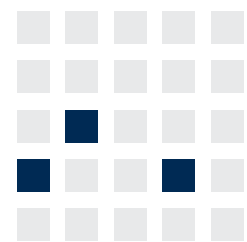




# Industrial Internet of Things

## 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](mailto:ngronau@lswi.de)

*Web* [lswi.de](http://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

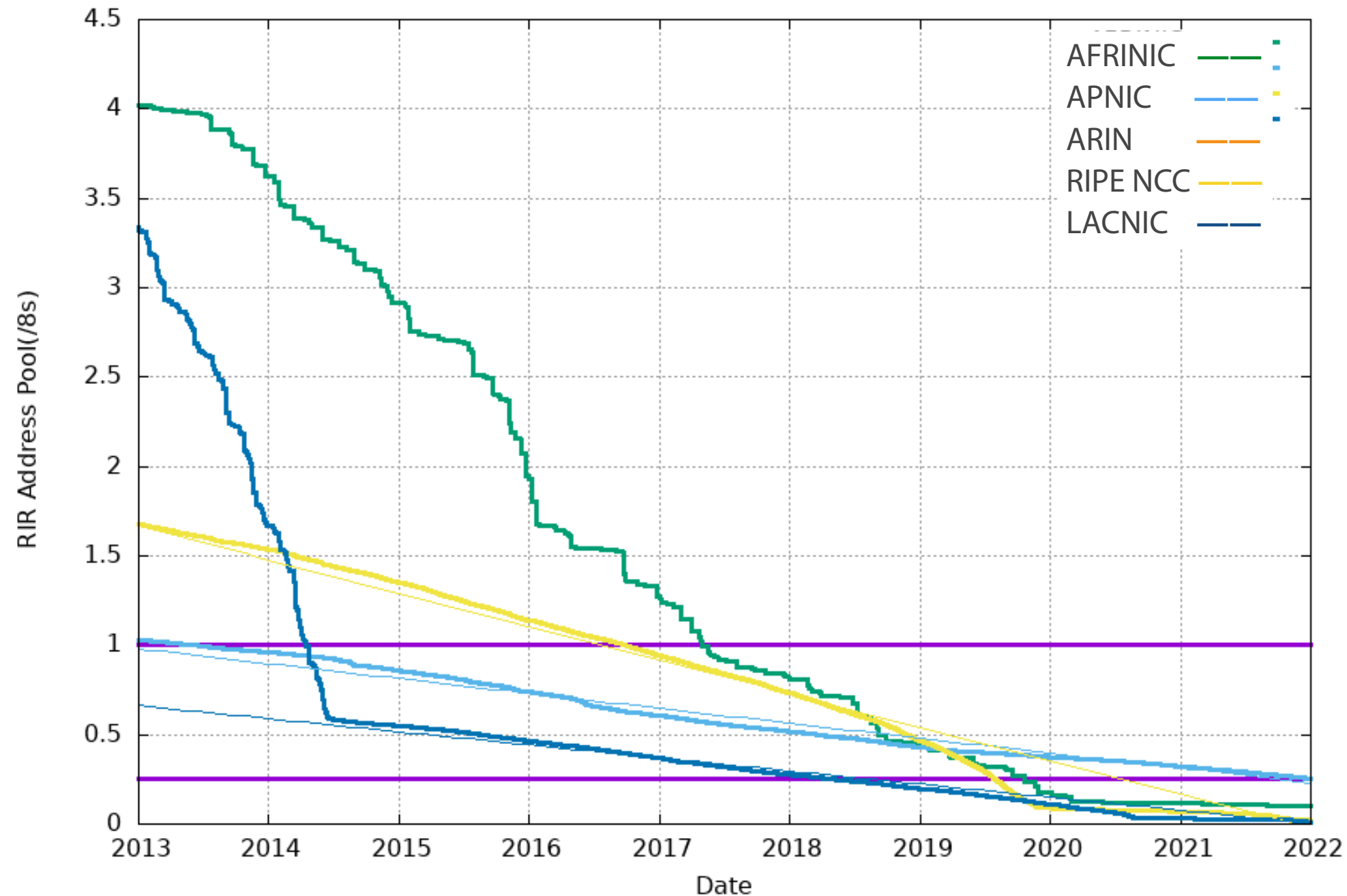
Semantik



# 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

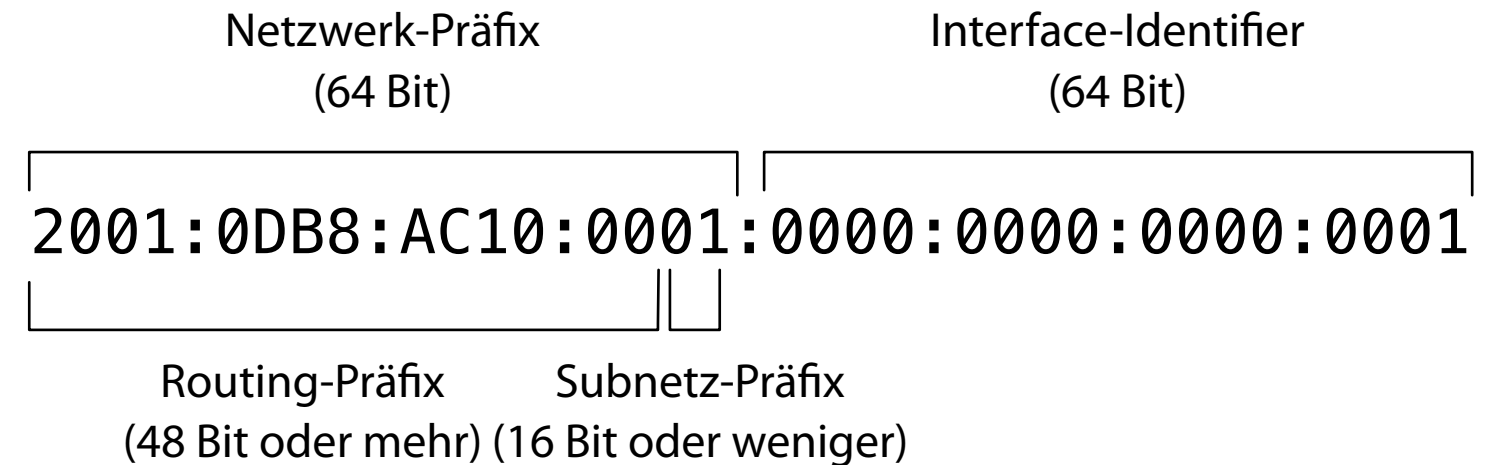
2001:0DB8:AC10:FE01:0000:0000:0000:0000

(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

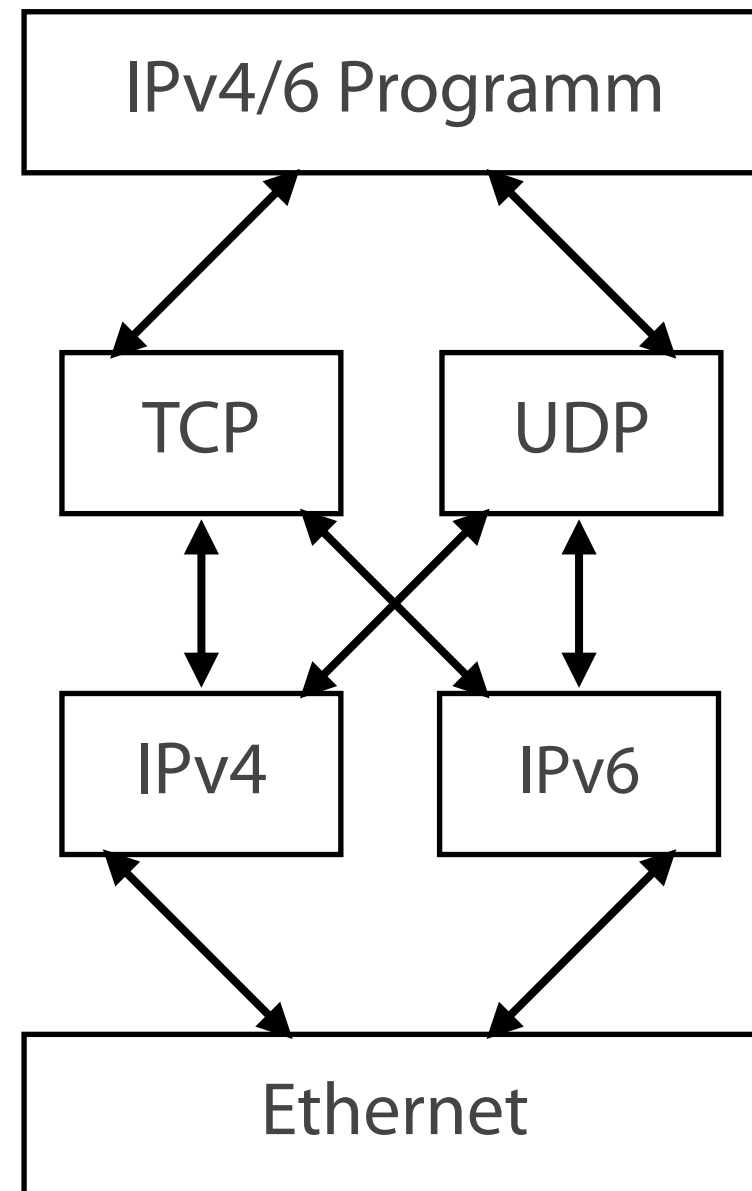
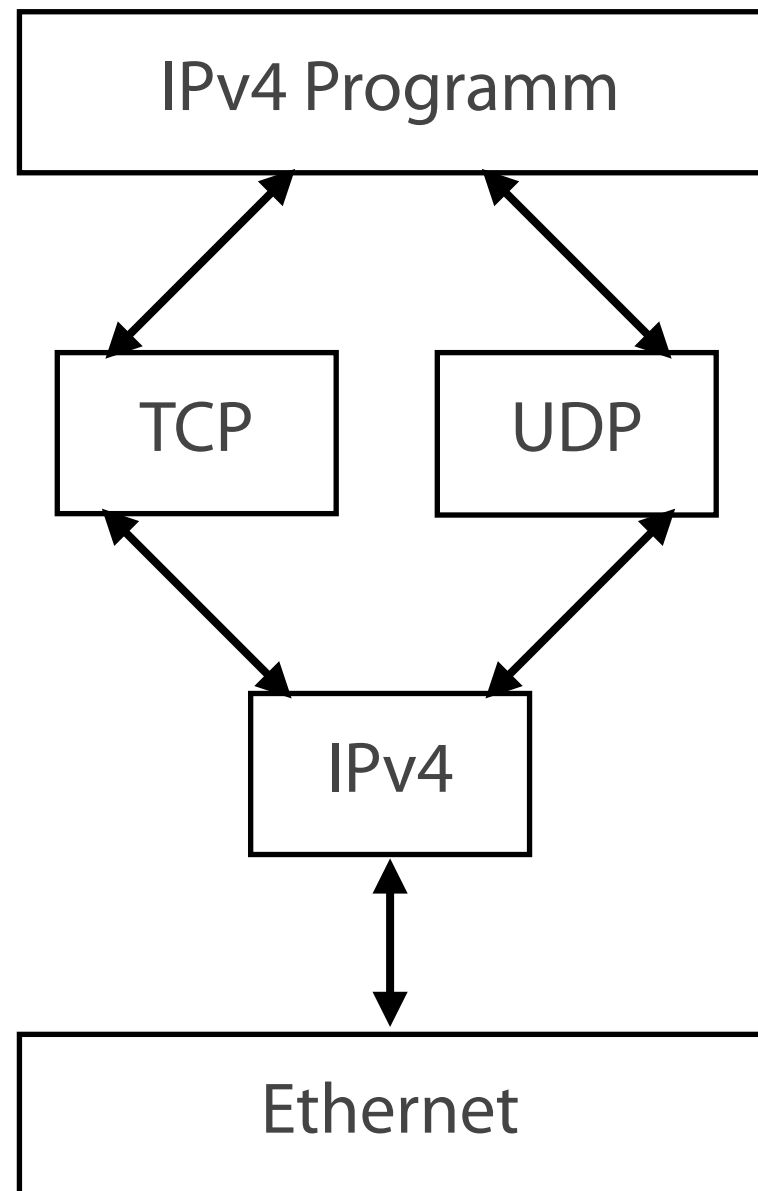
Struktur einer IPv6 Adresse

