

# NETZWERKVIRTUALISIERUNG IN LEO-SATELLITENSYSTEME FÜR SICHERE KONNEKTIVITÄT UND ÜBERWACHUNG DER INFRASTRUKTUR IM ENERGIESEKTOR

**Anna Volkova\*, Hermann de Meer**

Universität Passau, Lehrstuhl für Informatik mit Schwerpunkt Rechnernetze und Rechnerkommunikation, Innstr. 43, 94032, Passau, Deutschland, +498515093051, (anna.volkova, hermann.demeer)@uni-passau.de, <https://www.fim.uni-passau.de/en/computer-networks>

## **Kurzfassung:**

Das für Anwendungen in Stromverteilungsnetzen erforderliche Kommunikationsnetz sollte robust sein, um den Betrieb bei allen möglichen Herausforderungen zu gewährleisten. Dedizierte Funknetzwerke sind eine vielversprechende Lösung für die Bereitstellung von Kommunikationsdiensten für alle Anlagen des Stromverteilungsnetzes. Die von diesen Netzen bereitgestellte Konnektivität ist ein wesentlicher Schritt in Richtung der Zukunft des intelligenten Stromnetzes. Durch den Aufbau zusätzlicher Schwarzfall-Resilienz und Mehrwertdienste, wie z.B. umfassende Datenerfassung und -aggregation, Anlagenüberwachung und -steuerung sowie Datenverarbeitung am Netzrand, können diese noch weiter optimiert werden. Die zusätzlichen Funktionen werden durch die Einführung einer nicht-terrestrischen, widerstandsfähigen Netzsicht realisiert. Es ist jedoch eine Herausforderung, die Kommunikationsanforderungen für jeden der Dienste zu erfüllen. Netzwerk-Slicing ist eine auf Netzwerk-Virtualisierung basierende Lösung, die es ermöglicht, die Erfüllung der Kommunikationsanforderungen zu gewährleisten. Diese Arbeit demonstriert das Framework für die Bewertung von Netzwerk-Slicing Ansätzen für LEO-Satellitennetze und diskutiert die Entwicklung von terrestrischen Netzwerken im Hinblick auf die Unterstützung von 6G und erweiterte Funktionen für das Stromnetz.

**Keywords:** LEO-Satellitenkommunikation, Energieversorgungsnetze, Netzwerk-Slicing, Simulation, Datenverkehrsklassifizierung

## **1 Motivation**

Der Übergang zu erneuerbaren Energiequellen in der Energieversorgung wird durch europäische Klimaziele und die Marktfähigkeit der dezentraler Energietechnik vorangetrieben. Im Hinblick auf Versorgungssicherheit, Cybersicherheit und Nachhaltigkeit unterstreicht der Übergang zu einem dezentralen und digitalisierten Energiesystem die Bedeutung hochsicherer Kommunikationstechnologien. Dedizierte zellulare Netze sind ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zum intelligenten Stromnetz und bieten die erforderliche redundante Konnektivität für die Anlagen. Die Netze sollten jedoch in der Lage sein, den wachsenden Anforderungen der Energieversorger standzuhalten. Das Kommunikationsnetz soll

ausreichend robust sein, um den möglichen Auswirkungen des Klimawandels standzuhalten, wie z.B. das zunehmende Ausmaß und die Intensität von Naturkatastrophen, die die terrestrische Infrastruktur beschädigen können. Der wachsende Anteil der erneuerbaren Energien und die künftigen fortschrittlichen Systemfunktionen, die sie bieten, wie z. B. Schwarzstart, sollten berücksichtigt werden. Abgesehen von der Konnektivität und Ausfallsicherheit ist die Unterstützung fortgeschrittener Dienste wie Datenerfassung und -aggregation, Aufbereitung der Daten am Netzrand, Infrastrukturbeobachtung und -steuerung ein unverzichtbares Instrument für die Stromnetz der Zukunft. Diese und weitere neue Anforderungen aus dem Energieversorgungsnetz erfordern eine zusätzliche Netzresilienz und Flexibilität.

