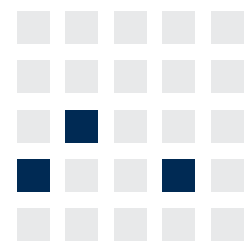




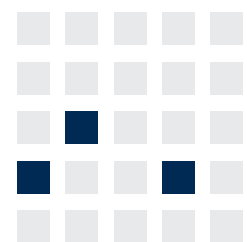
Internet of Things – Eine Einführung

LV – Internet of Things / Industrial Internet



**Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik
Prozesse und Systeme**

Universität Potsdam



**Chair of Business Informatics
Processes and Systems**

University of Potsdam

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gronau
Lehrstuhlinhaber | Chairholder

Mail August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany
Visitors Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam
Tel +49 331 977 3322

E-Mail ngronau@lswi.de
Web lswi.de



Einführung

Konzepte im Internet of Things

Chancen

Herausforderungen

Umsetzungsstand von Internet of Things

Lernziele

- Verstehen was cyber-physische Systeme (CPS) sind und welche Komponenten sie beinhalten
- Ausbaustufen smarterer Produkte kennenlernen
- Die drei unterschiedlichen Topologien für (Sensor-)Netzwerke verstehen
- Prinzip des MQTT Protokoll verstehen
- Drei wesentliche Herausforderungen bei Internet of Things Projekten kennenlernen



Einführung

Konzepte im Internet of Things

Chancen

Herausforderungen

Umsetzungsstand von Internet of Things

Internet of Things

Etymologie

Definition(s)

- "system of Internet-connected sensors, which behave like the Internet by establishing open, spontaneous connections, sharing data freely, and supporting unpredictable applications."
- „A world-wide network of interconnected objects uniquely addressable, based on standard communication protocols“

Network of interconnected objects

- Internet als weltweites Netzwerk
- Anbindung unterschiedlichster Objekte

Uniquely addressable

- Eindeutig durch Adresse erreichbar
- Bild Grundlage für die Ansteuerung und Datenübertragung

Standard communication protocols

- Nutzung von einheitlichen Standardprotokollen welche Interoperabilität ermöglichen
- Spezielle Kommunikationsprotokolle für leichtgewichtige Kommunikation

Was ist das Internet of Things

Drei mögliche Perspektiven

Internet

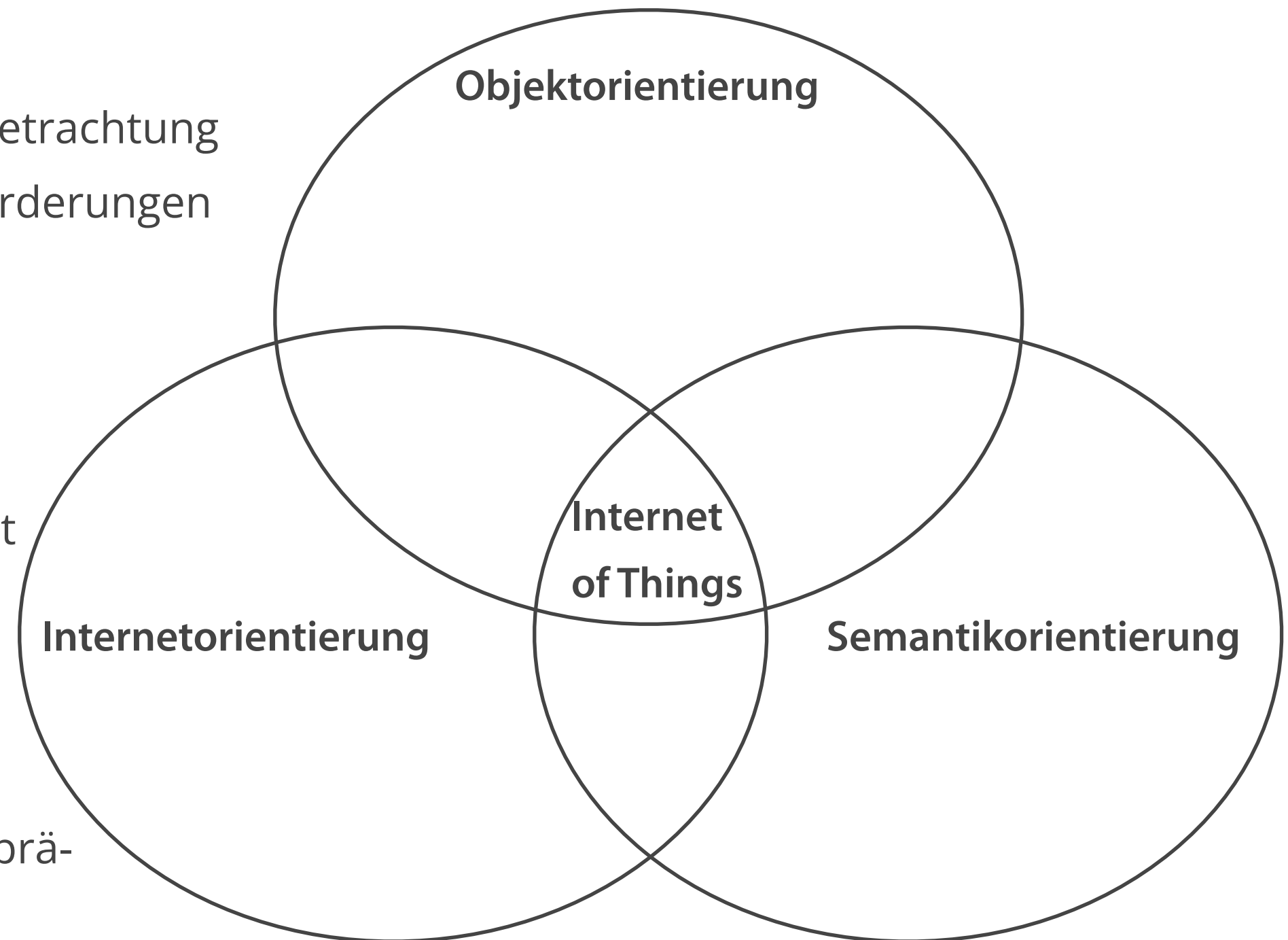
- Konnektivität im Vordergrund der Betrachtung
- Verfahren, Protokolle und Herausforderungen

Semantik

- Integration und angemessene Verarbeitung der erhobenen Daten
- Kombination von Daten und Kontext zu Informationen

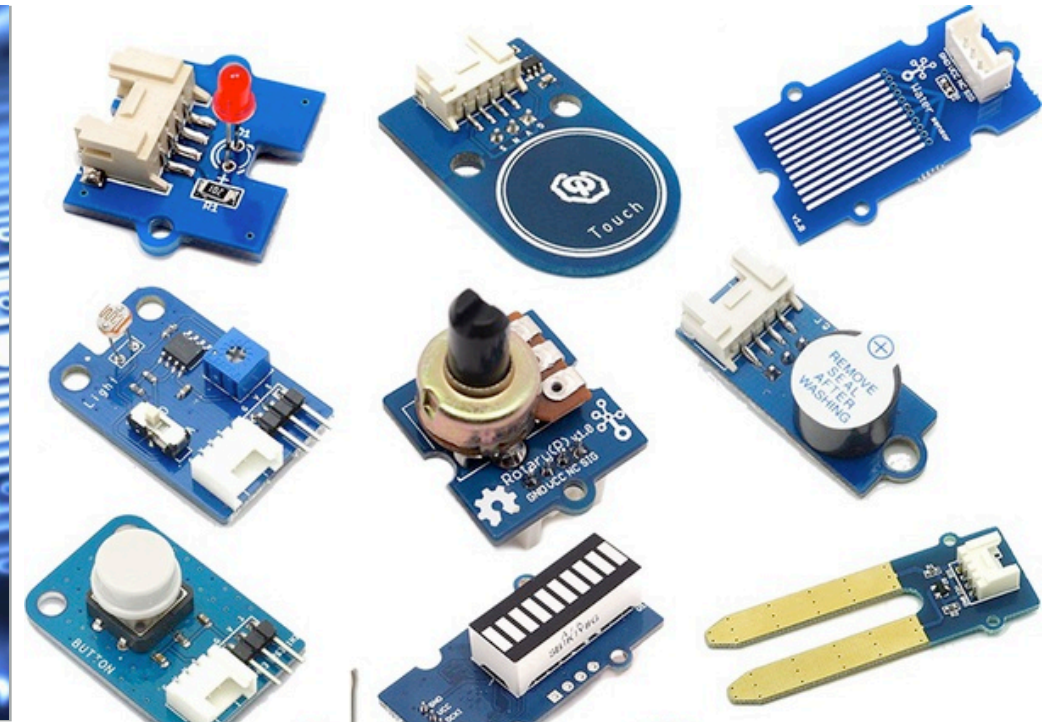
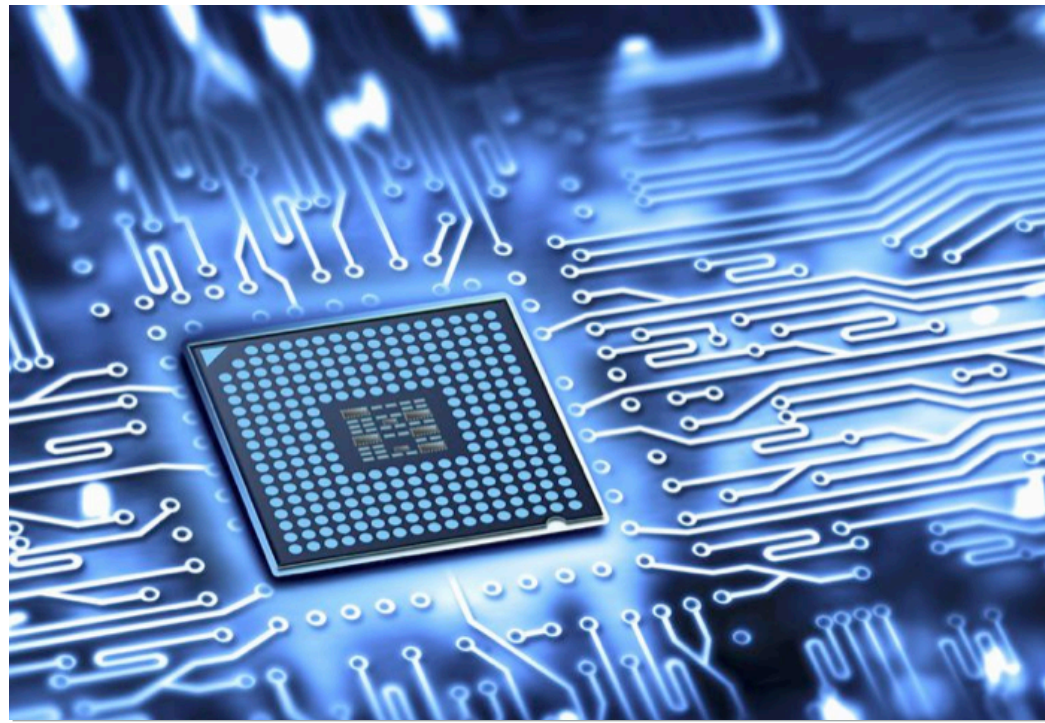
Objekte

- Daten am Objekts selbst
- Objektorientierung und virtuelle Repräsentanz physischer Objekte



Nur die Kombination der Begriffe beschreibt die Zielvision ausreichend.

Einflussfaktoren auf das Internet der Dinge



Konnektivität

- Übertragungskosten innerhalb von 10 Jahren um Faktor 40 gefallen
- Abdeckung mittels Funktechnologien deutlich verbessert

Rechenleistung

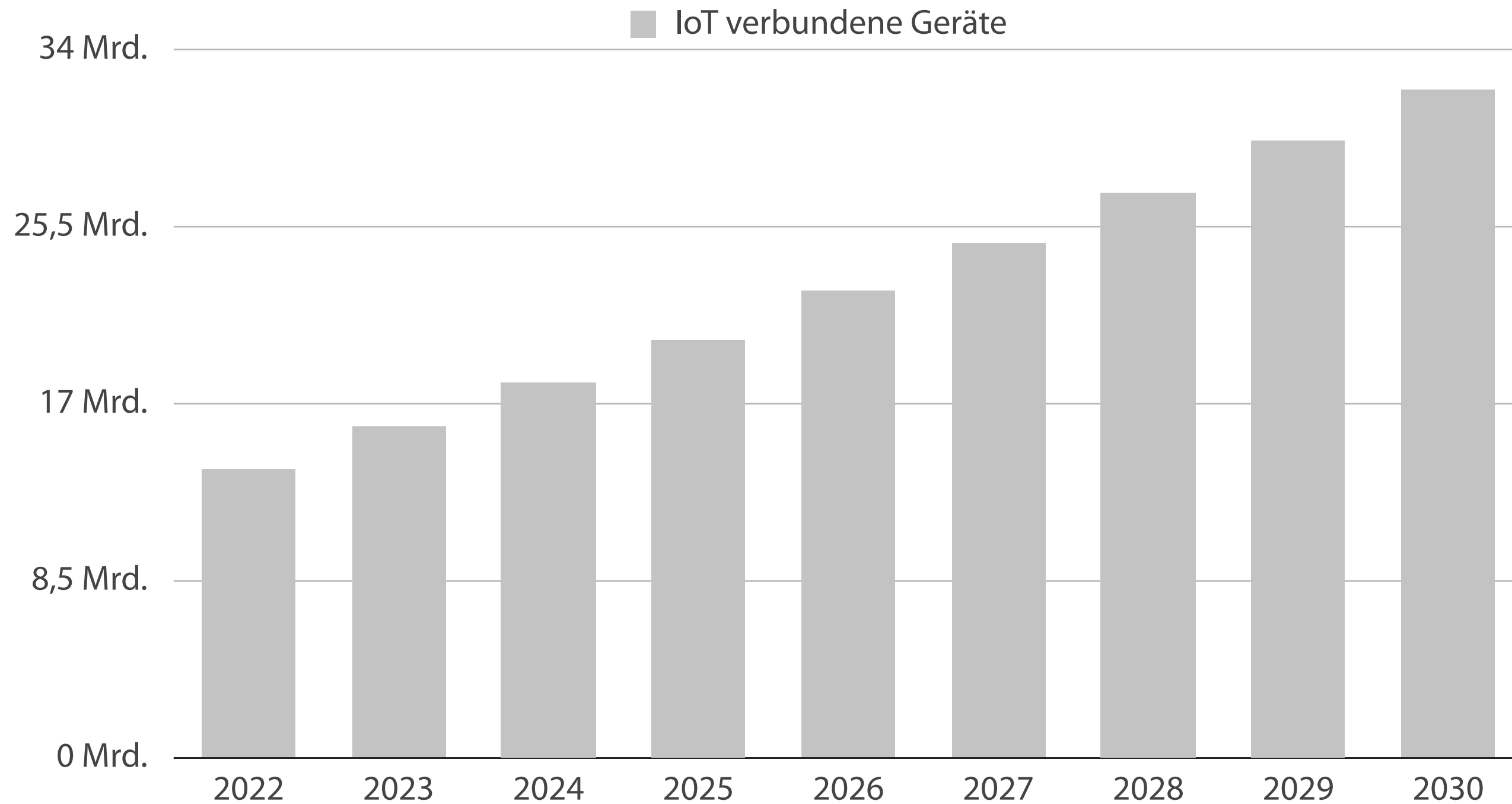
- Kosten für Rechenleistung innerhalb von 10 Jahren um 60 mal weniger
- Anforderungen für Betrieb (z.B. Energieverbrauch) deutlich verringert

Hardwarekomponenten

- Kosten für Sensoren innerhalb von 10 Jahren mehr als halbiert
- Neue Hardwarekomponenten (z.B. Einplatinencomputer) Grundlage für Projekte

Die Kosten als auch die Verfügbarkeit von Hard- und Software, ebenso wie Konnektivität begünstigen die rasche Verbreitung des Internets der Dinge.