- 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)



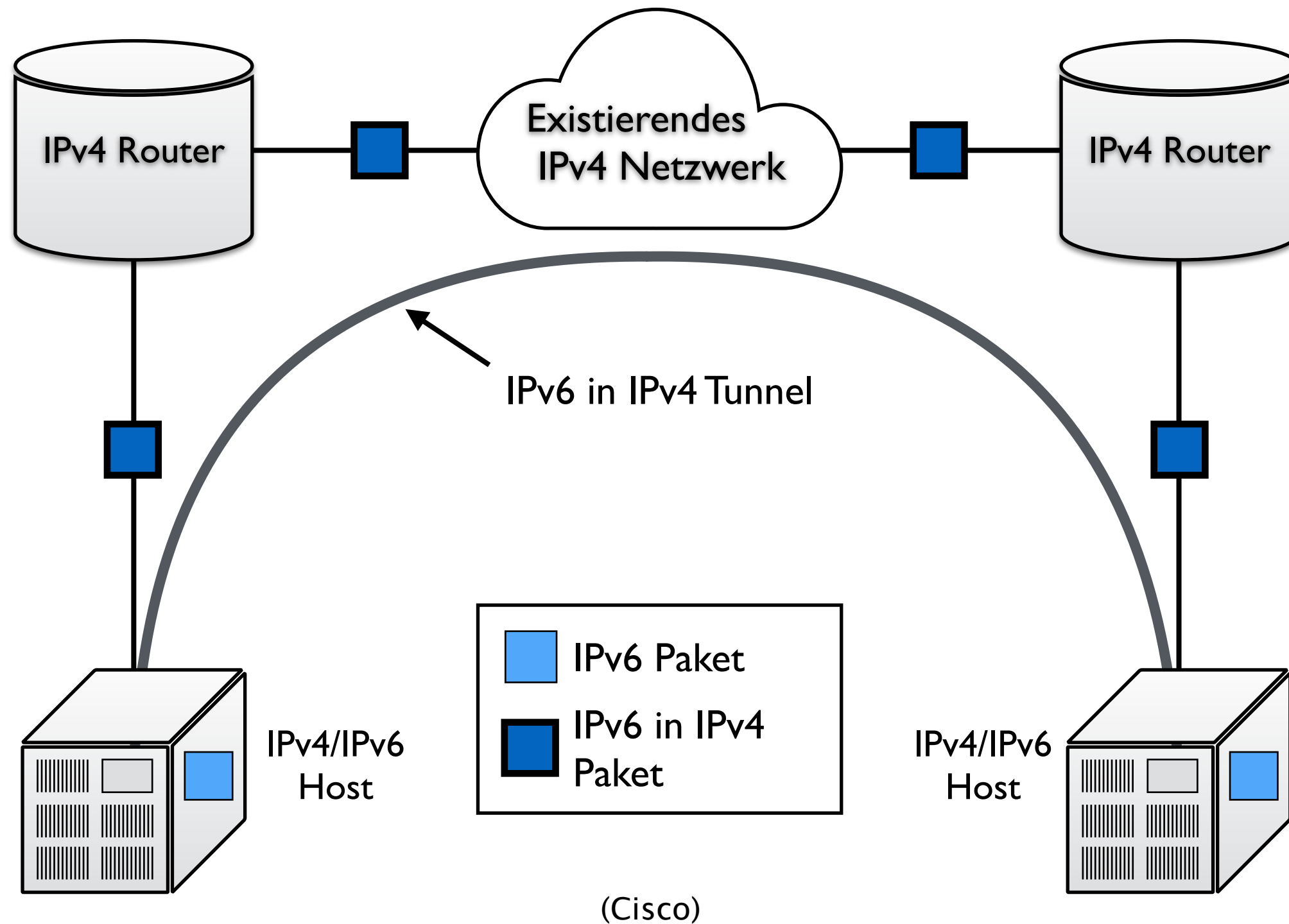
### IPv4/IPv6 Dual Stack

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



# Internet of Things

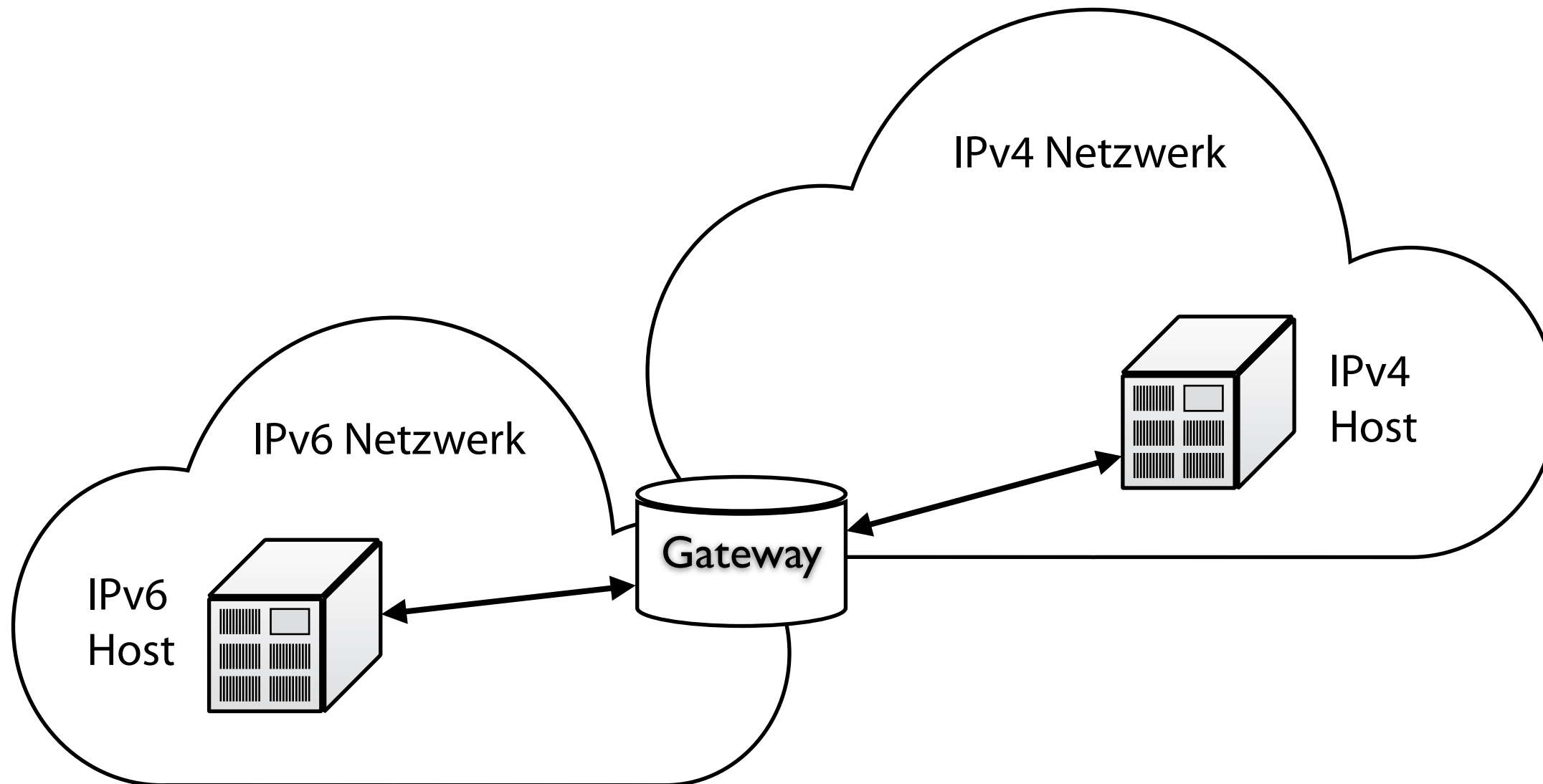
## Eindeutige Identifizierung - IPv6 Transitionsmechanismen (2/3)



