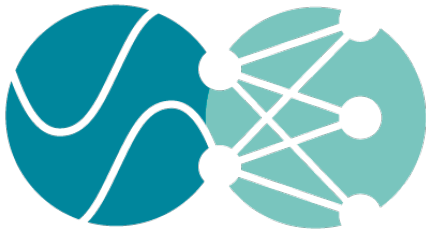


Intel Deutschland GmbH Gesamtabschlussbericht

Verbundprojekt



FunkKI

Funkkommunikation mit Künstlicher Intelligenz

Laufzeit des Vorhabens: 15.05.2020 - 14.11.2023

Ansprechpartner

Intel Deutschland GmbH

Dr. Valerio Frascolla
Director Research and Innovation
Am Campeon 10-12,
85579, Neubiberg
Deutschland

Übersicht

Gesamtlaufzeit:	36 Monate + 6 Monate Verlängerung (15.05.2020 – 14.11.2023)
Gesamtkosten:	281.657,55 €
Fördermittel:	112.663,02 €

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung des Vorhabens	3
2	Voraussetzungen der Durchführung	5
3	Planung und Ablauf des Vorhabens	5
4	Wissenschaftlich-technische Ergebnisse und andere wesentliche Ereignisse	7
4.1	AP 1: Projektkoordination und -Kommunikation, Anwendungsfälle und Szenarien.....	7
4.2	AP 3: Kanaladaption.....	8
4.3	AP 5: SDR Demonstrator	9
5	Industrieller Nutzen und Verwertbarkeit	9
6	Erfolgte Verwendung.....	9
6.1	Veröffentlichungen auf White Papers und in Buchbeiträge	9
6.2	Fachvorträge.....	10
7	Referenzen.....	10

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitplan für 5G Phase 1 und Phase 2 (Quelle: 3GPP Website).....	3
Abbildung 2: Detaillierter Zeitplan für 3GPP Rel-16 (Quelle 3GPP Website)	4
Abbildung 3: Zusammenhang der Arbeitspakete (APs).....	6

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Veröffentlichungen	9
-------------------------------------	---

1 Zielsetzung des Vorhabens

Ausgangssituation

Die fortschreitende Digitalisierung führt zu einer rasant steigenden Anzahl vernetzter Geräte und erfordert moderne drahtlose Kommunikationssysteme, die sowohl leistungsstark wie auch ressourceneffizient sind. Verfahren der Künstlichen Intelligenz (KI) können hierzu einen wesentlichen Beitrag liefern und werden bereits auf den höheren Protokollschichten der 4G/5G-Systeme erfolgreich eingesetzt. Im Gegensatz hierzu konnten bislang für die physikalische Schicht (PHY) und für den Medienzugriff (MAC) unter idealisierten Annahmen gute und praktikable mathematisch-abstrakte Modelle genutzt werden, was die Entwicklung von effizienten Verfahren und Algorithmen ermöglichte; dadurch standen KI-Verfahren hier bisher weniger im Fokus. Die zunehmende Komplexität der Systeme mit einer immer höheren Geräteanzahl, die wachsenden Anforderungen an die Datenraten und Latenz sowie die Diversität der zu leistender Dienste (Breitband, sporadische/sehr zuverlässige Maschinenkommunikation, Notruf, Telemedizin, IoT etc.) führen die bisherigen modellbasierten Ansätze zum System- und Technologieentwurf jedoch an ihre Grenzen. Es erscheint daher unvermeidlich, dass neue Konzepte erforderlich sind.

Es ist wichtig, den Status der Normungsgremien (insbesondere von 3GPP¹) zu Beginn des Projekts im Bereich der KI hervorzuheben.

Die 3GPP-Gremien (i.e., „the 3GPP standardization Working Groups (WGs)“) begannen 2016 mit der Definition des 5G-Systems mit dem Release 15 (abgekürzt als Rel-15). Der erste Satz von 5G-Funktionen besteht aus mehreren Technical Specifications (TS, die das Dokument sind, das den normativen Text bildet), die unter Rel-15 fertiggestellt wurden, und wird als „5G Phase 1“ bezeichnet (siehe Abbildung 1).

