

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 Multi-Access Edge Computing (MEC) ermöglicht und geht auf die Architekturen hinter MEC Computing ein.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Problem.....	4
2	Benötigte Technologien	5
2.1	Edge Computing	5
2.2	5G Network	7
2.3	5G Edge Computing	7
2.4	Netzwerkfunktionen Virtualisierung	7
2.4.1	NFV Architektur und Orchestration Framework:	8
2.4.2	5G Edge Cloud und NFV:	8
2.5	Software-defined Networking	9
2.6	Virtuelle Maschinen und Container	9
3	MEC Framework - Referenz Architektur	10
3.1	Multi-access Edge Computing Framework	10
3.1.1	Netzwerk Ebene:	10
3.1.2	Distributed Host Level	10
3.1.3	MEC System Level	11
3.1.4	MEC-Services	12
3.2	Zusammenfassung	13
4	Integration von MEC und 5G	15
5	Mobilitätsmanagement in Mobile Edge Clouds	17
5.1	Verschieben der Anwendung und deren Zustand	17
5.2	Aktualisierung des Routings für Mobilitätsupport	18
5.2.1	Problem	18
5.2.2	Aktualisieren des Routings	19
5.3	Ping-Pong Handover	22
5.3.1	Problem	22
5.3.2	Lösung	22
5.4	VM Handoff	23
6	Multi-Access Edge Computing Scenarios	24
6.1	Cloud-Gaming, Remote Desktop	24
6.2	Smart Cities	25
6.3	Smart-Factory	26
7	Fazit und Ausblick	28
7.1	Fazit	28
7.2	Ausblick	28
7.3	Angebote	28
	Literatur	29

Akronyme

MEC Multi-Access Edge Computing. 1

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 werden beide Ansätze kombiniert.

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 großen 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 erhöht 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 erhöhen und somit den Ausbau zu beschleunigen.

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 6 genauer erläutert.

2 Benötigte Technologien

Dieses Kapitel bietet eine kurze Einführung in die Kerntechnologien die die Anwendung eines 5G Netzwerkes erforderlich sind.

2.1 Edge Computing

Bei Cloud-Computing werden Rechenressourcen über ein Netzwerk zur 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: [7]

- **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 entwickelt, um Dienste zu unterstützen, die eine Verwendung durch die Industrie mithilfe Techniken wie Netzwerksfunktions Virtualisierung und Software Defined Networking ermöglicht. 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 Netzwerkfunktionen 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.

Die Darstellung zeigt die einzelnen Komponenten in Form einer Service basierten Darstellung. [1] Das 5G Netzwerk besteht aus sogenannten Netzwerkfunktionen, die meist softwarebasiert sind und so nach Bedarf angepasst/skaliert werden können. Die 5G CP ist das Kernnetz, dass aus einer Reihe von Netzwerkfunktionen besteht, die für die Separierung, Priorisierung und Zugriffssteuerung erforderlich sind:

- **Authentication Server Function (AUSF)** dient als Authentifizierungsserver
- **Core Access and Mobility Management Function (AMF)** ist für die Integrität, Registrierungsmanagement, Verbindungsmanagement, Zugriffs und Securitymanagement zuständig
- **Network Exposure Function (NEF)** verbreiten von Funktionen und Events, sichere Bereitstellung von Informationen aus externen Anwendungen für das 3GPP-Netzwerk. Diese Funktion ist vorallem für die Mobilität in der 5G Edge Cloud wichtig, was in Abschnitt ?? erläutert wird.
- **Session Management Function (SMF)** Sitzungsverwaltung, Zuweisung von IP Adressen an die Endgeräte.
- **Unified Data Management (UDM)** Generierung von Anmeldeinformationen für Authentifizierungen, Verwalten der Benutzeridentifikation und Zugriffsautorisierung.
- **User plane Function (UPF)** Datenrouting und Weiterleitung. Dateninspektionen.
- **Policy Control function (PCF)** Bereitstellung von Richtlinien für Funktionen, Zugriff auf Abonnementinformationen

2.3 5G Edge Computing

2.4 Netzwerksfunktions Virtualisierung

Netzwerksfunktions Virtualisierung (NFV) erlaubt es Netzwerkfunktionen, von der Hardware zu entkoppeln. Dies ermöglicht 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. Netzwerksfunktionen Virtualisierung will diese Probleme lösen, in dem Virtualisierungstechniken auf standard Server Hardware Komponenten betrieben werden. Folgende Vorteile werden durch NFV erzielt und sind Relevant 5G Edge Clouds: [10]

- **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 Netzwerkfunktion 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 Hardware Komponenten wie CPU und Speicher, aber einem Virtualisierungslayer.

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

2.4.2 5G Edge Cloud und NFV: Die Netzwerksfunktionen 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 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 arbeiten. *NFV* ist für die Skalierbarkeit, Flexibilität und Migration in einer 5G Edge Cloud wichtig. Wenn die Anfragen an eine Anwendung steigt, kann nicht nur die Ressourcen für die Anwendung an sich einfach

skaliert werden, sondern auch durch das hinzufügen einer neuen Software Instanz in der *NFVI*, kann auch die Netzwerkinfrastruktur mit skaliert werden. [6]

2.5 Software-defined Networking

Neben *NFV*, ist auch Software Defined Networking (*SDN*) wichtig 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.[12]

Software Defined Networking kann so *MEC* unterstützen, indem es automatisch und flexibel Servicemanagement 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 zusammen das Erstellen von Network Slices.

2.6 Virtuelle Maschinen und Container

Eine Cloud Plattform besteht typischerweise aus einer Anzahl von Maschinen an, 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 leichtgewichtige Alternative zur Hypervisor-basierten Virtualisierung ist die Containergestützte Virtualisierung. Diese im Vergleich zu virtuelle Maschinen, eine andere Abstraktionsebene in Bezug auf Virtualisierung und Isolation verwendet. 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 leichtgewichtig und flexibel im Gegensatz zu VMs. Typischerweise führt ein Container genau ein Service aus, was eine schnelle Migration ermöglicht.

Im Blick auf *MEC* ermöglichen Container eine leichtgewichtige Virtualisierungslösung. So eignen sich die Container als eine portable Laufzeit Umgebung für MEC-Dienste. Einzelne Dienste können in Containern ausgeführt werden, 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 [9]

3 MEC Framework - Referenz Architektur

Folgendes Kaptiel zeigt die vom 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* [4] ein Framework und eine Referenz Architektur.

