6-23 Lead (Pb, measurements 2020)

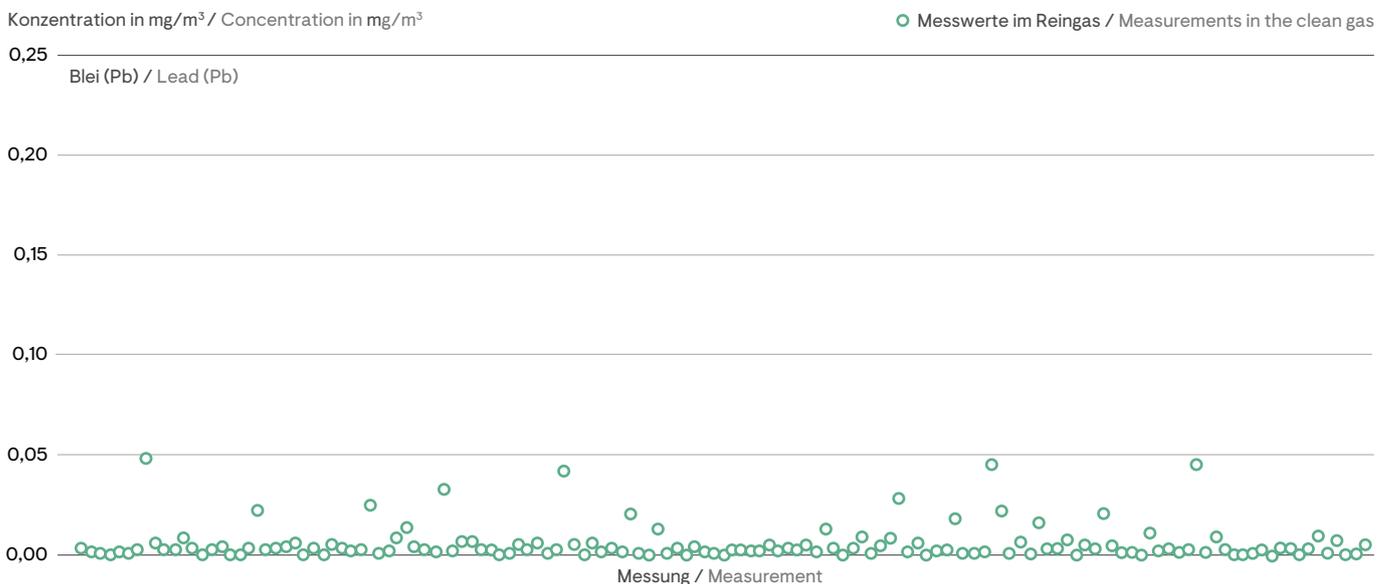
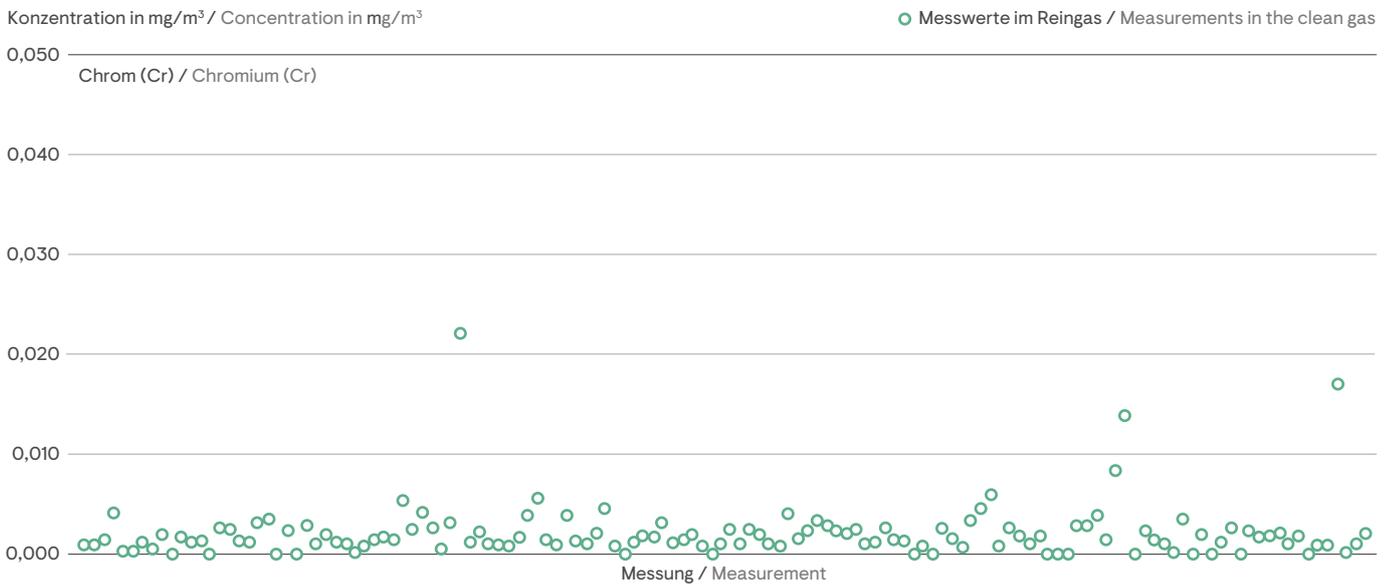