### 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)





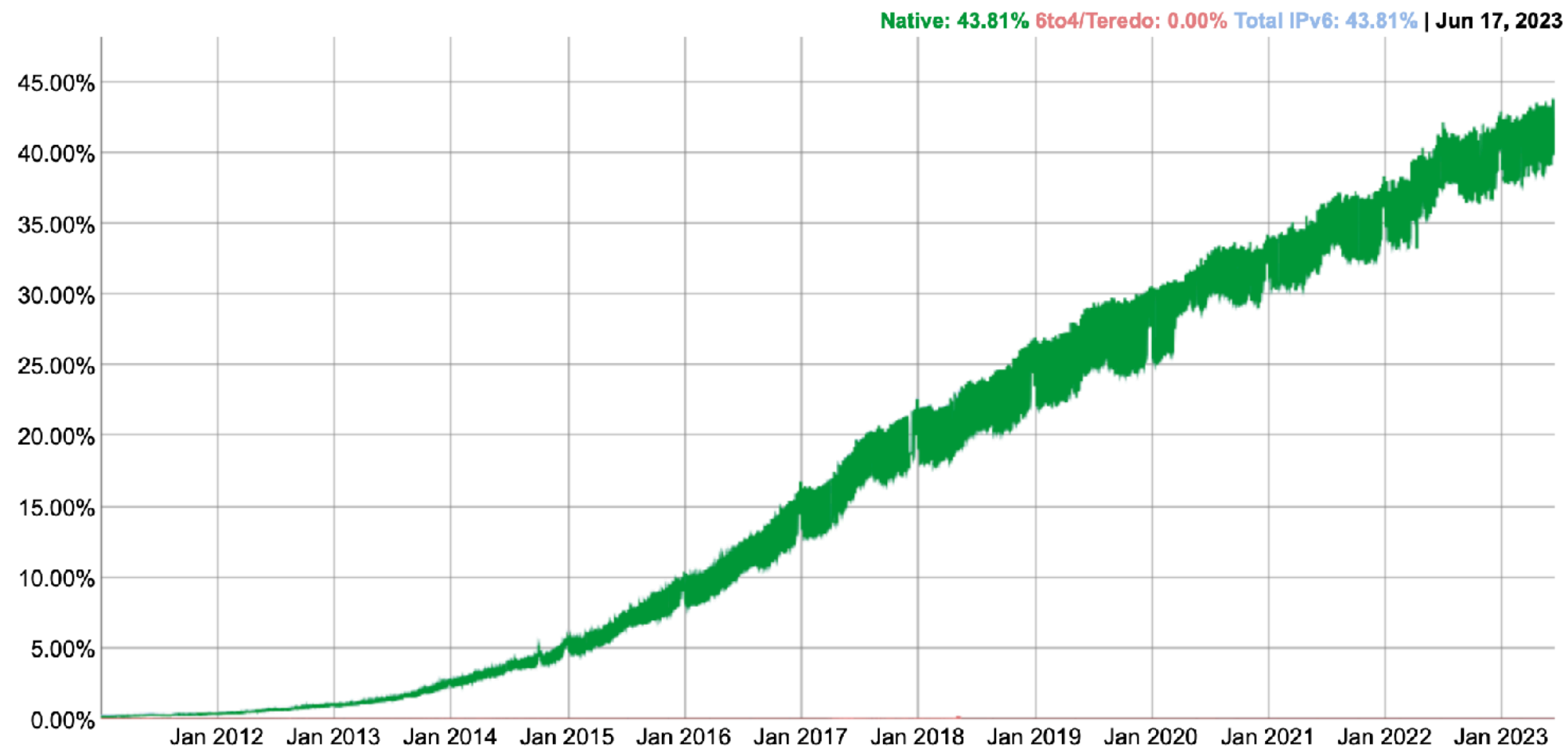
### Gateway Mechanismen

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

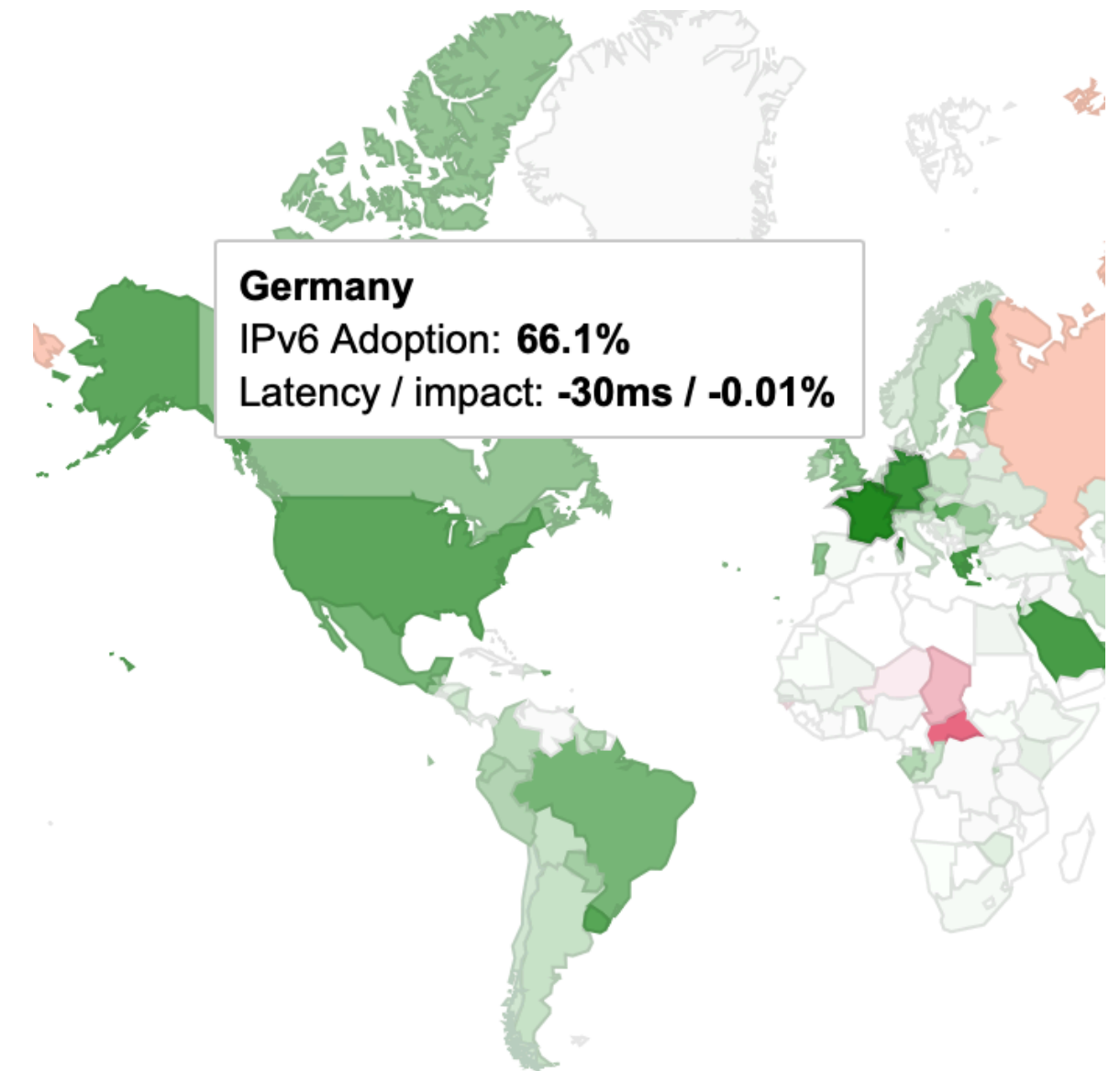
# Internet of Things

## Eindeutige Identifizierung - IPv6 Umsetzungsstand

### Google Besucher mit IPv6 Adressen (weltweit)



### IPv6 Einführung pro Land (Google)





# Internet of Things

## Eindeutige Identifizierung - Weitere Verfahren (uicode und EPC)

### uicode

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

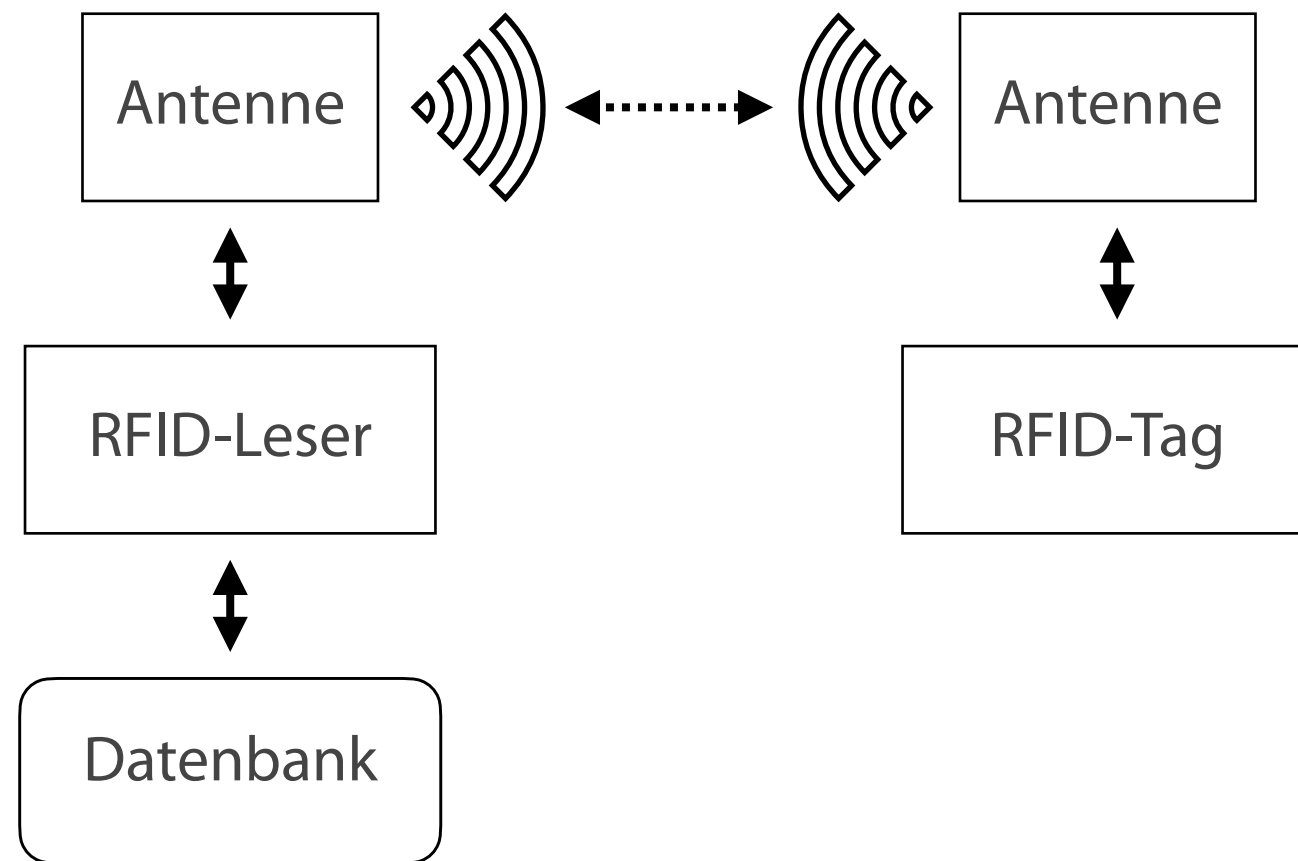
- RFID (Radio Frequency Identification)
- Wireless Sensor Networks/LLNs
- Mobilfunknetze

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