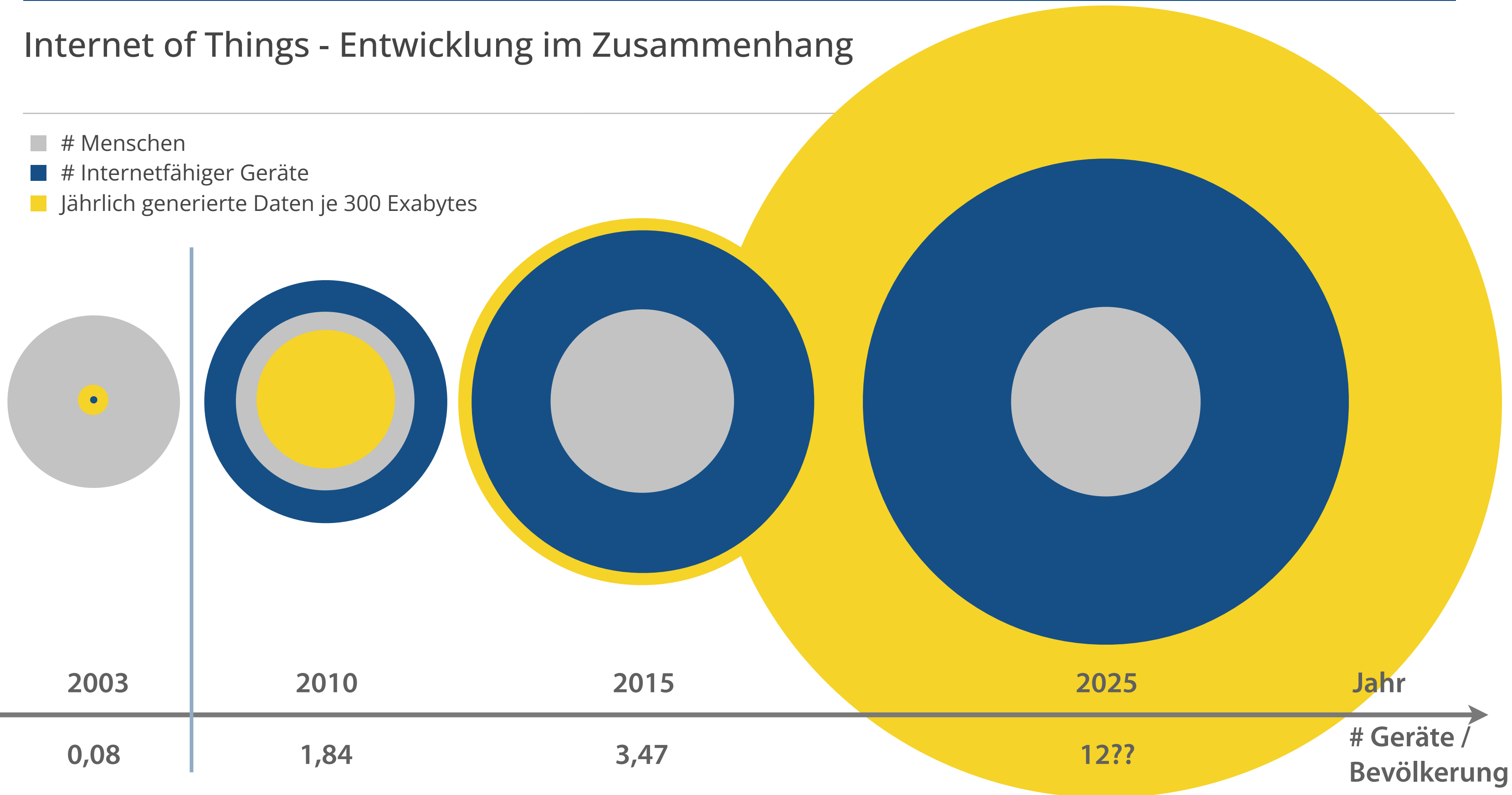
Internet of Things - Entwicklung der Gerätezahlen



Die Anzahl internetfähiger Geräte steigt stark an.

Internet of Things - Entwicklung im Zusammenhang

- # Menschen
- # Internetfähiger Geräte
- Jährlich generierte Daten je 300 Exabytes



Durch den rapiden Zuwachs an internetfähigen Geräten steigt auch die Menge der generierten Daten, welche für Analysen zur Verfügung stehen.

Anwendungsbereiche

Gebäude- und Heimautomatisierung

- Licht- und Temperaturregelung
- Energieoptimierung
- Vernetzte Haushaltsgeräte

Unterhaltung

- Smarte Geräte
- Anwendungsbezogene Sensoren
- Positionsbestimmung

Intelligente Städte

- Verkehrssteuerung
- Smart Metering / Smart Grid
- Intelligente Applikationen, z.B. intelligente Straßenbeleuchtung

Gesundheit

- (kontinuierliche) Fernüberwachung von Gesundheitsparametern
- Überwachung der Medikation
- Bestandsüberwachung

Intelligente Fertigung

- Echtzeitinformationen
- Vorbeugende Wartung
- Integration von Kundenwünsche direkt in den Fertigungsprozess

Automobilindustrie

- Autonomes Fahren
- Vorbeugende Wartung
- Infotainment

Die dargestellte Klassifikation der Anwendungsfelder im Internet of Things stellt ein Beispiel dar.



Einführung

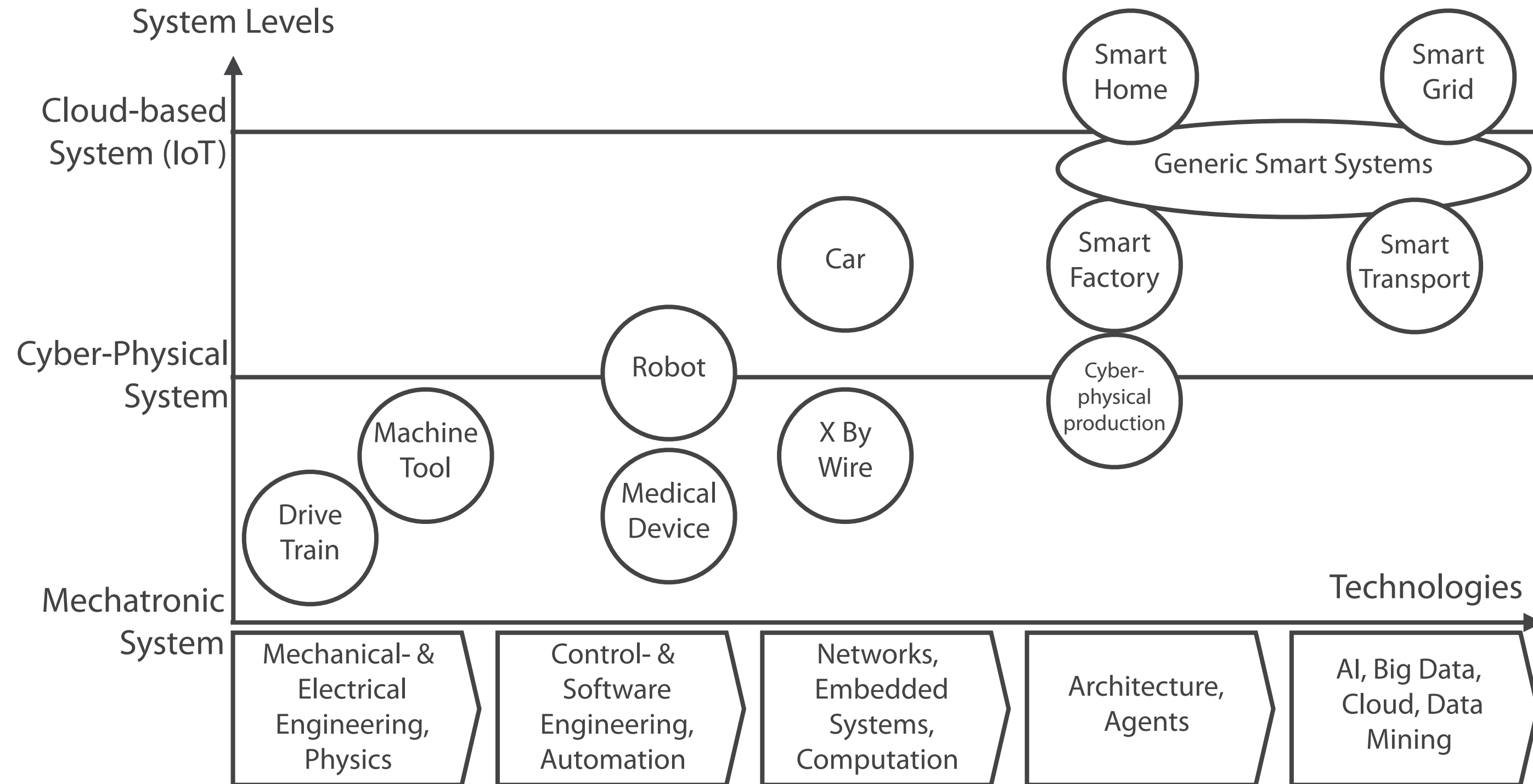
Konzepte im Internet of Things

Chancen

Herausforderungen

Umsetzungsstand von Internet of Things

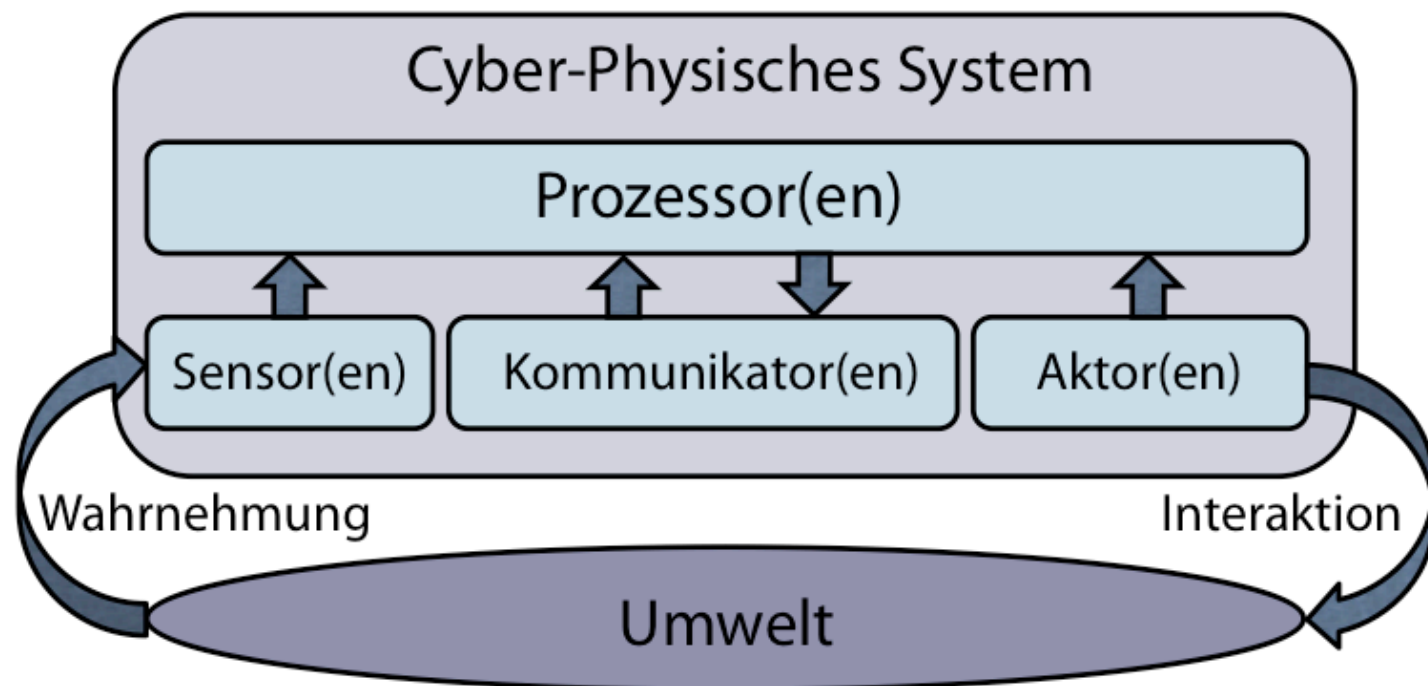
Entwicklungsprozess und Einordnung des Internet of Things



Überlappender, vernetzter Entwicklungsprozess nutzt mechatronische zu cyber-physikalischen zu hochvernetzten Systemen wie Smart Transportation oder Fabriken.

Strukturelemente cyber-physischer Systeme

- Sensoren zur unmittelbaren Erfassung physikalischer Daten
- Sensoren bilden Grundlage für die Erfassung der Umgebungssituation und somit für Adaptivität von CPS-Komponente
- CPS können Sensordaten lokal (vor-)verarbeiten und darauf basierend Entscheidungen treffen
- Aktoren dienen der Umsetzung der Aktionen durch Einwirkung auf die Umwelt
- Kommunikatoren ermöglichen die Übertragung von Informationen, Steuersignalen sowie Abstimmung