Satellitensysteme sind eine bekannte Technologie zur Unterstützung der Netzdiversität und zur Bereitstellung zusätzlicher Dienste. Die Fortschritte in der Satellitentechnologie haben eine breite Anwendung von Low-Earth-Orbit (LEO) Satelliten ermöglicht. LEO-Satelliten kreisen in relativ geringer Höhe (in der Regel 400 bis 2.000 Kilometer), was im Vergleich zu Satelliten in höheren Umlaufbahnen zu kürzeren Signallaufzeiten und geringeren Latenzzeiten führt [1]. Aufgrund ihrer geringen Höhe und ihrer orbitalen Eigenschaften können LEO-Satelliten eine breite Abdeckung bieten und die Konnektivität in Regionen sicherstellen, in denen die Einrichtung konventioneller Kommunikationsinfrastrukturen schwierig ist.

LEO-Satellitensysteme bestehen oft aus großen Konstellationen, in denen mehrere Satelliten gemeinsam operieren. Diese Architektur verbessert die Zuverlässigkeit, die Redundanz und ermöglicht die Aufrechterhaltung eines kontinuierlichen Dienstes, selbst wenn bei einzelnen Satelliten eine Störung auftritt. Kleinsatellitensysteme können sowohl im Normal- als auch im Notbetrieb eingesetzt werden. Im Katastrophenfall sollten sichere und exklusiv verfügbare Verbindungen zur Verfügung stehen. Während der normalen Arbeit kann gleichzeitig ein Mehrwert für den Nutzer geschaffen werden, zum Beispiel mit Überwachungsdiensten im Rahmen des Anlagenschutzes oder mit der Leitungsüberwachung.

In Kombination mit dem bestehenden terrestrischen Netz bilden solche Netze ein intelligentes, widerstandsfähiges hybrides satelliten-terrestrisches Netz. In solchen Netzen ist es äußerst wichtig, zwischen den verschiedenen Betriebsarten und Datenverkehrstypen zu unterscheiden, die von den verschiedenen Diensten des hybriden Netzes erzeugt werden. Während Methoden zur Klassifizierung des Verkehrs und zur Qualitätssicherung in konventionellen Netzen bekannt sind, stellen hybride Netze aufgrund des dynamischen Netzverhaltens zusätzliche Herausforderungen dar. Netzwerk-Slicing ist eine auf Netzwerkvirtualisierung [2] basierende Lösung für solche Netze und ist ein Ansatz zur Schaffung virtueller, unabhängiger und logisch isolierter Netzwerke innerhalb einer gemeinsamen physischen Infrastruktur. Die Entwicklung und Prüfung von Netzwerk-Slicing-Ansätzen für dynamische Netzwerke erfordert jedoch geeignete Modellierungs- und Simulationswerkzeuge.

Die Netzwerkvirtualisierung in Satellitennetzen wurde in den letzten Jahren in der Literatur im Zusammenhang mit programmierbaren Netzwerken diskutiert. Jia et al. demonstrieren den Modellierungsansatz für die Steuerung und virtuelle Ressourcenverteilung in terrestrisch-satellitengestützten Netzen [3]. Eine Vorarbeit über die Anwendbarkeit von LEO-Satellitennetzen für die Stromnetze findet sich in [1]. Ein umfassender Überblick über den Stand der Technik wird in [4] zusammen mit einer Strategie für die Aufteilung virtueller

Funktionen vorgestellt. Network-Slicing für LEO-Satellitennetzwerke wird in [5] durch die Erstellung eines Testbeds demonstriert. Im Gegensatz zu dieser Arbeit konzentriert sich [5] auf die Erstellung einer Docker-basierten virtuellen Umgebung und betrachtet nicht die kommunikationstechnischen Funktionen. Im Gegensatz zu den bestehenden Arbeiten wird in dieser Arbeit eine Methode für das Design und die Simulation der Stromnetzkommunikation in terrestrischen und satellitengestützten Netzen vorgestellt. Ein Ansatz zur Simulation von Datenverkehrsklassen, die in separaten Netzwerk-Slices innerhalb eines LEO-Satellitennetzwerks verlaufen, ist demonstriert und mit der Leistung eines terrestrischen Netzwerks verglichen.

## **2 Methodologie**

In diesem Teil der Studie wird ein Ansatz zur Identifizierung von Datenverkehrsklassen, zum Aufbau von entsprechenden Netzwerk-Slices und zur Simulation von Paketnetzwerken diskutiert. Der Beitrag diskutiert auch das Netzwerk-Slicing und wie die Slices in einer Paketsimulation dargestellt werden können.

