

# Vorlesung Internet of Everything Wintersemester 2017/18

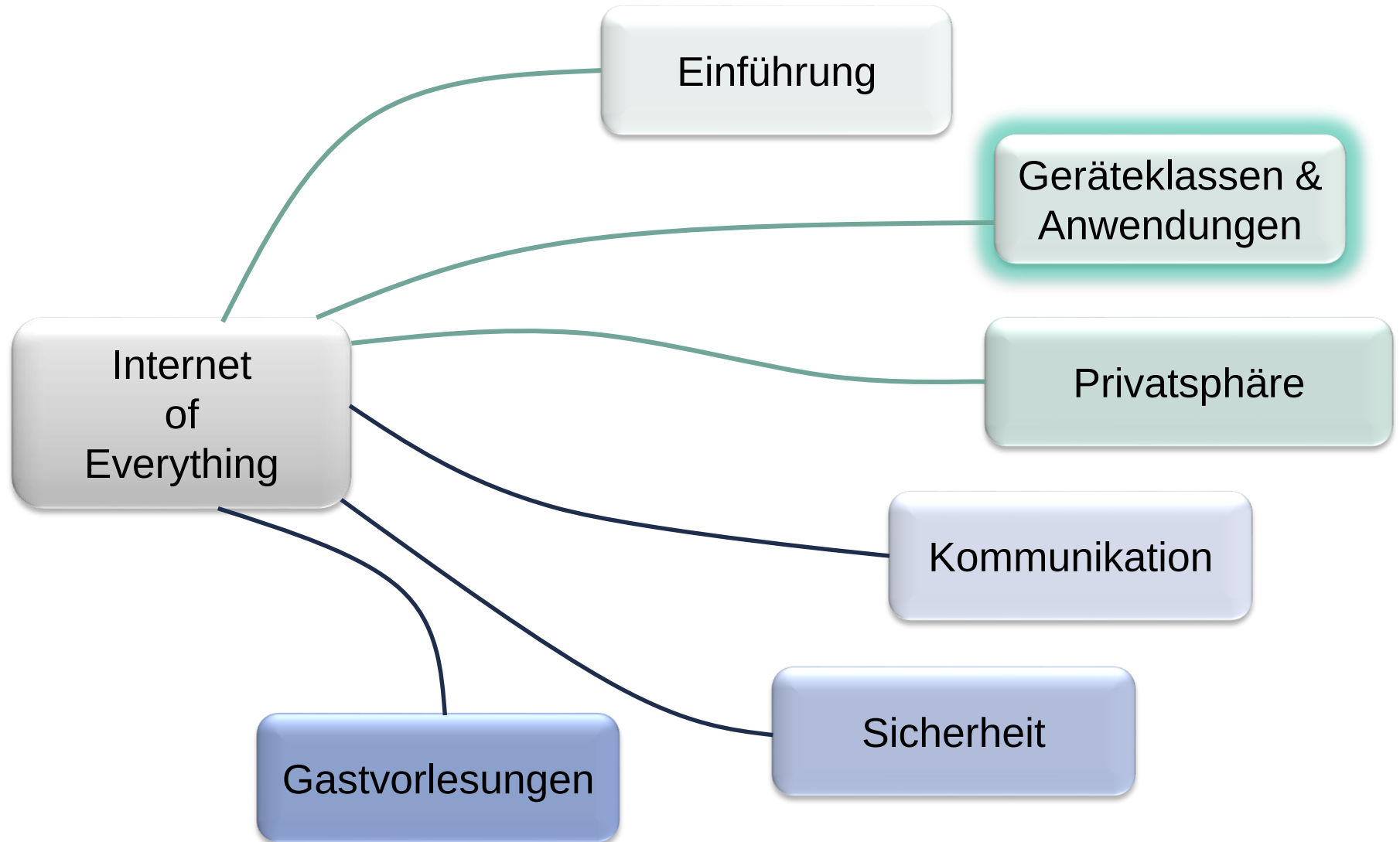
## 2. Geräteklassen und Anwendungsbeispiele

Institut für Telematik, Prof. Zitterbart

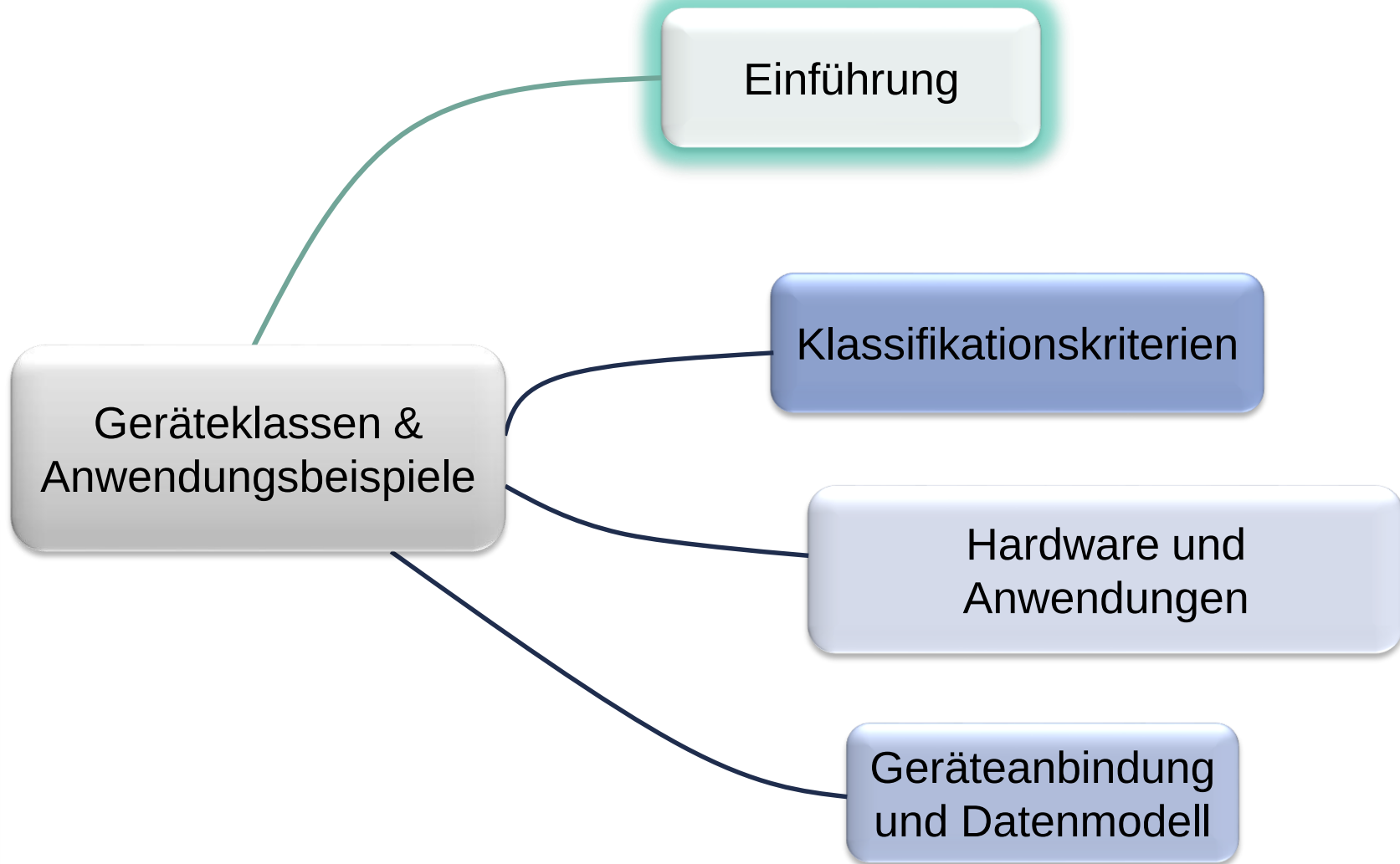


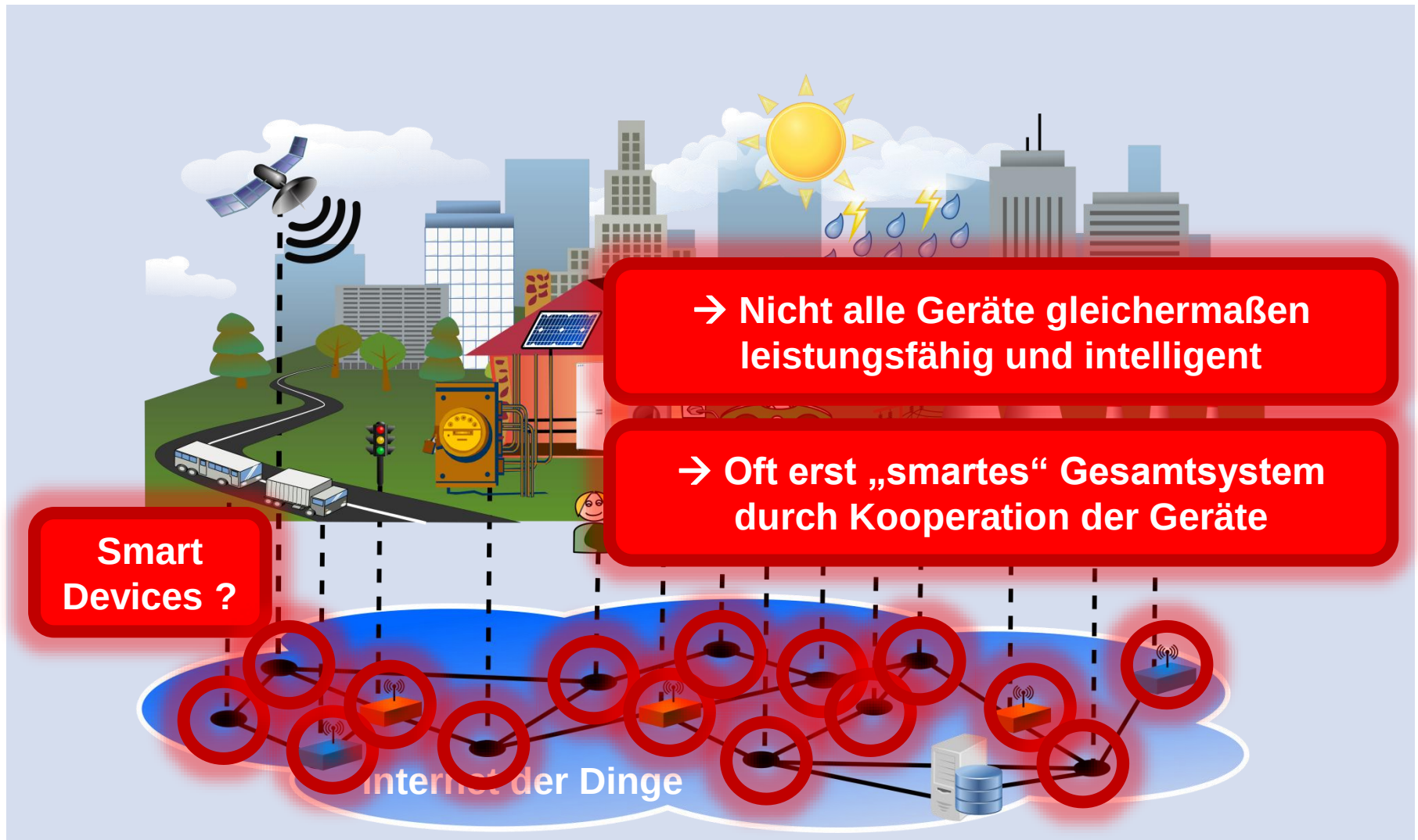
© Peter Baumung

# Inhalte der Vorlesung



# Schwerpunkte des Kapitels im Überblick



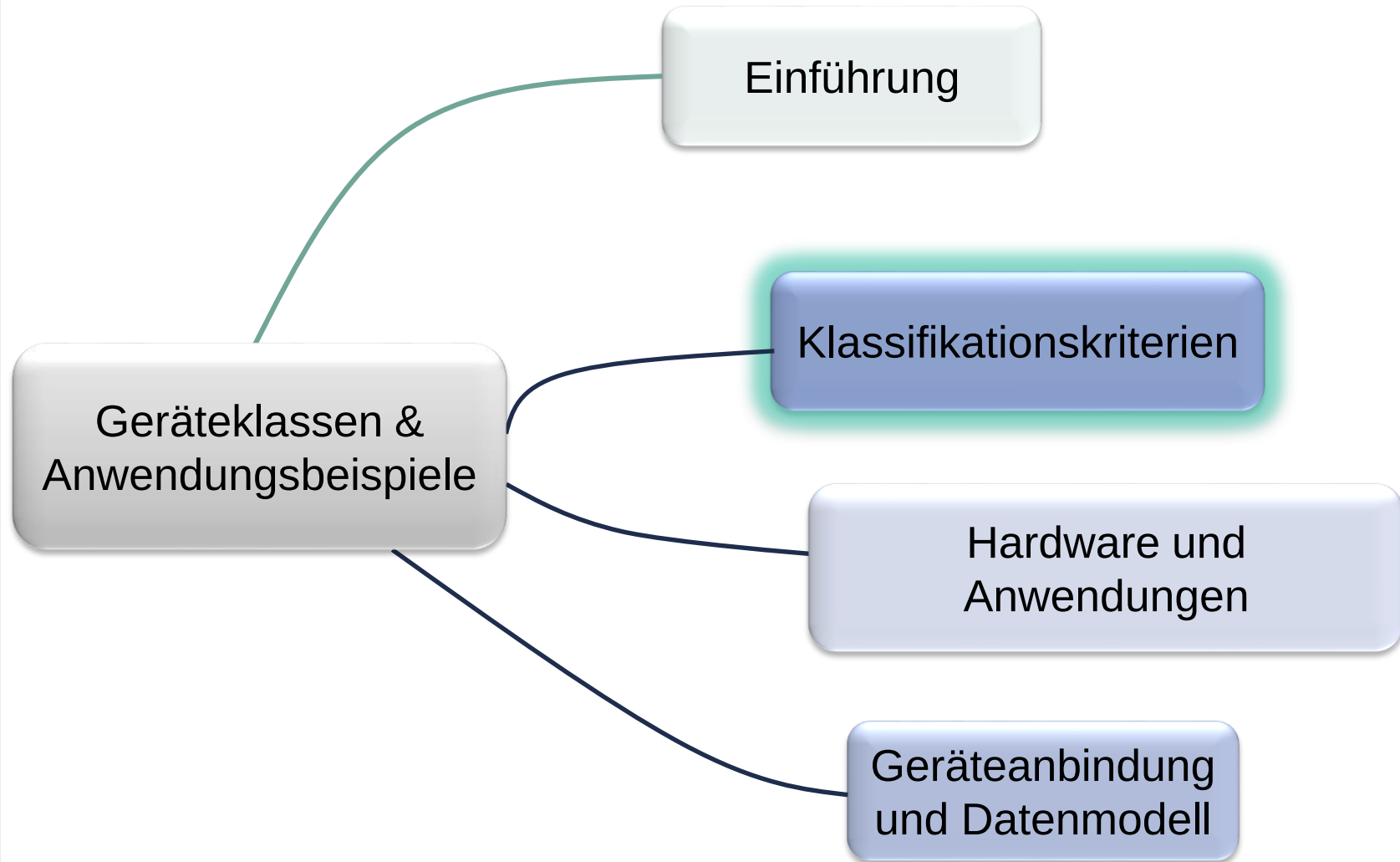


# Einführung – typische Geräteklassen im IoE

- Mark Weisers vorausgesagte Geräteklassen sind grundlegend
  - Aber heute deutlich mehr Klassen und feinere Unterteilungen möglich

| Tabs                                                                                        | Pads                                                                                   | Boards                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Zentimeter</li><li>• An Kleidung getragen</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Dezimeter</li><li>• In Hand getragen</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Meter</li><li>• Feste Interaktive Displays</li></ul> |

- Auswahl der Geräteklassen und Hardwarekomponenten immer von konkreten **Anwendungsanforderungen** abhängig
- **Klassifikation der IoE-Geräte** nach unterschiedlichen Kriterien möglich z.B.
  - Anwendungsbereich
  - Leistungsfähigkeit
  - Energiebedarf und Lebensdauer
  - Deployment-Modell
  - Funktional z.B. anhand von Sensorik / Aktorik
  - Größe und Gewicht
  - Benötigte Stückzahl und Kosten



# Klassifikation nach Leistungsfähigkeit

- Beurteilung der Leistungsfähigkeit z.B. möglich anhand
  - Speicher
  - Rechenleistung
  - Übertragungsrate
  - HW-Architektur
    - Kommunikationsschnittstelle (Durchsatz, Reichweite, Band ...)
    - Schnittstellen zur Anbindung von Sensoren, Peripherie, A/D-Wandler usw.
  - ...
  
