

# 5G Edge Cloud Architektur

Julian Beck

Betreuer: Prof. Dr. rer. nat. Oliver Waldhorst

**Zusammenfassung** Die Edge Cloud wird in dem Zeitalter von 5G eine wichtige Rolle spielen. Als ein Bestandteil der 5G-Netzwerkarchitektur bietet es nicht nur eine Vielzahl von Cloud-Ressourcen, sondern ermöglicht neue Plattformen für Drittanbieter und das Entwickeln von neuen Erfahrungen für den Nutzer. Multi-Access Edge Computing (MEC) bietet Speicher- und Rechenressourcen in der Nähe des Endgerätes, eine besser Latenzzeit für mobile Endbenutzer und effizientere Nutzung des Mobile Backhaul und Core Netzwerkes. Diese Seminararbeit erläutert, welche Technologien MEC ermöglicht und geht auf die Architekturen hinter Multi-Access Edge Computing ein.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	3
1.1	Problem.....	3
2	Benötigte Technologien .....	3
2.1	Edge Computing .....	3
2.2	5G Network .....	5
2.3	5G Edge Computing .....	5
2.4	Network-Function Virtualisierung .....	5
2.4.1	NFV Architektur und Orchestration Framework: .....	6
2.4.2	5G Edge Cloud und NFV: .....	6
2.5	Software-defined Networking .....	6
2.6	Virtuelle Maschinen und Container .....	7
3	MEC Framework - Referenz Architektur .....	8
3.1	Multi-access Edge Computing Framework .....	8
3.1.1	Netzwerk Ebene: .....	8
3.1.2	MEC Host .....	8
3.1.3	MEC host level management: .....	9
3.1.4	MEC system level management: .....	9
3.2	Beispiel einer Anfrage .....	9
3.3	Weitere Frameworks .....	9
4	Mobilitätsmanagement in Mobile Edge Clouds .....	9
4.1	Verschieben der Anwendung und deren Zustand .....	10
4.2	VM Handoff .....	10
4.3	MEC Service Orchestrierung .....	11
4.4	MEC Mobilität .....	11
4.5	MEC Deployment .....	11
5	Anwendungen .....	11
5.1	Internet of Things .....	11
5.2	Smart Factories .....	11
5.3	Autonomes Fahren .....	11
6	Fazit und Ausblick .....	11
6.1	Fazit .....	11
6.2	Ausblick .....	11
6.3	Angebote .....	11
	Literatur .....	12

## 1 Einleitung

In den letzten zehn Jahren haben Fortschritte im Cloud-Computing einen zentralisierten Ansatz für die Systemadministration und den Systembetrieb verfolgt, während das Wachstum von Mobile Computing, SaaS und dem Internet der Dinge (IoT) das Computing in Richtung einer verteilten Architektur in der Nähe des Anwenders getrieben hat. Mit der Einführung von 5G- und Edge-Computing-Technologien möchten Unternehmen nun beide Ansätze kombinieren.

5G und Edge Computing sind zwei relativ neue Technologien, die aber ähnliche Ziele verfolgen. Beide sind darauf ausgerichtet, die Leistung von Anwendungen zu verbessern und die Verarbeitung von großer Datenmengen in Echtzeit zu ermöglichen. 5G erhöht die Geschwindigkeit um das Zehnfache gegenüber 4G, während Edge Computing die Latenz verringert, indem Rechenfunktionen näher am Endbenutzer in das Netzwerk integriert werden.

Während Telekommunikationsbetreiber berichten, dass 5G im Netzwerkgeschwindigkeiten liefern kann, die mehr als zwanzigmal schneller sind als LTE1, spiegelt dies nicht die Erfahrung eines durchschnittlichen Benutzers wieder. Die Edge Cloud kommt an dieser Stelle ins Spiel und verbessert die Latenz und damit auch die Anwendungsmöglichkeiten von 5G. Gleichzeitig benötigt 5G das Edge Computing, um die Nachfrage zu steigern.

