

# Reif für die Insel? Willkommen im LTE - Paradies!

Felix Voglsam, Julian Timo Magin und Wolfgang Eisenhut

**Abstract**—This paper gives an overview about the basic components of a Long Term Evolution network (LTE). Furthermore, it deals with a specific scenario to build up a LTE network. In that case the assumption is to be an owner of an island with the intention to build a LTE infrastructure there. On the one hand Open-Source software solutions used to run without proprietary hardware are discussed as well as on the other hand possible LTE providers, that might also offer specialised services, are taken into consideration in this paper.

**Index Terms**—4G mobile communication, Communication equipment, Communication systems, Open-Source software, Share prices

## I. EINLEITUNG

WELCHE Infrastruktur ist für ein State-of-the-art 4. Generation/Long-Term Evolution (4G/LTE) Mobilfunknetz unter dem Gesichtspunkt der Kosteneffizienz auf einer Insel mit ungefähr 500 Einwohnern geeignet, ist die zentrale Frage dieser Arbeit.

### A. Gliederung

Nach der Einleitung mit der Gliederung und den Prämissen folgt das Kapitel Aufbau LTE, welches die grundsätzliche Netzarchitektur erklärt. Danach werden im Kapitel Komponenten die benötigten Bestandteile vorgestellt. Das Kapitel Open-Source Lösungen stellt alternative Open-Source Lösungen vor. Das Kapitel Make or Buy stellt die vorgeschlagene Lösung vor und im Kapitel Sicherheit werden Risiken aufgezeigt, bevor die Arbeit schließlich mit der Conclusion endet.

### B. Prämissen

Es wird von einer Insel in der Südsee mit 500 Einwohnern ausgegangen. In dieser Arbeit wird nur der Telefon und Datendienst des Netzes untersucht. Die Anbindung an internationale Netze ist nicht Inhalt der Arbeit. Die Staatsform der Insel ist die parlamentarische Republik. Deren gewählte Vertreter treffen die Entscheidung über das zu erbauende Mobilfunknetz. Um das Zusammenleben der Einwohner zu regeln, tritt auf der Insel eine Rechtsprechung in Kraft, welche die Einhaltung von legislativen Vorgängen überwacht. Somit unterliegen auf der Insel die Telekommunikationsanbieter auch gesetzlichen Regelungen und Vorgaben.

Felix Voglsam, Julian Timo Magin, and Wolfgang Eisenhut were with the FH Campus Wien (FHCW) Favoritenstraße 226 1100 Wien, Austria e-mail: felix.voglsam@stud.fh-campuswien.ac.at, julian.timo.magin@stud.fh-campuswien.ac.at, wolfgang.eisenhut@stud.fh-campuswien.ac.at.

Manuscript received December 1, 2019; revised December 23, 2019.

### C. Bewertungskriterien

Aufgrund der Tatsache, dass sich das 4G LTE Mobilfunknetz über verschiedene Sektoren erstrecken soll, ergeben sich verschiedene technische und nicht-technische Anforderungen an eine solche Architektur, je nach spezifiziertem Anwendungsfall. Zu diesen gehören der Öffentliche Dienst, die Energieversorgung, das Transportwesen, das Krisen- und Katastrophenmanagement, wie auch der Bildungsbereich, oder generell zu Entertainment Zwecken wie für die Nutzung von Streaming Plattformen, sowie auch das Gesundheitswesen. Hierbei kristallisieren sich insbesondere Kriterien heraus, welche einerseits die Zellreichweite, eine hohe Abdeckung, sowie andererseits hohe Datenraten berücksichtigen. Diese Metriken sind insofern von Bedeutung, damit die Inselbewohner letztlich als Benutzer des Mobilfunknetzes die angebotenen Services und Dienstleistungen mit hoher Zuverlässigkeit und entsprechend geringen Ausfallwahrscheinlichkeiten nutzen können. [1].

### D. Use Case Seenotrettungssystem

Die zu betrachtende Insel verfügt über ein Seenotrettungssystem, präziser gesagt über ein maritimes Rettungskoordinationszentrum, über welches mit Hilfe von Rettungsschiffen und Rettungsdrohnen in Seenot geratene Inselbewohner lokalisiert werden können. Im Hinblick auf ein Seenotrettungssystem liegt die Vermutung nahe, dass eine hohe Reichweite, respektive auch Coverage auf hoher See anzustreben und wünschenswert ist. Zu bedenken in diesem Zusammenhang ist, dass die Coverage des Systems stark von der Verfügbarkeit stationärer Basisstationen abhängig ist. Sollte die Coverage nicht ausreichen, gibt es die Möglichkeit, sich Coverage Extension Anwendungen zu bedienen.

### E. Use Case autonome vehikulare Mobilität

Des Weiteren bewegen sich die Einwohner, auf dem Staatsgebiet der Insel, in autonom fahrenden Autos, weshalb auch hierfür entsprechende Anforderungen in Bezug auf die Komponenten für vehikulare Kommunikation bei der Planung eines Mobilfunknetzes berücksichtigt werden sollten. Der Einsatz von selbstfahrenden Automobilen führt auch zu Überlegungen in Bezug auf mögliche Verzögerungen bei der Übertragung von Latenz sensitiven Daten, die für ein funktionierendes autonomes Verkehrssystem essentiell sind. Somit ist es notwendig, eine hohe Dienstleistungsqualität auch bekannt als Quality of Service (QoS) zu garantieren. Die Details zur Umsetzung von QoS sind in Abschnitt Logische Komponenten näher erläutert. Dies geschieht vor allem unter dem Aspekt von Safety Bedenken, um Kollisionen bei der Navigation zu verhindern.

Bisherige Experimente von Eckermann et al. mit stationären tinyLTE Knoten demonstrieren eine mögliche Reichweite von einem Zellradius bis zu 175 m bei einer Fahrgeschwindigkeit von ca. 1.4 m/s (5 km/h), siehe dazu auch Abschnitt tinyLTE zur näheren Beschreibung. Dabei war der mobile Knoten an einem Fahrzeug auf einer Höhe von 1,65 m montiert. Durch das Aufzeichnen der GPS Signale konnte eine Map erstellt werden, die sowohl Signalstärke als auch Latenzen zusammenfasst. Bei einer Entfernung von 110 m wurde die Übertragung sehr unzuverlässig. Alles in allem wurde eine Latenz von 7 ms festgehalten. Bezogen auf den Standard 3GPP V2X ist eine maximale Latenz von 100 ms für Safety bezogene V2X Kommunikation und 20 ms für drohende Unfälle mit einer Empfangszuverlässigkeit von mehr als 80 bis zu 95 Prozent zulässig. In Erwägung gezogen wird auch die Skalierbarkeit der beteiligten Kommunikationsknoten. [2] Da eine Infrastruktur von Grund auf erbaut wird, muss keine Rücksicht auf etwaige bestehende Legacy Architekturen genommen werden, in welche neue Komponenten zu integrieren sind.