- Gegenseitige Abhängigkeiten von anderen Klassifikationsmerkmalen

→ Beispiel: Verfügbare Speichermenge und Architektur

- Busbreite hat Einfluss auf Genauigkeit und Größe der Datentypen
- Beeinflusst Datenvolumen für Kommunikation und Berechnungen
- Speichermanagement (MMU) benötigt zusätzliche Energie

# Klassifikation von Objekten im IoE

- Beschränkte Systeme werden einen wichtigen Teil des Internets bilden
  - Anhaltspunkt für das Protokolldesign: Unterteilung in Geräteklassen
  
- Beispiel für eine mögliche Klassifikation: IETF RFC 7228
  - Kriterium: Leistungsfähigkeit
  - Nur für sehr einfache und kleine Geräte im Internet der Dinge geeignet
  - Fokus liegt hier u.a. auf Adressierbarkeit von Objekten (6LoWPAN / CoAP)

| Klasse | Data size (z.B. RAM) | Code Size (z.B. Flash) | Typische Eigenschaften                                                                                                                    |
|--------|----------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C0     | << 10 Kilobyte       | << 100 Kilobyte        | Sichere Internetkommunikation nur über Proxies/Gateways, Vorkonfiguriert, keine traditionellen Management oder Security-Maßnahmen möglich |
| C1     | ~ 10 Kilobyte        | ~ 100 Kilobyte         | Optimiertes IP und UDP, aber kein HTTP oder TLS                                                                                           |
| C2     | ~ 50 Kilobyte        | ~250 Kilobyte          | Energieoptimierte Netzwerkstacks für traditionelle Internet-Protokolle                                                                    |



[RFC7228]



# Klassifikation nach Energiebeschränkung

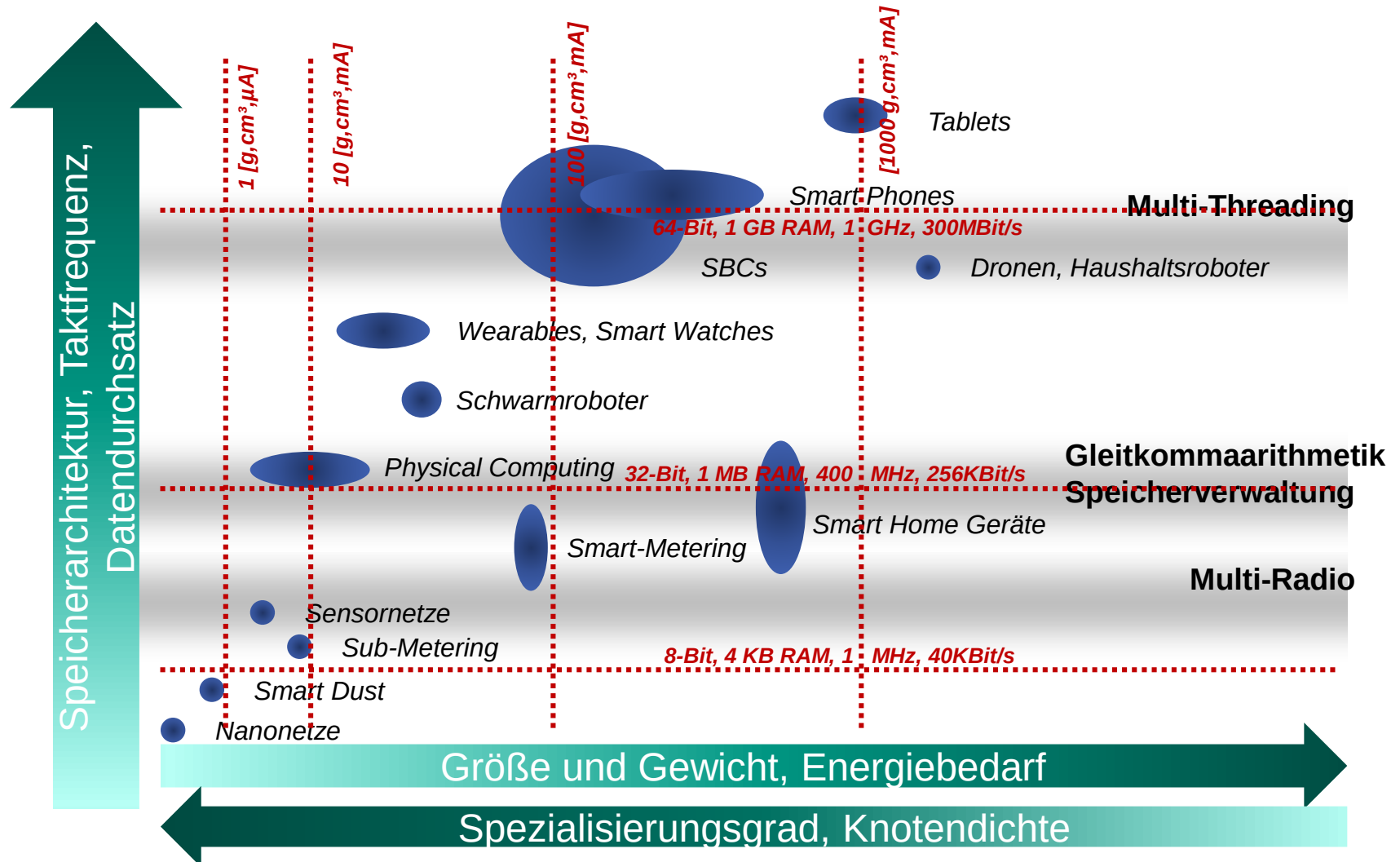
## ■ IETF RFC 7228

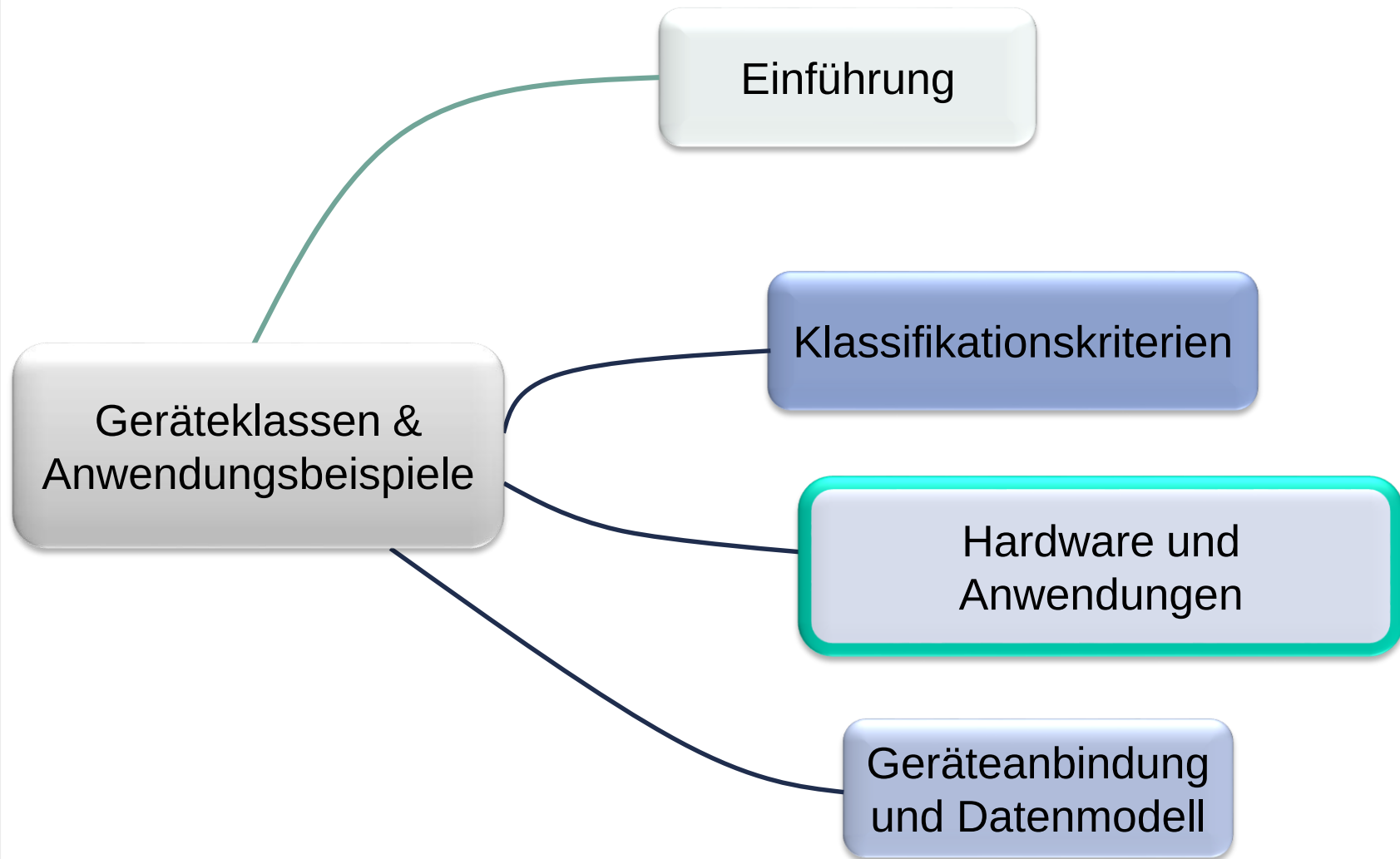
| Klasse | Typ der Energiebeschränkung         | Beispiel                                                |
|--------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| E0     | Beschränkung auf Ereignis           | Event-basiertes Harvesting                              |
| E1     | Beschränkung auf Zeitperiode        | Batterie, die periodisch geladen oder ausgetauscht wird |
| E2     | Lebenszeitbeschränkung              | Nicht austauschbare Batterie                            |
| E9     | Keine Beschränkung der Energiemenge | Kontinuierliche Stromversorgung                         |

## ■ Zwei grundlegende Problematiken bei Energiebeschränkung

- Bereitstellung und **Speicherung von elektrischer Energie**  
→ Batterien, Kondensatoren, etc.
- **Umwandlung alternativer Energieformen** aus Umgebung in nutzbare elektrische Energie → **Energy Harvesting**
  - + „Kostenlose“ Umgebungsenergie
  - Oft nur geringer Wirkungsgrad erreichbar und Harvesting-Systeme unverhältnismäßig groß

# Übersicht Geräteklassen und Leistungsfähigkeit





# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele





<C0



<E0

- Vernetzte Nanomaschinen
- Jede Nanomaschine kann jeweils nur eine Aufgabe erledigen

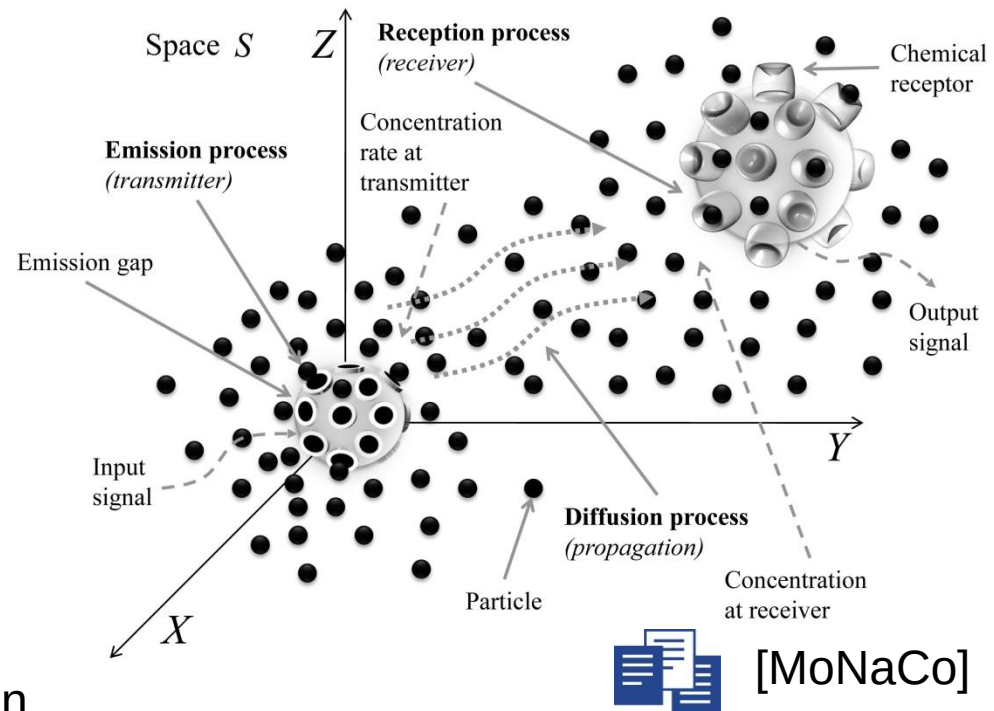
- Berechnungen (Computing)
- Speichern (Storage)
- Messen (Sensing)
- Manipulieren (Actuation)

- Anwendungsbereiche in

- Biomedizin (z.B. Intra-body-communication),
- Militär
- Industrie (u.a. Chemie)

- Molekulare Kommunikation statt mittels elektromagnetischen Wellen

- Walkway: Propagation z.B. mittels E. coli Bakterien
- Flow: Über lange Strecken möglich z.B. Pheromone in Wasser
- Diffusion: Signalisierung zwischen Zellen. z.B. auch in Papier möglich



# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele



# Smart Dust

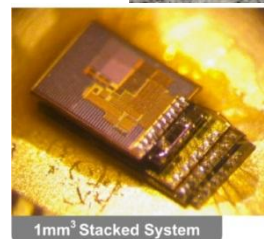
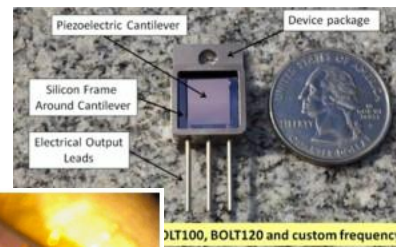


C0



E0-E1

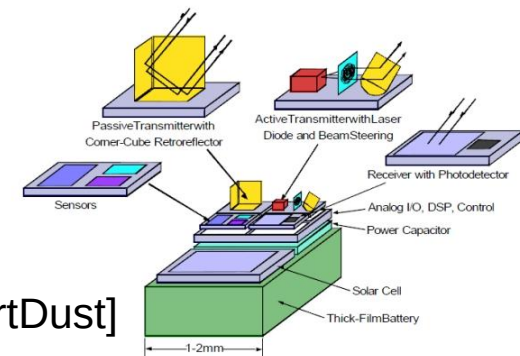
- Entstehungsidee: ~1992 (Kris Pister, UC Berkeley)
  - Bisher **reines Forschungsthema**
- Sehr **viele kleine** (dumme) **Knoten**, unaufdringlich in die Umwelt integriert
  - Kooperatives zusammenwirken, Selbstorganisiert
- Sehr beschränkte Hardware (Größenordnung Nano- ... Millimeter)
  - Hoch spezialisierte Systeme, anwendungsspezifische Sensorik
  - Energy Harvesting (Miniaturisierungsgrad oft noch problematisch)
- Viele Probleme und offene Fragen
  - Skalierbarkeit (Tausende Knoten)
  - Netzdichte (Topologiekontrolle)
  - Energieversorgung (Batteriegröße)
  - Entsorgung



[MicroMote]

*Michigan Micro Mote (M<sup>3</sup>)*

## Smart Dust Mote



[SmartDust]

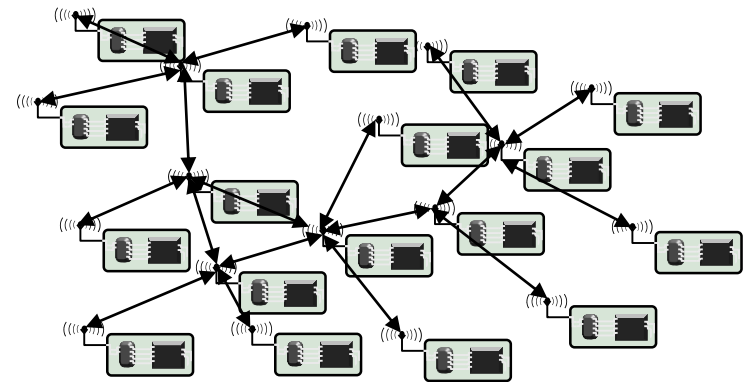
# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele





# Aufbau eines drahtlosen Sensor-Aktor-Netzes

- Ein drahtloses Sensor-Aktor-Netz (engl. Wireless Sensor-Actuator-Network, WSAN)
  - Besteht aus einer Menge von Sensoren und Aktoren
  - Drahtlos miteinander verbunden
    - Kommunikation störanfällig
- Sensor = „Kleinst-PC“ (CPU, Speicher, Funkschnittstelle, Energieversorgung, Sensorik) bestimmt physikalische Eigenschaften seiner Umgebung
- Aktor = steuert ein System an, das elektrische Signale in physikalische Größen umsetzt (Temperatur, Druck, Drehmoment, ...)
- Sensorknoten / Knoten = Sensor oder Aktor eines Sensor-Aktor-Netzes



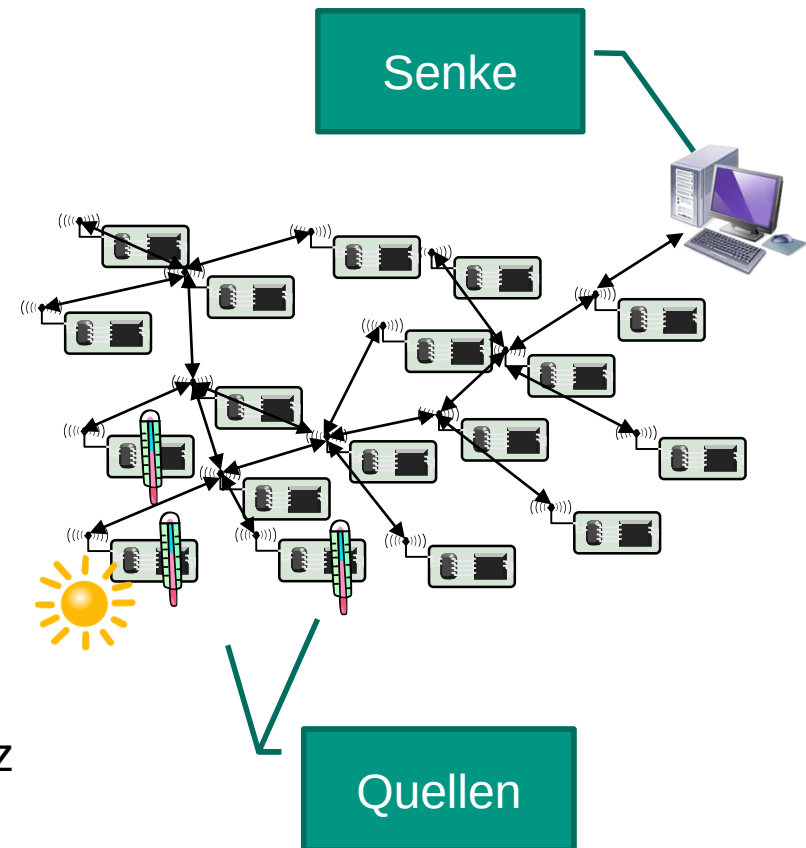
# Aufbau eines Sensornetzes

## ■ Ein oder mehrere Datenquellen

- Messen Daten
- Senden an andere Knoten
- Ausgestattet mit Sensorik
  - Temperatur
  - Luftdruck
  - Infrarot
  - Beschleunigung
  - ...