Bild 6-24 Chrom (Cr, Messwerte 2020)
Fig. 6-24 Chromium (Cr, measurements 2020)



6.16.7 Chrom (Cr)

In 2020 wurden 134 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-24).

6.16.7 Chromium (Cr)

Figure 6-24 shows 134 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

6.16.8 Cobalt (Co)

In 2020 wurden 134 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-25).

6.16.8 Cobalt (Co)

Figure 6-25 shows 134 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

Bild 6-25 Cobalt (Co, Messwerte 2020)
Fig. 6-25 Cobalt (Co, measurements 2020)

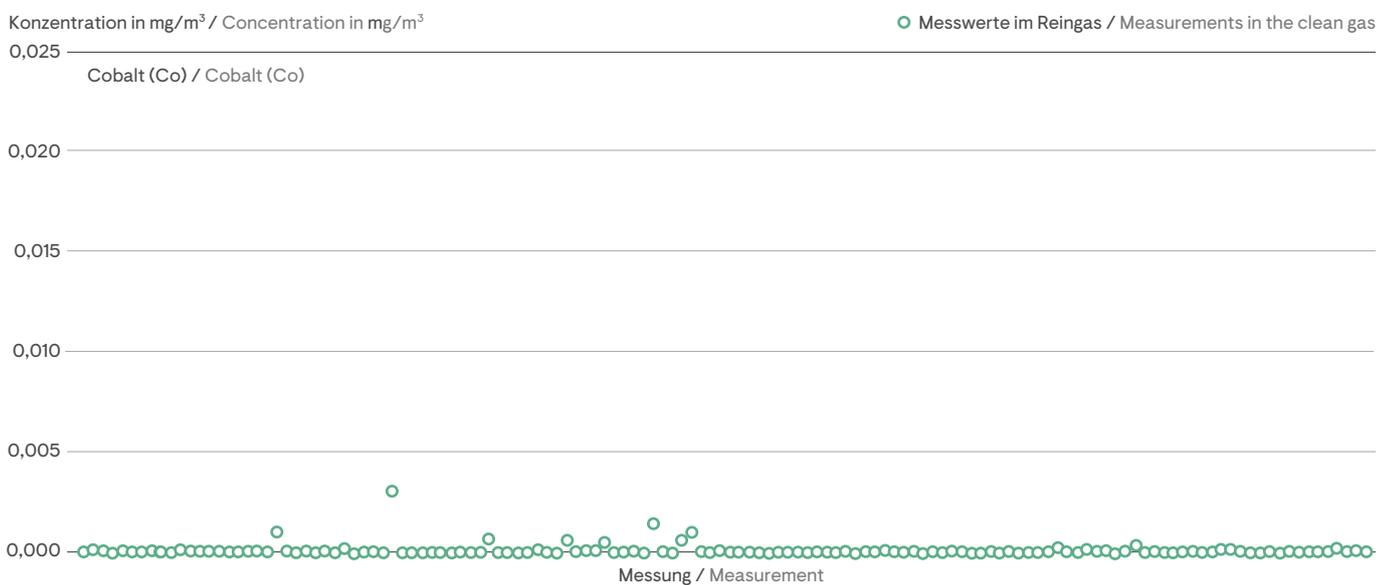
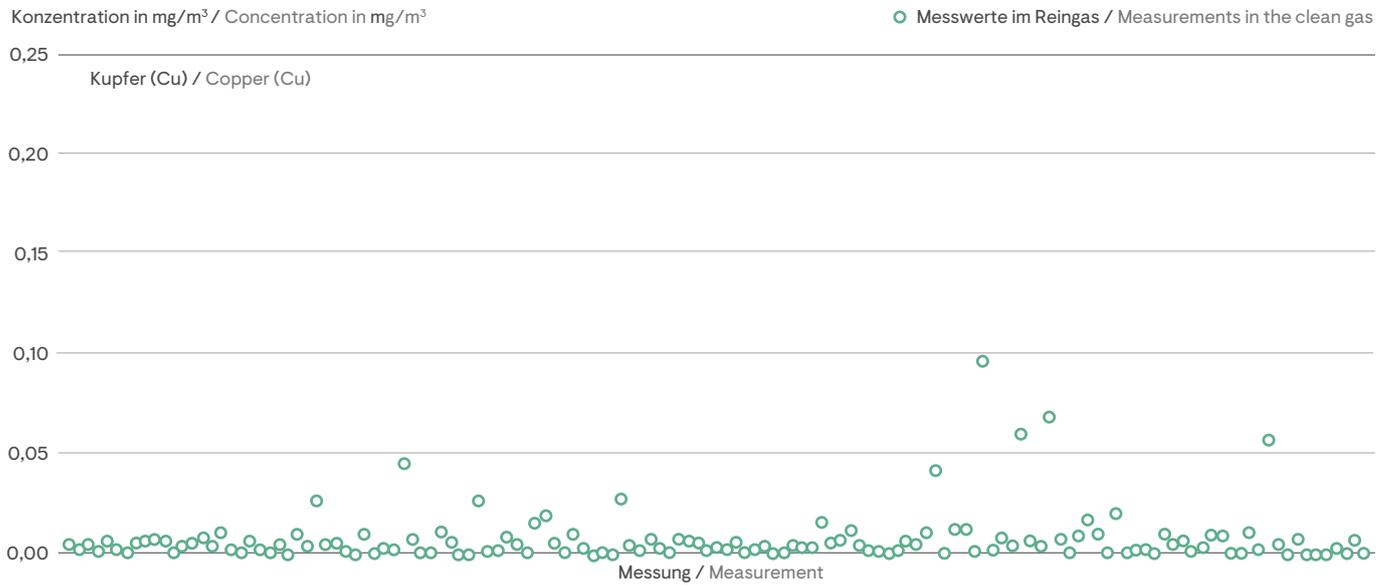


