

**Inhalt**

Abbildungsverzeichnis	3
-----------------------	---

Tabellenverzeichnis	5
---------------------	---

1    Literatur	11
----------------	----



---

## **Abbildungsverzeichnis**



## Tabellenverzeichnis

- Netzwerkaufbau
  - Edge Computing (zentrale Verwaltung)
  - Fog Computing (lokale Fahrzeuge schließen sich zu Rechenknoten zusammen)
  - “a horizontal system-level architecture that distributes computing, storage, and networking functions closer to the user along a cloud-to-thing continuum”  
OpenFog Consortium (Group, O.C.A.W., et al.: Openfog reference architecture for fog computing. OPFRA001 20817, 162 (2017))
  - Mist Computing
- Kommunikation
  - Zertifikate (Public/Private Key)
  - identitätsverschlüsselung
  - Belohnung für bereitgestellte Rechenleistung
- Ressourcenverteilung
  - Bestimmung der verfügbaren Rechenleistung
  - Optimierungsalgorithmen
  - Stackelberg Model
- Publish Subscribe
  - 
  - Optimierungsalgorithmen
  - Stackelberg Model
- Softwarearchitektur in Fahrzeugen
  - RTOS
  - Middle Layer (ROS, keine automotive alternative stand 2019)
  - Cloud

- Stand der Technik

- Cloud Computing

- \* IT resourcen werden flexibel nach Bedarf zur Verfügung bereitgestellt
    - \* Realisiert durch Rechenzentren, Kunden können Ressourcen mieten anstatt eigene Server betreiben
    - \* Ressourcen sind von verschiedenen Endgeräten erreichbar [SUN20]
    - \* Cloud kann öffentlich oder privat sein, privat für sensible Daten [IBR21]

- Internet of Things (IoT)

- \* Internet of Things (Internet der Dinge) bezeichnet eindeutig identifizierbare Objekte und deren virtuelle repräsentation in interent-ähnliche Strukturen[JIE13]
    - \* IoT findet mittlerweile in fast allen Bereichen Anwendung
    - \* Industrie: Produktionsanlagen, die durch vernetzte Systeme flexibel angepasst werden können (Beispiel: Produktvarianten)
    - \* Smart Home: Sensoren und Aktoren im Haus vernetzen [WOR15]

- Edge Computing

- \* Daten entstehen in Endgeräten, Applikationen, die die Daten verarbeiten sind zunehmend ebenfalls in Endgeräten
    - \* Beispiel Flugzeuge oder autonome Fahrzeuge, generieren Daten in Größe von mehreren Gb pro Sekunde [LIU19a]
    - \* Traditionell werden Daten in der Cloud ausgewertet und wieder an den Benutzer zur Verfügung gestellt, diese ist aber mit zusätzlichem Ressourcenaufwand verbunden wegen lange Übertragungsstrecken. [PÉR22]
    - \* Übertragung und Verarbeitung in der Cloud langsam/unmöglich wegen Bandbreite und Latenz
    - \* Edge Computing ist das Konzept, dass anstatt zentrale Cloud Server, Daten zunehmend auf Endgeräten verarbeitet werden [SHI16]
    - \* Edge bezeichnet Geräte zwischen Datenquellen und cloud server

- \* “a form of distributed computing in which processing and storage takes place on a set of networked machines which are near the edge, where the nearness is defined by the system’s requirements” (ISO/IEC: Tr 30164:2020 - internet of things (iot) -edge computing. Tech. rep., ISO/IEC (2020))
- \* Motivation: Latenzreduzierung, unbenutzte Ressourcen verwenden
- \* Anwendungsfälle:
  - Cloud Berechnungen auslagern
  - Smart Home, Daten lokal auswerten statt alles in die Cloud laden
  - Smart City
- Fog Computing
  - \* Fog Computing: Eine Form von Edge Computing, zusätzliche Schicht zwischen Endgeräte und Cloud
  - \* Edge Geräte kommunizieren mit Fog nodes, die wiederum für die Kommunikation zwischen Edge und Cloud zuständig sind
  - \* Fog nodes übernehmen Datenverarbeitung lokal, für nur Lokal benötigte Daten, Leiten nur relevante Daten an Cloud weiter
  - \* Fog nodes können PC-s, raspberry PI-s, nano-server, micro-datenzentren sein. [MAH20b]
  - \* Beispiele:
    - lot for All
    - FogFlow
  - \* Applikationsverwaltung:
    - Quality of service (QoS): Anforderungen der Applikation (Rechenaufwand, max Latenz, Bandbreite, Safety Relevanz)
    - Wie soll die Applikation zusammengesetzt sein
    - wie soll die Applikation platziert werden
    - Wie soll die Applikation verwaltet werden
    -