### F. Anbieter am Markt

Eine Vielzahl von Anbietern für die Errichtung eines Mobilfunknetzes bestimmen derzeit den globalen LTE Advanced Markt. Die dominierenden Unternehmen in diesem sind Ambra Solutions, Arris International, Athonet, Cisco, Comba, DruidSoftware, Ericsson, Future Technologies, General Dynamics und Huawei. Neben diesen existieren aber auch weitere Anbieter wie beispielsweise Lemko, Luminare Wireless, Mavenir, NEC, Netnumber, Nokia, Pdvwireless, Quortus, Redline Communications, Samsung, Sierra Wireless, Star Solutions, Ursys, Verizon und Zinwave. [3] Abhängig von den Use Cases ergeben sich bei der Analyse und beim Design spezifizierte funktionale wie auch nicht-funktionale Anforderungen. Durch die konkrete Betrachtung einer Einführung eines Mobilfunknetzes gilt es, sich mit auftretenden Fragestellungen wie dem Angebot an qualifiziertem Fachpersonal, welches auf den LTE Advanced Standard geschult ist, auseinanderzusetzen. Dieses kann dann sowohl in den Phasen der Analyse und des Designs als auch in denen der Implementierung sowie bei der Wartung und beim Testen vor Inbetriebnahme gezielt eingesetzt werden. So ist beispielsweise zu prüfen, ob entsprechendes Kapital vorhanden ist, um externe Berater zur Projektunterstützung einzuflechten. Sofern diese schon einmal ähnliche Projekte realisiert haben, ist es sinnvoll mit Hilfe dieser Erfahrungswerte von vergangenen Projekten in Bezug auf Planung und Koordination Aufwandsabschätzungen vorzunehmen. Somit lassen sich Fehleinschätzungen minimieren, im Idealfall gar vermeiden. Sind generell Fachkräfte mit Domänen spezifischem Know-How verfügbar dann ist es sinnvoll Schulungszentren aufzubauen, um langfristig Abhängigkeiten von Schulungsdienstleistern zu verringern.

## II. AUFBAU LTE

### A. LTE Entwicklung

LTE ist im Release (R)8 im Dezember 2008 von der Third Generation Partnership Project (3GPP) eingefroren worden und stellt die Basis des ersten LTE Equipments dar. Der R8

stellt eine Verbesserung des 3G Standards dar, zählt aber zu 3G [4, S. 32ff]. Erst LTE R10, auch LTE+ oder LTE Advanced genannt, als Standard von der 3GPP oder der International Mobile Telecommunications (IMT)-Advanced Standard der International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R) erfüllen die Anforderungen von 4G und werden in dieser Arbeit vereinfachend LTE genannt [5].

Der Treiber bei der Entwicklung von LTE war die Erhöhung der Kapazität. Es werden kosteneffizient höhere Bitraten (Download (DL): 3 Gbit/s, Upload (UL): 1,5 Gbit/s) ermöglicht. Dies wird durch höhere Link Spektrale Effizienz bei R10 von 30 (bit/s)/Hz im Gegensatz von R8 mit 16 (bit/s)/Hz erreicht. Dadurch erhöht sich die Anzahl der möglichen, gleichzeitig aktiven Teilnehmer des Netzes. Ebenso erhöht sich die System Spektrale Effizienz bei R10 für den DL mit Multiple Input–Multiple Output (MIMO) auf 2,4 (bit/s)/Hz/Zelle. Im Gegensatz zu 3G/LTE wird dies durch Carrier Aggregation (CA), dem gestiegenen Einsatz von Multi-Antennen Techniken und Relay Nodes (RN) erreicht [5]. Zurzeit ist R15 der höchste stabile Release der 3GPP für LTE. Ab R12 werden die Releases als LTE Advanced Pro und 4,5G genannt, um die Annäherung an den neuen 5G Standard zu symbolisieren. LTE ist ein Markenname des European Telecommunications Standards Institute (ETSI). R15 bietet eine höchste Link Spektrale Effizienz von 30 (bit/s)/Hz beim DL und 15 (bit/s)/Hz bei einer DL Antennenkonfiguration von 8x8 und UL 4x4. Bei 4x4 wird für den DL eine System Spektrale Effizienz von 0,12 (bit/s)/Hz/Zelle/Teilnehmer, wenn sich 10 Teilnehmer in der Zelle befinden, erreicht. Das Voice over Internet Protocol (VoIP) ist in jeder Antennenkonfiguration möglich. Abhängig vom Frequenzband sind Spitzengeschwindigkeiten der mobilen Endgeräte (zB Handy, Datenwürfel) technisch User Equipment (UE) genannt von 350 bis 500 km/h möglich [6].

### B. Architektur LTE

Die Daten werden paketorientiert mit dem Internet Protocol (IP) übermittelt. Die Architektur besteht aus vier Blöcken. Das UE ist per Funk mit dem Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) verbunden. Das E-UTRA ist über den Evolved NodeB (eNodeB) mittels Leitungen mit dem Evolved Packet Core (EPC) verbunden.

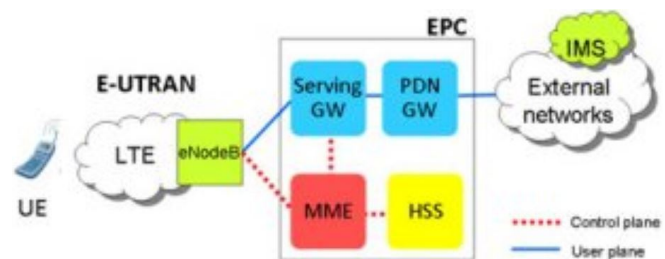


Abbildung 1: Architektur LTE [7]

Die Signalisierungsdaten und die Mediendaten werden separat übermittelt. Die Mediendaten werden der User Plane und die Signalisierungsdaten der Control Plane übergeben. Leitungen verbinden das EPC mit externen Telefonnetzen

sowie Datennetzen, dem IP Multimedia Core Network Subsystem (IMS, siehe Abb 1) [7]. E-UTRAN wird auch Radio Access Network (RAN) und das EPC Core Network (CN) genannt. System Architecture Evolution (SAE) ist der Standard der Architektur von der 3GPP für das CN. LTE und SAE beinhalten das Evolved Packet System (EPS). Dies bietet eine nahtlose Benutzung des IP vom UE zum Packet Data Network (PDN) und gestattet sowohl Quality of Service (QoS) als auch IP Dienste wie zB VoIP. Es können mehrere Kanäle mit unterschiedlichem QoS von verschiedenen PDN's für unterschiedliche Dienste angeboten werden [8].