## ■ Datensenzen (Basisstationen)

- Empfangen Daten aus dem Sensornetz
- Entweder ebenfalls Sensorknoten...
- ...oder externe Geräte  
(PDA, Gateway zum Internet, PC mit UI zur Steuerung)



# Annahmen

- Energieversorgung durch **Batterien**
  - Flexibler, da keine Kabel notwendig (→ mobile Szenarien)
- Keine unterstützende **Infrastruktur**
  - Infrastruktur nicht überall verfügbar bzw. keine Zeit für den Aufbau
    - Z.B. Katastrophengebiete, militärische Einsätze
  - Aufbau der Infrastruktur zu teuer bzw. zu umständlich
    - Z.B. bei Bauarbeiten, wenn großes Gebiet zu überwachen
- Geringe Bauform und Kosten
  - WSN soll sich **unauffällig** in die Umgebung einfügen
  - Hohe **Stückzahl** erfordert geringe Kosten
  - Beschränkt verfügbare **Ressourcen**
  - Geringe **Sendereichweite** (→ Multihop-Kommunikation)

# Unterschiede und Besonderheiten

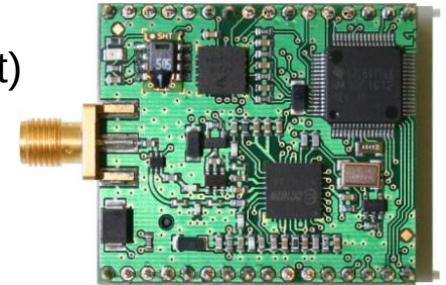
- Dezentral
  - Keine zentrale Infrastruktur, oder nicht ständig erreichbar
- Selbstorganisierend
  - Eingeschränkte Nutzerinteraktion oder Wartungsmöglichkeit
  - Systeme nach Ausbringung oft schwer zugänglich
- Limitierte Ressourcen
  - Rechenleistung, Energie-, Speicher- und Kommunikationskapazität
- Unzuverlässiger Kommunikationskanal
  - Drahtloses Medium stärker fehlerbehaftet als drahtgebundenes
- Unsicher
  - Sensorknoten können beschädigt/entfernt/hinzugefügt werden
  - Abhören drahtloser Kommunikation
  - Klassische kryptographische Verfahren zu rechenintensiv für WSNs

# Klassische Sensornetze



## ■ Typische Systemeigenschaften

- **Sehr kleine Systeme** (wenige cm<sup>3</sup> und wenige Gramm Gewicht)
- Auf Einzelanwendungen **maßgeschneiderte Systeme**
- **Selbstorganisation**
- **Geringe Leistungsaufnahme** und Hardwareressourcen
- 8-Bit Systeme mit RAM im niedrigen Kilobyte-Bereich
- **Batteriebetrieb**, Energy Harvesting (Laufzeit mehrere Jahre)
- Unterstützung von mehreren Funkschnittstellen (Multi-Radio) nur bei sehr leistungsfähigen Knoten dieser Geräteklasse



*ScatterWeb MSB*

## ■ Sensorik

- Auf Anwendungszweck angepasste, austauschbare Module
- Messung von physikalischen und chemischen Eigenschaften z.B.: Druck, Temperatur, Feuchtigkeit, Helligkeit, Gase, Wind, Vibration, Ultraschall



*Wasp mote*

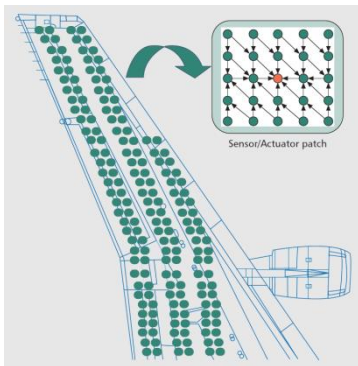
## ■ Typische Kommunikationsschnittstellen

- Funk (2,4 GHz / 868 MHz-Band) z.B.: IEEE802.15.4, Bluetooth Low Energy, ZigBee
- I<sup>2</sup>C, SPI, UART/RS232

# Anwendungsbeispiel Sensornetze

- Überwachung größerer Flächen z.B. Grenzüberwachung, Landwirtschaft, Great Duck Island, ZebraNet

- Mehrere Funkschnittstellen nötig (Kurze Entfernungen im Sensornetz, weite Entfernung zu Basisstation)
- Größe der Knoten darf Beobachtung nicht beeinträchtigen
- Energieversorgung muss über lange Beobachtungsdauer gewährleistet werden



- Intelligente und verteilte Regelung z.B. Active Aircraft, Industrieanlagen

- Drahtlose Verbindungen kostengünstiger und flexibel
- Einbettung von Sensornetzen in bestehende Systeme
- Regelung / Datenerfassung durch verteilte Sensoren wesentlich feingranularer möglich als bisher

- Katastrophen- und Rettungseinsätze

- Z.B.: Waldbrand → Koordination von Feuerwehrleuten



# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele



- Flexible Systeme aus eingebetteter und miniaturisierter Standardhardware
  - Kostengünstig, **hohe Energieeffizienz**
  - Auch „Große Sensorknoten“ oder „Zwergencomputer“
- Einsatzbereich
  - Steuerungselektronik  
(z.B. Gewächshäuser, Tiergehege, Roboter)
  - Home Automation
  - Bastlerprojekte
  - Smart Metering und stationäre Sensoren  
(z.B. Wetterstationen, Gebäudeüberwachung)
- Sensorik und Aktorik
  - Temperatur-, Licht- und Abstandssensor, Kamera
  - Elektrische Motor-/Servoansteuerung, Leuchtdioden, Displays
- Systemeigenschaften
  - Wahlweise Batteriebetrieb oder ständiger Stromanschluss
  - Modularer Aufbau mit steckbaren Zusatzboards



**SunSPOT**



[sunspot]



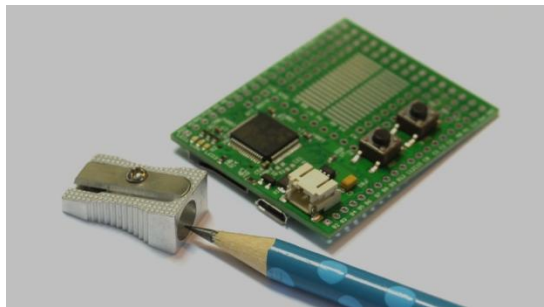
# Physical & Embedded Computing (2)

## ■ Hardwareeigenschaften

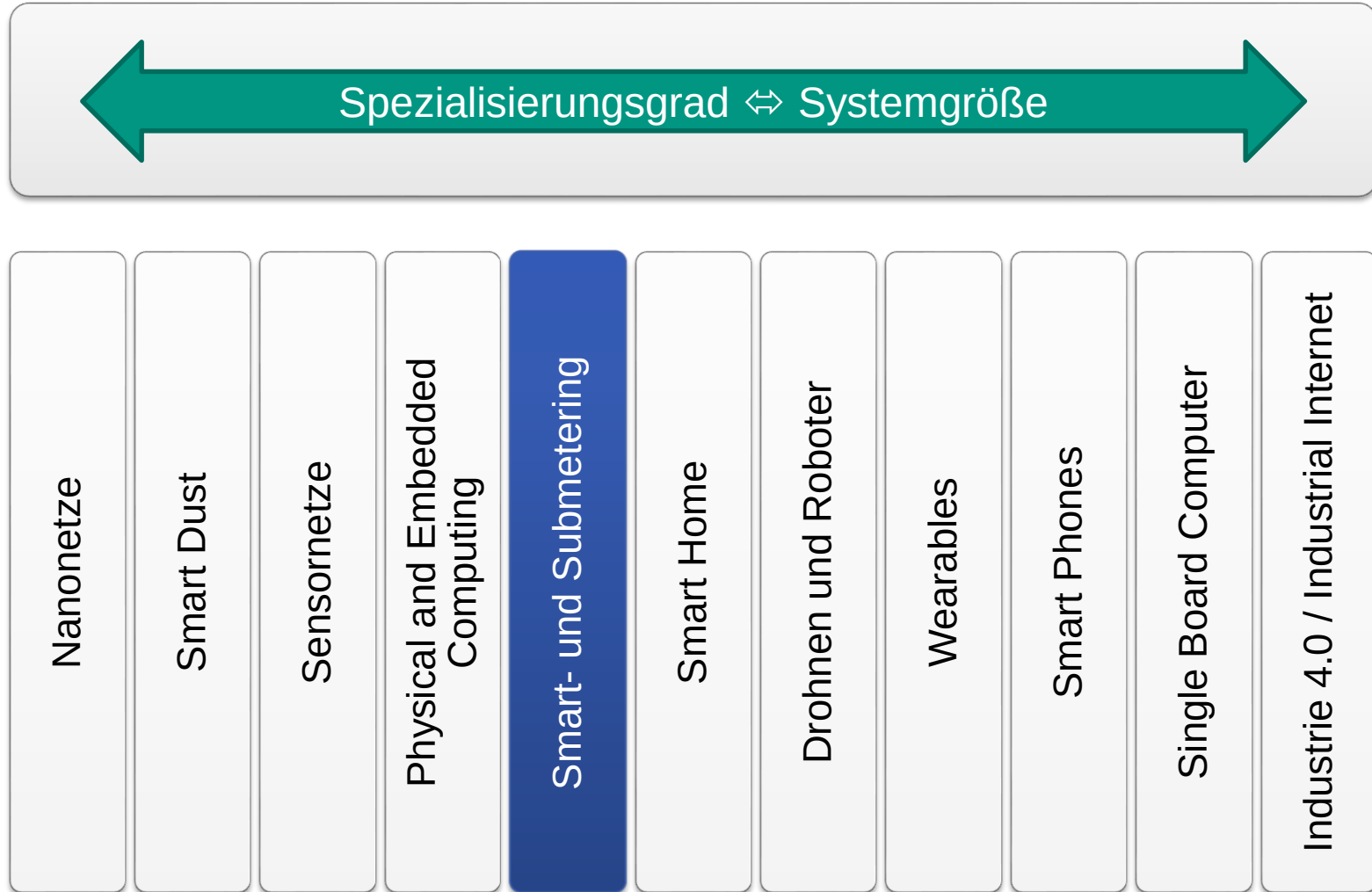
- Taktfrequenzen im MHz-Bereich
- RAM im Megabyte-Bereich
- 16- bis 32-Bit-Systeme
- Oft als SoC realisiert
- Ggf. Unterstützung von Gleitkommaarithmetik und Speicherverwaltung

## ■ Typische Kommunikationsschnittstellen

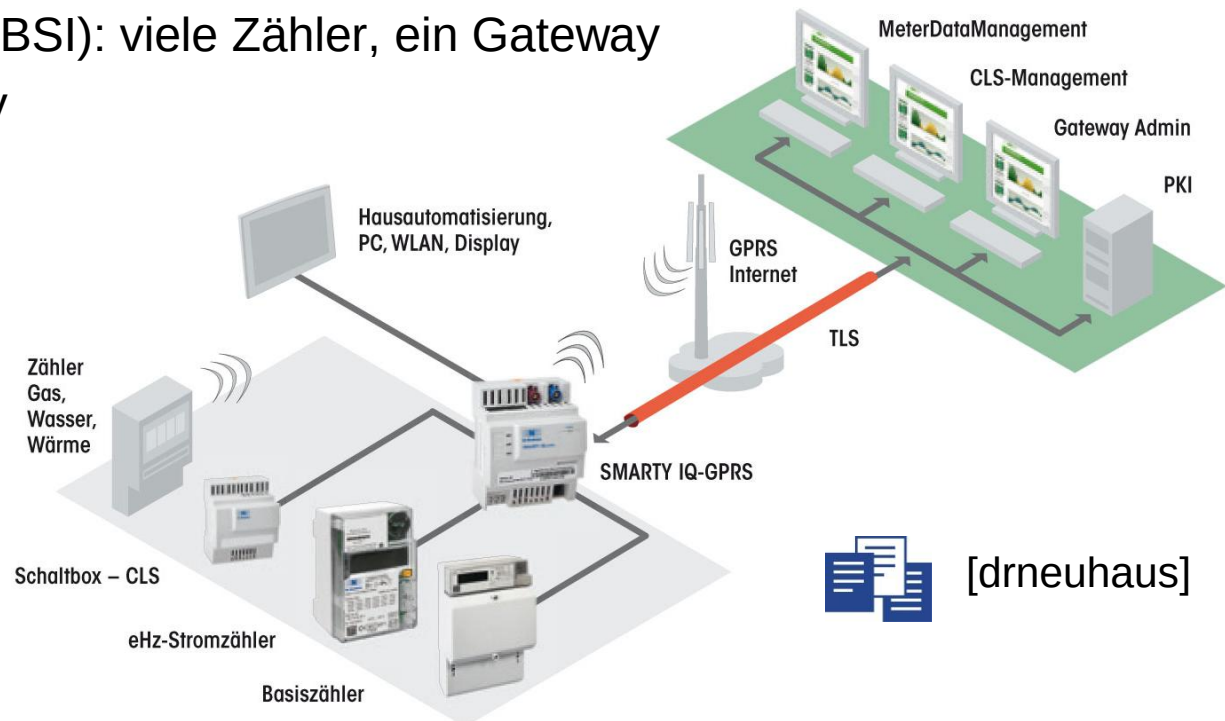
- I<sup>2</sup>C, SPI, USB
- WLAN, ZigBee



# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele



- Zeitnahe Erfassung (und Steuerung) von Energieverbräuchen (~15min)
  - Wichtiger Bestandteil der „Smart Grid“ Vision
    - Bessere Information der Kunden
    - Effizientere Nutzung von Ressourcen
- Ansammlung von Geräten und Kommunikationsstandards
  - Deutsches Modell (BSI): viele Zähler, ein Gateway
  - Zähler ↔ Gateway
    - RS485
    - Wireless M-Bus
  - Gateway ↔ HAN
    - WLAN
    - Ethernet
  - Gateway ↔ WAN
    - GPRS
    - DSL



# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele



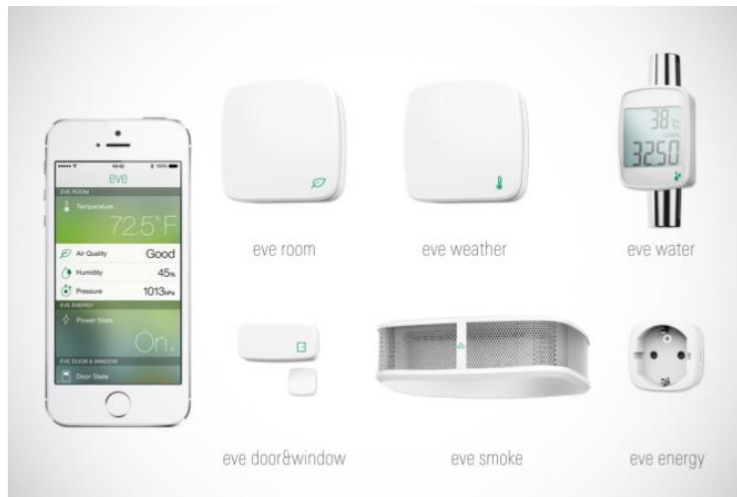


- Hausautomation und -monitoring durch (drahtlose) Sensornetze
  - Funk ermöglicht mehr Flexibilität, einfache Nachrüstbarkeit
  - Beispiele: Licht-, Rollanden-, Temperaturmanagement
- Steuerung vor Ort oder über das Internet
  - Mit Smart Phones, Tablets, Bedienpanels o.ä.
  - (Herstellerspezifische) Gateways
- Herausforderungen
  - Einfache Konfiguration vs. Sicherheit
  - Benutzerverwaltung und -authentifizierung, Zugriffsschutz
  - Robustheit (Störungen!) und Energieeffizienz
  - Zeitkritische Aufgaben
  - Skalierbarkeit



# Smart Home und Privacy

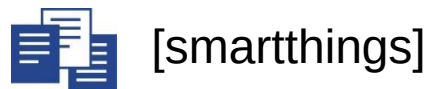
- Tiefe Verflechtung mit dem Lebensumfeld
  - Verkauft als **Lifestyle-Produkte**
  - Hersteller sind mit dabei im Ess-, Wohn- und Schlafzimmer!
    - **Kernbereich privater Lebensgestaltung**
  - Fehlende **kritische Auseinandersetzung?**



*Elegato Eve + Apple HomeKit*



*Samsung SmartThings*



# Smart Home und Safety

- **Abhängigkeit** von externer Infrastruktur: Smart Home as a Service?
- Beispiel: Qivicon – Smart-Home-Plattform der Telekom
  - Teilweise angewiesen auf Cloud-Server
  - **20-stündiger Ausfall** am 29.09.2015
  - Lokale und entfernte **Funktionalität nicht verfügbar**  
(Heizungssteuerung, Alarmanlagen, Fernzugriff via Smartphone)

**QIVICON**   
Leben im Smart Home

Eine Plattform, viele Marken,  
noch mehr Möglichkeiten.

