

# CLOUD COMPUTING UND CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

## NORDRHEIN-WESTFALEN AUF DEM WEG ZUM DIGITALEN INDUSTRIELAND

# IKT.NRW

## SCHRIFTENREIHE

Die vorliegende Studie hebt Synergiepotenziale zwischen Cloud Computing und Cyber-Physical Systems hervor und schildert mögliche Anwendungsfelder, die dazu beitragen könnten, die Position Nordrhein-Westfalens im internationalen Wettbewerb zu stärken.

### **Autoren**

Dr. Bernhard Holtkamp

Dr. Ulrich Springer

Sebastian Steinbuß

### **Kontakt**

Dr. Ulrich Springer

Emil-Figge-Straße 91

44227 Dortmund

[ulrich.springer@isst.fraunhofer.de](mailto:ulrich.springer@isst.fraunhofer.de)

0231 97677-400

[www.isst.fraunhofer.de](http://www.isst.fraunhofer.de)

### **Hintergrund**

Diese Studie ist Teil der IKT.NRW Schriftenreihe "NRW auf dem Weg zum digitalen Industrieland". Die Beiträge der Schriftenreihe ergänzen die unter dem gleichnamigen Titel erschienene IKT.NRW Roadmap 2020 – entweder aus der Perspektive einer IKT-Basistechnologie oder einer der NRW-Schlüsselbranchen.

### **Herausgeber**

Clustermanagement IKT.NRW

V. i. S. d. P. Monika Gatzke

c/o SiKoM – Institut für Systemforschung der Informations-,  
Kommunikations- und Medientechnologie

Bergische Universität Wuppertal

Rainer-Gruenter-Str. 21

42119 Wuppertal

Wuppertal, April 2014

# INHALT

<b>01</b>	<b>Motivation</b>	<b>7</b>
<b>02</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>10</b>
	Cloud Computing	11
	Cyber-Physical Systems	14
<b>03</b>	<b>Herausforderungen</b>	<b>19</b>
	Technische Herausforderungen	21
	Wirtschaftliche Herausforderungen	25
<b>04</b>	<b>Potenziale</b>	<b>28</b>
	Technische Potenziale	29
	Ökonomische Potenziale	30
	Branchenspezifische Potenziale durch CPS in NRW	32
<b>05</b>	<b>Kompetenzen in NRW</b>	<b>37</b>
	Wirtschaftliche Kompetenzen	38
	Wissenschaftliche Kompetenzen	39
<b>06</b>	<b>Fazit</b>	<b>40</b>
	Literaturverzeichnis	42

---

## EXECUTIVE SUMMARY

---

Unter Cyber-Physikalischen Systemen (CPS) versteht man Systeme, in denen Objekte der realen Welt über an sie gebundene IT-Systeme mit entfernten Softwaresystemen kommunizieren. Dabei wird i.d.R. über Sensorik und Aktorik auf der Seite der realen Objekte und Regelungslogik in den abgesetzten Softwaresystemen ein Regelkreis realisiert.

CPS gewinnen kontinuierlich an Bedeutung, da sie die Grundlage für eine radikale Umgestaltung von Produktions- und Logistikprozessen genauso bilden wie für innovative Anwendungen in vielen anderen Bereichen.

Cloud-based Cyber-Physical Systems (CbCPS) sind dadurch gekennzeichnet, dass die in die physikalischen Prozesse eingebetteten Systeme über das Internet mit Komponenten in der Cloud kommunizieren.

Mit CbCPS sind eine Reihe technischer und wirtschaftlicher Herausforderungen verbunden:

- CbCPS stellen eine neue Kategorie von Systemen dar, die weitergehende Unterstützung bei der Konzeption, Entwicklung und Wartung erfordern
- Anwender benötigen Unterstützung beim Lifecycle Management von CbCPS
- Die Echtzeitfähigkeit von CbCPS kann eingeschränkt sein
- Die Standardisierung von CbCPS-Schnittstellen und der Kommunikation zwischen Anwendung in der Cloud und Embedded Systems ist wesentlicher Wettbewerbsfaktor
- Big Data ist ein neues Element im Regelkreis eines CbCPS
- Die Kombination von Cloud Computing und Embedded Systems zu einem CbCPS führt zwei unterschiedliche Welten des System Engineering zusammen, die neue Entwicklungskompetenzen verlangt
- CbCPS kann die Internationalisierung von NRW-Unternehmen unterstützen
- CbCPS bieten mittelständischen Industrieunternehmen in NRW die Grundlage für eine Beteiligung an Industrie 4.0
- Die Umsetzbarkeit und der Nutzen von CbCPS müssen an konkreten Beispielen aufgezeigt und nachgewiesen werden, um Sichtbarkeit und Akzeptanz zu gewährleisten
- NRW-Player bringen beste Voraussetzungen als Enabler für CbCPS mit

Diesen Herausforderungen stehen erhebliche Potenziale gegenüber.

Auf der technischen Seite bieten insbesondere

- ein Klassifikationsschema für Echtzeitfähigkeit
- Kommunikationsstandards
- Best Practices bei der Konzeptionierung, Entwicklung und beim Betrieb

hervorragende Chancen zur Profilierung NRWs.

Auf der ökonomischen Seite ergeben sich enorme Potenziale in den Anwendungsbranchen Logistik, Maschinenbau und Energiewirtschaft, in denen NRW jeweils eine Spitzenposition einnimmt.

Die in NRW vorhandenen Kompetenzen in den Schlüsseltechnologien Cloud Computing, Embedded Systems und Kommunikation in Forschung, Entwicklung und Betrieb bieten die Gewähr, dass die Herausforderungen gemeistert und die Potenziale gehoben werden können.

# 01 MOTIVATION

Cyber-Physical Systems (CPS) werden als wesentlicher Bestandteil der vierten industriellen Revolution (Industrie 4.0) gesehen, die zu einer nachhaltigen Veränderung der Produktion und industrieller Prozesse führt [1].

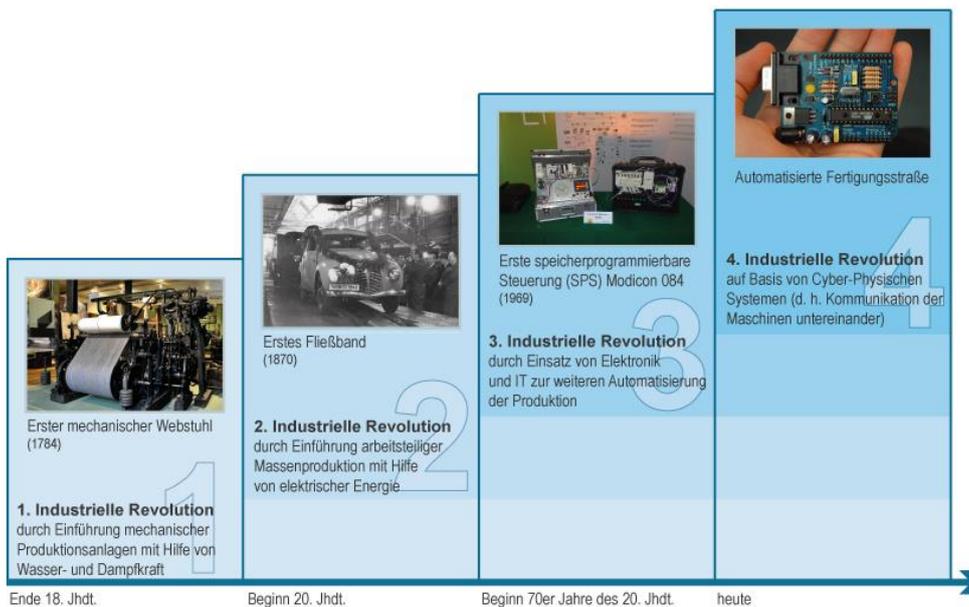


Abbildung 1: Die vier Stufen der industriellen Revolution

Sowohl auf nationaler, wie auch auf internationaler Ebene hat daher ein Wettlauf um die Positionierung in dem um CPS herum entstehenden Markt begonnen. Bisher ist Deutschland ein führender Exporteur von Produktionstechnologien und Fabrikausrüstungen. Bei zunehmendem Wettbewerbsdruck aus Asien gilt es, die Position zu halten, wenn nicht zu stärken. Dies ist mittelfristig nur möglich, wenn man sich aktiv an den umwälzenden Entwicklungen dieser Zeit beteiligt.

Die deutsche Wirtschaft ist insgesamt durch den Mittelstand geprägt [2]. Mehr als 99 Prozent der rund 3,7 Mio. Unternehmen sind mittelständisch und beschäftigen über 50 Prozent der sozialversicherten Beschäftigten. Mit der zunehmenden Durchdringung der Geschäftsprozesse durch IT müssen sich die mittelständischen Unternehmen immer mehr um die IT-Unterstützung ihrer Geschäftsprozesse kümmern, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. In nicht-IT-affinen Branchen wird dies zunehmend zu einem Problem, da diese Unternehmen meist nicht über die erforderlichen Kompetenzen und Kapazitäten verfügen, um mit den aktuellen Entwicklungen Schritt halten zu können. Als Lösungsansatz bietet sich hier das Cloud Computing an. Diese Entwicklung schlägt sich in der Einschätzung der Marktentwicklung für das Cloud Computing durch das Marktforschungsunternehmen Experton und den Branchenverband BITKOM für die nächsten Jahre nieder (1).