Bild 6-26 Kupfer (Cu, Messwerte 2020)
Fig. 6-26 Copper (Cu, measurements 2020)



6.16.9 Kupfer (Cu)

In 2020 wurden 137 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-26).

6.16.9 Copper (Cu)

Figure 6-26 shows 137 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

6.16.10 Mangan (Mn)

In 2020 wurden 138 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-27).

6.16.10 Manganese (Mn)

Figure 6-27 shows 138 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

Bild 6-27 Mangan (Mn, Messwerte 2020)
Fig. 6-27 Manganese (Mn, measurements 2020)

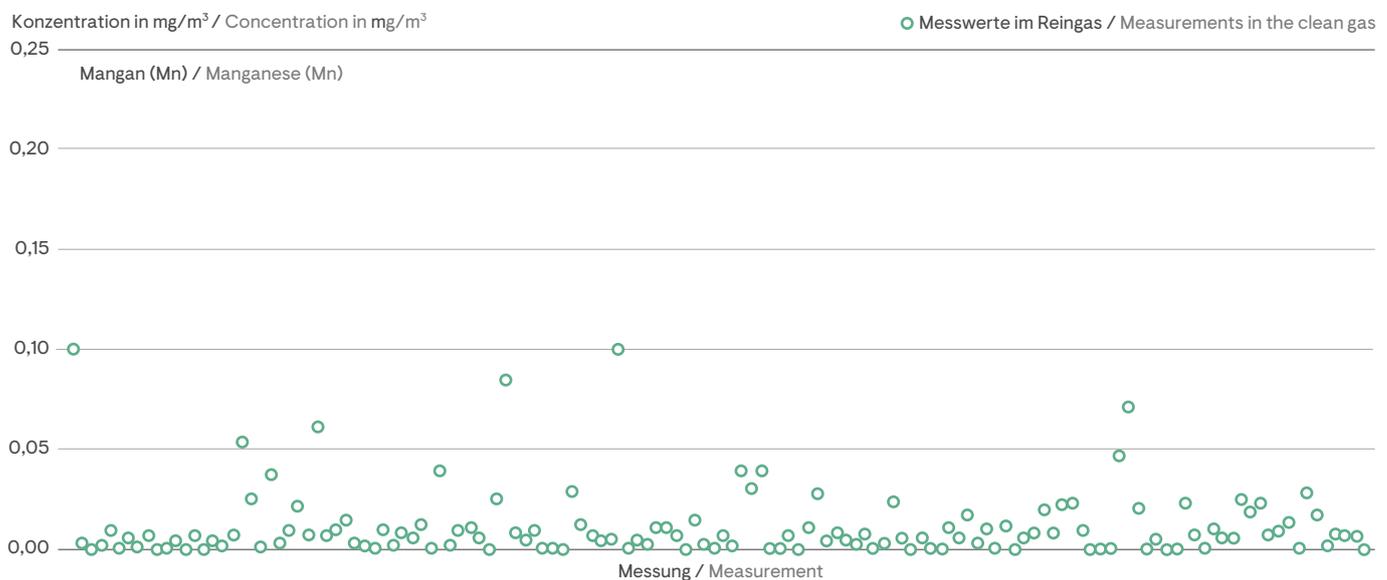
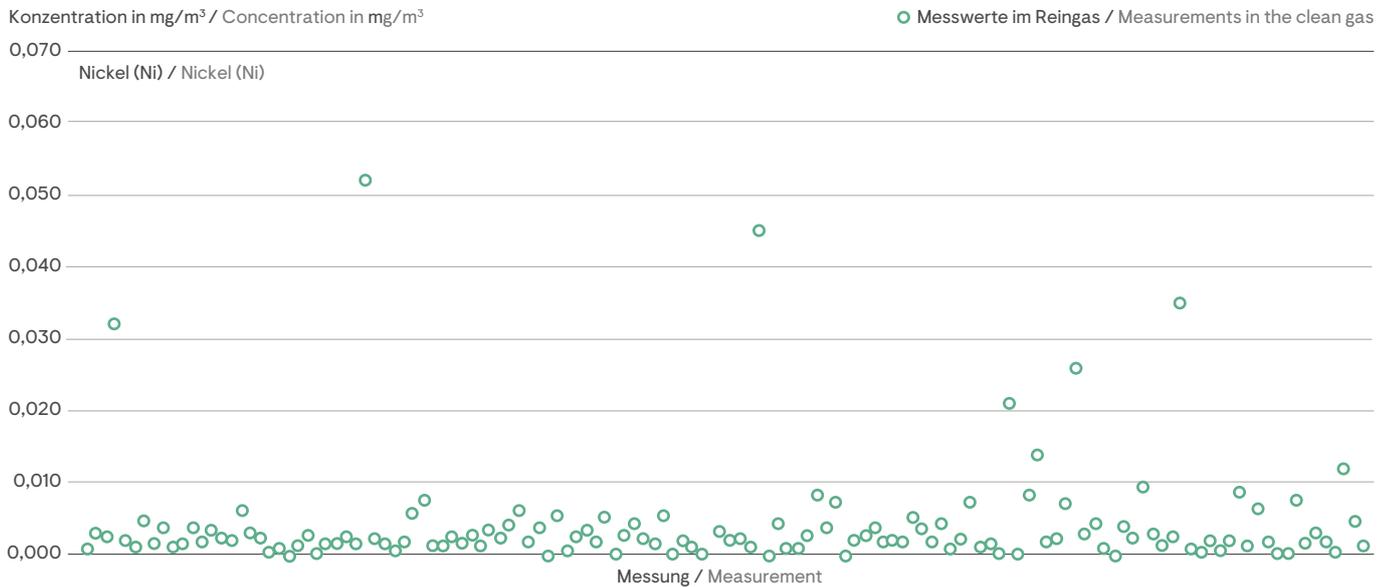


Bild 6-28 Nickel (Ni, Messwerte 2020)**Fig. 6-28 Nickel (Ni, measurements 2020)****6.16.11 Nickel (Ni)**

In 2020 wurden 134 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-28).

6.16.11 Nickel (Ni)

Figure 6-28 shows 134 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

6.16.12 Vanadium (V)

In 2020 wurden 134 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-29).