Steuern, kombinieren und automatisieren Sie viele  
Geräte und Funktionen vieler Marken auf einer  
Smart Home-Plattform. Ganz einfach, sicher und  
zuverlässig über Apps.

[Mehr erfahren >](#)



**QIVICON** 



Es ist ein Problem aufgetreten (500)

Die gewünschte Seite ist zurzeit nicht erreichbar.

Laden Sie die Seite zunächst bitte neu. Erhalten Sie wiederholt diese Meldung, versuchen Sie es zu  
einem späteren Zeitpunkt wieder, da evtl. Wartungsarbeiten durchgeführt werden.

Im Falle einer Meldung an den QIVICON Support stets angeben:  
**Fehlercode 560d56b01fdfe:0**



# Smart Home und Safety

- Probleme mit der Zuverlässigkeit sind kein Einzelfall
- Google Nest
  - Software-Update spielt fehlerhafte Firmware ein
  - Jahreswechsel 2015/2016:  
Thermostate, Rauchmelder und Sicherheitskameras offline
  - Mitten im Winter bleibt die Heizung kalt!
- TCP Connected
  - Support Ende Juli 2016 eingestellt
  - Produkt ist immer noch im Verkauf!
  - Steuerung lokal über WLAN noch möglich, nicht mehr entfernt (App + Cloud-Dienst)
  - Alternative Infrastruktur von Nimbus9
    - Basisstation 150\$ + 5\$/Monat

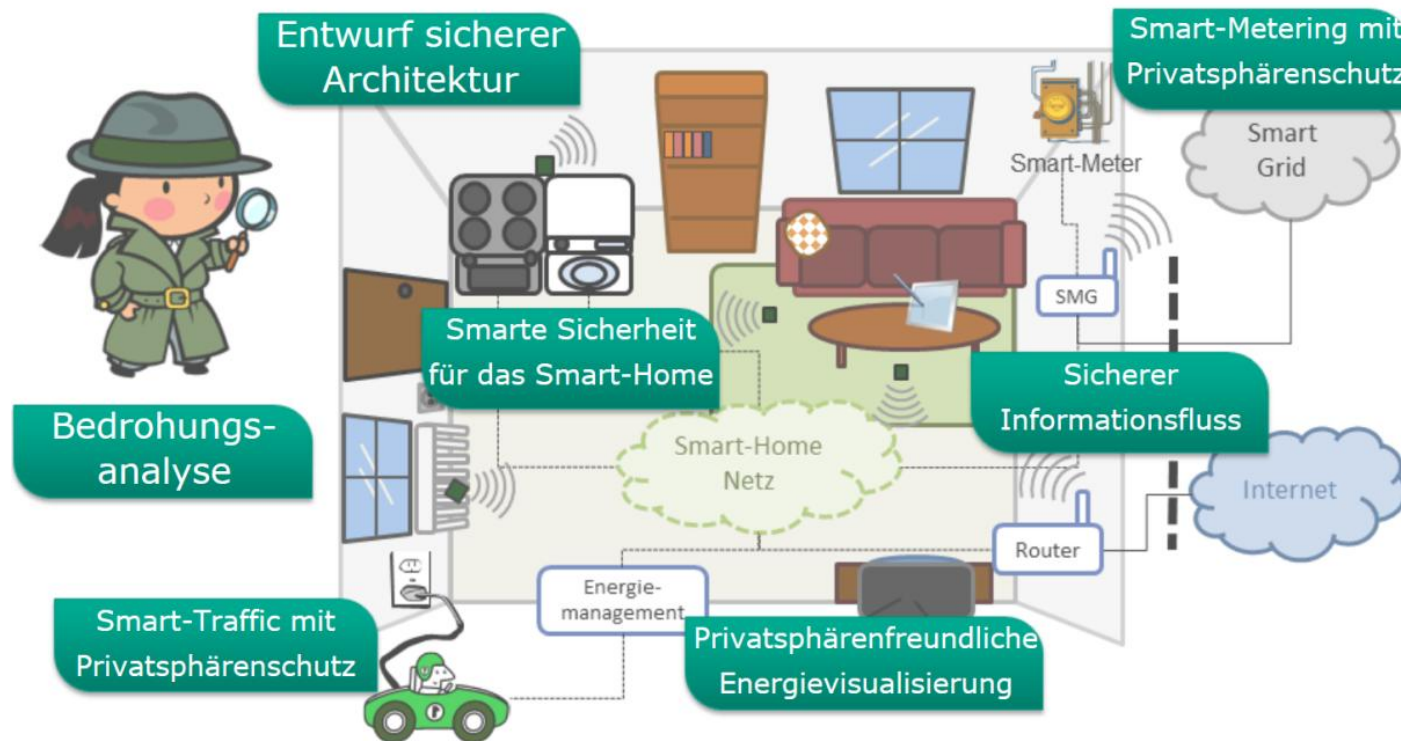




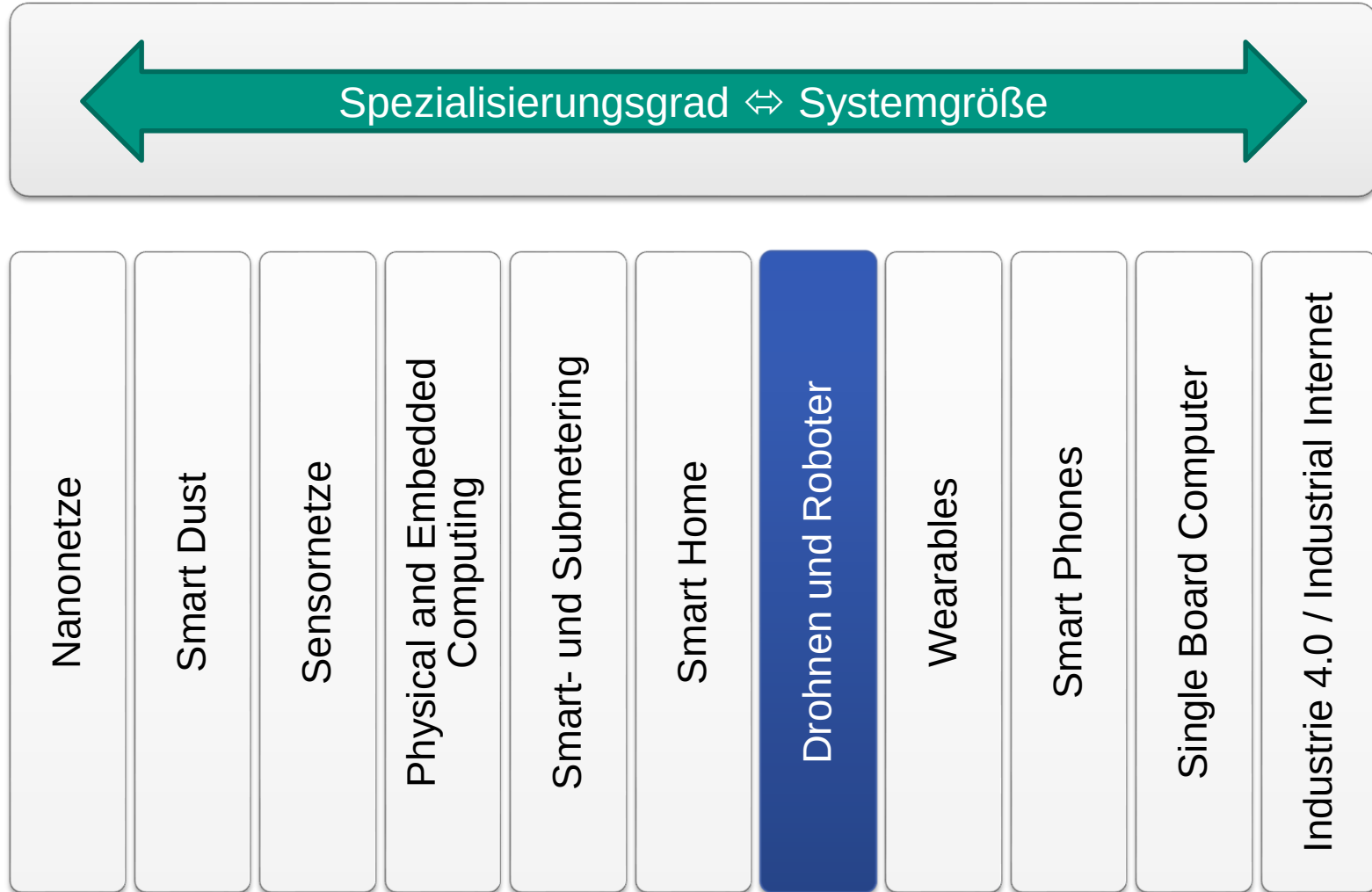
# Projektbeispiele

## ■ KASTEL (KIT)

- Smart Home Szenario
- Wie sieht eine Architektur aus, die Sicherheit und Privatsphärenschutz gewährleisten kann?



# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele



# Roboter und mobile Plattformen



- Mobile Plattform mit Sensoren und Aktoren zur Messung vor Ort
- Einsatzbereich
  - Kritische, lebensfeindliche oder unzugängliche Umweltbedingungen
    - Z.B. Radioaktivität, Kanalinspektionen
  - Unterstützung und Hilfestellungen im menschlichen Umfeld
- Typische Sensorik und Aktorik
  - Abstandssensoren, Beschleunigungssensoren, GPS
  - Antriebsmittel (Motoren), LEDs
- Systemeigenschaften
  - Mobilität: Können in Roboterschwärmen eingesetzt werden oder als mobile Erweiterung statischer Sensorknoten
  - Batteriebetrieb oder Energy Harvesting (z.B. Solarzellen)
- Übliche Kommunikationsschnittstellen
  - Infrarot, ZigBee, WLAN

# Beispiele: Haushaltsroboter

## ■ Haushaltsroboter für Smart Homes

### ■ Staubsaugen: Roomba

#### Roomba iRobot

- Freescale (ex-Motorola) MC9S12E Microcontroller
- RS232
- Infrarot
- Lautsprecher
- Wanderkennung, Bodenkantenerkennung, Schmutzerkennung
- Messung von Winkeln, Entfernung, Temperatur und Ladezustand



#### Parrot AR Drone

- ARM-Cortex-A8-Prozessor 1 GHz / 32-Bit
- 1GB RAM
- USB
- WLAN
- Gyroskop
- Beschleunigungssensoren
- Magnetometer
- Drucksensor
- Ultraschallsensor
- 2 Kameras
- Zusätzliche MIPS-AVR Mikrocontroller zur Steuerung der 4 Motoren



# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele





## ■ Typische Merkmale der Gerätekategorie

- Datenverarbeitung in der Kleidung und in Körpernähe
- Unterstützung in Alltagssituationen
- Unauffällige Integration/Einbettung in nicht-technische Gegenstände
- Erfassung des Umgebungskontext
- Neuartige Benutzerschnittstellen z.B. Gestenerkennung



**Steve Mann (MIT):  
Pionier in Erforschung  
von Wearable  
Computing**

# Life-Logging

## ■ Typische Merkmale der Gerätekategorie

- **Aufzeichnen** von persönlichem Verhalten, Aktivitätsdaten und Vitalwerten
  - Problematik → **Wo werden Daten gespeichert, wer hat Zugriff?**
- **Datenfusion** aus unterschiedlichen Sensorquellen und Positionsdaten
- Auswertung und Anzeige der gesammelten Daten auf den Geräten nicht oder nur rudimentär möglich
  - Smartphone- und **Cloud-Anbindung**, Apps mit Zusatzfunktionen
  - **Löschen** von unerwünschten Erfahrungen und Daten oft nur händisch oder **nicht vorgesehen**



*Fuelband*  
[Nike]




*Up*  
[Jawbone]

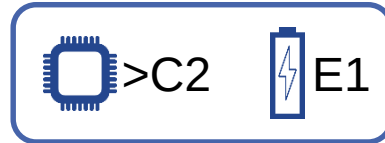




# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele







## ■ Heutige Schnittstelle Mensch $\leftrightarrow$ IoE

- Steuerung von Remote-Geräten (Unterhaltungselektronik, Licht, Schlösser etc.)
- Crowdsourcing und Participatory Sensing

## ■ Leistungsfähige Hardware

- 32/64-Bit Multicores und/oder Unterstützung paralleler Threads
- Komplexe Betriebssysteme und Programmierumgebungen (z.B. Android: Linux, Entwicklung auf Java-Basis), RAM im Gigabyte-Bereich

## ■ Setzen Existenz von leistungsfähiger Kommunikationsinfrastruktur voraus

kommerziell betrieben!

## ■ Typische Kommunikationsschnittstellen

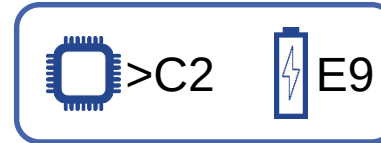
- WLAN, Bluetooth, NFC
- GSM, GPRS, UMTS, LTE
- USB



# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele

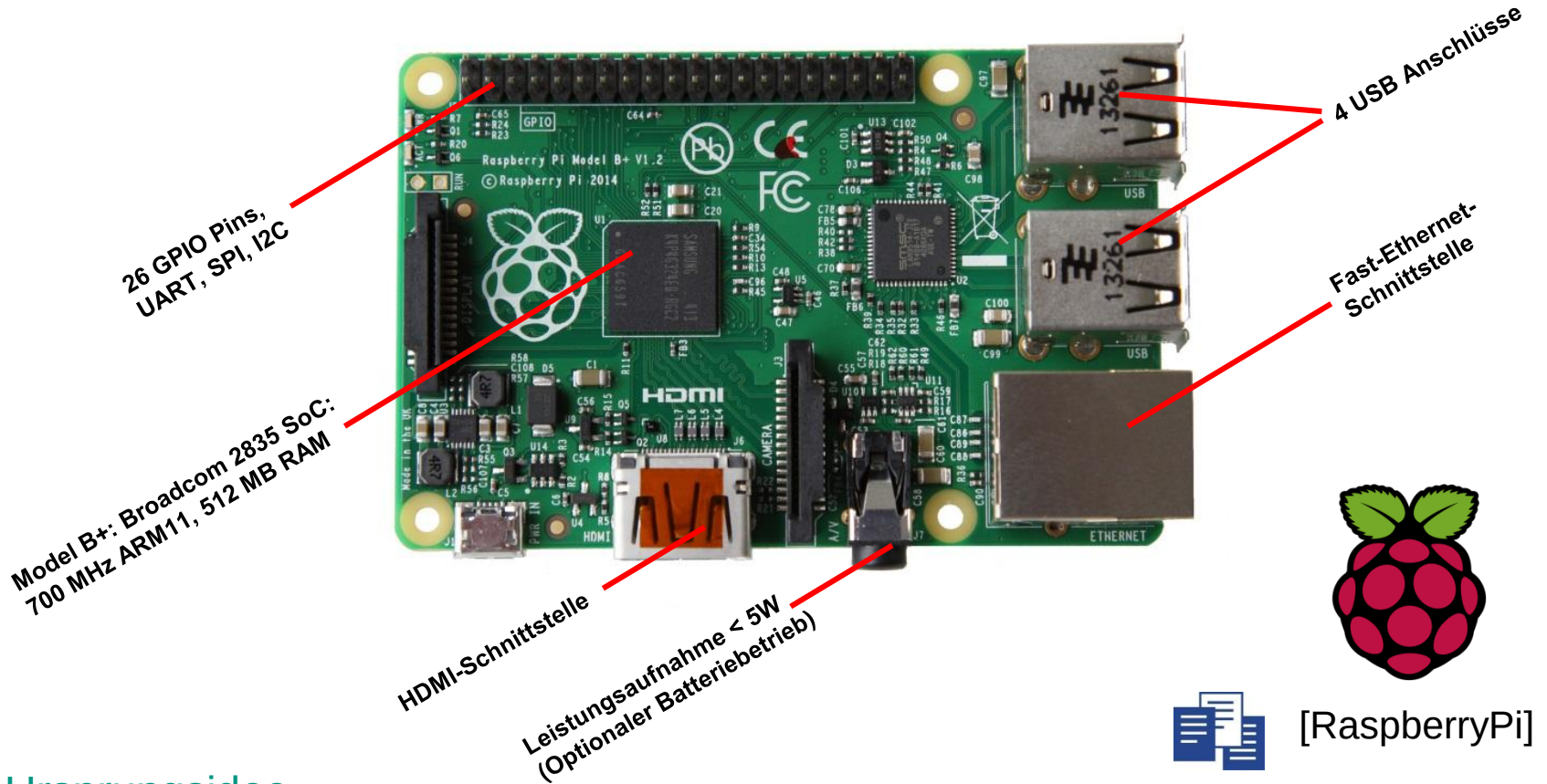


# Single-Board Computer (SBC)



- Typische **Anwendungsbereiche**
  - Entwicklungs- und Prototyping-Umgebungen
  - Waschmaschinen und Haushaltsgroßgeräte
  - Fernbedienungen, Heizungssteuerung
- Anpassbare bzw. **vielfältige Betriebssysteme**
  - Z.B. PC-OS (Linux, Windows), Android, bis zu Echtzeitbetriebssystemen für eingebettete HW
- **Kostengünstige** Herstellungsweise
  - Gesamte Hardware auf einer Leiterplatte (SoC, ASICs)
  - Einfache/Überschaubare Hardware und Treiber
    - Festplatten, SD-Karten, USB-Sticks nur optional anschließbar
  - Sensorik von kleineren Geräten teilweise direkt nutzbar
    - Konfigurierbare und Hardwarenahe Interfaces (IO Pins, SPI, ... )
  - Typische Komponenten
    - Watchdog-Timer, A/D-Wandler, Ethernet-Schnittstellen

# SBCs: Raspberry Pi (2012)



## ■ Ursprungsidee

- Einfache Rechnerarchitektur, Preisgünstig (~35€)
- Vermittlung von Programmier- und Hardwarekenntnissen für Studienanfänger und Jugendliche
- 3 Millionen Exemplare (Juni 2014)

# Geräteklassen & Anwendungsbeispiele





## ■ Breites Spektrum an unterschiedlicher Hardware → Heterogenität

### ■ Drahtlose Sensorik

#### ■ Energieversorgung: Batterien und/oder Energy Harvesting

### ■ Leistungsfähige Steuer- und Regelsysteme

## ■ Anforderungen

### ■ Zuverlässigkeit

### ■ Robustheit

### ■ Langlebigkeit

## ■ Kommunikationsschnittstellen

### ■ WirelessHART (IEEE802.15.4)

### ■ RFID

### ■ Bluetooth Low Energy?

### ■ LTE Mikro-/Pikozellen?

### ■ Feldbussysteme

*Kabelloser Temperatursensor  
mit Energy Harvesting*



[abb]



# Aktuelle Forschungsprojekte im Bereich IoE

## DFG SPP 1914: CoCPN

Wie können Regelkreise  
beschränkte Netzwerkressourcen  
gemeinsam nutzen?