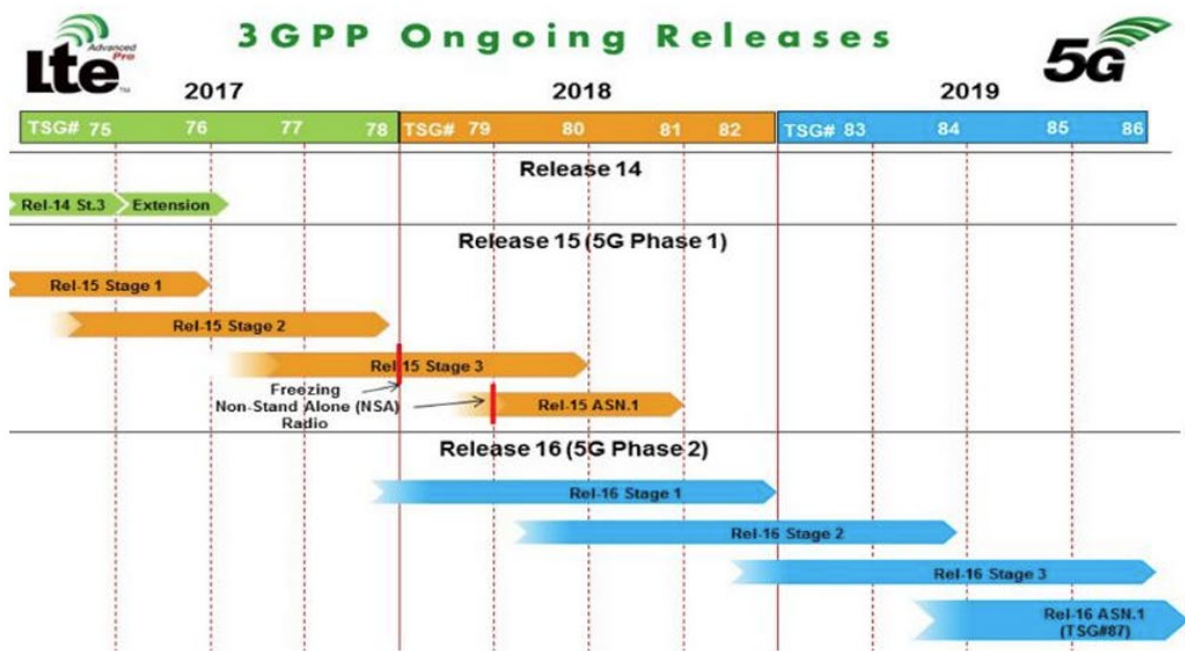


Abbildung 1: Zeitplan für 5G Phase 1 und Phase 2 (Quelle: 3GPP Website)

Die nächste Version der 5G-Funktionen, die so genannte 5G-Phase 2, an der im Rahmen von Rel-16 gearbeitet wird, wurde im Juli 2020 fertiggestellt, wobei sowohl das Einfrieren (auf Englisch „Freezing“) der Stufe 3 (auf Englisch „Stage 3“) als auch das Einfrieren der ASN.1- und OpenAPI-Spezifikationen genehmigt wurde (siehe Abbildung 2 für einen detaillierteren Zeitplan von 3GPP Rel-16).

Es ist festzustellen, dass in den ersten beiden 5G-Phasen keine spezifischen Funktionen mit Schwerpunkt auf KI entwickelt wurden.

¹ www.3gpp.org

Eine detaillierte Beschreibung der Merkmale (auf English „Features“) von 3GPP 5G Phase 1 und Phase 2 findet man im [Fra2020a].