(1)

[http://www.bitkom.org/de/presse/8477\\_75301.aspx](http://www.bitkom.org/de/presse/8477_75301.aspx)

Gestützt wird diese Einschätzung durch den Cloud-Monitor, einer von KPMG und BITKOM durchgeführten Studie, die ein stetes Wachstum der Cloud-Nutzung ausweist [3]. Bei einem prognostizierten durchschnittlichen Marktwachstum von 40 Prozent

bis zum Jahr 2016 wird sich der Umsatz im Bereich Consumer Cloud (B2C) verdoppeln, der Umsatz im Bereich Business Clouds (B2B) wird sich verdreifachen.

Vor diesem Hintergrund zielt diese Studie darauf ab, die Verbindung von Cloud Computing und CPS näher zu betrachten, um Synergien zwischen diesen großen und aktuellen Trends aufzuzeigen und Anwendungsfelder zu skizzieren, die die nationale und internationale Wettbewerbsposition des Landes Nordrhein Westfalen stärken können.

---

## 02 GRUNDLAGEN

---

Cloud Computing ist seit dem Jahr 2009 ein dauerhaftes Thema im IT-Bereich. Einerseits gibt es ein stetig wachsendes Angebot an sogenannten Public Clouds und gleichzeitig setzen auch vermehrt unternehmensinterne IT-Dienstleister auf Virtualisierung und die Schaffung von Private Clouds. Cyber Physical Systems sind ebenso ein aktueller Trend, der mittlerweile auch verstärkt aufgegriffen wird. Die Adaption der technischen Grundlagen ist in den vergangenen Jahren von statten gegangen, so dass sich in der Folge Mehrwertdienste und -funktionen entwickeln, die eine substantielle technische Weiterentwicklung bedeuten.

# CLOUD COMPUTING

Unter dem Begriff Cloud Computing versteht man im Allgemeinen sowohl eine Technologie, als auch ein Geschäftsmodell [4]. Die bestimmenden Charakteristika sind zum einen die Elastizität, also der Eindruck unbegrenzter Ressourcen, wie Rechenleistung oder Speicherkapazität, und zum anderen die Bereitstellung der Ressourcen nach Bedarf [5], einschließlich einer bedarfsorientierten Abrechnung der genutzten Ressourcen. Der Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) sieht Cloud Computing als eine Form der bedarfsgerechten und flexiblen Nutzung von IT-Leistungen, die in Echtzeit als Service über das Internet bereitgestellt und nach Nutzung abgerechnet werden und so den Nutzern eine Umverteilung von Investitions- zu Betriebsaufwand ermöglicht [7].

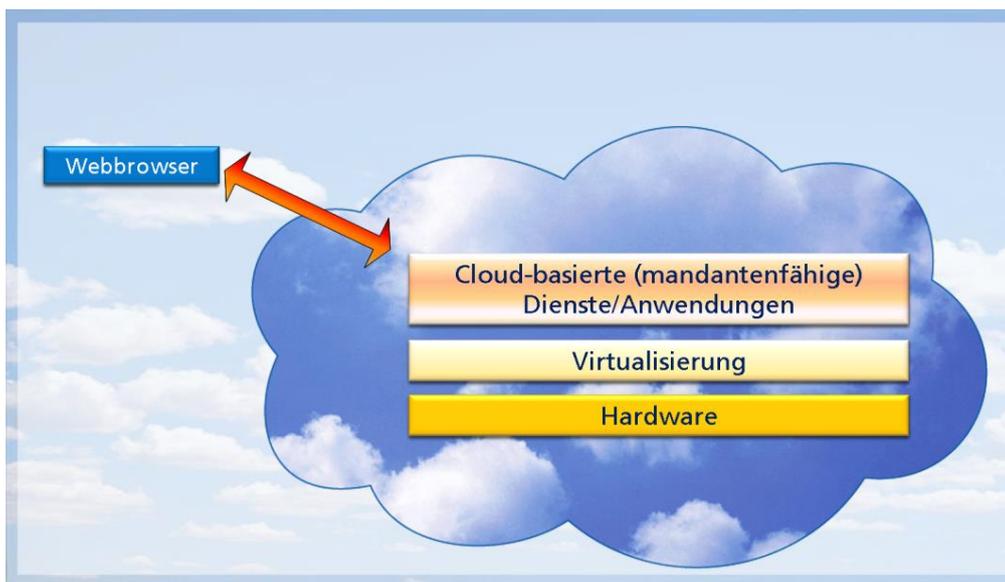


Abbildung 2: Infrastruktur von Clouds

Weitgehend akzeptiert ist das vom amerikanischen National Institute of Standards and Technology NIST definierte 3-Schichtenmodell des Cloud Computing [5], die ein aufeinander aufbauendes Ökosystem bilden. Die unterste Schicht ist die Infrastructure-as-a-Service-Schicht (IaaS), darauf setzt die Platform-as-a-Service-Schicht (PaaS) auf und die darüber angesiedelte Software-as-a-Service-Schicht (SaaS) bildet den Abschluss.

Die Angebote in der Infrastructure-as-a-Service-Schicht stellen virtuelle Ressourcen in Form von Rechenleistung, Speicherkapazität

und Netzwerkressourcen zur Nutzung bereit. Die Rechenleistung wird üblicherweise durch virtuelle Maschineninstanzen mit einer zugesicherten Menge an Arbeitsspeicher und Rechenzeit bereitgestellt. Diese virtuellen Maschinen bilden eine Abstraktionsschicht über den darunter liegenden physikalischen Servern. Virtualisierungslösungen bieten damit die Möglichkeit, eine größere Zahl von virtuellen Maschinen auf einer geringeren Zahl physikalischer Server zu betreiben. So kann einem Kunden jeweils eine eigene virtuelle Maschine zugeteilt werden, ohne ihm gleichzeitig einen physikalischen Server zuzuordnen. Damit lassen sich signifikant bessere Auslastungen der physikalischen Server erzielen, ohne dass ein Kunde Einschränkungen hinnehmen muss.



Abbildung 3: Service-Modell des Cloud Computing

Die Plattformschicht (PaaS) stellt eine Umgebung für die Entwicklung und Bereitstellung von Anwendungen zur Verfügung. Ein Entwickler kann eine Anwendung auf der Plattformbasis entwickeln und zur Nutzung bereitstellen. Die Plattform unterstützt die Entwicklung durch eine Menge von Diensten, die in die zu entwickelnde Anwendung eingebunden werden können. Der Plattformanbieter führt die Anwendungen in seiner Umgebung aus und überwacht die Ausführung, um die Ressourcennutzung abrechnen zu können. Der Bereitsteller der Anwendung bekommt den Ressourcenverbrauch in Rechnung gestellt [6].

Unter Software-as-a-Service wird die Bereitstellung von Anwendungen als Dienst verstanden. Die Anwendung wird dem Nutzer zumeist per Webbrowser oder als Webservice zur Verfügung gestellt, dabei wird die Anwendung nicht auf dem Rechner des Nutzers oder in seinem Rechenzentrum ausgeführt, sondern im

Rechenzentrum des Anbieters. Die Nutzung wird nicht durch einmalige oder regelmäßige Lizenzkosten abgerechnet, sondern nach dem Pay-per-Use-Prinzip.

Cloud-Services können auf verschiedene Arten genutzt werden. Primär werden öffentliche (Public) und nicht-öffentliche (Private) Clouds unterschieden. Eine Public Cloud wird von einem IT-Dienstleister betrieben. Er bietet Kunden (Unternehmen) Dienste nach dem gerade beschriebenen Modell (SaaS, PaaS, IaaS) über das Internet an. Dabei teilen sich die Anwender eine virtualisierte IT-Infrastruktur.

Bei der Nutzung einer Public Cloud ergibt sich eine Rollenverteilung bei der Nutzung von IT-Funktionen, die deutlich von der Nutzung im eigenen Haus abweicht [8].

Im Gegensatz dazu ist eine Private Cloud eine unternehmenseigene Cloud, auf die in der Regel über das Intranet zugegriffen wird. Damit ist der Zugang beschränkt auf die Mitarbeiter des Unternehmens sowie ggf. auf autorisierte Geschäftspartner. Die in der Private Cloud betriebenen Anwendungen sind auf den Bedarf des Unternehmens ausgerichtet.

Die NIST Referenzarchitektur für das Cloud Computing [8] beschreibt neben den hier dargestellten Service Layer auch weitere Komponenten zum Cloud Service Management, Cloud Brokerage, Security, Privacy und Audition.

# CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Der Begriff Cyber-Physical System (CPS) ist nicht scharf definiert. Dementsprechend vielfältig sind die Interpretationen und Ausprägungen. Generell werden CPS als die Verknüpfung von realer Welt mit dem Internet gesehen. Man spricht auch von der Verbindung des Internets der Dinge (2) mit dem Internet der Dienste (3). Um ein besseres Verständnis zu erlangen, betrachten wir nachfolgend zunächst die Charakteristik von CPS, diskutieren dann bestehende Begriffsdefinitionen und verdeutlichen dies an einigen Beispielen.