### C. Logische Komponenten

1) *User Equipment*: Ab R12 sind der DL und UL in eigenen Kategorien getrennt spezifiziert. Die DL und UL Kategorien können unterschiedlich sein [9]. Das UE ist nicht Teil der zu beschaffenden Infrastruktur.

2) *E-UTRAN*: Die Architektur im E-UTRAN (siehe Abb. 2) ist bewusst flach gehalten und besteht nur aus miteinander über das X2 Protokoll kommunizierenden eNodeB's. Auch die Übergabe von UE an andere eNodeB's regeln diese ressourcenschonend alleine, ohne einen zentralen Controller. Über das S1 Protokoll kommuniziert ein eNodeB mit den CN Knoten. Der Mobility Management Entity (MME) werden die Signalisierungsdaten und dem Serving Gateway (SGW) die Mediendaten übergeben. Mit dem S1-flex Protokoll versorgen mehrere CN Knoten (MME/S-GWs) eine gemeinsame Region (Pool Area) durch Vernetzung mit den eNodeB's, dem MME/S-GW Pool. Die UE's einer Zelle, die von einem eNodeB betreut werden, sind von mehreren CN-Knoten unterstützt. Das verhindert einen Single Point of Failure bei den CN-Knoten und erlaubt Load Balancing. Der UE Kontext verbleibt normalerweise bei einem MME, solange sich die UE in der selben Pool Area befindet [8].

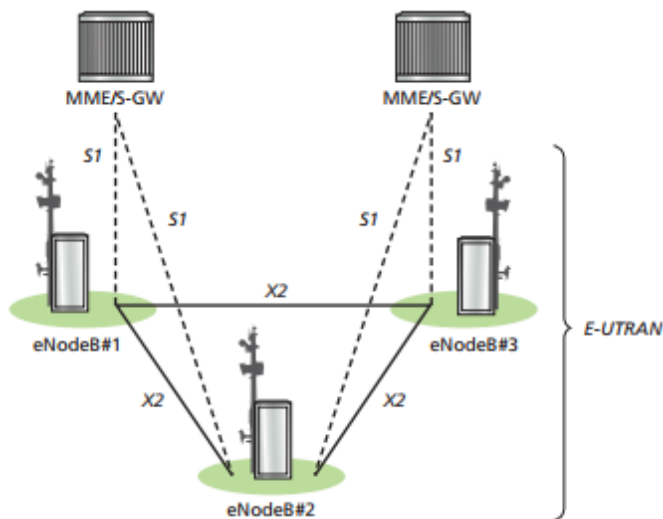


Abbildung 2: E-Utran Architektur [8]

Die Schnittstelle zum UE sind die Access Stratum (AS) Protokolle [10, S. 131]. Das E-UTRAN ist für das Radio Resource Management (RRM), also für Funk relevante Funktionen, wie zum Beispiel die Bestimmung der zur Verfügung

stehenden Ressourcen am UE, sowie für die Kompression und Verschlüsselung der Daten, zuständig. Ein UE gehört zu genau einem eNodeB [8].

3) *EPC*: Die wichtigsten logischen Knoten sind:

- PDN Gateway (P-GW)
- Serving Gateway (S-GW)
- Mobility Management Entity (MME)
- Home Subscriber Server (HSS)
- Policy Control and Charging Rules Function (PCRF)

Das PCRF ist zuständig für die Policy, also für das Freischalten der Dienste und QoS-Autorisierung, die der Kunde vertraglich mit dem Provider vereinbart hat. Für die Verrechnung wird die PCRF durch die Policy Control Enforcement Function (PCEF) unterstützt. Beide sind physisch in der P-GW untergebracht. Der HSS hingegen enthält das QoS Profil und Zugangsbeschränkungen für das Roaming sowie mögliche PDN's. Die PDN's können mit Access Point Name (APN), einer Bezeichnung, die den Domain Name System (DNS) Regeln folgen, gekennzeichnet sein. Weiters speichert die HSS den aktuellen MME der UE. Weiters ist das Authentication Center (AUC) im HSS angesiedelt. Das P-GW verwaltet die IP-Adressen der UE's und ist für die QoS Umsetzung zuständig. Mit Hilfe von Traffic Flow Templates (TFT) und den im PCRF hinterlegten Regeln werden unterschiedliche Kanäle mit verschiedenen QoS-Niveaus für unterschiedliche Downlink Kanäle bereitgestellt. Das P-GW ist auch die Schnittstelle zu Netzen mit nicht 3GPP konformen Technologien wie Code-Division Multiple Access 2000 (CDMA2000) und Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMax®). Alle User IP-Pakete gehen durch das S-GW, welches als Puffer für die unterschiedlichen Kanäle dient, wenn das UE sich zwischen den eNodeB's wechselt. Auch wenn das UE im Ruhezustand ist werden mit Unterstützung des EPS Connection Management-IDLE (ECM-IDLE) Downlink Daten und Kanalinformationen gespeichert. Das S-GW speichert auch Metadaten für die Verrechnung wie zB Downloadvolumen und ist für die Lawful Interception zuständig. Ebenso ist es die Schnittstelle zu 3GPP Technologien wie General Packet Radio Service (GPRS) oder Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Die MME ist verantwortlich für die Signalisierung zwischen UE und CN. Die Protokolle nennt man Non Access Stratum (NAS) und regeln das Kanal und Verbindungsmanagement. Sobald das UE im Netz eingeschaltet wird, erhält es vom MME eine SAE Temporary Mobile Subscriber Identity (S-TMSI), die dem UE Kontext zugeordnet ist. Der Kontext enthält zB die vom HSS heruntergeladenen Profilinformationen. Die MME ist auch für die Security wie zB Authentifizierung verantwortlich. Um die Kosten zu senken und die Ansprechzeit zu erhöhen werden die Daten gecached. Dynamisch werden Daten von aufgebauten Verbindungen und Terminal Daten gespeichert. Ist das UE im Ruhezustand (ECM-IDLE state) wird der Kontext, auch RAN-Daten, dauerhaft gesichert. Dazu sendet das UE beim Verlassen der Tracking Area (TA) ein Tracking Area Update. Die MME ist für die Lokalisierung einer UE im Ruhezustand verantwortlich. Sind Downlink Informationen für eine UE verfügbar, werden alle eNodeB's im aktuellen TA von der MME informiert. Der eNodeB in der

aktuellen Zelle verständigt die UE, welche sich durch eine Service Request Procedure in den ECM-CONNECTED State versetzt, was idle-to-active transition genannt wird. Danach baut die MME eine Verbindung auf. Um diesen Prozess zu beschleunigen, arbeiten NAS und AS Protokolle wenn möglich gleichzeitig [8].