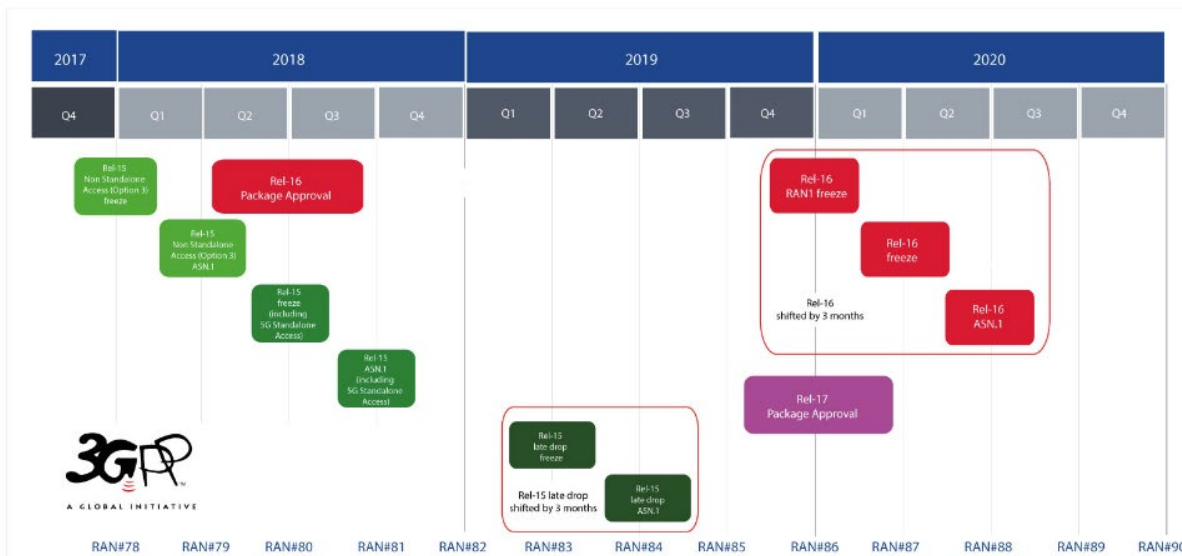


Abbildung 2: Detaillierter Zeitplan für 3GPP Rel-16 (Quelle 3GPP Website)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zu Beginn der FunKI aus Sicht der Normungsgremien 5G in seinen ersten beiden Phasen definiert wurde.

Im Jahr 2020 begannen auch die ersten kommerziellen Implementierungen von 5G (Phase 1) weltweit zu erscheinen.

Problemstellung

Die zum Teil gegensätzlichen Anforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit, Übertragungsraten, Endgeräteanzahl pro Fläche, Latenz, verfügbare Radioressourcen, Energieeffizienz, Komplexität, und Hardware-Kosten erschweren zusehends die Umsetzung mit traditionellen Verfahren. Ist beispielsweise die mathematische Modellierung der Problemstellung nicht mehr möglich (Modell-Defizit) oder führt sie zu sehr komplexen Modellen (Algorithmen-Defizit), so stellen datengetriebene Verfahren des maschinellen Lernens (ML) einen vielversprechenden Ansatz zur Gewinnung eines Modellverständnisses bzw. zum System- und Technologieentwurf dar.

Im Rahmen des Projekts FunKI (Funkkommunikation mit Künstlicher Intelligenz) sollte daher eine grundsätzliche Untersuchung KI-getriebener Technologien für Funkkommunikation erfolgen, die sich an der 5. Mobilfunkgeneration (5G) und deren Weiterentwicklung orientiert. Speziell sollten Konzepte zum verbesserten Modellverständnis basierend auf Messkampagnen erarbeitet, KI-basierte Methoden zur Parameterschätzung entwickelt, die datengetriebene Optimierung von Sende- und Empfangsverfahren vorgenommen und KI-basiertes Training der Hardware-Implementierungen durchgeführt werden.