# Internet of Things

## RFID



### RFID-Komponenten

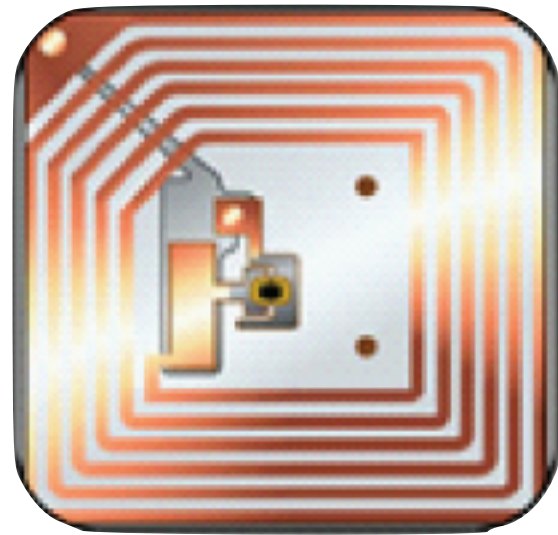
- RFID-Leser: Empfänger
  - Hat ausreichende Ressourcen
  - Verarbeitet Informationen
- Antenne
  - Häufig in Leser integriert
  - Benötigt zur Tag-Auswertung
  - Verschiedene Frequenzen
- RFID-Tag(s): Sender
  - Beinhaltet Informationen
  - Verschiedenste Größen und Arten

**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

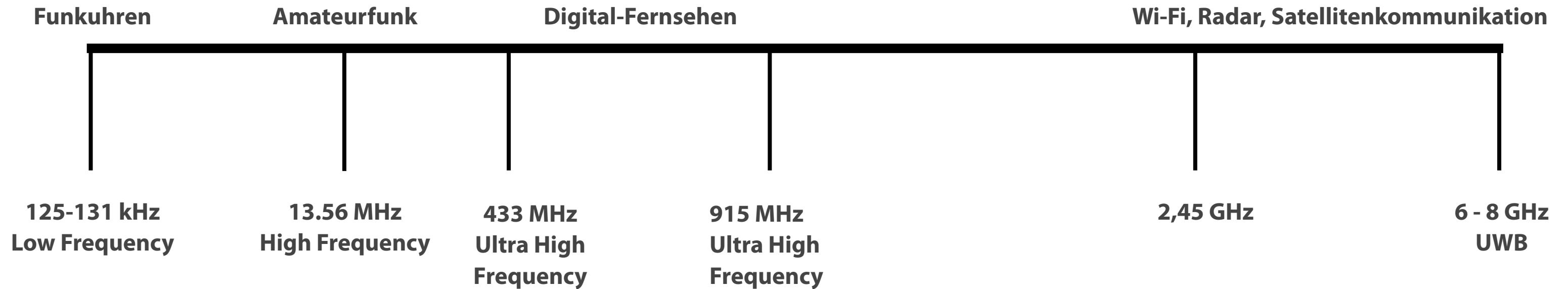
- Batteriebetrieben
- Höhere Reichweite
- Höhere Kosten



# 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

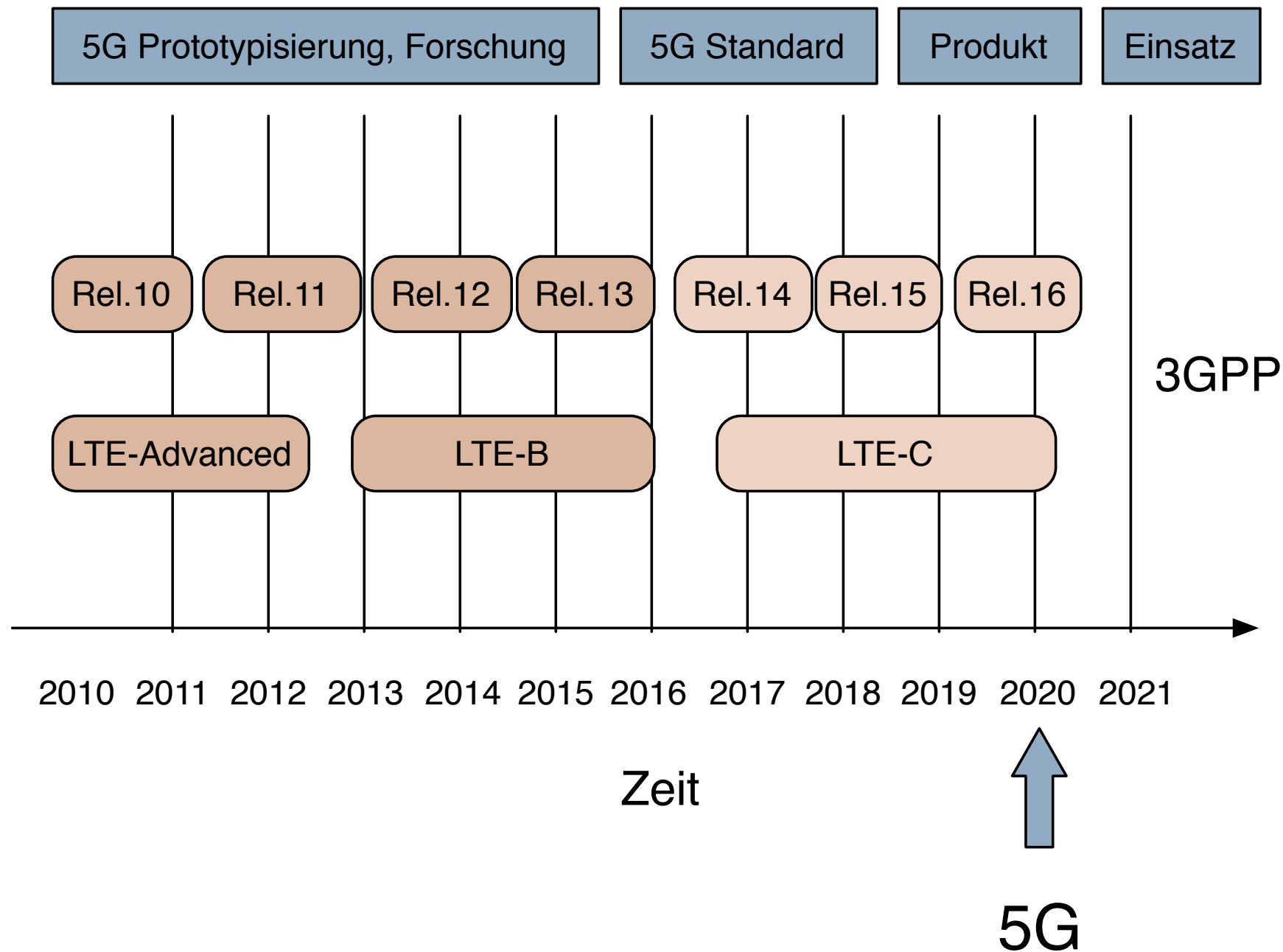
- Latenzen für kritische Anwendungen zu hoch
- Datenraten nicht ausreichend
- Skalierbarkeit
- Begrenztes Radio-Spektrum