### III. KOMPONENTEN

#### A. State of the Art Marktanalyse

Um die ansässigen Inselbewohner zufriedenzustellen, sollten insbesondere Peak Data Raten, die Zellkapazitäten, der Zellradius, die Radio Access Modi, die Antennen Schemata, sowie das Mobility Speed Handover konkreter in Erwägung gezogen werden [11]. Bei der Recherche zur Thematik haben sich folgende Kriterien als Unterscheidungsmerkmale herauskristallisiert, welche eine Entscheidungsfindung beeinflussen. Ob nun anhand dieser letztlich eine Entscheidung getroffen wird, ob nun ein Mobilfunknetz selbst errichtet (Make) oder die notwendigen Komponenten (Buy) hinzugekauft werden sollen, wird im Kapitel Make or Buy näher beleuchtet. Neben dem Spektrum, dem Durchsatz, der Latenz, der Redundanz, der Interoperabilität beziehungsweise der Kompatibilität, ist auch die Möglichkeit der Skalierbarkeit, um etwaige Nachbarinseln mitzuversorgen, von großer Bedeutung. Denn diese haben ihrerseits kooperativ ihre Hilfe zur Analyse der Problematik in Form der Nutzung eines Internet Cafes angeboten, um erste Rechercharbeit bezüglich des Aufbaus eines LTE Mobilfunknetzes zu liefern. Zusätzlich als weitere nicht zu vernachlässigende Elemente stellen auch Kriterien wie das des Monitorings respektive des Control Managements, ebenso wie der möglichen Coverage, als auch die Kapazität, Faktoren dar, welche die finalen Entscheidungsprozesse maßgeblich beeinflussen. Zudem sollte abzuwägen sein, ob ein "Easy to use Enterprise Dashboard" vorhanden ist. Des Weiteren wird die Art der Lizenz von Open-Source Projekten, unter dem Aspekt der anschließenden Vermarktung, geprüft. Auch zu beachten ist, in welchen gesetzlichen Rahmenbedingungen die verantwortlichen Projektleiter zu agieren haben.

### IV. OPEN-SOURCE LÖSUNGEN

Im Vergleich zu teurer Spezial-Hardware und nicht frei zugänglicher Software, gibt es auch sogenannte Open-Source Lösungen. Grundsätzlich kann eine Software als Open-Source bezeichnet werden, wenn der Quellcode dieser veröffentlicht wird. Im Gegenzug, zur einfachen Bereitstellung einer rein ausführbaren Datei. Des Weiteren wird frei zugängliche Software oftmals mit eingeschränkten, oder keinen Beschränkungen weitergegeben. Diese ist daher oftmals frei und kostenlos zu verwenden und somit auch erweiter- und veränderbar [12].

Allerdings gibt es nicht eine einzige Lizenz, unter welche Open-Source Software zur Verfügung gestellt wird. Dabei unterscheiden sich diese teils gravierend. So ist es beispielsweise erlaubt, Änderungen an einer, unter der Berkeley Software Distribution (BSD) Lizenz veröffentlichten Software, vorzunehmen und diese unter eine beliebige, auch nicht freie Lizenz, zu stellen. Lediglich der Vermerk auf die ursprüngliche Lizenz

muss vorhanden bleiben. Wohin gegen die GNU General Public License (GPL) besagt, dass eine veränderte Software, welche bereits in der GPL veröffentlicht wurde, ebenfalls unter die GPL zu stellen ist, also wieder frei zugänglich und veränderbar sein muss. Es gibt aber auch noch weitere Open-Source Lizenzen, wie etwa: Apache License, Common Public License (CPL), Mozilla Public License (MPL), European Public License (EURL), MIT License uvm [13].

#### A. OpenAirInterface - OAI

Im konkreten Anwendungsfall, ermöglicht uns eine solche Software, kostengünstig ein eigenes LTE-Netzwerk aufzubauen. Ganz ohne Hardware geht dies natürlich nicht, jedoch würde ein Modul für etwa 1500 US Dollar ausreichen, um ein funktionsfähiges Netz aufzubauen. Ein solches Software Defined Radio (SDR) ist das "Flexible, Next-Generation, Open-Source Software-Defined Radio" von LimeMicrosystems, welches im Zuge einer Crowdfunding-Aktion realisiert wurde [14]. LimeMicrosystems hat eine große Community und hat es sogar bereits geschafft, ihren limeSDRs in Satelliten zu verbauen [15]. Mit einem SDR werden Anteile der Signalverarbeitung mittels Software realisiert. Dies kann von dedizierter Hardware unterstützt werden. Des Weiteren bietet es eine gewisse Flexibilität im Vergleich zu einer reinen Hardwarelösung, da Software veränderbar ist [16]. Das OpenAirInterface ist ein Projekt der OpenAirInterfaceTM Software Alliance (OSA), welches eine Open-Source Lösung zur Verfügung stellt [17]. Dabei wird die Lösung in zwei Projekte unterteilt:

- eNodeB (eNB): "openairinterface5G"
- evolved packet core (EPC): "openair-cn"

OpenAirInterface ist die erste LTE Open-Source Software Plattform, welche den vollen Protokollstack des 3GPP Standards, inklusive E-UTRAN und EPC unterstützt. Dabei wird dies sowohl für das Erstellen eines eigenen LTE Netzes, als auch das Überwachen (Monitoring) verwendet [18]. Des Weiteren ist es möglich, Performance-Analysen durchzuführen und dabei Einblicke zu erhalten, wie sich ein rasch skalieren-des System verhält. Abbildung 3 zeigt die schematische Implementierung des LTE Protokoll Stacks in OAI. Dem Hersteller zufolge wurden hiermit auch diverse Tests durchgeführt. So wurde beispielsweise OAI eNB mit kommerziellen Huawei Geräten getestet, bei welchen LTE aktiviert wurde (E392, E398u-1) und OAI-UE mit CMW500 (Ericsson on com4Innov network). Die OpenAirInterface Open-Source Initiative bietet sowohl Unterstützung für eNodeB, UE wie auch EPC an. Zudem wird, neben dem oben erwähnten LimeSDR, auch noch Universal Software Radio Peripheral (USRP™) der Firma Ettus und ExpressMIMO2 unterstützt. Des Weiteren erlaubt OAI hierbei auch die Unterstützung kommerzieller Ausrüstung [20]. Somit ist man hier nicht auf ein spezielles SDR eingeschränkt.

