



### Prof. Dr. habil. Andriy Luntovskyy

ist Dozent für Rechnernetzanwendungen an der BA Dresden (Studiengang ITL). An der BA Dresden arbeitet er seit 2008, davor bereits seit 2001 als nebenberuflicher Dozent. Von 2001 bis 2008 war er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Rechnernetze an der Technischen Universität Dresden tätig. Seine Alma Mater ist die Technische Universität Kiew „Igor Sikorsky KPI“ (Abschluss 1989 als Dipl.-Ing.).

#### Interessen-/Lehrgebiete:

- Rechnernetze und neue Technologien
- Verteilte Systeme und Mobile Kommunikation
- Datensicherheit und Informatikrecht
- Grundlagen der Programmierung und Softwaretechnik
- Grundlagen der Informatik und Wirtschaftsinformatik

**KONTAKT:** Berufsakademie Sachsen / Staatliche Studienakademie Dresden  
Hans-Grundig-Straße 25 / 01307 Dresden / Andriy.Luntovskyy@ba-dresden.de



### Dr. rer. nat. Dietbert Gütter

ist nebenberuflicher Dozent an der TU Dresden und an der Berufsakademie Sachsen, Staatliche Studienakademie Dresden. Seine Alma Mater ist die Technische Universität Dresden (Promotion 1974). Er arbeitete 40 Jahre im hochschulischen Bereich u.a. als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Rechnernetze an der Technischen Universität Dresden.

#### Interessen-/Lehrgebiete:

- Rechnernetze und Softwaretechnik
- Netzwerkpraxis und -projektierung
- Bürokommunikation und Web-Anwendungen
- Informations- und Kommunikationssysteme

**KONTAKT:** Technische Universität Dresden / Fakultät Informatik  
Institut Systemarchitektur / Professur Rechnernetze  
Noethnitzer Str. 46 / 01187 Dresden / Dietbert.Guetter@tu-dresden.de

# Allgegenwärtige Vernetzung: Industrie 4.0, Internet der Dinge, Fog Computing u.v.m !

*Andriy Luntovskyy, Dietbert Gütter*

*In diesem Übersichtsartikel werden wichtige Technologien zur künftigen Architektur der deutschen Industrie („Industrie 4.0“) vorgestellt sowie anhand einer Fallstudie illustriert. Speziell werden Begriffe wie „Internet der Dinge“, „Fog Computing“, „Cloud Computing“ und deren Interoperabilität besprochen.*

*Modern intelligent and energy-efficient networks, IoT and fog stimulate the further development of “Industry 4.0“.*

*Within “Industry 4.0” more and more intelligent networking nodes are used as well as the information, communication, automation and production technologies are increasingly interlinked.*

*The examined problems as well as relevant projects flow directly into certain teaching areas of the STG ITL curriculum: compulsory and/or elective modules deal intermediately with the contents [12].*

## 1. Begriffsklärung und Abgrenzung

Der Begriff „Internet der Dinge“ (Internet of Things, Kurzform: IoT) beschreibt, dass die per IP vernetzten Geräte (Laptops, Tablets, Smartphones) zunehmend durch „intelligente Gegenstände“ ersetzt werden. Statt selbst Gegenstand der menschlichen Aufmerksamkeit zu sein, soll das IoT den Menschen bei seinen Tätigkeiten unmerklich unterstützen. Die immer kleineren eingebetteten Controller (Embedded Controller) sollen Menschen im Alltag unterstützen, ohne abzulenken oder überhaupt aufzufallen. Aktuelle Informationen zur Industrientwicklung finden Sie z.B. in [1,2], wissenschaftliche Übersichtsinformationen in [6], sowie in [3 - 5].

So wird z.B. intelligente Gebäudetechnik (Intelligent Home) mit eingebetteten Gerätschaften und unterschiedlichen Sensoren (Bluetooth, RFID, 6LoWPAN, ...) ausgerüstet (Abb. 1). Die Breite der Nutzungsmöglichkeiten zeigen auch sogenannte „Wearables“, die direkt in Kleidungsstücke eingearbeitet sind. IoT ist außerdem die richtige Lösung bei den Anwendungen, die Echtzeit voraussetzen, wie Industrie-Automatisierung, Transport, Video Streaming etc. [5 - 8].

Laut der Vorhersage der Fa. Gartner Inc. wird Internet of Things (IoT) etwa 25 Milliarden Geräte im Jahre 2025 vernetzen. Aber schon heutzutage, mit dem IoT in der Kindheitsphase, konkurrieren zahlreiche vernetzte Geräte weltweit um die Datenpipelines in die Clouds aufgrund der großen Datenmenge („Big Data“-Problematik).

Mit anderen Worten bedeutet das: Myriaden von kleinen energieautarken Knoten werden untereinander vernetzt, so dass eine „nebelige“ Infrastruktur entsteht.