### **2.1 Identifizierung der Datenverkehrsklassen**

Im Zusammenhang mit intelligenten Stromnetzen beziehen sich die Datenverkehrsklassen auf verschiedene Arten von Datenverkehr, die durch die Kommunikationsnetze fließen, die das Stromnetz unterstützen. Diese Klassen werden in der Regel auf der Grundlage der Kritikalität und der Eigenschaften der übermittelten Daten kategorisiert [6].

Die Klasse des kritischen Datenverkehrs umfasst die Kommunikation im Zusammenhang mit kritischen und zeitkritischen Vorgängen innerhalb des intelligenten Netzes, z. B. kritische Netzsteuerungssignale für die Spannungs- und Frequenzregelung in Echtzeit, die Fehlererkennung, die Notfallkommunikation, die Steuerung der erneuerbaren Energieanlagen und die Inselbildung. Diese Datenverkehrsklasse zeichnet sich durch eine sehr geringe Latenz aus, die typischerweise im Bereich von Millisekunden bis Sekunden liegt, da eine minimale Verzögerung für rechtzeitige Entscheidungen und Maßnahmen entscheidend ist. Eine solche Kommunikation muss äußerst zuverlässig sein, um sicherzustellen, dass wichtige Signale empfangen und ausgeführt werden. Die Haupteigenschaft dieser Datenverkehrsklasse besteht darin, dass die Nachrichten von einer ausgewählten Teilmenge der Knoten gesendet werden, die in der Regel von den Netzbetreibern festgelegt werden. Die Kommunikation ist weniger intensiv, muss aber jederzeit verfügbar sein.

Die nicht-kritische Datenverkehrsklasse umfasst die Kommunikation, die zwar wichtig, aber nicht zeitkritisch ist. Dazu gehören verschiedene routinemäßige Netzüberwachungen und -diagnosen, Berichte über Konfigurations-, Topologie- und Wetteraktualisierungen sowie nicht unmittelbare Steuerungsfunktionen, die das gesamte Netzmanagement unterstützen. Die Latenzzeit ist zwar immer noch wichtig, kann aber im Vergleich zum kritischen Datenverkehr weniger empfindlich sein. Die Zuverlässigkeit ist wichtig, aber möglicherweise nicht so streng wie in der kritischen Klasse. Die erforderliche Bandbreite ist moderat und hängt von der Häufigkeit der Datenaktualisierungen und der Anzahl der Kommunikationspunkte ab. Man sollte jedoch die größere Teilmenge der Geräte berücksichtigen, die innerhalb dieser Datenverkehrsklasse Informationen übermitteln. Während im Normalbetrieb der Umfang und

die Häufigkeit des Datenverkehrs gering sein können, sollten in einer kritischen Situation die Aktualisierungen über mehrere Empfänger verbreitet werden.

Die Datenverkehrsklasse Best-Effort (niedrige Priorität) umfasst Kommunikation, die nicht zeitkritisch ist und keine strengen Anforderungen an die Zuverlässigkeit stellt. Dabei kann es sich um nicht kritische Überwachungsdaten, Abrechnungsdaten, Netzvisualisierungstools, Software-Updates und andere weniger zeitkritische Informationen handeln. Sie sind weniger empfindlich gegenüber Latenzzeiten, da die Daten nicht zeitkritisch sind. Die Zuverlässigkeitsanforderungen sind im Vergleich zum kritischen und unkritischen Datenverkehr flexibler. Das Ziel besteht vielmehr darin, die verfügbaren Netzressourcen effektiver zu nutzen, um die erwartete Leistung für die Datenverkehrsklassen mit höherer Priorität zu gewährleisten

## 2.2 Design der Netzwerk-Slices

Beim Entwurf von Netzwerk-Slices geht es um die Schaffung virtueller, isolierter Netze, die auf bestimmte Anforderungen, Anwendungen oder Dienste innerhalb einer gemeinsamen physischen Netzinfrastruktur zugeschnitten sind. Die für konventionelle Kommunikationsnetze geltende Methodik umfasst eine Reihe grundlegender Schritte, darunter die Definition der Eigenschaften, Parameter und Ressourcen, die jedem Slice zugewiesen werden. In den hybriden Netzen ist die Methodik für die Slice-Generierung komplexer. Die folgenden Schritte sind zu berücksichtigen:

- 1) Identifizierung der spezifischen Anwendungsfälle und Anforderungen, für die Netzwerk-Slices benötigt werden. Berücksichtigte Faktoren: Latenz, Bandbreite, Zuverlässigkeit, Sicherheit und anwendungsspezifische Anforderungen. Bei der Identifizierung der Datenverkehrsklassen, die in Abschnitt 2.1 erörtert wird, sollten zusätzliche Anforderungen an das Übertragungsmedium festgelegt werden. Bei bestimmten Kommunikationstypen kann eine etwas höhere Untergrenze für die Latenz bei der Satellitenkommunikation als unerwünscht angesehen werden, wenn die Kommunikationspartner nahe beieinander liegen. Andererseits können einige Komponenten mit hohen Anforderungen an die Ausfallsicherheit der Kommunikation Slices erfordern, die sowohl bei der terrestrischen als auch bei der Satellitenkommunikation kanten- und knotengetrennte Pfade ermöglichen.
- 2) Spezifikation der Eigenschaften und Parameter, die jedes Netzwerk-Slices definieren. Dazu gehört die Angabe der erforderlichen Ressourcen, Leistungsparameter, Service Level Agreements (SLAs) und Isolierungsanforderungen für jedes Slice.
- 3) Analyse der verfügbaren Ressourcen in einem hybriden Netz, das ein terrestrisches Mobilfunknetz und ein LEO-Satellitennetz umfasst. Zu den betrachteten Parametern gehören die Kapazitäten der Satelliten- und Bodensegmentknoten, die Infrastruktur und die Frequenzzuweisung.
- 4) Ressourcenzuweisung auf der Basis der identifizierten Anwendungsfälle und der Anforderungen der einzelnen Netzwerk-Slices.
- 5) Definitionen des Slice-Orchestrationsansatzes, Festlegung von Sicherheitsmaßnahmen und Isolierungsmechanismen zum Schutz der Integrität und Vertraulichkeit von Daten innerhalb jedes Netzwerk-Slices.

## 2.3 Simulation und Bewertung des Slicing-Verfahrens

Sowohl bei der terrestrischen als auch bei der Satellitenkommunikation spielt die Platzierung und Dichte der Kommunikationsknoten eine wichtige Rolle bei der Generierung der Kommunikationsflüsse. Bei der Simulation dynamischer Netze, z. B. sich schnell bewogender LEO-Satellitennetze, hat die Platzierung der Bodensegmentknoten Auswirkungen darauf, welcher Satellit im Hinblick auf das Konstellationsdesign verwendet wird. Es gibt jedoch einige Möglichkeiten, eine Machbarkeitsstudie auch für solch komplexe Technologien durchzuführen. Um die Anwendbarkeit der vorhandenen Werkzeuge für die Bewertung der Verkehrsklassifizierungs- und Slicing-Methoden zu demonstrieren, wurde der Prozess der Zuordnung von Klassen und Slices abgeschlossen und die resultierenden Slices wurden im Hypatia-Simulator erstellt.

Um realistische Simulationsszenarien zu erstellen, wurden offene Energie- und Mobilfunknetzdaten verwendet. Derzeit gibt es mehrere Quellen, die den Zugang zu den Standorten und Eigenschaften der erneuerbaren Stromerzeuger in Deutschland ermöglichen. So bietet OPSD<sup>1</sup> umfassende Daten über das deutsche Stromsystem, einschließlich der Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien. Die Open Energy Platform (OEP)<sup>2</sup> ist eine Open-Source-Initiative, die eine Plattform für den Austausch von energierelevanten Daten und die Förderung der Zusammenarbeit im Bereich der nachhaltigen Energie bieten soll. Die Bundesnetzagentur (BNA)<sup>3</sup> ist die deutsche Regulierungsbehörde, die für die Überwachung von Sektoren wie Telekommunikation und Energie zuständig ist und ebenfalls zahlreiche Telekommunikations- und Stromnetzdaten zur Verfügung stellt. Für diese Studie wurde auf erneuerbare Stromerzeuger aus den OEP-Daten zugegriffen. Die dedizierten terrestrischen Netze wurden auf der Grundlage von Heuristiken für die Platzierung der Funkknoten in den einzelnen Gemeinden erstellt.