#### B. srsLTE

srsLTE bietet eine sehr modulare Architektur, um auch rasch neue Standards einfließen lassen zu können. Die Architektur ist

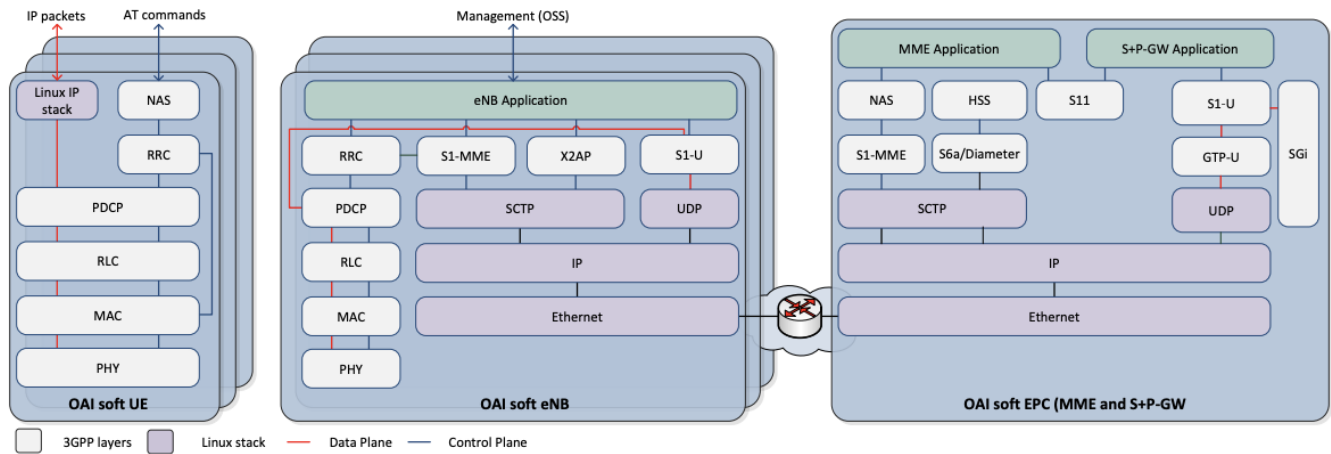


Abbildung 3: Übersicht LTE Module in den jeweiligen Projekten [19]

Use Case	Open-Source Solution	Anmerkung
Vehikulare Mobilität	tinyLTE	Wie im Abschnitt zu tinyLTE näher erläutert, gibt es hiermit bereits einen konkreten Versuch, bei welchem dies für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen eingesetzt wurde. Die Community besteht im wesentlichen aus den beiden Entwicklern. Diese haben in ihrem Paper aber sehr ausführlich erklärt, wie tinyLTE in diesem Use Case optimal funktioniert.
Seenotrettung	OpenAirInterface - OAI	Hierbei bedarf es einer höchstmöglichen Verfügbarkeit und einer guten Unterstützung im Fehlerfall. Auf Grund der kritischen Einstufung des Use Cases, ist eine Lösung mit einer etablierten Software vorzusehen. Zudem ist dies gemeinsam mit einem der Partner der OpenAirInterface Software Alliance (OSA) umzusetzen, um zusätzliches Know-How einfließen zu lassen. Ein möglicher Partner hierzu kann das Fraunhofer Institut IIS darstellen.
Allgemeine Verfügbarkeit von LTE	srsLTE	Diese Open-Source Lösung bietet eine gute Dokumentation und wurde bereits mit einigen Hardware-Modulen getestet. Software Radio Systems, die Firma hinter srsLTE, hat zudem mit unterschiedlichen Technologien, wie etwa der Satellitenkommunikation, Erfahrung. Somit handelt es sich bei der Firma auch um einen möglichen Partner für den Use Case der Seenotrettung.

Tabelle I: Übersicht Use Cases und Softwarelösungen

in funktionale Module aufgebaut. Zudem wird hiermit bereits ein Satz an Beispielanwendungen geboten, welche für eigene Anwendungen angepasst werden können [21]. Des Weiteren sind auch Anpassungen möglich, um zusätzliche Hardware zu unterstützen. Abbildung 4 zeigt diesen modularen Aufbau.

Die Beispielanwendungen geben einen Überblick zum Betrieb als eNodeB (srsENB, srsEPC) sowie Informationen, um dies als UE (srsUE) einsetzen zu können. Entwickelt wurde dies von Software Radio Systems, welche dieses Projekt auf Github zur Verfügung stellt [22].

Die hohe Flexibilität und Anpassbarkeit ist auch ein Grund dafür, dass srsLTE als Basis für andere Projekte und Anwendungen eingesetzt wird. So ist etwa tinyLTE eines dieser genannten Projekte. Zudem wird die Software regelmäßig gewartet, was auch an den Codeänderungen im Repository zu erkennen ist.

### C. tinyLTE

Eine weitere Open-Source Lösung ist tinyLTE. Auch diese verwendet das Prinzip des SDR, um größtmögliche Flexibilität und Offenheit zu bieten. Dabei unterstützt tinyLTE sowohl den Betrieb als LTE Client (UE) wie auch als Infrastruktur (eNodeB + EPC) [2].

Der Vorteil dabei ist, dass hiermit ein gleichzeitiger Betrieb, sowohl als Sende- wie auch als Empfangseinrichtung möglich ist. In Kombination mit Hardware, welche 2 SDRs bietet, kann so, ein einzelnes Gerät die volle Funktionalität von LTE bieten. Beides basiert, mit geringen Änderungen, auf srsLTE [23].

Die Lösung von Philipp Gorczak sowie Fabian Eckermann, wurde auf Github zur Verfügung gestellt. Eine Evaluierung im Betrieb wurde ebenfalls bereits getestet. Dabei ging es um die Kommunikation mittels LTE zwischen Fahrzeugen [24].

### D. Unterschiede

Alle drei erwähnten Lösungen bieten einen breiten Funktionsumfang und Unterstützung an. Unterschiede sind etwa in der getesteten Hardware zu erkennen. Sollte bereits bestehendes Equipment vorhanden sein, könnte dies ein Indikator für eine Präferenz darstellen. tinyLTE wurde speziell für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen entwickelt und getestet.