3.1 Multi-access Edge Computing Framework

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 Distributed Host Level Wie der Name schon sagt, gibt es mehrere MEC-Hosts, die im Netzwerk Vverteilt sind. Der MEC Host enthält die MEC Platform und die Infrastruktur auf den die Anwendungen, in der Edge Cloud, betreiben werden. Die Inrastruktur stellt Rechen-, Speicher- und Netzwerkressourcen virtualisiert zu Verfügung. Als Virtualisierungslösung kann die in Kapitel 2.4 eingeführte Netzwekrsfunktions Virtualisierung Infrastruktur eingesetzt werden. Der MEC Host beinhaltet zwei weitere Komponenten:

MEC Platform: Die MEC Platform dient als eine art Registry für Anwendungen die auf der MEC Infrastruktur laufen. Die Platform bietet eine Umgebung, in der MEC Anwendungen sich registrieren, andere Anwendungen Anfragen stellen können. Die MEC Platform ist auch für DNS Reccords zuständig. Sie nimmt

Befehle des MEC Platform Managers entgegen und passt die DNS Records, Proxies an. Desweiteren verwaltet diese 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 Dienste zur Verfügung zu stellen.

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

Virtualization Infrastruktur Manager: Eine weitere Komponente in im Host level management ist der Virtualization Infrastruktur 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 Fehlerdatende der Komponente werden von diesem gesammelt.

Kommt es zu einer Verschiebung einer Anwendung, in der eine laufende Anwendung umgezogen wird, interagiert der Virtualization Infrastruktur Manager mit dem MEC-Host zusammen um den Handoff an die neue Cloud durchzuführen. Wie so ein Handoff zwischen zwei Edge Clouds ablaufen kann wird in Kaptiel ?? genauer erläutert.

3.1.3 MEC System Level Das Systemlevel ist übergreifend über mehrere MEC Hosts.

MEC- Orchestrator: Der MEC-Orchestrator spielt eine zentrale Rolle, da er die Ressourcen und Funktionen des gesamten MEC-Systems im Blick hat. In vielerlei Hinsicht ähnelt dieser dem ETSI Network Functions Virtualization Orchestrator und hat ähnliche Aufgaben wie Orchestrierung und Kontrolle der Instanziierung, Lösung von Ressourcenkonflikten usw. Der MEC Orchestrator ist jedoch auch für die Verwaltung der MEC-Anwendungen verantwortlich. Der MEC - Orchestartor ist verantwortlich für das initialisieren, terminieren der Anwendungen, sowie das prüfen der Integrität und Authentizität. Der Orchestrators stellt sicher, dass ein MEC - Host der die Anforderungen an die Awendung wie Latenz und Verfügbaren Ressourcen erfüllt, ausgewählt wird. Ist dies nicht der

Fall ist es auch Aufgabe des Orchestrators, einen besseren Host zu finden und die Anwendungen umzuziehen.

Operations Support System: Das Operation Support System (OSS) ist die höchste Ebene, die eine Anwendung bei der Ausführung an einem Standort unterstützt. Das OSS empfängt Anforderungen zum Instanzieren und Beenden der mobilen Edge-Anwendungen von dem Customer Facing Service (CFS) und von den Endgeräten. Um diese zu erfüllen kommuniziert das Operation Support System mit dem MEC-Orchestrator.

Customer Facing Service: Der Customer Facing Service (CFS) dient als Schnittstelle für Drittanbieter und ähnelt Portalen wie bei Cloud-Plattformen. Dieser kommuniziert mit dem (OSS)

User App Lifecycle Management Proxy: Der User App Lifecycle Management Proxy (User App LCM Proxy) ist eine Funktion, die Endgeräte anfordern können für Onboarding, Initialisierung und Terminierung der auf der Edge Cloud laufenden Services. Stellt ein Endgerät eine Anfrage, autorisiert der Proxy die Anfrage und leitet diese an das OSS und den MEC-Orchestrator weiter. Die Endgeräte können so mit dem MEC-System über den Proxy kommunizieren und so auch beispielsweise das Umziehen einer Anwendung von einer externen Cloud in das MEC-System starten. Der User App LCM Proxy kann nur von dem Mobilfunknetz erreicht werden.

3.1.4 MEC-Services In einem MEC-System ist ein MEC-Service, ein Service der von der MEC-Plattform oder von einer MEC-Anwendung konsumiert oder zur Verfügung gestellt wird. Wird der MEC-Service von einer Anwendung bereitgestellt, muss dieser sich in die Liste der Services auf der MEC-Plattform registrieren. MEC-Anwendungen können Services abonnieren um Informationen zu erhalten.

Funknetz Informationsservice: An dem Funknetz Informationsservice können autorisierte Anwendungen Informationen über das Funknetz abfragen. Abonniert eine Anwendung diesen Service, erhält sie Informationen über den aktuellen Zustand des Funknetzes und der User Plane. Die Anwendung erhält über den Service, die Informationen in regelmäßigen Abständen.

Standort und Bandbreiten Service: Über den Standort Service stellt Informiert Anwendungen über den Standort von Endgeräten, die derzeit von dem MEC-Host zugeordneten Funkknoten bedient werden. Es können auch eine Liste aller Endgeräte an einem Standort abgefragt werden, sowie der Standort aller Funkknoten die dem MEC-Host zugeordnet sind. Diese Informationen sind wichtig für die Entscheidung, ob ein MEC-Anwendung zu einem dem Endgerät näheren MEC-Host wechseln soll.

Der Bandbreiten Service ermöglicht das Erhöhen der Bandbreite für bestimm-

ten Datenverkehr von MEC-Anwendungen und damit die Priorisierung wichtiger Daten.