(2)

<http://www.internet-der-dinge.de>

(3)

<http://www.internet-of-services.com>

## CHARAKTERISTIK

Nach der Agenda CPS [1, S.22] umfasst ein CPS eingebettete Systeme, Prozesse und Internet-Dienste, die

- mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen und mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken,
- Daten auswerten und speichern sowie auf dieser Grundlage aktiv oder reaktiv mit der physikalischen und der digitalen Welt interagieren,
- mittels digitaler Netze untereinander verbunden sind, und zwar sowohl drahtlos als auch drahtgebunden, sowohl lokal als auch global,
- weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen,
- über eine Reihe multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen, also sowohl für Kommunikation und Steuerung differenzierte und dedizierte Möglichkeiten bereitstellen, zum Beispiel Sprache und Gesten.

Folgenden Charakteristika werden im weiteren Verlauf der Studie detaillierter dargestellt [1, S. 60ff]:

- Cyber-Physical Systems erfassen und verarbeiten, hochgradig parallel und verteilt, dedizierte sensorische Daten der Umgebung, fusionieren und interpretieren sie und steuern beziehungsweise regeln in Echtzeit das Verhalten der beteiligten Aktoren.

- Cyber-Physical Systems haben die Fähigkeit, aktiv Dienste und Kooperationen mit anderen Systemen oder Teilsystemen aufzubauen und neue beziehungsweise zusammengesetzte Komponenten und Dienste kontrolliert anzubieten.
- Ein besonders wichtiges Merkmal von Cyber-Physical Systems ist ihre Fähigkeit, sich an Umgebungssituationen und Anwendungserfordernisse anzupassen (Kontextadaptivität) und dadurch teilautonom oder vollständig autonom zu handeln: Bezogen auf ihre jeweilige Aufgabe, erfassen sie – bei Bedarf unter Nutzung entsprechender Dienste – die anwendungsrelevante Umgebung und die dortige Umgebungssituation, interpretieren sie und berechnen, steuern und koordinieren ein für die Beteiligten nützliches und wertvolles Systemverhalten.
- Bei CPS handelt es sich um
  - intelligente eingebettete Systeme,
  - global vernetzte und kooperierende Systeme (auch über verschiedene Arten von Diensten und Dienstleistungen hinweg) sowie
  - in unterschiedlichen sozialen Lebens- und Wirtschaftsprozessen (räumlich und sozial verteilten Kontexten) handelnde und kooperierende Systeme.
- Besonders der letzte Aspekt macht deutlich, dass Cyber-Physical Systems meist keiner zentralen Kontrolle unterliegen und ihr sinnvolles und zielführendes Verhalten das Ergebnis vielfacher Interaktion und Koordination zwischen ganz oder teilweise autonom handelnden Akteuren ist.
- Cyber-Physical Systems können z. B. den emotionalen und physischen Zustand ihrer Nutzer – Aufmerksamkeit, Erregtheit etc. – unmittelbar erfassen und interpretieren, eine Diagnose erstellen, biologische Zustandsgrößen messen oder die Mimik erfassen und interpretieren. Das ist möglich mithilfe spezieller Kameras bzw. medizinischer- und andersartiger intelligenter Sensoren und Interpretationstechnologien. Anhand dieser Informationen können Cyber-Physical Systems dann auf ihre Umgebung einwirken, indem sie Systemreaktionen, Verkehrswege und Lebensräume verändern, Lebensfunktionen steuern oder beispielsweise Bio-Feedback-Methoden zur Entspannung eines Patienten einsetzen.

In [9] werden die Fähigkeiten von CPS über das oben genannte hinaus beschrieben.

## BEGRIFFSDEFINITION

Edward A. Lee hat den Begriff 2008 wie folgt eingeführt [10]:

*"Cyber-Physical Systems (CPS) are integrations of computation and physical processes. Embedded computers and networks monitor and control the physical processes, usually with feedback loops where physical processes affect computations and vice versa."*

In dieser Definition werden CPS als Vernetzung von realer Welt über Embedded Systems mit Informationstechnik gesehen. Dabei macht Lee keine Aussage zur Art der Vernetzung. Ähnlich ist die Definition von CPS in Wikipedia (4), in der das Internet nur als ein mögliches Beispiel genannt wird:

*Ein cyber-physisches System (englisch cyber-physical System) bezeichnet den Verbund informatischer, softwaretechnischer Komponenten mit mechanischen und elektronischen Teilen, die über eine Dateninfrastruktur, wie z. B. das Internet, kommunizieren. Ein cyber-physisches System ist durch seinen hohen Grad an Komplexität gekennzeichnet. Die Ausbildung von cyber-physischen Systemen entsteht aus der Vernetzung eingebetteter Systeme durch drahtgebundene oder drahtlose Kommunikationsnetze.*

In [1] wird deutlich herausgestellt, dass das Internet eine wesentliche Grundlage der Vernetzung bildet. In seiner Stellungnahme [11] zu der acatech-Studie greift der VDI diesen Aspekt auf und weist darauf hin, dass sich daraus erhebliche Konsequenzen für die "herkömmliche" Automation ergeben: "Unter anderem wird auf diese Weise möglich, dass Systeme beliebig verkoppelt, ihre Verbindungen während der Betriebszeit verändert, beendet und neu aufgebaut werden können, oder dass verfügbare Daten, Informationen und Dienste an beliebiger Stelle im CPS bereitgestellt und verwendet werden können. Hierbei handelt es sich je nach Anforderung um öffentliche oder vertrauliche Daten, Informationen und Dienste. Insgesamt wird dadurch ein neues Kommunikationsparadigma in die Automation eingeführt."

Auch wenn es derzeit für CPS keine allgemein akzeptierte Definition gibt, so zeigt sich dennoch, dass die vorliegenden Definitionen im Kern ähnlich sind und sich nur im Detail unterscheiden.

(4)

[http://de.wikipedia.org/wiki/Cyber-physisches\\_System](http://de.wikipedia.org/wiki/Cyber-physisches_System)

## BEISPIELE

### VIBRATIONSÜBERWACHUNG EINER FERTIGUNGSMASCHINE

Unternehmen im Bereich Maschinenbau benötigen zur Fertigung ihrer Produkte die verschiedensten Maschinen zur Metallbearbeitung. Das sind beispielsweise Bohr- und Fräsmaschinen oder auch Walz- oder Ziehmaschinen. Dabei handelt es sich um langlebige Wirtschaftsgüter mit Abschreibungszeiträumen von bis zu 11 Jahren. De facto werden diese Maschinen aber oft um ein Vielfaches länger genutzt.

Eine störungsfreie bzw. störungsarme Produktion ist ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor. Eine ausgefallene Maschine liefert keinen positiven Deckungsbeitrag, im ungünstigsten Fall führt der Ausfall sogar zu Vertragsstrafen. Ein Ziel eines Produktionsunternehmens besteht somit darin, Störungen in der Produktion zu vermeiden bzw. auf ein Minimum zu reduzieren. Dazu dient eine regelmäßige Wartung und Instandhaltung der Maschinen. Gegen Ende der Lebensdauer steigt die Ausfallrate einer Maschine jedoch an (Stichwort "Badewannenkurve") und damit auch die Wahrscheinlichkeit, dass zwischen den Wartungsintervallen Störungen auftreten.

Dies wird u.a. durch eine vorausschauende Instandhaltung (engl. Predictive Maintenance) erreicht. Ein Bestandteil dieser vorausschauenden Instandhaltung kann die Vibrationsanalyse sein [12]. Dabei werden die Schwingungen von drehenden Teilen (z. B. Antriebswellen) erfasst und analysiert. Die Messdaten lassen Rückschlüsse auf den Zustand der drehenden Teile sowie der Lager zu. Weisen die Analyseergebnisse Anomalien auf, können Wartungs- und Reparaturarbeiten vor Ausfall der Maschine durchgeführt werden. So können Ausfallzeiten vermieden bzw. in für das Unternehmen günstige Zeiten verlagert werden.

### KÜHLRAUMÜBERWACHUNG IN DER TRANSPORTLOGISTIK

Im Rahmen des EU-Projektes EURIDICE (5) wurde eine Web-basierte Dienstplattform für die Transportlogistik entwickelt. Mit dieser Plattform verbunden ist das Konzept des intelligenten Stückguts (Intelligent Cargo). Bei Intelligent Cargo handelt es sich um Stückgüter, die mit einem Embedded System verbunden sind. Das Embedded System ist mit Sensorik verknüpft. Die Sensordaten werden von dem Embedded System erfasst, lokal ausgewertet und entsprechend der lokalen Logik weiterverarbeitet. Ein

(5)

*European Inter-Disciplinary  
Research on Intelligent Cargo  
for Efficient, Safe and  
Environment-friendly  
Logistics*  
([http://www.euridice-  
project.eu](http://www.euridice-project.eu))

Verarbeitungsschritt kann darin bestehen, Daten vom lokalen Software Agenten an den korrespondierenden Agenten im globalen Teil der EURIDICE-Plattform zu übermitteln, um dort weiterverarbeitet zu werden.