6.16.12 Vanadium (V)

Figure 6-29 shows 134 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

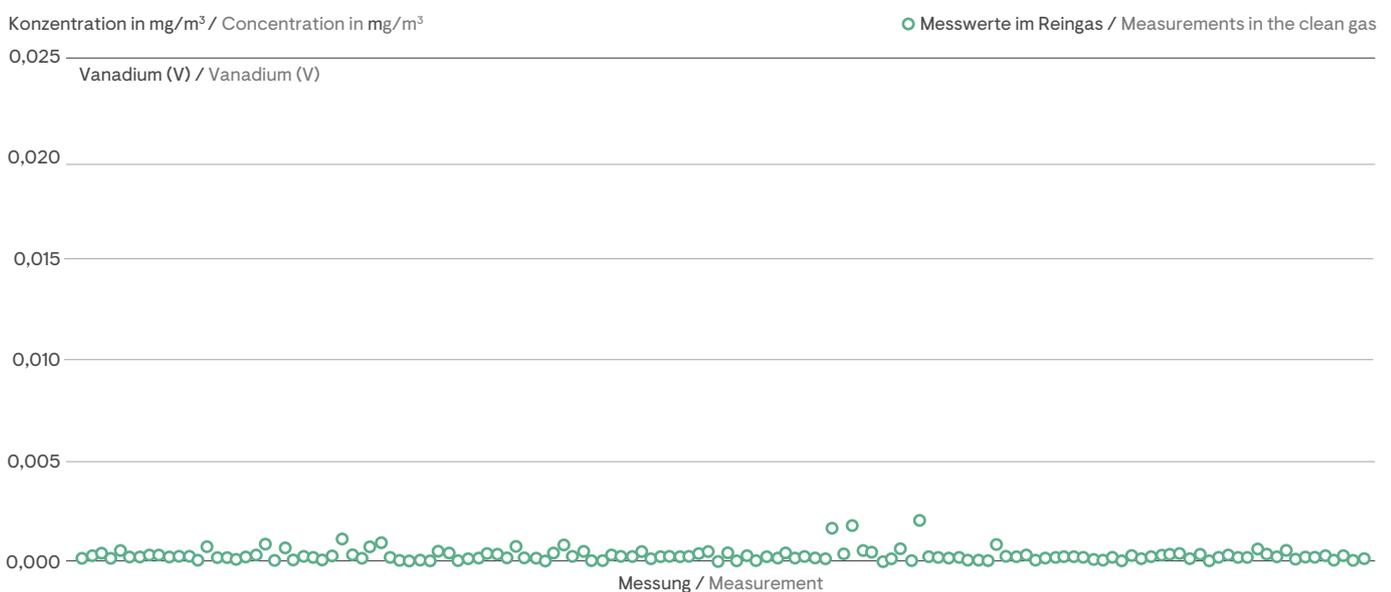
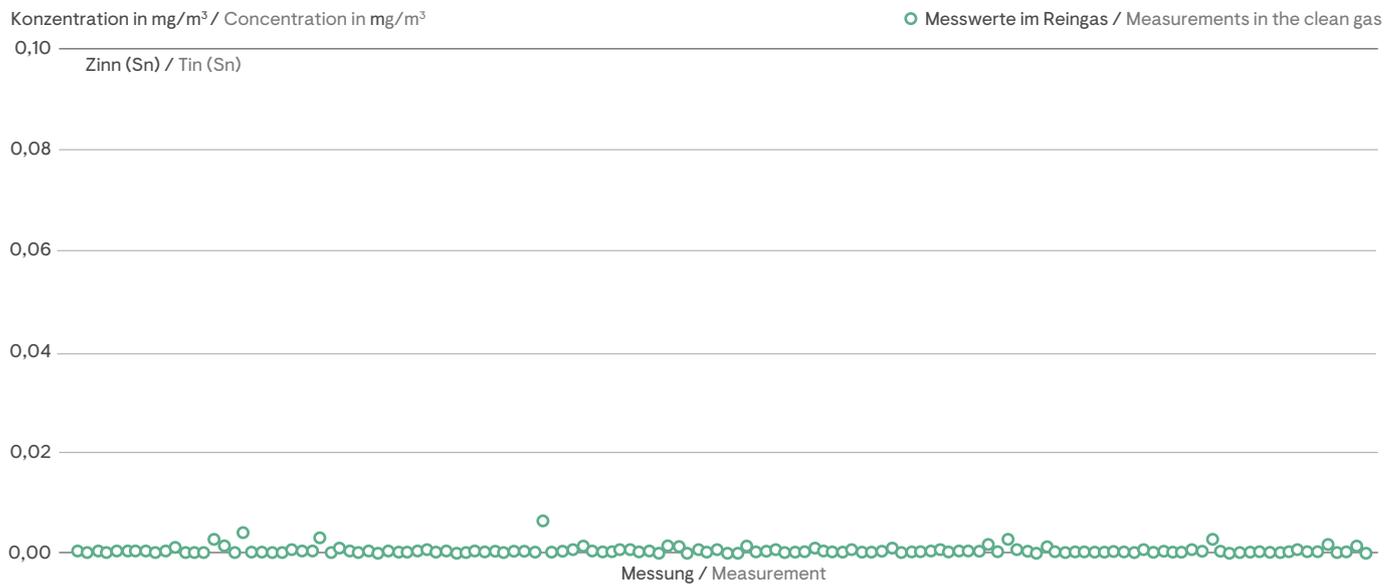
Bild 6-29 Vanadium (V, Messwerte 2020)**Fig. 6-29 Vanadium (V, measurements 2020)**

Bild 6-30 Zinn (Sn, Messwerte 2020)**Fig. 6-30 Tin (Sn, measurements 2020)****6.16.13 Zinn (Sn)**

In 2020 wurden 134 Werte aus Messungen im Reingas von 36 Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-30).

6.16.13 Tin (Sn)

Figure 6-30 shows 134 values from measurements in the clean gas at 36 rotary kilns.

6.16.14 Beryllium (Be)

In 2020 wurden sechs Werte aus Messungen im Reingas von zwei Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-31).

6.16.14 Beryllium (Be)

Figure 6-31 shows six values from measurements in the clean gas at two rotary kilns.