Ein wichtiger Punkt ist die Frage, wie neue Funktionen für 5G-Systeme vorgeschlagen werden können, die gleichzeitig effektiv sind und mit den laufenden Standardisierungsbemühungen übereinstimmen.

Um dieses Problem anzugehen, arbeitete Intel mit den meisten anderen Projektpartnern zusammen, um die Arbeit des Projekts auf die laufenden Standardisierungsbemühungen abzustimmen und gleichzeitig die Projektergebnisse an ein möglichst breites Publikum zu verbreiten.

Zielsetzung des Vorhabens

Bisherige Projekte setzten meist auf höheren Ebenen des Protokollstapels an; daher ist die KI-getriebene Optimierung der PHY-Ebene weitestgehend unerforscht. Auch eher akademisch-orientierte „Spielbeispiele“ in der Forschungsliteratur arbeiteten mit unrealistischen Randbedingungen; praktische/reale Systeme auf der PHY-Ebene wurden dagegen bisher kaum betrachtet.

Das übergeordnete Ziel von FunKI war die Entwicklung und Erprobung lern- und anpassungsfähiger Kommunikationssysteme, die effizient und nachhaltig auf vorhandene Ressourcen zurückgreifen sowie auf den 5G-Systemspezifikationen und 5G-Anwendungen basieren. Hierzu wurden ausgehend vom PHY- und MAC-Layer bis hin zur FPGA Hardware-Implementierung bzw. zum ASIC-Design die wesentlichen Kommunikationskomponenten mit verschiedenen KI-Verfahren analysiert und optimiert. Die Eigenschaften bekannter KI-Verfahren wurden problemspezifisch identifiziert und mögliche Einschränkungen bei ihrer Anwendbarkeit analysiert.

Ziele

Insbesondere umfassten die Ziele den datengetriebenen Entwurf von Sendestrukturen, z.B. zum optimierten Design von Sendeimpulsformen und Synchronisationssequenzen, den datengetriebenen Entwurf von Empfängern zur Kompensation von nichtlinearen Verzerrungen, und den gemeinsamen Entwurf von Sendern und Empfängern. Weiterhin genannt seien die Parameterextraktion aus MIMO-Kanalmessungen und Herleitung robuster Prädiktoren, die Verbesserung der Qualität der zurzeit eingesetzten Verfahren zur Link Adaption basierend auf KI/ML zur bestmöglichen dynamischen Anpassung der zur Übertragung gewählten Modulationsart und Coderate, sowie des MIMO-Kanalranges und der Sendegewichte, wie sie in den Arbeitspaketen genauer spezifiziert wurden.

Ausgehend von ausgewählten 5G Anwendungsfällen wurden in FunKI somit lern- und anpassungsfähige Kommunikationssysteme mit Fokus auf dem PHY- und MAC-Layer entwickelt und bis hin zur effizienten Hardware-Umsetzungen analysiert und optimiert.

Hauptaufgabe von Intel war es, bei der Definition von Anwendungsfällen und Szenarien zu helfen, in denen KI einen größeren Nutzen bringen könnte, bei der Gestaltung und Definition einiger im Projekt geplanter technischer Arbeiten, insbesondere in AP3, zu helfen, Fachwissen über Validierungsmethoden bereitzustellen, einen Überblick über die Auswirkungen der Arbeit auf MAC zu geben und schließlich einerseits das Konsortium über die laufenden Standardisierungsaktivitäten zu informieren und andererseits die wichtigsten Projektergebnisse einer möglichst breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

2 Voraussetzungen der Durchführung

Das Konsortium von FunKI setzt sich aus zwei Industrieunternehmen, zwei KMUs, einer Forschungseinrichtung sowie drei Universitäten zusammen und deckt damit die Wertschöpfungskette vom Entwurf von Kommunikationstechnologie auf der physikalischen Schicht bis hin zur Realisierung ab. Es wurden richtungsweisenden Unternehmen und Forscher aus den Bereichen 5G-Funkkommunikation, künstlicher Intelligenz und dem Entwurf mikroelektronischer Systeme zusammengeführt, um die anstehenden Herausforderungen bei der Umsetzung zukünftiger Kommunikationssysteme zu bewältigen und auch auf internationaler Ebene weiterhin eine Führungsrolle einzunehmen.