In einer Pilotanwendung [13] wurde diese Plattform zur Überwachung des Transports von Frischfisch eingesetzt. Dazu wurden LKWs eines Transportdienstleisters sowie Boxen zum Transport von Frischfisch mit Embedded Systems ausgestattet, die über Temperatursensoren die Temperatur des Kühlraums und zusätzlich die GPS-Position und die aktuelle Zeit erfasst haben und aus dem Backend mit Kontextinformationen (z.B. Verkehrslage) versorgt wurden. Sobald die lokale Intelligenz eine Unregelmäßigkeit entdeckt hat, hat sie diese über den ihr zugeordneten Assistenz-Agenten zur Anomalie- und Trenderkennung per Mobilfunk an die Cloud übermittelt. Die Trenderkennung diente dazu, ein absehbares Überschreiten der Grenztemperatur frühzeitig zu erkennen, den Fahrer auf das Problem hinzuweisen und den Empfänger der Ware vorab zu informieren, um ihm so die Möglichkeit zu bieten schon vor dem Eintreffen der Ware auf das Problem zu reagieren.

Die Erfassung der Daten erfolgte mittels des intelligenten RFID Readers R4300P der Firma Caen. Der Reader läuft unter Linux, unterstützt Java und Python, verfügt über ein integriertes GPRS-Modul zur Kommunikation und arbeitet mit einer Intel Atom Z510 CPU (1,1 GHz, 512 MB Speicher, der über eine SD-Karte um 2GB erweitert werden kann).

In ähnlicher Weise funktioniert das von Cargobull Telematics betriebene Trailer-Telematik-System (6). Hier sind die Trailer mit Sensorik und einer lokalen Intelligenz ausgestattet, die Statusinformationen und Grenzwertüberschreitungen an das zentrale Telematik-Portal melden. Ein Mandant, der diesen Service bucht, kann sich im Portal über den Status seiner Trailer informieren oder kann sich aktiv benachrichtigen lassen, wenn eine Situation eskaliert.

(6)

[http://www.cargobull.com/de/Kuehltransporte\\_78\\_25\\_0.html](http://www.cargobull.com/de/Kuehltransporte_78_25_0.html)

## 03 HERAUSFORDERUNGEN

Auch wenn das Internet als integraler Bestandteil von CPS gesehen wird und das Cloud Computing eine innovative Nutzungsform des Internets darstellt, ergeben sich aus der Verbindung von Cloud Computing und CPS eine Reihe besonderer Herausforderungen. Mit Blick auf die gerade beschriebene Charakteristik von CPS ergeben sich inhaltliche Fragestellungen z.B. in Bezug auf die Verteilung von "Intelligenz", Technik oder Sicherheit. Auf der anderen Seite weist der BITKOM Cloud-Monitor 2013 [3] auch auf Herausforderungen im nicht-technischen Bereich hin.

Die sich ergebenden Potenziale auf der anderen Seite rechtfertigen aber die Investition in diese Technik und erfordern eine politische Unterstützung, die die Erschließung dieses Gebietes durch Forschung und Wirtschaft auf ein sicheres Fundament stellt.

Sowohl die technischen als auch die nicht-technischen Herausforderungen werden nachfolgend näher betrachtet.

# TECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN

Besondere Herausforderungen ergeben sich aus dem Aufeinandertreffen zweier grundverschiedener Welten, die aber gleichzeitig aufgrund ihrer Gegensätzlichkeit voneinander profitieren können. Das Cloud Computing ist durch Flexibilität und Skalierbarkeit im Sinne unerschöpflicher Ressourcen gekennzeichnet. Auf der anderen Seite stehen die Embedded Systems mit teilweise extremen Anforderungen an Formfaktor und Ressourceneffizienz. Diese Gegensätze haben Einfluss auf die Konzeption und die Entwicklung von Cloud-based Cyber Physical Systems (CbCPS) genauso wie auf ihren Betrieb.

Weitere Herausforderungen ergeben sich allein aus den technischen Gegebenheiten beider Welten.

## ENTWICKLUNG, REALISIERUNG UND BETRIEB

### KONZEPTION, PLANUNG, IMPLEMENTIERUNG

CbCPS stellen eine neue Kategorie von Systemen dar, die weitergehende Unterstützung bei der Konzeption und Entwicklung verlangen. Fehlen schon für die Entwicklung von Cloud Computing-Lösungen teilweise die geeigneten Werkzeuge, wird die Situation bei CbCPS nicht besser. Die Verteilung von Funktionalität auf die Cloud und auf Embedded Systems wird von heutigen Entwicklungswerkzeugen und Laufzeitumgebungen nicht unterstützt. Dabei bieten CbCPS darüber hinaus noch die Möglichkeit Prozessanteile über diese Systeme zu verteilen.

Durch die Entwicklung geeigneter Werkzeuge und die Anpassung vorhandener Werkzeuge lässt sich die Entwicklung von CbCPS erheblich vereinfachen.

### LIFECYCLE-MANAGEMENT

Bucht ein Anwender eine einzelne SaaS-Lösung, obliegt das Lifecycle Management der Anwendung und der darunter liegenden Komponenten (z.B. Applikationsserver, Datenbank, Betriebssystem)

dem Anbieter bzw. dem Cloud Service Provider. Dies gilt auch für das Buchen eines CbCPS als Komplettlösung. In dem Augenblick, in dem ein Anwender eine Plattform oder Infrastruktur in der Cloud nutzt, um seine eigene Anwendung zu betreiben, geht die Verantwortung für die Koordination der Lifecycle aller Lösungskomponenten auf ihn über. Die damit verbundenen Probleme sind schon für einfachere Anwendungen nicht unerheblich, für CbCPS wachsen sie durch die Verknüpfung von Embedded System-Komponenten mit Anwendungskomponenten in der Cloud deutlich an.

## SYSTEMEIGENSCHAFTEN

### ECHTZEITFÄHIGKEIT

CPS können in industriellen Umgebungen harten Anforderungen an die Echtzeitfähigkeit unterliegen. Je nach Anwendungsdomäne können die Erwartungen an die Echtzeitfähigkeit eines Systems sehr unterschiedlich ausfallen. In der Regeltechnik versteht man allgemein unter Echtzeitfähigkeit die Möglichkeit eines Systems im Bereich von wenigen Millisekunden zu reagieren. In der Energiewirtschaft ist teilweise eine Latenzzeit von bis zu 5 Sekunden noch akzeptabel für ein echtzeitfähiges System.

Bei der Verlagerung von Entscheidungslogik in die Cloud kann die Latenzzeit sehr unterschiedlich sein. Unter Latenzzeit versteht man hier die Zeit zwischen der Erfassung eines Ereignisses durch einen Sensor eines Embedded Systems und dem Zeitpunkt der Reaktion eines Aktuators. Bei CbCPS ergeben sich Verzögerungen durch Komposition, Kodierung, Verarbeitung und Dekodierung der erforderlichen Nachrichten sowie Übertragung der Nachrichten über das Internet. Hier ist allerdings zu beachten, dass sich die Latenzzeiten üblicherweise im Bereich unter einer Sekunde befinden. Das Deutsche Forschungsnetzwerk (DVN) gibt beispielsweise eine Laufzeit für ein Datenpaket von maximal 1 ms für 100 km an. Der Einsatz von Funktechnik erhöht die Latenz allerdings. Auch für Kodierung und Dekodierung sind heute Verfahren bekannt, die eine effiziente Signalübertragung ermöglichen.

### SCHNITTSTELLEN

Ein bedeutender Aspekt von Industrie 4.0, neben der weitgehenden Integration von IT und Produktionsprozessen innerhalb eines Unternehmens, ist die Zusammenarbeit von Unternehmen in unternehmensübergreifenden Prozessketten. Ein

typisches Anwendungsszenario ist das Zusammenspiel von Produktion und Logistik. Um den LKW eines Logistikers zum Be- oder Entladen an die passende Rampe eines Herstellers zu leiten, könnte ein Embedded System des LKWs mit dem Yard Management System des Herstellers kommunizieren. Das setzt jedoch voraus, dass beide Systeme die gleichen Nachrichtentypen verstehen und die Kommunikationsschnittstellen zusammen passen. Die Realisierung kundenindividueller Lösungen ist für den Logistiker, insbesondere bei kurzen Vertragslaufzeiten, wirtschaftlich und zeitlich nicht zu leisten, was durch die Forschungsprojekte Cloud Computing für die Logistik (7) und den EffizienzCluster LogistikRuhr (8) gezeigt wurde. Insbesondere der Forschungsbereich Logistics-as-a-Service adressiert diese Probleme mit der Entwicklung neuer Konzepte und Werkzeuge.

(7)

<http://www.ccl.fraunhofer.de>

(8)

<http://www.effizienzcluster.de>

## ANALYTIK/BIG DATA

Big Data ist ein neues Element im Regelkreis eines CbCPS. Gemäß BITKOM bezeichnet Big Data den Einsatz großer Datenmengen aus vielfältigen Quellen mit einer hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit zur Erzeugung wirtschaftlichen Nutzens. Die Verwaltung und Verarbeitung dieser Datenmengen erfolgt typischerweise in der Cloud. Aus der Verknüpfung und der statistischen Auswertung großer Datenmengen werden Erkenntnisse gewonnen, die zur Entscheidungsunterstützung genutzt werden können. Beispiele für derartige Datenmengen sind lokale Wetterdaten oder Energieverbräuche für eine große Region. Big Data ist Inhalt aktueller Forschungsprogramme, die ihren Fokus hauptsächlich auf der Anwendung der vorhandenen Methoden und Werkzeuge haben, so dass die Verfügbarkeit von anwendungsfreundlichen Systemen mittelfristig gegeben ist. Die Kombination aus den drei Feldern CPS, Cloud Computing und Big Data kann Synergien mit sich bringen.