3.2 Zusammenfassung

Dieses Unterkapitel beschreibt wie die zuvor erläuterten Komponenten des MEC-Systems zusammenarbeiten. Die Grafik ?? zeigt die Referenz Architektur. Wird eine neue MEC- Anwendung auf gestartet werden folgende Schritte durchgeführt:

1. Die UE Anwendung stellt eine Anfrage für das Starten einer neuen Anwendung auf dem MEC-System. Die Anfrage wird läuft über den User App LCM Proxy. Dieser leitet die Anfrage an das Operation Support System weiter.
2. Das OSS gibt die Anfrage an den MEC- Orchestartor weiter.
3. Die Anfrage für das Starten einer neuen MEC- Anwendung enthält Informationen über die Anwendung und andere Informationen, wie der Ort an dem die Anwendung ausgeführt werden soll, andere Anwendungsregeln und -anforderungen sowie den Speicherort des Anwendungsimage, falls dieses noch nicht im MEC-System vorhanden ist.
4. Anhand folgender Informationen wählt der MEC-Orchestartor ein geeigneten MEC-Host aus:
 - Latenzanforderungen an die Anwendung
 - Anforderung an den Ort (möglichst ist der Nähe des Engerätes)
 - Benötigte Speicher- und Rechenressourcen
 - MEC-Services die für die Anwendung benötigt werden
 - Mobilitätsanforderungen (muss die Anwendung umziehen, muss der Zustand der Anwendung umziehen)
 - Art des Hostens der Anwendung (Handelt es sich um eine Instanz pro Benutzer eine Instanz pro MEC-Host)
 - Informationen über dan Netzbetreiber des MEC-Hosts (Kosten, Funknetztopologie)

Der MEC-Orchestrator wählt anhand dieser Informationen ein oder mehrere MEC-Hosts aus und started das Initialisieren der Anwendungen.

5. Für das Abfragen der verfügbaren Ressourcen kommuniziert der MEC-Orchestartor mit dem Virtualization Infrastruktur Manager.
6. Wurde ein passender MEC-Host gefunden, started der MEC Platform Manager die Anwendung. der MEC-Platform Manager erhält von dem MEC-Orchestartor die Anfroderderungen der Anwendung.
7. Der MEC-Platform Manager kommuniziert mit dem Virtualization Infrastruktur Manager um die benötigten virtualisierten Ressourcen bereitzustellen. der Infrastruktur Manager läd das benötigte Image für die Anwendung runter wenn dieses noch nicht Verfügbar ist.
8. Anschließend kommuniziert der MEC- Platform Manager mit der MEC- Platform um die Anwendung zu konfigurieren.
9. Die MEC- Platform konfiguriert das Routing des Datenverkerhs auf der Data-Plane der virtuellen Infrastruktur.
10. Der MEC- Platform Manager startet die Anwendung auf der virtuellen Infrastruktur.

11. Die Anwendung registriert sich bei der MEC-Plattform in der Service Registry. Die MEC- Plattform konfiguriert die DNS Regeln der Anwendung und verwaltet den Zugriff auf Persistenten Speicher.

4 Integration von MEC und 5G

Das 5G Netzwerk trennt die User Plane (UP) von der Control Plane (CP). [3] Die User oder auch Data Plane, ist verantwortlich für das Weiterleiten der Daten von der Quelle zum Zielort. Die CP steuert die UP beispielsweise für das Einstellen des Routingpfads für ein Datenpaket oder für Radio Ressourcemanagement. Die CP ist auch verantwortlich für Verbindungs- und Mobilitätsmanagement sowie Authentifizierungen und das Verbreiten von Systeminformationen.

In der 5G-Systemspezifikation stehen zwei Optionen für die Architektur zur Verfügung. Eine mit dem traditionellen Interface Ansatz und eine weitere bei der die Netzwerkfunktionen des Kernnetzes mithilfe einer Service Based Architecture (SBA) verbunden sind. Hier wird die Service Based Architecture betrachtet. Bei SBA können die Netzwerkfunktionen Dienste bereitstellen oder konsumieren, eine Funktion kann auch mehrere Dienste anbieten. Für die effiziente Nutzung der Dienste, ist eine Registrierung, Service Discovery, Abmeldung sowie Authentifizierung und Autorisierung erforderlich. Die Abbildung 4.1 zeigt auf linken Seite ein 5G System in Form von SBA, die rechte Seite zeigt die MEC-Systemarchitektur wie in Kapitel 3.

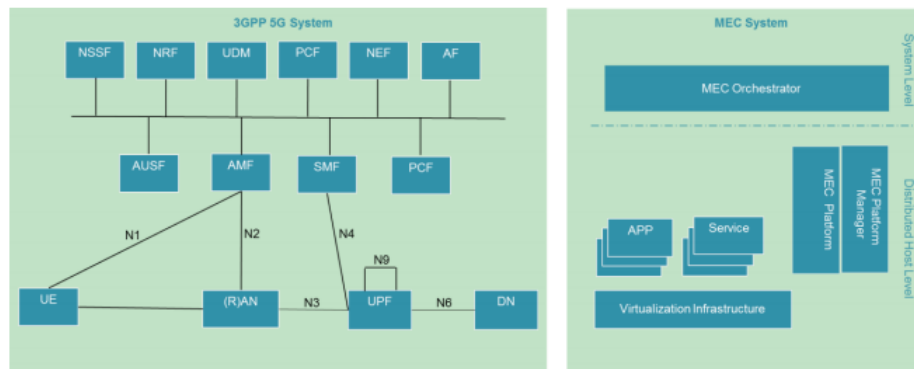


Abbildung 4.1. 5G Servicebasierte Architektur und MEC Systemarchitektur [3] [4]

Dieser Abschnitt beschreibt, wie ein Multi Access Edge Cloud System in die 5G-Netzwerkumgebung integriert werden kann und welche Komponenten miteinander interagieren.

Die Netzwerkfunktionen und die Dienste, die diese zur Verfügung stellen, werden im 5G System in der Network Resource Funktion (NRF) registriert. Bei der NRF bietet damit eine Liste mit allen Diensten an. In einem MEC System werden die Dienste, die von den MEC-Anwendungen bereitgestellt werden, in

der Service Registry in der MEC Platform registriert. Will eine Netzwerkfunktion im 5G Netzwerk ein Dienst nutzen, kann diese direkt mit der Funktion die den Dienst zurverfügungstellt interagieren, wenn diese authentifiziert ist. Die Network Exposure Function (NEF) im 5G System stellt auch Dienste an nicht authentifizierte Komponenten zur Verfügung. Die NEF ist damit sehr wichtig für die Bereitstellung von Services, sie ist verantwortlich für die Autorisierung aller Anfragen ausserhalb des 5G-Systems.

Für die Integration von MEC in ein 5G Netzwerk, spielt die User Plane Function (UPF) eine wichtige Rolle. Die UPF ist Teil der User Plane und ist eine Darstellung der dieser in Netzwerkfunktion. Die UPF ist das Gateway zur Kontrollen und Weiterleitung von Nutzdaten. [8] Ist das MEC-System in die 5G Cloud integriert, ist die UPF auch Teil des MEC Systems.