**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.**

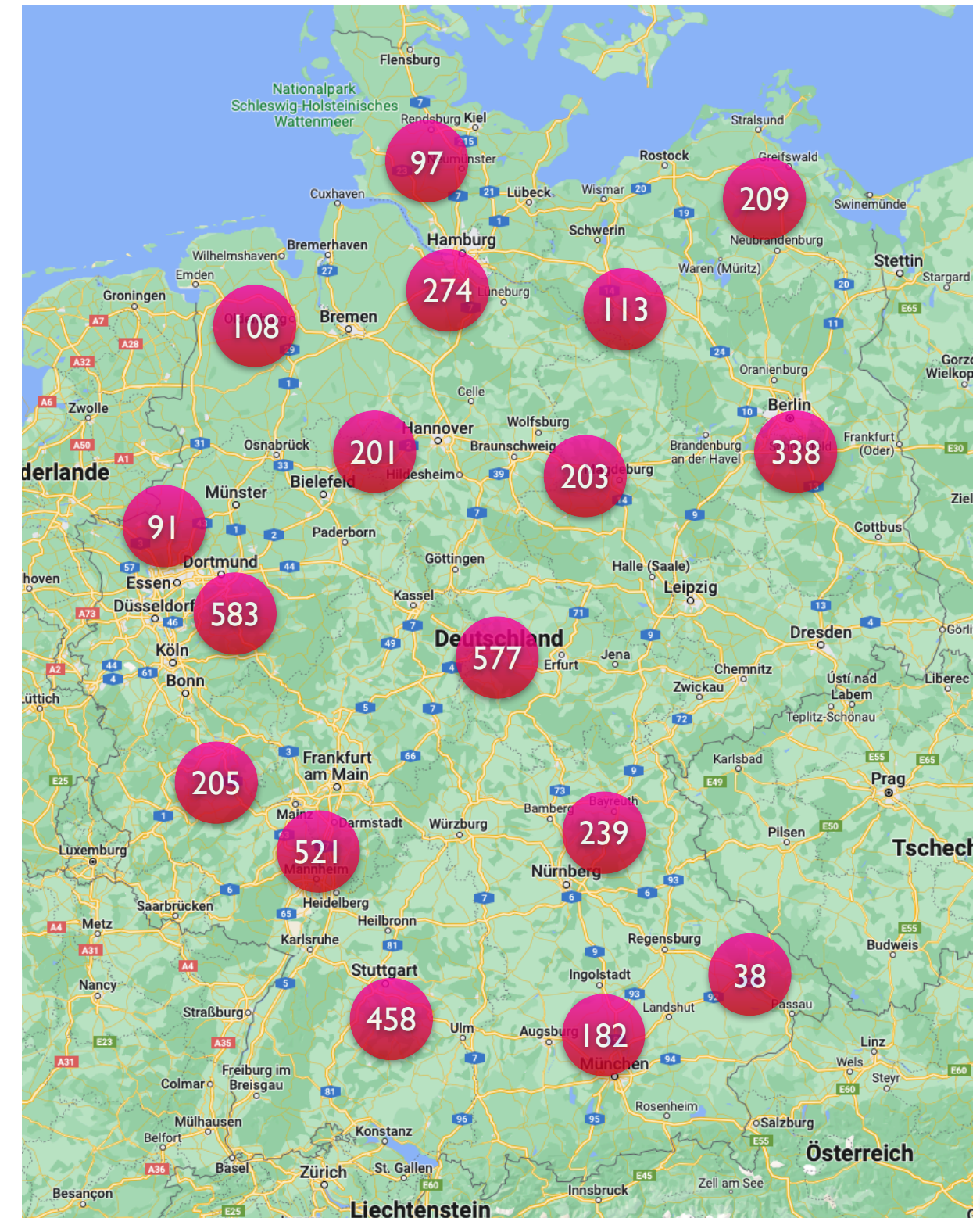
# Internet of Things

## Einführung von 5G Mobilfunknetzen in Deutschland

### Aktueller Stand

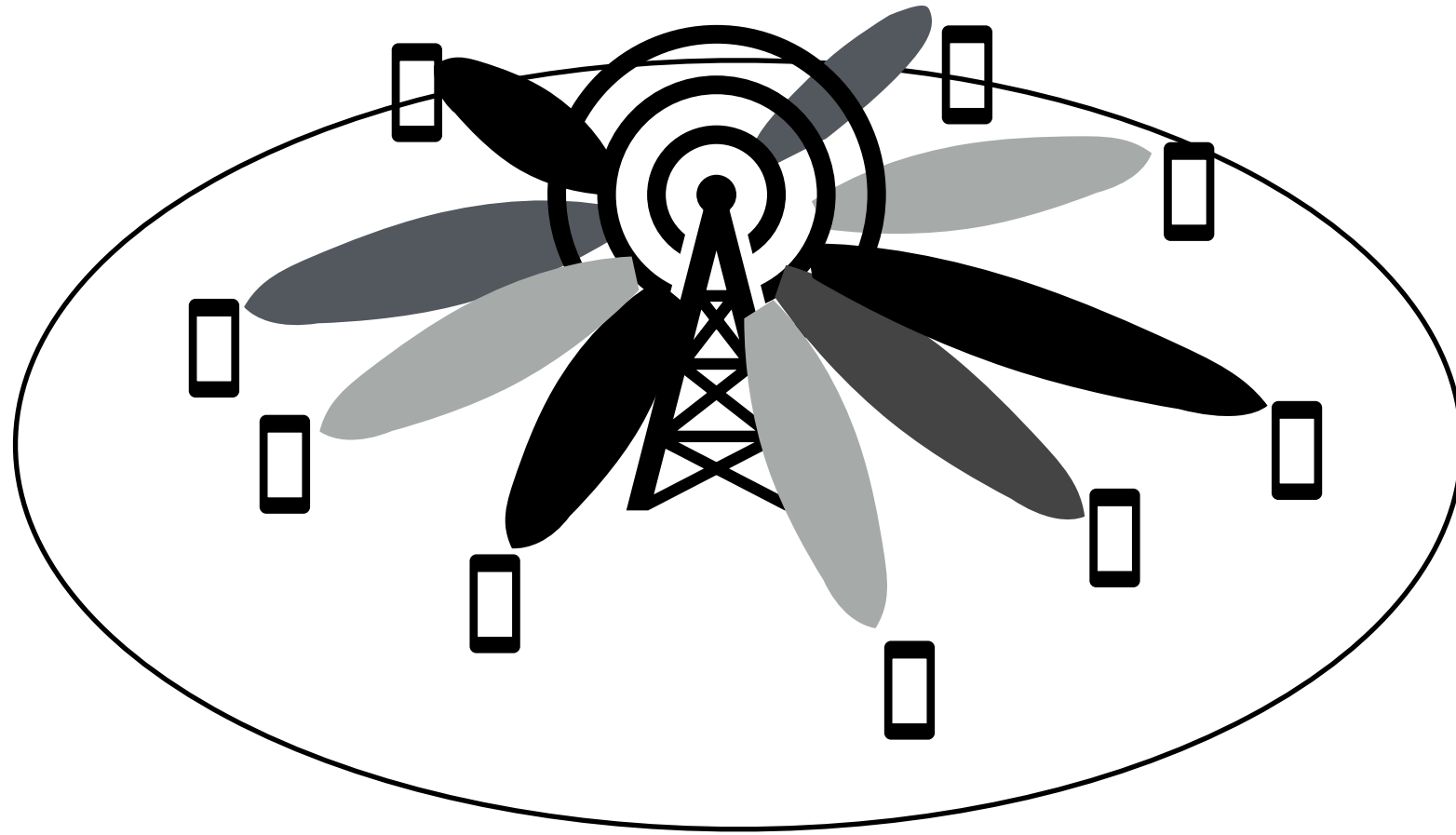
- Ungeklärte politische und regulatorische Hindernisse behinderten Startschuss für 5G-Ausbau
- Juni 2019 wurden 6,6 Mrd. Euro bei Versteigerung der 5G-Lizenzen eingenommen
- Einführung im Juli 2019 durch Vodafone und Telekom in ausgewählten Städten (u.a. Köln, Düsseldorf, Hamburg, Dortmund und München)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

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



5G-Funkstation (Telekom/Vodafone)





### 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/km<sup>2</sup> 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

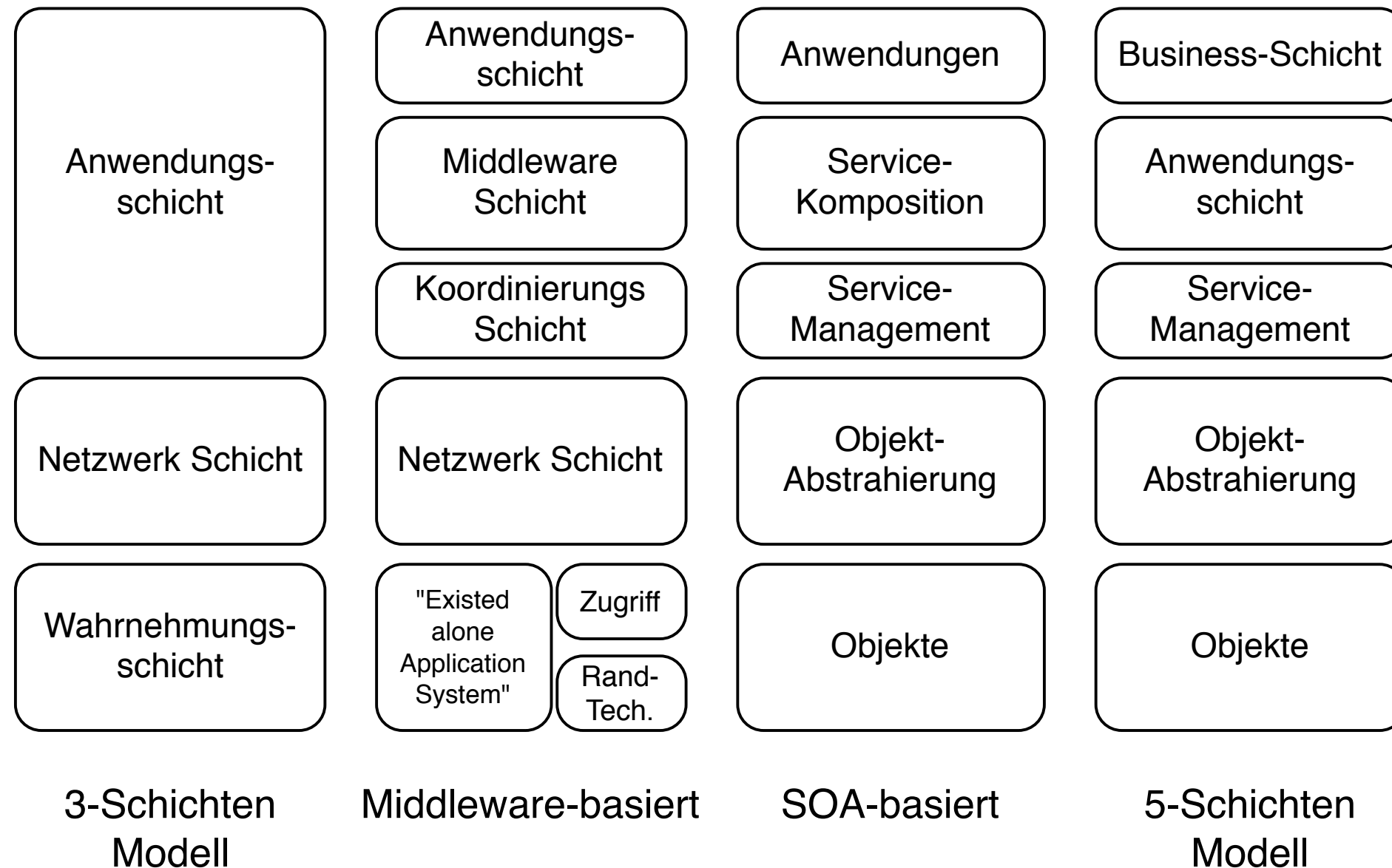
- Nutzung von Cloud-Diensten
- Lokale Berechnung wenn sinnvoll
- Auslagerung wenn nötig
- Cloud-basierte Architekturen bieten Plattformen, Software und Infrastruktur „as a Service“ an (Everything-as-a-Service)