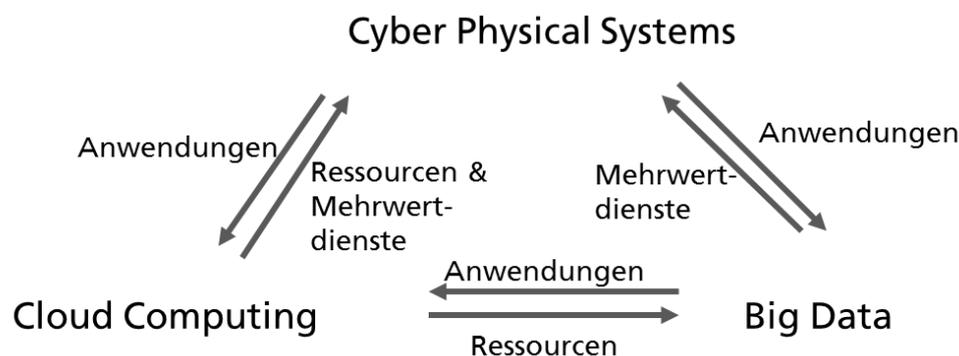


Abbildung 4: Synergien zwischen den Bereichen CPS, Cloud Computing und Big Data

In einem CbCPS können die aus den Datenmengen gewonnenen Erkenntnisse als Parameter bei der Ermittlung von Stellgrößen im Regelkreis genutzt werden. Dies gilt insbesondere für Langzeit-Regelkreise wie der Produktionsplanung. Daraus ergeben sich für CbCPS Fragestellungen, die von der Bewertung der Datenqualität über Lizenzrechte zur Nutzung der Daten bis hin zum Lifecycle-Management bei unterschiedlichen Datenquellen reichen.

# WIRTSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN

Die wirtschaftlichen Herausforderungen betreffen sowohl das einzelne Unternehmen als Entwickler oder Anwender von CbCPS wie auch die Gesamtheit der Unternehmen in NRW und darüber hinaus. Daher betrachten wir nachfolgend zum einen die betriebswirtschaftlichen und zum anderen die volkswirtschaftlichen Herausforderungen.

## BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN

### WISSEN

Die Kombination von Cloud Computing und Embedded Systems zu einem CbCPS führt zwei unterschiedliche Welten des System Engineerings zusammen, die nach heute kaum vorhandene Entwicklungskompetenzen verlangt.

Embedded System Engineering ist typischerweise sehr Hardware-nah und von höchst effizientem Umgang mit Rechnerressourcen geprägt. Cloud Computing ist dagegen eher auf logisch höheren Ebenen angesiedelt. Der Umgang mit verteilten, lose gekoppelten Rechnerressourcen gehört dabei zu den Grundprinzipien. Für eine erfolgreiche Entwicklung von CbCPS genauso wie für die Nutzung ist das Verständnis beider Seiten unabdingbar.

Das setzt zum einen kompetenten Umgang mit den bereits angesprochenen neuen Werkzeugen voraus (siehe Abschnitt „Technische Herausforderungen“ in Kapitel 3, S. 21). Zum anderen muss der jeweilige Entwicklungsprozess verstanden und beherrscht werden. Hier bietet sich z.B. die Aus- und Weiterbildung zum CbCPS-Entwickler, CbCPS-Architekt oder zum CbCPS-Projektleiter an.

### INTERNATIONALISIERUNG

Im Hinblick auf die zunehmende Globalisierung geraten die internationalen Märkte immer mehr in den Blickpunkt mittelständischer Unternehmen. Im Automotive Bereich hat bereits

seit Jahren eine Verlagerung der Fertigung nach Asien stattgefunden. Alle bedeutenden deutschen Hersteller unterhalten beispielsweise Werke in China. Zahlreiche mittelständische Unternehmen aus Nordrhein-Westfalen sind gezwungen, den Herstellern zu den produzierenden Standorten in China zu folgen und dort ebenfalls Produktionsstätten anzusiedeln. Stand Frühjahr 2011 waren bereits 180 deutsche Zulieferer in China präsent, die über 60.000 Mitarbeiter in China beschäftigen.

Die Zulieferer unterliegen einem hohen Innovationsdruck, der von den großen Abnehmern innerhalb der Supply Chain ausgeht. Dieser hat bereits dazu geführt, dass nach aktuellen Studien ca. 20 Prozent der Zulieferer im Automotive Bereich Selbststeuerung und Vernetzung in ihrer Fertigung einsetzen (aktuelle Studie der Pierre Audoin Consultants aus 2013).

Die Verlagerung der Produktion ins Ausland stellt für mittelständische Zulieferunternehmen eine große strategische, finanzielle und personelle Herausforderung dar. CbCPS könnten dazu beitragen, diesen Schritt zu erleichtern. So ist beispielhaft denkbar, dass im Ausland flexible Fertigungs- und Logistikprozesse mit intelligenter Vernetzung von Standorten in Nordrhein-Westfalen zentral überwacht und teilweise sogar gesteuert werden.

In Pilotprojekten und Referenzszenarien sollte überprüft werden, inwieweit CbCPS geeignet sein können, bei Schaffung bzw. Verlagerung von Fertigungskapazitäten ins Ausland Kosten zu reduzieren.

## **VOLKSWIRTSCHAFTLICHE HERAUSFORDERUNGEN**

### **SENSIBILISIERUNG**

Cyber-Physical Systems (CPS) werden als wesentlicher Bestandteil der vierten industriellen Revolution (Industrie 4.0) gesehen, die zu einer nachhaltigen Veränderung der Produktion und damit industrieller Prozesse führt. Durch die Verbindung mit Cloud Computing eröffnet sich auch für KMU ein Weg zu Industrie 4.0.

Bisher ist NRW ein führender Exporteur von Produktionstechnologien und Fabrikarüstungen. Bei zunehmendem Wettbewerbsdruck gilt es, die Position zu halten, wenn nicht zu stärken. Um die mit CbCPS verbundenen Potenziale heben zu können, müssen die Unternehmen dafür sensibilisiert werden.

## UMSETZBARKEIT

Die Umsetzbarkeit und der Nutzen von CbCPS müssen an konkreten Beispielen aufgezeigt und nachgewiesen werden, um Sichtbarkeit und Akzeptanz zu gewährleisten.

Als Energieland Nr. 1 in Erzeugung und Verbrauch kann Nordrhein-Westfalen beispielsweise im Aufbau intelligenter Energienetze Treiber von Best Practices sein: Die Energiewende fordert ein Umdenken in den existierenden Energienetzen. Der Zusammenschluss volatiler Energiequellen zu virtuellen Kraftwerken, um die Erzeugung und die Nachfrage zusammenzubringen, ist in der Entwicklung und Erprobung.

Die in den virtuellen Kraftwerken gesammelten und aufbereiteten Energieerzeugungsdaten und die Maschinendaten der Anlagen können auf einer Cloud Plattform so zur Verfügung gestellt werden, dass auch kleine und mittlere Unternehmen diese zur Generierung neuer Business Cases nutzen und sie somit ihren Anteil am wirtschaftlichen Erfolg der Energiewende beitragen können.

Als Beispiele für die Generierung von Dienstleistungen seien hier folgende genannt: die Visualisierung der Energieerzeugung in Echtzeit für Anlagenbetreiber, das Erstellen von Energiefahrplänen und Forecasts sowohl für die Erzeugerseite als auch für die Verbraucherseite, die Fehlererkennung und frühzeitige Wartungsplanung von Anlagen.

## ENABLING

NRW verfügt über hervorragend qualifizierte Fachkräfte in relevanten Forschungs- und Entwicklungsbereichen, über geeignete Infrastrukturen und Netzwerke (z.B. die Spitzencluster EffizienzCluster LogistikRuhr und it's OWL, Fraunhofer-Innovationscluster "Adaptive Produktion für Ressourceneffizienz in Energie und Mobilität »AdaM«" und "Cloud Computing für die Logistik"), um CPS in Kernbranchen NRWs und auch darüber hinaus zu etablieren.

Diese Potenziale sollten stärker kommuniziert werden, um eine Sensibilisierung bei NRW-Unternehmen zu schaffen und die Position des Landes in diesem Zukunftsmarkt zu festigen.

## 04 POTENZIALE

Was ist hier mit "Potenzial" gemeint? Aus einer technologischen Sicht ist das die Frage nach der Möglichkeit, mit technischen Innovationen Positionen zu besetzen und Marktanteile zu gewinnen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht zielt die Frage eher auf Leistungsangebote und Umsatzperspektiven von Anbietern bzw. Einsparungen und Nutzen aus der Sicht eines Anwenders.

# TECHNISCHE POTENZIALE

Die technischen Potenziale können sehr unterschiedlicher Natur sein. Die Bandbreite reicht hier von Sensorik über Embedded Systems und Software- Komponenten zur Realisierung "Intelligenter" Produkte bis hin zur Unterstützung des Betriebs von CbCPS. Aus den oben genannten inhaltlichen Herausforderungen lassen sich mindestens die nachfolgenden Potenziale ableiten.