Viele Geräte sind fast permanent mit der Cloud verbunden und immer mehr wird in die Cloud verlagert. Dadurch entsteht das Problem mangelnder Bandbreite. Hier kommt das Fog Computing („Fog“ im Englischen „Nebel“, „Trübheit“) ins Spiel (Abb. 2). Der Begriff „Fog Computing“ wurde ursprünglich durch die Fa. Cisco eingeführt.

Der „Nebel“ agiert hauptsächlich wie eine Brücke zwischen IoT mit angekoppelten Geräten und entfernten Datenzentren. Die Lösung zur Reduktion dieser riesigen Datenmengen, die in den Datenzentren geöffnet und verarbeitet werden, sind intelligente Controller und Gateways, die Daten von aktiven Geräten in deren unmittelbarer Nähe vorverarbeiten.

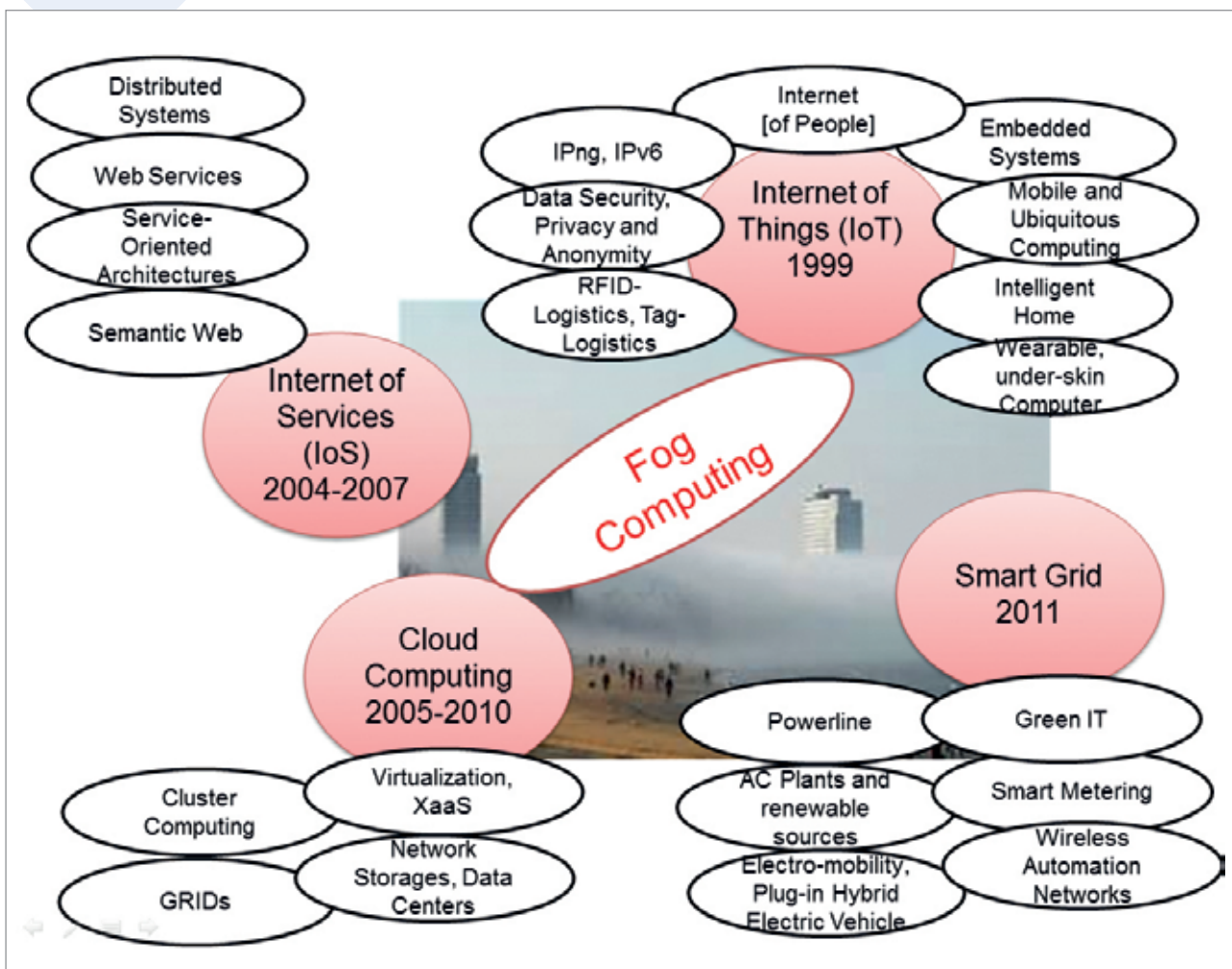


Abb. 1: „Internet of Things“ im Zusammenhang mit Clouds, Webservices und Energieeffizienz [8]