## V. MAKE OR BUY

Kosten und Preise wurden nicht ermittelt. Die erwähnten Anbieter haben kaum Preise öffentlich ausgeschrieben, welche vergleichbar sind. Kosten variieren, je nach Umfang und



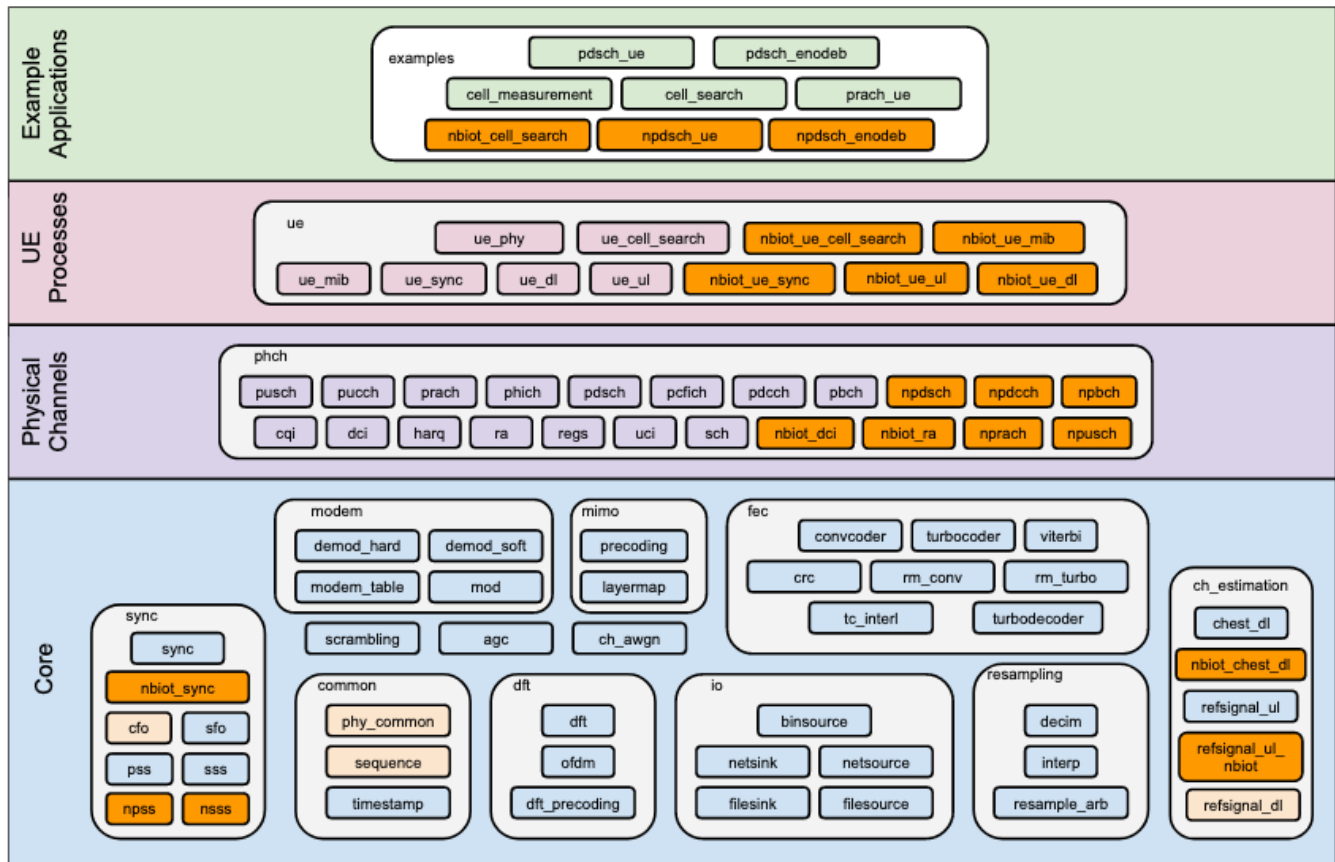


Abbildung 4: Übersicht Architektur srsLTE [21]

tatsächlich eingesetzter Hardware, stark. Grundsätzlich ist jeglicher aktueller Service erwerbbar und hängt von dem Budget ab, welches ausgegeben wird. Die Kosten der Open-Source Variante liegen in der Umsetzung und dem Testen. Der Vorteil besteht darin, dass diese an beliebige Bedürfnisse angepasst werden kann. In diesem Fall ist es notwendig, verglichen mit proprietären Anbietern, mehr Geld für Schulungen, für den Aufbau von Know-How und Wartungsmaßnahmen aufzuwenden. Der Aufbau des Know-Hows kann zudem genutzt werden, um ein proprietäres Produkt inklusive Dienstleistungen zu erzeugen. So ist es möglich, diese später zu verwenden, um bei der Anbindung anderer Inseln mittels LTE zu unterstützen und die initialen Kosten zu senken. Auch die Errichtung eines Ausbildungszentrums ist denkbar. Ein Nachteil dieser Lösung ist, dass ein Sicherheitsfaktor besteht. Im Problemfall kann kein externer Anbieter zu Wartungszwecken hinzugezogen werden, welcher dieses System wartet und das Problem behebt. Dies ist Teil der Verträge mit proprietären Anbietern.

#### A. Entscheidungsbegründung

Für den Fall der Anbindung anderer Systeme, oder dem Zusammenführen von weiteren Systemen, bieten die Open-Source Lösungen bereits eine gute Unterstützung. Ausweitungen auf weitere Inseln kann daher, ohne Festlegung auf einen speziellen Anbieter, durchgeführt werden. Ein funktionsfähiges LTE Netzwerk wird, sofern dies von einem pro-

prietären Anbieter umgesetzt wird, schneller zur Verfügung stehen. Grund hierfür ist, dass es keinen Einarbeitungsaufwand gibt und die Umsetzung von Fachpersonal durchgeführt wird, wodurch auch die Kosten steigen. Des Weiteren ist das Risiko des Scheiterns, bei einem völlig selbst entwickelten Netzwerks, höher. Trotz der aufgeführten Nachteile, ist eine Umsetzung mittels einer Open-Source Lösung zu präferieren. Diese ist preisgünstig umzusetzen. Ein Umstieg auf einen etablierten Anbieter kann auch später erfolgen, sollte es zu unvorhergesehen Problemen kommen.

## VI. SICHERHEIT

### A. Kritische Infrastrukturen

Um die Inselbewohner vor Wirtschaftsspionage, Diebstahl und Manipulation zu schützen, ist die Thematik der Sicherheit von Bedeutung. Da Cyber-Kriminelle heutzutage sehr professionell agieren, um ihr Schadensausmaß möglichst maximal zu gestalten, sind die kritischen Infrastrukturen der Inseln wie zB die Energieversorgung und Kommunikationssysteme von Spitälern besonders zu schützen. Um zur politischen und sozialen Stabilität auf der Insel beizutragen, sind somit Versorgungsengpässe beziehungsweise das Risiko von Ausfällen in kritischen Infrastrukturen zu reduzieren. Denn Beeinträchtigungen in diesen Bereichen können zu kaskadierenden Effekten in anderen Lebensbereichen führen.