- Mist Computing
  - \* Datenverarbeitung direkt im Sensor.
  - \* Erlaubt z.b. einfache Monitoringfunktionen direkt im Sensor
  - \* Reduktion von benötigter Bandbreite und Rechenleistung in den übergeordneten Geräten
- Herausforderungen:
  - \* allgemeine Rechenaufgaben auf spezialisierte Hardware
  - \* Erkennung von Edge nodes
  - \* Effiziente Identifikation bei der großen und sich dynamisch ändernden Anzahl an Geräten
  - \* Task Auslagerung und Verteilung
  - \* Keine Beeinträchtigung der Funktionalität des Edge Gerätes (z.b. Überlastung)
  - \* Sicherheit
- Anwendungsfälle für Fahrzeuge:
  - \* Unbenutzte Rechenleistung von Hardware nutzen, autonome Fahrzeuge haben leistungsfähige Steuergeräte
  - \* Auslagerung von Rechenaufgaben auf Fahrzeuge in der Umgebung mit freier Rechenkapazitäten
  - \* Ausnutzung von Rechenleistung parkende Fahrzeuge
  - \* Möglichkeit, die unbenutzte Rechenleistung zu Vermieten (wie cloud service)
- Publish/Subscribe Kommunikation:
  - \* Modell für Nachrichtenbasierte Kommunikation [MAD18]
  - \* Ereignisbasierte Kommunikation
  - \* Teilnehmer kommunizieren indem sie Nachrichten mit bestimmten Themen veröffentlichen (Publisher), Empfänger können Themen abonnieren (Subscriber) und bekommen nur die abonnierten Nachrichten



- \* Kommunikation ist anonym
- \* Komponenten: Publisher, Broker, Subscriber
- \* Broker stellt Verbindungen zwischen Publisher und Subscriber her
- \* Broker speichert die Subscriptions (Abos)
- \* Weit verbreitete Implementierung: MQTT
- \* RTPS:
  - Real Time Publish Subscribe
  - Kommunikation erfolgt ebenfalls über Themen
  - Kein Broker, Teilnehmeridentifizierung erfolgt zur Laufzeit dezentralisiert
  - Quality of Service parameter: Reliable writer speichert Sequenznummer der Nachrichten und kann erneut versenden bei Übertragungsfehler, Best effort Writer hat diese Funktionalität nicht
  - Heartbeat message: writer gibt die verfügbaren nachrichten ID-s and
  - AckNack message: kommunikation von empfangenen und nicht erhaltenen Nachrichten
- Konzept UNICARagil:
  - Modulare Systemarchitektur in allen Domänen
  - Fahrzeuge können flexibel auf verschiedene Anwendungen angepasst werden: Taxi, Privatfahrzeug, Shuttle, Cargo
  - gemeinsamer mechanischer Plattform
  - Sensoren und Aktoren mit definierte Schnittstellen
  - Alle Fahrzeuge vernetzt: untereinander, zur Cloud, Infobiene, Benutzer
- Motivation:
  - Zunehmende digitalisierung in Arbeits- und Privatumfeld
  - Cloud Dienste bereits sehr verbreitet
  - steigende Zahl an vernetzte Endgeräte