Die erneuerbaren Stromerzeuger wurden in 3 Prioritätsklassen eingeteilt und die Kommunikation zwischen ihnen wurde in 3 Verkehrsklassen eingeteilt. Die erste Verkehrsklasse ist die Kommunikation der kritischsten Anlagen mit hoher Priorität. Für das kleine Szenario wurden 5 Knoten mit hoher Priorität ausgewählt. Diese Knoten können für die Aufrechterhaltung der Netzstabilitätsgeneratoren wesentlich sein. Die zweite Verkehrsklasse hat eine mittlere Priorität und eine zweite große Gruppe von Knoten, bei denen es sich um Netzgeneratoren handeln kann, die durch vernetzte intelligente Umrichter unterstützt werden. Die dritte Verkehrsklasse ist die Verkehrsklasse mit niedriger Priorität und geringen Kommunikationsanforderungen, die Stromnetzknöten mit der Zustandserfassung darstellen.

## 3 Ergebnisse

Dieser Kapitel beschreibt die Auswertung der vorgeschlagenen Methodik, hebt die verwendeten Tools hervor und gibt einen Überblick und eine Diskussion über die Simulationsergebnisse für die ausgewählten Szenarien.

---

<sup>1</sup> <https://open-power-system-data.org/>

<sup>2</sup> <https://openenergy-platform.org/>

<sup>3</sup> <https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Vportal/TK/Funktechnik/EMF/start.html>

Szenario	Klein	Groß
Anzahl der Knoten	43	464
Typ der Knoten	Erneuerbare Hochspannungserzeuger	Hochspannungs- und Höchstspannungsknoten
Anzahl der Knoten in Datenverkehrsklassen	5; 20; 18	46; 130; 288
Anzahl der Kommunikationen pro Datenverkehrsklasse	5; 20; 40	92; 260; 576
Durchsatzrate an der Satellitenschnittstelle	0.6; 0.3; 0.1	0.6; 0.3; 0.1
Paketgröße	100 Kbyte	100 Kbyte

Tabelle 1 - Simulationsszenarien

### 3.1 Simulationstools

Das Experiment zur Klassifizierung des Datenverkehrs in LEO- und terrestrischen Netzen wurde mit Hilfe des Netzwerksimulators ns-3 und des Hypatia-Frameworks durchgeführt. Ns-3 ist ein Open-Source-Simulator (discrete-event), der für Forschungs- und Ausbildungszwecke im Bereich Rechnernetze entwickelt wurde. Er bietet eine Plattform für die Simulation und Analyse der Leistung verschiedener Netzwerkprotokolle und -szenarien. Das Satellitennetz wurde mit Hypatia simuliert. Hypatia [6] baut auf ns-3 und ermöglicht die Simulation von LEO-Satellitenkommunikationsszenarien. Das Modul umfasst Modelle für Satellitenumlaufbahnen, Verbindungseigenschaften und verschiedene Satellitenkommunikationsprotokolle. Der Simulator unterstützt die Simulation von Satellitendynamik und deren Auswirkungen auf Kommunikationsverbindungen.

### 3.2 Szenarien

Für die Bewertung wurden 2 Szenarien erstellt: ein kleineres Szenario umfasst erneuerbare Hochspannungserzeuger über Deutschland, ein größeres Szenario umfasst Hochspannungs- und Höchstspannungsknoten über Deutschland. Die aus dem OEP gewonnenen Datensätze enthalten 43- und 464-Datenpunkte für die Knoten dieser Spannungsebene. Die Verteilung der Knotenpunkte ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt. Die Szenarien sind in Tabelle 1 beschrieben.

Das Satellitennetz wurde in Hypatia entwickelt und verwendet eine Kuiper-Schale mit 17 Umlaufbahnen in einer Höhe von 630 km. Die Anzahl der Satelliten auf der Umlaufbahn beträgt