## KLASSIFIKATIONSSCHEMA FÜR ECHTZEITFÄHIGKEIT

Um die Eignung eines CbCPS für einen spezifischen Anwendungsfall leichter einschätzen zu können, bietet sich eine Klassifizierung (z.B. analog zu Energieeffizienzklassen von Elektrogeräten) von CbCPS hinsichtlich ihrer Echtzeitfähigkeit an. Voraussetzungen dafür sind ein definiertes Verfahren zur Bestimmung der Latenzzeit sowie eine sinnvolle Abstufung der Kategorien. Diese Kategorisierung kann direkt aus den branchenspezifischen Anwendungsfällen abgeleitet werden.

## KOMMUNIKATIONSSTANDARDS

Die Standardisierung von CbCPS-Schnittstellen und der Kommunikation zwischen Anwendung in der Cloud und Embedded Systems ist ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor. Durch die Kooperation von Unternehmen in ausgewählten Bereichen ließen sich Musterlösungen im Sinne von Best Practices realisieren, die durch ihren Sogcharakter zur Standardisierung führen. Solche Standards sind teilweise branchenspezifisch erarbeitet worden.

## BEST PRACTICES FÜR DAS LIFECYCLE-MANAGEMENT

Eine einheitliche Vorgehensweise für ein gutes Lifecycle Management kann es aufgrund der zahlreichen Systeme in unterschiedlichen Einsatzbereichen nicht geben. Es empfiehlt sich jedoch für den CbCPS Anwender ein "Best Practice" Konzept entsprechend ITIL (IT Infrastructure Library) zu entwickeln, und ihm so Hilfe beim Einstieg in ein individuelles Lifecycle Management zur Verfügung zu stellen.

# ÖKONOMISCHE POTENZIALE

Die deutsche Wirtschaft ist durch den Mittelstand geprägt. Das gilt auch für NRW: Rund 761.000 kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bilden das wirtschaftliche Rückgrat des Landes (99,6 Prozent aller Unternehmen im Land, Umsatzanteil 24 Prozent). Dabei liegt die Bruttowertschöpfung der Industrie bei 30 Prozent. Die nordrhein-westfälischen Industrieunternehmen setzten 2012 342,5 Mrd. Euro um.

Eine Spitzenposition hält dabei der Maschinenbau mit 48,5 Mrd. Euro. 16,6 Prozent aller aus Deutschland exportierten Güter sind "Made in Nordrhein-Westfalen". Die Exporte stiegen gegenüber 2011 um 3,1 Prozent auf 181,9 Mrd. Euro. Hauptausfuhr Güter sind chemische Erzeugnisse, Maschinen, Metalle und Metallerzeugnisse. Damit hat der Einsatz von CPS im Kontext von Industrie 4.0 für NRW und hier insbesondere für den Mittelstand als CbCPS einen besonderen Stellenwert.

NRW ist das führende Bundesland im Dienstleistungsbereich im Hinblick auf die Zahl der Unternehmen, die Anzahl Beschäftigter sowie den Umsatz (9). Kernbereiche sind hier die Wirtschaftsabschnitte Verkehr/Lagerei und Informations- und Kommunikationstechnik.

NRW ist das Logistikland Nr. 1 in Deutschland. 27.800 Unternehmen der Logistikbranche haben ihren Sitz in NRW, darunter auch 5 der TOP 10 Unternehmen. Mit fast 70 Mrd. Euro Umsatz in 2012 hat NRW einen Anteil von rund 30 Prozent am deutschen Logistikmarkt (10). Damit liegt die Logistik vor der Chemie und dem Maschinenbau an erster Stelle.

Die IKT-Branche ist ein weiteres Schwergewicht in NRW. Mehr als 23.000 Unternehmen mit beinahe 190.000 Mitarbeitern haben mit mehr als 92 Mrd. Euro Jahresumsatz einen Anteil von fast 50 Prozent am IKT-Markt Deutschlands [IKT\_Facts\_Figures2013].

Die Entwicklung von CPS-Lösungen bietet für NRWs Software- und Systemhäuser eine starke Wachstumsperspektive. Mit der Bereitstellung von Embedded Systems bietet sich hier für hardware-orientierte Unternehmen ein immenses Marktpotenzial. Die Anbindung der Embedded Systems an eine Cloud-Infrastruktur bietet für die nordrhein-westfälische Telekommunikationswirtschaft ebenfalls hervorragende Möglichkeiten. Werden die CbCPS als

(9)

[http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de\\_jb17\\_jahrtab00.asp](http://www.statistik-portal.de/Statistik-Portal/de_jb17_jahrtab00.asp)

(10)

<http://www.logit-club.de/index.php?id=75>

Public Cloud-Lösungen oder als hosted Private Clouds realisiert, ergeben sich daraus auch entsprechende Geschäftsperspektiven für Cloud Service Provider.

# BRANCHENSPEZIFISCHE POTENZIALE DURCH CPS IN NRW

Im vorangehenden Abschnitt sind bereits die Logistik und der Maschinenbau als zentrale Wirtschaftsbereiche NRWs skizziert worden. Darüber hinaus hat auch die Energiewirtschaft einen besonderen Stellenwert. In den folgenden Abschnitten werden daher diese drei Bereiche näher auf ihre Potenziale hin betrachtet.

## CPS IN DER LOGISTIK

Die Aufgaben der Logistik lassen sich zusammenfassend sehr treffend mit den sog. Seven-Rights der Logistik von Plowman beschreiben. Danach ist es Aufgabe der Logistik,

- die richtigen Waren und Güter,
- in der richtigen Menge,
- in der richtigen Qualität,
- für den richtigen Kunden,
- zum richtigen Zeitpunkt,
- am richtigen Ort
- und zu den richtigen Kosten

zur Verfügung zu stellen. Der besondere Ansatz der Logistik besteht darin, wirtschaftliche Vorgänge als Flüsse von Gütern, Informationen, Menschen, Werten und anderen Objekten in Netzwerken zu interpretieren (11). Aus technischer Sicht geht es dabei um "das Zusammenwirken von Infrastrukturen (z.B. Straßen, Schienen, Lagerhäuser), Maschinen (z.B. LKWs, Gabelstapler, Flurförderzeuge), Behältern (z.B. Container, Paletten) und Personen (z.B. Kommissionierer, Gabelstaplerfahrer, LKW-Fahrer)". Werden nun die Güter, Maschinen, Behälter und Infrastrukturen durch die Verknüpfung mit Embedded Systems zu intelligenten Objekten, ergeben sich im Sinne von CbCPS vielfältige Möglichkeiten für die Optimierung derzeitiger Logistikaktivitäten bis hin zur Schaffung völlig neuer Dienste.

(11)

BVL " Positionspapier zum  
Grundverständnis der  
Logistik als wissenschaftliche  
Disziplin" unter  
[http://www.bvl.de/positions  
papier](http://www.bvl.de/positions-papier)

Damit bietet die Logistik allein durch die Anzahl ihrer Objekte ein immenses Potenzial. Laut zentralem Fahrzeugregister waren zum 1.1.2013 in Deutschland mehr als 2,5 Mio. LKW und über 180.000 Sattelzüge sowie fast 300.000 Sattelanhänger zugelassen. Hinzu kommen Güterwagen, Lokomotiven, Schiffe und Flugzeuge. Noch größer ist die Zahl der Behälter bzw. Ladehilfsmittel. So sind in Europa rund 450 Mio. Paletten im Einsatz (12). Hinzu kommen weltweit etwa 27,5 Mio. Standardcontainer (Stand 2010) (13). Einen großen Posten stellen auch die innerbetrieblichen Transportsysteme dar, zu denen u.a. mannbetiente Flurförderzeuge (Gabelstapler, Plattformwagen etc.), Krane und fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) gehören.

Auch das Logistiknetz als Infrastruktur stellt ein enormes Potenzial dar. Die Zahl der Knoten geht allein in Deutschland in die Millionen: Deutschland hat mehr als 3,6 Mio. Unternehmen, die als Hersteller oder Empfänger einen Knoten im Logistiknetz repräsentieren. Dies gilt auch für die 40,4 Mio. Privathaushalte (14). Zumal inzwischen 65 Prozent der Deutschen im Internet einkaufen und die Ware ins Haus geliefert bekommen (Stand 2012) (15).

Betrachtet man auch die Güter, die von der Logistik bewegt werden, als potenzielle intelligente Objekte, wird das Potenzial riesig. Allein der Online-Handel hat 2011 die Zahl der transportierten Pakete um 4,7 Prozent auf 148,4 Mio. Stück steigen lassen. Bis 2020 wird mit einem jährlichen Wachstum von 5 bis 7 Prozent gerechnet. Das entspricht dem Transport von 250 - 300 Mio. Paketen pro Jahr bzw. 1 Mio. Pakete pro Tag.

Die vielfach beschriebene vierte industrielle Revolution (Industrie 4.0) zielt zwar im Kern auf die smarte Fabrik und schließt da bereits die Logistik (genauer: Produktionslogistik) ein, deckt aber dann auch die Abläufe außerhalb der Fabrik entlang der gesamten Wertschöpfungskette ab. Damit wird auch das Supply Chain Management zum Teil von Industrie 4.0.