### 1.1 Problem

5G Edge Computing bietet sich für folgende Anwendungen an

- Caching von Anwendungen und Videos
- Rechenressourcen an die Aufgaben übergeben werden können um mobile Endgeräte zu entlasten
- Bearbeitung und Aggregation von IoT Daten.
- Rendern von Videospielen auf der EDGE Cloud.

Die Anwendungsbeispiele werden in Kapitel 5 genauer erläutert.

## 2 Benötigte Technologien

### 2.1 Edge Computing

Bei Cloud-Computing werden Rechenressourcen über ein Netzwerk zu Verfügung gestellt. Beim Edge Computing wird die Berechnung und Speicherung von Daten in die Nähe der Quelle gebracht, an den sogenannten Rand oder *Edge* des Netzwerks. Im Gegensatz zum Cloud Computing werden die Daten nicht an zentralen Rechenzentren verarbeitet, sondern an dezentralen Cloud Systemen am Rand des Netzwerks. Folgende Vorteile bringt Edge Computing: [5]

- **Geschwindigkeit und Latenz:** Abhängig von der Anwendungen spielt die Zeit der Datenverarbeitung eine entscheidende Rolle. Beispielsweise bei Autonomen Fahrzeugen ist es wichtig, dass innerhalb von Millisekunden die Daten verarbeitet werden. Auch bei digitalen Fabriken ist es meist zu langsam die Daten zu einer zentralen Cloud und zurück zu senden. Wenn die Datenverarbeitung auf den Rand des Netzwerks verlegt wird, wird die Latenz des Netzwerks verringert und schneller auf Anfragen geantwortet.
- **Netzlast:** Da das die Daten nicht zu einer zentralen Cloud gesendet werden, sondern am Rand des Netzwerks verarbeitet werden, verringert sich nicht nur die Latenz, sondern auch die Netzlast des gesamten Netzwerks. Die Daten müssen nicht weitreichend weiter gesendet werden, stattdessen werden sie dezentral in der Nähe der Anwendungen verarbeitet.
- **Security:** Wenn Daten an einem zentralen Cloud verarbeitet werden ist dies unter bestimmten Umständen anfälliger für ein Ausfall. So kann beispielsweise ein DDoS-Angriff den gesamten Betrieb eines Unternehmens stören, wenn alle Systeme mit einer zentralen Cloud arbeiten. Da bei Edge Computing kein einziges Zentrales Systeme existiert, verringert sich die Auswirkung eines solchen Angriffes für das ganze Unternehmen. Edge Computing hilft Unternehmen auch dabei, die Probleme der lokalen Compliance- und Datenschutzbestimmungen zu überwinden, da die Daten auf lokalen Systemen verarbeitet werden.
- **Kosteneinsparungen:** Durch Internet Off Things Geräte oder durch eine Smart Factories werden eine Vielzahl an Daten generiert. Nicht alle Daten sind dabei kritisch für die Operation der Systeme. Edge Computing erlaubt das Kategorisieren der Daten. In dem ein Großteil der Verarbeitung am Rand des Netzwerks stattfindet wird Bandbreite gespart. Dies optimiert den Datenfluss von lokalen Anwendungen und minimiert somit die Betriebskosten einer zentralen Cloud.
- **Zuverlässigkeit:** Wenn Edge-Geräte Daten lokal speichern und verarbeiten können, verbessert dies die Zuverlässigkeit. Ein Unternehmen ist nicht auf die Verbindung auf zur zentralen Cloud angewiesen und eine vorübergehende Unterbrechungen der Verbindung hat keine Auswirkungen auf den Betrieb von Geräte, nur weil sie die Verbindung zur Cloud verloren haben.
- **Skalierbarkeit:** Bei Cloud-Computing-Architekturen müssen Daten in den meisten Fällen zunächst an ein zentral gelegenes Rechenzentrum weitergeleitet werden. Das Erweitern oder sogar nur das Ändern dedizierter Rechenzentren ist eine teure Angelegenheit. Darüber hinaus können IoT-Geräte zusammen mit ihren Verarbeitungs- und Datenverwaltungstools am Rande einer einzelnen Implantation bereitgestellt werden, anstatt auf die Koordination der Bemühungen von Mitarbeitern an mehreren Standorten zu warten.