## BMBF KASTE

Wie können

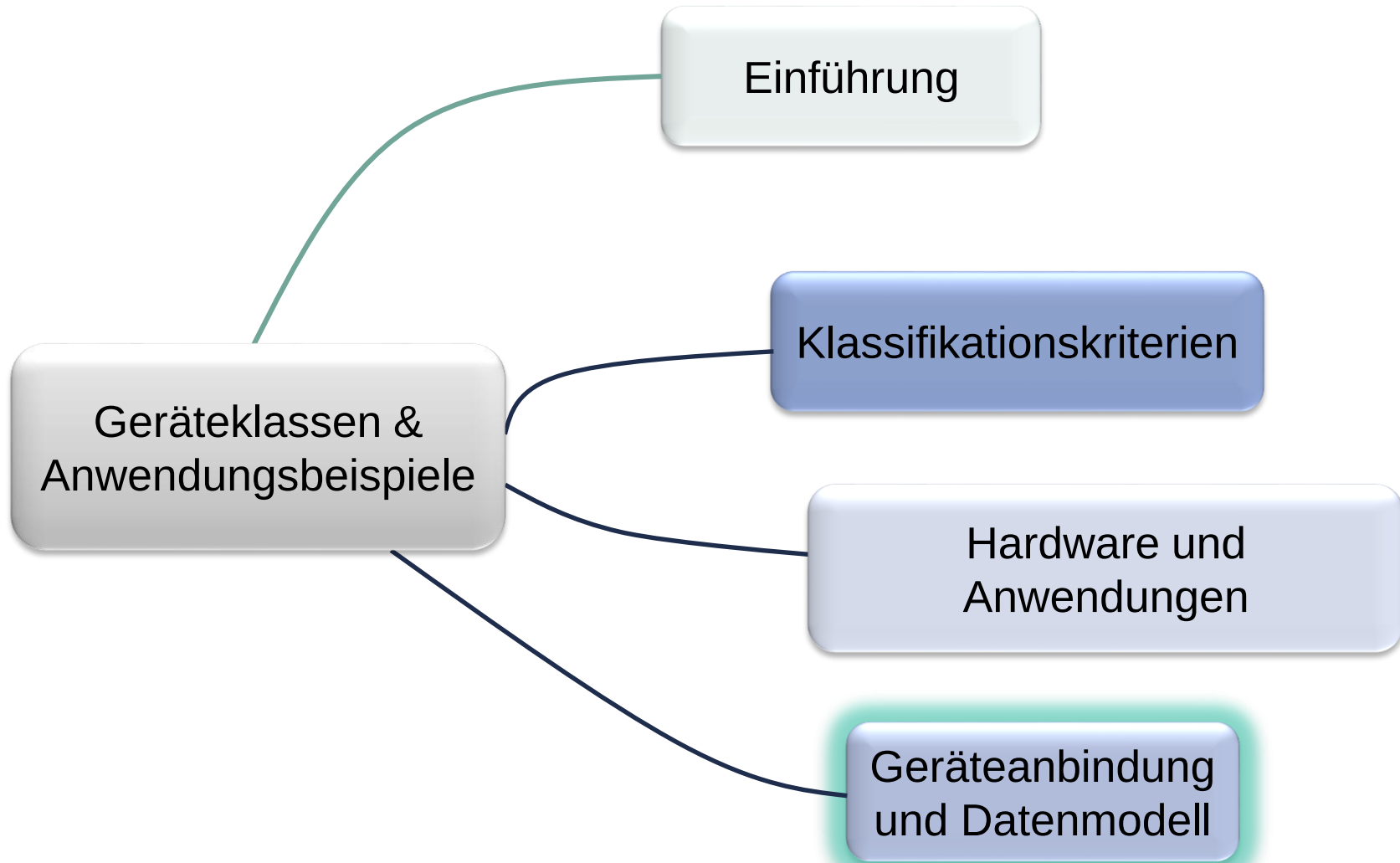
Forschen Sie mit!

- Abschlussarbeiten
- HiWi-Stellen

Wie wird das Energienetz der  
Zukunft aus?

## BMBF FlexSiPro

Wie werden Produktionsnetze  
sichere und flexibel?





# Betriebssysteme und Programmierung im IoE

## ■ Große Unterschiede bei Anwendungsentwicklung zwischen Geräteklassen

- Anwendung eng mit jeweiligem Betriebssystem verbunden
- Wenige Abstraktionsebenen
- Eine Anwendung pro Gerät
- Keine echte Nebenläufigkeit
- Einfaches Powermanagement durch Controller
- Asynchrone und eventbasiert Informationsverarbeitung
- Hardwarenahe Mikrocontroller-Programmierung
- Eigene Gerätetreiber nötig
- Interaktion durch Sensoren / Aktoren

**Ressourcenbeschränkte  
Geräte**  
z.B. Sensorknoten



- App-Konzept: Software in gebündelter Form
- Zahlreiche Abstraktionen und Dienste des Betriebssystems nutzbar
- Multithreading
- Multi-Cores
- Speichermanagement
- Ausgefeiltes Powermanagement
- Application-Lifecycle
- Activities
- Interaktion zwischen Anwendungen
- Graphische Benutzerschnittstelle

**Leistungsstarke Geräte**  
z.B. Smart Phones



# Betriebssysteme - Beispiele

## ■ Sensornetze

- **TinyOS** (C-Dialekt) → Komponentenarchitektur, Angepasste eventbasierte Programmiersprache (nesC), speichereffizient
- **Contiki** (C) → Protothreads, 6lowpan, Low-Power-Anwendungen, modular



## ■ SBCs und Physical Computing

- **RISC OS** → ARM Architektur, GUI, Kleiner Kern, sehr modular
- **Linux-** und **Android**-Varianten (C, C++, Java)
- **Windows On Devices** (C++ / C#) → 32-Bit x86-Architektur, FAT32, kein GUI



## ■ Wearables

- **Android Wear** (Java) → Synchronisation mit Handy, Spracheingabe als UI



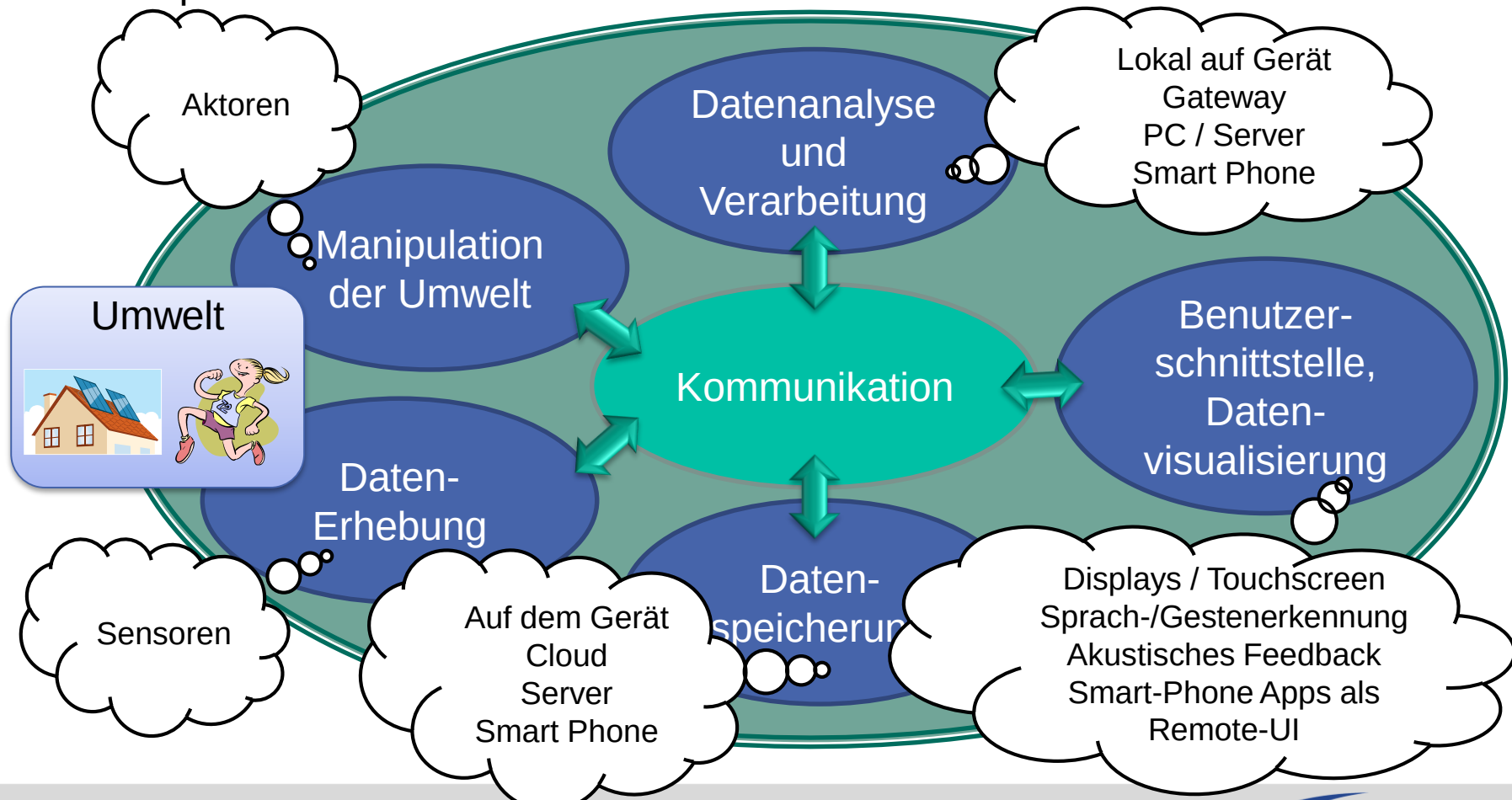
## ■ Smart Phones / Tablets

- **Android** (Java)
- **iOS** (Objective C)
- → Touch Frameworks, Cloud-Libraries, ...
- → 64-Bit Architekturen (ARM, MIPS, PPC, x86)
- → Grafikbeschleunigung, Virtualisierung

android wear

# Datenmodell

- Betrachtung von Einzelgeräten im IoE oft schwierig  
→ System- oder Anwendungsmodell besser zur Analyse geeignet
- Alle Aspekte können sowohl auf einem Gerät als auch verteilt realisiert werden



# Cloudanbindung

- Trend zur Integration von IoE-Kleinstgeräten in Cloud für Datenhaltung
  - Zunehmend Remote-Steuerung über Smartphone- und Tablet-Apps
- **Google PowerMeter** (2009-2011)
  - Ausstattung von kalifornischen Haushalten mit kostenlosem Smart-Meter
  - Energieverbrauchsstatistiken per Cloudanbindung im Internet abrufbar
- **Amazon Kinesis** (2013)
  - Echtzeitfähige Streaming-Schnittstelle für Sensormess- und Finanzdaten
  - Gleichzeitige Erfassung von Hunderttausenden Datenquellen
- **NETLab Toolkit**
  - Graphisches Toolkit zum einfachen Zusammenstecken von Flash-Widgets
  - Integration von Arduino-Geräten und Cloud Speicherung
- **Thingsquare**
  - Anbindung von Sensornetzen an Smartphones und Cloud-Speicher via Gateway
- **Amazon, Bosch, Cisco, Google, IBM, Microsoft, Oracle, SAP ...**
  - Vielfältiges Angebot an IoT-Cloud-Diensten und SDKs





Die von uns zur Erstellung der Folien genutzte

# LITERATUR

# Literatur



- [Bassi2013] Bassi, A., Bauer, M., Fiedler, M., Kramp, T., Kranenburg, R., Lange, S.; **Enabling Things to Talk - Designing IoT solutions with the IoT Architectural Reference Model**; Springer Open 2013
- [abb] <http://new.abb.com/products/measurement-products/temperature/process-industry-head-thermometers/tsp300-w-wirelesshart-temperature-sensor>, ABB TSP300-W
- [Arduino] <http://arduino.cc/en/>, Arduino
- [Asus] [http://www.asus.com/Phones/ASUS\\_ZenWatch\\_WI500Q/](http://www.asus.com/Phones/ASUS_ZenWatch_WI500Q/), ZenWatch WI500Q
- [Autographer] <http://www.autographer.com/>, Autographer
- [AutoHUD] <http://bwongtech.blogspot.co.uk/2013/02/how-to-build-hud-for-your-car.html>, Bill Wong Tech Smart Technology
- [BeagleBoard] <http://beagleboard.org/black>, BeagleBone Black
- [contiki] <http://contiki-os.blogspot.com/>, Contiki OS
- [ElectricImp] <https://electricimp.com/>, electric imp
- [Elegato] <https://www.elgato.com/eve>, Eve
- [EnOcean] <http://www.enocean.com/>, EON 100
- [Espruino] <http://www.espruino.co>, Espruino

# Literatur – Internetquellen

|             |                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [FZI]       | <a href="http://www.fzi.de/de/forschung/fzi-house-of-living-labs/">http://www.fzi.de/de/forschung/fzi-house-of-living-labs/</a> , House of Living Labs                                                          |
| [Gira]      | <a href="http://www.gira.de/gebaeudetechnik/systeme/enet.html">http://www.gira.de/gebaeudetechnik/systeme/enet.html</a> , eNet                                                                                  |
| [Google]    | <a href="https://www.google.com/glass/">https://www.google.com/glass/</a> , <a href="https://www.google.de/nexus/5/">https://www.google.de/nexus/5/</a> , Google Glass, Nexus5                                  |
| [Jawbone]   | <a href="https://jawbone.com/up">https://jawbone.com/up</a> , Up                                                                                                                                                |
| [landys]    | <a href="http://www.landisgyr.com/product/e330-focusae-ax-and-e350-focusae-ax-sd/">http://www.landisgyr.com/product/e330-focusae-ax-and-e350-focusae-ax-sd/</a>                                                 |
| [LG]        | <a href="http://www.areamobile.de/b/2673-lg-g-watch-r-die-runde-smartwatch-im-hands-on#g.2673.5.2010">http://www.areamobile.de/b/2673-lg-g-watch-r-die-runde-smartwatch-im-hands-on#g.2673.5.2010</a> , GWatchR |
| [libelium]  | <a href="http://www.libelium.com/products/waspmote/">http://www.libelium.com/products/waspmote/</a> , libelium Waspnote                                                                                         |
| [memsic]    | <a href="http://www.memsic.com/">http://www.memsic.com/</a> , IRIS Mote                                                                                                                                         |
| [MicroMote] | <a href="http://wiesel.ece.utah.edu/projects/6/">http://wiesel.ece.utah.edu/projects/6/</a> , Michigan Micro Mote (M3)                                                                                          |
| [micropelt] | <a href="http://www.micropelt.com/">http://www.micropelt.com/</a> , TE-Power Node + TE-Power Probe                                                                                                              |
| [MoNaCo]    | <a href="http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/monaco/">http://www.ece.gatech.edu/research/labs/bwn/monaco/</a> , Monaco, GeorgiaTech                                                                     |
| [nasa]      | <a href="http://www.nasa.gov/content/orbiting-rainbows-phase-ii/">http://www.nasa.gov/content/orbiting-rainbows-phase-ii/</a> , Orbiting Rainbows                                                               |
| [nest]      | <a href="https://nest.com/">https://nest.com/</a> , Google Nest                                                                                                                                                 |
| [Nike]      | <a href="http://www.nike.com/de/de_de/c/nikeplus-fuelband">http://www.nike.com/de/de_de/c/nikeplus-fuelband</a> , Fuelband                                                                                      |