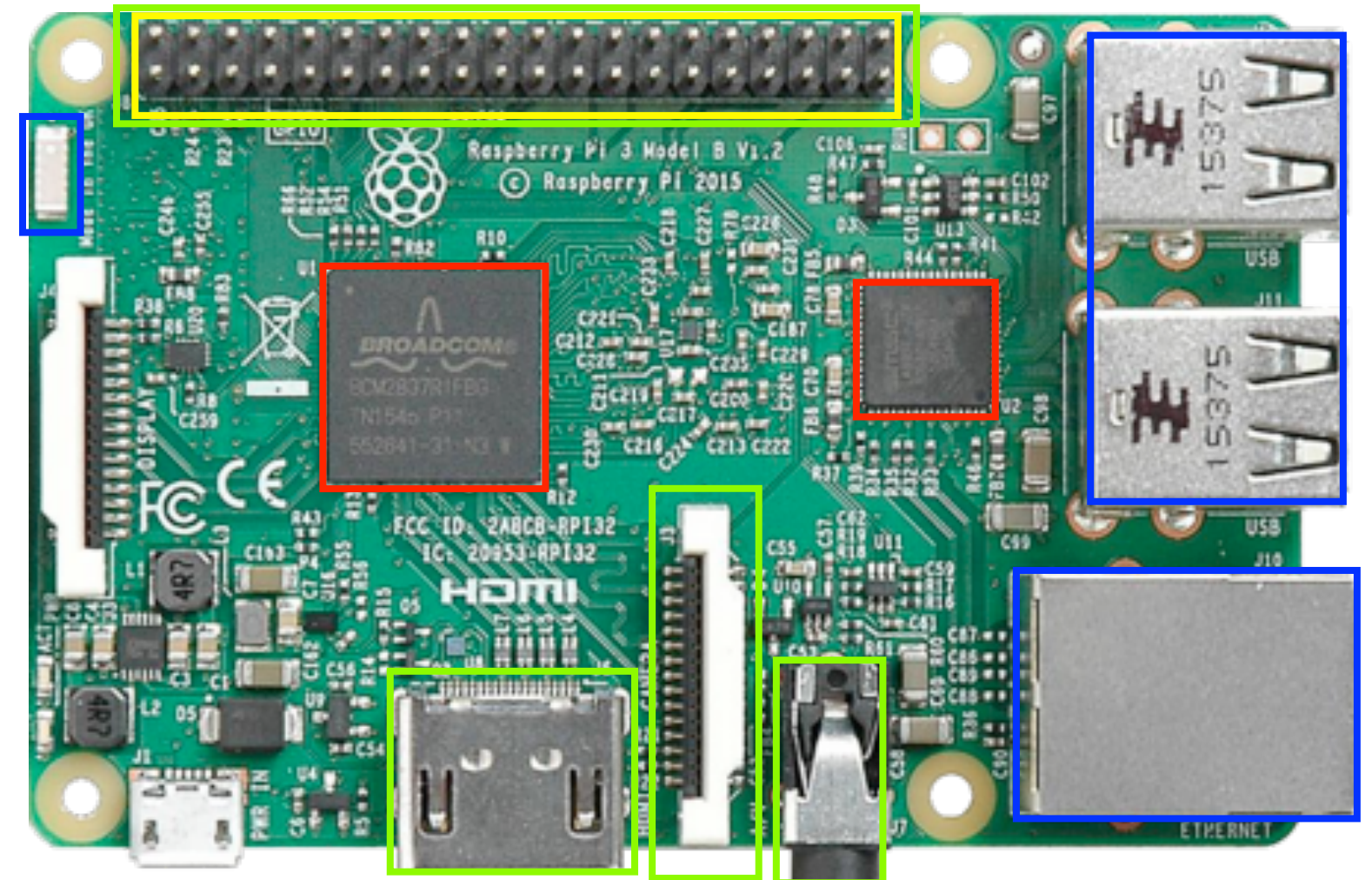
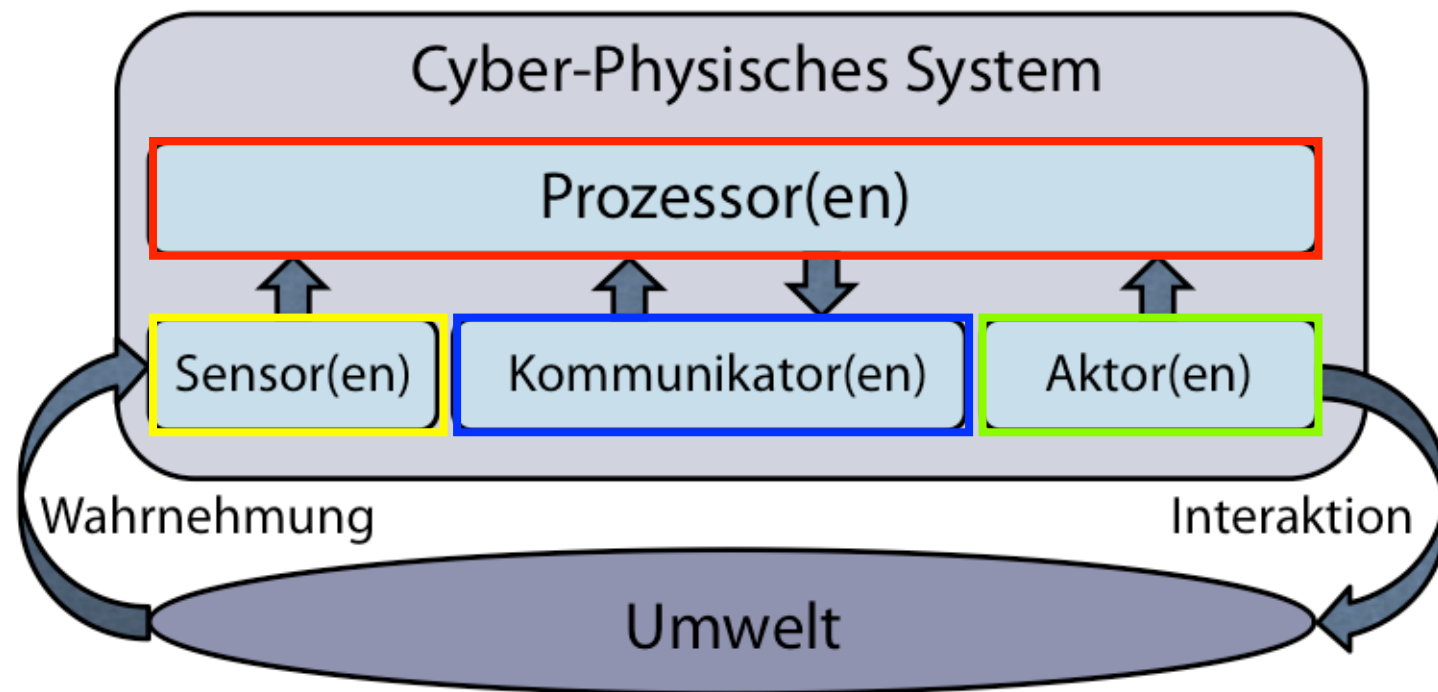


Cyber-physische Systeme verfügen über Komponenten welche das Interagieren mit der Umwelt ermöglichen.

Einplatinencomputer als Basis für CPS

Der Raspberry Pi als Basis für ein Cyber-physisches System

- Der Raspberry Pi verfügt über die wesentlichen Elemente eines cyber-physischen Systems
- Universell einsetzbar





Industrie 4.0-Box des Industrial Transformation Labs

- Grundlage ist RaspberryPi als flexibles Rechensystem
- Selbstentwickelte IO-Platine zum bedarfsgerechten Anschluss diverser Aktorik und Sensorik (z.B. 24V-basierte Industriekomponenten)
- Laufzeitsystem mit zwei Ebenen: High Level Runtime (Implementierung von "Intelligenz" durch höhere Programmiersprachen) und Low Level Runtime (echtzeitkritische Steuerungsfunktionen)

Durch die Kombination mehrerer standardisierter und zugleich anwendungsbezogener Steuerungskomponenten kann kooperatives Verhalten auf Ebene des Gesamtsystems erreicht werden.

Smarte Produkte nach Mühlhäuser

A Smart Product is an entity (tangible object, software, or service) designed and made for **self-organized embedding into different (smart) environments** in the course of its lifecycle, providing **improved simplicity and openness** through improved **p2u and p2p interaction** by means of context-awareness, semantic self-description, proactive behavior, multimodal natural interfaces, AI planning, and machine learning.

Einfachheit und Offenheit

- Einfachheit als wesentlicher Erfolgsfaktor und notwendige Voraussetzung für Akzeptanz
- Offenheit als Grundlage für Integration und Zusammenwirken der Produkte

Interaktion

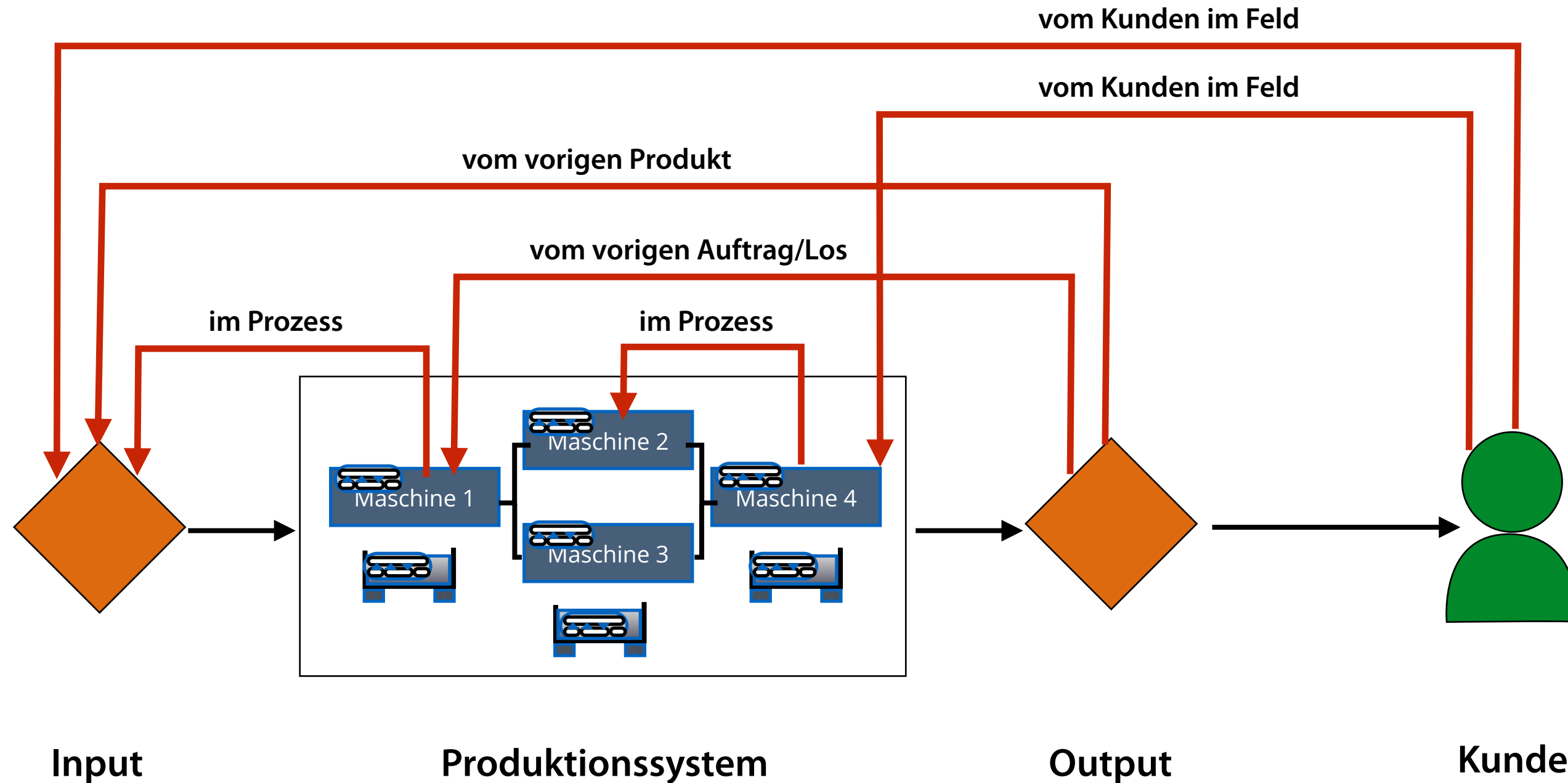
- Zwischen Produkt und Nutzer
- Unter Produkten (bzw. anderen automatisierten Komponenten)

Wissen (drei Stufen)

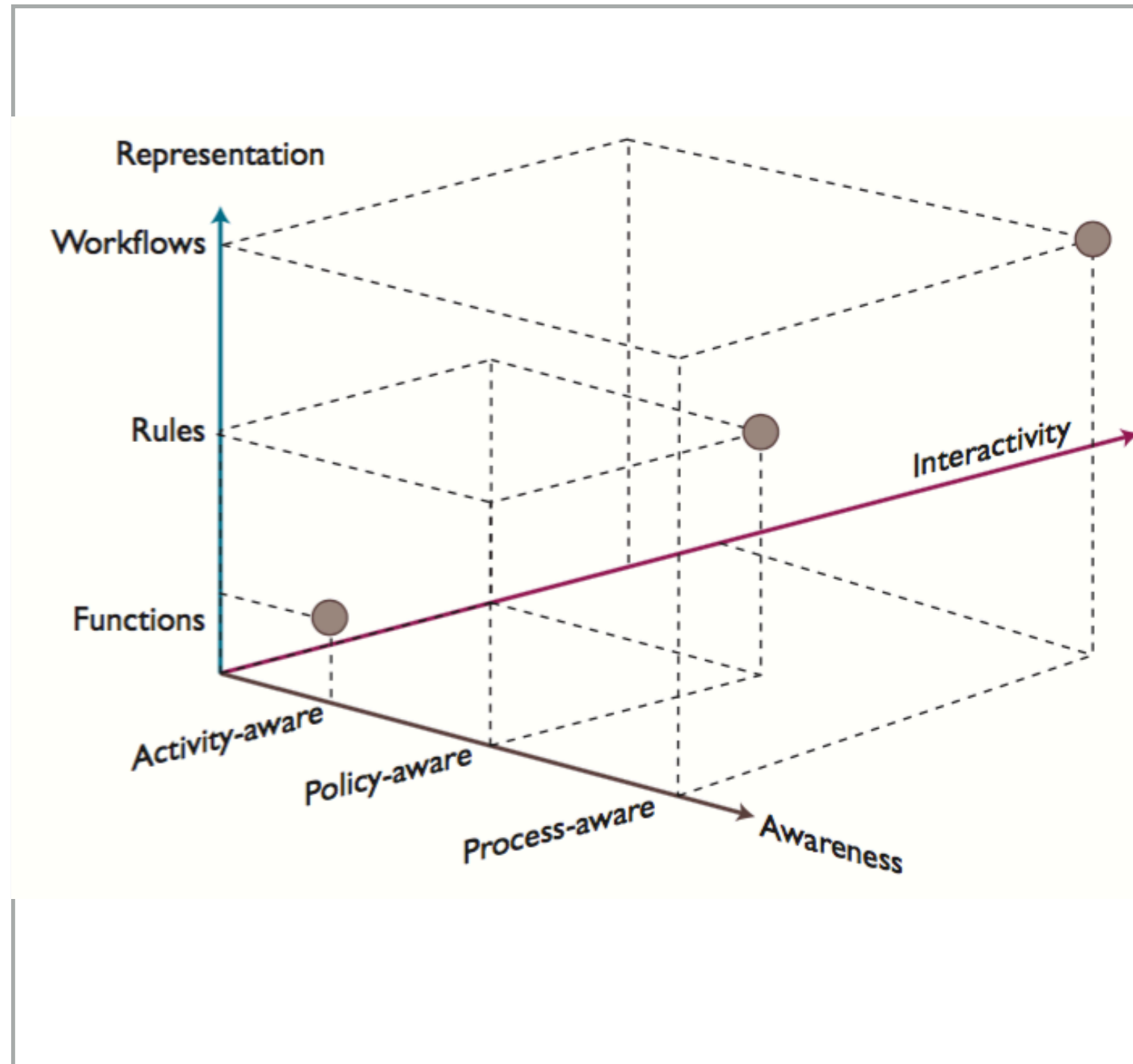
- Wissen über sich selbst
- Wissen über die Umwelt
- Wissen über die Nutzer

Smarte Produkte beinhalten in in jedem Fall eine flexible Softwarekomponente welche eine unerlässliche Grundlage für deren Funktionalität darstellt.

Mögliche Rückkopplungen durch Smarte Produkte / CPS



Die Integration über die gesamte Wertschöpfungskette ermöglicht direkte, nicht hierarchische Rückkopplungen an verschiedene Stellen im Prozess.