## 2.2 5G Network

Das 5G-Netzwerk wurde so entwickelt, um Dienste zu unterstützen, die eine Verwendung durch die Industrie mithilfe Techniken wie Network-Function Virtualisierung und Software Defined Networking ermöglichen. Klassischerweise wurden mobile Netzwerke in erster Linie für den Smartphone Geräte konzipiert. Dies ändert sich bei dem 5G Netzwerk, durch eine Vielzahl von Anwendungen und unterschiedliche Datenanforderungen, muss das Netzwerk so konzipiert sein um alle diese Anforderungen zu erfüllen.

Bei der 5G Architektur sind die Funktionen der Control Plane (CP) von der User Plane (UP) getrennt, um diese unabhängig skalieren zu können. Dies ermöglichen Netzbetreiber das Anpassen und Skalieren des Netzwerks an die Benötigten Anforderungen. Beim Entwurf von 5G war die Minimierung der Abhängigkeiten zwischen dem Access Network (AN) und dem Core Network (CN) mit einem konvergierten zugangsunabhängigen Kernnetzwerk mit einer gemeinsamen AN-CN-Schnittstelle, die verschiedene 3GPP- und Nicht-3GPP-Schnittstellen integriert Zugriffstypen.

Die Darstellung zeigt die einzelnen Komponenten in Form einer Service basierten Darstellung. [1]

- Authentication Server Function (AUSF)
- Core Access and Mobility Management Function (AMF)
- Network Exposure Function (NEF)
- Session Management Function (SMF)
- Unified Data Management (UDM)
- User plane Function (UPF)
- Policy Control function (PCF)
- Radio Access Network ((R)AN)

## 2.3 5G Edge Computing

## 2.4 Network-Function Virtualisierung

Network-Function Virtualisierung (NFV) erlaubt es Netzwerk Funktionen von der Hardware zu entkoppeln. Dies erlaubt das Verwenden von Gateways, Firewalls, DNS Services und Caching ohne proprietär Hardware.

Um ein neues Netzwerk zu erstellen, wird eine Vielzahl von verschiedenen Hardware Komponenten benötigt. Diese benötigen Platz, Energy und müssen von qualifizierten Personal überwacht und gewartet werden. Network-Function Virtualisierung will diese Probleme lösen, in dem Virtualisierungstechniken auf standard Server Hardware Komponenten verwendet werden. Folgende Vorteile werden durch NFV erzielt und sind Relevant 5G Edge Clouds: [7]

- **Skalierbarkeit und Flexibilität:** Die Virtualisierung erlaubt eine einfache Skalierung der Ressourcen. So kann bei einer großen Nachfrage die Services skaliert werden. Es können auch schnell mehrere Instanzen einer Komponente auf der einer VM gestartet werden.
- **Kosteneinsparungen:** Durch die Verwendung von Standard Komponenten werden die Kosten und der Energieverbrauch minimiert.
- **Anpassungsfähigkeit:** Die Virtualisierung erlaubt eine schnelle Anpassung an Anforderungen eines Kunden. Die Server können durch der Virtualisierung von mehreren Nutzern gleichzeitig verwendet werden und gleichzeitig die Anforderungen des jeweiligen Kunden erfüllen.
- **Verbesserte Effizienz durch homogene Systeme:**

**2.4.1 NFV Architektur und Orchestration Framework:** Das Europäische Institut für Telekommunikationsnormen *ETSI* hat ein Standard für ein NFV Framework veröffentlicht. Dieser Standard definiert sogenannte Virtualized Network Functions *VNF*, welche Netzwerk Funktionen in Software abbilden. Die *VNFs* werden in der *NFV* Infrastruktur *NFVI* deployed. Die *NFV* Infrastruktur besteht aus den enthält die Hardware Komponenten wie CPU und Speicher, aber auch die Virtualisierungslayer.