# Literatur – Internetquellen

|                |                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [openHAB]      | <a href="http://www.openhab.org/">http://www.openhab.org/</a> , openHAB                                                                                                                           |
| [Osram]        | <a href="http://www.osram.de/osram_de/index.jsp">http://www.osram.de/osram_de/index.jsp</a> , Lightify                                                                                            |
| [Pebble]       | <a href="http://getpebble.com/">http://getpebble.com/</a> , Pebble                                                                                                                                |
| [pepetuum]     | <a href="http://www.perpetuum.com">http://www.perpetuum.com</a> , Wireless Sensor Node                                                                                                            |
| [Philips]      | <a href="http://www.philips.de/e/hue/hue.html">http://www.philips.de/e/hue/hue.html</a> , Hue                                                                                                     |
| [RaspberryPi]  | <a href="http://www.raspberrypi.org/">http://www.raspberrypi.org/</a> , Raspberry Pi                                                                                                              |
| [RFC7228]      | <a href="http://tools.ietf.org/html/rfc7228#section-3">http://tools.ietf.org/html/rfc7228#section-3</a> , IETF RFC7228                                                                            |
| [RWE]          | <a href="https://www.rwe-smarthome.de/web/cms/de/448330/smarthome/">https://www.rwe-smarthome.de/web/cms/de/448330/smarthome/</a> , SmartHome                                                     |
| [Samsung]      | <a href="https://www.samsung.com/">https://www.samsung.com/</a> , Gear Live, Galaxy S5                                                                                                            |
| [SharksCove]   | <a href="http://msdn.microsoft.com/en-US/windows/hardware/dn770216">http://msdn.microsoft.com/en-US/windows/hardware/dn770216</a> , Sharks Cove                                                   |
| [SmartDust]    | <a href="http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/">http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/</a> , Autonomous sensing and communication in a cubic millimeter, UC Berkeley |
| [smarththings] | <a href="http://www.smarththings.com/">http://www.smarththings.com/</a> , Samsung Smart Things                                                                                                    |
| [Sony]         | <a href="http://www.sonymobile.com/">http://www.sonymobile.com/</a> , Smartwatch 3 SWR50, xperiaZ2                                                                                                |
| [SparkIO]      | <a href="https://www.spark.io/">https://www.spark.io/</a> , Spark Core                                                                                                                            |



# Literatur – Internetquellen

[sunspot] <http://www.sunspotworld.com/>, SunSPOT World

[supermechanical] <http://supermechanical.com/>, Twine

[TinkerForge] <http://www.tinkerforge.com/>, TinkerForge

[tinyos] <http://www.tinyos.net/>, TinyOS

[zeit-online2011] <http://www.zeit.de/2011/27/IG-Smartphone>, Smartphone von innen



Weitere Beispiele und Folien, die erwähnenswert sind, aber im Hauptteil keinen Platz mehr gefunden haben

## ANHANG

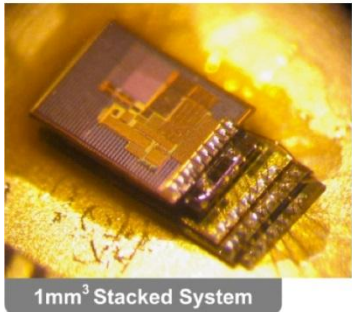
# Klassifikation Sensoren

- Klassifikation nach unterschiedlichen Kriterien z.B.:
  - **Kontext** (Aktivität, Position)
  - **Technik** (Infrarot, Ultraschall, Induktion, Schall)
  - Funktionsweise **physikalisch** (magnetisch, mechanisch, elektrisch)
  - Funktionsweise **logisch** (integriert, intelligent, aktiv, passiv)
  - **Messgröße** (Temperatur, Luftdruck, Beschleunigung)
  - **Informationsgehalt** der Sensordaten (eindimensional, mehrdimensional)
  - **Räumlicher Bezug** zum Messobjekt (berührungslos, berührend, gerichtet, omnidirektional)
  - **Anwendungsgebiet**
- Analog-digital Umwandlung für Sensormesswerte generell notwendig
  - **Analog Digital Converter** (ADC) notwendig
  - ADC auf den vielen Geräten direkt in den Mikrokontroller integriert

# Smart Dust

## ■ Hardwareeigenschaften

- Geringe Leistungsaufnahme und Hardwareressourcen
- 8-Bit Systeme mit RAM im niedrigen Kilobyte-Bereich
- Kein oder sehr wenig Speicher → Fokus anwendungsspezifische Sensorik
- Mikroelektronisch-Mechanische Komponenten (MEMS)
- Energy Harvesting (Miniaturisierungsgrad oft noch problematisch)
- Keine Möglichkeiten zur visuellen Ausgabe von Informationen (Auch keine LEDs...)

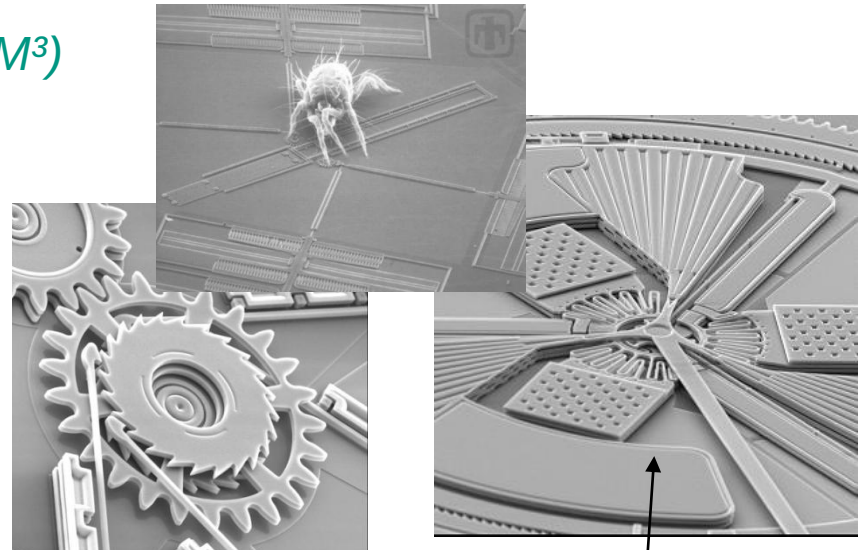
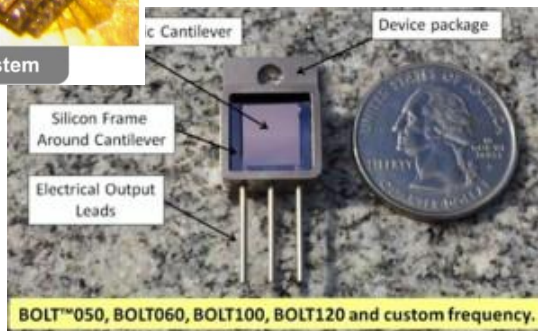


1mm<sup>3</sup> Stacked System

### Michigan Micro Mote (M<sup>3</sup>)



[MicroMote]



[sandia]

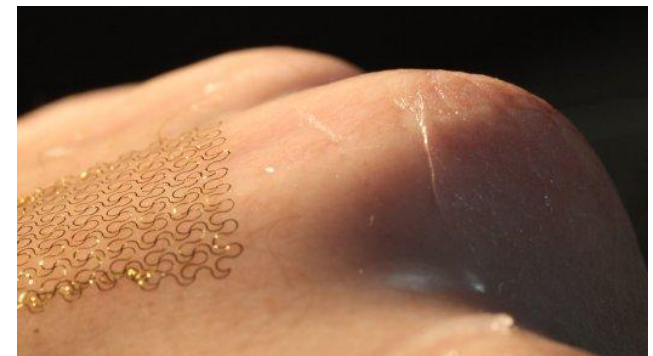
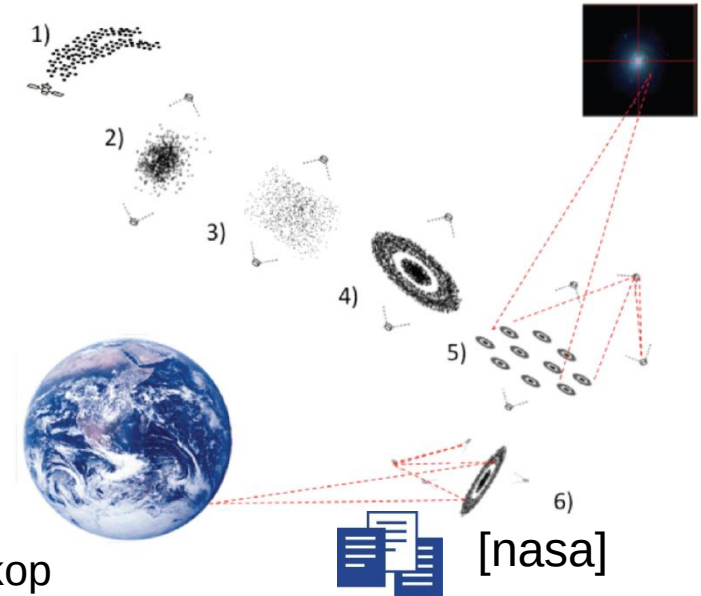
Thermischer MEMS-Aktor

# Smart Dust – Anwendungsideen

## ■ Bisher nur Forschungsthematik

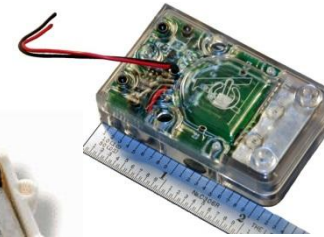
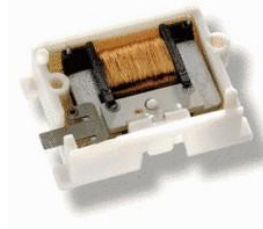
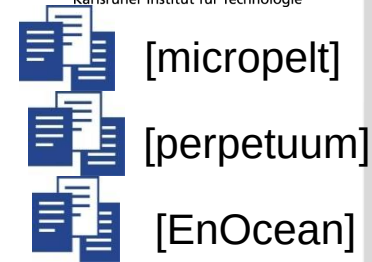
## ■ Mögliche Einsatzbereiche

- Durchdringung der Umwelt
- Auftragen an Strukturen und Oberflächen (Intelligente Wandfarbe)
- Deep Space Exploration
  - Abwerfen in Atmosphäre von Planeten
  - Alternativ als Wolke mit manipulierbaren optischen Eigenschaften → Weltraumteleskop
  - Niedrige Stückkosten und Gewicht
  - Hohe Stückzahl und Redundanz
- Elektronische Haut
  - Geringe Größe und Gewicht
  - Geringe Leistungsaufnahme, kompakte Energiequellen

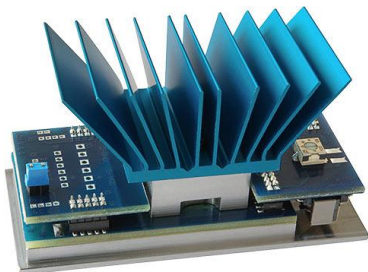


# Beispiele Scavanger für Energy-Harvesting (E0)

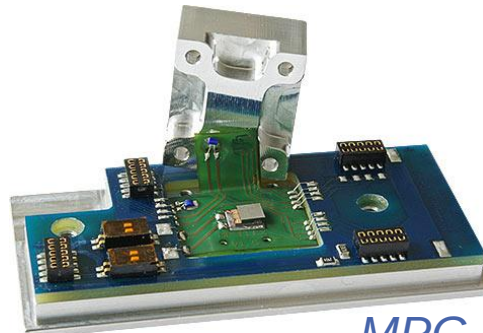
- Photovoltaik
- Kinetische Energieumwandlung
  - Rotation
  - Linear-Bewegungen
  - Vibration/Stöße
  - Strömung
- Thermoelektrische Generatoren  
(nutzen Temperaturunterschiede)



*TE-Power PROBE  
für den Einsatz in  
Flüssigkeiten*



*TE-Power PLUS Evaluation Kit*



*MPG-D751 Thermogenerator Chip*

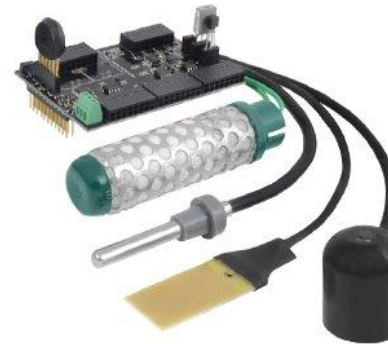


# Beispiele: Sensorvielfalt

## ■ Verfügbare Sensorik (Waspnotes)



**Gase**  
(CO<sub>2</sub>, Sauerstoff,  
Ethanol...)



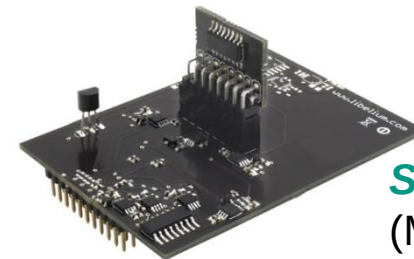
**Landwirtschaft**  
(Bodenfeuchtigkeit, Wind,  
Regenmenge, Helligkeit ...)



**Strahlung**  
(Beta- und Gammastrahlung)



**Event Monitoring**  
(Druck, Hall Effekt, Vibration ...)



**Smart Parking**  
(Magnetfeld)



**Smart Metering**  
(Durchflussvolumen, Pegel, Ultraschall ...)



**Smart Cities**  
(Erkennung von Rissen,  
Geräuschpegel ,...)

# Klassische Sensorknoten – Beispiel: IRIS Motes

## ■ Prozessor

- 8 bit Mikrocontroller: XM2110CA basierend auf Atmel ATmega1281
- 8 MHz Takt (vergleichbar mit 8088 CPU aus dem original IBM PC (~1982), aber viel geringerer Energiebedarf)

## ■ Funkchip

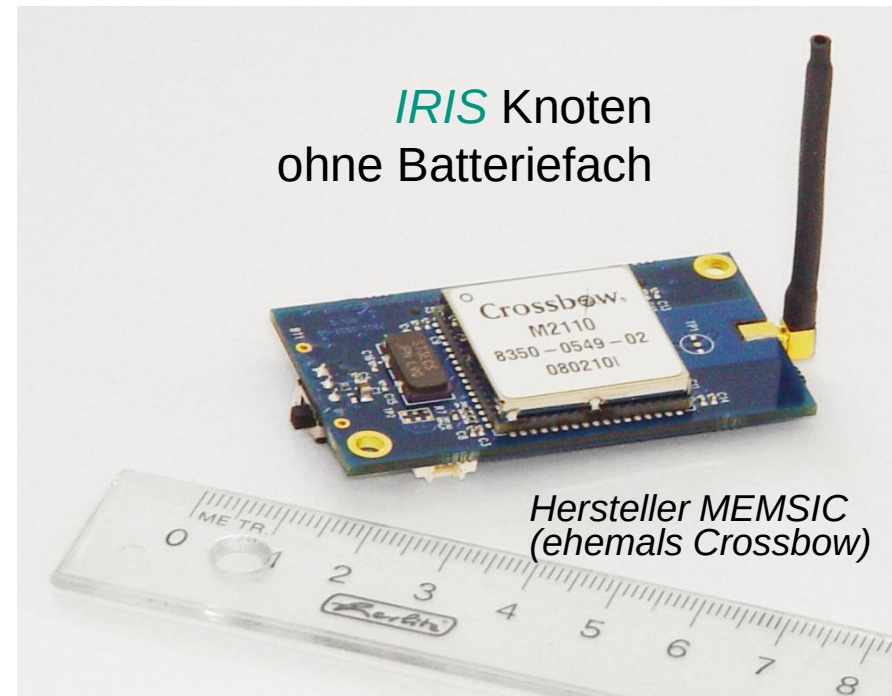
- AT86RF230
- IEEE 802.15.4 konform
- ZigBee kompatibel
- 2,4 GHz, 250 kBit/s, bis zu 300 m Reichweite (outdoor), bis zu 50 m Reichweite (indoor)

## ■ Speicher

- 4 kB EEPROM, 8 kB RAM
- 128 kB Programm Flash Memory, 512 kB Measurement Flash Memory

## ■ Ausmaße und Gewicht

- 5,8 x 3,2 x 0,7 cm
- Ohne Batterie & Sensorboard: 18 g





# Klassische Sensorknoten – Beispiel: IRIS Motes

- 3 LEDs (rot, grün, gelb) Onboard
- Peripherie
  - UART, 10bit AD-Wandler, Digital IO, I<sup>2</sup>C, SPI Bus, JTAG ICE, 51 Pin Connector
- Energieversorgung
  - 2 x AA Zellen um notwendige Spannung zu gewährleisten
  - Microcontroller: 8  $\mu$ A (sleep), 8 mA (active)
  - Funkchip: 15,5 mA (empfangen), 17,4 mA (senden), 1,5 mA (idle), 0,02  $\mu$ A (sleep)
- Programmierung und Zubehör
  - NesC (C-Derivat)
  - MoteWorks: Plattform zur Entwicklung von Sensornetzapplikationen
- Zusätzliche Sensorboards
  - Licht, Temperatur, Feuchtigkeit, Barometrischer Druck, Beschleunigung
  - GPS
  - Zusätzlicher Speicher für Daten
  - Zusätzliche analoge und digitale I/O Schnittstellen
- Kosten: 134 \$ / Stück ohne Sensorboard

TinyOS  
Betriebssystem

*MTS400/420 Sensorboard*



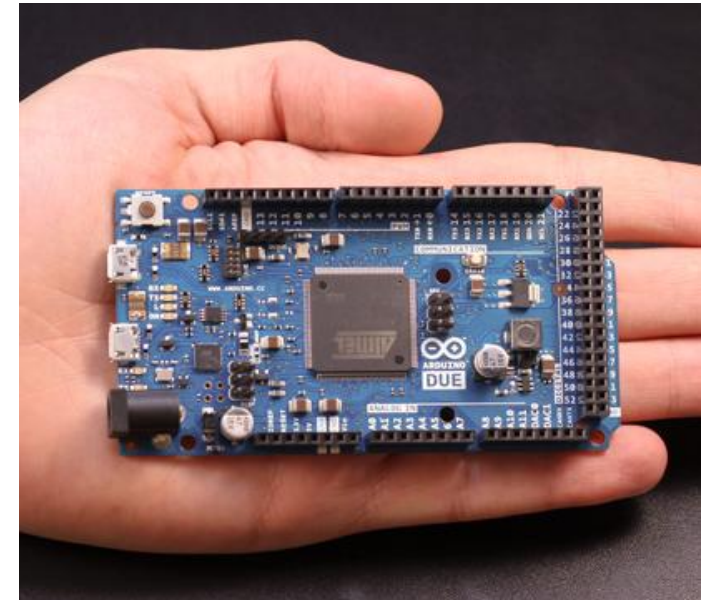
# Beispiele: Arduino

- Arduino Due (~40 €)
  - Atmel SAM3X8E Mikrocontroller
    - 32-Bit, 84 MHz
    - 96KB SRAM
  - 54 Digital I/O Pins, 12 Analog Input Pins, 2 Analog Output Pins (DAC), UART, SPI, USB
  - Größe: 102 x 53mm