- Daten entstehen an Endgeräten, verarbeitete Daten werden ebenfalls an Endgeräten benötigt
- Cloud basierte ansätze erfordern immer höhere Bandbreite und zentralisierte Rechenleistung
- Endgeräte haben immer höhere Rechenleistung, die oft unbenutzt bleibt
- So auch in Fahrzeugen, die wegen autonome Fahrfunktionen deutlich mehr rechenleistung bekommen
- Ungenutzte Rechenleistung kann für externe Anwendungen zur verfügung gestellt werden
- Dezentralisierte Rechenleistung verringert physikalische Distanz zwischen Entstehung und Verarbeitung der Daten
- Einsparung an Bandbreite und zusätzliche Server Rechenleistung

## 1 Literatur

- [CHE18] CHENG , B., SOLMAZ , G., CIRILLO , F., KOVACS , E., TERASAWA , K., KITAZAWA , A.  
„FogFlow: Easy Programming of IoT Services Over Cloud and Edges for Smart Cities“  
In: *IEEE Internet of Things Journal* 5.2 (Apr. 2018), S. 696–707  
ISSN: 2327-4662  
DOI: 10.1109/JIOT.2017.2747214
- [CHU16] CHUN , S., SHIN , S., SEO , S., EOM , S., JUNG , J., LEE , K.-H.  
„A Pub/Sub-Based Fog Computing Architecture for Internet-of-Vehicles“  
In: *2016 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*  
ISSN: 2330-2186  
Dez. 2016,  
S. 90–93  
DOI: 10.1109/CloudCom.2016.0029
- [DOL04] DOLEJS , O., SMOLIK , P., HANZALEK , Z.  
„On the Ethernet use for real-time publish-subscribe based applications“  
In: *IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, 2004. Proceedings.*  
Sep. 2004,  
S. 39–44  
DOI: 10.1109/WFCS.2004.1377674
- [EVE99] EVENSKY , D. A., GENTILE , A. C., WYCKOFF , P., ARMSTRONG , R. C.  
„The Lilith Framework for the Rapid Development of Secure Scalable Tools for Distributed Computing“ en  
In: *Distributed Applications and Interoperable Systems II*  
Hrsg. von L. Kutvonen, H. König und M. Tienari  
IFIP — The International Federation for Information Processing  
Springer US, Boston, MA, 1999,  
S. 163–168  
ISBN: 9780387355658  
DOI: 10.1007/978-0-387-35565-8\_12
- [HOU16] HOU , X., LI , Y., CHEN , M., WU , D., JIN , D., CHEN , S.  
„Vehicular Fog Computing: A Viewpoint of Vehicles as the Infrastructures“  
In: *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 65.6 (Juni 2016), S. 3860–3873

ISSN: 1939-9359

DOI: 10.1109/TVT.2016.2532863

- [HOU17] HOU , L., LEI , L., ZHENG , K.  
„Design on Publish/Subscribe Message Dissemination for Vehicular Networks with Mobile Edge Computing“  
In: *2017 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*  
Dez. 2017,  
S. 1–6  
DOI: 10.1109/GLOCOMW.2017.8269200
- [HUA18] HUANG , X., YU , R., LIU , J., SHU , L.  
„Parked Vehicle Edge Computing: Exploiting Opportunistic Resources for Distributed Mobile Applications“  
In: *IEEE Access* 6 (2018), S. 66649–66663  
ISSN: 2169-3536  
DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2879578
- [HUA20] HUANG , X., YE , D., YU , R., SHU , L.  
„Securing parked vehicle assisted fog computing with blockchain and optimal smart contract design“  
In: *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica* 7.2 (März 2020), S. 426–441  
ISSN: 2329-9274  
DOI: 10.1109/JAS.2020.1003039
- [IBR21] IBRAHIM , I. M., AL , E.  
„Task Scheduling Algorithms in Cloud Computing: A Review“ en  
In: *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)* 12.4 (Apr. 2021), S. 1041–1053  
ISSN: 1309-4653  
DOI: 10.17762/turcomat.v12i4.612  
URL: <https://turcomat.org/index.php/turkbilmat/article/view/612> (besucht am 24. 10. 2022)
- [JIE13] JIE , Y., PEI , J. Y., JUN , L., YUN , G., WEI , X.  
„Smart Home System Based on IOT Technologies“  
In: *2013 International Conference on Computational and Information Sciences*  
Juni 2013,  
S. 1789–1791  
DOI: 10.1109/ICCIS.2013.468