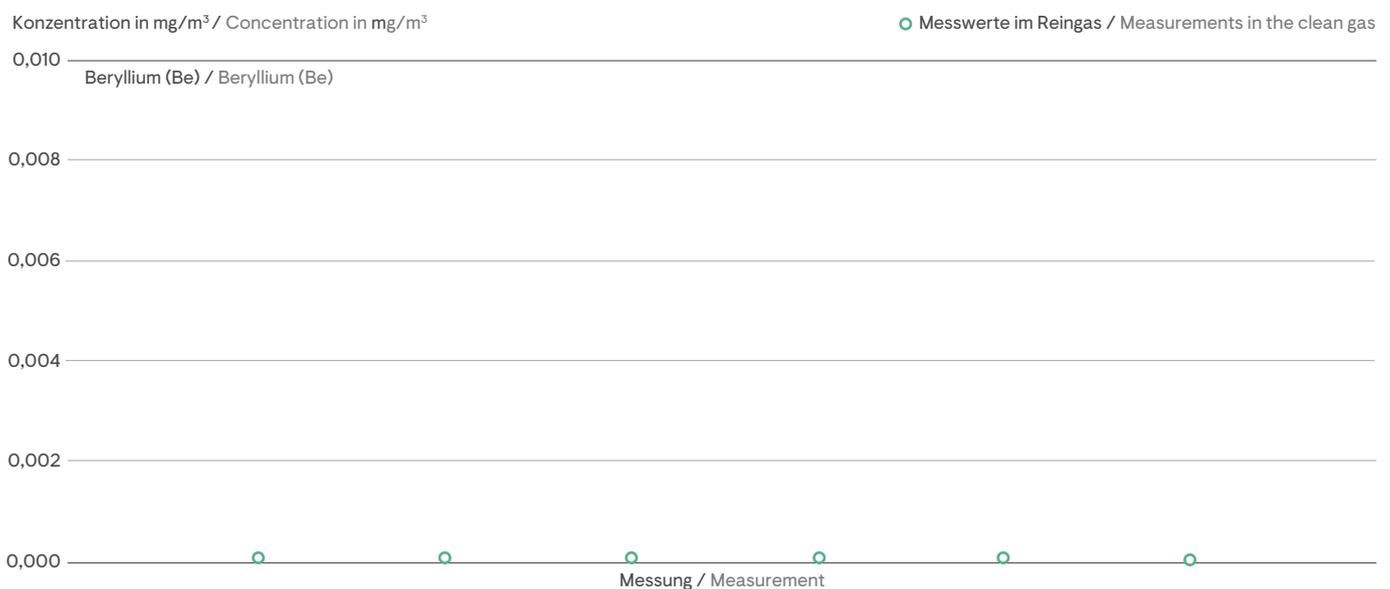
Bild 6-31 Beryllium (Be, Messwerte 2020)**Fig. 6-31 Beryllium (Be, measurements 2020)**

Bild 6-32 Selen (Se, Messwerte 2020)
Fig. 6-32 Selenium (Se, measurements 2020)



6.16.15 Selen (Se)
 In 2020 wurden drei Werte aus Messungen im Reingas von einer Drehofenanlage ermittelt (Bild 6-32).

6.16.15 Selenium (Se)
 Figure 6-32 shows three values from measurements in the clean gas at one rotary kiln.

6.16.16 Tellur (Te)
 In 2020 wurden drei Werte aus Messungen im Reingas von einer Drehofenanlage ermittelt (Bild 6-33).

6.16.16 Tellurium (Te)
 Figure 6-33 shows three values from measurements in the clean gas at one rotary kiln.

Bild 6-33 Tellur (Te, Messwerte 2020)
Fig. 6-33 Tellurium (Te, measurements 2020)