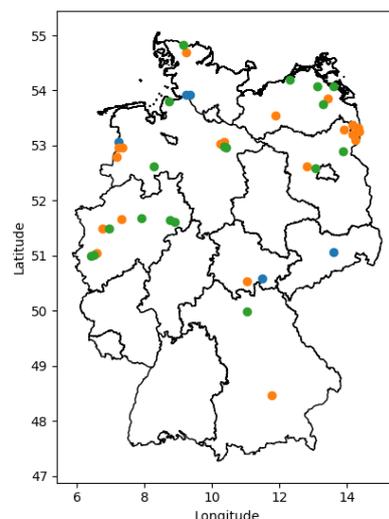


Abbildung 1 - Verteilung der kommunizierenden Stromnetz-knoten

34, die Bahnen sind mit 51,9 Grad Neigung und 30 Grad Neigungswinkel eingerichtet. Hypatia erlaubt es, diese Parameter zu variieren. In dieser Studie wurden die Parameter der Kuiper-Schale für die reproduzierbare Demonstration ausgewählt und genau festgelegt. Die Bandbreite der Kommunikationsverbindung wurde für beide Netzwerke auf 10 Mbps festgelegt. Die Warteschlangengröße beträgt 100 Pakete. Das Verkehrsmuster wurde als zufälliger TCP-Fluss von unendlicher Datenmenge zwischen zufälligen Knotenpaaren der gleichen Verkehrsklasse entworfen. Der Beginn der TCP-Flüsse ist gleichmäßig über die erste Sekunde verteilt. Die Simulation dauert 5 Sekunden.

### 3.3 Simulationsergebnisse

Zuerst wurde die Leistung der Kommunikation über das terrestrische Netz bewertet. Alle Kommunikationsflüsse von den Knoten in dem kleineren Szenario wurden über das terrestrische Netz geleitet. Die Verkehrsklassen werden in diesem Referenztest nicht visualisiert, weil er die allgemeine Datenübertragungsrate und RTT im simulierten Netz demonstriert. Aufgrund der fehlenden Priorisierung und der fehlenden Slices ist in Abbildung 2 die durchschnittlich niedrige Übertragungsrate des Verkehrs für alle Kommunikationsarten zu sehen. In diesen und weiteren Experimenten stellt die x-Achse die einzelnen Kommunikationsflüsse dar, die Klassen werden durch unterschiedliche Farben markiert. Ohne Priorisierung des Datenverkehrs liegt die durchschnittliche Datenübertragungsrate bei etwa 1.5Mbit/s, während einige Verbindungen aufgrund der Nähe der Knoten und der damit verbundenen geringeren Anzahl von Sprüngen hohe Datenübertragungs- und verbesserte RTT-Raten aufweisen. In den terrestrischen Netzen ist daher eine höhere RTT für die entfernten Komponenten zu erwarten.

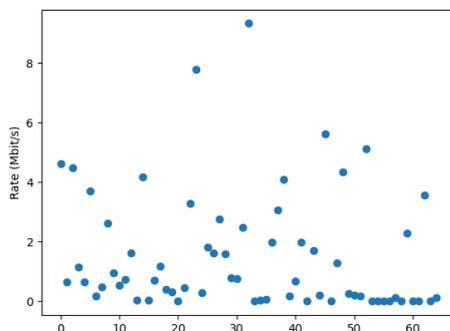


Abbildung 2 - Übertragungsrate für das dedizierte terrestrische Netz ohne Slicing

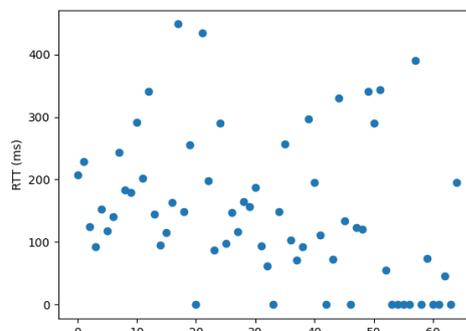


Abbildung 3 - RTT für terrestrisches dediziertes Netz ohne Slicing

Bei der Satellitenkommunikation ist dieses Verhalten jedoch anders. Das gleiche Experiment wurde mit dem Aufbau der Satellitenkommunikation wiederholt und ist in Abbildung 4 und Abbildung 5 zu sehen. Bei der Satellitenkommunikation sind die Datenübertragungsrate und die RTT ohne Netzwerk-Slices niedriger. Dies erklärt sich durch den Single-Hop-Charakter der LEO-Satellitenkommunikation, wenn man die Größe der Region in Deutschland berücksichtigt. Allerdings sind die Übertragungsrate und die RTT in einer solchen Konfiguration nicht garantiert, daher liegt der Durchschnitt der Übertragungsrate für alle Verkehrsklassen bei 5,4 Mbit/s und die RTT bei 80ms.