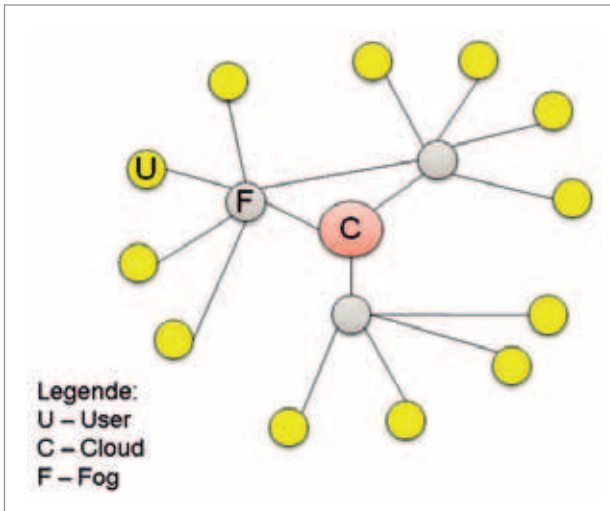


Abb. 2: Architektur: User-Fog-Cloud (Nutzer im „Nebel“): eigene Darstellung

## 2. Kooperation Fog-Cloud

Fog Computing erweitert das Paradigma des Cloud Computing um den Anschluss dezentraler intelligenter Netzwerkknoten (Mikrokontroller auf Radio Network Edges) und erlaubt dadurch eine Reihe von neuen Anwendungen, Apps und Services. Charakteristische Merkmale von Fog Computing sind:

- Low-Latency, Location-Awareness (schnelle Reaktivierung von Knoten)
- weite geographische Verteilung
- sehr große Anzahl von Knoten und Mobilität, IPv6 empfohlen
- führende Rolle von drahtloser Vernetzung (“Wireless Access”)
- Streaming- und Echtzeit-Anwendungen (real time)
- Knotenheterogenität.

Die wichtigsten Funktionalitäten von Fog Computing sind anwenderseitig:

- Datenerfassung vor Ort
- Zwischenspeicherungen
- Ausführung kleiner Anwendungen (Apps)
- Verrichtung kleiner Vorberechnungen vor Ort.

Fog Computing bietet eine passende Plattform für Weiterentwicklung von IoT-Diensten auf der Basis der folgenden bekannten und neuen Netzwerktechnologien:

- Wireless Sensors and Actuators Networks (WSNs): ZigBee, Bluetooth, EnOcean
- RFIDs
- WLAN (IEEE 802.11 ac, ad)
- 6LoWPAN
- 5G-Mobilfunk [7, 8].

Mit dem Fog Computing werden die Services und Berechnungen an den „Rand des Netzwerks“ verschoben (zum User hin). Dabei muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen partiellem oder komplettem Verschieben. Fog Computing heißt auch „Edge Computing“.

Auch die Fa. IBM versucht mit einer ähnlichen Initiative, das traditionelle Cloud-basierte Internet umzugestalten bzw. an „den Rand“ zu verschieben. Wenn über „Edge Computing“ gesprochen wird, ist damit wortwörtlich der Rand eines Netzwerkes gemeint, die Peripherie, wo das Internet endet und die reale Welt beginnt. Datenzentren sind die „Zentren“ des Netzwerkes; kleine Kontroller und typische Gadgets wie Laptops, Smartphones, Tablets, Multimediaplayer, Überwachungskameras stehen „am Rand“.

Der Vergleich von Fog und Clouds ist der Tab.1 zu entnehmen [8]:

Herausforderungen einer Cloud oder eines NW-Speichers:	Wie dabei Fog helfen kann:
Latenz als größtes Problem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• weniger Hops</li> </ul>
Mobilität bei der Datenerfassung beschränkt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datenlokalität und lokale Caches</li> </ul>
Bandbreitenbegrenzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vor-Ort-Bearbeitung</li> </ul>
Zuverlässigkeit und Robustheit akzeptabel aber angesichts Big Data fraglich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast Failover (schnelle Fehlerkorrektur)</li> </ul>
reiner Datenspeicher ohne Metainformationen für Suche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Location Awareness (lokale Verfügbarkeit)</li> </ul>

Tab. 1: Vergleich von Fog und Cloud Techniken

Wie wird sich Fog Computing mittelfristig entwickeln? Der Nebel wird die Cloud nicht verdrängen. Die Frage ist nicht "Fog Computing vs. Cloud Computing", sondern es geht um die Koexistenz (Abb. 3).

Eine detaillierte Diskussion einer Beispielarchitektur für Fog Computing-Plattformen und deren Applikationen enthält die Veröffentlichung [9]. Fog Computing weist viele Vorteile auf:

- ermöglicht Big Data- und Echtzeitanalyse
- Energieeffizienz
- hohe Performance aufgrund physischer Nähe,
- geringere Datenströme über Internet als bei Cloud Computing
- sinkende Kosten bei der Datenverarbeitung (Big Data)
- Rechenleistung im Verhältnis zu Bandbreite immer günstiger (dank Einplatinencomputern, wie Raspberry Pi, Arduino Uno, Banana Pi, u.v.m.)
- Ersetzbarkeit bei Ausfällen
- geringere Transportkosten und geringere Latenzen
- verbesserte QoS.