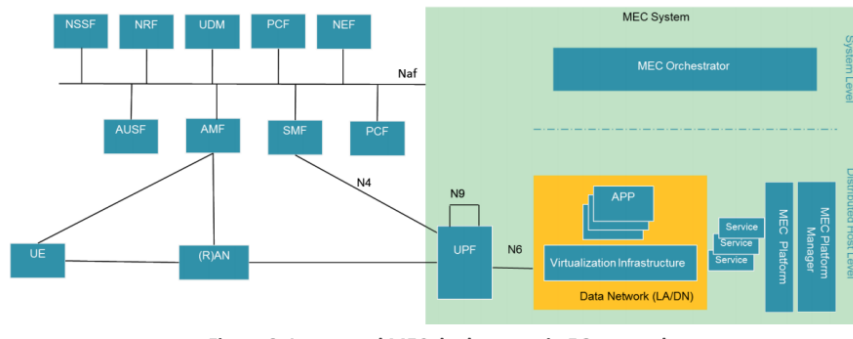


Abbildung 4.2. MEC in 5G

In dem MEC- System auf der rechten Seite, agiert der MEC- Orchestrator auf der MEC- System Ebene. Dieser interagiert mit dem NEF oder direkt mit den einzelnen Netzwerkfunktionen des 5G Netzwerkes. Auf der MEC- Host Ebene, interagiert die MEC- Platform mit den NF des 5G Netzwerkes. Die MEC- Host Ebene sind meistens in der UP des 5G Netzwerkes, während der NEF als teil des CP als Systemlevel Funktion zentral eingesetzt wird. Wie Abbildung 4.2 zeigt, befindet sich das MEC System auf der Data Control Ebene des 5G Netzwerkes. Die User Plane Function ist verantwortlich für das Weiterleiten der Datenpakete an die MEC zielanwendungen. Das MEC- System kann an verschiedenen Standorten in der Nähe der Base Station des 5G Netzwerkes eingesetzt werden.

5 Mobilitätsmanagement in Mobile Edge Clouds

Die Mobilität von Endgeräte 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 Kernkomponenten 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 Engeräges 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 Engerät 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.

5.1 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 Platfor Radio Network Informationen die von dem RNIS zu Verfügung gestellt

werden. Mithilfe dieser Informationen können UEs identifizieren werden bei denen eine Zelländerung auftritt und bestimmen werden, ob sie aus dem Versorgungsbereich des aktuellen MEC-Hosts herausbewegen.

5.2 Aktualisierung des Routings für Mobilitätsupport

5.2.1 Problem Das MEC-System ist in der Lage flexibel User Plane Functions anzupassen je nach den Anforderungen oder Regeln des MEC-Systems und dem Zustand des Netzwerkes. Für das Mobilitätsmanagement ermöglicht dies das flexible lenken des Datenverkehrs auf der U-Plane um die Verbindung zwischen dem Endgerät und der Anwendungsinstanz auf dem MEC-Host aufrecht zu halten. Soll die Anwendungsinstanz beispielsweise zu einem neuen MEC-Host umgezogen werden und dieser ist nicht in der Lage die Instanz zu hosten, kann der aktuelle MEC-Host noch einen zufriedenstellenden Service anbieten.

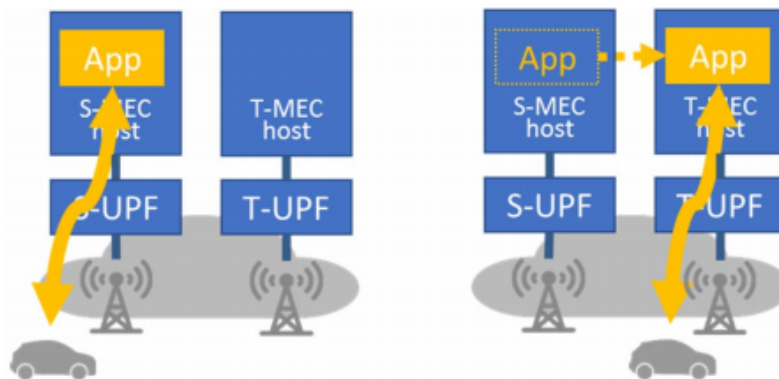


Abbildung 5.1. Handover vom MEC-Host zum Ziel-MEC-Host

Bewegt sich das Endgerät kann es zu einem gNB Handover kommen, was zur Änderungen in der UPFs Ebene führt. Bei Bedarf wird der Zustand zu der Instanz in dem Ziel-MEC-Host übertragen und das Routing wird für das Endgerät angepasst, was in der Grafik 5.1 zu sehen ist. Kann der Ziel MEC-Host die Anwendung nicht hosten, weil dieser nicht über ausreichend Ressourcen verfügt oder nicht den gewünschten Service erfüllt, kann der Zustand einer laufenden Anwendungsinstanz nicht auf den Ziel-MEC-Host übertragen werden. Ist dies der Fall, muss das Routing trotzdem aktualisiert werden. Die Anwendungsdaten werden entweder über den Ziel-MEC-Host (Bild 2 in Abbildung 5.2) oder über die UPFs des Ziel und ursprünglichen MEC-Hosts geleitet (Bild 3 in Abbildung 5.2). Unabhängig davon, ob die Anwendungsinstanz erfolgreich auf den Ziel-MEC-Host übertragen wurde oder nicht, der Verkehrspfad wird entsprechend aktualisiert.

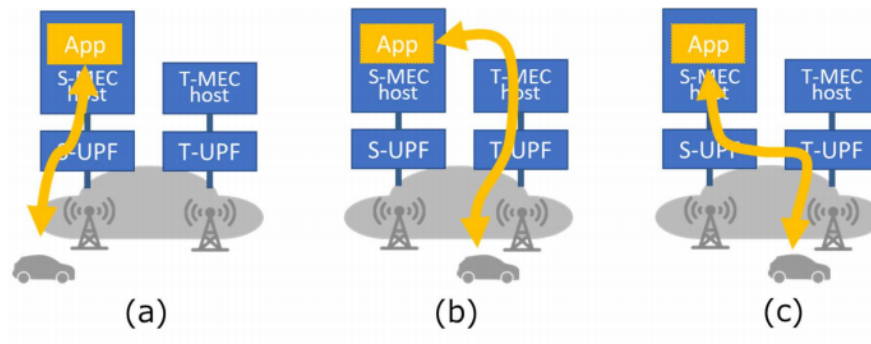


Abbildung 5.2. Routing wenn der Ziel-MEC Host die Anwendung nicht hosten kann

5.2.2 Aktualisieren des Routings : Für das Aktualisieren und Aufrechterhalten der Routen, ist die Application Function verantwortlich. Die Application Function (AF) interagiert mit 5G-Control-Plane, um das Routing zu beeinflussen.