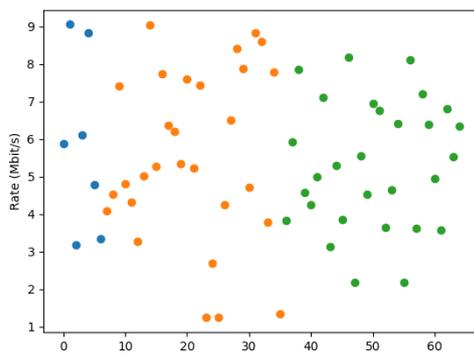


Abbildung 4 - Übertragungsrate für Kommunikation über LEO-Satelliten ohne Slicing (kleines Szenario)

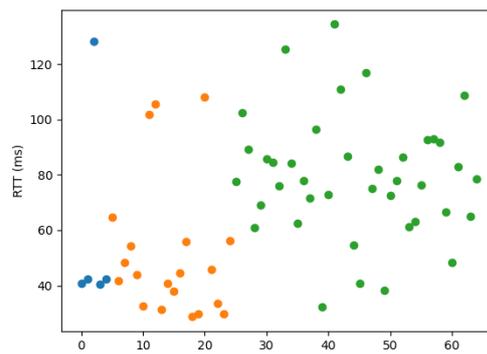


Abbildung 5 - RTT für Kommunikation über LEO-Satelliten ohne Slicing (kleines Szenario)

Mit der Einführung der Netzwerk-Slices wird die Gewährleistung eines besseren Dienstes für die Verkehrsklassen mit hoher Priorität sichtbar (Abbildung 6 und Abbildung 7). Die vorgesehene Isolierung der Verkehrsströme führt zu einer garantierten hohen Datenrate für die priorisierte Klasse mit einer durchschnittlichen Rate von 8,3 Mbit/s. Die Best-Effort-Verteilung wird auch für den Verkehr mit mittlerer Priorität erreicht, und die Rate verbessert sich auf 7,0 Mbit/s. Bei Verkehr mit niedriger Priorität sinkt die Rate, da die verfügbaren Ressourcen auf die Klassen mit höherer Priorität umgeschichtet wurden.

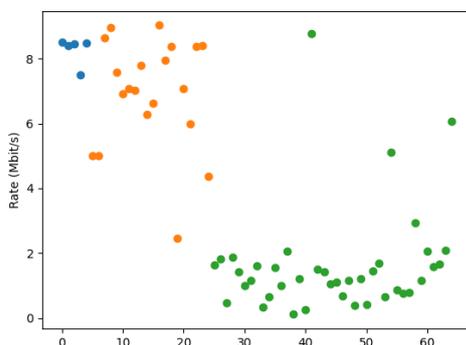


Abbildung 6 - Übertragungsrate für Kommunikation über LEO-Satelliten mit Slicing (kleines Szenario)

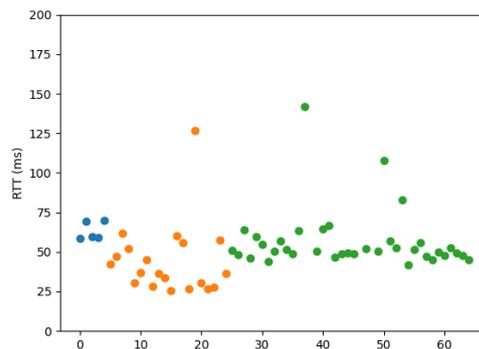


Abbildung 7 - RTT für Kommunikation über LEO-Satelliten mit Slicing (kleines Szenario)

Die Auswirkungen des Slicings sind auch beim zweiten Szenario zu beobachten (Abbildung 8 und Abbildung 9), bei dem die Anzahl der Bodenstationen und Kommunikationen erhöht wird. Durch das höhere Verkehrsaufkommen in jeder Klasse wird die Überlastung auf der Endnutzerebene sichtbar. Die RTT-Werte verbessern sich für den Verkehr mit niedriger Priorität aufgrund der Isolierung beider Verkehrsklassen und der dadurch vermiedenen Überlastung. Es ist jedoch zu beobachten, dass die RTT für den Datenverkehr mit hoher und mittlerer Priorität leicht erhöht ist. Der Grund für dieses Verhalten könnte an der unterschiedlichen Art der Überlastung liegen. Die besseren Verkehrsklassen sind bei den Bodenstationen überlastet, wohingegen die niedrigste Verkehrsklasse bei den Satelliten überlastet ist. Diese Experimente machen deutlich, wie die Gesamtkomplexität des Systems und die Auswahlkriterien für die Zuweisung der Datenverkehrsklassen einen großen Einfluss auf die Leistung der Kommunikation zwischen den Stromnetzkomponenten haben.