Bei Fog Computing ist der Datenschutz sehr wichtig. Die Verschlüsselung und der Einsatz von Firewalls sowie CIDN (Collaborative Intrusion Detection Networks) ist nachdrücklich zu empfehlen [6 - 8]. Dadurch wird Fog Computing zur treibenden Kraft für IoT. Die mittelfristige Entwicklung liegt im IPv6-Einsatz zur effizienteren Adressierung und in der Erhöhung der Datensicherheit. Die Security-Herausforderungen wachsen. Die Authentisierung von angekoppelten Geräten in den kombinierten Strukturen muss gewährleistet werden (User+Fog+Clouds). Die Verschlüsselung und digitale Signatur wird durch eine robuste Kombination der Protokolle AES+RSA+PKI sowie durch den Einsatz von fortgeschrittenen Firewalls (NG-FW) und CIDN erreicht.

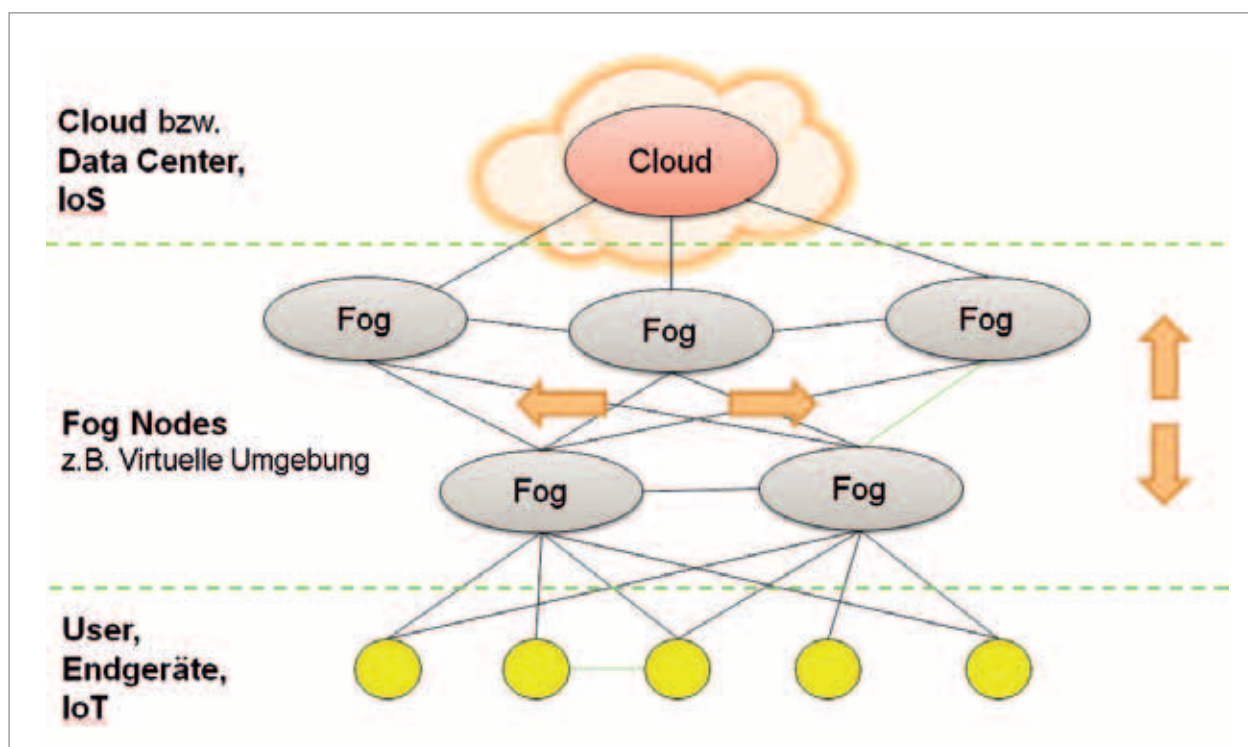


Abb. 3: Architektur von Fog Computing im Koexistenz zu Clouds: User + Fog + Cloud (eigene Darstellung)

### 3. Industrie 4.0 und intelligente Vernetzung

„Industrie 4.0“ (2011) ist ein zukünftiges wichtiges Ziel in der High-Tech-Strategie der Bundesregierung. Die treibende Kraft für die neue Generation der Industrie ist die weitere Automatisierung und Informatisierung von Produktionsprozessen (vgl. Abb. 4).

„In der Industrie 4.0 als Bundesregierungsprogramm werden Informations- und Kommunikations-, Automatisierungs- und Produktionstechnologien künftig stärker denn je miteinander verzahnt. Ziel ist es, den traditionellen Kern der deutschen Industrie mit seiner international herausragenden Position zu verteidigen und auszubauen!“ [10, 13, 14].

Das Konzept setzt eine effiziente und energiesparende Vernetzung mit aktuellen Netzwerktechnologien (wie bspw. 6LoWPAN, 4G und 5G) voraus und verfolgt mehrere Ziele wie bspw. die Schaffung intelligenter Fabriken (Smart Factory) mit Adaptivität, Ressourceneffizienz und ergonomische Arbeitsbedingungen. Die technologische

Basis der Industrie 4.0 bilden die Cyber-Physical Systems (CPS) und das Internet der Dinge (IoT).