**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



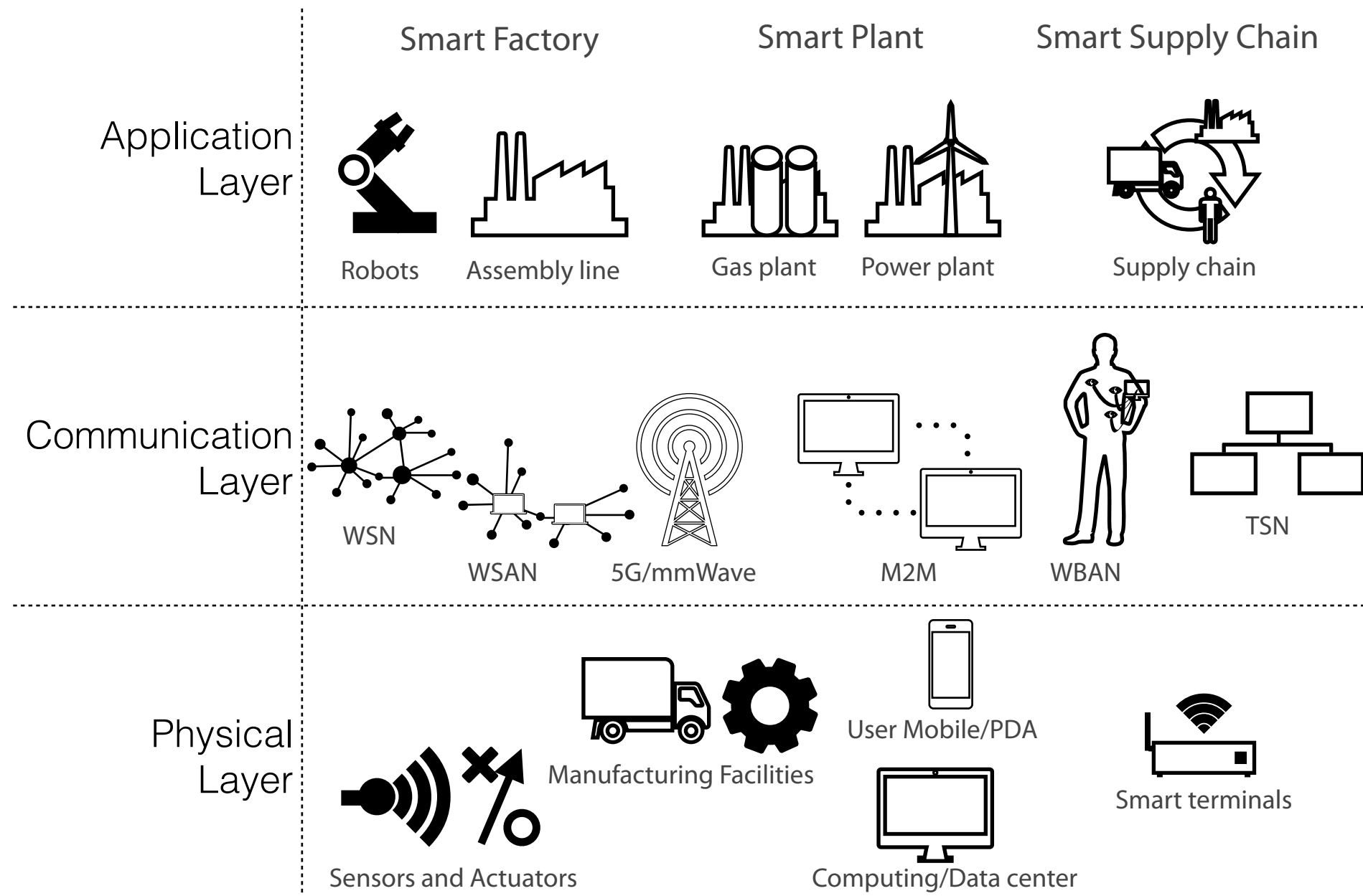
### Schichtenbasierte Architekturen für IoT

- 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



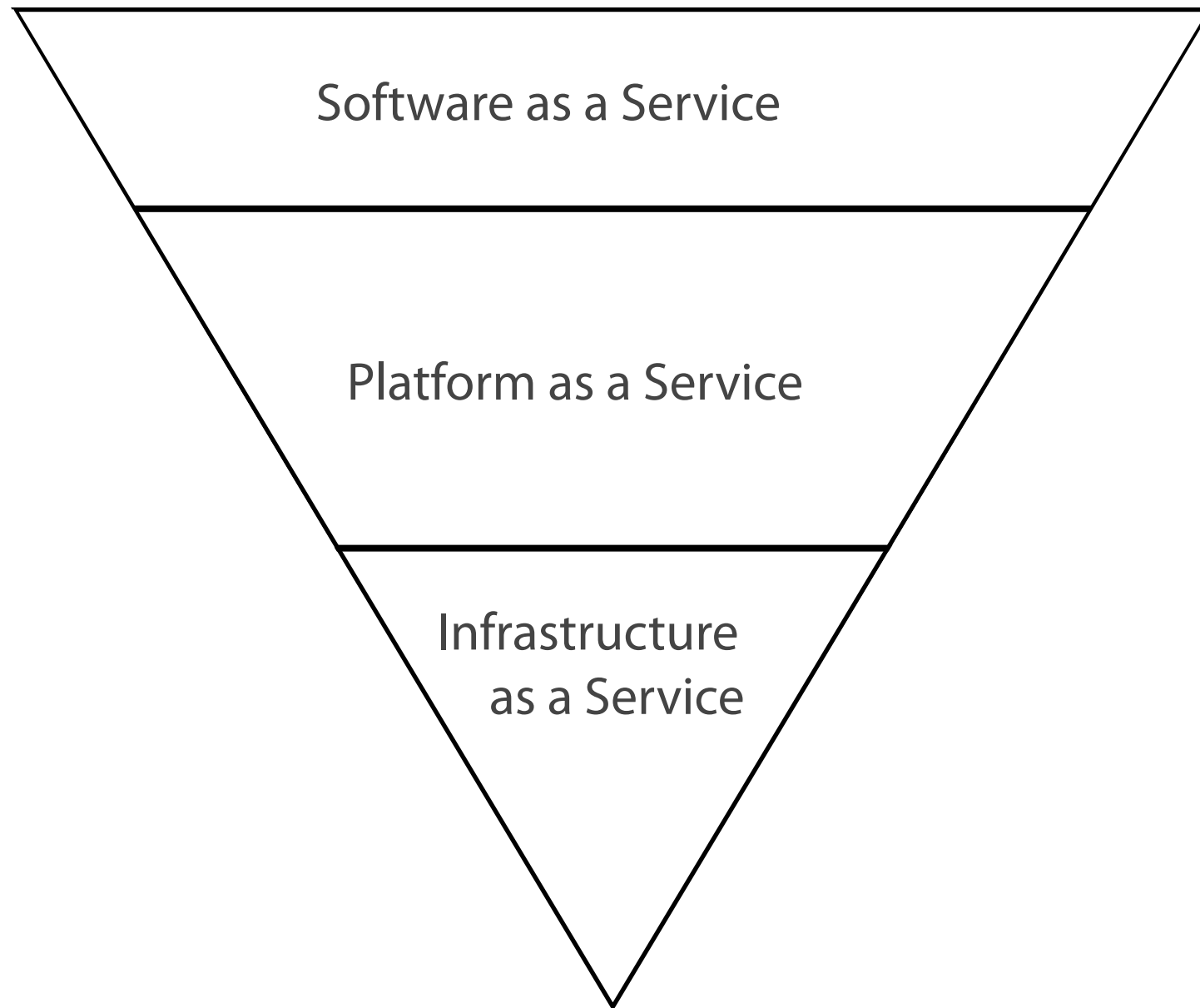
Eine gewissen Tendenz ist zu 3-Schichten-Varianten festzustellen.