Das Team von Intel besteht aus Experten in den Bereichen Anwendungsfalldefinition, Anforderungserstellung und -management, Entwurf drahtloser Systeme, Validierungsmethoden und Auswirkungen der Standardisierung.

Es ist erwähnenswert, dass Intel leider Ende 2010 die gesamte Mobilfunksparte an Apple verkauft hat, so dass viele Experten zu Beginn des Projekts nicht mehr im Unternehmen waren.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt FunKI gliederte sich in 5 Arbeitspakete (APs) entsprechend Abbildung 3. AP 1 war das übergeordnete Arbeitspaket, das die Verwaltung, Kommunikation und Verbreitung des Projekts sowie die Überwachung und Interaktion mit relevanten Standards übernahm. AP 1 definierte zusätzlich die Anwendungsfälle, Szenarien und Key Performance Indikatoren (KPIs) als Grundlage ① für die technischen Arbeitspakete. AP 2-4 waren die technischen APs, die sich auf ausgewählte, wichtige Aspekte von drahtlosen Kommunikationssystemen mit ML-Technik konzentrierten. AP 2 wendete ML auf Sende- und Empfängerstrukturen an, AP 3 konzentrierte sich auf die Kanaladaption in der physikalischen und MAC-Schicht, AP 4 auf effiziente Implementierung von Transceivern.

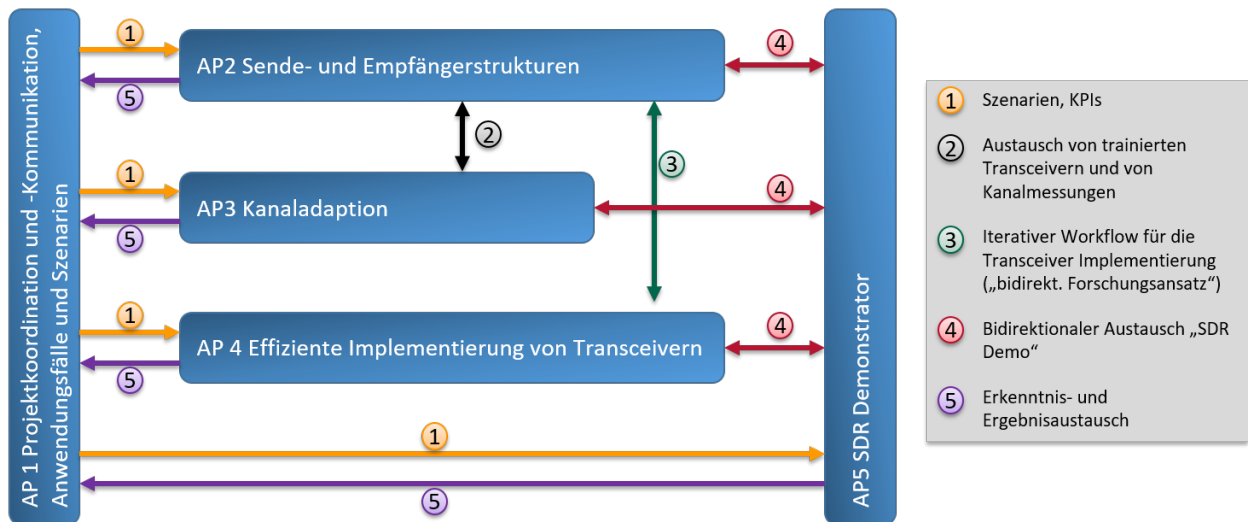


Abbildung 3: Zusammenhang der Arbeitspakete (APs)