- [KAM19a] KAMPMANN , A., ALRIFAE , B., KOHOUT , M., WÜSTENBERG , A., WOOPEN , T., NOLTE , M., ECKSTEIN , L., KOWALEWSKI , S.  
„A dynamic service-oriented software architecture for highly automated vehicles“  
In: *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*  
IEEE, 2019,  
S. 2101–2108
- [KAM19b] KAMPMANN , A., WÜSTENBERG , A., ALRIFAE , B., KOWALEWSKI , S.  
„A Portable Implementation of the Real-Time Publish-Subscribe Protocol for Microcontrollers in Distributed Robotic Applications“  
In: *2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)*  
Okt. 2019,  
S. 443–448  
DOI: 10.1109/ITSC.2019.8916835
- [KAM22] KAMPMANN , A., LÜER , M., KOWALEWSKI , S., ALRIFAE , B.  
„Optimization-based Resource Allocation for an Automotive Service-oriented Software Architecture“  
In: *2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*  
IEEE, 2022,  
S. 678–687
- [LEW96] LEWIS , M., GRIMSHAW , A.  
„The core Legion object model“  
In: *Proceedings of 5th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing*  
ISSN: 1082-8907  
Aug. 1996,  
S. 551–561  
DOI: 10.1109/HPDC.1996.546226
- [LIU19a] LIU , S., LIU , L., TANG , J., YU , B., WANG , Y., SHI , W.  
„Edge Computing for Autonomous Driving: Opportunities and Challenges“  
In: *Proceedings of the IEEE* 107.8 (Aug. 2019), S. 1697–1716  
ISSN: 1558-2256  
DOI: 10.1109/JPROC.2019.2915983
- [LIU19b] LIU , Y., YU , H., XIE , S., ZHANG , Y.  
„Deep Reinforcement Learning for Offloading and Resource Allocation in Vehicle Edge Computing and Networks“

- In: *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 68.11 (Nov. 2019), S. 11158–11168  
ISSN: 1939-9359  
DOI: 10.1109/TVT.2019.2935450
- [LIU20] LIU , L., LU , S., ZHONG , R., WU , B., YAO , Y., ZHANG , Q., SHI , W.  
*Computing Systems for Autonomous Driving: State-of-the-Art and Challenges*  
Techn. Ber.  
arXiv:2009.14349 [cs] type: article  
arXiv, Dez. 2020  
URL: <http://arxiv.org/abs/2009.14349> (besucht am 19. 10. 2022)
- [MAD18] MADE WIRAWAN , I., DWI WAHYONO , I., IDFI , G., RADITYO KUSUMO , G.  
„IoT Communication System Using Publish-Subscribe“  
In: *2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication*  
Sep. 2018,  
S. 61–65  
DOI: 10.1109/ISEMANTIC.2018.8549814
- [MAH20a] MAHARJAN , A. M. S., ELCHOUEMI , A.  
„Smart Parking Utilizing IoT Embedding Fog Computing Based on Smart Parking Architecture“  
In: *2020 5th International Conference on Innovative Technologies in Intelligent Systems and Industrial Applications (CITISIA)*  
Nov. 2020,  
S. 1–9  
DOI: 10.1109/CITISIA50690.2020.9371848
- [MAH20b] MAHMUD , R., RAMAMOHANARAO , K., BUYYA , R.  
„Application Management in Fog Computing Environments: A Taxonomy, Review and Future Directions“  
In: *ACM Computing Surveys* 53.4 (Juli 2020), 88:1–88:43  
ISSN: 0360-0300  
DOI: 10.1145/3403955  
URL: <https://doi.org/10.1145/3403955> (besucht am 15. 12. 2022)
- [MOK20] MOKHTARIAN , A., KAMPMANN , A., ALRIFAEI , B., KOWALEWSKI , S.  
*The Dynamic Service-oriented Software Architecture for the UNICARagil Project* de

Techn. Ber.