*Arduino DUE*



[Arduino]

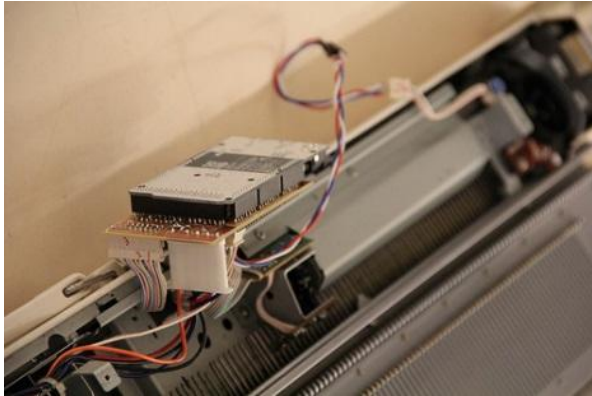


- Erweiterbar durch Vielzahl an spezialisierten Shield-Boards



*GSM-, WiFi- und Motor-Shields*

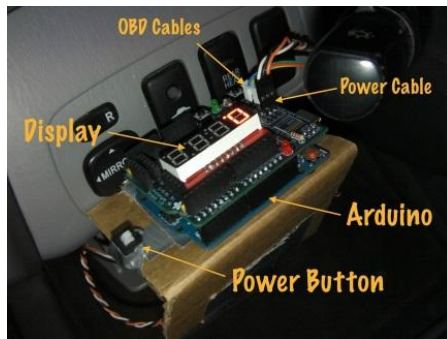
# Arduino – Anwendungsbeispiele



*Strickmaschine mit  
End-of-Line Sensoren*



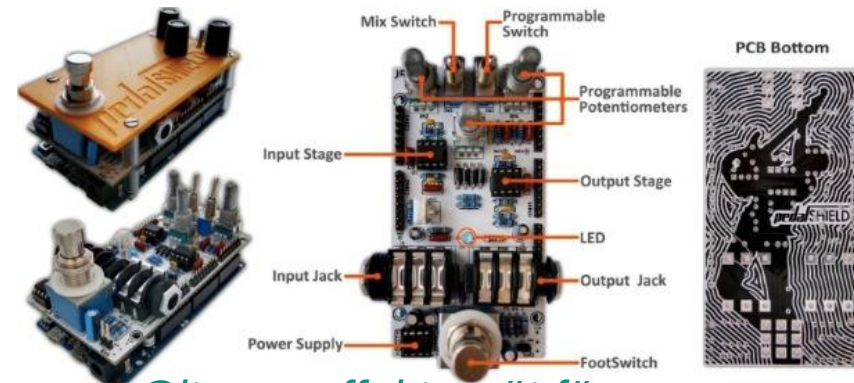
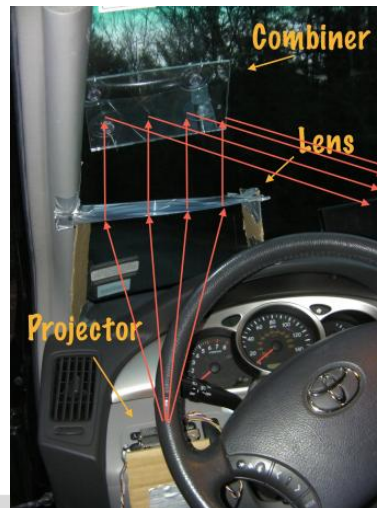
*B-Geigie-nano: Eigenbau Geigerzähler  
(Projekt Safecast)*



*HUD-Display für das Auto*



[AutoHUD]



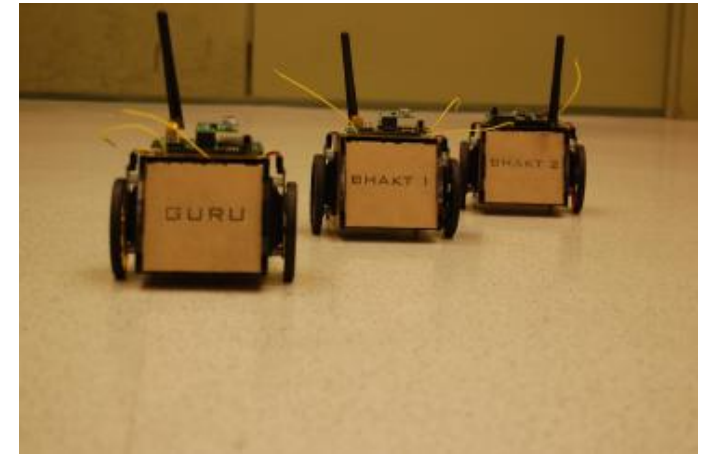
*Gitarreneffektgerät für  
programmierbare Soundeffekten*



# Beispiele: Schwarmroboter

## ■ Schwarmroboter

- Robomotes
- Wanda (IPR)
- GuruBhakts



### Robomotes

- Atmel 8535 Mikrocontroller
- Infrarot
- Kompass



### Wanda (IPR)

- ARM7-M Architektur
- ZigBee
- Infrarot
- LEDs
- Abstandssensoren
- Beschleunigungssensoren

# Smart- und Submetering

- Hardwareeigenschaften Gateways
  - Kommunikationsschnittstellen
    - RS485
    - Wireless M-Bus
    - 2-3 10/100 Base-T Ethernet Schnittstellen
      - WAN, HAN und lokale Kontrollsysteme
    - Quadband GSM mit GPRS Class 10
  - Leistungsaufnahme
    - Typisch: 2,6 Watt
    - Peak: 5,6 Watt
- Hardwareeigenschaften Stromzähler
  - Optische Datenschnittstelle (9.600 Baud)
  - Leistungsaufnahme < 1,3 Watt



[drneuhaus]

# Smart- und Submetering

- Weltweit unterschiedlichste Hardware-Plattformen und Standards
- Beispiel: Gridstream in Texas, USA
  - ~1 Million Haushalte in 2012
  - Zigbee Mesh-Netzwerk
    - 900Mhz USM
  - Zähler hergestellt von Landis+Gyr
  - Stromverbrauch
    - Typisch: 0,6 Watt
    - Peak: 1 Watt



[landys]

# Smart Home (3)

## ■ Anwendungsbeispiele

- *Philips Hue / Osram Lightify*: Steuerung der Lampe per App auf dem Smartphone oder Tablet (Lichtfarbe, Intensität, Zeitsteuerung...)
- *RWE SmartHome*
  - Feueralarmierung per SMS auf das Handy
  - Alarm bei Einbruch
  - Steuerbare Steckdosen
  - Regelung der Heizkörper
- *Gira eNet*: Smarte Funk-Lichtschalter (per Gateway von mobilen Geräten steuerbar)



# Life-Logging Beispiel: Autographer

- Kamera macht automatisch Bilder wenn Sensoren günstigen Zeitpunkt ermitteln
- Sensorik
  - Bewegungsdetektor (Infrarot)
  - Beschleunigung
  - Temperatur
  - Magnetometer
  - Licht/Farbsensor
- Ca. 240 Bilder/h
- Verknüpfung mit Positionsdaten (GPS)
- Daten gelangen per Bluetooth zum Smartphone
- Lokale Speicherung auch auf dem Gerät

Händische  
Verwaltung  
der Daten wird  
praktisch  
unmöglich



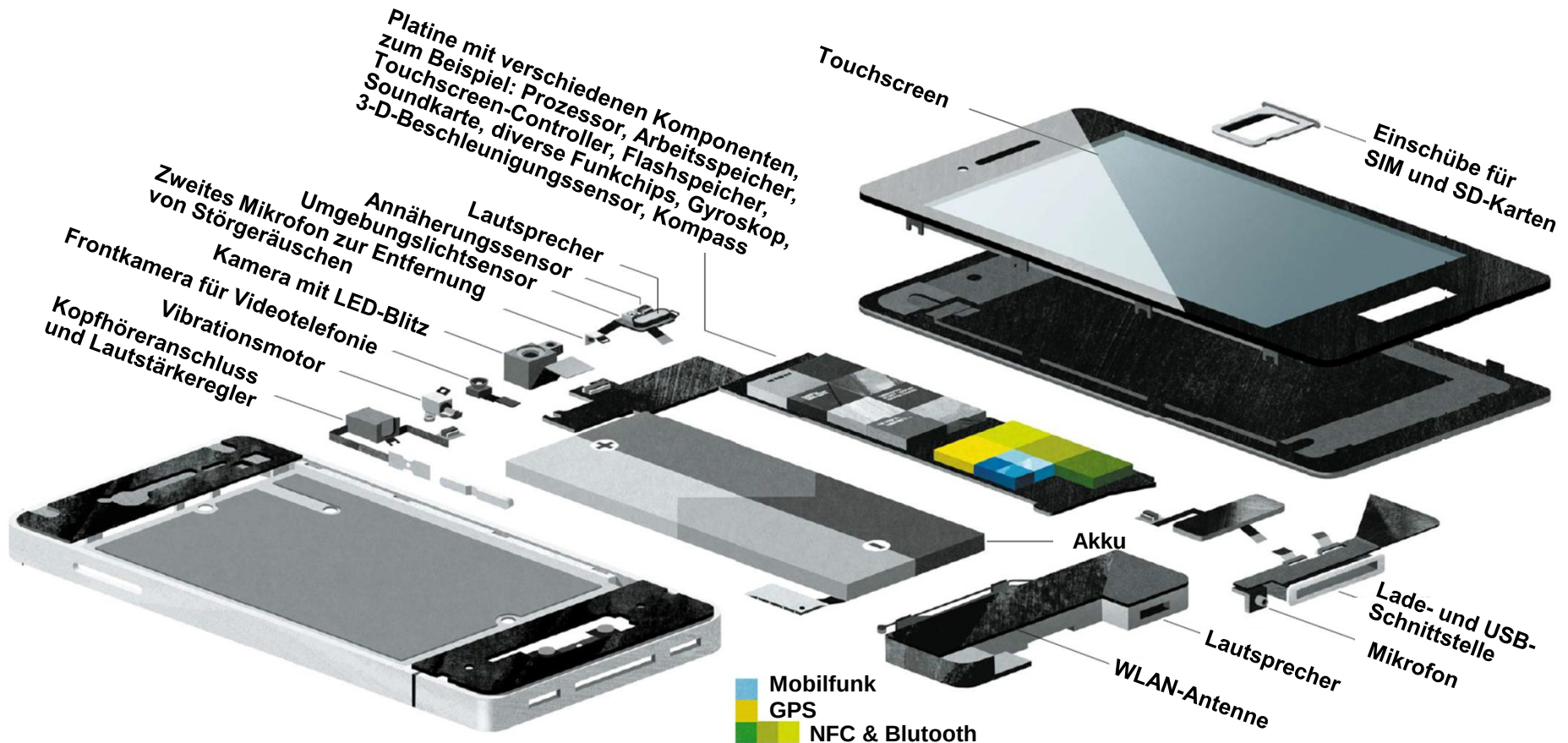
*Autographer*



[Autographer]



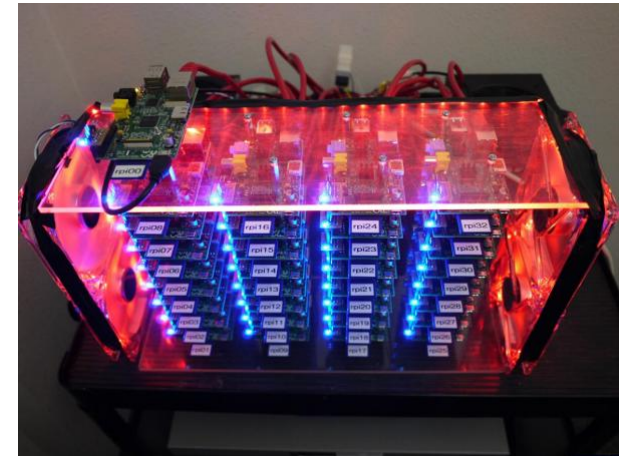
# Smart Phones – Innenleben und Sensorik



[zeit-online2011]

# SBCs: Raspberry Pi – Anwendungsbeispiele

- **Vielfältig einsetzbar** (häufig auch in Bastlerprojekten) z.B. als
  - Tracking-System für Ballonaufstiege in die Stratosphäre
  - Supercomputer
  - Gewächshaussteuerung
  - Online-Videorecorder
  - Persönliche Cloud / Dropbox-Alternative
  - Hardware Emulator (z.B. C64)
  - Postkasten-Überwachung
  - Kunstprojekte, Bildung und Lehre (einfaches Hardwaredesign)
  - Internet of Things Toilette
  
- **Diverse Betriebssysteme** möglich  
u.a. RISC OS, Android und diverse Linux-Varianten



# SBCs: BeagleBone Black (2013)

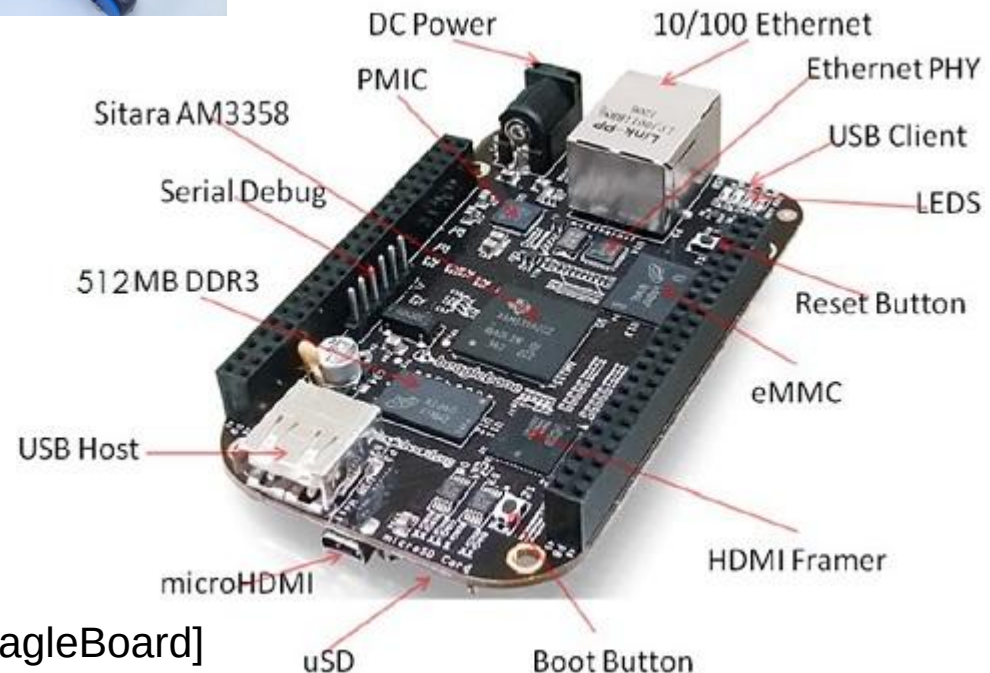
- Entwicklungsplattform mit Fokus Home Automation (~50€)
- Hardwaredesign frei verfügbar, Erweiterung durch Zusatzplatinen (Capes)

## ■ Realisierte Projektbeispiele

- OpenROV Mini-U-Boot
- 3D Printer
- Autopilot für zivile Dronen
- Steuerung der heimischen Bierbraustube  
(Fermentationstemperatur, CO2 Konzentration, ...)
- Ninja Blocks  
(Mini-PCs für Homeautomation)



[BeagleBoard]



# SBCs: Sharks Cove (Microsoft + Intel 2014)

- Sehr Leistungsfähiger SBC für größere IoT-Prototypen (~250€)
  - Hardware/Treiberentwicklung für Tablets und Mobilgeräte
- Windows 8.1 und Android-Unterstützung
- Hardwarespezifikation
  - x86-Atom Architektur, 1,88 GHz Tablet-CPU
  - 1GB RAM, 16GB eMMC
  - Vielfältige Schnittstellen (GPIO, I2C, I2S, UART, SDIO, Kamera)
  - Unterstützung u.a. für NFC, Touch-Eingaben
  - Größe: 102 x 152 mm



[SharksCove]



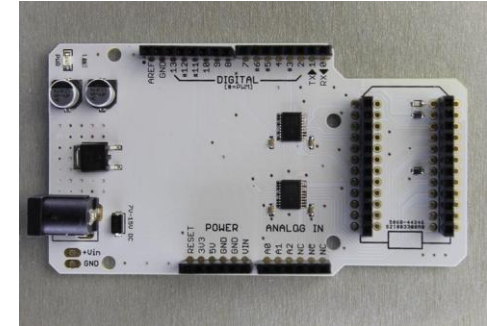
# Beispiele: Spark Core

- Spark Core
  - 32-Bit ARM Cortex M3 (72 MHz)
  - 20KB SRAM
  - 128 KB Flash (intern)
  - 12 Bit ADC
  - 18 I/O Pins (8 Digital, 8 Analog, RX, TX)
  - USB, UART, SPI, I2C, JTAG
  - CC3000 IEEE 802.11b/g WiFi Modul
    - Energiebedarf 190-260 mA (senden)
    - 92 mA (empfangen)
    - 5µA (shut-down)
  - Größe und Gewicht: 38mm x 20mm, 14g
- Cloud API erlaubt direkte Datenspeicherung
- Erweiterbar durch steckbare Shields
- Steuerung einzelner Pins per App vom Smartphone