Der *NFV MANO* (NFV Management und Orchestrierung) Layer verwaltet die Infrastruktur und passt diese an die Anforderungen an. Der VM lifecycle wird auch von *NFV MANO* verwaltet, wenn eine VM abstürzt wird sie von diesem neugestartet.

**2.4.2 5G Edge Cloud und NFV:** Die Network-Function Virtualisierung spielt eine Schlüsselrolle für die Umsetzung einer 5G Edge Cloud. *NFV* erlaubt *Network Slicing*, ein Aspekt der virtuellen Netzwerkarchitektur, mit dem mehrere virtuelle Netzwerke auf einer gemeinsam genutzten Infrastruktur bereitgestellt werden können. *NFV* ermöglicht die 5G-Virtualisierung, sodass das physische Netzwerk in mehrere virtuelle Netzwerke unterteilt werden können. Dies erlaubt es unterschiedliche Radio Access Networks (*RAN*) oder verschiedene Arten von Diensten gleichzeitig anzubieten. Der Anwender merkt dabei kein Unterschied, da die Network Slices voneinander isoliert sind. *NFV* ist für die Skalierbarkeit, Flexibilität und Migration in einer 5G Edge Cloud wichtig. So kann wenn die Anfragen an eine Anwendung steigt, nicht nur die Ressourcen für die Anwendung an sich einfach skaliert werden, sondern durch das hinzufügen einer neuen Software Instant in der *NFVI*, kann auch die Netzwerkinfrastruktur mit skaliert werden. [4]

## 2.5 Software-defined Networking

Neben *NFV*, ist auch Software Defined Networking (*SDN*) ein Schlüssel für Virtualisierung von Netzwerken. Bei einem *SDN* ist die Steuerung des Netzwerks von der Hardware getrennt. Es wird zwischen einem Controller, einer Southbound und einer Northbound API unterschieden. Die Southbound APIs führt

die Anweisungen nimmt und gibt Informationen des Controllers weiter an Netzwerkgeräte wie Switches, Access Points und Router weiter. Der Controller ist das zentrale Element eines *SDN* Netzwerkes, er ermöglicht ein zentrales managen und steuern des Netzwerkes. Die Northbound API gibt Informationen an den Controller weiter. Es ist die schnittstelle zwischen Anwendungen und dem *SDN* Controller.[8]

Software Defined Networking kann so *MEC* unterstützen, indem es automatisch und flexibel service management durchführt. Da bei einem SDN die Daten und Controll Ebene durch die Southbound und Northbound API getrennt ist, führt SDN eine zentrale Steuerung ein, mit der virtuelle Netzwerkinstanzen einfach instanziiert und angeboten werden können, indem die zugrunde liegende Netzwerkinfrastruktur abstrahiert wird.

Im Kontext von MEC kann der SDN-Controller MEC-bezogene VNFs, VMs und Container als eine weitere Netzwerkkomponente behandeln, der dynamisch zugewiesen und neu lokalisiert werden kann. So kann der SDN flexibel Service anpassen und dynamisch Dienste bereitstellen, indem er VNFs und MEC Dienste verbindet. Gleichzeitig kann er die mobilität der Dienste ermöglichen.

Die Kombination von SDNs und NFV erlaubt das erstellen von Network Slices.

## 2.6 Virtuelle Maschinen und Container

Eine Cloud Plattform besteht typischerweise aus einer Anzahl an Maschinen die durch ein Hypervisor zu einer zentralen Maschine zusammen gefasst werden. Dieser kann isolierte Virtuelle Maschinen erstellen und ausführen und dient als Abstraktionsebene, unabhängig von der Hardware auf denen die VMs laufen.