Die Fertigungsprozesse werden nicht nur automatisiert (wie in Industrie 3.0), sondern die zu bearbeitenden Bauteile bekommen ihre zusätzliche „Intelligenz“ durch die Ausrüstung mit preiswerten Chips (Prozessoren, Sensoren, drahtlosen Minisendern und RFIDs). Als weiteres Ziel geht es um die Integration von Kunden und Geschäftspartnern in einer optimierten Wertschöpfungskette, durch deren weitgehende Vernetzung und unter der Berücksichtigung von Aspekten der Datensicherheit, Datenschutz und Anonymität [5 - 8, 15] in diesen Ketten.

Dabei sind die Probleme der horizontalen und der vertikalen Prozessvernetzung zu unterscheiden. Unter horizontaler Vernetzung versteht man die Replikation von Prozessen in einer Hierarchieebene, z.B. bei mehreren Fließlinien innerhalb der Fertigung. Unter vertikaler Vernetzung versteht man die Kopplung mehrerer Hierarchieebenen, z.B. der Fertigung und der Produktionsvorbereitung.

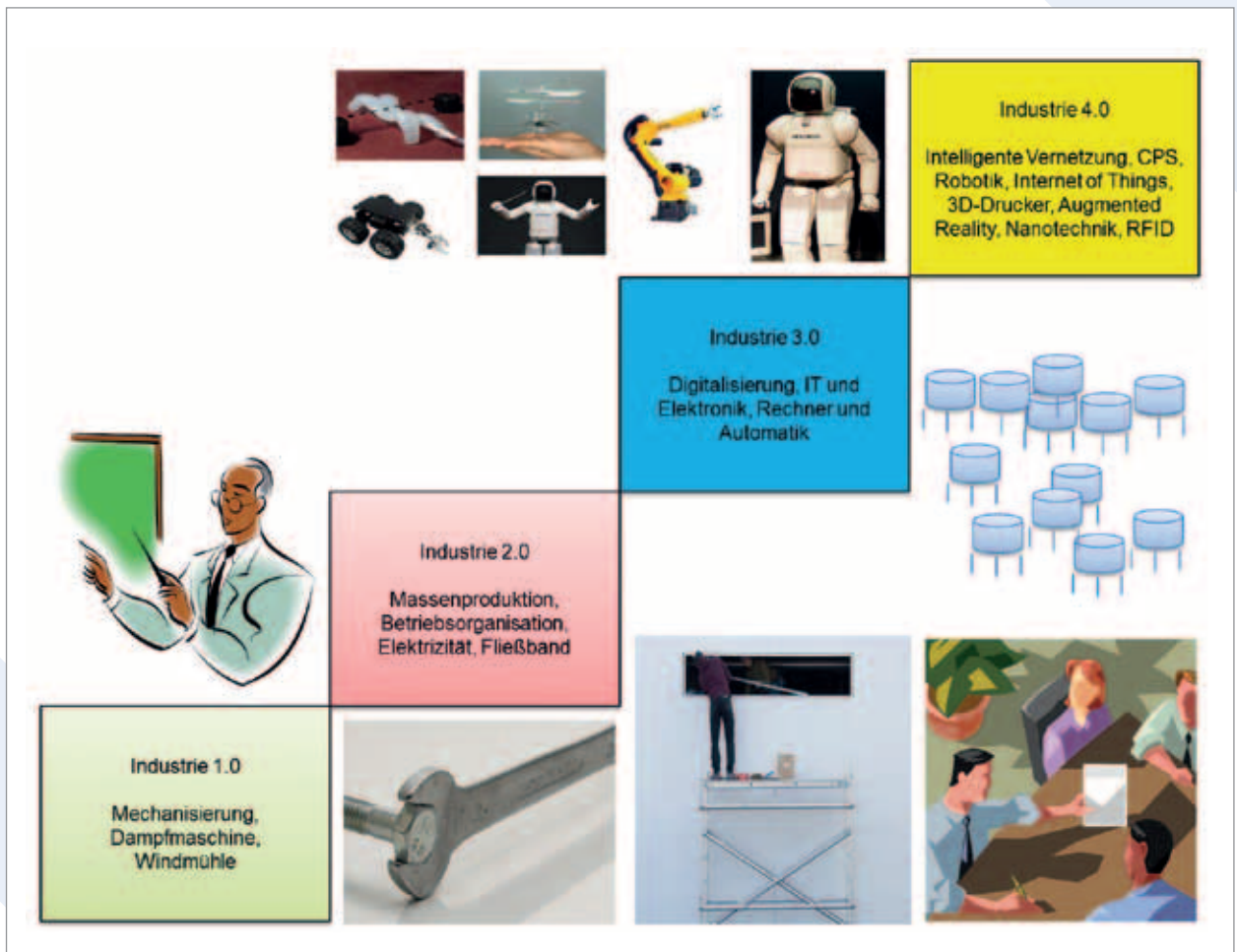


Abb. 4: Kontext Industrie 4.0 (eigene Darstellung, basierend auf [14])

#### 4. Fallstudie: Freeware MQTT-Lösung für IoT und Fog Computing

Die nachfolgenden Informationen basieren auf Diskussionsinhalten des Workshops der Fa. IBH IT-Service GmbH Dresden am 16.3.2017 [11].