Activity aware (Aktivität)

- Nimmt Aktivität / Nutzung wahr
- Einsatz für Pay-per-use

Policy aware (Regeln)

- Bildet Elementare Entscheidungsregeln ab
- Einsatz für Überwachungsfunktionen

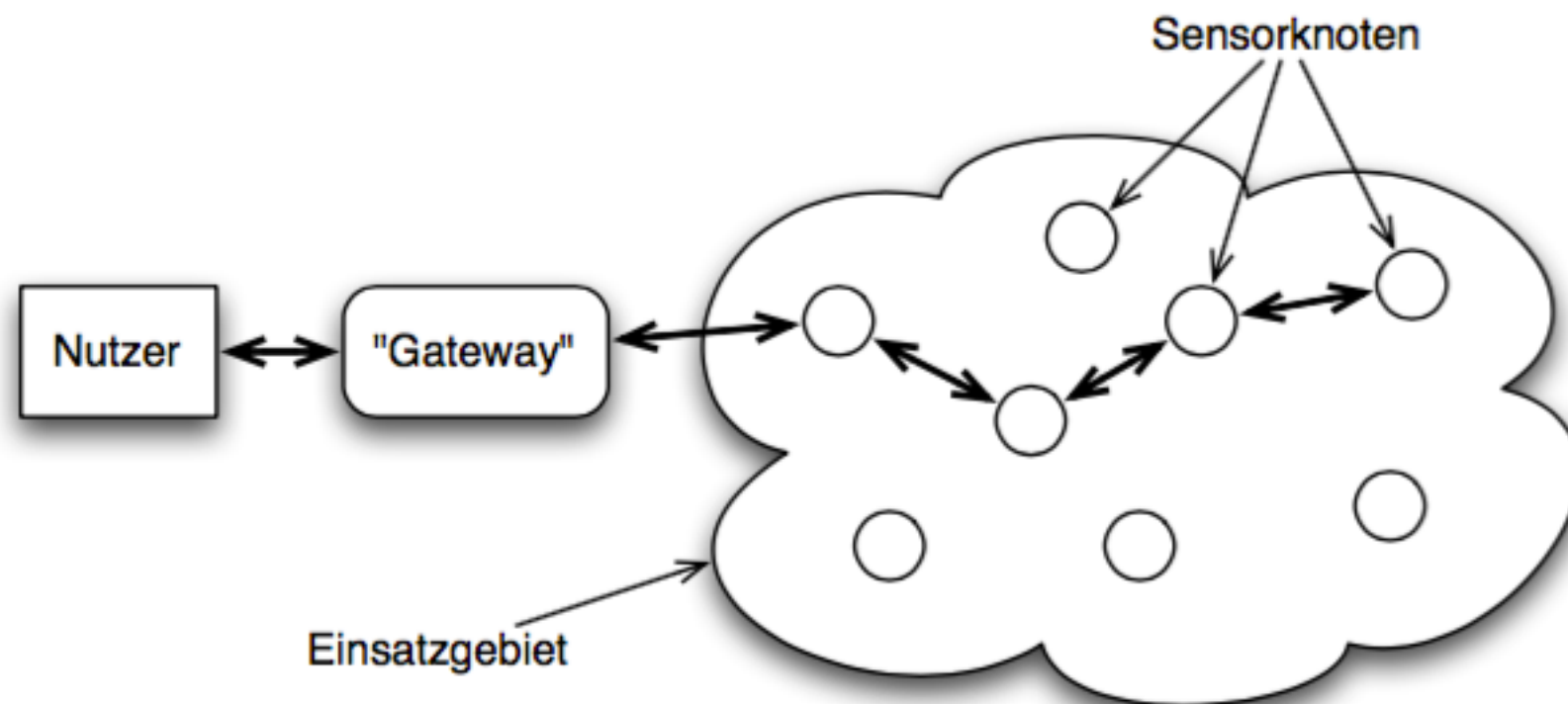
Process aware (Prozesse)

- Bildet Geschäftsprozesse ab
- Einsatz zur aktiven Prozessunterstützung / -steuerung

Es werden drei wesentliche Funktionsumfänge differenziert.

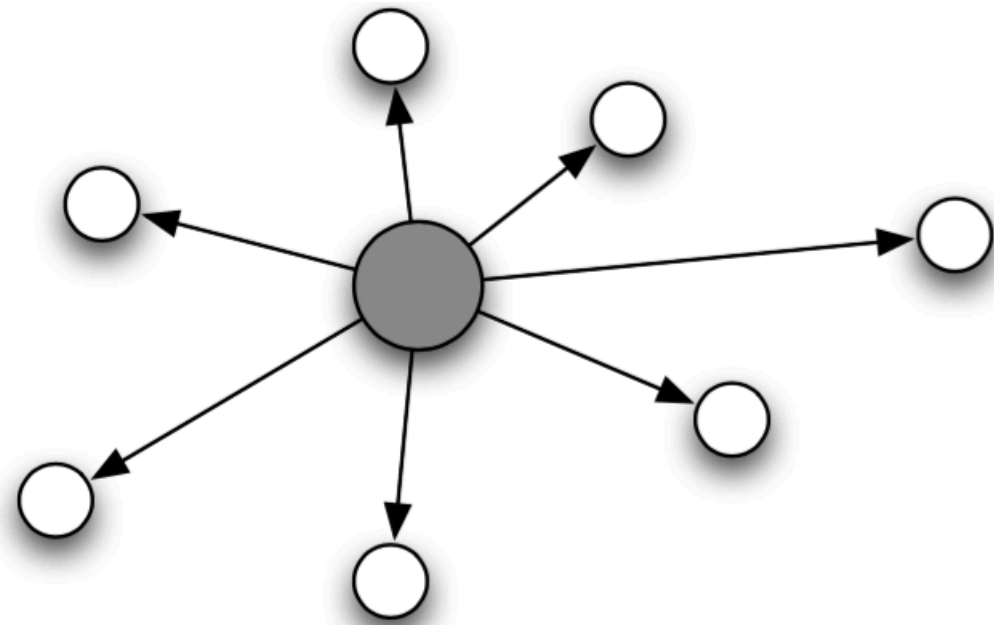
Aufbau von Sensornetzwerken

- Große Anzahl an Sensorknoten welche die Datenaufnahme realisieren
- Gateway welches die Verbindung zwischen Sensorknoten und dem Internet / Netzwerk ermöglicht
- Nutzer als Abnehmer der Informationen (kann auch ein Informationssystem sein)



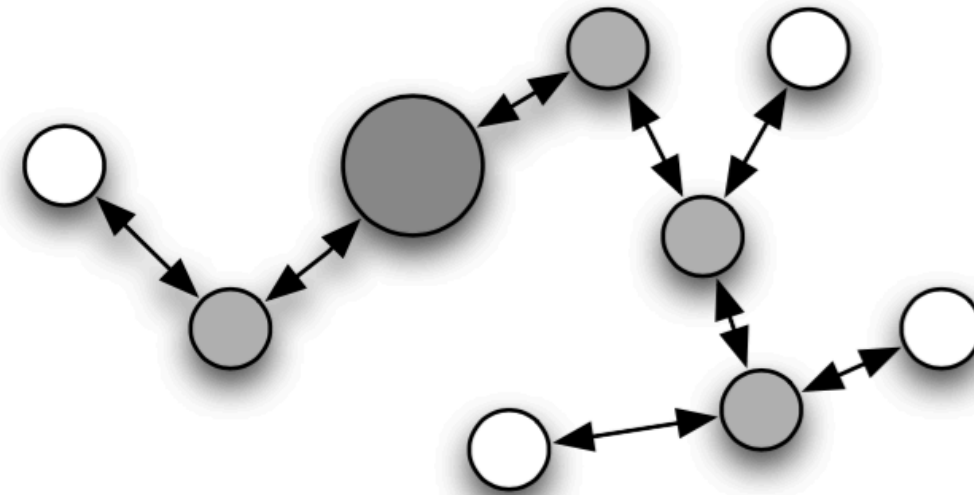
Im Rahmen von engmaschigen Sensornetzwerken sind Sensorknoten nur selten direkt mit dem Internet verbunden. Häufig übernimmt ein Gateway die Verbindung zwischen Sensornetzwerk und dem Internet. Ein Funkstandard zu diesem Zweck ist LoRaWAN.

Quelle: Heider (2011)



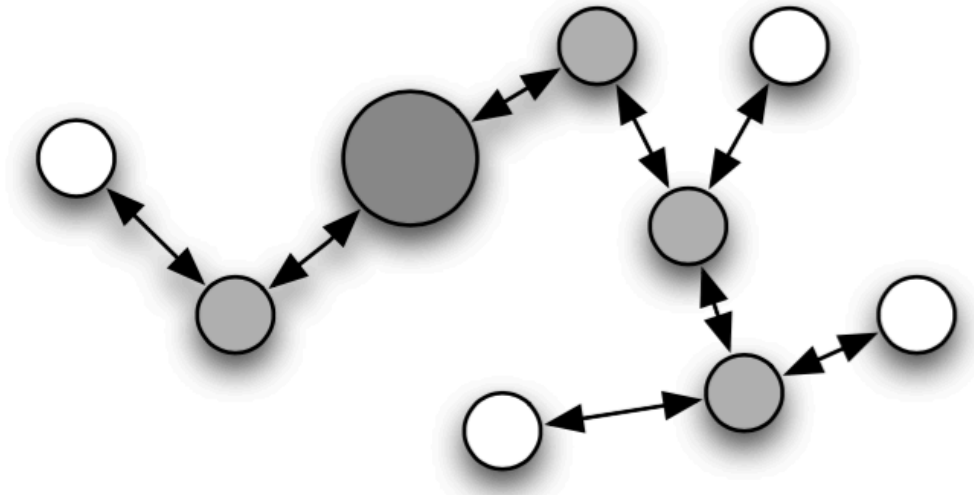
Sterntopologie

- Kommunikation der Sensorknoten ausschließlich über einen einzigen Basisknoten
- Direkte Kommunikation unter Sensorknoten erfolgt nicht



Baumtopologie

- Weitere Basisknoten fungieren als Basisknoten für die Kommunikation
- Basisknoten können mit allen Knoten kommunizieren, Sensorknoten nur mit Basisknoten

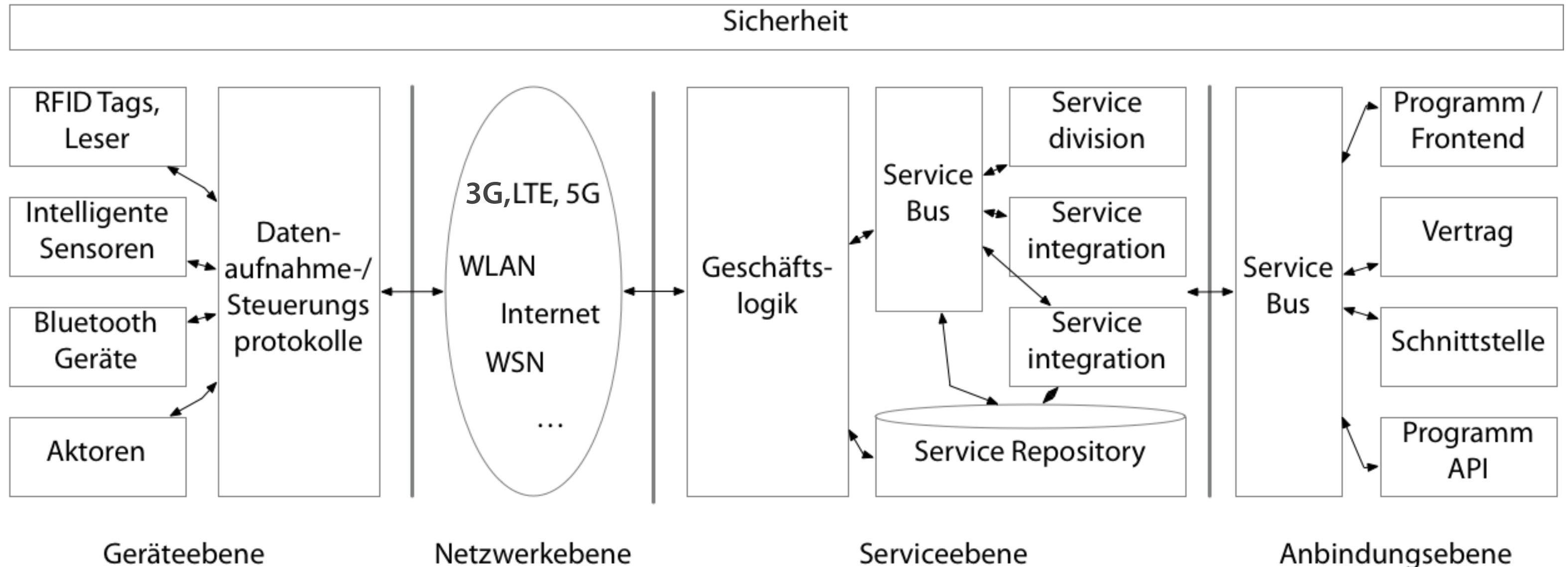


Meshtopologie

- Jeder Knoten kann mit jedem in der Reichweite befindlichen Knoten kommunizieren
- Meshtopologie ist sehr fehlerresistent

Die Auswahl der geeigneten Netztopologie beeinflusst die Leistungsfähigkeit der Gesamtlösung.

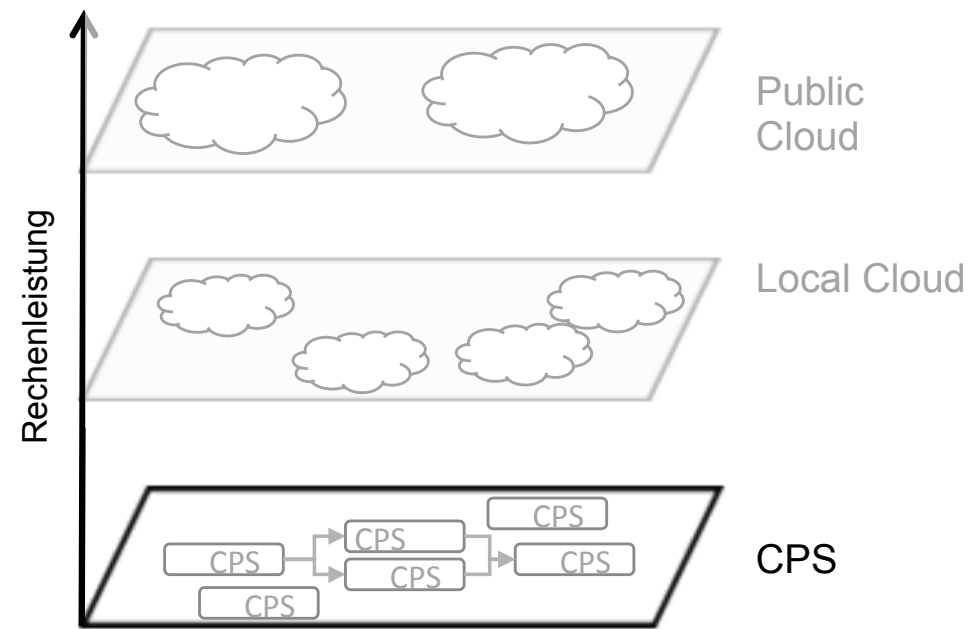
Architekturkonzepte für das Internet of Things