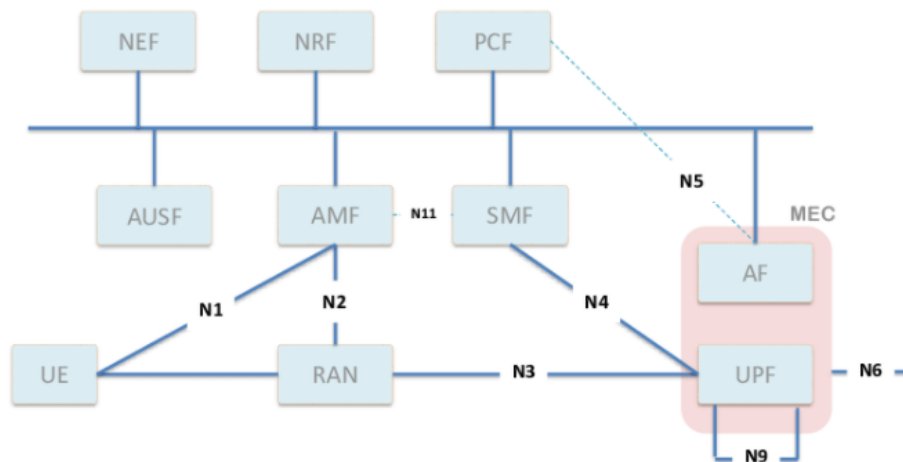


Abbildung 5.3. Application Function in 5G

Die AF erfasst Informationen über das 5G Netzwerk und unterstützt so die Mobilität von Anwendungsinstanzen. Dies ermöglicht in dem 5G-System eine flexiblere Bereitstellung der Data-Plane ermöglichen, um Edge-Computing nativ zu unterstützen. Die Abbildung 5.3 zeigt die Application Function in einer Service-basierten 5G Netzwerkarchitektur.

ETSI definiert für das Anpassen des Routings mithilfe der AF den sogenannten *Application Function influence on traffic routing* Prozess. Startet ein MEC-System diesen Prozess benötigt es folgende Parameter:

- UE identifikator, eindeutig für das Endgerät
- Mögliche Orte für die Anwendung, Data Network Access Identifier (DNAI) wird benötigt um die Ziel UPFS zu erlangen.
- AF-Transaktionskennung, wird von der AF Funktion generiert
- Beschreibung des Datenverkehrs, dazu gehören IP-Adressen, Zieladressen und Data Network Name (DNN)

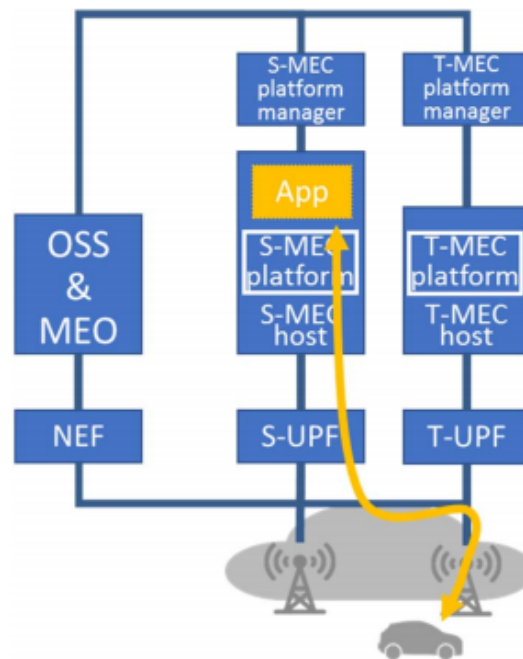


Abbildung 5.4. Komponenten für die Aktualisierung des Routings

Mithilfe dieser Parameter kann der Prozess des Umleitens gestartet werden. Abbildung 5.4 zeigt wie die einzelnen Komponenten zusammenarbeiten um eine benötigte Aktualisierung des Datenverkehrs durchzuführen. Die Kommunikation mit dem MEC-System läuft dabei über die Network Exposure Function (NEF). Diese kommuniziert mit dem MEC-Orchestrator, welcher die Informationen auf MEC-Host-Ebene an den Platform Manager weitergibt. Für das Aktualisieren des Routings werden folgende Schritte (Abbildung 5.5) durchgeführt:

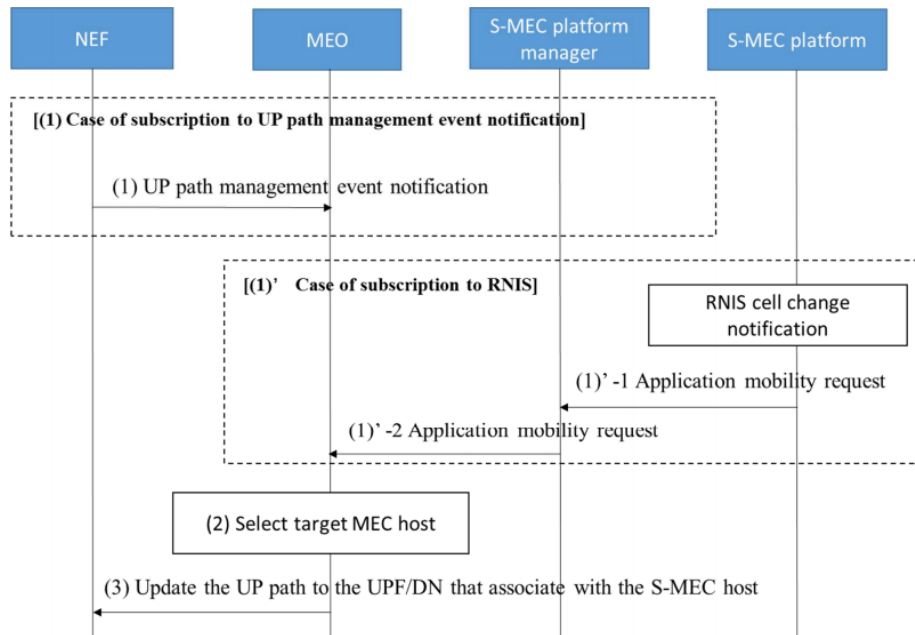


Abbildung 5.5. Ablauf der Aktualisierung

1. Der MEC- Orchestrator (MEO) abonniert über NEF, UP Event Mitteilungen. Der MEO erhält daher eine Mitteilung das sich die UP und DN des UEs aufgrund der Mobilität verändert haben.
2. Die Quell-MEC-Plattform (S-MEC-Plattform) abonniert dem UE zugeordnete Zellenänderungsbenachrichtigung. Nachdem die S-MEC-Plattform eine Nachricht erhalten hat, bestimmt diese, ob das UE die Zelle verlassen hat. Ist dies der Fall sendet die S-MEC-Plattform eine Mobilitätsanfrage an den MEO.
3. Der MEO wählt ein Ziel MEC-Host für die Anwendung aus.
4. In dem Fall, in dem der Ziel-MEC-Host aus nicht verfügbar ist, beispielsweise nicht Ziel-MEC-Host nicht ausreichend Ressourcen hat, wird die Anwendungsinstanz auf dem S-MEC-Host fortgesetzt und der UP-Pfad ist vorhanden und wird an den UPF des S-MEC-Host umgeleitet.
5. Der MEO sendet eine Aktualisierung an den S-MEC-Plattformmanager dem T-MEC-Plattformmanager

Diese Schritte ermöglichen eine Kontinuierliche Verbindung zwischen UE und MEC-Anwendung, unabhängig ob diese sich beim S-MEC-Host oder Z-MEC-Host befindet.

5.3 Ping-Pong Handover

5.3.1 Problem Ping-Pong-Übergaben treten auf, wenn ein Endgerät von einer Zelle zur nächsten wechselt, dann aber wieder in die ursprüngliche Zelle zurückgeht. Befindet sich ein Endgerät zwischen zwei Zellen, hat dies die Folgen, dass es zwischen den zwei Hosts hin und herspringt. Daher die Bezeichnung Ping-Pong Handover.

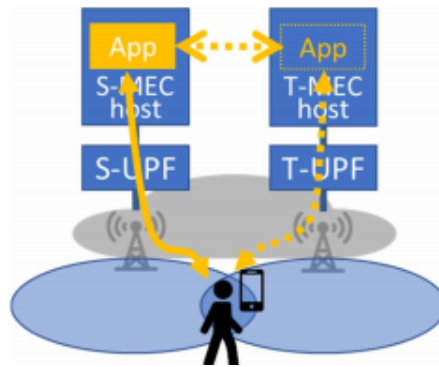


Abbildung 5.6. Ping Pong Handover

5.3.2 Lösung Für das Lösen des Ping-Pong Problems im MEC- System, schlägt ETSI eine Verringerung der Migrationsevent die vom MEO durchgeführt werden vor.

1. Der MEO wird Benachrichtigt, wenn es zu einem Ping-Pong Handover kommt, das zahlreiche Migrationen von MEC-Anwendung verursacht. Das Ping-Pong event wird dabei durch eine Vielzahl von Events der UPFS Erkannt.
2. Nach dem Erkennen eines Ping-Pong Events, startet der MEO den *Ping-Pong handover migration* Prozess. Dieser verändert die UPFS so, dass diese sich immer zur MEC-Anwendung verbindet, unabhängig von der Verbindungsqualität des UEs. Dies reduziert die Anzahl der Migrationen zwischen Source-MEC-Host und Target-MEC-Host, auch wenn das UE sich oft zwischen Netzbereichen der Hosts wechselt. Das UE kommuniziert weiterhin mit der Anwendung im S-MEC über die Source-UPF. Abbildung 5.7 zeigt dies.
3. Der MEO wartet auf das sogenannte *Ping-Pong recovery event*. Dieses signalisiert, dass das UE sich nicht mehr zwischen zwei Aufgabenbereichen der MEC-Hots befindet.
4. Nach dem *Ping-Pong recovery event* setzt der MEO das Routing im UPFs wieder auf den ursprünglichen Zustand zurück.

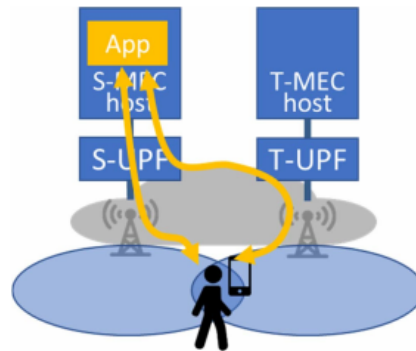


Figure 5.2.2-2: The example of resulted steered traffic

Abbildung 5.7. Angepasstes Routing

5.4 VM Handoff

Eine vorgeschlagene Möglichkeit [4] für das Umziehen laufenden Anwendungen von einem MEC-Host zu einem Ziel MEC-Host, ist der VM Handoff. [5]

6 Multi-Access Edge Computing Scenarios

Folgendes Kapitel beschreibt unterschiedliche Use-Cases und Szenarios für die Verwendung von MEC.[11]

6.1 Cloud-Gaming, Remote Desktop

Computer Spiele werden immer populärer, aber die meisten Online Multiplayer Spiele benötigen eine geringe Latenz über das Netzwerk. Dies ist meistens nicht für mobile Endgeräte möglich, da sich die Server nicht im RAN finden und so nicht in der Nähe des RAN.

Bringt man die Spielserver in die Nähe des Funknetzes, macht dies Spiele die eine geringe Latenz benötigen möglich für mobile Nutzer. Die Verwendung ist dabei nicht auf Spiele beschränkt und kann auch für andere Anwendungen von Vorteil sein, die eine geringe Latenz erfordern. Beispielsweise können durch die geringe Latenz mobile Endgeräte mit *Remote Desktop* auf Virtuelle Maschinen zugreifen und benötigen so keine lokale Rechenressourcen. Dies erlaubt Tablets mit wenig Rechenleistung als *Thin Client* sich mit geringer Latenz mit einer VM zu verbinden. Dies ermöglicht das Verbinden von einzelnen oder mehrere Nutzern mit einem server oder VM. Der Nutzer startet für das Verbinden die Anwendung lokal auf dem Endgerät und diese verbindet sich mit der Cloud. Nutzen mehrere Benutzer eine Anwendungs Instanz auf dem gleichen MEC-HOST, ist die Latenz auch unter den Nutzern geringer. So ist bei einem Onlinespiel die Verzögerung zwischen zwei Spielern geringer und bei einem Remote Desktop von zwei Nutzern in dem gleichen MEC-Host ist die Latenz geringer die Bandbreite größer. So können zu kolaborativen Zwecke Beispielsweise große Dateien mit hoher bandbreite geteilt werden, oder kolaborative Programme wie ein geteiltes Whiteboard mit geringer Latenz genutzt werden, auch wenn die Nutzer mobil sind.