Unabhängig davon bieten sich auch für einzelne Bereiche der Logistik unterschiedlichste Nutzungsmöglichkeiten für CbCPS. Ein Beispiel ist die Automatisierung von intralogistischen Prozessen (Lagerei, Produktion) durch autonome Maschinen und Güter (siehe inBin und Multishuttle des Fraunhofer IML). Andere Beispiele sind die Erfassung des Carbon Footprint eines Transports oder die Animierung eines Fahrers zu effizienterem Fahren durch Telematiksysteme im Fahrzeug, die mit Auswertungskomponenten in der Cloud kommunizieren.

Ein wesentlicher Faktor bei der Gestaltung effizienter Logistik ist der Umgang mit großen Datenmengen. Besonders der breite Einsatz von intelligenten Sensoren erhöht das Datenaufkommen weiterhin.

(12)

Quelle: FEFPEB, the European Federation of Wooden Pallet and Packaging Manufacturers

(13)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Container>

(14)

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Gesellschaft/taat/Bevoelkerung/Haushalt/eFamilien/HaushalteFamilien.html>

(15)

[http://www.bitkom.org/de/markt\\_statistik/64038\\_3854\\_0.aspx](http://www.bitkom.org/de/markt_statistik/64038_3854_0.aspx)

Diese Daten müssen effizient verarbeitet werden können, um kurzfristig und automatisch auf Situation reagieren zu können. Hier bietet sich, wie im Abschnitt „Systemeigenschaften“ in Kapitel 3 (S. 22) beschrieben, der Einsatz von Methoden und Werkzeugen aus den Bereichen Cloud Computing und Big Data an.

Ein visionäres Beispiel wäre die Straße, die einen LKW warnt, dass sie für ihn nicht geeignet ist, da ihr Zustand zu schlecht für seine empfindliche Fracht ist. Das setzt voraus, dass die Straße ihren Zustand kennt, z.B. dadurch, dass Fahrzeuge die bei der Nutzung erfahrenen Beschleunigungen durch Unebenheiten an die Straße kommunizieren. Weiterhin muss der LKW seine Fracht und deren Transportbedingungen kennen.

## **CPS IN DER ENERGIEWIRTSCHAFT**

Unter dem Begriff Energiewirtschaft versteht man alle Einrichtungen und Aktivitäten, die mit dem Ziel durchgeführt werden, Privathaushalte und Unternehmen mit Energie zu versorgen. Für NRW stellt die Energiewirtschaft einen Leitmarkt dar. Mit rund 250.000 Beschäftigten, Großunternehmen wie RWE und E.ON sowie zahlreichen KMU und kommunalen Stadtwerken ist NRW das Energieland Nr.1 in Europa.

Mit dem beschlossenen Ausstieg aus der Atomenergie steht heute die Transformation der traditionellen Energieversorgung in Richtung eines durch Nachhaltigkeit und Effizienz geprägten Systems im Fokus. Diese Transformation verlangt aber nicht nur den Übergang zu erneuerbaren Energien und deren Systemintegration sondern hat auch die Anpassung der klassischen Energiewirtschaft zur Folge. Dazu sind Systeminnovationen notwendig, die nicht zuletzt durch den Einsatz von CbCPS erzielt werden können.

Ein Schritt im Rahmen der oben angesprochenen Transformation ist die Schaffung "intelligenter" Stromnetze, sogenannter Smart Grids. In einem Smart Grid sind Stromerzeuger, -speicher und -verbraucher mittels Informations- und Kommunikationstechnik so vernetzt, dass eine optimierte Steuerung von Einspeisung und Verbrauch möglich ist. Ein Smart Grid kann aus einer Menge von Micro Grids bestehen, die die Energieversorgung lokal begrenzt optimieren. Hier ist zu beachten, dass es mittlerweile sowohl in der Industrie als auch im privaten Bereich bereits eine große Menge an vernetzter oder vernetzbarer Sensorik und Aktorik gibt. Heizungs-, Kühlungs- und Belüftungsanlagen liefern bereits heute kontinuierlich Betriebsdaten und lassen sich über das Netzwerk konfigurieren. Auch Pumpen oder andere Industrieanlagen sind heute vermehrt mit

Sensorik und Netzwerkschnittstellen ausgestattet. Der Ausbau dieser Systeme zu einem Cyber Physical System benötigt die Vernetzung dieser Komponenten zu einem Netz, in dem die vorhandenen Daten effizient verarbeitet werden können und sinnvolle Aktionen abgeleitet werden können. Durch die Ergänzung um Mehrwertdienste aus der Cloud entstehen neue Systeme, die den effizienten Umgang mit Energie im Kleinen und im Großen positiv beeinflussen können.

Geeignete Beispiele für den Einsatz von CbCPS in der Energiewirtschaft sind bereits im Abschnitt „Volkswirtschaftliche Herausforderungen“ in Kapitel 3 (S. 26) ausgeführt worden.

## **CPS IM MASCHINENBAU BZW. MRO (MAINTENANCE, REPAIR, OPERATION ODER OVERHAUL)**

Wie bereits im Abschnitt „Ökonomische Potenziale“ in Kapitel 4 (S. 30) ausgeführt, hat der Maschinenbau in NRW einen hohen Stellenwert. Fast jede vierte in Deutschland produzierte Maschine stammt aus NRW und die Branche hat einen starken Umsatz, sowohl im Inland, wie beim Export.

Hier bieten sich Ansatzpunkte für die Nutzung von CPS in verschiedensten Bereichen. Ein interessanter Bereich ist MRO, d.h. Wartung, Reparatur und Instandhaltung. Dabei müssen die beiden Bereiche Preventive Maintenance und Corrective Maintenance unterschieden werden. Corrective Maintenance beschreibt die Reparatur im Fehlerfall, während Preventive Maintenance, also vorbeugende Wartung, vor einem Ausfall durchgeführt wird. Hier wird noch zwischen Planned Maintenance und Condition Based Maintenance unterschieden. Aufgrund von Erfahrungswerten kann z.B. eine Wartung geplant und ein Teil vor dem Versagen getauscht oder bei Eintritt einer vorgegebenen Situation, eine Wartung durchgeführt werden.

Heute gibt es eine breite Unterstützung durch IT bei MRO Prozessen. Insbesondere Intelligent Maintenance Systems beruhen schon seit einiger Zeit auf der Erfassung von Sensorwerten, wie Druck, Temperatur, Spannung, Strom, Geräusche, Geschwindigkeit oder Beschleunigung und der automatischen Verarbeitung dieser Werte. Damit gibt es bereits eine solide Grundlage für CPS in diesem Bereich. Durch CbCPS lassen sich aber die Beteiligten an den MRO-Prozessen besser einbinden. Im Wesentlichen sind an diesen Prozessen die Produktionsplanung des nutzenden Betriebs, Logistiker, Wartungspersonal und Hersteller beteiligt. Durch Cloud

Computing kann die individuelle Leistung der Beteiligten signifikant verbessert werden.

Im Bereich der Logistik werden typische MRO Teile wie C-Teile (selten benötigte Teile) behandelt, was eine effiziente Beschaffung und Bevorratung notwendig macht. MRO-Teile, bzw. C-Teile, haben nur einen geringen Anteil am Umsatz und damit auch oft eine hohe Lagerdauer. Für den Hersteller und den Vertrieb dieser Teile ist daher eine effiziente Distributionsplanung vorteilhaft. Eine frühzeitige Erkennung von Verschleiß an Teilen gibt so einen größeren Handlungsspielraum und eine umfangreiche Datenmenge erhöht die Prognosegenauigkeit.

Ähnliches gilt für die Einsatzplanung von Wartungsmitarbeitern. Bei einer frühzeitigen Erkennung von Wartungssituationen können der Personaleinsatz für Condition Based Maintenance und Corrective Maintenance besser geplant und durch eine höhere Prognosegenauigkeit die geplante Wartung effizienter organisiert werden. Dies betrifft auch die Produktionsplanung. Hier können aufbereitete Sensorwerte in die Produktionsplanungssysteme eingespeist werden und damit bei den Planungsprozessen und der Maschinenbelegung berücksichtigt werden. Darüber hinaus ist auch ein direktes Wirken auf das betroffene System möglich. Ein sich ankündigender Defekt kann unter Umständen durch Lastreduktion (z.B. geringere Geschwindigkeit oder niedrigerer Druck) verzögert werden, was durch eine angepasste Produktionsplanung unterstützt werden kann.

Auch für den Hersteller von Maschinen kann die stetige Erfassung von Betriebszuständen Vorteile bringen. Gerade durch moderne Methoden aus dem Big Data Umfeld können komplexe Zusammenhänge identifiziert werden und sich substantiell auf die Weiter- und Neuentwicklung von Anlagen auswirken.

Im Abschnitt „Beispiele“ in Kapitel 2 (S. 17) wurde bereits am Beispiel der Vibrationserkennung die Einsatzfähigkeit von CbCPS im MRO Bereich motiviert. Aufgrund der dargestellten Komplexität von MRO-Prozessen, besteht Potenzial für CbCPS im Bereich Maschinenbau. Gerade die Komplexitätsbeherrschung ist ein erklärtes Ziel des Produzierenden Gewerbes in NRW, genauso wie der schonende Umgang mit Ressourcen (16).

(16)

[http://www.produktion.nrw.de/fileadmin/Dokument/Downloads/ProduktionNRW\\_Imagebroschuere\\_d.pdf](http://www.produktion.nrw.de/fileadmin/Dokument/Downloads/ProduktionNRW_Imagebroschuere_d.pdf)

---

## 05 KOMPETENZEN IN NRW

Im Hinblick auf die Entwicklung, den Betrieb und die Nutzung von CbCPS verfügt NRW über ausgezeichnete Kompetenzen sowohl im Bereich der Wirtschaft als auch auf wissenschaftlicher Ebene. Nachfolgend werden beide Bereiche kurz betrachtet.