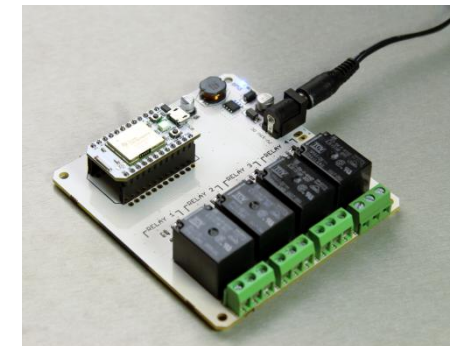
*Tinker-App*



*Spark Core*  
[SparkIO]



*Arduino Adapter  
Shield*



*Relay Shield für  
220V-Geräte*

# Life-Logging Pioniere

## ■ Ursprungsidee

- Digitales Gedächtnis als Erinnerungsstütze im Alltag

## ■ Gordon Bell (Microsoft Research)

- Projekt *MyLifeBits*
- Aufzeichnung des aller digitalen Dokumente und des ganzen Lebens mit Ausnahme von Gesprächen  
u.a. per Keylogger und SenseCam
- Zwischen 1998 und 2007 insgesamt 150 GB an Daten gesammelt
- Metadaten zur Kategorisierung wurden als Kernproblematik identifiziert
- **Problematik:** Automatisches Aufnehmen in unerwünschten Situationen unterbinden (z.B. vertrauliche Gespräche oder beim Toilettenbesuch)

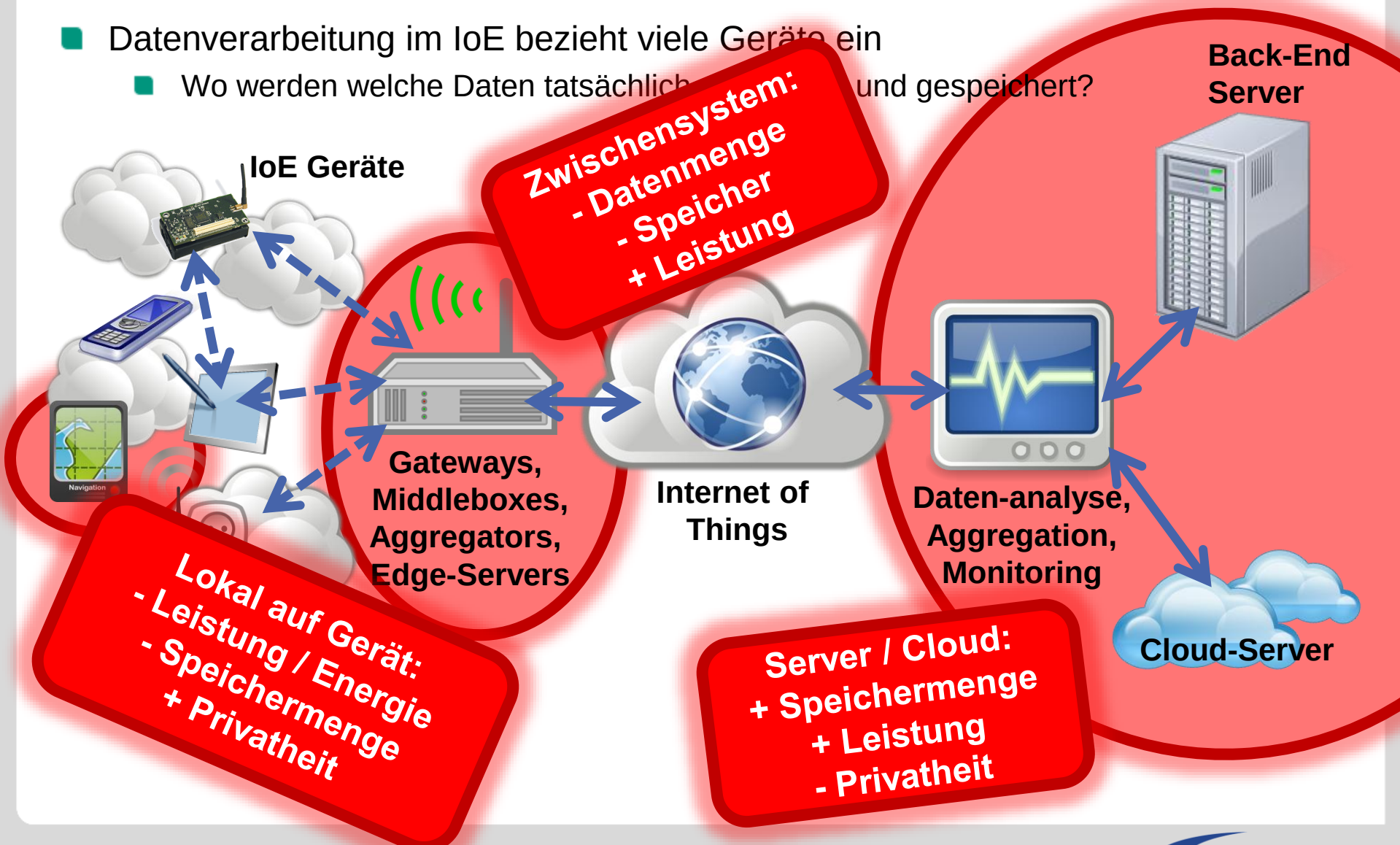


[SenseCam]

- Pulsuhren für Jogger und Radfahrer waren frühe Life-Logging Vorläufer
- **Heute:** Quantified-Self Bewegung

# Kommunikationsarchitektur

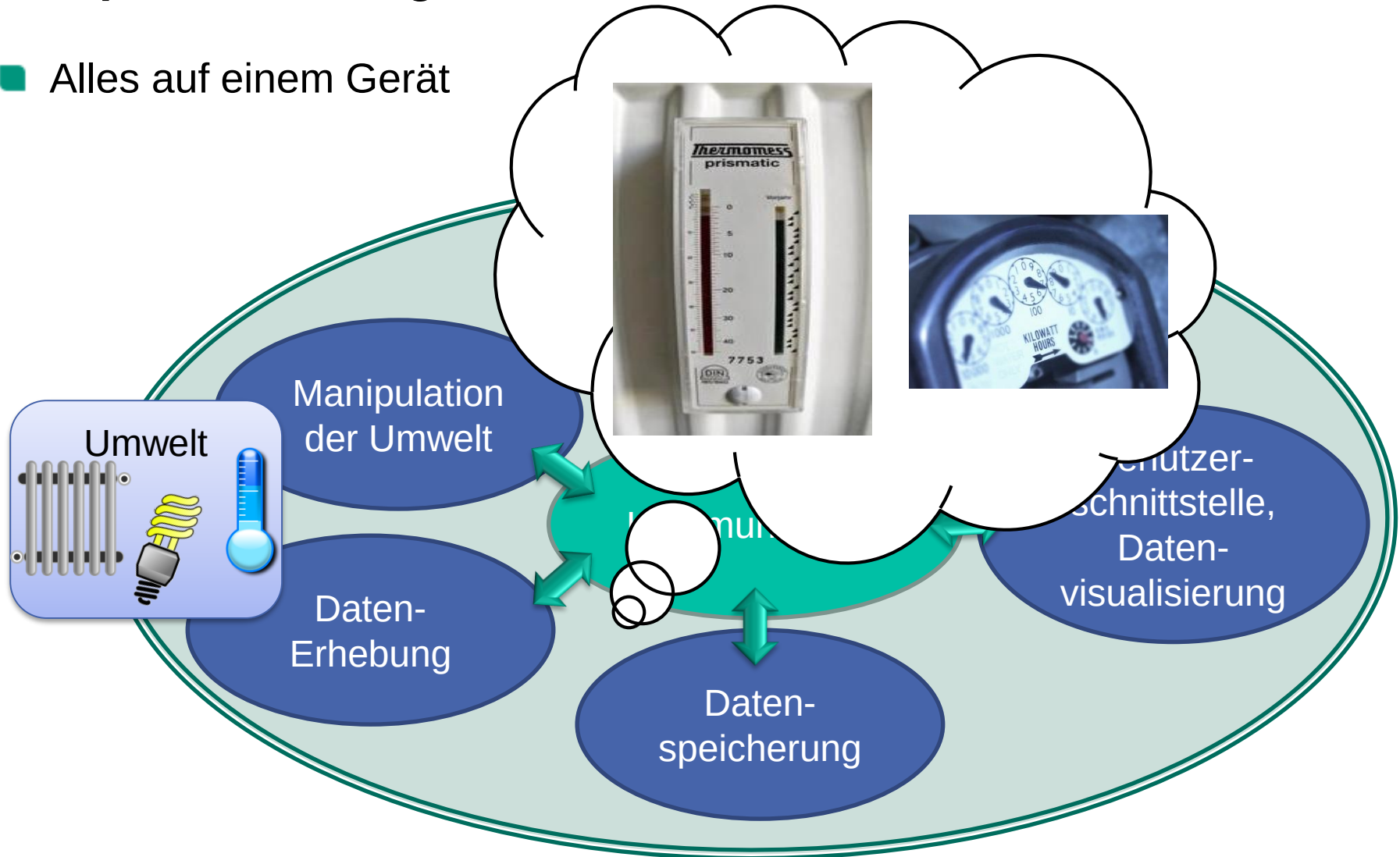
- Datenverarbeitung im IoE bezieht viele Geräte ein
  - Wo werden welche Daten tatsächlich und gespeichert?





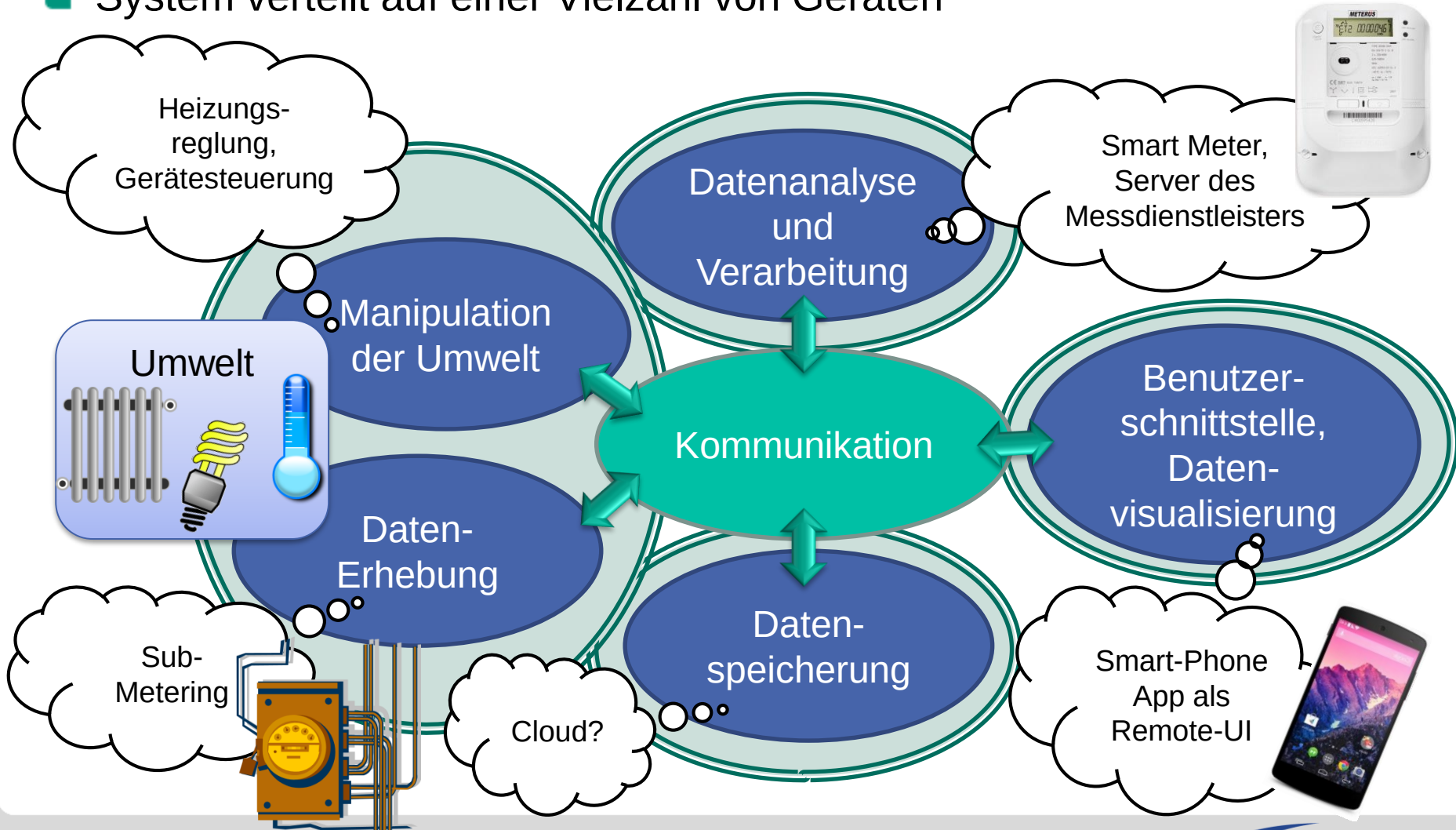
# Beispiel – Metering „klassisch“

- Alles auf einem Gerät

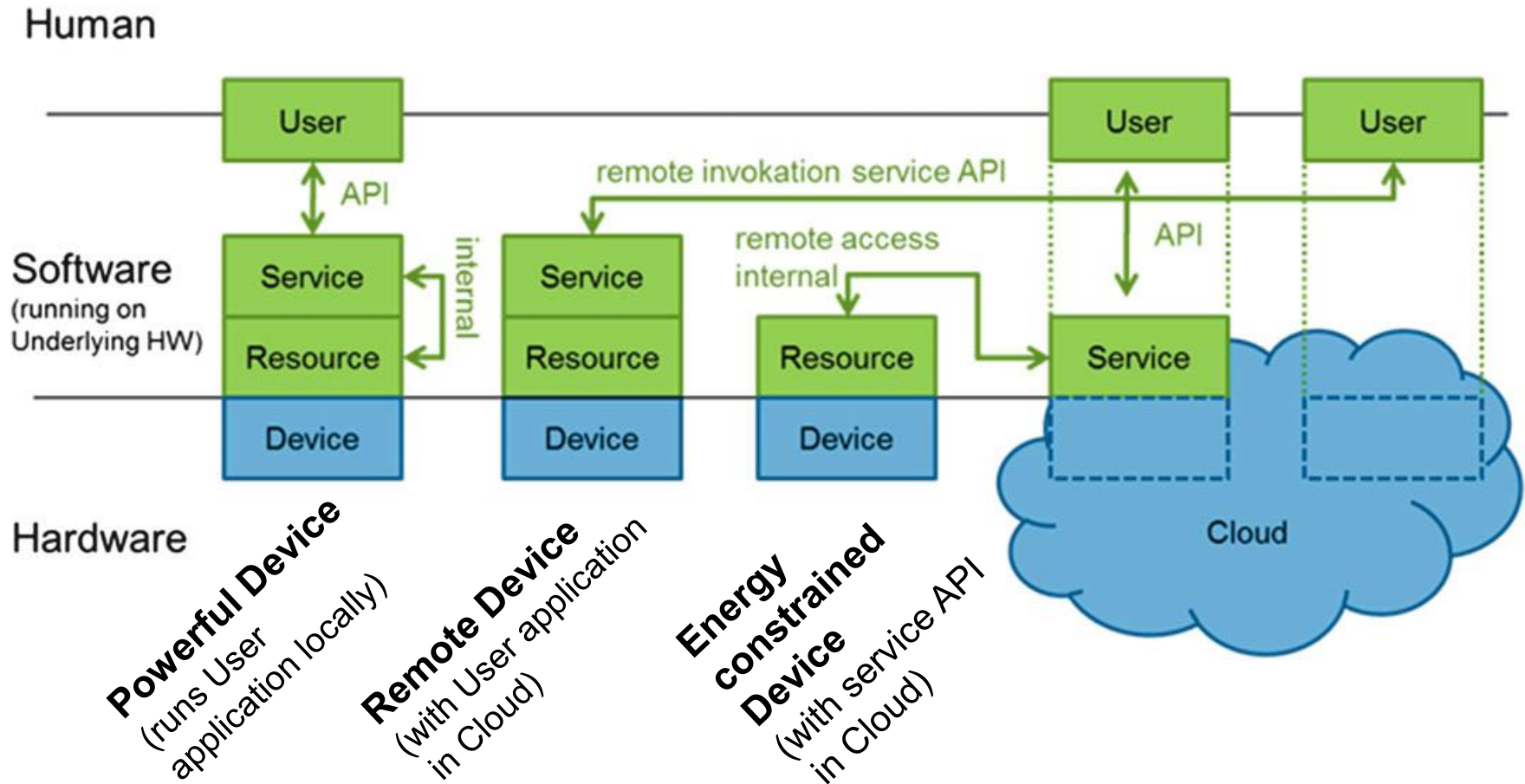


# Datenmodell Beispiel – Smart Metering

- System verteilt auf einer Vielzahl von Geräten



# Deployment-Model



[Bassi2013]

# Beispiele openHAB: Anbindung bei Homeautomatisierung

## ■ Smart Home

- OpenHAB (open Home Automation Bus)
  - Unabhängig von herstellerspezifischen Protokollen und Hardware
  - Basiert auf OSGi und Java Virtual Machine

- UI für verschiedene (Mobil-)Geräte
- Hardwareerweiterungen über Bindings möglich
- Rule Engine zur Automatisierung
- Vielzahl an Schnittstellen u.a. Sprachsteuerung, XMPP, NFC, Google Kalender, Dropbox Cloud Service (my.openHAB)

 [openHAB]