Benötigen die Anwendungen eine geringe Latenz, kann auch das Rendern der Videospiele oder Virtuellen Maschine auf dem MEC-Host durchgeführt werden. Die Endgeräte decodieren dann nur den Videostream der MEC-Anwendungen und senden die Eingaben in die Cloud. Gerade bei Spielen reichen dann *Thin Clients* aus und es werden keine leistungsstarke lokale Ressourcen benötigt. Dies ermöglicht das spielen von Online-Spielen auf Smartphones.

Wenn sich ein UE mit einem Funkknoten verbindet, der nicht demselben MEC-Host zugeordnet ist, auf dem die Anwendung ausgeführt wird (z. B. nachdem sich das Endgerät von dem wegbewegt hat), muss sichergestellt sein, dass die Konnektivität zwischen dem UE und der Anwendung aufrechterhalten wird. Um die Latenzanforderungen und damit eine gute Benutzererfahrung aufrechtzuerhalten, muss das MEC-Management die Anwendung auf einen anderen MEC-Host, der in der Nähe des UEs ist, verschieben. Dabei ist es wichtig, dass die Verbindung aufrechterhalten wird. Gerade bei dem mobilen spielen von Online-Spielen ist

dieser Schritt sehr wichtig, da es sonst frustrierende Benutzererfahrungen geben kann.

Aktuell wird Cloud-Gaming-Services wie Googles *Stadia* immer verbreiteter. Aktuell ist das Streamen von Videospielen allerdings nur im Heimnetzwerk möglich. 5G und MEC könnten es ermöglichen auch mobil diese Services zu Nutzen.

6.2 Smart Cities

In einer Smart City werden Technologien aus den Bereichen Energie, Mobilität, Stadtplanung, Verwaltung und Kommunikation so miteinander vernetzt, dass sich die Lebensqualität für die Bewohner steigert. Gleichzeitig profitiert die Nachhaltigkeit der Stadt. Dies wird immer wichtiger, da die Bevölkerungszahlen in Städten immer weiter zunehmen. Darüber hinaus wird der Bevölkerungsanstieg die städtische Infrastruktur aufgrund einer exponentiellen Zunahme der Daten, die von verschiedenen Geräten wie Smartphones, Sensoren und Kameras generiert werden, vor weitere Herausforderungen stellen.

Die Vielzahl von Daten die von einer Smart-City generiert werden müssen verarbeitet und ausgewertet werden. Dies kann lokalen Rechenressourcen direkt durchgeführt werden, was aber sehr teuer ist. Um die Notwendigkeit von dedizierter teurer Computerhardware zu beseitigen, wurde Cloud-Computing eingeführt. Cloud-Computing führt zu einer hohen Latenz was gerade im Kontext von Smart-Cities die Vielzahl von Echtzeitdaten generieren nicht Optimal ist. Desweiteren belastet Cloud-Computing das gesamte Netzwerk der Stadt. Wenn die Rechenleistung näher an den Geräten liegt, können die Daten mithilfe von Edge-Computing und 5G schneller analysieren und auf Anfragen antworten, ohne das gesamte Netz zu belasten.

Das Einsetzen von Kameras in einer Smart-City ist vor allem durch die verfügbare Bandbreite eingeschränkt. Hochauflösende Lifestreams von Kameras erfordern viele Ressourcen für die Analyse und viel Speicherplatz. Dies macht das Einsetzen von HD-Kameras unter den gegenwärtigen Bedingungen schwierig. Das Einsetzen von MEC kann dies ändern. Das Einsetzen eines MEC-Systems ermöglicht so das schnelle Analysieren und Auswerten von Videoinformationen und Speichern im MEC-HOST, in der Nähe der Kamera. Das Einsetzen von 5G ermöglicht eine geringe Latenz und eine hohe Datenrate. Durch die gewonnene Mobilität, ist es beispielsweise möglich das Kameras von Polizisten und Polizistinnen über das 5G Netz übertragen und in Echtzeit ausgewertet werden. Die Firma *Dragon Law Enforcement* arbeitet aktuell an einer Spracherkennung. Diese passt sich den Akzenten an und reduziert den Lärm, um den Beamten dabei zu helfen, Protokolle mit sehr genau und effizient zu erstellen.

Ein weiterer USE-Case im Bereich Smart-City ist die *Vehicle-to-Infrastructure* Kommunikation. Bei der Vehicle-to-Infrastructure werden Daten vom Fahrzeug

und Sensoren an der Straße verwendet um die Sicherheit zu erhöhen und Risikosituationen frühzeitig zu erkennen. Die Kommunikation zwischen Fahrzeug und der Infrastruktur erfordert eine geringe Latenz, die je nach Anwendungsfall unter 10 ms liegen muss. Gefahrenmeldungen wie Unfälle, stehengebliebene Fahrzeuge oder ein Stau können in Echtzeit über 5G übertragen werden. MEC kann verwendet werden, um die Fahrzeuge mit einer verteilten Cloud zu verbinden. So können MEC Anwendungen auf den MEC-Host gehostet werden, die Daten aus Fahrzeugen und Sensoren analysiert. Wird eine Gefahr erkannt, kann der MEC-Host dies mit einer geringen Latenz an andere Fahrzeuge Broadcasten. Dies ermöglicht einem Smarten-Auto innerhalb von Millisekunden Daten zu empfangen, sodass der Fahrer auf eine Gefahr reagieren und ausweichen kann.