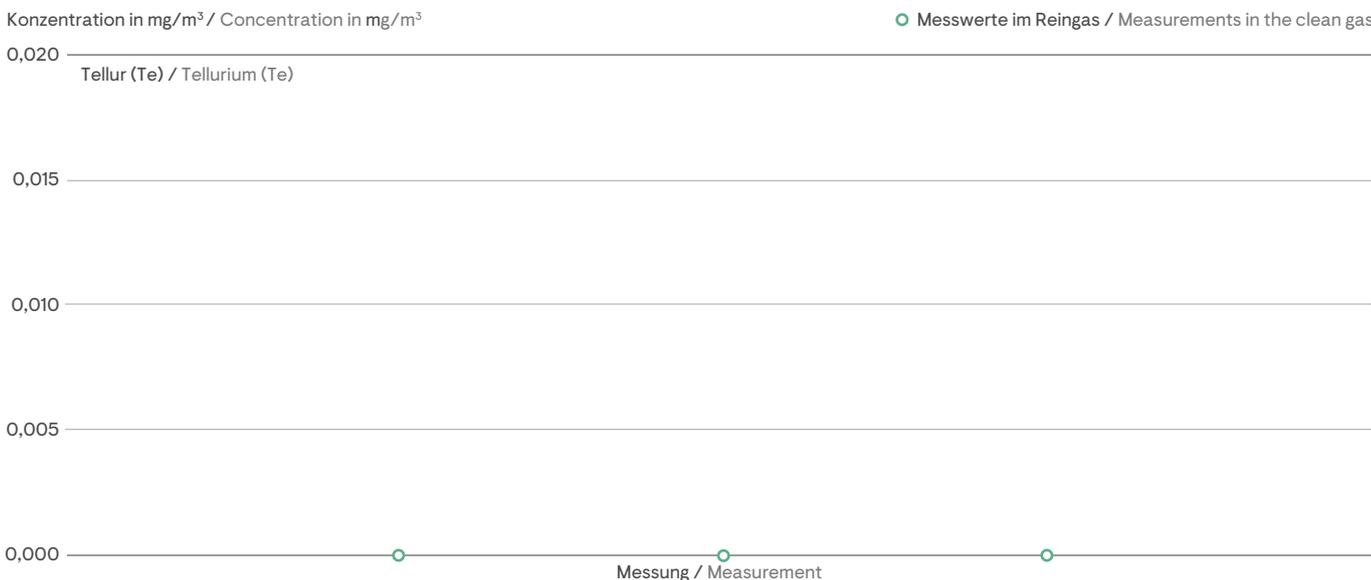
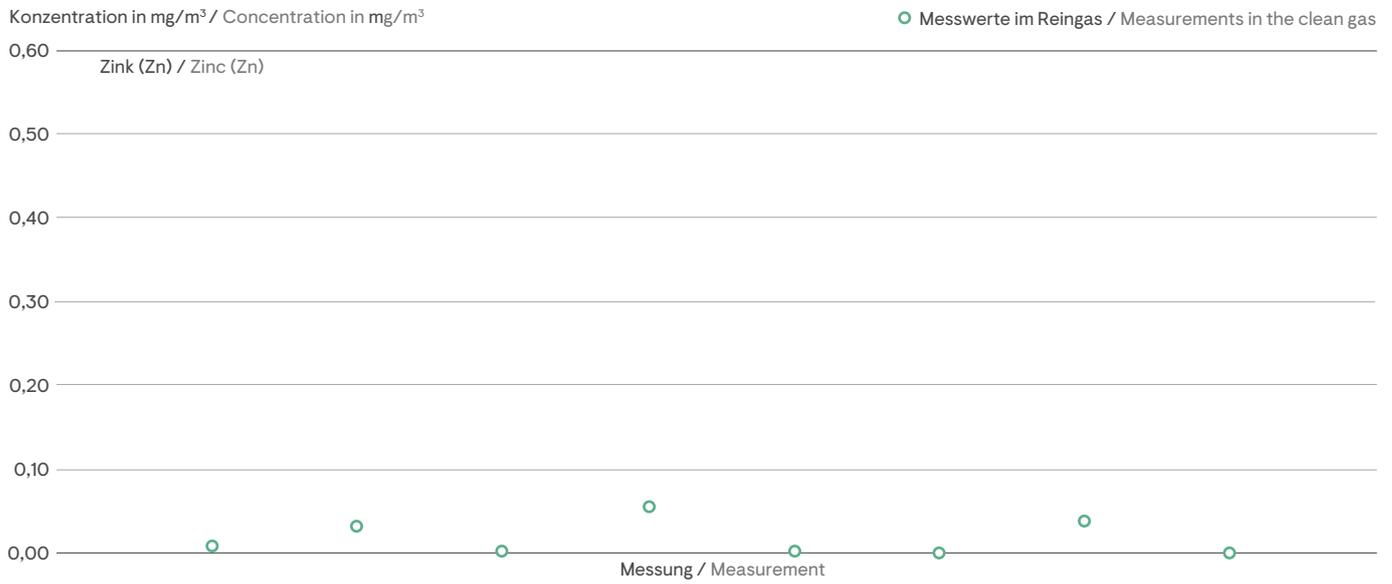


Bild 6-34 Zink (Zn, Messwerte 2020)
Fig. 6-34 Zinc (Zn, measurements 2020)



6.16.17 Zink (Zn)

In 2020 wurden acht Werte aus Messungen im Reingas von zwei Drehofenanlagen ermittelt (Bild 6-34).

6.16.17 Zinc (Zn)

Figure 6-34 shows eight values from clean gas measurements at two rotary kilns.