Beispiel: Predictive Maintenance

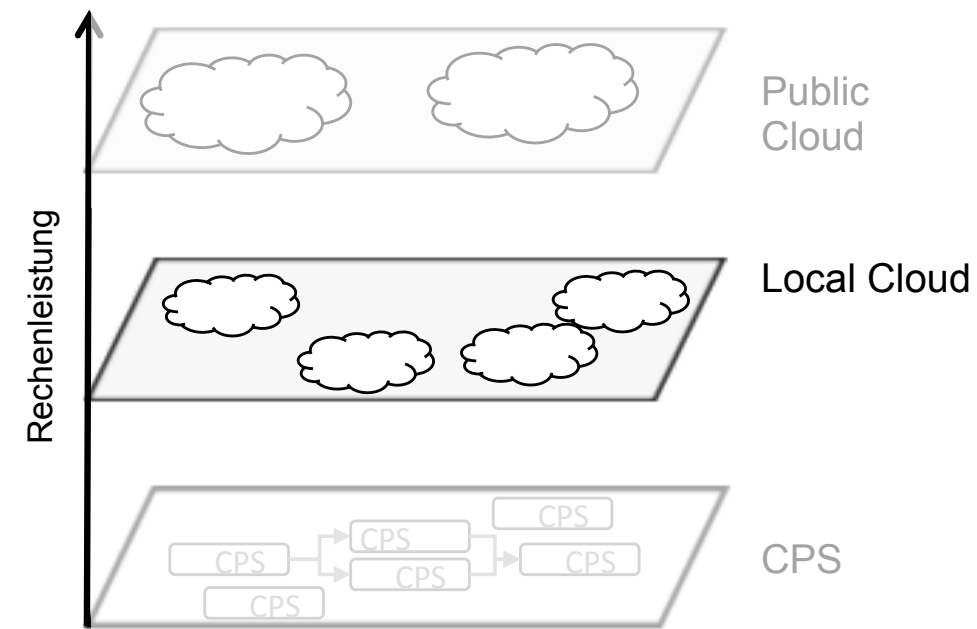


Verarbeitungskonzepte



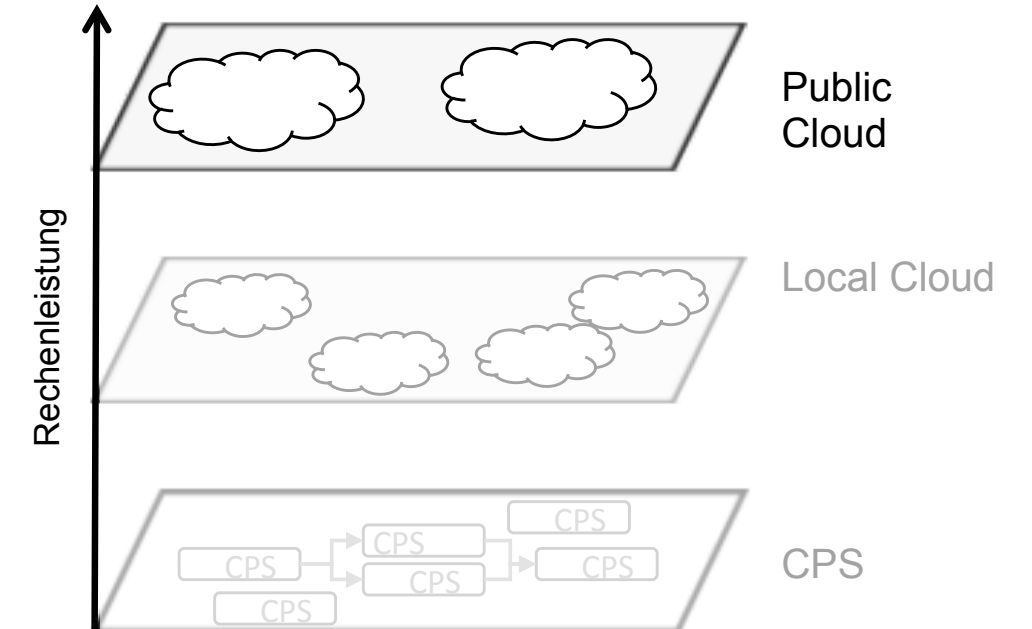
Edge Computing

- Dezentrale Verarbeitung der Daten am Ursprung
- Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen der Objekte im Internet of Things



Fog Computing

- Analyse-, Speicher- und Verarbeitungsfunktionen am Rand des Netzwerks
- Nutzung zur Verfügung stehender Ressourcen nahe des Ursprungs
- Vorteile durch gute Anbindung

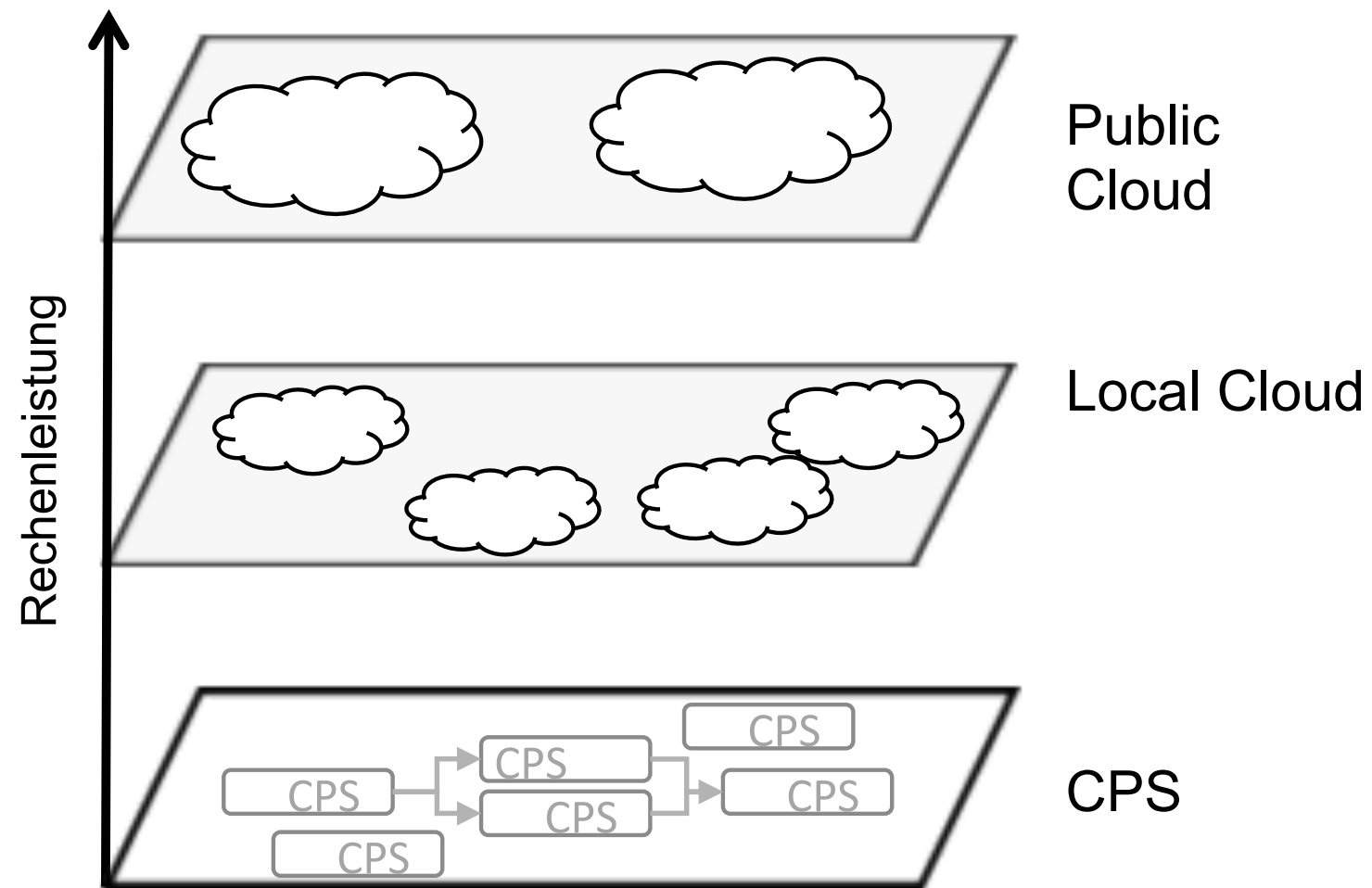


Cloud Computing

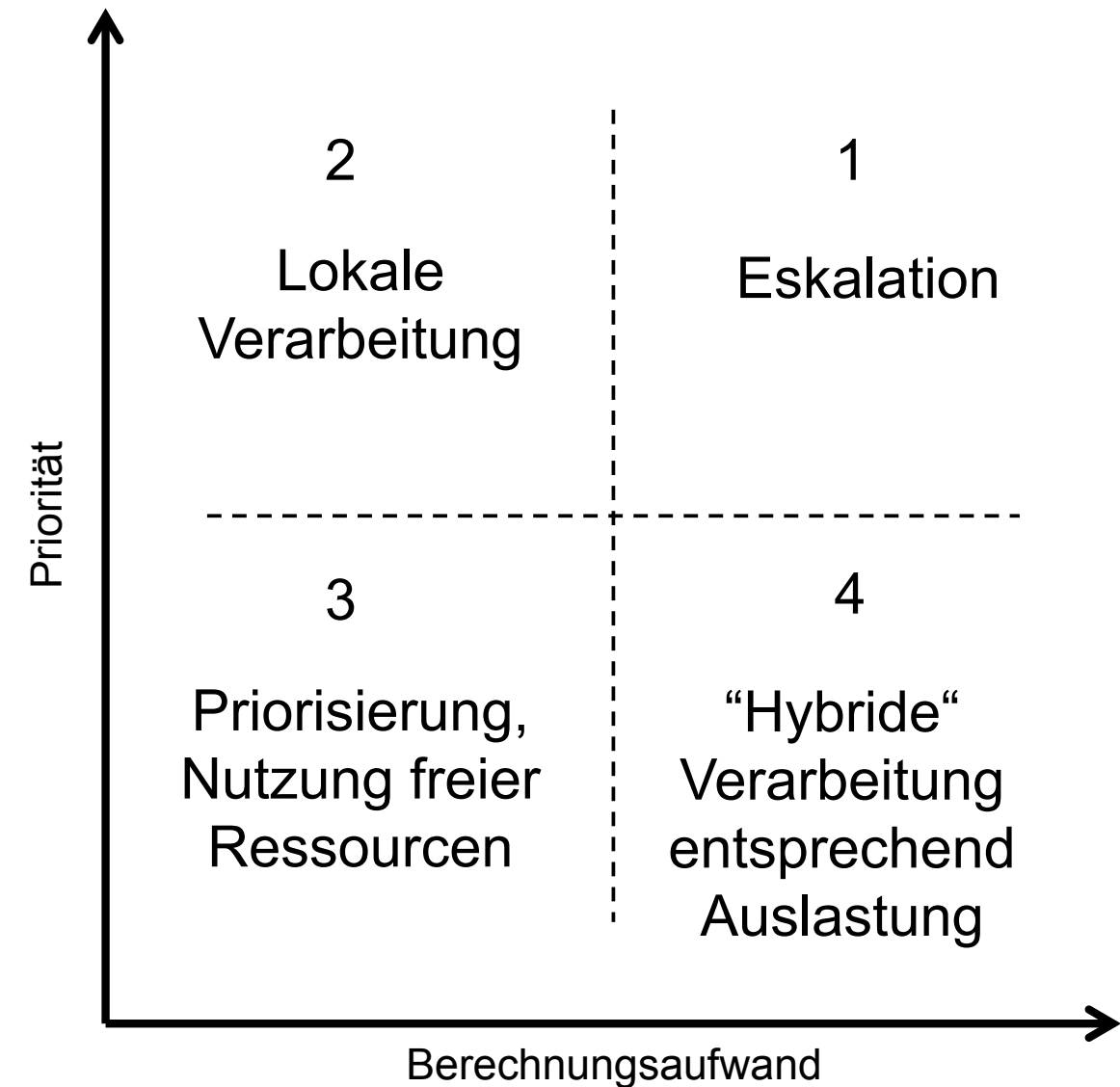
- Zentralisierte Verarbeitung
- Nutzung leistungsfähiger Ressourcen

Konzepte zur dynamischen Aufgabenallokation

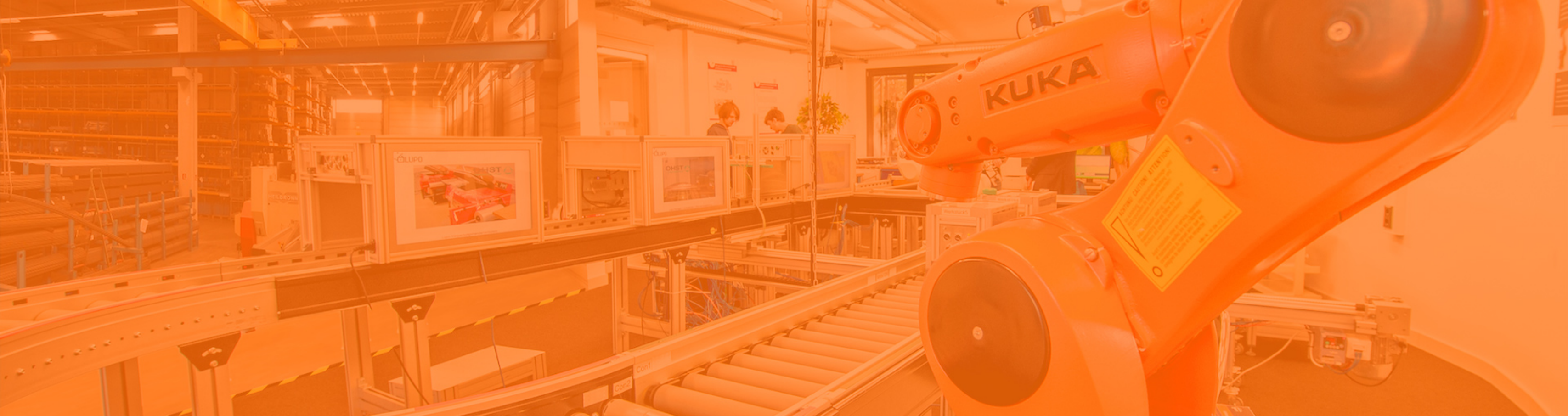
Unternehmensinfrastruktur



Aufgabenallokation



Der Bestimmung des optimalen Berechnungspunktes kommt im Rahmen des IoT eine gesteigerte Bedeutung zu.



Einführung

Konzepte im Internet of Things

Chancen

Herausforderungen

Umsetzungsstand von Internet of Things

Typische Eigenschaften von Internet of Things Projekten

Globale Verfügbarkeit

- Anbindung an IP-basierte Netzwerke ermöglicht weltweiten Zugriff

Zusammenwirken / Integration

- Unterschiedliche Komponenten im Hinblick auf eine Zielstellung kombiniert
- Legacy-Komponenten können angebunden werden

Intelligente Lösungen

- Selbstlernende Mechanismen sichern Reaktionsfähigkeit auf veränderte Anforderungen
- Einsatz komplexer maschineller Lernverfahren

Das Internet of Things ermöglicht die globale Verfügbarkeit und den Zusammenschluss unterschiedlicher Komponenten zu intelligenten Gesamtlösungen.

Potenziale durch das Internet of Things

Beispiele

Gebäudeautomatisierung

- Verfügbarkeit aktueller Daten zur bedarfsgerechten Steuerung von Verbrauchern
- z.B. Herunterschalten der Heizenergie während Abwesenheit

Intelligente Fertigung

- Fähigkeiten kurzfristig auf individuelle Anforderungen / Situationen zu reagieren
- z.B. Direkte Einbindung von Kundenwünschen in die Fertigung

Smart City

- Möglichkeit die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur angemessen zu gestalten
- z.B. Verkehrsflussoptimierung auf Basis von Echtzeitdaten

Connected Car

- Kooperative Steuerung durch Abstimmung mehrerer Fahrzeuge
- Gemeinsame Nutzung von erhobenen Messdaten zur Entscheidungsfindung

Die Potenziale des Internet of Things sind vom konkreten Anwendungsfall abhängig. Bereichsübergreifend sind die Datenverfügbarkeit sowie die integrierten Mess- und Regelkreise als charakteristisch zu nennen.



Einführung

Konzepte im Internet of Things

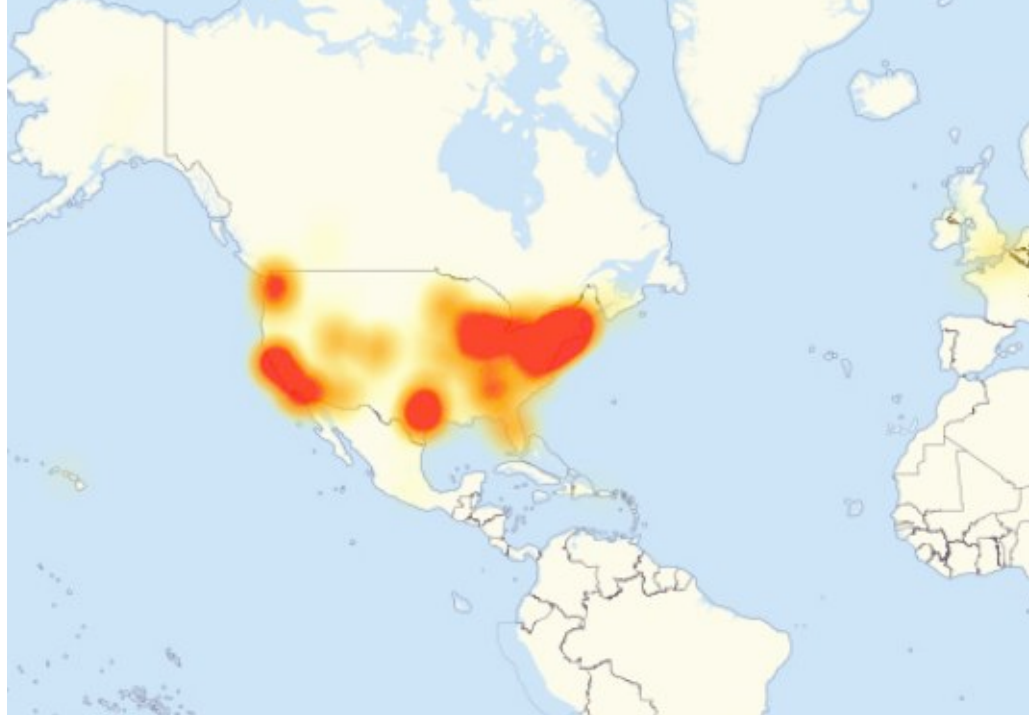
Chancen

Herausforderungen

Umsetzungsstand von Internet of Things

Sicherheit im Internet of Things

Ein bekanntes Beispiel



DDoS Attacke mit Nutzung von zahlreichen IoT-Devices

- Botnetze früher vorwiegend auf Basis von infizierten Computern
- Oktober 2016 nutzen Hacker zahlreiche internetfähige Haushaltsgeräte infiziert mit Schadsoftware **Mirai** (ca. 300.000 Geräte) für DDoS
- DDoS (Distributed Denial of Service) Verteiler Angriff auf DNS-Dienst (Dyn) womit zahlreiche US-Websites nicht unter deren Domain erreichbar waren
- Zahlreiche Dienste zeitweise nicht erreichbar, u.a. Spotify, Netflix, Paypal u.v.m.

Veröffentlichte Pläne enthüllen Mirai-ähnliches russisches IoT-Botnet Fronton (März 2020)

- Intelligente Geräte durch werkseitig voreingestellte Passwörter kompromittiert
- Resultierende Zombie-Geräte zu Botnet geformt und für DDoS-Angriffe verwendet
- Botnet besteht zu 95% aus IP-Kameras (ähnlich zu Mirai)

Sicherheit im Internet of Things

Weitere aktuelle Beispiele



Warnungen und Rückrufe von Insulin Pumpen (Juni 2019)

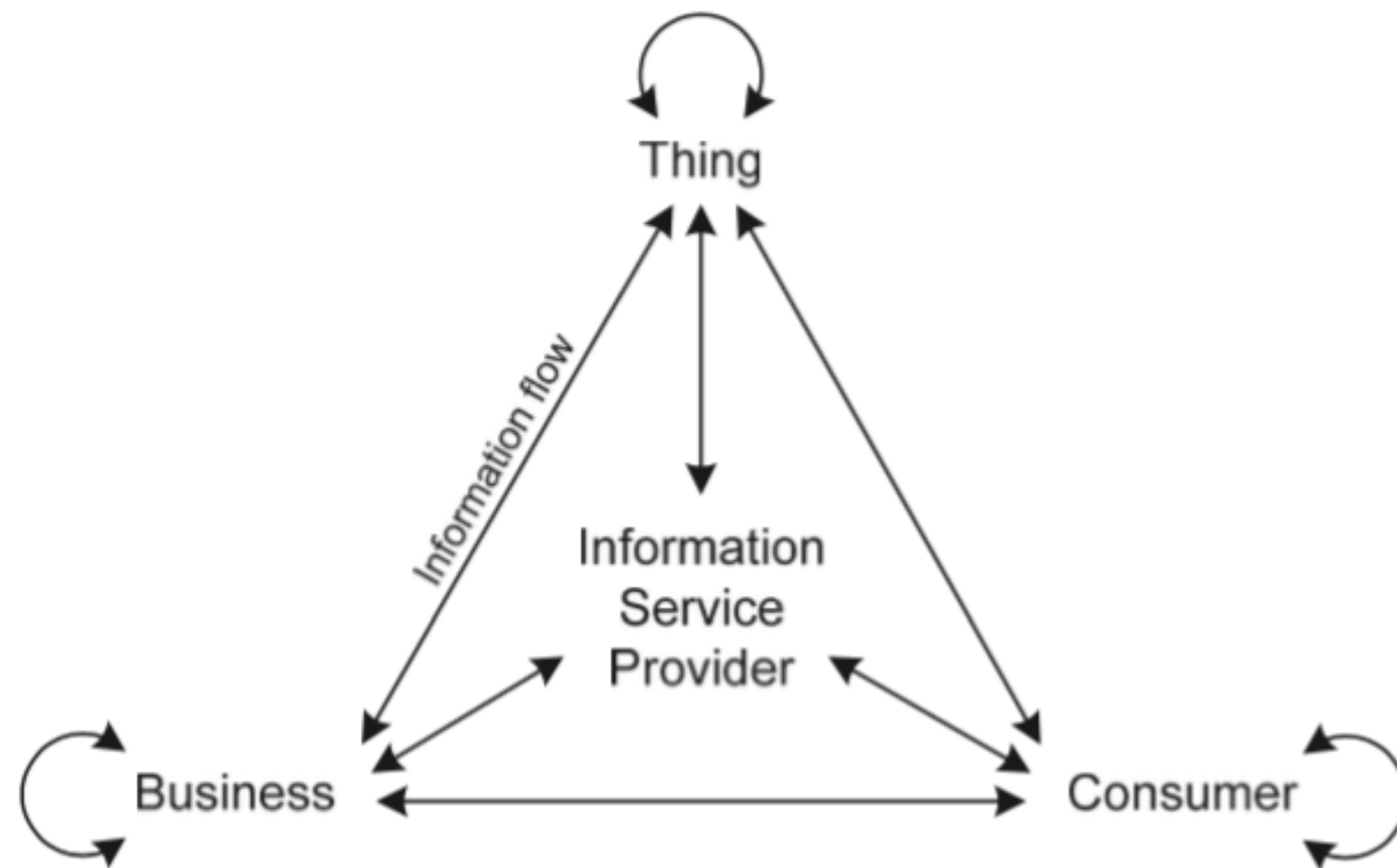
- Sicherheitslücken ermöglichten drahtlose Verbindung zu einer nahe gelegenen MiniMed-Insulinpumpe
- Einstellungen der Pumpe konnten geändert werden (zu viel/wenig Insulin an einen Patienten abgegeben oder Insulinabgabe stoppen)



Übernahme aller FurryTail-Futterautomat der Welt (Oktober 2019)

- Sicherheitslücke ermöglicht Änderungen an Fütterungsplänen und aufspielen neuer Firmware ohne ein Passwort zu benötigen

Der Sicherheit kommt im Internet of Things eine große Bedeutung zu. IoT-Geräte übernehmen immer mehr zentrale Steuerungsfunktionen. Ungewollte Eingriffe können große Schäden auslösen.



Wert von Informationen im Internet of Things

- Informationen können verlustfrei vervielfacht werden ohne an Wert zu verlieren
- Die Nutzung von Informationen erhöht deren Wert, werden Informationen nicht genutzt bieten diese keinen Wert
- Der Wert einer Information verringert sich über den Zeitverlauf
- Je genauer eine Information desto höher ist der Wert
- Der Wert von Informationen steigt durch deren Kombination
- Mehr Informationen ist nicht notwendigerweise besser
- Informationen sind nicht erschöpflich

Die Bedeutung von Informationen nimmt im Internet of Things zu und wird als wesentlich für die Wertschöpfung angesehen.

Geschäftsmodelle im Internet of Things

Beispielsprodukt Automobil

MILES

m@bileeee
E-Carsharing

nextbike
by TIER

lime

TIER

Bolt



Mobilität

- Car Sharing Anbieter bieten flexible Autovermietung an
- Anmietung, Steuerung und Rückgabe kann über Smartphone erfolgen

Versicherungen

- Telematik Versicherungstarife
- Analyse des Fahrverhaltens als Grundlage für die Risikobewertung
- Reduktion der Versicherungsprämie möglich

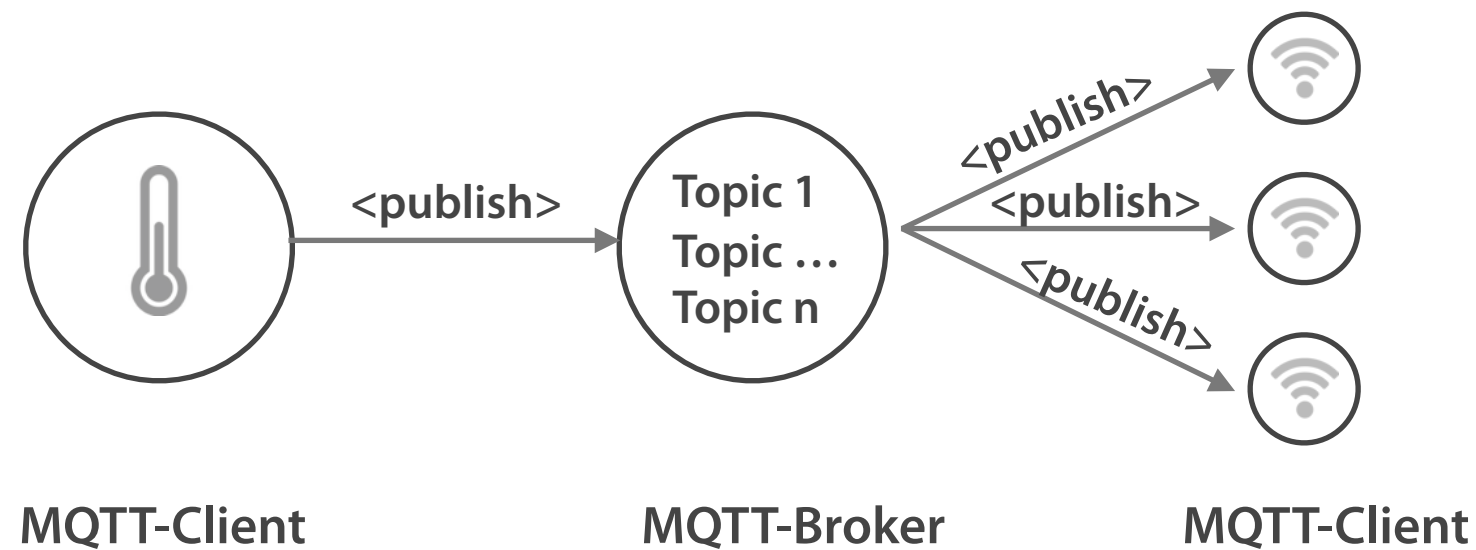
Zusatzmerkmale

- In-Car Dienstleistungen z.B. Concierge Service
- Power on Demand (Freischaltung von Zusatzfunktionen für zeitlich beschränkten Zeitraum)
- Automatische Unfallmeldung

Das Internet of Things stellt die Grundlage für neue Geschäftsmodelle dar.

Anbindung im Internet of Things

MQTT als Beispiel



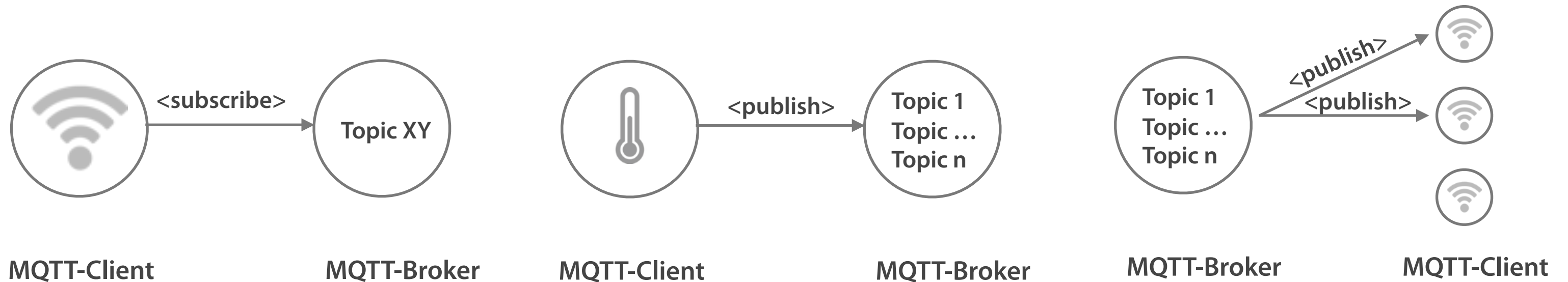
MQTT: Message Queuing Telemetry Transport

Spezialisiertes Protokoll Message Queue Telemetry Transport (MQTT)

- Auf Übertragung von Telemetriedaten spezialisiert
- Wenig Kommunikationsoverhead
- Themenbasiertes Publish-/Subscribe Verfahren
- Broker als zentrale Instanz welche Nachrichten zu Themen an interessierte MQTT-Clients weiterleitet
- Broker stellt ggf. Engpass im System dar
- Broker ist funktionskritisch

Es existieren eine Vielzahl von Standards im Internet der Dinge für die Kommunikation.

Einsatz von MQTT - Ein Beispiel



1. Subskription

- Clients / Empfänger deklarieren ihr Interesse an Themen (Topics) beim MQTT-Broker

2. Veröffentlichung

- Clients veröffentlichen Nachrichten mit Themenkennzeichnung beim MQTT-Broker

3. Verteilung

- Broker verteilt Nachrichteninhalte an zu dem jeweiligen Thema interessierte Clients

MQTT basiert auf dem Publish- /Subscribe-Verfahren. Durch die sehr einfache Implementierung ist MQTT auch auf Mikrocontrollern problemlos nutzbar und ist insbesondere für ressourcenbeschränkte Geräte geeignet.