# 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

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

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





Einführung

Identifizierung

Sensing

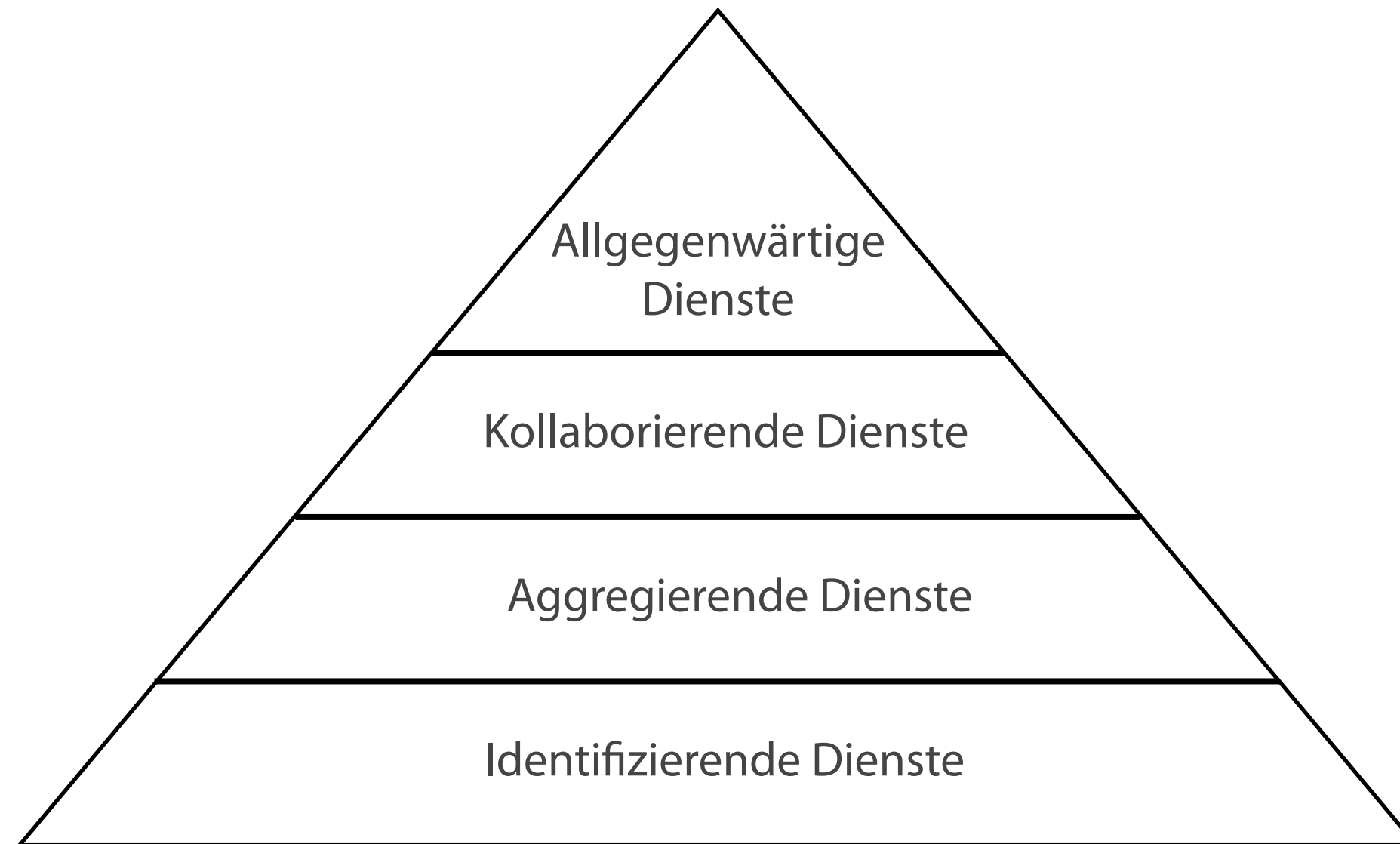
Kommunikation

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

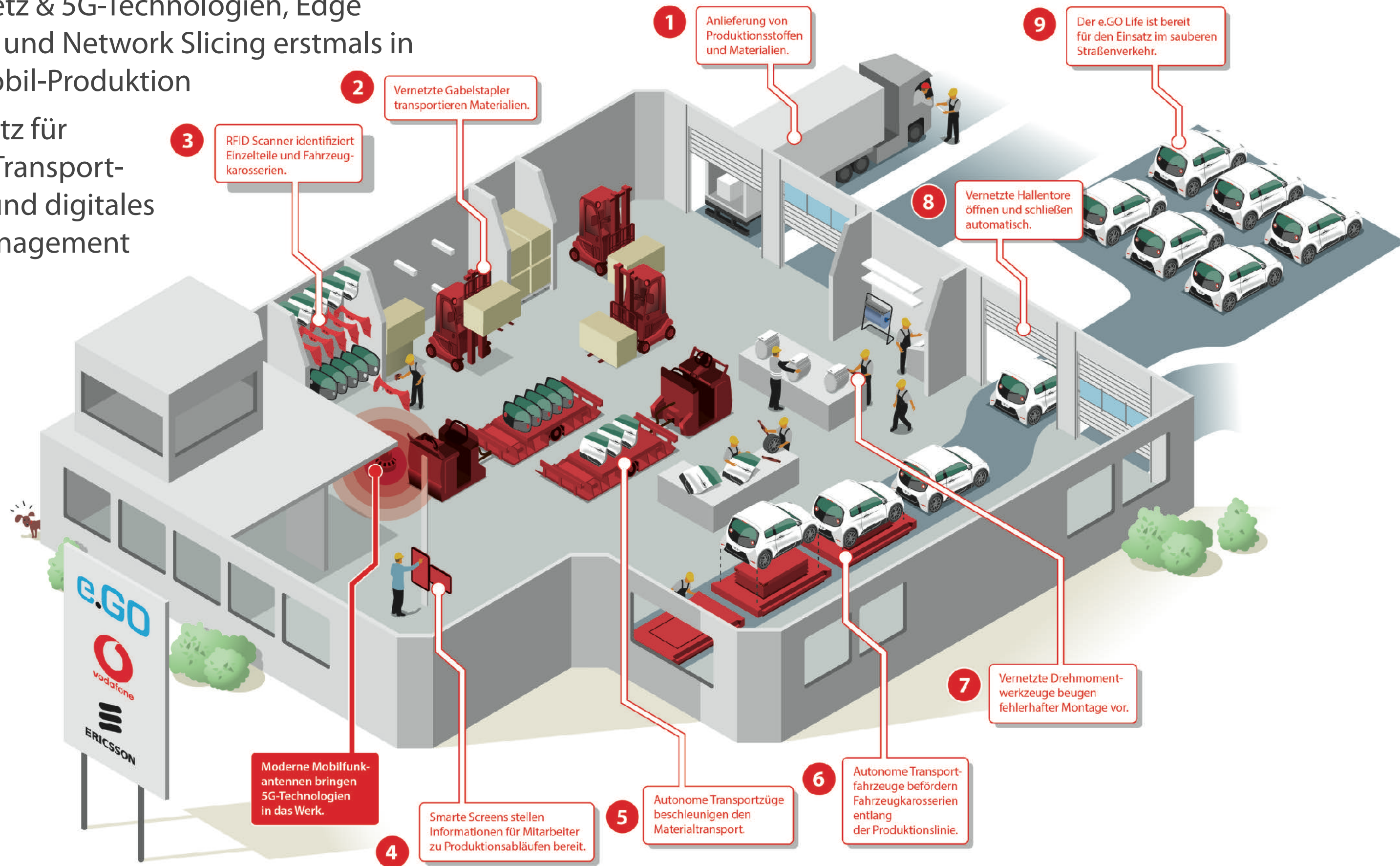
### Allgegenwärtige Dienste

- 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

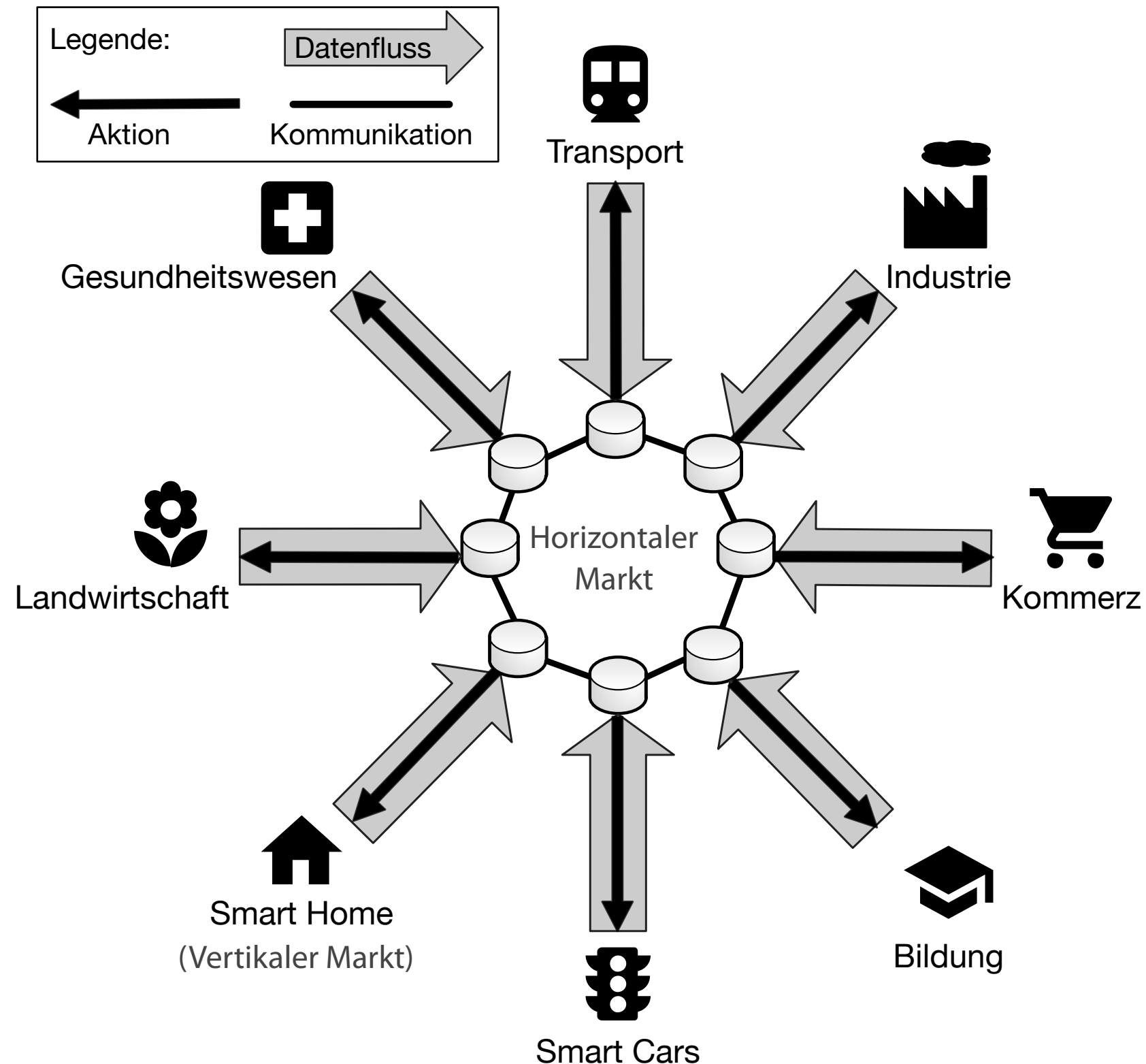
- Autarkes Netz & 5G-Technologien, Edge Computing und Network Slicing erstmals in der Automobil-Produktion
- Campus-Netz für autonome Transportfahrzeuge und digitales Materialmanagement