Zwischen AP 2 und AP 3 wurden fortlaufend erlernte Transceiverkomponenten zur Berücksichtigung in den Meßkampagnen und Kanalmessungen zum Training von Sender- und Empfängerkomponenten ausgetauscht ②. Zwischen AP 2 und AP 4 wurde ein iterativer Prozess ③ zur Erforschung und zur effizienten Implementierung von ML-basierten Sende- und Empfängerstrukturen etabliert. Hierzu wurden die beiden AP 2 Komponenten „Autoencoder“ und „Finite-Alphabet Kanaldecodierung“ ausgewählt und in AP 4 als hochoptimierte Acceleratoren in fortgeschrittenen ASIC-Technologien implementiert. AP 5 stellte Demonstratoren, die die Eigenschaften und die Errungenschaften der vorgeschlagenen Architekturen, Algorithmen und Funktionalitäten der ML-Module aufzeigen. Hierzu wurden ausgewählte technologische Konzepte an AP 5 übergeben, in einem bidirektionalen Austausch ④ umgesetzt / adaptiert und basierend auf echten Übertragungsdaten evaluiert. So wurden der Autoencoder und die NN-basierte Vorhersage der Decodierbarkeit auf einem FPGA-Board implementiert und eingehend analysiert. Die Arbeitspakete dokumentierten ihre Erkenntnisse und Ergebnisse anhand von AP-spezifischen Arbeitsdokumenten und der fortwährende Austausch zwischen den APs wurde durch regelmäßige Telefonkonferenzen und Konsortialtreffen sichergestellt ⑤.

Intel nahm an der folgenden APs teil:

- 1.b Projektkommunikation
- 1.c Anwendungsfälle und Szenarien
- 3.b KI/ML-basierte Parameter-Schätzung und -Prädiktion
- 3.c Verwendung von KI/ML im Medium Access Layer (MAC)
- 5.a Auswahl geeigneter Demonstrationsszenarien und 5G Szenarien basierend auf den Ergebnissen aus AP 2, AP 3 und AP 4
- 5.c Validierung der Funktionalität

Die geplanten Arbeiten verliefen wie erwartet, mit Ausnahme der Arbeiten an MAC. Aufgrund einer Reihe von Problemen und unvorhergesehenen Ereignissen, die im Laufe des Projekts auftraten, musste Intel die Teilnahme am FunkI-Projekt nach unten anpassen, wodurch die Anzahl der geplanten Aktivitäten um etwa 30% reduziert wurde. In der Folge reduziert sich der Arbeitsplan von Intel von anfänglich 30 PM Arbeit und einem Budget von umgerechnet zirka 412.000 € auf einen Schlusssaufwand von knapp 20 PM und ein Budget von ~ 281.000 € (bezogen auf einen Bundesanteil von ~112.000 € statt ~165.000 €).

Die Probleme waren hauptsächlich: 1. Auswirkungen der Covid19-Pandemie auf das Personal (häufige Erkrankungen von Menschen mit Schlüsselqualifikationen); 2. Die anschließende Verschlechterung des Gesundheitszustands eines bestimmten Kollegen, der das Projekt verlassen musste; 3. Kollegen mit spezifischen Kenntnissen, die das Unternehmen verlassen haben; 4. Konsequente Umverteilung von Personal in interne Projekte, die nicht aufgedeckt werden. All dies hat dazu geführt, dass die geplante Analyse der Auswirkungen der Projektarbeiten auf den MAC-Schichten nicht erfolgt ist. Trotz der genannten Probleme wurden alle anderen ursprünglich geplanten Aktivitäten abgeschlossen, wie im nächsten Absatz beschrieben.

Intel hat zusammen mit den anderen Partnern des Projekts um eine 6-monatige Verlängerung gebeten, um eine Analyse der Auswirkungen der neuen O-RAN-Standardisierungsgruppen auf die von FunKI vorgeschlagene Architektur der PHY-Schicht abzuschließen.