Institute for Automotive Engineering, RWTH Aachen University ; Aachen :  
Institute for Combustion Engines, RWTH Aachen University, 2020

DOI: 10.18154/RWTH-2020-11256

URL: <https://publications.rwth-aachen.de/record/807282> (besucht am 25. 10. 2022)

- [MOK21] MOKHTARIAN , A., KAMPMANN , A., ALRIFAEI , B., LÜER , M., KOWALEWSKI , S.

*A Cloud Architecture for Networked and Autonomous Vehicles* de

Techn. Ber. 2

Elsevier, 2021,

S. 233

DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.06.028

URL: <https://publications.rwth-aachen.de/record/828696> (besucht am 02. 11. 2022)

- [PÉR22] PÉREZ , J., DÍAZ , J., BERROCAL , J., LÓPEZ-VIANA , R., GONZÁLEZ-PRIETO , Á.

„Edge computing“ en

In: *Computing* (Juli 2022)

ISSN: 1436-5057

DOI: 10.1007/s00607-022-01104-2

URL: <https://doi.org/10.1007/s00607-022-01104-2> (besucht am 11. 10. 2022)

- [QIA09] QIAN , L., LUO , Z., DU , Y., GUO , L.

„Cloud Computing: An Overview“ en

In: *Cloud Computing*

Hrsg. von M. G. Jaatun, G. Zhao und C. Rong

Lecture Notes in Computer Science

Springer, Berlin, Heidelberg, 2009,

S. 626–631

ISBN: 9783642106651

DOI: 10.1007/978-3-642-10665-1\_63

- [SAI21] SAITO , T., NAKAMURA , S., ENOKIDO , T., TAKIZAWA , M.

„A Topic-Based Publish/Subscribe System in a Fog Computing Model for the IoT“ en

In: *Complex, Intelligent and Software Intensive Systems*

Hrsg. von L. Barolli, A. Poniszewska-Maranda und T. Enokido

Advances in Intelligent Systems and Computing  
Springer International Publishing, Cham, 2021,  
S. 12–21

ISBN: 9783030504540

DOI: 10.1007/978-3-030-50454-0\_2

- [SHI16] SHI , W., CAO , J., ZHANG , Q., LI , Y., XU , L.  
„Edge Computing: Vision and Challenges“  
In: *IEEE Internet of Things Journal* 3.5 (Okt. 2016), S. 637–646  
ISSN: 2327-4662  
DOI: 10.1109/JIOT.2016.2579198

- [SUN20] SUNYAEV , A.  
„Cloud Computing“ en  
In:  
Hrsg. von A. Sunyaev  
Springer International Publishing, Cham, 2020,  
S. 195–236  
ISBN: 9783030349578  
DOI: 10.1007/978-3-030-34957-8\_7  
URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-34957-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-34957-8_7) (besucht am  
24. 10. 2022)

- [VAR16] VARGHESE , B., WANG , N., BARBHUIYA , S., KILPATRICK , P., NIKOLO-  
POULOS , D. S.  
„Challenges and Opportunities in Edge Computing“  
In: *2016 IEEE International Conference on Smart Cloud (SmartCloud)*  
Nov. 2016,  
S. 20–26  
DOI: 10.1109/SmartCloud.2016.18

- [WOR15] WORTMANN , F., FLÜCHTER , K.  
„Internet of Things“ en  
In: *Business & Information Systems Engineering* 57.3 (Juni 2015), S. 221–  
224  
ISSN: 1867-0202  
DOI: 10.1007/s12599-015-0383-3  
URL: <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3> (besucht am  
26. 10. 2022)

- [WU21] WU , Y., WU , J., CHEN , L., ZHOU , G., YAN , J.



„Fog Computing Model and Efficient Algorithms for Directional Vehicle Mobility in Vehicular Network“

In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 22.5 (Mai 2021), S. 2599–2614

ISSN: 1558-0016

DOI: 10.1109/TITS.2020.2971343