# 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

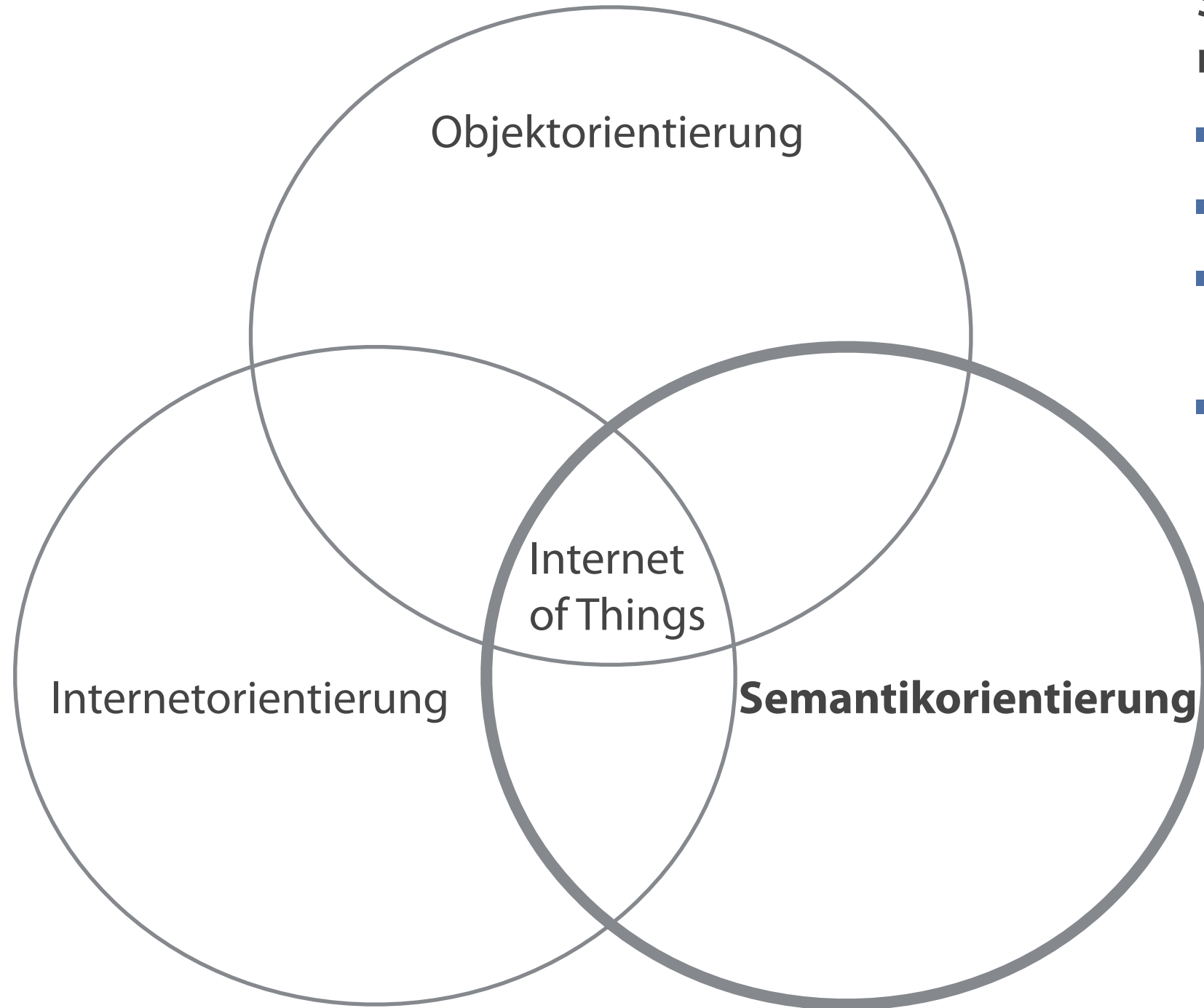
**Semantik**



# 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

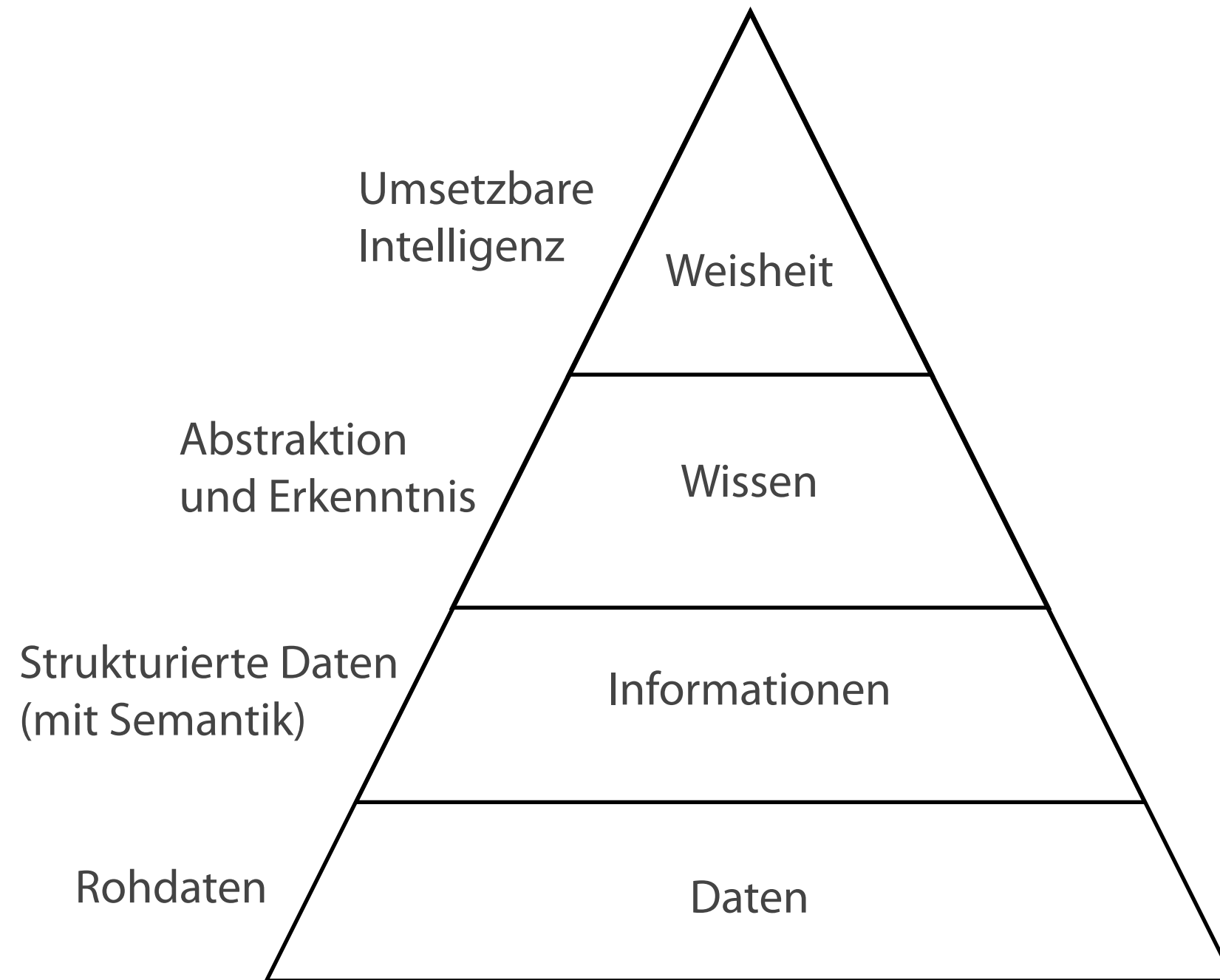
Ziel semantischer Technologien ist es, die Bedeutung von Informationen extrahierbar zu machen.



# Internet of Things

## Wissenshierarchie im Kontext des Internet der Dinge

---



**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](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](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](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](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RFID_Tags.jpg)

Smart\_Fridge. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LG\\_Smart\\_DIOS\\_V9100.jpg](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)