Eine leichgewichtige Alternative zur Hypervisor-basierten Virtualisierung ist die containergestützte Virtualisierung. Diese im Vergleich zu anderen Virtualisierungslösungen eine andere Abstraktionsebene in Bezug auf Virtualisierung und Isolation. Container implementieren die Isolierung auf OS Ebene und vermeiden so die Virtualisierung von Hardware und Treibern. Insbesondere teilen sich Container denselben Kernel mit dem zugrunde liegenden Hostcomputer. Dies macht Container sehr leichgewichtig und flexibel im Gegensatz zu VM. Typischerweise führt ein Container genau ein Service aus, was eine schnelle Migration ermöglicht.

Im Blick auf *MEC* ermöglichen Container eine leichgewichtige Virtualisierungslösung. So eignen sich die Container als eine portable Laufzeit Umgebung für MEC-Dienste. Einzelne Dienste können in Containern ausgeführt werden und sind so isoliert und können einfach verwaltet und gesteuert werden. Für die Umsetzung bietet sich die mittlerweile weitverbreitete Containerlösung Docker an. Hier stehen mit Kubernetes auch Orchestrierungs und Clustering Tools zur Verfügung [6]

### 3 MEC Framework - Referenz Architektur

Folgendes Kaptiel zeigt die dem European Telecommunications Standards Institute (ETSI) beschriebene Referenz Architektur zur Implementation eines *MEC* Systems.

*ETSI* beschreibt dabei in ihrer Spezifikation *Multi-access Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture* [2] ein Framework und eine Referenz Architektur.

#### 3.1 Multi-access Edge Computing Framework

Das Framework unterscheidet die einzelnen Komponenten die für die Edge Cloud benötigt werden in drei Ebenen. Die Komponenten werden dabei auf Infrastruktur virtualisiert am Rande des Netzwerks ausgeführt. Dies ist möglich durch die in Kapitel 2 vorgestellten Technologien. Die Grafik X zeigt die Komponenten des Frameworks

**3.1.1 Netzwerk Ebene:** Die unterste Ebene des Frameworks ist die Netzwerk Ebene. Sie ermöglicht die Verbindung zu dem lokalen und externen Netzwerk. Die 3GPP Komponente steht für 3rd Generation Partnership Project, was ein Überbegriff für die mobilen Telekommunikationsstandards sind wie LTE und 5G.

**3.1.2 MEC Host** Der MEC Host enthält die MEC Platform und die Infrastruktur auf der die Anwendungen in der Edge Cloud betreiben werden. Die Infrastruktur stellt Rechen-, Speicher- und Netzwerkressourcen virtualisiert zur Verfügung. Als Virtualisierungslösung kann die in Kapitel 2.4 eingeführte Network-Function Virtualisierung Infrastruktur eingesetzt werden. Der MEC Host besteht aus zwei weiteren Komponenten:

**MEC Platform:** Die MEC Platform dient als eine Art Registry Anwendungen die auf der MEC Infrastruktur laufen. Die Platform bietet eine Umgebung, in der MEC Anwendungen sich anmelden können, andere Anwendungen anfragen können. Die Platform ist auch für DNS Records zuständig. Die MEC Platform nimmt Befehle des MEC Platform Managers entgegen und passt die DNS Records, Proxies an. Desweiteren verwaltet er auch den Persistent Storage.

**MEC Anwendungen:** Multi-Access Edge Computing Anwendungen werden in einer Virtuellen Maschine oder als Container auf der Infrastruktur des MEC Hosts ausgeführt. Die Anwendungen registrieren sich bei der MEC Platform Komponente um darüber andere Anwendungen anzufragen und ihren Service zur Verfügung zu stellen.



**3.1.3 MEC host level management:** Auf der Host Ebene ist auch die MEC Host Level Management Komponente. Ähnlich wie der MEC Host, ist diese in weitere Komponenten aufgeteilt:

**MEC Platform Manager:** Der Platform Manager ist verwaltet den Lifecycle der Anwendungen. Er startet, stoppt und neustartet diese. Gleichzeitig informiert er den Multi-Access edge Orchestrator über wichtige Events der Anwendungen. Eine weitere Aufgabe ist das Verwalten und Managen von Autorisierung und DNS Configurationen und Problemen. Desweiteren erhält der Platform Manager Fehlerberichte und Informationen über die Infrastruktur von dem Virtualisierungs Infrastruktur Manager.