Besonders für die *Vehicle-to-Infrastructure* Kommunikation eignet sich ein MEC-System. Da Fahrzeuge mobil sind, wechseln sie oft den Netzknoten. Das MEC-System ist für so eine Mobilitätsaufgabe ausgelegt. Gerade bei diesem Use-Case betreibt jeder MEC-Host die gleiche Anwendung, beispielsweise eine Anwendung zur Analyse der Fahrzeugdaten. Dies macht das Wechseln von MEC-Hosts sehr effizient, da kein Image geladen werden muss und die Anwendung auf dem Ziel-MEC schon läuft. Bei einer Gefahrensituation ist es wichtig, dass die umliegenden Fahrzeuge schnell Benachrichtigt werden. Da aufgrund der geographischen Lage die Fahrzeuge mit dem gleichen MEC-Host kommunizieren, wie das Fahrzeug das eine Gefahr erkannt hat, ist dies mit sehr geringer Latenz möglich.

Auch für die *Vehicle-to-Vehicle* Kommunikation eignet sich MEC. Die Daten eines Fahrzeuges können mit geringer Latenz an einen MEC-Host gesendet werden, analysiert und an andere Fahrzeuge im gleichen MEC-Host weitergeleitet werden.

6.3 Smart-Factory

Die Smart Factory steht im Mittelpunkt der Industrie 4.0 und bezeichnet eine Produktionsumgebung, die sich selbst organisiert. Zur Produktionsumgebung gehören die Fertigungsanlagen und die Logistiksysteme. Die Produktionsumgebung ist automatisiert und erfordert nicht das Eingreifen eines Menschen. Im Mittelpunkt einer Smartfactory steht die intelligente Vernetzung von Maschinen und das hergestellte Produkt. Das Produkt teilt die für die Fertigung benötigten Informationen der Smart Factory mit. Anhand dieser Informationen stellen sich die Maschinen automatisch ein um das gewünschte Produkt zu fertigen. In vielen Fällen findet dafür eine drahtlose Kommunikation zwischen Produkten und Anlagen statt.

Für die Smart-Factory bietet sich ein MEC-System an. 5G besitzt die Möglichkeit eines Privaten Netzes. So kann ein Netzwerk on-permise zu Verfügung gestellt werden. Maschinen und Produkte können Daten via 5G an MEC-Hosts senden. Ein Smart Factory besteht aus einer Vielzahl von Internet-Of-Things Geräten.

Diese Menge an Daten die dadurch generiert wird, kann nicht über das WAN zu einer zentralen Cloud gesendet werden. Ein MEC-System ist reduziert die Latenz und die Auswirkungen auf das Netzwerk. Desweiteren wird die Sicherheit erhöht, da die Daten lokal bleiben und nicht über das WAN versendet werden. Auf dem MEC-Host können die Daten der IoT Geräte in Echtzeit analysiert werden. Beispielsweise können Maschine Learning Modelle für die Optimierung der Produktion eingesetzt werden.

Eine mögliche Anwendung für MEC in einer Smart-Factory ist das einsetzen von Kameras zur Qualitätssicherung. Für der Erkennen von Fehlern in Produktionsteile müssen Hochauflösende Kamereass verwendet werden, damit diese sichtbar sind. Der hohe Datenstrom kann über 5G an den MEC-Host gesendet werden. Dieser analysiert das Bildmaterial auf Fehler. Wird ein Fehler erkannt, kann der MEC-Host eine andere Maschine benachrichtigen, die das beschädigte Teil entfernt. Je nach der Geschwindigkeit der Produktion, es wichtig das dies mit einer geringen Latenz passiert.

Huawei arbeitet zusammen mit China Mobile an einer *5G Connected Factory*. Hier soll die Anlage mithilfe einer Edge Cloud die Produktion verbessern und über Kameras fehler erkennen. [13]

7 Fazit und Ausblick

Früher als Mobile Edge Computing bekannt, ist Multi-Access Edge Computing wichtigsten Säulen für 5G und definitiv eine der vielversprechendsten Technologien, um Cloud-basierte Anwendungen und Dienste in das Geschäft von Netzbetreibern zu integrieren. MEC ist eine der wichtigsten neuen Technologien für 5G-Systeme, da es zur 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.

In diesem B

7.1 Fazit

7.2 Ausblick

Neben dem Ausbau des 5G Netzes, ist bei der Einführung von *MEC* Systemen, die Standardisierung sehr wichtig. [2]

7.3 Angebote

Literatur

- [1] *5G Core Network - a Short Overview*. URL: <https://www.grandmetric.com/2017/06/05/5g-core-network-a-short-overview/>.
- [2] Zahraa N. Abdullah, Imtiaz Ahmad und Iftekhar Hussain. "Segment Routing in Software Defined Networks: A Survey". In: *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 1 (), S. 464–486. ISSN: 1553-877X, 2373-745X. DOI: 10.1109/COMST.2018.2869754. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8462720/>.
- [3] P. Arnold u. a. "5G Radio Access Network Architecture Based on Flexible Functional Control / User Plane Splits". In: *2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*. 2017 European Conference on Networks and Communications (EuCNC), S. 1–5. DOI: 10.1109/EuCNC.2017.7980777.
- [4] 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.
- [5] K. Ha u. a. "Adaptive VM Handoff across Cloudlets". In:
- [6] *How 5G NFV Will Enable the 5G Future*. URL: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-nfv/>.
- [7] Greg LaBrie. *Top 5 Benefits of Edge Computing*. URL: <https://blog.wei.com/top-5-benefits-of-edge-computing>.
- [8] "Leitfaden 5G-Campusnetze". In: (), S. 52.
- [9] Roberto Morabito u. a. "Consolidate IoT Edge Computing with Lightweight Virtualization". In: *IEEE Network* 1 (), S. 102–111. ISSN: 0890-8044, 1558-156X. DOI: 10.1109/MNET.2018.1700175. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8270640/>.
- [10] NFV White Paper. "Network Functions Virtualisation: An Introduction, Benefits, Enablers, Challenges & Call for Action. Issue 1".
- [11] Milan Patel u. a. "Contributor, Huawei, Vice Chair ETSI MEC ISG, Chair MEC IEG Working Group". In: (), S. 16.
- [12] *Software-Defined Networking (SDN) Definition*. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/software-defined-networking/overview.html>.
- [13] *What a Next-Gen Factory Looks like with Smart 5G*. URL: <https://www.huawei.com/en/publications/winwin-magazine/37/building-worlds-first-smart-5g-connected-factory>.

TODO: - Funkknoten - Einheitliche Formatierung von Begriffen. - User Plane Function besser erklären - Abkürzungen Next Generation NodeB - Besser erklären dass die Instanz bereits läuft.