# WIRTSCHAFTLICHE KOMPETENZEN

Mit mehr als 23.500 IT-Unternehmen und deren rund 200.000 Mitarbeitern verfügt NRW über ein breites Fundament an Unternehmen, die CbCPS-Lösungen entwickeln und pflegen sowie Anwendungsunternehmen in der Nutzung unterstützen können.

Neben den Software- und Systemhäusern bietet NRW auch eine breite Palette an Dienstleistern, die Cloud Services anbieten. Die Bandbreite reicht hier von Big Playern wie der Deutschen Telekom oder Materna über mittlere Anbieter wie QSC oder KAMP bis hin zu Spezialisten wie der IKB data (Finanzen) oder der Logata (Logistik). Ein großer Teil dieser Unternehmen hat sich im Verband EuroCloud Deutschland (17) organisiert.

Ein Beispiel für einen bereits erfolgreichen Akteur in diesem Bereich ist die in Düsseldorf ansässige Cumulocity. Cumulocity, ein Spin-off von Nokia Siemens Networks, entwickelt Cloud Computing-Lösungen für den M2M-Bereich und das Internet der Dinge: die „VendMe“-Lösung für den vernetzten Verkaufsautomaten, eine Telematikanwendung für das Flottenmanagement und eine Cloud-Lösung, die es auch kleinen und mittelständischen Herstellern ermöglicht, ihre Produkte aus der Ferne zu warten.

(17)

<http://www.eurocloud.de>

# WISSENSCHAFTLICHE KOMPETENZEN

NRW verfügt mit unter anderem 67 Hochschulen, 14 Fraunhofer-Instituten, 12 Max-Planck-Instituten und etwa 100 an den Hochschulen angesiedelte Forschungsinstituten über eine der ausgeprägtesten Forschungslandschaften Europas.

Für den Bereich CbCPS sind von besonderer Relevanz in Bezug auf die Entwicklung von Embedded Systems die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am Fraunhofer IMS in Duisburg sowie im Effizienzcluster it's OWL zu nennen. Cloud Computing steht dagegen im Fokus bei den Fraunhofer-Instituten SCAI und ISST sowie - speziell auf die Logistik ausgerichtet - beim EffizienzCluster LogistikRuhr und dem Fraunhofer Innovationscluster "Cloud Computing für die Logistik".

Darüber hinaus wird an allen technisch ausgerichteten Universitäten wie RWTH Aachen, TU Dortmund, Universität Duisburg/Essen, Universität Paderborn sowie an diversen Fachhochschulen und in außeruniversitären Forschungseinrichtungen an verschiedenen Aspekten von CbCPS in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen geforscht. Eine detaillierte Betrachtung dieser Aktivitäten würde über den Rahmen dieser Studie hinausgehen.

## 06 FAZIT

Entwicklung, Einführung und Nutzung bzw. Betrieb von CbCPS im industriellen Einsatz sind mit erheblichen Herausforderungen verbunden. Diese liegen sowohl im technischen wie auch im wirtschaftlichen Bereich. Diesen Herausforderungen stehen mindestens ebenso große Potenziale in und für NRW gegenüber. Als Keyplayer in den Branchen Logistik, Energiewirtschaft und Maschinenbau bietet sich allein in NRW ein enormer Markt an Anwendern mit internationaler Bedeutung für CbCPS. Auf der Anbieterseite steht diesem Markt eine nicht minder bedeutsame

Landschaft aus kompetenten Forschungseinrichtungen, Entwicklungspartnern und Betreibern gegenüber.

Um diesen Markt in Gang zu setzen, ist auf der Kundenseite ein entsprechendes Verständnis für das Angebot und dem damit verbundenen Anwendungsnutzen erforderlich. Dies lässt sich auf der Anbieterseite am überzeugendsten durch passende Musterlösungen erzielen, die die Einsetzbarkeit und den Kundennutzen illustrieren. Diese Musterlösungen entstehen im Rahmen der Forschungsaktivitäten als auch durch Innovationen aus der Industrie. Im Besonderen ist das Zusammenspiel der Weiterentwicklung von Cloud Angeboten und CPS Anwendungsfällen im Zusammenhang zu sehen, da sich die Effekte in diesen Bereichen stark ergänzen und verstärken. Die Ergänzung um Konzepte aus dem Big Data Umfeld lassen weitere Innovationen zu. Diese Effekte wirken sich substantiell auf die Unternehmen in NRW aus, da die in NRW ansässigen Branchen einen Nutzen aus diesen Technologien ziehen können.

Die Unternehmenslandschaft in NRW ist stark vom Mittelstand geprägt. Daher muss dafür Sorge getragen werden, dass der Entwicklungsstand dieser Bereiche insofern weiterentwickelt wird, dass unmittelbar einsetzbare Lösungen bzw. Lösungsskizzen entstehen, die von den Unternehmen kurzfristig mit geringem Aufwand und maximaler Sicherheit adaptiert werden können.

Durch Zusammenarbeit von Forschung und Industrie, sowie der Kommunikation der erreichten Erfolge kann sich das Land NRW auf die vierte Stufe der industriellen Revolution heben und damit das Land im nationalen, wie internationalen Wettbewerb stärken.

# LITERATURVERZEICHNIS

- [1] E. Geisberger und M. Broy (Hrsg.): „agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems“, Acatech 2012. (zugegriffen unter <http://www.acatech.de/de/publikationen/empfehlungen/acatech/detail/artikel/acatech-studie-agendacps-integrierte-forschungsagenda-cyber-physical-systems.html>, Mai 2013)
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: "German Mittelstand: Motor der deutschen Wirtschaft" (zugegriffen unter <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Aussenwirtschaft/Aussenwirtschaftsfoerderung/Auslandsmarkterschliessung/german-mittelstand,did=493238.html> im November 2013)
- [3] KPMG, BITKOM: "Cloud Monitor 2013" (zugegriffen unter <http://www.bitkom.org/de/publikationen/38338.aspx> im November 2013)
- [4] M. Armbrust, A. Fox, R. Griffith, A. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica, M. Zaharia : Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing, Technical Report No. UCB/EECS-2009-28, University of California at Berkley, USA, Feb. 10, 2009.
- [5] P. Mell, T. Grance: The NIST Definition of Cloud Computing, Working Paper National Institute of Standards and Technology, 2009.
- [6] A. Lenk, M. Klems, J. Nimis, S. Tai, T. Sandholm: What's Inside the Cloud? An Architectural Map of the Cloud Landscape. ICSE Workshop on Software Engineering Challenges of Cloud Computing, 2009. CLOUD '09.
- [7] Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.: BITKOM-Leitfaden, Cloud Computing - Evolution in der Technik, Revolution im Business, Oktober 2009.
- [8] Fang Liu et al.: "NIST Cloud Computing Reference Architecture", NIST Special Publication 500-292, September 2011
- [9] Acatech (Hrsg.): "Cyber-Physical Systems", Acatech POSITION, Dezember 2011 (zugegriffen unter <http://www.acatech.de/de/publikationen/stellungnahmen/acatech/detail/artikel/cyber-physical-systems.html>, Mai 2013)
- [10] E.A. Lee: "Cyber Physical Systems: Design Challenges", Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley, Technical Report No. UCB/EECS-2008-8; January 23, 2008 (zugegriffen unter <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2008/EECS-2008-8.html>, Mai 2013)
- [11] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: "Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation", April 2013
- [12] J. Vollmer und T. Neumann: "Integration von Low-Cost Schwingungsmesssystemen in Maschinen und Anlagen zur permanenten Schwingungsüberwachung", in VDI-Berichte Nr. 2093, 2010, S. 205ff.

- [13] EURIDICE Deliverable D23.3: "Pilot validation and feedback – Production and distribution applications", January 20, 2012 (zugegriffen unter <http://www.euridice-project.eu/index.php/web/pubdocs/58>, Mai 2013)

## ÜBER IKT.NRW

IKT.NRW vernetzt die Akteure der nordrhein-westfälischen IKT-Branche: Wirtschaft, Wissenschaft und Politik treiben gemeinsam die Weiterentwicklung des IKT-Marktes in Nordrhein-Westfalen voran. Ziel von IKT.NRW ist es, die Stärken der Branche, Synergiepotenziale und zukunftssträchtige Entwicklungen frühzeitig zu identifizieren und Innovationsprozesse aktiv zu fördern. Darüber hinaus wird die öffentliche Wahrnehmung für den IKT-Standort NRW geschärft. Das Clustermanagement IKT.NRW führt beispielsweise Kooperations- und Netzwerk-Veranstaltungen durch, unterstützt Unternehmen bei Messe-Teilnahmen und Unternehmerreisen und veröffentlicht regelmäßig Branchen- und Trendreports. Offene Innovationsprozesse sind ein wichtiger Bestandteil im Selbstverständnis von IKT.NRW. Ideen und Kooperationsanfragen sind deshalb immer willkommen.



EUROPÄISCHE UNION  
Investition in unsere Zukunft  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung

**Ziel2.NRW**  
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung