



Industrial Internet of Things

Infrastruktur



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

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

Tel +49 331 977 3322

Fax +49 331 977 3406

E-Mail ngronau@lswi.de

Web lswi.de



Einführung

Identifizierung

Sensing

Kommunikation

Architekturmodelle

Dienste

Semantik

Internet of Things/Industrial Internet Infrastruktur

Lernziele

- Was sind mögliche Infrastruktur-Kategorisierungen für Dienste und Technologien im Bezug auf das Internet of Things?
- Welche Relevanz hat der Wechsels zu IPv6 für die Umsetzung von IoT-Visionen?
- Was ist die Funktionsweise der RFID Technologie?
- Welches sind notwendige Verbesserungen im Mobilfunkbereich für den Einsatz als IoT-Technologie?
- Welche Techniken zur Verbesserung kennen Sie? Erläutern Sie diese.
- Welche Relevanz besitzt Cloud-Computing für IoT-Architekturen?



Einführung

Identifizierung

Sensing

Kommunikation

Architekturmodelle

Dienste

Semantik

Internet of Things

Infrastruktur - Definition

Laut Duden:

„notwendiger wirtschaftlicher und organisatorischer Unterbau als Voraussetzung für die Versorgung und die Nutzung eines bestimmten Gebiets“

Infrastruktur, auf IoT bezogen, umfasst die Gesamtheit aller Systeme, Dienste und Technologien, die für die Nutzung von IoT-Geräten eine Rolle spielen.

Internet of Things

Grundbausteine

Identifizierung

- Electronic Product Code (EPC), Ubiquitous ID (uCode)
- IPv4, IPv6

Berechnung

- Hardware: Smart Things, Handys, Sensorknoten
- Software: Betriebssysteme (z.B. Contiki, RIOT OS), Cloud-Plattformen (z.B. Nimbis, Hadoop)

Messung (Sensing)

- Smart Sensors
- Tragbare Sensoren
- Radio-Frequency Identification (RFID) Tags

Dienste

- Identitätsbezogen (z.B. Logistik)
- Informationsaggregation (z.B. Smart Grid)
- Kollaborierende Dienste (z.B. Home Automation)
- Allgegenwärtige Dienste (z.B. Smart City)

Kommunikation

- RFID
- IEEE 802.15.4
- Near Field Communication (NFC)
- 5G Mobilfunk

Semantik

- Resource Description Framework (RDF)
- Web Ontology Language (OWL)
- Efficient XML Interchange (EXI)

Das Infrastruktur-System das dem Internet of Things zu Grunde liegt ist sehr vielfältig, weshalb eine Vielzahl von Technologien bei der Entwicklung und Nutzung einer IoT-Infrastruktur beachtet werden muss.



Einführung

Identifizierung

Sensing

Kommunikation

Architekturmodelle

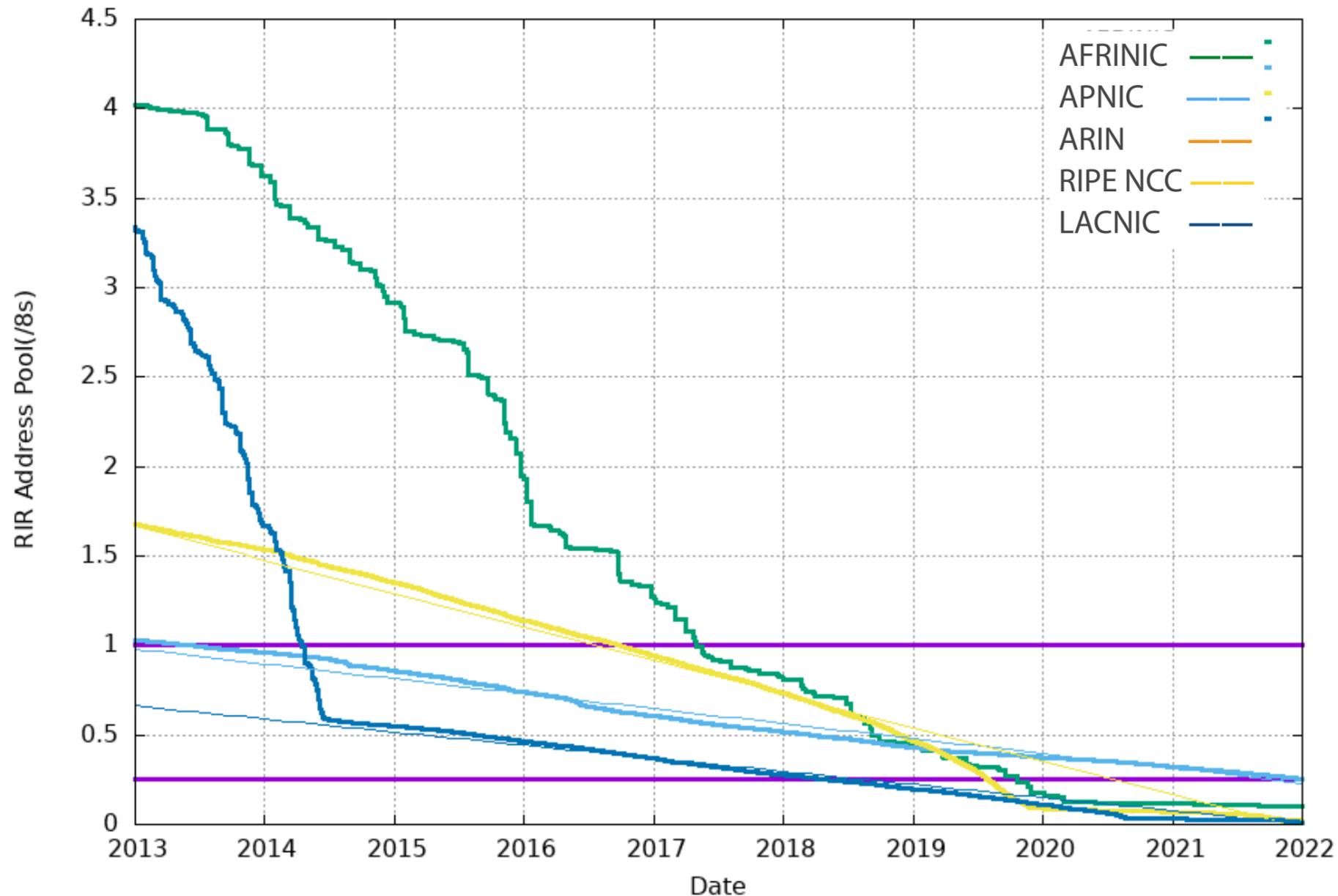
Dienste

Semantik

Internet of Things

Eindeutige Identifizierung - IPv6

RIR IPv4 Address Run-Down Model



IPv4 Adressen sind fast aufgebraucht

- 32Bit Adressen \approx 4 Milliarden Adressen
- Verwaltet über 5 „Regional Internet Registries“ (RIRs)
- Letzte Ausgabe unverbrauchter Adressen: 03.02.2011

Nachfolgeprotokoll: IPv6

- 128Bit Adressen = $3,4 \times 10^{38}$ Adressen
- Nicht kompatibel mit IPv4
- Genug Adressen für jedes Molekül der Erdoberfläche

Der Wechsel zu IPv6 ist nötig, um die stark steigende Anzahl von Geräten im Internet of Things adressieren zu können.

Internet of Things

Eindeutige Identifizierung - IPv6 Adressstruktur

Hexadezimale Darstellung einer IPv6 Adresse

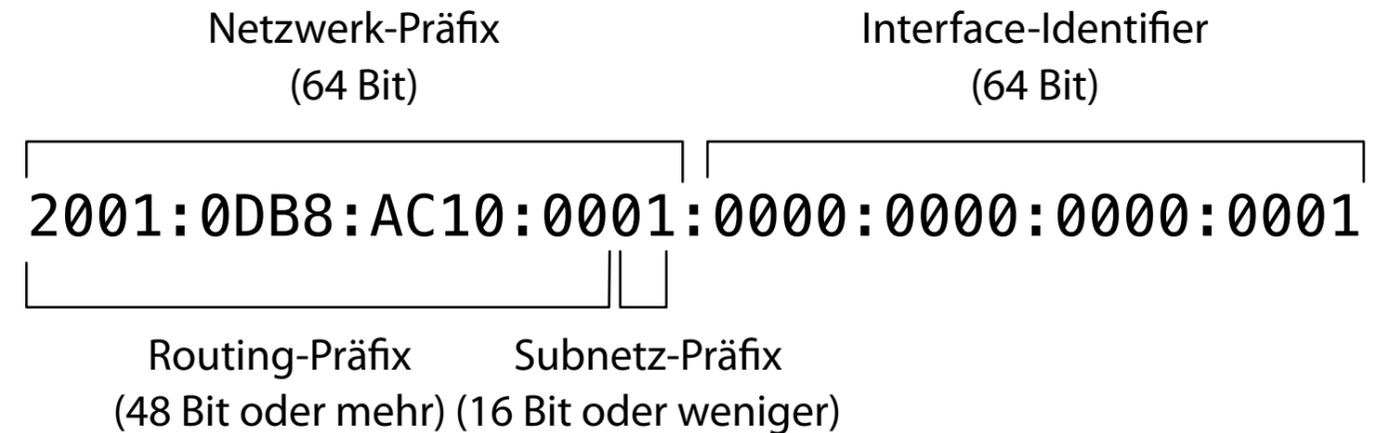
2001:0DB8:AC10:FE01:0000:0000:0000:0000

(Nullen können weggelassen werden)

Kurzform der selben Adresse

2001:0DB8:AC10:FE01::

Beispiel-Struktur einer IPv6 Adresse



Notation einer IPv6 Adresse

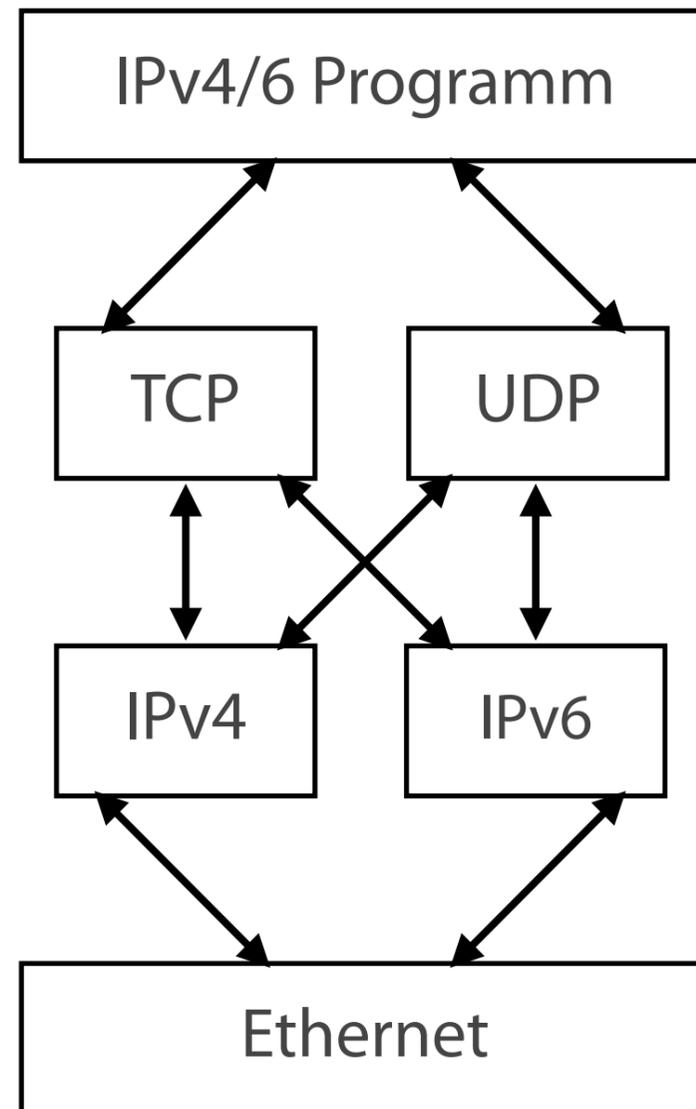
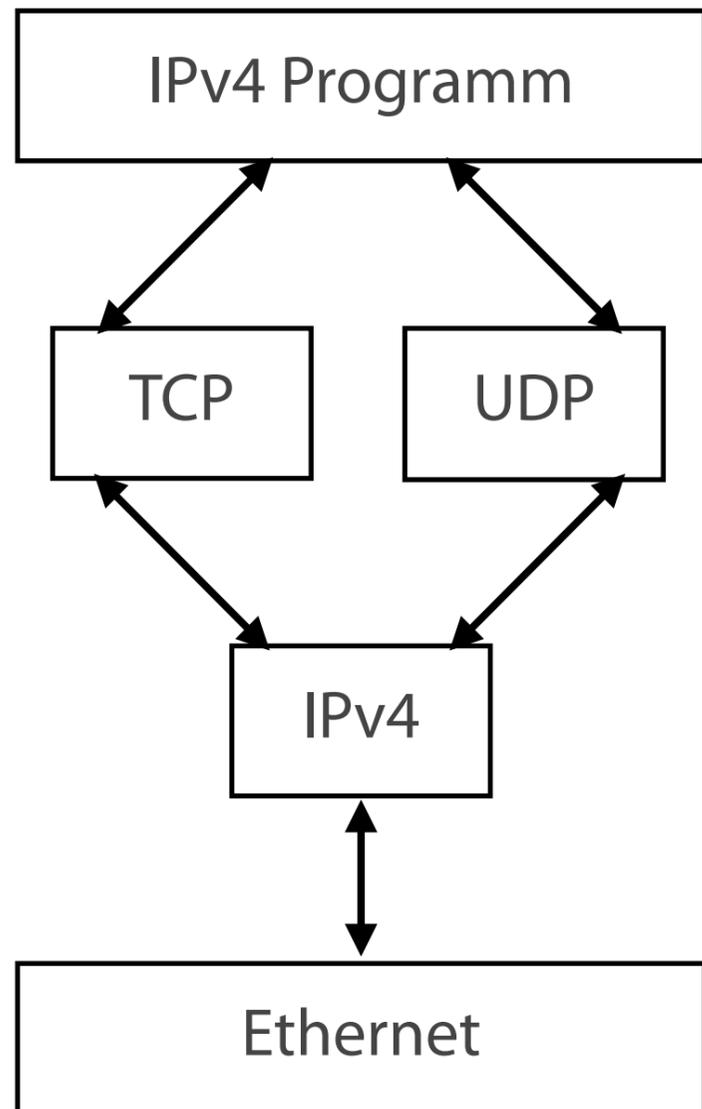
- Darstellung in Hexadezimal üblich
- Trennung über Doppelpunkt
- Kurzform: Auslassung von führenden Nullen
- Kurzform: Auslassung von kompletten Nullblöcken

Struktur einer IPv6 Adresse

- 2 Teile: Netzwerk-Präfix u. Interface-Identifizierer
- Präfix-Länge: üblicherweise 64bit
- Netzwerk-Präfix: beinhaltet Routing- und Subnetz-Präfix
- Interface-Identifizierer: EUID aus MAC-Adresse generiert

Internet of Things

Eindeutige Identifizierung - IPv6 Transitionsmechanismen (1/3)

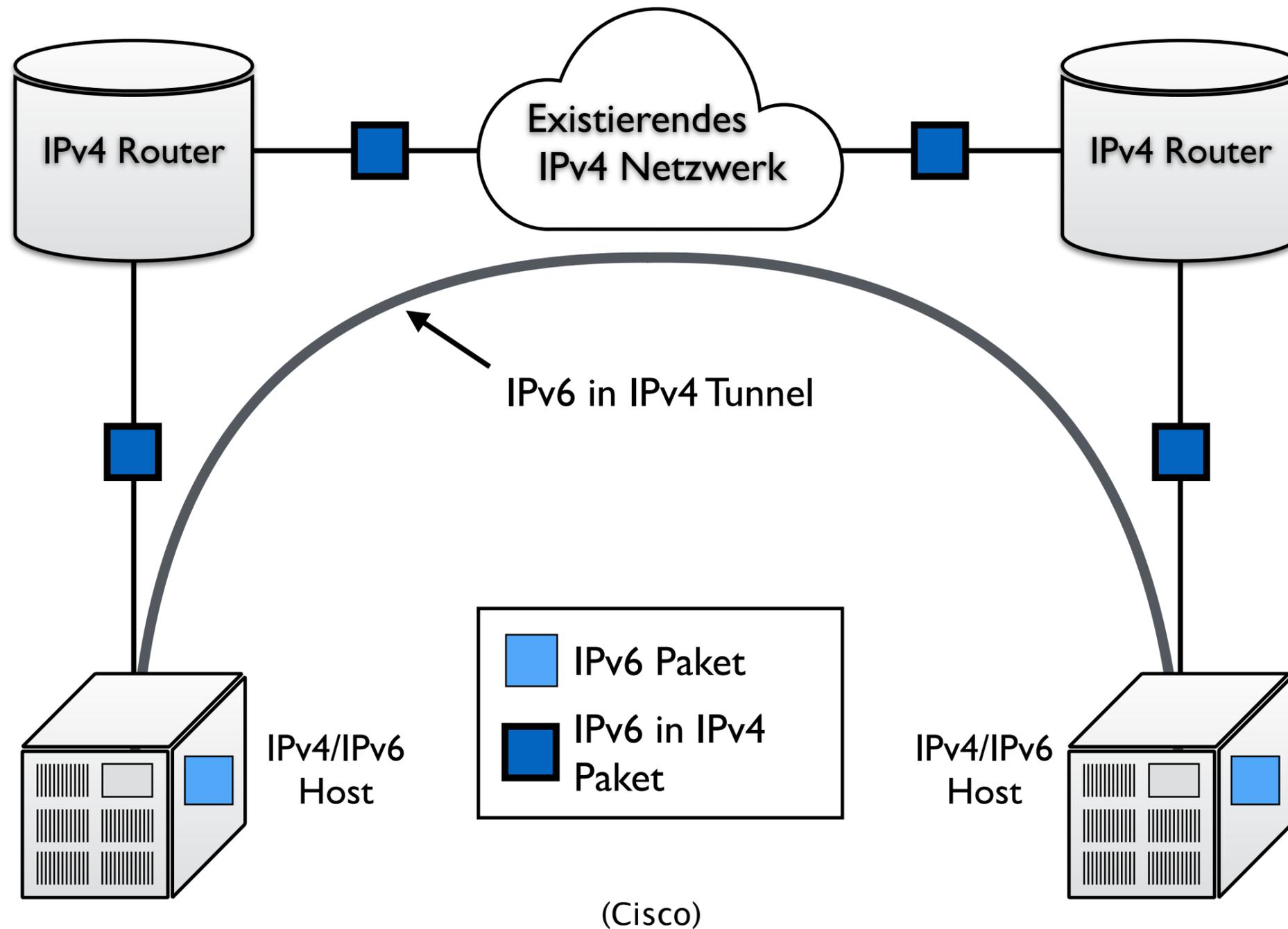


IPv4/IPv6 Dual Stack

- Gleichzeitige Unterstützung v. IPv4/6 auf Hosts
- Vorteil: native Kommunikation
- Nachteil: mehr Ressourcenverbrauch

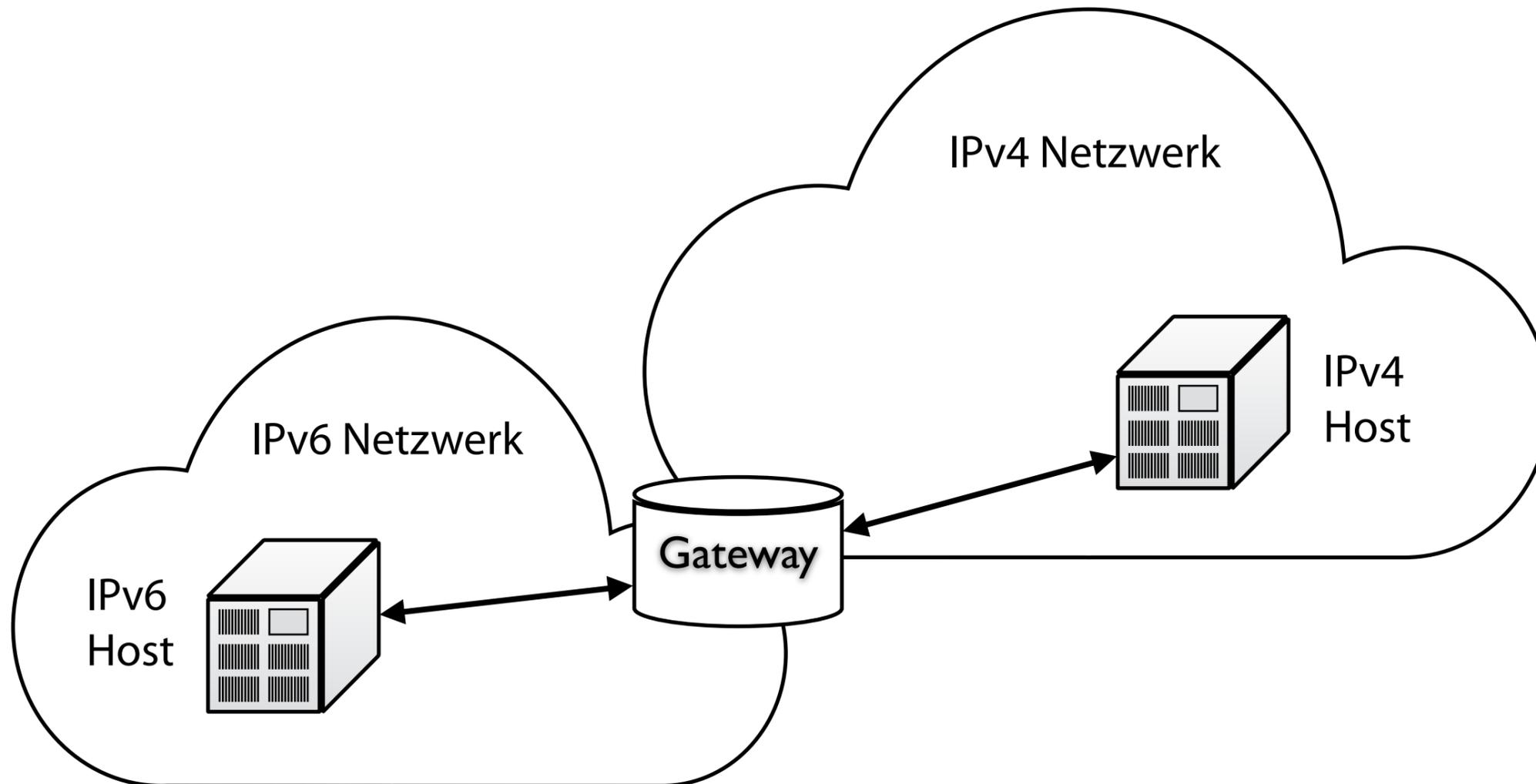
Internet of Things

Eindeutige Identifizierung - IPv6 Transitionsmechanismen (2/3)



Tunnel Mechanismen

- „Verpacken“ von IPv6 in IPv4 bzw. umgekehrt
- Erlaubt Kommunikation über Netz mit anderem Protokoll
- Verschiedenste Varianten (6-to-4, 6-in-4, 4-in-6)



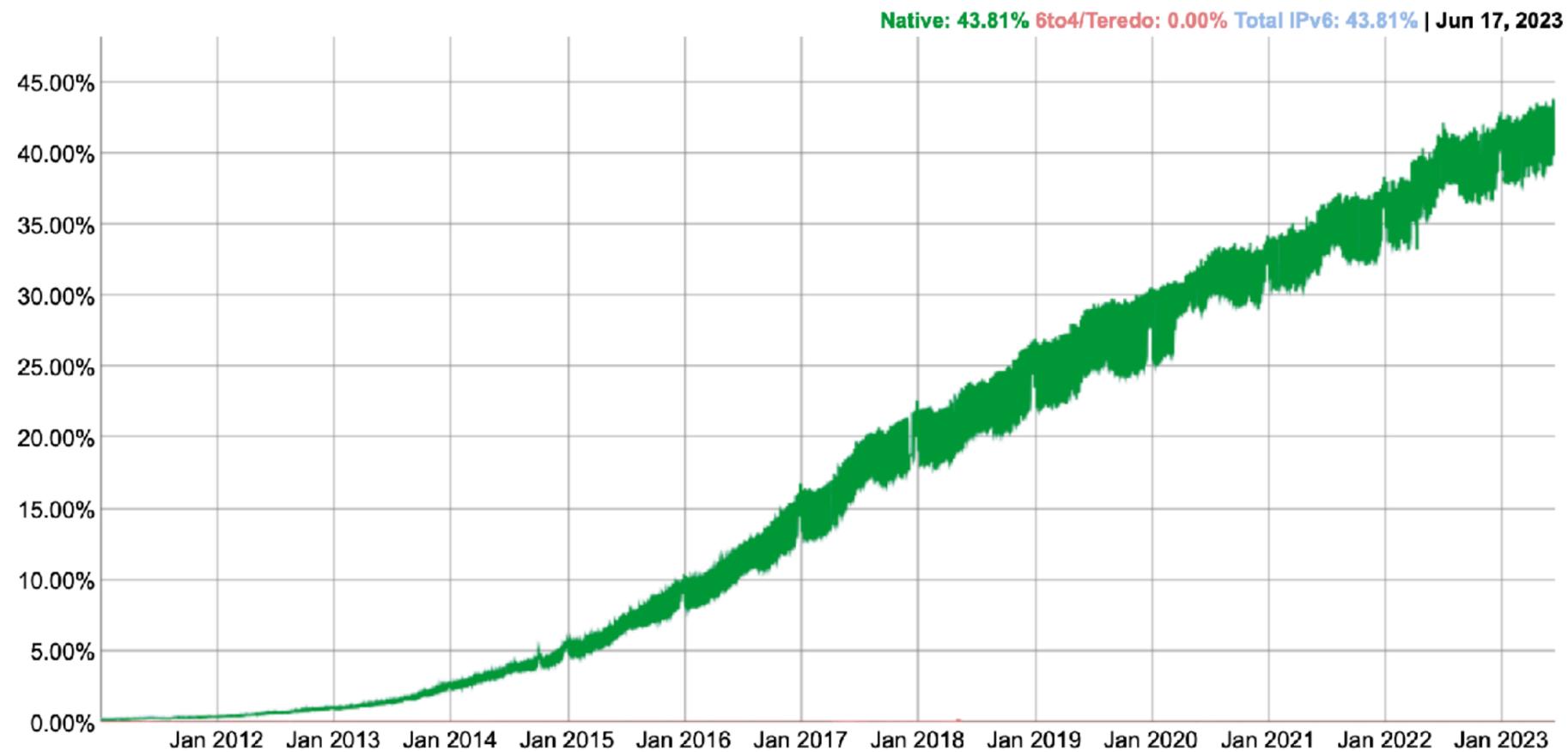
Gateway Mechanismen

- Anbindung eines IPv6 Netzwerkes über Gateway
- Erlaubt IPv6 Hosts einfache Kommunikation mit IPv4 Host
- Nachteil: Gateway benötigt

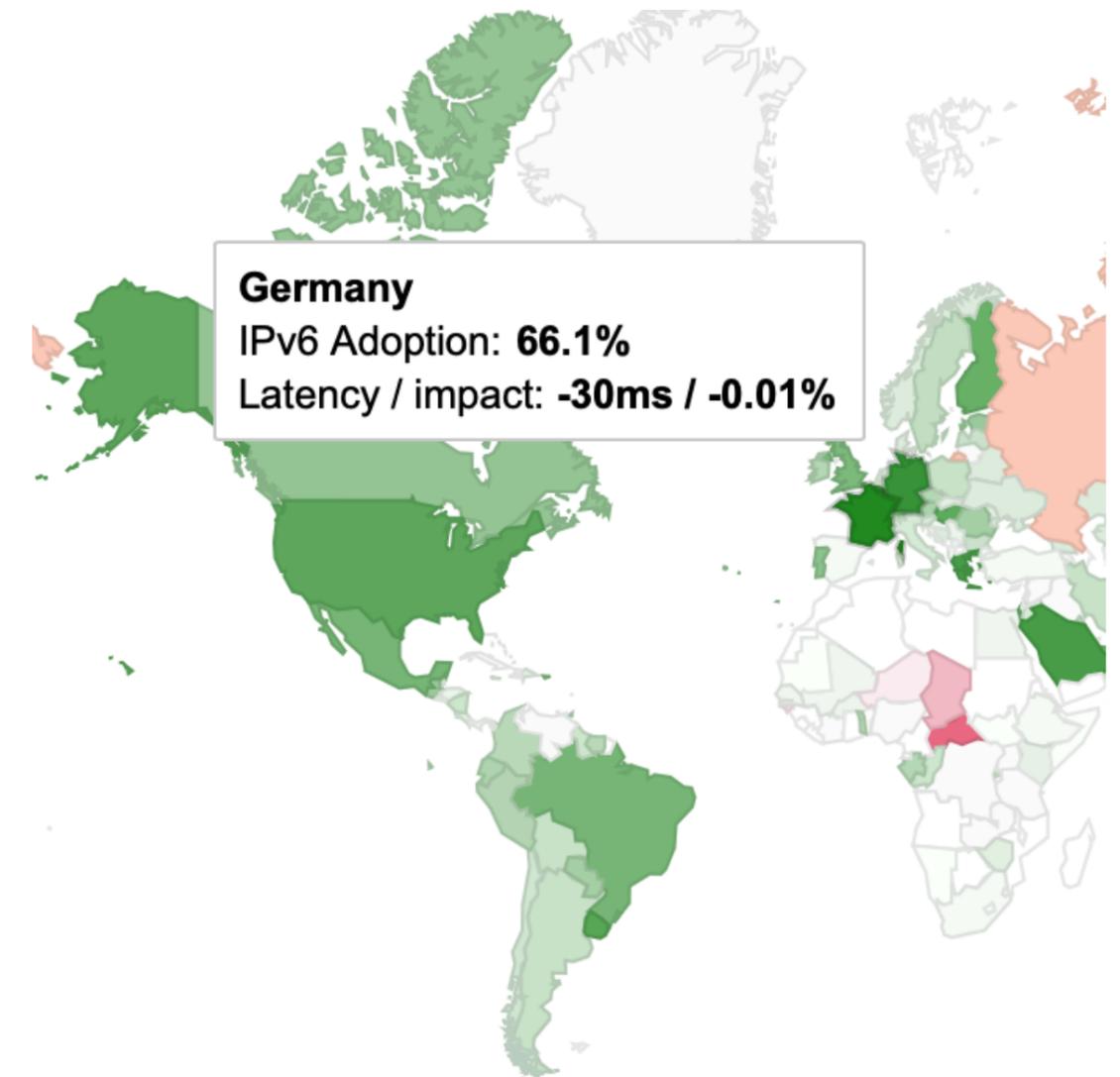
Internet of Things

Eindeutige Identifizierung - IPv6 Umsetzungsstand

Google Besucher mit IPv6 Adressen (weltweit)



IPv6 Einführung pro Land (Google)



Internet of Things

Eindeutige Identifizierung - Weitere Verfahren (ucode und EPC)

ucode

| | | | | |
|-------|--------|-------|-------------------|-------------------|
| 4 Bit | 16 Bit | 4 Bit | Variable Bitlänge | Variable Bitlänge |
| ver | TLDC | cc | SLDC | IC |

| Feldname | Bedeutung |
|--------------------------------|---------------------------------|
| ver: Version | Versionsnummer |
| TLDC: Top Level Domain Code | Top-Level Identifikator |
| cc: Class Code | Bestimmt Grenze zw. SLDC und IC |
| SLDC: Second Level Domain Code | Low-Level Domänen-Identifikator |
| IC: Identifikations-Code | Individueller Identifikator |

- 128 bit Code zur eindeutigen Identifizierung
- Keine inhärente Bedeutung
- Zur Identifikation realer Objekte

Elektronische Produktcode (EPC)

| | | | |
|---------|--------------------|---------------|--------------|
| (8 Bit) | (8 Bit) | (8 Bit) | (8 Bit) |
| Header | EPC Manager Nummer | Objekt-Klasse | Seriennummer |

| Feldname | Bedeutung |
|--------------------|---|
| Header | Versionsnummer |
| EPC Manager Nummer | Durch EPC-Manager vergebene ID |
| Objekt-Klasse | Durch Hersteller gewählt — identifiziert die Art des Objektes |
| Seriennummer | Durch Hersteller gewählt — ermöglicht eindeutige Identifizierung eines Objektes |

- Eindeutige Identifizierung von Objekten, Diensten etc.
- Nutzung via RFID-Tags
- Object Name Service ordnet Produkt URL zu



Einführung

Identifizierung

Sensing

Kommunikation

Architekturmodelle

Dienste

Semantik

Internet of Things

Sensing

Definition

- „Sensoren transformieren Signale von verschiedenen Energie-Domänen in die elektrische Domäne.“

Sensoren im Internet of Things

- Verbindung von realer und virtueller Welt
- Wichtiger Bestandteil von Cyber-Physical Systems
- Unterschiedlichste Ausprägungen

Internet of Things

Sensing - Beispiele



RFID-Tags

- Benötigen keine Energiequelle
- Ermöglicht „Wahrnehmung“ von Objekten



Smart Objects

- Integration von Sensorik in Alltagsgegenständen



Wearable Sensors

- Am Körper tragbare Sensorik
- Überwachung von Körperfunktionen
- Einsatz: Medizin, Fitness

Die Interaktion mit der physischen Umwelt wird im Internet of Things vor allem durch die Verwendung von Sensoren verwirklicht.



Einführung

Identifizierung

Sensing

Kommunikation

Architekturmodelle

Dienste

Semantik

Internet Infrastruktur für das Internet of Things

Eigenschaften und Schlüsseltechnologien

Netzwerk-Charakteristiken für das Internet of Things

- Verbindungsflexibilität
- Dinge-basierte Services
- Heterogenität
- Dynamische Veränderungen
- Enormes Ausmaß

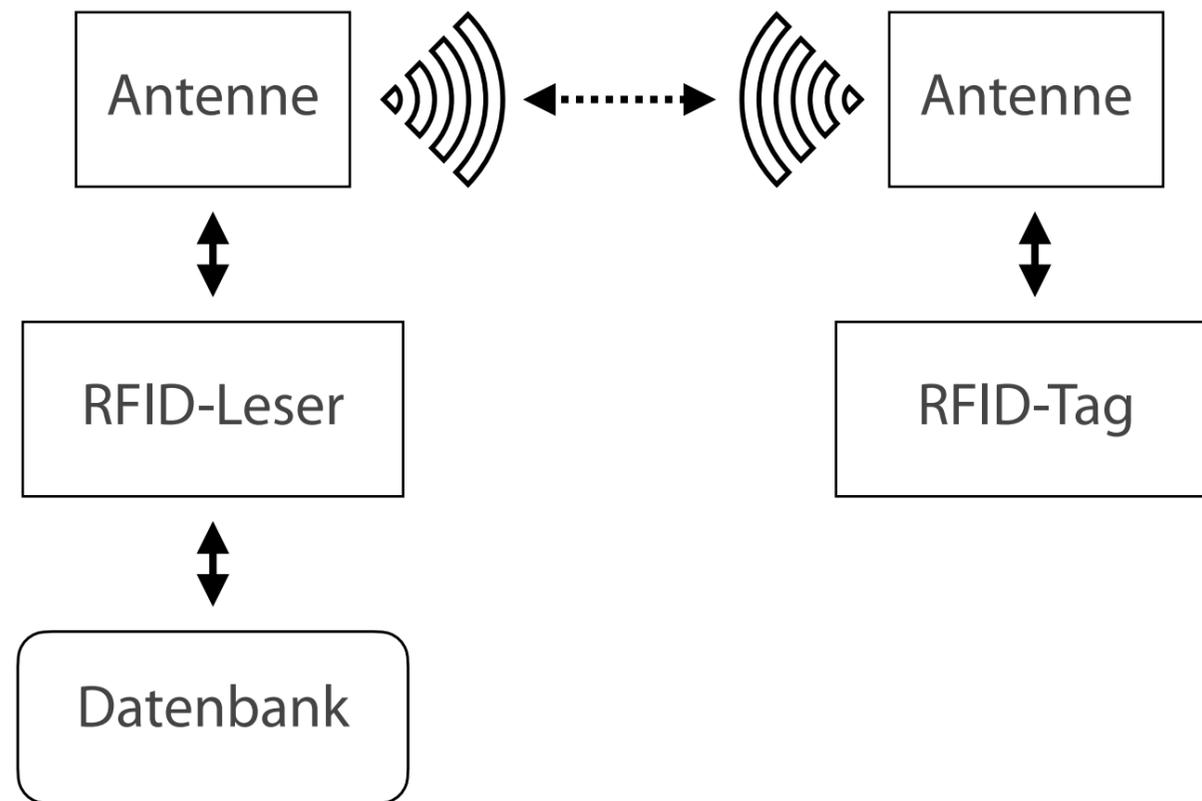
Schlüsseltechnologien für IoT-Kommunikation

- RFID (Radio Frequency Identification)
- Wireless Sensor Networks/LLNs
- Mobilfunknetze

Die Netzwerkinfrastruktur der Zukunft hat einen großen Fokus auf mobile Geräte und Maschine-zu-Maschine Kommunikation.

Internet of Things

RFID



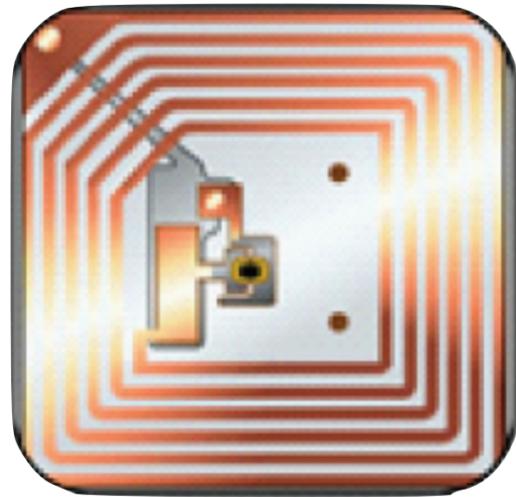
RFID-Komponenten

- RFID-Leser: Empfänger
 - Hat ausreichende Ressourcen
 - Verarbeitet Informationen
- Antenne
 - Häufig in Leser integriert
 - Benötigt zur Tag-Auswertung
 - Verschiedene Frequenzen
- RFID-Tag(s): Sender
 - Beinhaltet Informationen
 - Verschiedenste Größen und Arten

RFID-Geräte sind drahtlose Mikrochips zur Identifizierung von Objekten. Die Identifizierung kann drahtlos und ohne Sichtkontakt erfolgen.

Internet of Things

RFID - Arten von Tags



Passive Tags

- Nutzt Radiowellen des Lesers für Datenübertragung
- Geringe Herstellungskosten
- Geringe Reichweite



Semi-Passive Tags

- Besitzt Batterie für Sensoren und RFID-Chip
- Benötigt Radiowellen des Lesegerätes zur Kommunikation



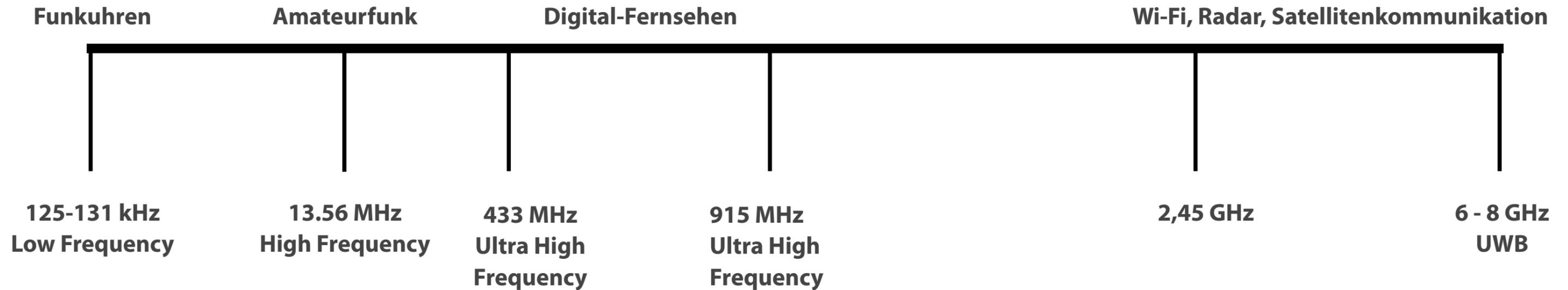
Aktive Tags

- Batteriebetrieben
- Höhere Reichweite
- Höhere Kosten

Internet of Things

RFID - Frequenzen

Radio-Frequenzbereich



Niedrige Frequenzen

- Bessere allseitige Ausstrahlung
- Weniger Einfluss durch Metall
- Kürzere Reichweite und langsamere Übertragung

Hohe Frequenzen

- Höhere Reichweite
- Höhere Geschwindigkeiten
- Schlechtere Durchdringung v. Wänden
- Mehr Einfluss durch Metall

RFID-Anwendungen werden in Low Frequency (LF), High Frequency (HF) und Ultra-high Frequency (UHF) unterteilt.

Internet of Things

NFC - Near Field Communication

Entstehung

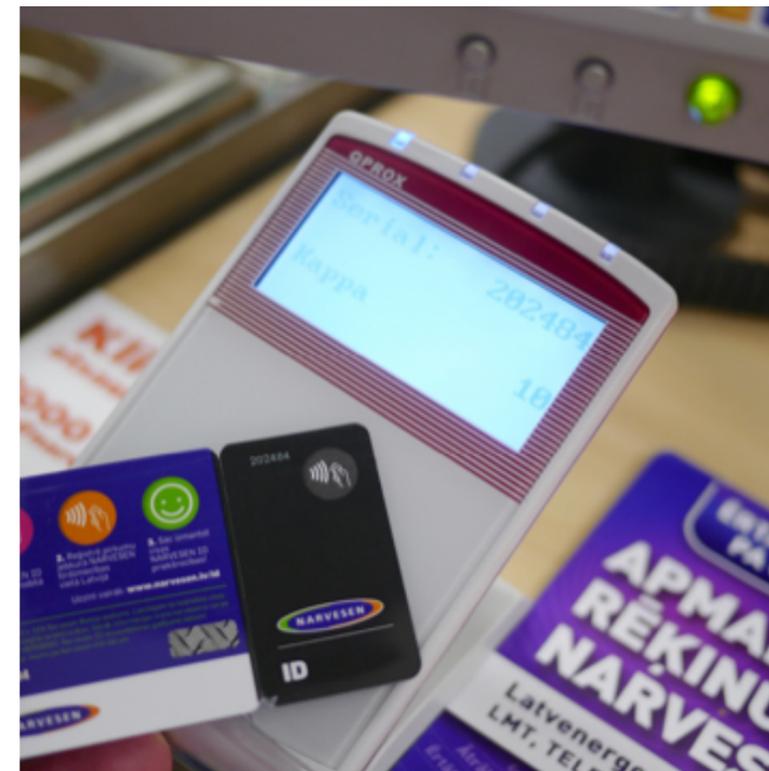
- 2002 von NXP Semiconductors und Sony entwickelt
- 2005 ersten Tests mit NFC Mobiltelefonen (Samsung D500E) zum elektronischen Bezahlen im Einzelhandel und abrufen touristischer Dienstleistungen
- 2007 erste große kommerzielle NFC-Roll-Out: Ausstattung der österreichischen Bundesbahnen mit 1000 NFC-Tags

Überblick

- Tag-Art: Passiv
- Frequenzbereich: 13.56 MHz
- Integration des passiven Transponders und aktiven Lesegeräts (statt strikte Trennung wie bei RFID)

Anwendungsfälle

- Kontaktloses Bezahlen
- Datenübertragung (Kontextinformationen; statisch/dynamisch)
- Zugangskontrollen
- Identifizierung
- Intelligente Objektsteuerung
- Automatisches Pairing von Geräten



Internet of Things

Wireless Sensor Networks für das IoT

Wireless Sensor Networks

- Netzwerke „am Rand“ des Internets
- Anbindung über ein oder mehrere Gateways
- Teilnehmer häufig ressourcenbeschränkt
- Hauptziel: Erhebung und Bereitstellung von Daten

Herausforderungen

- Anbindung
- Backhauling (Datenrückführung)
- Umgang mit Ressourcenknappheit

Internet of Things

Mobilfunknetze

Mobilfunknetze erfüllen kritische IoT Voraussetzungen

- Hohe Verfügbarkeit
- Einfache Anbindung
- Mobilität

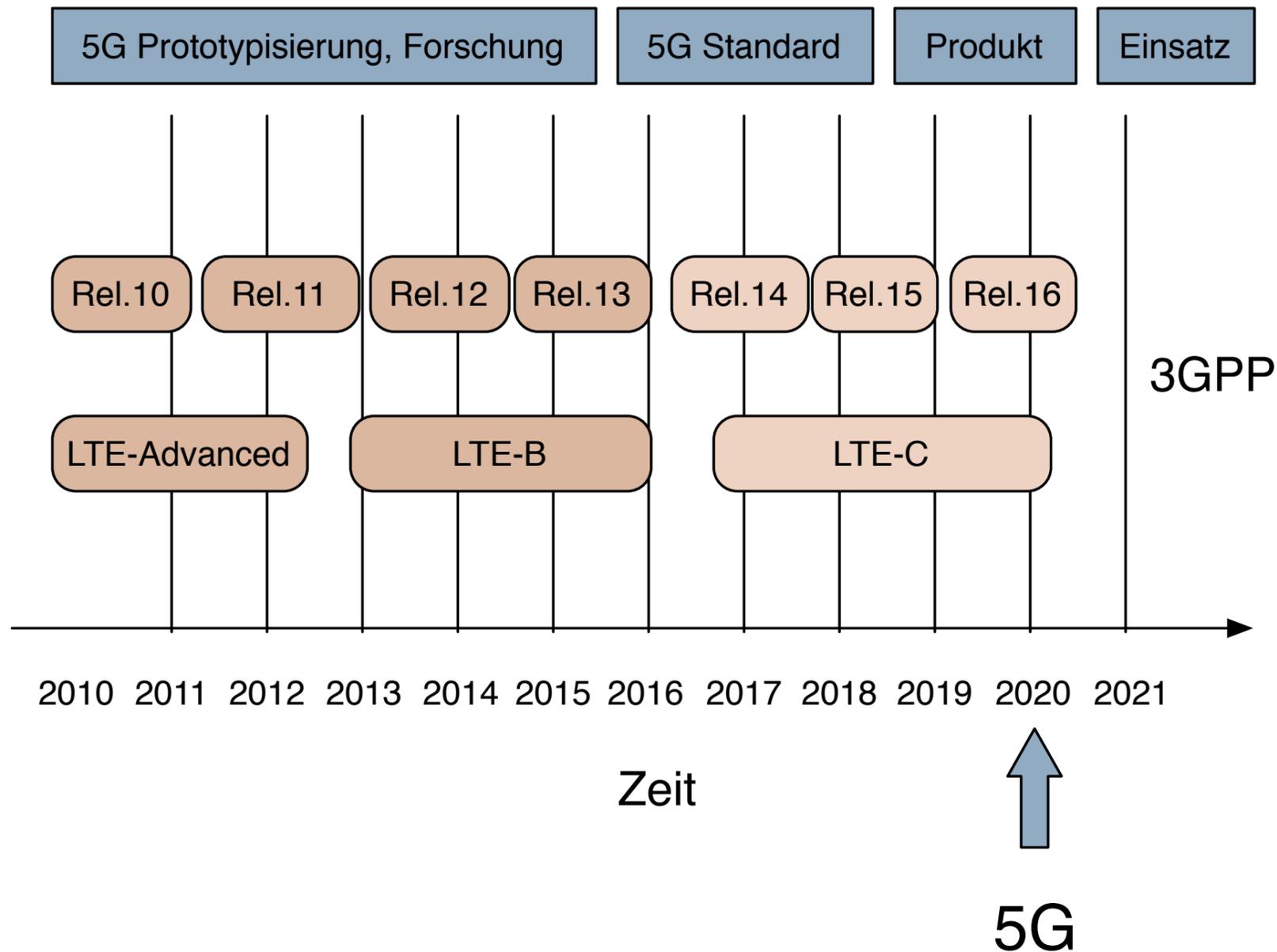
Herausforderungen

- Latenzen für kritische Anwendungen zu hoch
- Datenraten nicht ausreichend
- Skalierbarkeit
- Begrenztes Radio-Spektrum

Kabellose Datenverbindungen sind kritisch für die Verwirklichung von IoT. Die fünfte Generation von Mobilfunknetzen ist ein wichtiger Schritt in die Verwirklichung von IoT.

Internet of Things

Mobilfunk Entwicklung



Anforderungen, die 5G erfüllen soll

- Sehr kurze Latenz
- Sehr gute Verlässlichkeit
- Variable, hohe Datenraten
- Skalierbarkeit
- Weiterentwicklung der als Long-Term-Evolution (LTE) bekannten Technologie
- Standardisierung durch 3GPP (3rd Generation Partnership Project)

5G wurde konzipiert um wichtige Anforderungen einer massiv vernetzten Welt - wie sie durch das Internet der Dinge erwartet wird - zu erfüllen.

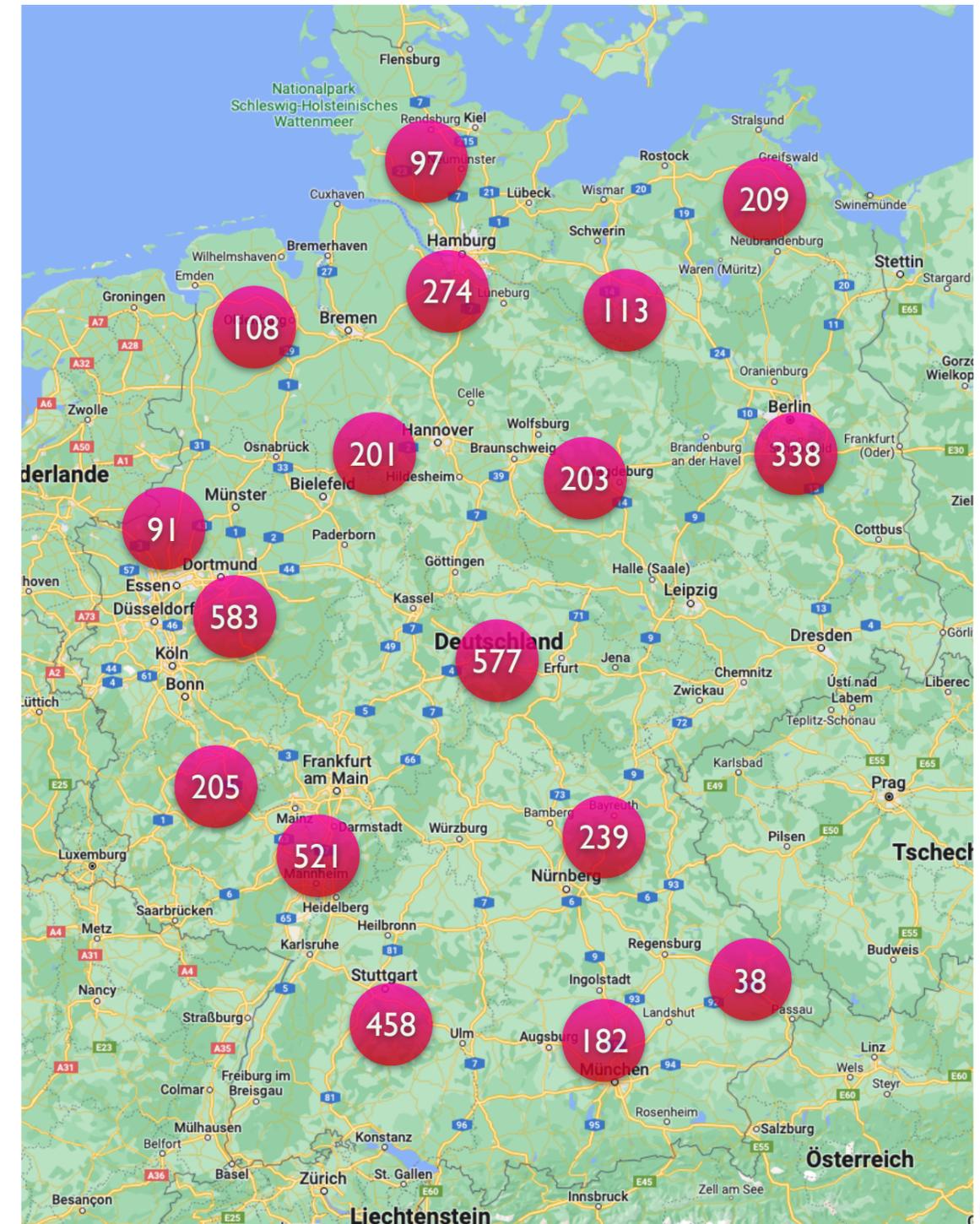
Internet of Things

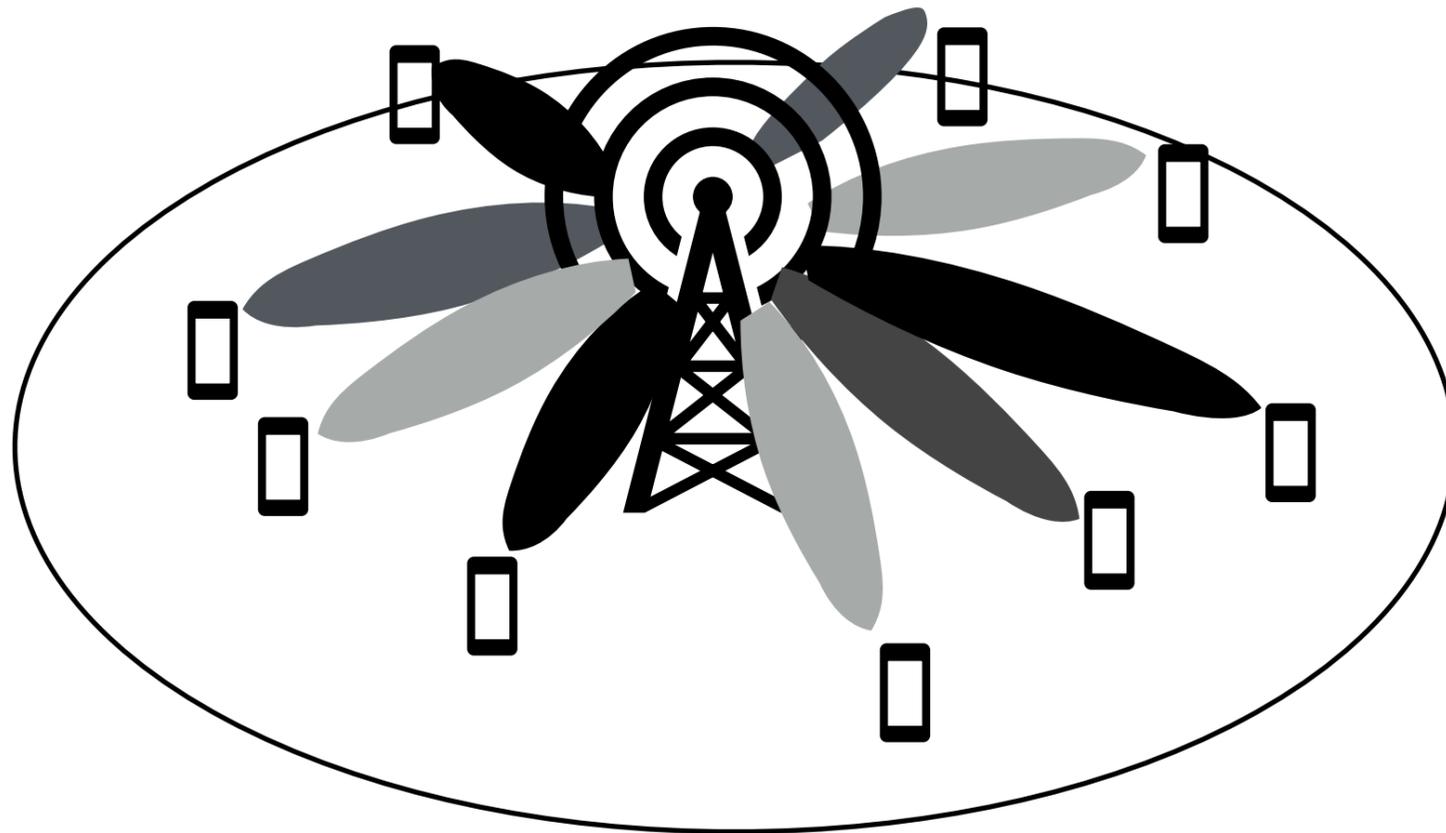
Einführung von 5G Mobilfunknetzen in Deutschland

Aktueller Stand

- Ungeklärte politische und regulatorische Hindernisse behinderten Startschuss für 5G-Ausbau
- Juni 2019 wurden 6,6 Mrd. Euro bei Versteigerung der 5G-Lizenzen eingenommen
- Einführung im Juli 2019 durch Vodafone und Telekom in ausgewählten Städten (u.a. Köln, Düsseldorf, Hamburg, Dortmund und München)
- 4G-Ausbau dient als Grundlage für 5G-Verfügbarkeit (Glasfaserausbau, DSS und Ausbauforderungen)

| | Telekom | Vodafone |
|--------------|---------|----------|
| Ausbaustatus | ~ 95% | ~ 80% |
| Städte | ~ 200 | ~ 200 |





Massive MIMO

- MIMO = **M**ultiple **I**nputs, **M**ultiple **O**utputs
- Massive: Starke Erhöhung eingesetzter Antennen
- Ziel: Bessere Performance, Verlässlichkeit

Beam-Forming

- Zielorientierte Übertragung von Radiowellen
- Erhöht Datenrate
- Nutzt Spektrum besser

Die erhöhten Anforderungen an 5G Mobilfunk müssen durch neue Technologien gelöst werden.

Internet of Things

5G Mobilfunknetze - Anwendungsbereiche

Geplante Anwendungsgebiete von 5G Netzwerken

- Anforderungs-Dimensionen: Verbindungen, Durchsatz, Latenz
- Momentane Anwendungsfälle sehr begrenzt
- In Zukunft für **jede Art** von Anwendung gedacht

Anforderungsdimension: Anzahl Verbindungen

- Besonders für große Sensornetzwerke sehr wichtig
- Anwendungsszenarien: Wettersensoren, Smart-Products
- Anstieg auf bis zu 10^6 Verbindungen/km² erwartet

Anforderungsdimension: Durchsatz

- Anstieg auf bis zu 1000 Gbps geplant
- Anwendungsszenarien: Multi-User UHD Telepräsenz, Virtuelle Realität, Augmentierte Realität

Anforderungsdimension: Latenz

- Senkung der Latenz auf wenige (< 10) Millisekunden
- Anwendungsszenarien: Teleoperationen, zeitkritische Verkehrsanwendungen

Die Anwendungsfälle für 5G Mobilfunk gehen weit über die heutigen Anwendungen hinaus.



Einführung

Identifizierung

Sensing

Kommunikation

Architekturmodelle

Dienste

Semantik

Internet of Things

IoT Infrastruktur: Berechnungs- und Architekturmodelle

Skalierbarkeit als zentrales Problem der IoT-Vision

- Milliarden v. Datengeneratoren
- Sensoren besitzen stark begrenzte Ressourcen
- Datenweiterleitung erzeugt Overhead
- Real-Time Anforderungen für bestimmte Szenarien

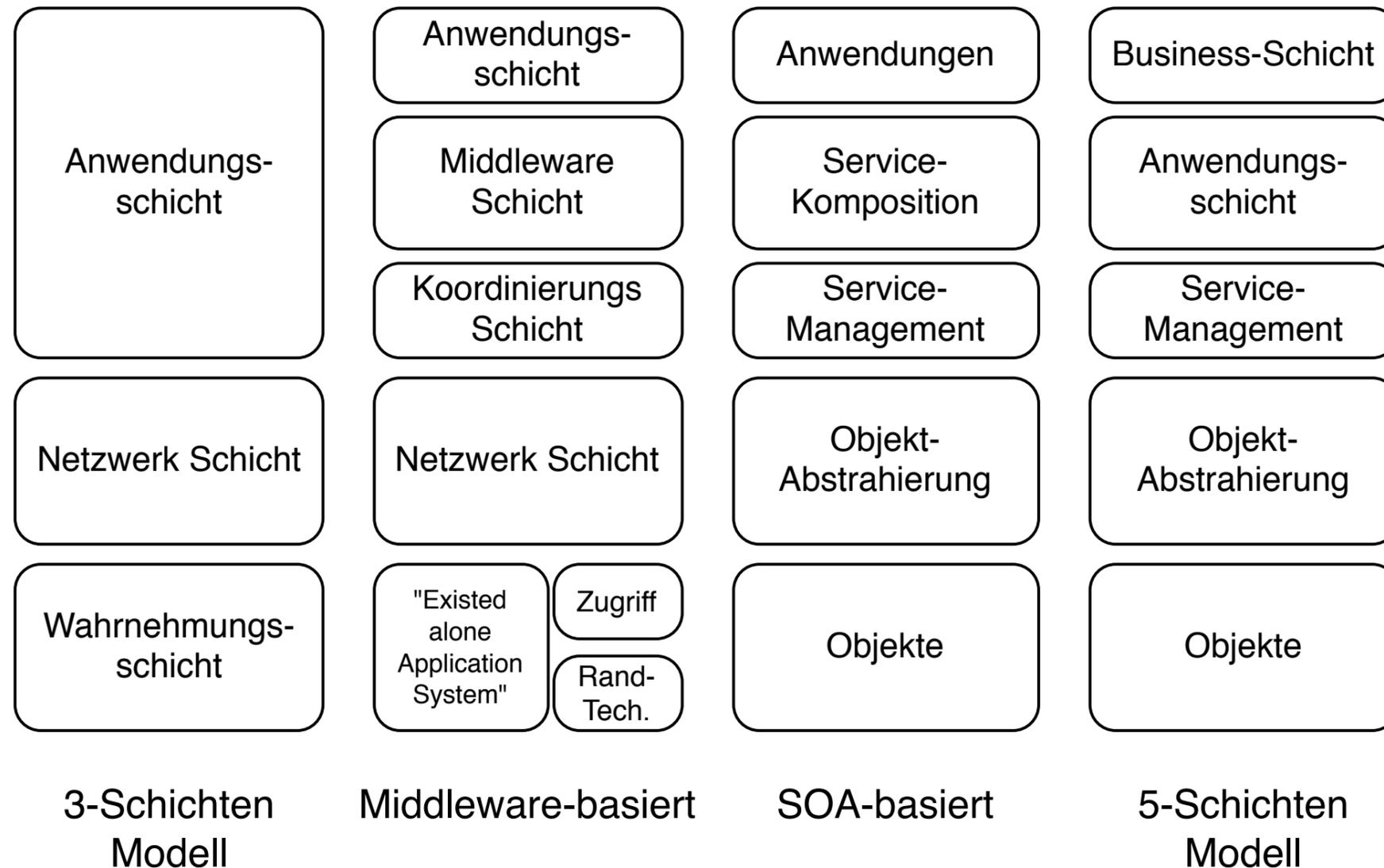
Ideen für IoT-Architekturen

- Nutzung von Cloud-Diensten
- Lokale Berechnung wenn sinnvoll
- Auslagerung wenn nötig
- Cloud-basierte Architekturen bieten Plattformen, Software und Infrastruktur „as a Service“ an (Everything-as-a-Service)

Die hohe Anzahl und geringe Rechenkraft von Sensoren macht eine Delegation der Datenverarbeitung bei rechenintensiven Services notwendig. Cloud-basierte Architekturen sind dafür geeignet.

Internet of Things

Architektur - IoT Schichtenmodelle



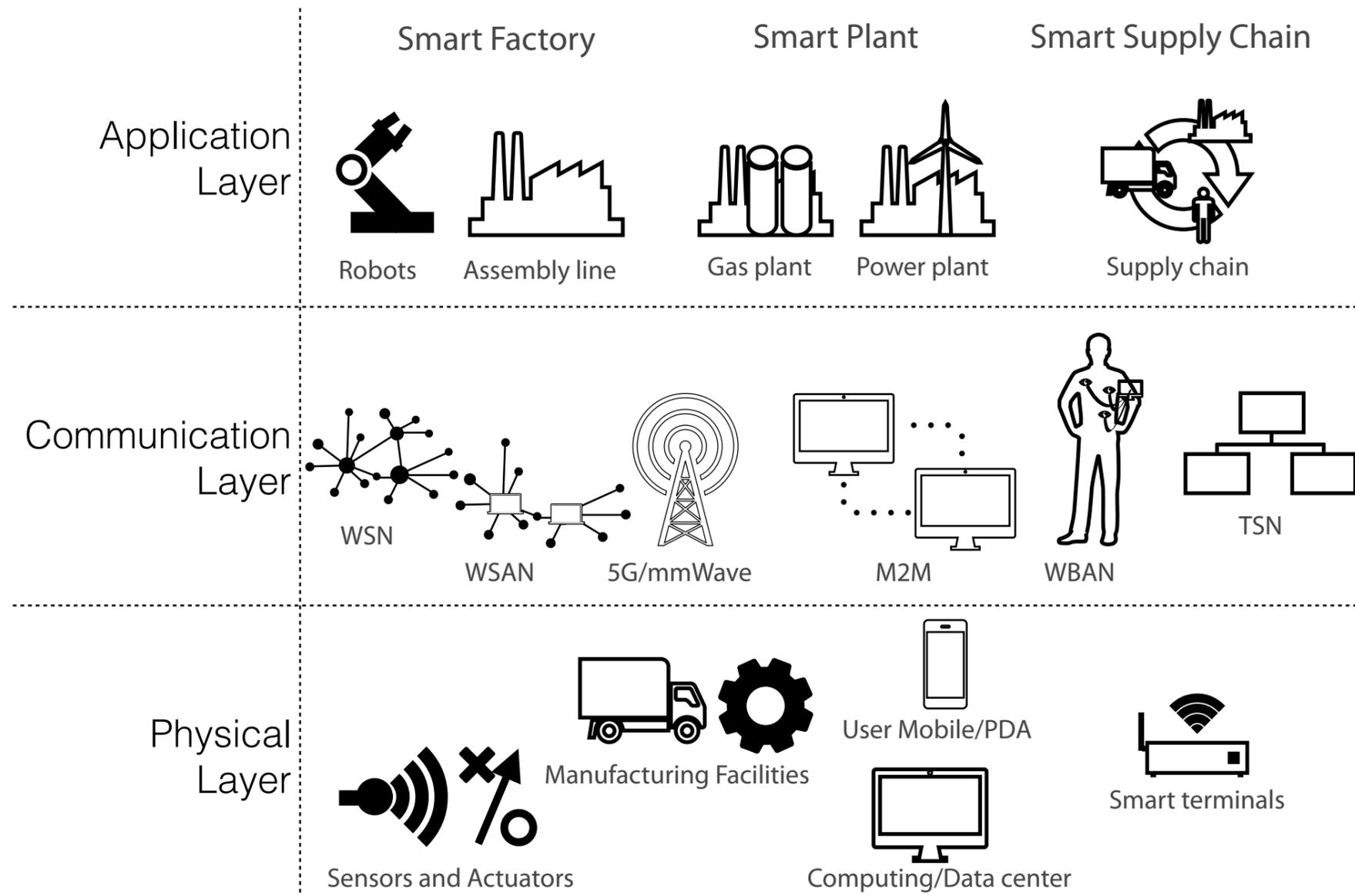
Schichtenbasierte Architekturen für IoT

- Verschiedene mögliche Sichtweisen
- **Objekte:** Sensoren, Aktoren
- **Objekt-Abstrahierung:** Kommunikation d. Objektdaten (z.B. via RFID)
- **Service Management:** Middleware-Schicht, verbindet Dienste und Anfragende
- **Anwendungsschicht:** Bereitstellung der Dienste
- **Business-Schicht:** Visualisierung und Zusammenfassung von Daten

Ähnlich den Netzwerk-Schichtenmodellen existieren auch im Bereich IoT mehrere Modellevarianten.

Internet of Things

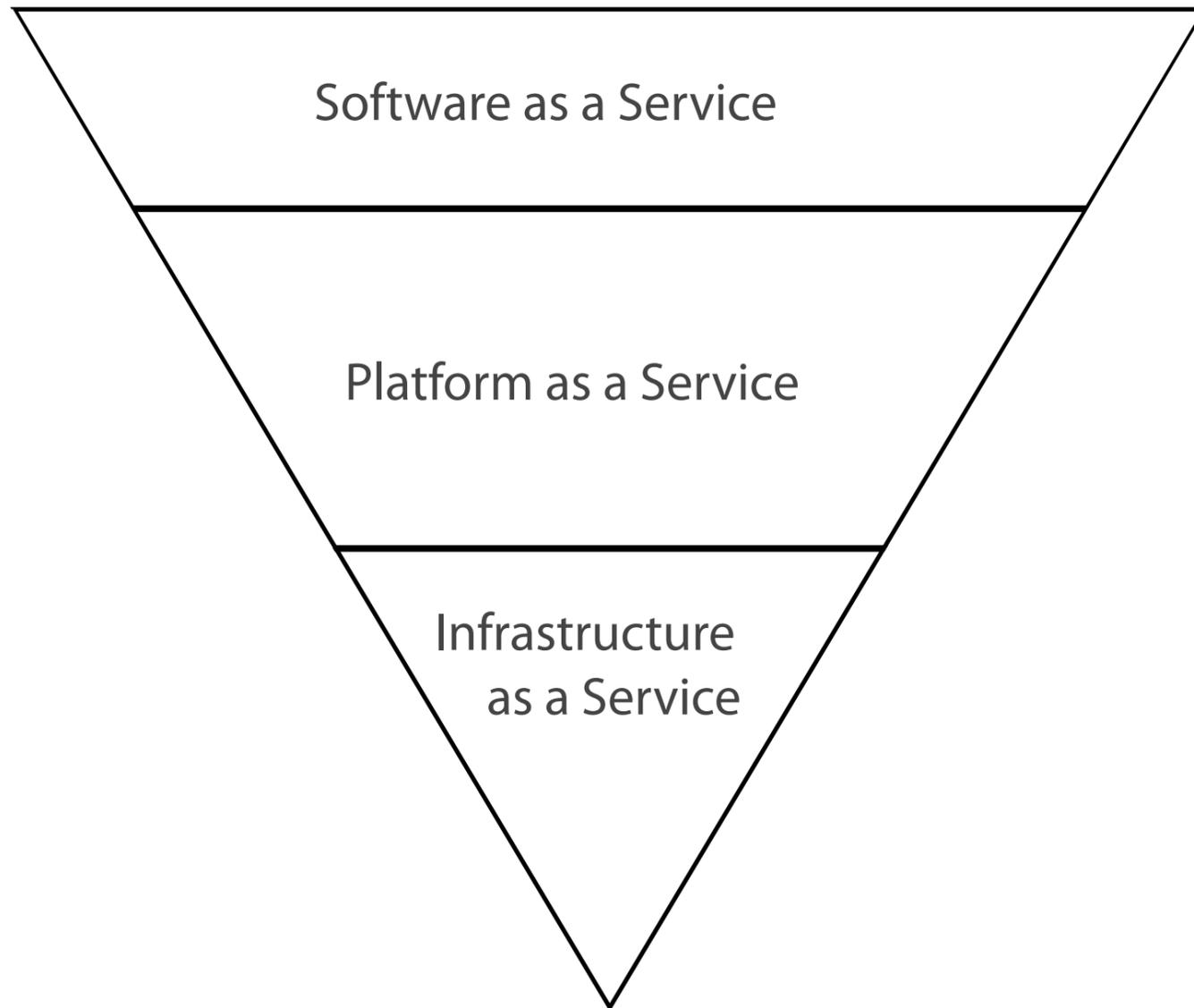
Architektur - IoT Schichtenmodelle



Eine gewissen Tendenz ist zu 3-Schichten-Varianten festzustellen.

Internet of Things

Architektur - Cloud-Schichten



Die 3 Schichten einer Cloud Architektur

- X-as-a-Service Paradigma
- Dezentralisierung von kostenintensiver Hardware, Software
- Schichten aufeinander aufbauend

Internet of Things

Cloud: Everything as a Service

| | Infrastructure as a Service | Platform as a Service | Software as a Service |
|------------------|---|--|---|
| Was? | CPU's, Speicher, Netzwerke | Entwicklungsumgebung Runtime-Umgebung | Programme |
| Vorteile | Vereinfachtes Management „Pay as you grow“ | Vereinfachtes Deploy-Model | Vereinfachte Programmadministration Einsparung von Ressourcen |
| Beispiele | Amazon EC2 | Google App Engine Windows Azure | Google Docs |

Service-Angebote spielen eine zentrale Rolle spielen im Internet of Things.



Einführung

Identifizierung

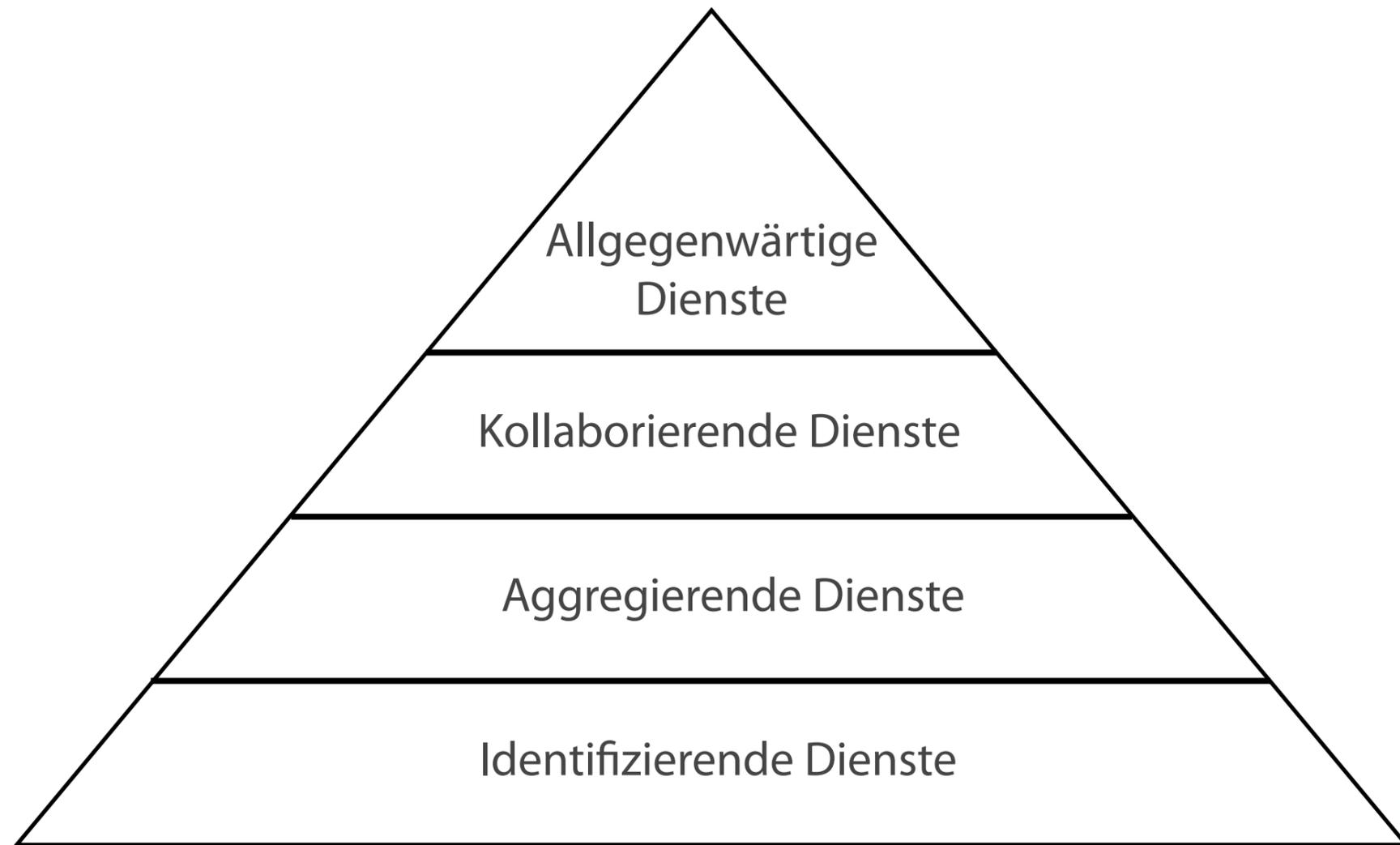
Sensing

Kommunikation

Architekturmodelle

Dienste

Semantik



Allgegenwärtige Dienste sind das Ziel der IoT-Vision.

Die notwendige Basis ist komplex, weshalb die Realisierung dieser Dienste noch nicht weit fortgeschritten ist.

Internet of Things

Beispiele für Dienste im Internet der Dinge

Identitätsbezogene Dienste

- Beispiel: Logistik und Produktion
- „Tracking and Tracing“ von Produkten
- Ziel: eindeutige Identifizierung von Objekten

Dienste zur Informationsaggregation

- Beispiel: Smart Grid
- Sammlung von Sensordaten
- Ziel: Aggregation und Bereitstellung von IoT Daten zur weiteren Verarbeitung

Kollaborierende Dienste

- Beispiel: Smart Traffic
- Koordination von Objekten im Straßenverkehr
- Ziel: Entscheidungsfindung aufgrund vorhandener Daten

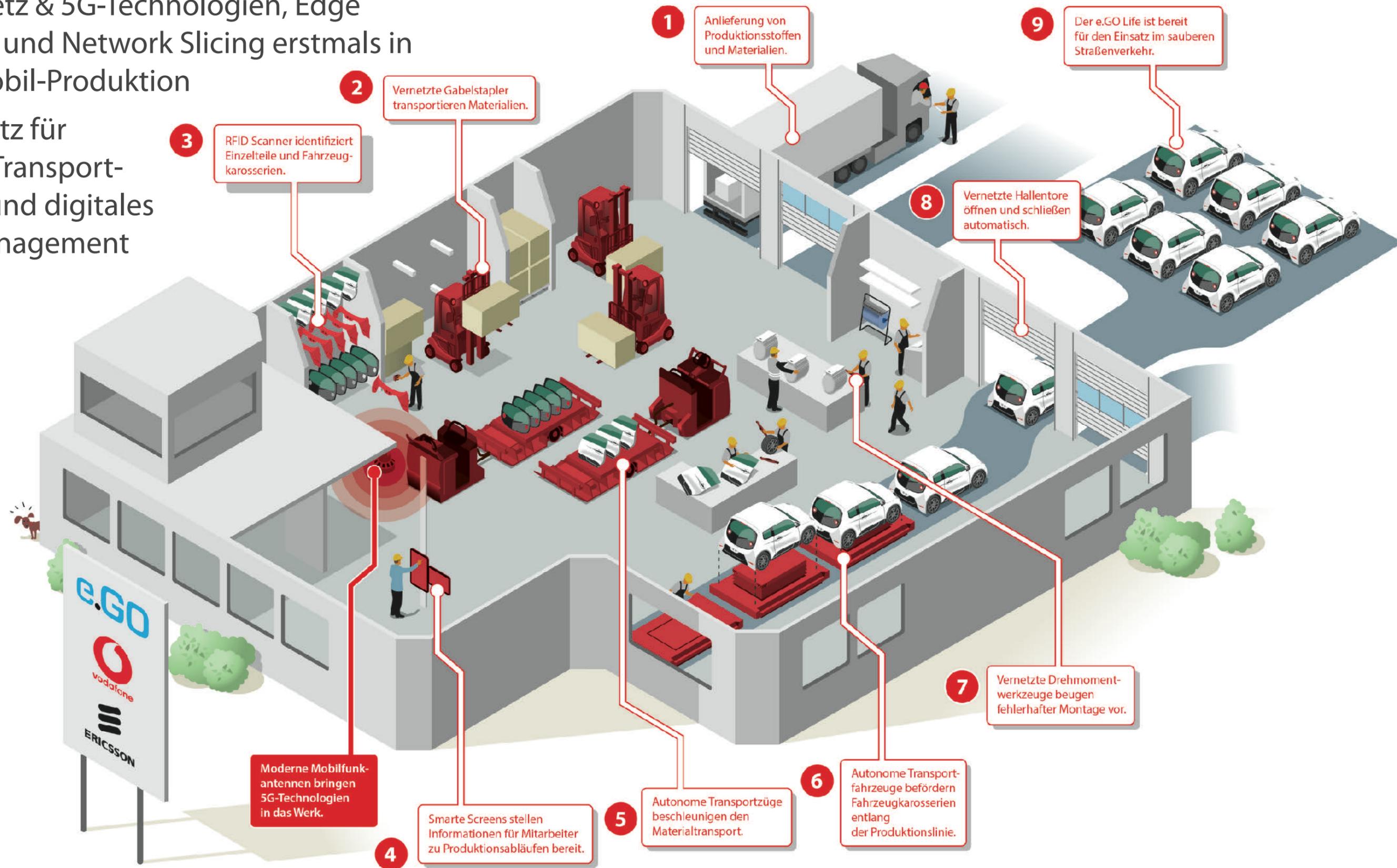
Allgegenwärtige Dienste

- Beispiel: Smart City
- Kombination vieler Dienste zur individualisierten Bereitstellung
- Ziel: Nutzung aller vorherigen Dienste zur optimalen Service-Erbringung

Internet of Things

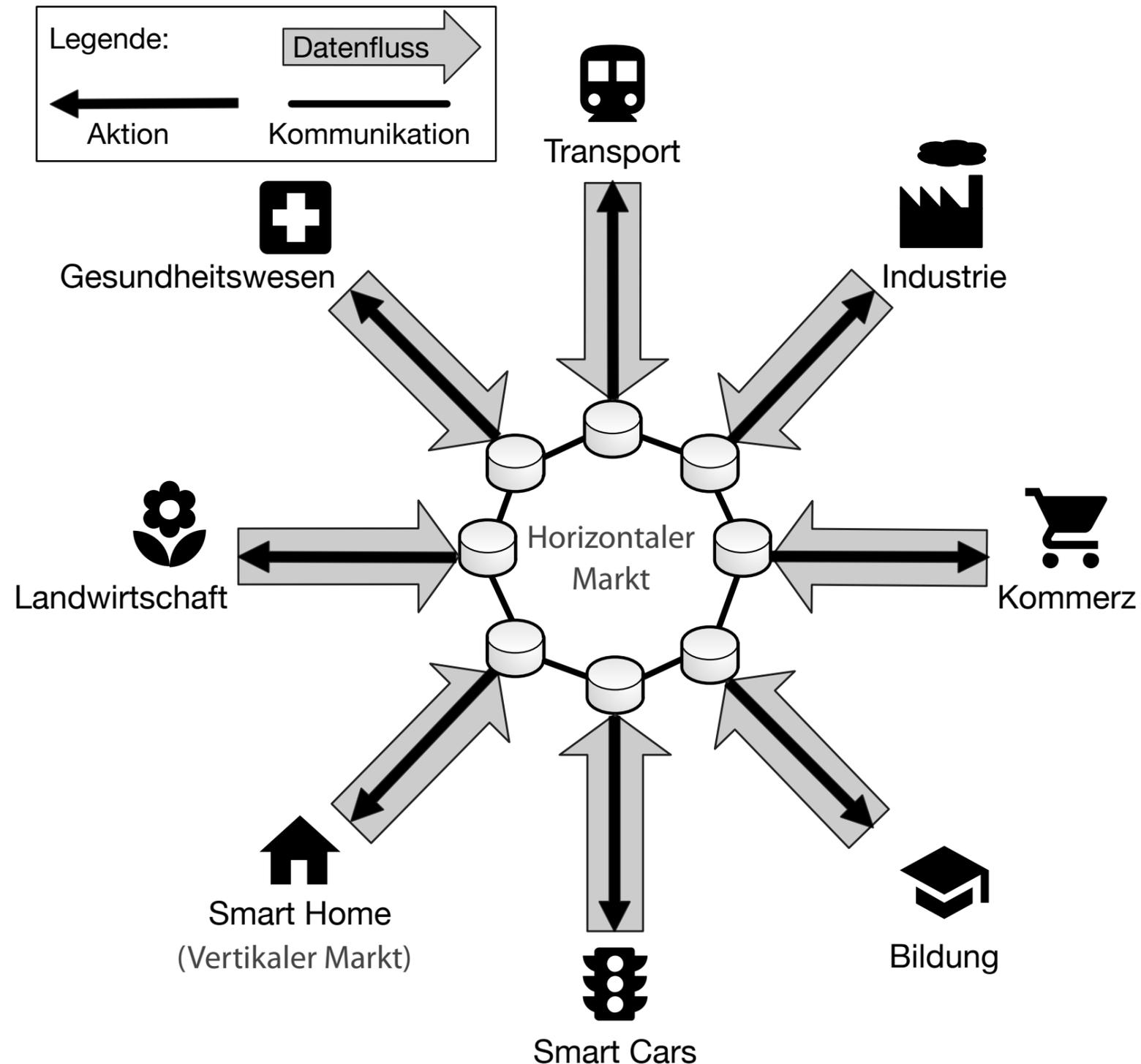
Vodafone, e.GO und Ericsson - Die vernetzte Automobilproduktion

- Autarkes Netz & 5G-Technologien, Edge Computing und Network Slicing erstmals in der Automobil-Produktion
- Campus-Netz für autonome Transportfahrzeuge und digitales Materialmanagement



Internet of Things

Horizontale und Vertikale Märkte im Internet der Dinge



Vertikaler Markt

- Domänenspezifisch
- Kommuniziert Daten zu domänenunabhängigen Diensten
- Reagiert auf Analytics gestützte Befehle

Horizontaler Markt

- Domänenunabhängig
- Analyse erhaltener Daten verschiedener Anwendungen
- Steuerung domänenspezifischer Anwendungen

Erst die Verknüpfung von Anwendungen aus unterschiedlichen Domänen führt zu allgegenwärtigen Diensten.



Einführung

Identifizierung

Sensing

Kommunikation

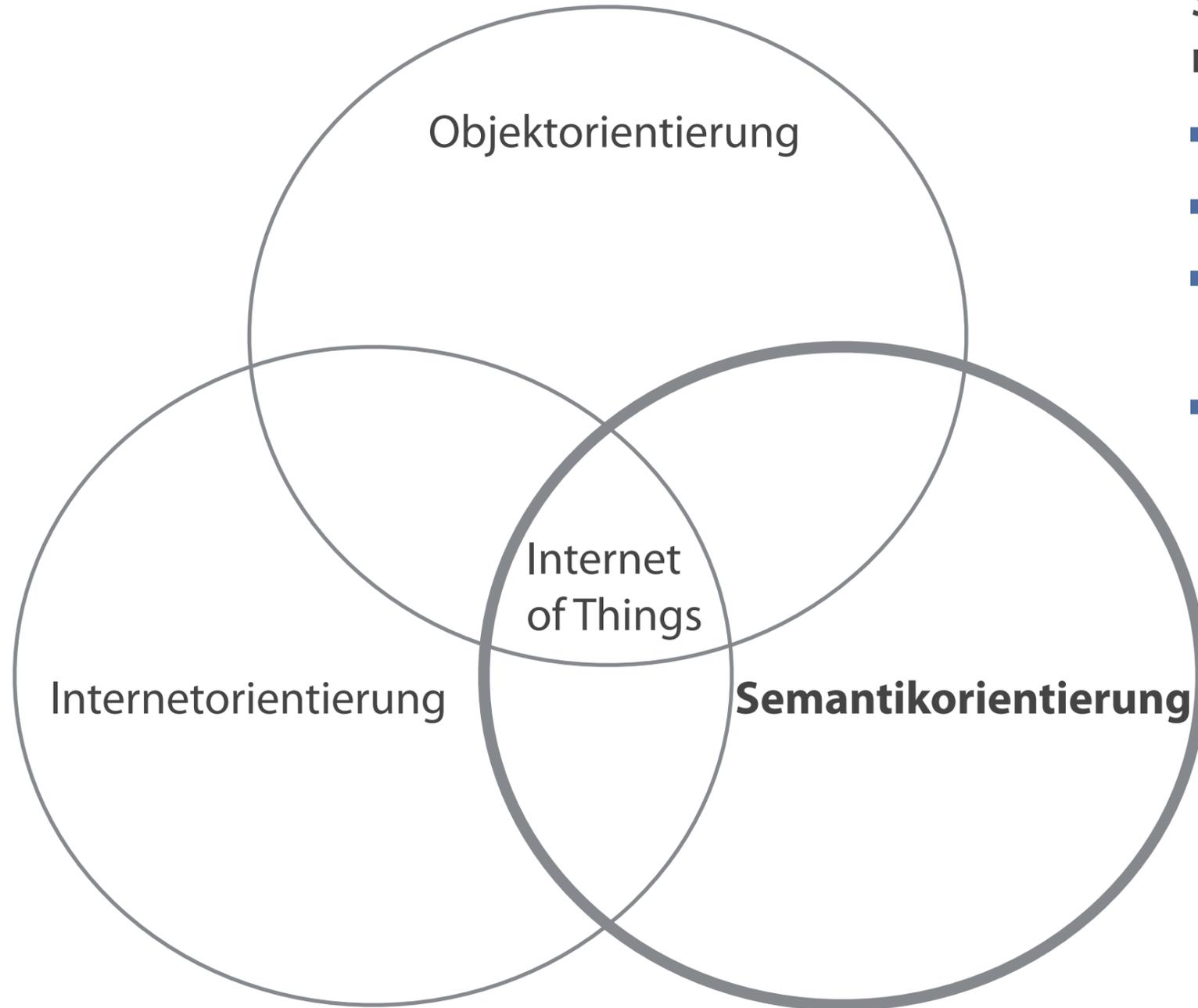
Architekturmodelle

Dienste

Semantik

Internet of Things

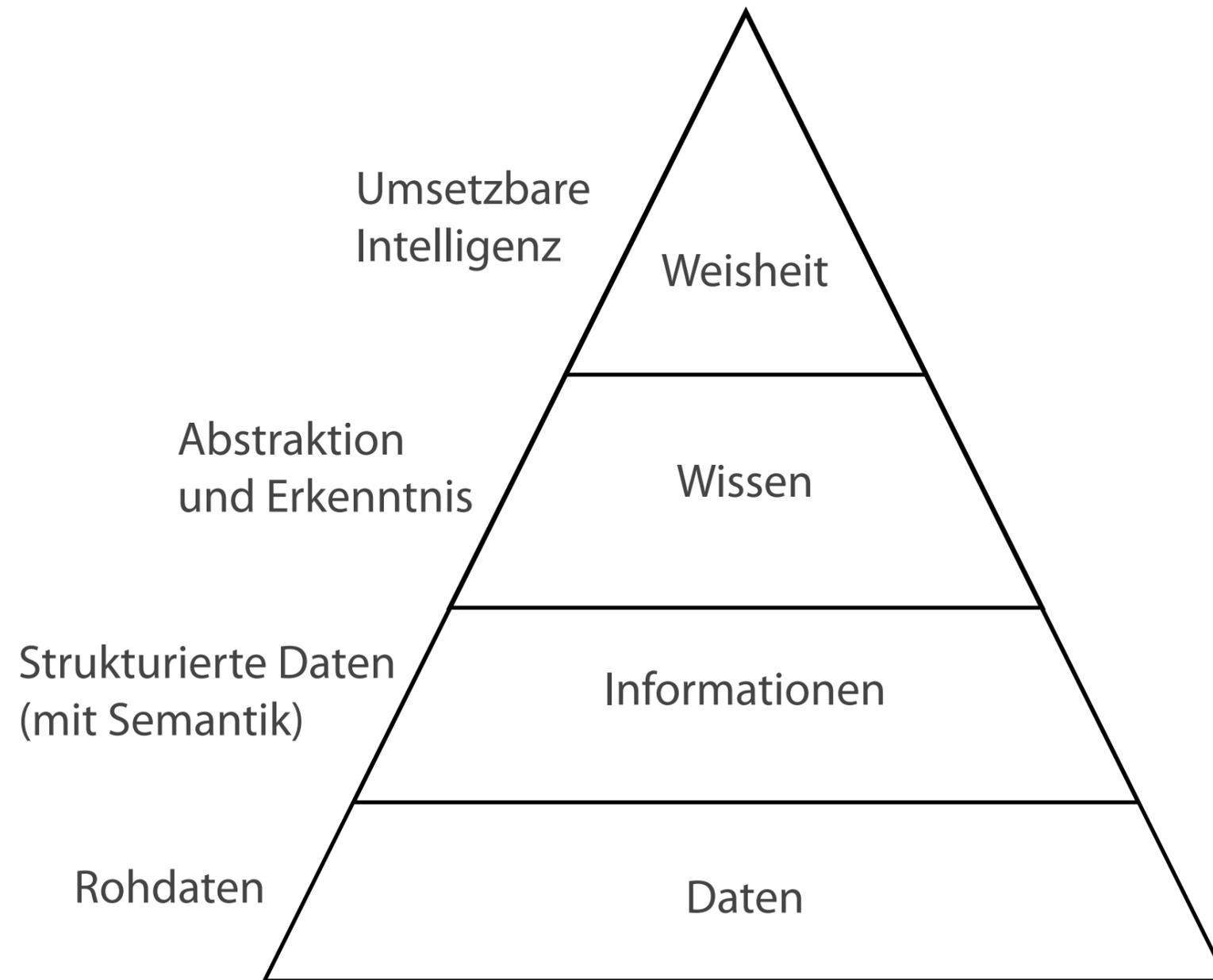
Semantikorientierung im Internet der Dinge



Semantik in der IoT befasst sich mit:

- Organisation v. Daten
- Repräsentation v. Daten
- Verknüpfung einzelner Informationen
- Speicherung v. Daten

Ziel semantischer Technologien ist es, die Bedeutung von Informationen extrahierbar zu machen.



Daten müssen über mehrere Schritte verarbeitet werden, um den größten Wert aus ihnen zu ziehen.

Internet of Things

Beispiel Datenabstrahierung: SensorML Spezifizierung

```
<!-- ===== -->
<!--           System Description           -->
<!-- ===== -->
<gml:description> Temperatursensor Fenster </gml:description>
<gml:identifier codeSpace="uniqueID">lswi.de.635</gml:identifier>
<!-- ===== -->
<!--           Observed Property = Output           -->
<!-- ===== -->
<sml:outputs>
  <sml:OutputList>
    <sml:output name="temp">
      <swe:Quantity
        definition="http://lswi.de/2.2/quantTemp.owl#Temperature">
        <swe:label> Temperatur (Luft) </swe:label>
        <swe:uom code="Cel"/>
      </swe:Quantity>
    </sml:output>
  </sml:OutputList>
</sml:outputs>
<!-- ===== -->
<!--           Sensor Location           -->
<!-- ===== -->
<sml:position>
  <gml:Point gml:id="stationLocation"
    srsName="http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/4326">
    <gml:coordinates>52.39 13.12</gml:coordinates>
  </gml:Point>
</sml:position>
```

Beispiel einer formalen Modellierungssprache: SensorML

- Formales Datenmodell zur Beschreibung von Sensoren und ihren Eigenschaften
- Definition via XML
- Domänen-spezifisch (Hier: Sensoren)

Internet of Things

Ressourcensparender Datenaustausch via Efficient XML Interchange

Efficient XML Interchange Format

- Binäre Kodierung von XML Dokumenten
- Spart Ressourcen bei der Datenübertragung
- Schneller durch Maschinen verarbeitbar
- Entropiebasierter Kodierungsalgorithmus
- Kodierung nach vorgegebener Grammatik
- Offener W3C Standard, verschiedene Implementierungen
- Inzwischen ebenfalls für JSON spezifiziert

Efficient XML Interchange (EXI) ist ein binäres Format zur Übertragung bestimmter XML Daten. Es ist effizienter in der Übertragung und schneller in der Verarbeitung als herkömmliches XML.

Quellen

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787-2805.
- Barnaghi, P., Wang, W., Henson, C., & Taylor, K. (2012). Semantics for the Internet of Things: early progress and back to the future. *International Journal on Semantic Web and Information Systems (IJSWIS)*, 8(1), 1-21.
- Bi, J., Wu, J., & Leng, X. (2007). IPv4/IPv6 transition technologies and univ6 architecture. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 7(1), 232-243.
- Botts, M., & Robin, A. (2007). OpenGIS sensor model language (SensorML) implementation specification. *OpenGIS Implementation Specification OGC*, 7(000).
- Brock, D. L. (2001). The electronic product code (epc). *Auto-ID Center White Paper MIT-AUTOID-WH-002*.
- Deering, S. E. (1998). Internet protocol, version 6 (IPv6) specification.
- Duden (2017). <http://www.duden.de/rechtschreibung/Infrastruktur>.
- Gavrilovska, L., Rakovic, V., & Atanasovski, V. (2016). Visions towards 5G: Technical requirements and potential enablers. *Wireless Personal Communications*, 87(3), 731-757.
- Hansong Xu, Wei Yu, David Griffith, Nada Golmie. (2018). A Survey on Industrial Internet of Things: A Cyber-Physical Systems Perspective. *IEEE Access*, 10.1109/ACCESS.2018.2884906.
- Huawei (k.J.). 5G: A Technology Vision. <http://www.huawei.com/5gwhitepaper/>
- Meijer, G. (Ed.). (2008). *Smart sensor systems*. John Wiley & Sons.
- Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing.
- Osseiran, A., Boccardi, F., Braun, V., Kusume, K., Marsch, P., Maternia, M., ... & Tullberg, H. (2014). Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project. *IEEE Communications Magazine*, 52(5), 26-35.
- Oteafy, S., & Hassanein, H. S. (2012). Resource re-use in wireless sensor networks: Realizing a synergetic internet of things. *Journal of Communications*, 7(7), 484-493.
- Palattella, M. R., Dohler, M., Grieco, A., Rizzo, G., Torsner, J., Engel, T., & Ladid, L. (2016). Internet of things in the 5G era: Enablers, architecture, and business models. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34(3), 510-527.
- Raicu, I., & Zeadally, S. (2003, February). Evaluating IPv4 to IPv6 transition mechanisms. In *Telecommunications, 2003. ICT 2003. 10th International Conference on* (Vol. 2, pp. 1091-1098). IEEE.
- Vermesan, O., & Friess, P. (Eds.). (2014). *Internet of things-from research and innovation to market deployment*. Aalborg: River Publishers.
- Vook, F. W., Ghosh, A., & Thomas, T. A. (2014, June). MIMO and Beam-Forming solutions for 5G technology. In *Microwave Symposium (IMS), 2014 IEEE MTT-S International* (pp. 1-4). IEEE.
- Want, R. (2006). An introduction to RFID technology. *IEEE pervasive computing*, 5(1), 25-33.
- Ward, M., Van Kranenburg, R., & Backhouse, G. (2006). RFID: Frequency, standards, adoption and innovation. *JISC Technology and Standards Watch*, 5.
- Langer, J., Roland M. (2010): *Anwendungen und Technik von Near Field Communication (NFC)*

Abbildungen

Cooling Truck. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Volvo_FE_cooling_truck.jpg

Geoff Huston (2017). IPv4 Address Report (Autogenerated). <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/>

Mautsystem. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Toll_booths_in_the_UK.jpg

NFC-Kleidung. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zara_clothing_made_in_Portugal.JPG

NFC-Zahlung. <https://www.flickr.com/photos/janitors/8725959416>

RFID_Tags. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RFID_Tags.jpg

Smart_Fridge. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LG_Smart_DIOS_V9100.jpg

Vodafone: <https://www.vodafone.de/newsroom/digitales-arbeiten/ans-netz-gegangen-5g-technologien-funken-im-werk-von-e-go/>

Wearable. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Samsung_Gear_Fit_\(15059693427\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Samsung_Gear_Fit_(15059693427).jpg)