Dabei wurde ein typisches Einsatzszenario in einem Rechenzentrum vorgestellt, das in der Region Dresden/Ostsachsen Cloud-Dienstleistungen anbietet. Besonders wichtig für die Sicherung der Servicequalität ist die Verwaltung wichtiger Betriebsparameter. Dies hat erhebliche ökonomische Bedeutung und befindet sich bereits in Ansätzen im Einsatz.

Dazu erfolgt eine permanente Parameterabfrage für Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Netzspannung sowie eine Überwachung der Zugriffserkennung und der physikalischen Ein- und Ausgaben. Dies erfordert eine Kooperation „Fog – Private Cloud Provider“. Die Messdaten aus der Cloud (aus Bereichen wie Computing, Netzwerktechnik, Speicherung, Umgebungsparameter etc.) werden erfasst und analysiert. Die Sensoren erkennen z.B. Überhitzungen in den Provider-Racks. Die Provider-Hosts werden über SNMP mit Hilfe des Nagios-Tools verwaltet. Die Sensoren werden über MQTT (Message Queue Telemetry Transport Protocol) unter Verwendung des Warteschlangen-basierten Modells „Publisher-Broker-Subscriber-Model“ verwaltet.

Es sind vielfältige Nutzerschnittstellen verfügbar, wie Webservices über OASIS, Eclipse, JMS, Apache, RabbitMQ, Windows 10 IoT Core und weitere IoT- Plattformen.

Das genutzte „Publisher-Broker-Subscriber-Model“ erlaubt den

MQTT-Clients in unterschiedlicher Weise zu kommunizieren. In Abb. 5 wird die Kommunikation zwischen drei Clients und einem Broker dargestellt. Das Modell ist aber universell nutzbar (Beziehungen von 1:1, 1:n bis zu m:n).

Ein typischer Ablauf ist folgender:

1. Alle drei Clients öffnen TCP-Verbindungen über einen sogenannten Broker.
2. Die Clients B, C (Subscribers) abonnieren den Empfang von Temperaturwerten „Temperature T“ und warten auf diese Nachrichten.
3. Zu einem späteren Zeitpunkt publiziert Client A den Temperaturwert  $T = 22.5^{\circ}\text{C}$ .
4. Der Broker leitet diese Nachricht zu allen Abonnenten (Subscriber) weiter.

Dieser Vorgang ist in Form eines Ablaufdiagrammes in Abb. 6 dargestellt. Eine Freeware-Lösung für IoT und Fog, die MQTT-basiert ist, zeigt Abb. 7.

Die wichtigsten Komponenten dieser Architektur [11] sind Mosquitto, Nagios (SNMP-basiertes Tool), TMPFS sowie Schnittstellen zu Web und Nagios. Das Mosquitto-Tool ist ein Projekt von [iot.eclipse.org](http://iot.eclipse.org) und bietet einen Broker für MQTT und andere Protokolle und Tools. SNMD (Sensor Node Management Device) ist ein SNMP-basiertes Tool und bietet eine effiziente Schnittstelle zu Nagios und Mosquitto. Das TMPFS (temporäres Dateisystem) ist ein Dateisystem, das in vielen Unix-ähnlichen Betriebssystemen verwendet wird, um eine RAM-Disk zu erstellen. Mit TMPFS können einige Teile des realen Arbeitsspeichers integriert und wie eine sehr schnelle Festplatte verwendet werden.