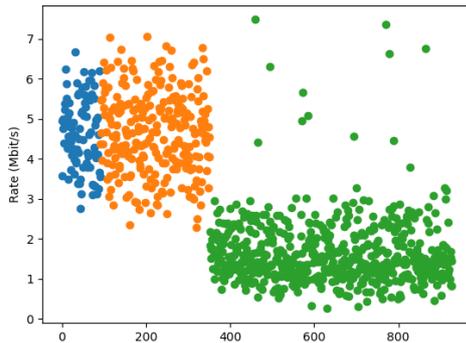


Abbildung 8 - Übertragungsrate für Kommunikation über LEO-Satelliten mit Slicing (großes Szenario)

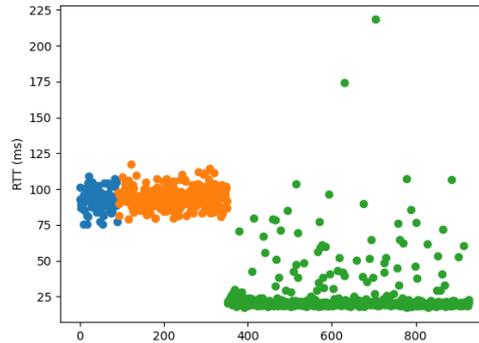


Abbildung 9 - RTT für Kommunikation über LEO-Satelliten mit Slicing (großes Szenario)

## 4 Zusammenfassung

Zu den zu evaluierenden Dienstleistungen gehören der Datenaustausch von kritischen Referenzwerten, die Datenerfassung von intelligenten Zählern und Statusaktualisierungen von größeren erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen. Diese Studie zeigt, wie der verfügbare Satellitenfunkkanal durch den Einsatz von Netzwerkvirtualisierung aufgeteilt werden kann, und schlagen ein Verfahren zur Simulation der Anordnung von Netzwerk-Slices vor. Die Ergebnisse demonstrieren die Einsetzbarkeit der Methode für verschiedene Szenarien, die auf der Grundlage öffentlich verfügbarer Daten erstellt wurden.

Wir erörtern außerdem, wie dieser Ansatz in die derzeit eingesetzten dedizierten terrestrischen Netze und in die kommenden 6G-Netze integriert werden kann. Der letzte Punkt ist besonders interessant, da sich die künftige 6G-Mobilfunkstandards im Vergleich zu den LTE-Mobilfunkstandards auf die Virtualisierung von Netzwerkfunktionen konzentrieren und die nahtlose Integration zusätzlicher fortschrittlicher Funktionen ermöglichen. Ein Ansatz für die nahtlose Integration der expliziten Unterstützung für den Energiesektor sowohl für LTE- als auch für 6G-basierte Netze ist eine grundlegende Anforderung für das laufende Jahrzehnt.

## 5 Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projekts EnerSat (Satellitengestützte Kommunikation für das Energiesystem; Teilvorhaben: Die Rolle von Satellitenkommunikation für ein resilientes Kommunikationsnetz“) durchgeführt, das vom BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz) unter dem Förderkennzeichen 50RU2303C gefördert wurde.

## Referenzen

- [1] Q. Yang, D. Laurenson und J. A. Barria, „On the use of LEO satellite constellation for active network management in power distribution networks,“ *IEEE Transactions on Smart Grid*, Bd. 3, Nr. 3, pp. 1371-1381, 2012.

- [2] A. Fischer, J. F. Botero, M. T. Beck, H. de Meer und X. Hesselbach, „Virtual Network Embedding: A Survey,“ *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Bd. 15, Nr. 4, pp. 1888-1906, 2013.
- [3] Z. Jia, M. Sheng, . J. Li, Y. Zhu, W. Bai und Z. Han, „Virtual network functions orchestration in software defined LEO small satellite networks,“ in *ICC 2020-2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2020.
- [4] A. Petrosino, G. Piro, L. A. Grieco und G. Boggia, „On the Optimal Deployment of Virtual Network Functions in Non-Terrestrial Segments,“ *IEEE Transactions on Network and Service Management*, Bd. 20, Nr. 4, pp. 4831 - 4845, 2023.
- [5] J. Pang und S. Qibo, „Network slicing in leo satellite network,“ in *21 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Information Systems*, Chongqing, China, 2021.
- [6] R. Khan und J. Y. Khan, „A comprehensive review of the application characteristics and traffic requirements of a smart grid communications network,“ *Computer Networks*, Bd. 57, Nr. 3, pp. 825-845, 2013.