4 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse und andere wesentliche Ereignisse

4.1 AP 1: Projektkoordination und -Kommunikation, Anwendungsfälle und Szenarien

Intel hat im Rahmen von Arbeitspaket 1 regelmäßig an Telefonkonferenzen und AP 1 Besprechungen im Rahmen der Konsortialtreffen teilgenommen.

Intel bringt seine Expertise in Bezug auf die verschiedenen vertikalen Anforderungen von 5G, 5G Beyond und 6G, und seine Präsenz in verschiedenen Marktsegmenten bei der Definition von Anwendungsfällen und Szenarien ein.

Intel hat mit allen anderen Partnern an der Definition von KPIs und an der Verfeinerung der Definition der Anwendungsfälle gearbeitet, die einen Mehrwert für das FunKI-Projekt darstellen. Es wurden Rückmeldungen zu den vorgeschlagenen Szenarien gegeben, sowohl aus der Sicht der Industrie als auch aus der Sicht des Marktes, sowohl zu den übergeordneten als auch zu den detaillierten Definitionen der Szenarien.

Intel hat die Diskussion über Szenarien und Anwendungsfälle immer mit möglichen Auswirkungen auf das 3GPP verknüpft, um eine einfache Verwertung der FunKI-Ergebnisse in der 3GPP Standardisierung, aber auch in anderen Gremien, z.B. ETSI oder IEEE, zu ermöglichen. Intel hat Inhalte für Präsentation des Projekts nach außen bereitgestellt.

Dank auch an die Beiträge von Intel konnte die Arbeit von AP1.c erfolgreich abgeschlossen werden.

Mehr im Detail hat Intel seine führende Position in internationalen Vereinigungen und Initiativen genutzt, indem es einerseits in der internen FunKI-Diskussion über die sich dynamisch verändernden Richtungen des Forschungsökosystems berichtet und andererseits die Ergebnisse der FunKI-Arbeit in relevante internationale Publikationen und Arbeitsgruppenaktivitäten einfließen lässt.

Intel hat die Arbeiten an KI/ML von mehreren europäischen Verbänden kontinuierlich überwacht, z. B. den 6G-IA (6G-Industrial Association) Interessenverband mit seinen zahlreichen Arbeitsgruppen (Architektur, Pre-Standards, Kommunikation, Trials, 'Vision/Pre-Structuring', 'Vision/Business Validation, Models, and Ecosystems', und das Vertical Task Force), Network2020, AIOTI (Alliance for Internet of Things Innovation), und BDVA/DAIRO (Big-Data Value Association/Data, AI and Robotics Association). Dies war möglich dank der führenden Position, die Intel-Mitarbeiter in diesen Verbänden eingenommen haben, z.B., Dr. Frascolla wurde zum Vizepräsidenten des Verbands BDVA/DAIRO gewählt und ist noch 'Board of Director Member', Co-Leiter des AIOTI 'Research and Partnership Work-Group', Vice-Chairman des Network2020 'Enabling Technologies for Future Vertical Ecosystem Transformation Work Group', und nicht zuletzt des 6G-IA 'Trials/5G and towards 6G Vertical Work Group'.

Das permanente Monitoring war essentiell für die Identifizierung von Hauptinteressen der Entwicklung und der Ausrichtung von des 5G Beyond und 6G Ökosystems im Hinblick auf FunKI relevante Kernthemen.

Darüber hinaus wurden Synergien mit anderen Verbundforschungsprojekten erforscht, z.B., mit dem BMWK-geförderten Projekt KI-Absicherung und mit dem EU-geförderten Projekt 5GENESIS (5genesis.eu/), HEXA-X (hexa-x.eu), SIFIS-Home (www.sifis-home.eu), TRANSMIXR (transmixr.eu), VERGE (www.verge-project.eu), und 6G-XR (www.6g-xr.eu).