Einführung

Konzepte im Internet of Things

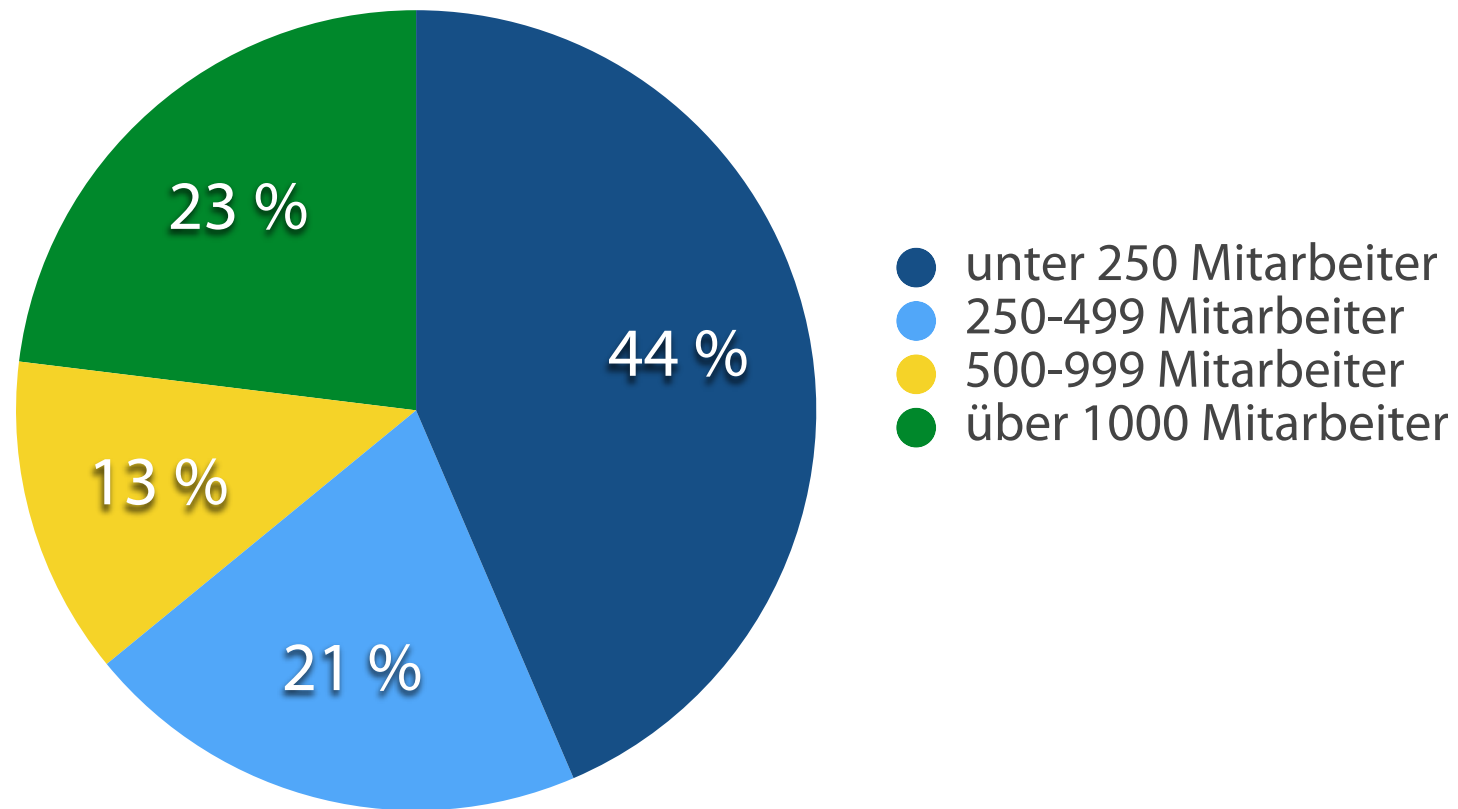
Chancen

Herausforderungen

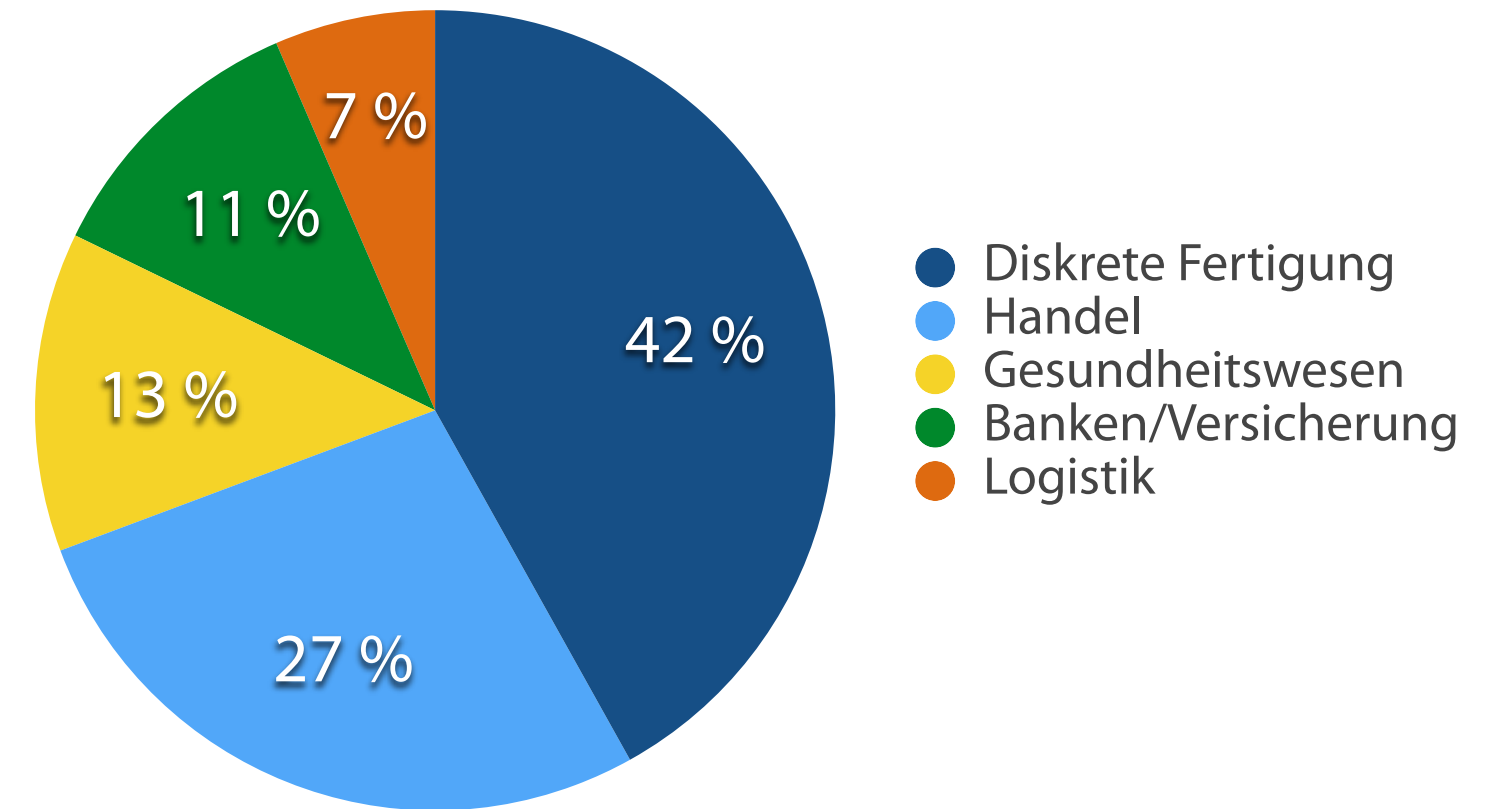
Umsetzungsstand von Internet of Things

Marktstudie Internet of Things

Marktstudie -
Einordnung nach Mitarbeiterzahlen



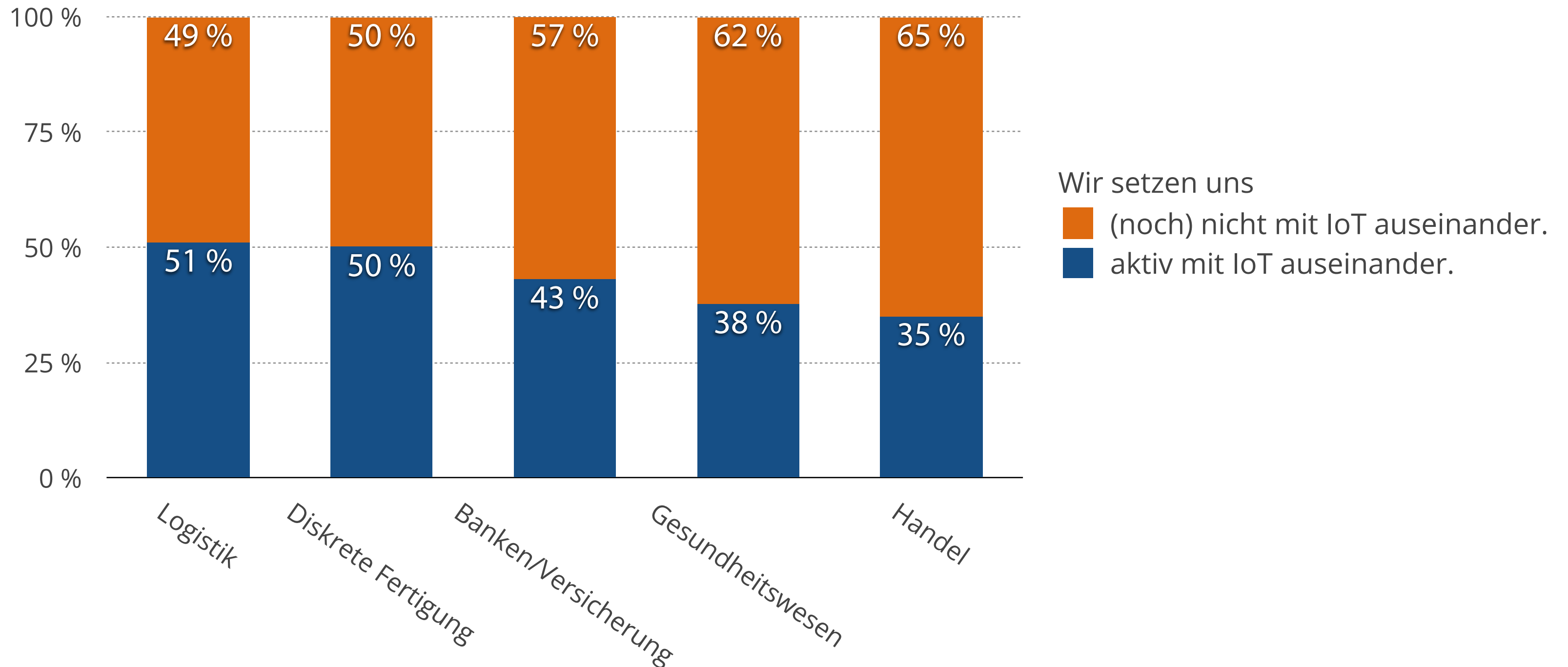
Marktstudie -
Einordnung nach Branche



Es wurden 5777 Unternehmen unterschiedlicher Branchen befragt.

Marktstudie Internet of Things

Beschäftigung mit IoT nach Branchen



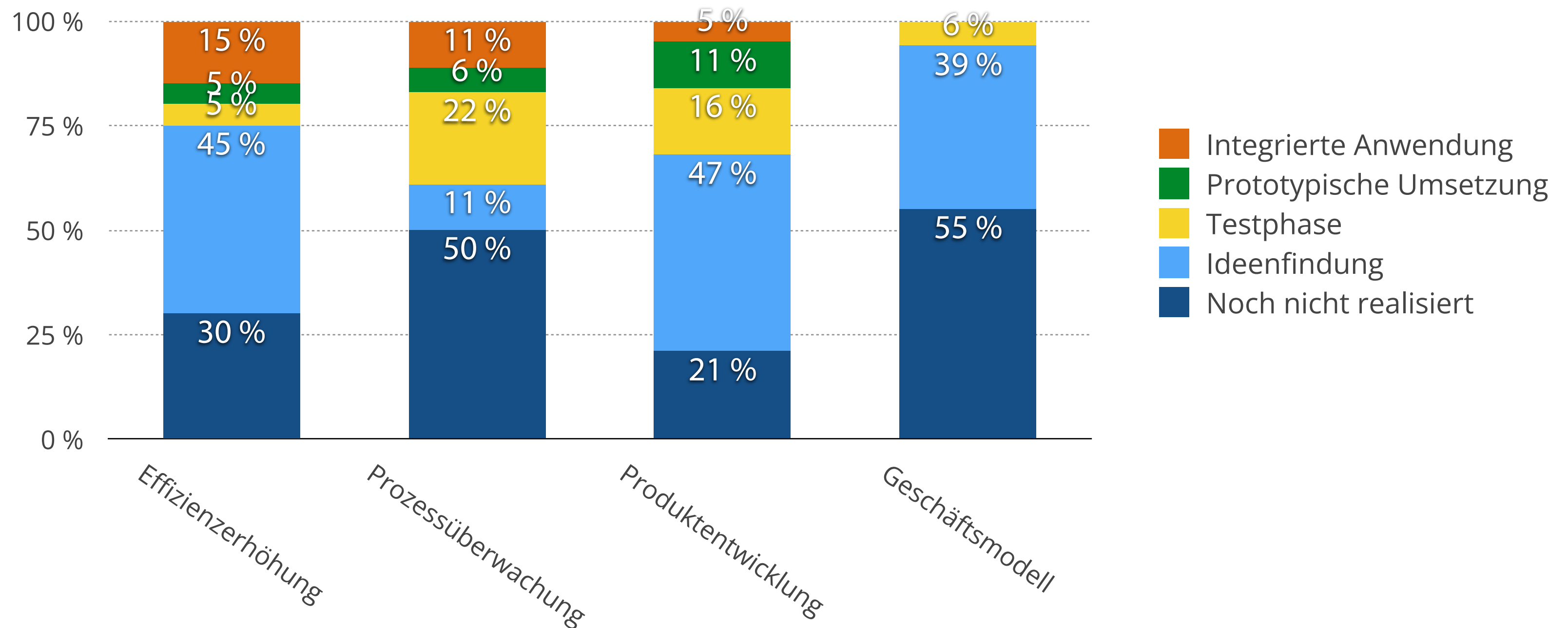
Weniger als die Hälfte der Unternehmen setzen sich aktiv mit IoT auseinander. In der Logistik und Fertigung wird IoT jedoch besonders intensiv diskutiert.

Quelle: Gronau et al. (2016)

Marktstudie Internet of Things

Stand und Schwerpunkte der IoT-Projekte

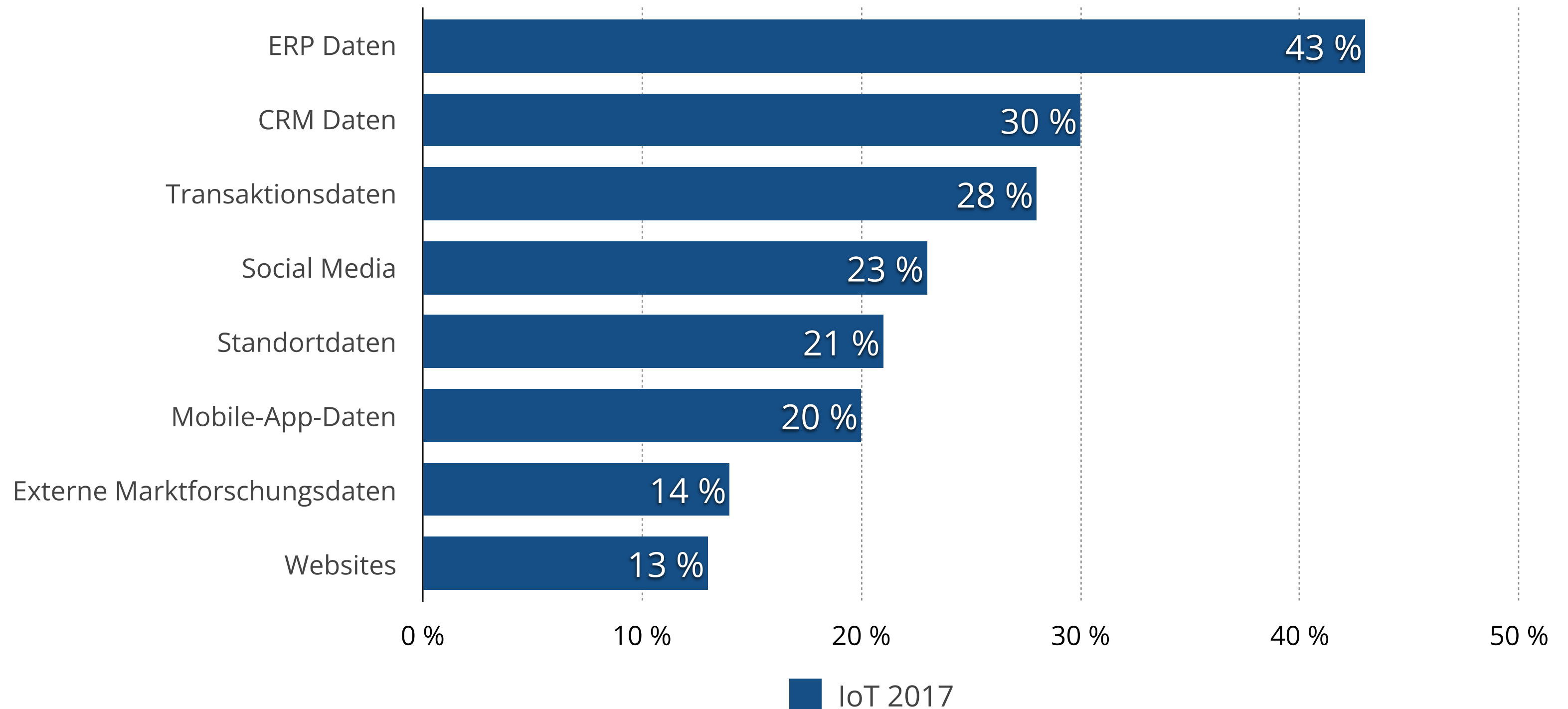
IoT-Projekte werden entweder unternehmensweit initiiert (40%) oder als punktuelle Initiativen (40%) gestartet.