**Virtualization infrastructure manager** Die zweite Komponente in im Host level management ist der Virtualization infrastructure manager. Dieser ist für das Zuweisen, Verwalten und Freigeben von virtualisierten (Rechen-, Speicher- und Netzwerkressourcen) Ressourcen der Virtualisierungsinfrastruktur zuständig. Der Manager ist dabei auch für das Konfigurieren der Infrastruktur für ein neues Software Image verantwortlich. Dazu gehört das Herunterladen und Speichern der Images. Dabei kann der Manager auch Infrastructure-as-a-service Systeme wie Openstack unterstützen. Performance- und Fehlerdaten werden auch der Komponente gesammelt.

Kommt es zu einer Verschiebung einer Anwendung, in der eine laufende Anwendung zu einer externen Cloud umgezogen wird, interagiert der Virtualization infrastructure manager mit der externen Cloud um den Handoff an die neue Cloud durchzuführen. Wie so ein Handoff zwischen zwei Edge Clouds ablaufen kann wird in Kapitel ?? genauer erläutert.

**3.1.4 MEC system level management:**

**3.2 Beispiel einer Anfrage**

**3.3 Weitere Frameworks**

## 4 Mobilitätsmanagement in Mobile Edge Clouds

Die Mobilität von Endgeräten im 3GPP Netzwerken, kann dazu führen, dass ein UE sich von einer Radio Station zu nächsten bewegt. Das Verwalten und Aufrechterhalten dieser Verbindungen in Funknetzen wird als Mobilitätsmanagement bezeichnet und ist eine Kernkomponente von Funknetzen. Wird eine aktive Funkverbindung von einer Netzwerkzelle zu einer anderen weitergegeben, wird der Vorgang der Übergabe als Handoff oder Handover bezeichnet.

Die Mobilität des Endgerätes kann dazu führen, dass sich das UE zu einer anderen Zelle bewegt, die einem anderen MEC-Host zugeordnet ist. Dabei muss sichergestellt werden, dass der Netzwerkverkehr richtig geroutet wird um das Ziel zu erreichen. Entfernt sich das Endgerät weiter vom Ort der MEC-Anwendung,

kann dies dazu führen, dass die Latenz sich erhöht. Deshalb ist es wichtig, dass je nach Anwendung, die laufende Anwendungsinstanz verschoben wird um die Latenz Anforderungen zu erfüllen.

Die Häufigkeit eines Wechsel der MEC Hosts, hängt stark von dem Einsatz ab. Bei der Verwendung von MEC für Autonomes Fahren treten häufiger Handover Events ein, wie bei beispielsweise Smart Factories.

Die Mobilität eines UEs kann in weitreichenden MEC-Systemen vorhergesagt werden und die einzelnen MEC-Host demnach konfiguriert werden, dennoch muss der Zustand der Anwendung übertragen werden. Dieses Kapitel beschreibt wie verschiedene Handoff Events ablaufen.

#### 4.1 Verschieben der Anwendung und dessen Zustand

Bewegt sich das UE im Funknetz und ist möglicherweise ein anderer Ziel MEC-Host geeigneter als der aktuelle MEC - Host, muss die Anwendung umziehen. Die MEC-Anwendungen werden in zustandslose und zustandsbehaftete Anwendungen eingeteilt. Handelt es sich um eine zustandsbehaftete Anwendung, erfordert das Umziehen der Anwendung ein Synchronisieren des Zustands zwischen der aktuellen und der verschobenen Anwendungsinstanz, um Kontinuität zu gewährleisten muss auch umgezogen werden.