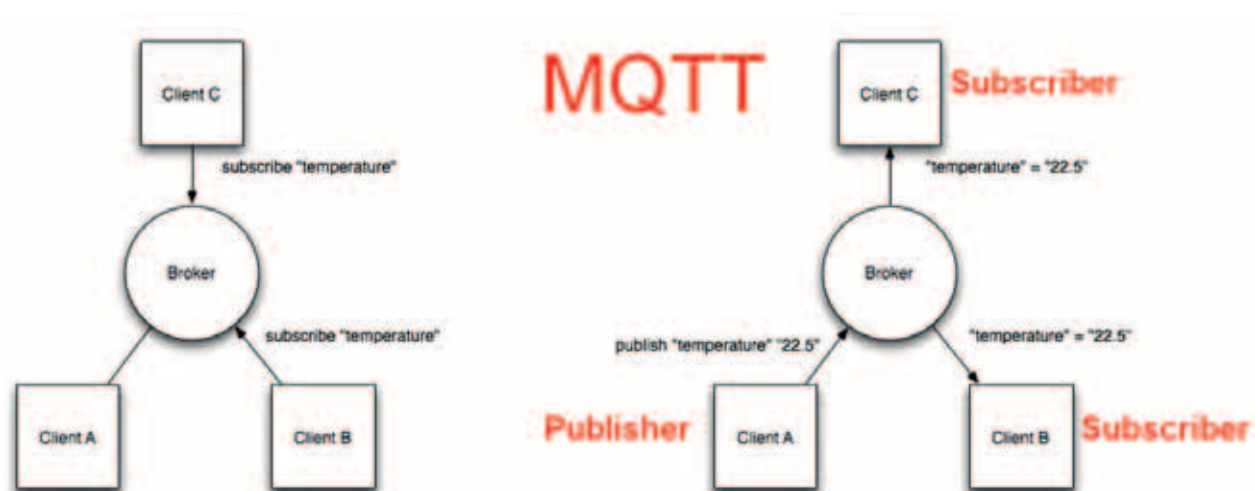


Abb. 5: MQTT Protokoll nach dem „Publisher-Broker-Subscriber-Model“ (eigene Darstellung)

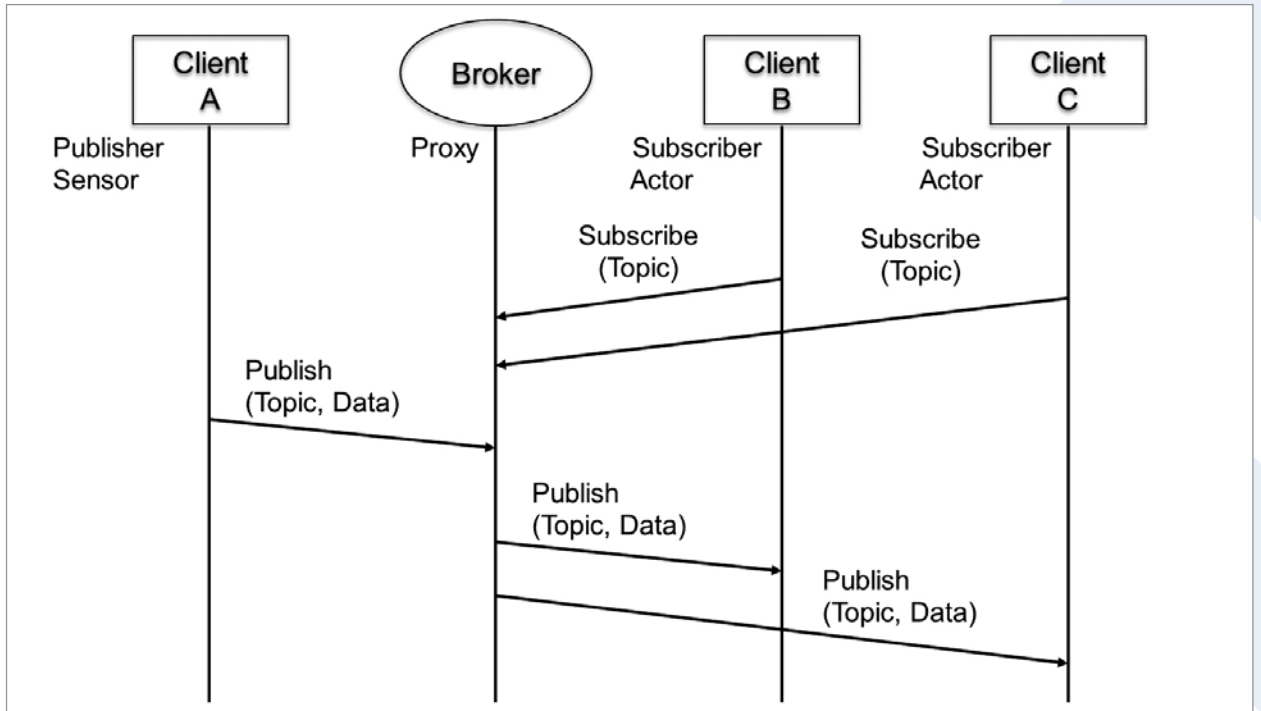


Abb. 6: Ablaufdiagramme für das MQTT-Protokoll (eigene Darstellung)