Literatur

- [1] Zahlen und Daten – Zementindustrie in Deutschland 2021, Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf
- [2] Verminderung der CO₂-Emission, Umfrage zum Monitoring-Bericht 2012, Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf
- [3] Klein, H.; Hoenig, V.: Modellrechnungen zum Brennstoffenergiebedarf des Klinkerbrennprozesses, Cement International 3/2006 Vol. 4
- [4] Verordnung (EG) 166/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Januar 2006 über die Schaffung eines Europäischen Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregisters und zur Änderung der Richtlinien 91/689/EWG und 96/61/EG
- [5] Hoenig, V. et al.: Energieeffizienz bei der Zementherstellung, Teil 1; Cement International 3/2013
- [6] Hoenig, V. et al.: Energieeffizienz bei der Zementherstellung, Teil 2, Cement International 4/2013
- [7] R. Harraß, S. Schäfer, V. Hoenig: Quecksilber in der deutschen Zementindustrie – eine Bilanz; Cement International 6/2018

Ergänzende Literatur

Umweltdaten der deutschen Zementindustrie (1998 - 2019), Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf

Zement-Taschenbuch 2008, Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf

Rohstoffversorgung und Ressourcenproduktivität in der deutschen Zementindustrie - Analyse des Status quo und Perspektiven, Initiative für Nachhaltigkeit in der deutschen Zementindustrie, Berlin; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal.

Richtlinie VDI 2094:2019-07 (Entwurf). Zementwerke: Emissionsminderung

Norm DIN 1164-10:2013-03. Zement mit besonderen Eigenschaften

Norm DIN EN 197-1:2011-11. Zement: Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement

Literature

- [1] Zahlen und Daten – Zementindustrie in Deutschland 2021, Verein Deutscher Zementwerke e. V., Duesseldorf
- [2] Verminderung der CO₂ Emission, Umfrage zum Monitoring-Bericht 2012, Verein Deutscher Zementwerke e. V., Duesseldorf
- [3] Klein, H.; Hoenig, V.: Model calculations of the fuel energy requirement for the clinker burning process, Cement International 3/2006 Vol. 4
- [4] Regulation (EC) No 166/2006 of the European Parliament and the Council of 18 January 2006 concerning the establishment of a European Pollutant Release and Transfer Register and amending Council Directives 91/689/EEC and 96/61/EC
- [5] Hoenig, V. et al.: Energy efficiency in cement production, part 1; Cement International 3/2013
- [6] Hoenig, V. et al.: Energy efficiency in cement production, part 2; Cement International 4/2013
- [7] R. Harraß, S. Schäfer, V. Hoenig: Mercury in the German cement industry – a balance; Cement International 6/2018

Additional Literature

Environmental Data of the German Cement Industry (1998 - 2019), Verein Deutscher Zementwerke e. V., Duesseldorf

Zement-Taschenbuch 2008, Verein Deutscher Zementwerke e. V., Duesseldorf

Rohstoffversorgung und Ressourcenproduktivität in der deutschen Zementindustrie - Analyse des Status quo und Perspektiven, Initiative for Sustainability in the German Cement Industry, Berlin; Wuppertal Institute for Climate, Environment, Energy, Wuppertal.

VDI-Guideline 2094:2019-07 (draft). Cement plants: Emission control

Standard DIN 1164-10:2013-03. Special cement – Part 10

Standard DIN EN 197-1:2011-11. Cement – Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements

Impressum

Copyright/Herausgeber

Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ)
Postfach 30 10 63, 40410 Düsseldorf
Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf
T +49(0)2 11 45 78 0
F +49(0)2 11 45 78 296
vdz@vdz-online.de
www.vdz-online.de

Alle Rechte vorbehalten

Design

arndtteunissen GmbH, Düsseldorf

Veröffentlichung und Gesamtproduktion

Verein Deutscher Zementwerke e. V.

Redaktionsschluss

Juli 2021

Zitierung

Verein Deutscher Zementwerke e.V., Hrsg.
Umweltdaten der deutschen
Zementindustrie 2020;
Stand Juli 2021, Düsseldorf, 2021

Imprint

Copyright/Publisher

Verein Deutscher Zementwerke e.V. (VDZ)
P.O. Box 30 10 63, 40410 Duesseldorf
Toulouser Allee 71, 40476 Duesseldorf
T +49(0)2 11 45 78 0
F +49(0)2 11 45 78 296
vdz@vdz-online.de
www.vdz-online.de

All rights reserved

Design

arndtteunissen GmbH, Düsseldorf

Overall production

Verein Deutscher Zementwerke e. V.

Press deadline

July 2021

Quotation

Verein Deutscher Zementwerke e.V. (Ed.)
Environmental data of the
German cement industry 2020;
Status July 2021, Duesseldorf, 2021

VDZ Technology gGmbH

Toulouser Allee 71
40476 Düsseldorf

www.vdz-online.de