Projekte zur Effizienzerhöhung sind bisher am weitesten fortgeschritten.

Marktstudie Internet of Things

Welche Datenquellen verbinden Sie mit IoT?

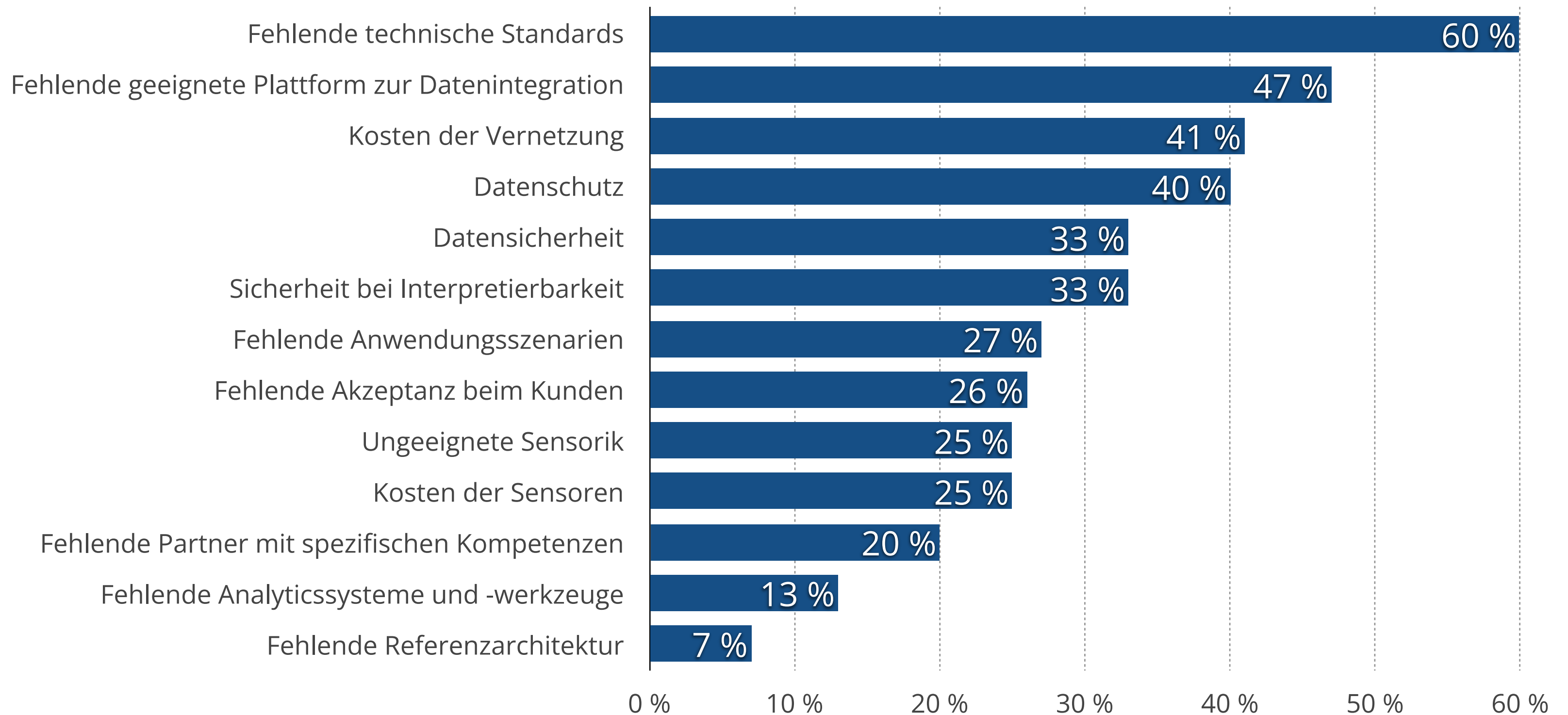


Sensordaten werden am häufigsten mit ERP- und CRM-Systemen verknüpft. Im Vergleich zu Analytics sind die Datenquellen jedoch seltener miteinander verbunden.

Quelle: Gronau et al. (2016)

Marktstudie Internet of Things

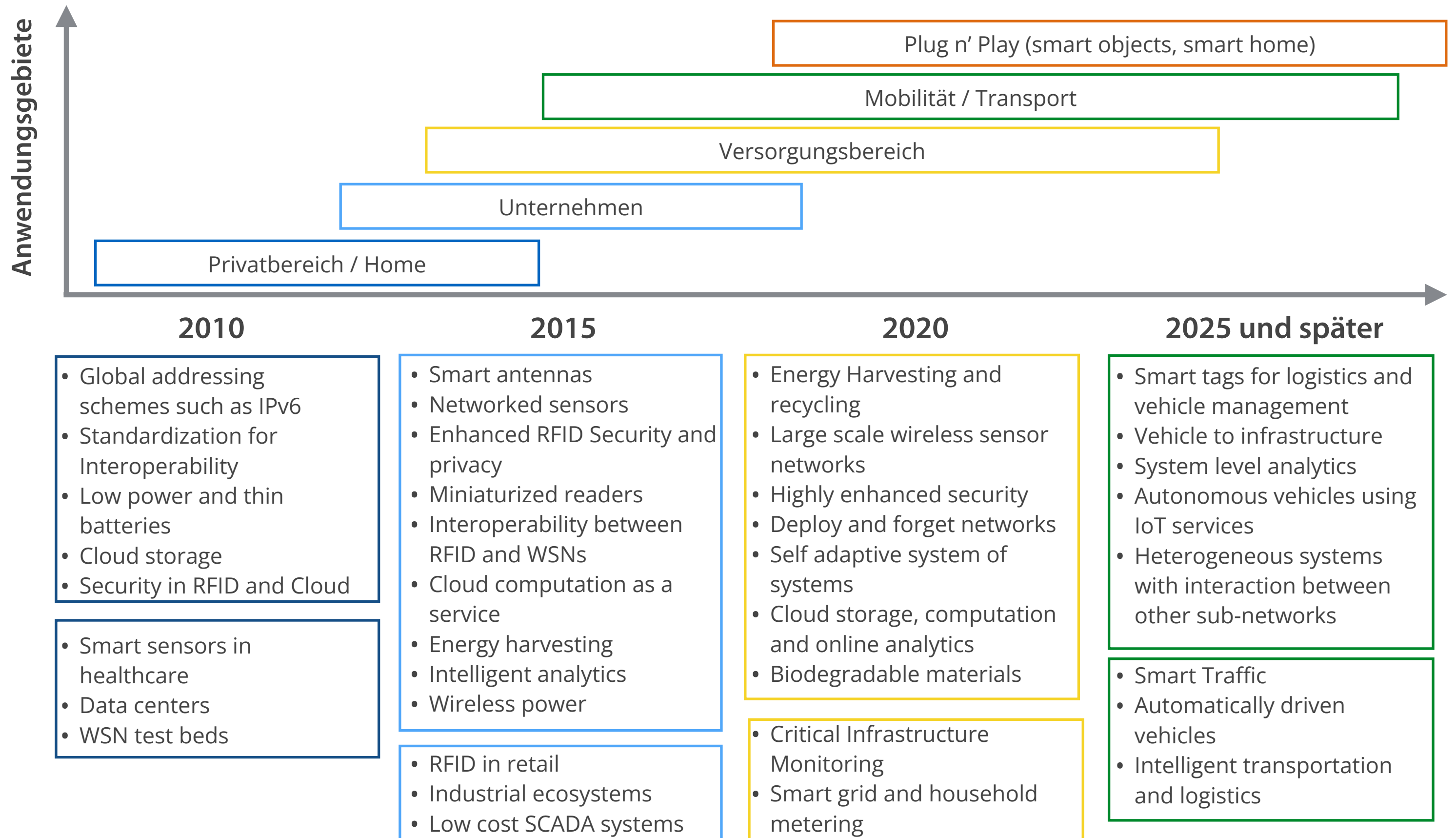
Herausforderungen in IoT-Projekten



Fehlende technische Standards, Plattformen sowie Bedenken bei Datenschutz und bei Datensicherheit sind die größten Probleme in IoT-Projekten.

Quelle: Gronau et al. (2016)

Internet of Things Roadmap



Zum Nachlesen



Kontakt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gronau
Lehrstuhlinhaber | Chairholder

Mail August-Bebel-Str. 89 | 14482 Potsdam | Germany

Visitors Digitalvilla am Hedy-Lamarr-Platz, 14482 Potsdam

Tel +49 331 977 3322

E-Mail ngronau@lswi.de

Web lswi.de

Gronau, N.:

Industrial Internet of Things – Grundlagen

Berlin 2018, ISBN 978-3955452476 und 978-3955452612



Quellen

- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805.
- Georgios, Lampropoulos, Siakas Kerstin, and Anastasiadis Theofylaktos. "Internet of things in the context of industry 4.0: An overview." (2019).
- Bender, B.; Grum, M. (2016) Entwicklung eines Architekturkonzepts zum flexiblen Einsatz von Analytics. In INFORMATIK 2016. Lecture Notes in Informatics (LNI)
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J., & Addepalli, S. (2012) Fog computing and its role in the internet of things. In Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing.
- Bucherer, E., & Uckelmann, D. (2011). Business models for the internet of things. In *Architecting the internet of things* (pp. 253-277). Springer Berlin Heidelberg.
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233-2243.
- Evans, Dave (2011): Das Internet der Dinge - So verändert die nächste Dimension des Internet die Welt
- Garcia Lopez, P., Montresor, A., Epema, D., Datta, A., Higashino, T., Iamnitchi, A., Riviere, E. (2015). Edge-centric computing: Vision and challenges. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 45(5)
- Goldman Sachs (2014): What is the internet of things?. Online Verfügbar: <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/pages/iot-infographic.html>
- Gronau, N; Thim, C.; Fohrholz, C. (2016): Wettbewerbsfaktor Analytics im Internet der Dinge.
- Gronau, N. : Determining the appropriate degree of autonomy in cyber-physical production systems. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 26:70 – 80.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660.
- Heider, Andreas (2011): Einführung in Sensornetze - Abhängigkeiten zwischen Protokolldesign und verwendeter Hardware. Online verfügbar unter: https://www.net.in.tum.de/fileadmin/TUM/NET/NET-2011-07-1/NET-2011-07-1_03.pdf
- IDC (2014): The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things. Online Verfügbar: <https://germany.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/executive-summary.htm>
- Intel (2014): Internet of Things explained simply. Online Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=uEsKZGOxNKw>
- Kortuem, G., Kawsar, F., Sundramoorthy, V., & Fitton, D. (2010). Smart objects as building blocks for the internet of things. *IEEE Internet Computing*, 14(1), 44-51.
- Kühl, E.; Breitegger, B. (2016): DDoS-Attacke - Der Angriff, der aus dem Kühlschrank kam ZEIT Online. Online verfügbar unter: <http://www.zeit.de/digital/internet/2016-10/ddos-attacke-dyn-internet-der-dinge-us-wahl/komplettansicht>
- Pivoto, et al. "Cyber-physical systems architectures for industrial internet of things applications in Industry 4.0: A literature review." *Journal of manufacturing systems* 58 (2021): 176-192.

Quellen

Mühlhäuser, Max. "Smart products: An introduction." European Conference on Ambient Intelligence. Springer Berlin Heidelberg, 2007.

Naumann, Martin; Dietz, Thomas; Kuss, Alexander (2012): „Mensch-Maschine-Interaktion“

OASIS (2020): OASIS Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) TC. Online verfügbar unter: <https://www.oasis-open.org/committees/mqtt/>

RFC 791 (1981): DARPA INTERNET PROGRAM PROTOCOL SPECIFICATION

RFC 2460 (1998): Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification

Veigt, M.; Lappe, D.; Hribernik, K.: "Development of a cyber-physical logistic system (in German)," Industrie Management 1/2013, pp. 15–18, 2013

Vogel-Heuser B., Bayrak G., Frank U. (2012) Forschungsfragen in „Produktionsautomatisierung der Zukunft“. In: acatech MATERIALIEN, München.

Prognose zur Anzahl vernetzter Geräte weltweit (2022): <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>

Prognose zum Volumen der jährlich generierten digitalen Datenmenge (2022): <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/267974/umfrage/prognose-zum-weltweit-generierten-datenvolumen/>

Hehenberger, P., Vogel-Heuser, B., Bradley, D., Eynard, B., Tomiyama, T. and Achiche, S., 2016. Design, modelling, simulation and integration of cyber physical systems: Methods and applications. Computers in Industry, 82, pp.273-289

ZDNet (10, 2019): <https://www.zdnet.com/article/security-researcher-gets-access-to-all-furrytail-pet-feeders-around-the-world/>

infosecurity-magazine (2020): <https://www.infosecurity-magazine.com/news/leaked-plans-reveal-mirai-like/>

US Food & Drug Administration (2019): <https://www.fda.gov/medical-devices/safety-communications/certain-medtronic-minimed-insulin-pumps-have-potential-cybersecurity-risks-fda-safety-communication>

Moßner/Bergmann: Internet of Things (IoT) – Definition, Technologie und Anwendung (2022) <https://www.industry-of-things.de/internet-of-things-iot-definition-technologie-und-anwendung-a-878883/>

Gilles/Shea, Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) (2023) <https://www.computerweekly.com/de/definition/Internet-der-Dinge-Internet-of-Things-IoT>

Fleisch, Elgar & Weinberger, Markus & Wortmann, Felix. (2017). Geschäftsmodelle im Internet der Dinge. 10.1007/978-3-658-18165-9_1.

Lass, S. (2017). Nutzvalidierung cyber-physischer Systeme in komplexen Fabrikumgebungen – Ein hybrides Simulationskonzept für Industrie 4.0. GITO Verlag Berlin.

Zheng, Pai, et al.(2019) "A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives." Advanced engineering informatics 42 (2019): 100973.

Hodapp et al. (2019) "Business models for internet of things platforms: empirical development of a taxonomy and archetypes." (2019).

Gowda et al. (2020)"Internet of things: Internet revolution, impact, technology road map and features." Adv. Math. Sci. J 9.7 (2020): 4405-4414.

Quellen

Bildquellen:

<https://blog.equinix.com/wp-content/uploads/2015/03/History2.jpg>

http://i-hls.com/wp-content/uploads/2015/05/19122177_m.jpg

http://photos3.meetupstatic.com/photos/event/c/6/f/a/600_433610938.jpeg

<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

https://www.adac.de/_mmm/jpg/ecall_378_252_28679.jpg

<http://polpix.sueddeutsche.com/bild/1.2939831.1460041239/940x528/allianz-app-telematik-versicherung.jpg>