Die Digitalisierung der Insel erfordert besondere Schutzmaßnahmen, sodass durch Prävention, Detektion und Reaktion für sowohl dem Staat, der heimischen Wirtschaft und eben auch der Gesellschaft trotz zunehmenden Abhängigkeiten von Informationstechnologien und -Vernetzung auch in Zukunft zuverlässig kritische Infrastrukturen funktionieren [25].

Laut Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) sind potentielle Gefährdungen im Zusammenhang mit öffentlichen Mobilfunknetzen bei der Planung und der Errichtung vor allem auch bei der Wartung ebendieser nicht außer Acht zu lassen. Ebenso sollten mögliche Gegenmaßnahmen in Erwägung gezogen werden, um den Schutz vertraulicher Daten erhöhen zu können [26].

### *B. Sicherheitsgefährdungen und Schutzmaßnahmen*

Erfolgt ein Zugriff auf die implementierten technischen Einrichtungen kann dies zu Missbrauch durch Unbefugte führen. Dies kann durch Schwachstellen bei der Endgeräte-Authentisierung, bei potenziellen Unsicherheiten in der Datenverschlüsselung, durch eine unzureichende Verschlüsselungsstärke, die Erstellung von Bewegungsprofilen durch Ortungsmaßnahmen, die Unterbindung von Mobilfunkkommunikation durch Störsender oder durch Software-Manipulation der UE geschehen. Um hier nur auf einige von vielen Sicherheitsgefährdungen wie zB Over-The-Air Programming (OTA), Proxy-Manipulation, FOTA – Firmware Over The Air oder eine mangelnde Implementierung von Sicherheitsmechanismen einzugehen, ist folgendes zu sagen: Mögliche Schutzmaßnahmen dienen vor allem zur Prüfung von Software-Abhängigkeiten oder dem Einfordern von Sicherheitszertifizierungen. Betrachtet man Übertragungsverfahren, Datenübertragungsraten sowie weitere Technologien im Bereich von Mobilfunknetzen, ist zu verzeichnen, dass zwar die Sicherheitsrisiken wesentlich komplexer wurden, gleichzeitig paradoxerweise das Bewusstsein der Nutzer allerdings nicht in gleichem Ausmaß angestiegen ist. Aus diesem Grund kann es durchaus nützlich sein, dieses Bewusstsein dezidiert zu schärfen [26].

### *C. Regelungen für Telekommunikationsunternehmen*

Da sich unter den Inselbewohnern auch IT-versierte Juristen befinden, wurde ein IT-Sicherheitsgesetz erlassen, welches die Telekommunikationsunternehmen verpflichtet, die IT-Infrastrukturen nach dem Stand der Technik angemessen abzusichern. In einem Zyklus von Minimum alle 24 Monate muss die Sicherheit geprüft werden. Des weiteren besteht eine Verpflichtung der Anbieter gegenüber den Inselbewohnern, diese zu warnen, sofern es Grund zur Annahme gibt, dass die UEs für IT-Angriffe missbraucht wurden. Zusätzlich herrscht eine Informationspflicht dahingehend, dass der User auf möglichst viele Arten hingewiesen wird, wie etwaige Störungen zu entfernen sind. Natürlich sollen IT-Sicherheitsmaßnahmen nicht nur zum Schutz von personenbezogenen Daten der Inselbewohner, sondern auch zum Schutz vor unerlaubten Eingriffen in die Infrastruktur selbst eingesetzt werden. Auch zu beachten ist, dass auftretende IT-Sicherheitsvorfälle bei den zuständigen Behörden gemeldet werden. [25]

## VII. CONCLUSION

### *A. Zusammenfassung der Ergebnisse*

In der Arbeit wird ein Überblick über LTE gegeben. Des Weiteren wird sowohl auf den Aufbau als auch die einzelnen Komponenten näher eingegangen. Ein interessanter Aspekt ist neben den diversen Anbietern von LTE Netzen der Aufbau eines eigenen Netzes mittels Open-Source Software. Da die benötigte Hardware kostengünstig zu erwerben ist, die Software flexibel in Bezug auf Anpassungen und Erweiterungen ist, wäre der Aufbau und Betrieb eines LTE Netzes hiermit vorzuziehen. Tabelle I fasst die einsetzbaren Technologien zusammen und hebt ihre Eignung je Use Case hervor. Neben dem Erkenntnis- und Wissensgewinn eines solchen Projektes, ist der Preis deutlich geringer, verglichen mit proprietären Anbietern. Sollte es zu unvorhergesehenen Problemen kommen, gibt es immer noch die Möglichkeit auf einen Lieferanten eines Netzwerks zu wechseln. Zusätzliches Know-How wird, bei Bedarf, auch bei den Entwicklern der Open-Source Lösung angefragt.

Eine Ausstattung einer Insel mittels LTE, ist zudem für einen Open-Source Anbieter ein Prestigeprojekt. OpenAirInterface ist die zu bevorzugende Lösung. Diese ist erprobt und bietet eine vollständige Dokumentation an. Unter den Mitgliedern und Partnern der OpenAirInterfaceTM Software Alliance finden sich auch Firmen und Institutionen wie Red-Hat, Nokia, Fujitsu, das Fraunhofer Institut sowie zahlreiche Universitäten (Technische Universität München, University of Utha, University of Sydney uvm). Kooperationen mit einem oder mehreren Mitgliedern und Partnern ist nicht ausgeschlossen. Vielmehr ist dies für die erfolgreiche Umsetzung anzustreben. Das erworbene Wissen sollte zudem für weitere Projekte im Open-Source Bereich genutzt werden. Sowohl von den Mitarbeitern der Insel selbst, wie auch von beteiligten Partnern. Da bei dieser Art der Umsetzung Wissen erworben wird, ist von einem späteren Zeitpunkt des vollen LTE Betriebes auszugehen, verglichen mit dem Zukauf sämtlicher Hard- und Softwarekomponenten und Dienstleistungen bei den erwähnten Anbietern.

### *B. Ausblick*

Da Mobilfunknetze evolutionären Weiterentwicklungsprozessen unterliegen, wird es in Zukunft interessant sein, welche weiteren Entwicklungen zu erwarten sind. Hierzu sind zB New Spectrum mm-Waves, Smart Cells, Beamforming, Massive MIMO, Network Slicing, Mobile Edge Computing, Network Function Virtualization bzw Software Defined Networks für Bereiche wie Enhanced Mobile Broadband, Ultra Reliable Low Latency Communication oder Massive Machine Type Communication zu zählen. Wird das 4G Netz der Insel in ein 5G Netz umgebaut, ist das E-UTRAN entsprechend dem R15 schon auf dem 5G Standard.

### ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

3GPP ..... Third Generation Partnership Project  
 4G/LTE ... 4. Generation/Long-Term Evolution  
 Abb ..... Abbildung

APN	Access Point Name
AS	Access Stratum
AUC	Authentication Center
CA	Carrier Aggregation
CDMA2000	Code-Division Multiple Access
CN	Core Network
DL	Download
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
ECM-IDLE	EPS Connection Management — IDLE
eNodeB	Evolved NodeB
EPC	Evolved Packet Core
EPS	Evolved Packet System
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FHCW	Fachhochschule Campus Wien
Gbit/s	Gigabit pro Sekunde
GPRS	General Packet Radio Service
HSS	Home Subscriber Server
Hz	Hertz
IMS	IP Multimedia Core Network Subsystem
IMT	International Mobile Telecommunications
IP	Internet Protocol
ITU-R	International Telecommunication Union Radio-communication Sector
km/h	Kilometer pro Stunde
MME	Mobility Management Entity
NAS	Non Access Stratum
PCRF	Policy Control and Charging Rules Function
PDN	Packet Data Network
QoS	Quality of Service
R	Release
RAN	Radio Access Network
RN	Relay Nodes
RRM	Radio Resource Management
S-TMSI	SAE Temporary Mobile Subscriber Identity
SGW	Serving Gateway
TA	Tracking Area
TFT	Traffic Flow Templates
UE	User Equipment
UL	Upload
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VoIP	Voice over Internet Protocol
WiMax®	Worldwide Interoperability for Microwave Access

## LITERATUR

- [1] J. G. E. T. Tchao, "Performance evaluation of a deployed 4g lte network."
- [2] F. Eckermann, P. Gorczak, and C. Wietfeld, "tinylte: Lightweight, ad hoc deployable cellular network for vehicular communication," in *2018 IEEE 87th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*. IEEE, 2018, pp. 1–5.
- [3] M. M. R. P. LTD. Global private lte market – industry analysis and forecast (2018-2026) – by technology, application, service, industry, and geography. [Online]. Available: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-private-lte-market/24669/#details>
- [4] Zoicas, Adrian, "Overview of 3GPP Release 8 V0.3.3 (2014-09) 6," Internet, Sep. 2009. [Online]. Available: [https://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK\\_PLAN/Description\\_Releases/](https://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/)
- [5] J. Wannstrom, "Lte-advanced," Internet, Jun. 2013. [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
- [6] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced) (Release 15)," Internet, Jun. 2018. [Online]. Available: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36\\_series/36.913/](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.913/)
- [7] F. Firmin, "The Evolved Packet Core," Internet, Sep. 2019. [Online]. Available: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core>
- [8] S. Sesia, M. Baker, and I. Toufik, *LTE - The UMTS Long Term Evolution*. Wiley John + Sons, 2011. [Online]. Available: [https://www.ebook.de/de/product/11406019/stefania\\_sesia\\_matthew\\_baker\\_issam\\_toufik\\_lte\\_the\\_umts\\_long\\_term\\_evolution.html](https://www.ebook.de/de/product/11406019/stefania_sesia_matthew_baker_issam_toufik_lte_the_umts_long_term_evolution.html)
- [9] 3GPP, "TS 36.306 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio access capabilities (Release 15)," Internet, Jun. 2019. [Online]. Available: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36\\_series/36.306/](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.306/)
- [10] M. Sauter, *Communication Systems for the Mobile Information Society*. Wiley, 2006. [Online]. Available: [https://books.google.at/books?id=E\\_ZGuO2yVnkC](https://books.google.at/books?id=E_ZGuO2yVnkC)
- [11] S. K. Parul Datta, "Exploration and comparison of different 4g technologies implementations: A survey."
- [12] C. Gacek and B. Arief, "The many meanings of open source," *IEEE software*, vol. 21, no. 1, pp. 34–40, 2004.
- [13] L. Rosen, *Open source licensing*. Prentice Hall, 2005, vol. 692.
- [14] L. Microsystems, "Flexible, next-generation, open source software-defined radio - limesdr," Internet, Aug. 2019. [Online]. Available: <https://www.crowdsupply.com/lime-micro/limesdr>
- [15] [Online]. Available: <https://limemicro.com/community/>
- [16] F. K. Jondral, "Software-defined radio: basics and evolution to cognitive radio," *EURASIP journal on wireless communications and networking*, vol. 2005, no. 3, pp. 275–283, 2005.
- [17] O. S. A. (OSA), "Openairinterfacetm software alliance (osa)," 2019. [Online]. Available: <https://www.openairinterface.org/>
- [18] N. Nikaein, R. Knopp, F. Kaltenberger, L. Gauthier, C. Bonnet, D. Nussbaum, and R. Ghaddab, "Openairinterface: an open lte network in a pc," in *Proceedings of the 20th annual international conference on Mobile computing and networking*. ACM, 2014, pp. 305–308.
- [19] OpenAirInterface, "Towards open cellular ecosystem openairinterfacetm (oai): Towards open cellular ecosystem," Internet, 2019. [Online]. Available: [https://www.openairinterface.org/?page\\_id=864](https://www.openairinterface.org/?page_id=864)
- [20] F. Kaltenberger, G. de Souza, R. Knopp, and H. Wang, "The openairinterface 5g new radio implementation: Current status and roadmap," in *WSA 2019; 23rd International ITG Workshop on Smart Antennas*. VDE, 2019, pp. 1–5.
- [21] A. Puschmann, P. Sutton, and I. Gomez, "Implementing nb-iot in software-experiences using the srslte library," *arXiv preprint arXiv:1705.03529*, 2017.
- [22] "Github repository srslte," Internet, 2019. [Online]. Available: <https://github.com/srsLTE/srsLTE>
- [23] I. Gomez-Miguel, A. Garcia-Saavedra, P. D. Sutton, P. Serrano, C. Cano, and D. J. Leith, "srslte: an open-source platform for lte evolution and experimentation," in *Proceedings of the Tenth ACM International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation, and Characterization*. ACM, 2016, pp. 25–32.
- [24] "tinylte." [Online]. Available: <https://github.com/tudo-cni/tinyLTE>
- [25] B. für Sicherheit in der Informationstechnik, "Schutz kritischer infrastrukturendurch it-sicherheitsgesetz und up kritis." [Online]. Available: [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Broschueren/Schutz-Kritischer-Infrastrukturen-ITSig-u-UP-KRITIS.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Broschueren/Schutz-Kritischer-Infrastrukturen-ITSig-u-UP-KRITIS.pdf?__blob=publicationFile&v=7)
- [26] B. T. Heinz Gerwing, Guido Reckhaus, "Öffentliche mobilfunknetze und ihre sicherheitsaspekte." [Online]. Available: <https://www.bsi.bund.de/DE/Publikationen/Broschueren/Oefms/mobilfunknetze.html>