Das Synchronisieren des Zustands muss bei dem Entwickeln der Anwendungen berücksichtigt werden. Diese muss so designt sein, dass die Anwendung in mehreren Instanzen auf unterschiedlichen MEC-Hosts betrieben werden kann. Für das Synchronisieren muss die Anwendungen das Feststellen des Zustands und kopieren dessens von einer Quell- Anwendung zu einer Zielanwendung unterstützen. Läuft die Anwendung noch nicht auf dem Ziel Host, muss diese initialisiert und gestartet werden. Nachdem die Anwendung gestartet ist, startet der Umzugsvorgang und der Zustand wird von dem aktuellen Host zu dem Ziel MEC-Host übertragen. Wenn der Zustand vollständig übertragen ist, stoppt die aktuelle Instanz und die Ziel Instanz übernimmt das kommunizieren mit dem Endgerät. Für das Erkennen von UE Mobilität zu einer neuen Zelle, abonniert die MEC Plattform Radio Network Information die von dem RNIS zu Verfügung gestellt werden. Mithilfe dieser Informationen können UEs identifiziert werden bei denen eine Zelländerung auftritt und bestimmen werden, ob sie aus dem Versorgungsbereich des aktuellen MEC-Hosts herausbewegen.

#### 4.2 VM Handoff

Eine vorgeschlagene Möglichkeit [2] für das Umziehen laufenden Anwendungen von einem MEC-Host zu einem Ziel MEC-Host, ist der VM Handoff. [3]

#### **4.3 MEC Service Orchestrierung**

#### **4.4 MEC Mobilität**

#### **4.5 MEC Deployment**

### **5 Anwendungen**

#### **5.1 Internet of Things**

#### **5.2 Smart Factories**

#### **5.3 Autonomes Fahren**

### **6 Fazit und Ausblick**

Multi Access Edge Cloud Computing ist eine neue Technologie, die die Vorteile von Edge Clouds und 5G optimal kombiniert und eine neue Plattform zur Verfügung stellt. MEC ist eine der wichtigsten neuen Technologien für 5G-Systeme, da es zu einer geringen Latenz und zur Kapazitätsverbesserung im Backhaul- und Kernnetzwerk führt. Der Erfolg von MEC hängt im Wesentlichen von der Ausrichtung der Technologie auf ETSI NFV ISG ab.

#### **6.1 Fazit**

#### **6.2 Ausblick**

Neben dem Ausbau des 5G Netzes, ist bei der Einführung von *MEC* Systemen, die Standardisierung sehr wichtig.

#### **6.3 Angebote**

## Literatur

- [1] *5G Core Network - a Short Overview*. 5. Juni 2017. URL: <https://www.grandmetric.com/2017/06/05/5g-core-network-a-short-overview/> (besucht am 31.10.2020).
- [2] ETSI. *ETSI GS MEC 003 V2.1.1 (2019-01): Multi-Access Edge Computing (MEC); Framework and Reference Architecture*. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_gs/MEC/001\\_099/003/02.01.01\\_60/gs\\_MEC003v020101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_gs/MEC/001_099/003/02.01.01_60/gs_MEC003v020101p.pdf) (besucht am 23.10.2020).
- [3] K. Ha u. a. “Adaptive VM Handoff across Cloudlets”. In: 2015.
- [4] *How 5G NFV Will Enable the 5G Future*. URL: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-nfv/> (besucht am 21.10.2020).
- [5] Greg LaBrie. *Top 5 Benefits of Edge Computing*. URL: <https://blog.wei.com/top-5-benefits-of-edge-computing> (besucht am 13.10.2020).
- [6] Roberto Morabito u. a. “Consolidate IoT Edge Computing with Lightweight Virtualization”. In: *IEEE Network* 32.1 (Jan. 2018), S. 102–111. ISSN: 0890-8044, 1558-156X. DOI: 10.1109/MNET.2018.1700175. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8270640/> (besucht am 21.10.2020).
- [7] NFV White Paper. “Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action. Issue 1”. Okt. 2012.
- [8] *Software-Defined Networking (SDN) Definition*. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/software-defined-networking/overview.html> (besucht am 21.10.2020).