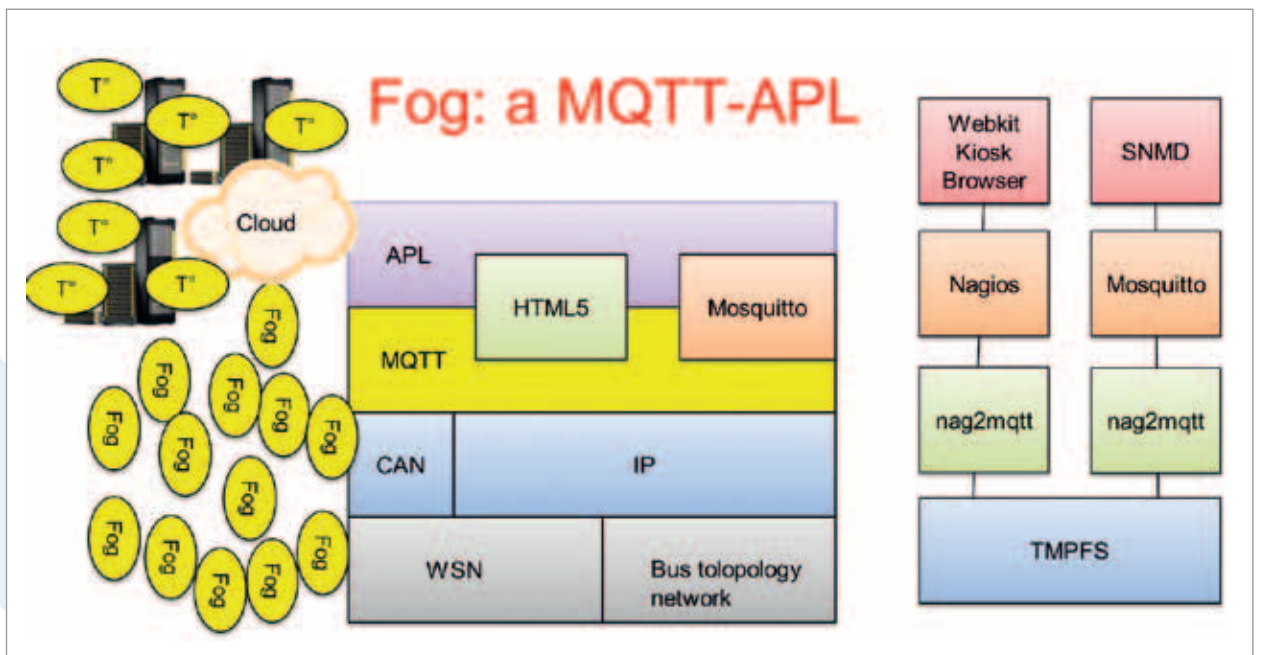


Abb. 7: Architektur einer freien MQTT-basierten Lösung für IoT and Fog (eigene Darstellung)

## Literaturverzeichnis

- [1] Der ganzheitliche Ansatz zur Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette, Siemens, 2018, Online: abgerufen am 19.6.2018: <https://www.siemens.com/global/de/home/unternehmen/themenfelder/zukunft-der-industrie/digital-enterprise.html>
- [2] Mahmood, Z. (Ed.) (2016): Connectivity Frameworks for Smart Devices: The Internet of Things from a Distributed Computing Perspective, Springer International Publishing.
- [3] Schill, A.; Springer, T. (2012): Verteilte Systeme – Grundlagen und Basistechnologien; 2. Auflage, Springer-Verlag.
- [4] Tanenbaum A. S.; Van Steen, M. (2013): Distributed Systems: Principles and Paradigms. Pearson.
- [5] Tanenbaum, A. S.; Bos, H. (2016): Modern Operating Systems, 4th Edition, Pearson.
- [6] Blokland, K.; Mengerink, J.; Pol, M.; Rubruck, D. (2016): Cloud-Services testen. Von der Risikobetrachtung zu wirksamen Testmaßnahmen. 1. Auflage, Heidelberg, dpunkt.verlag.
- [7] Luntovskyy, A.; Guetter, D.; Melnyk, I. (2011): Planung und Optimierung von Rechnernetzen: Methoden, Modelle, Tools für Entwurf, Diagnose und Management im Lebenszyklus von drahtgebundenen und drahtlosen Rechnernetzen. V+T/ Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- [8] Luntovskyy, A.; Spillner, J. (2017): Architectural Transformations in Network Services and Distributed Systems: Service Vision. Case Studies, Springer Nature Verlag.
- [9] Shanhe Yi, Zijiang Hao, Zhengrui Qin, Qun Li (2018): Fog Computing Platform and Applications, Dept. of Computer Science, College of William and Mary (Online): <http://www.cs.wm.edu/~zhengrui/>.
- [10] Lehmann, J. (2017): Wirtschaftsverbände arbeiten bei Industrie 4.0 eng zusammen, VDMA, ID 979115 (online): <http://www.vdma.org/article//articleview/979115/>.
- [11] Workshop der Fa. IBH IT-Service GmbH Dresden am 16.03.2017.
- [12] BA Dresden (Online 2018): [http:// https://www.ba-dresden.de/de/studium/studienangebot/it/aktuelles/](http://https://www.ba-dresden.de/de/studium/studienangebot/it/aktuelles/)
- [13] Spillner, J. (2015): Current and Future Platforms for Robotics, Manuscript to a probe talk for Habilitation, Dresden, 33 p.
- [14] Spillner, J. (2018): Keynote: Serverless Cyber-Physical Applications / Service Prototyping Lab Zürich, ZHAW, at Workshop Science Meets Industry, March 2018, Dresden, 20 p.
- [15] Neue EU-Datenschutzgrundverordnung (EU-DSGVO), (Online Mai 2018): <https://dsgvo-gesetz.de/>