5GENESIS legte den Grundstein für das künftige 5G/6G-Systeme und arbeitete insbesondere an der Definition von geeigneten Anwendungsfällen und Szenarien für 5G/6G Systeme. HEXA-X war das wichtigste (Flagship) Projekt von H2020 zum Thema 6G und zielt darauf ab, die Grundbausteine eines 5G/6G-Systems zu schaffen. SIFIS-Home konzentriert sich auf den Einsatz von 5G/6G in Smart-Home-Szenarien und arbeitet an 6G-relevanten KPIs, um die Robustheit und Sicherheit von 6G-Anwendungen und -Diensten zu erhöhen. TRANSMIXR konzentriert sich auf KI-Anwendungen in der kommenden Welt der immersiven Realität und nutzt sein Fachwissen über Extended Reality (XR) und 6G-KPIs, um den Endnutzern nie dagewesene Erfahrungen zu bieten.

VERGE arbeitet an der Anwendung von KI auf Edge-Szenarien in Kommunikationssystemen, und 6G-XR konzentriert sich auf die Anwendung von KI, um die Leistung von Kommunikationssystemen für Extended Reality (XR)-Anwendungen zu verbessern.

Intel hat kontinuierlich die für Normungsgremien relevanten Dokumente hergestellt, im Speziellen zu 3GPP WGs (SA, RAN, und CT) und den anhaltenden Arbeiten an aktualisierte 3GPP Release-18, und teilweise auch auf der Release-19, die 2023 begann.

Darüber hinaus wurden für FUNKI relevante Informationen aus der IEEE-Standardisierungsgruppe ausgetauscht, insbesondere im Zusammenhang mit der laufenden Arbeit des "IEEE Working Group on Licensed/Unlicensed Spectrum Interoperability in Wireless Mobile Networks (P1932.1)", in dem Intel eine aktive Rolle spielt.

FunKI wird somit ständig über AI- und ML-relevante Arbeiten in Normungsgremien informiert.

Die Erkenntnisse aus der FUNKI-Arbeit haben dazu beigetragen, die White Papers ‚Edge Computing for 5G networks‘, ‚European vision for the 6G network ecosystem‘, ‚Key Media & Content use cases in the context of 6G‘, und ‚5G PPP Architecture Working Group - View on 5G Architecture, Version 4.0 (auch bekannt als ‚5G-Advanced Architecture‘), (herausgegeben von der 5G-IA Interessenverband) mit aktuellen Informationen zu versorgen.

Dr. Frascolla beteiligte sich auch an der Arbeit der von der EU angestoßenen Initiative Destination Earth, die darauf abzielt, bis 2030 einen digitalen Zwilling der Erde zu schaffen. Die ehrgeizige Initiative verbindet mehrere Technologien miteinander, und die von FunKI gewonnenen Erkenntnisse über 5G/6G-relevante Aspekte der Datenverarbeitung und die erwarteten Leistungsindikatoren (Key Performance Indicators – KPIs) der geplanten 5G/6G-Dienste und Anwendungen waren bei den laufenden Diskussionen sehr hilfreich. Am Ende des FunKI Projekts war die Arbeit an Destination Earth noch im Gange, aber man kann bereits sagen, dass die im Projekt erworbenen Kenntnisse sehr wichtig für die in der Phase der Analyse und Definition von Szenarien und Anwendungsfällen geforderten Beiträge waren.

Schließlich präsentierte Intel im Rahmen der Projektmeetings Vorträge, um die Partner in den Normungsworkshops, die parallel zum Projekt stattfanden, über den Stand der Arbeit zu informieren. Insbesondere hat Intel auch eine Analyse der jüngsten Arbeiten in der O-RAN-Gruppe zu Verfahren, Methoden und Implementierung von KI in einer zellularen Architektur sowie der potenziellen Auswirkungen auf zukünftige Erweiterungen der FunKI-Ergebnisse erstellt.

4.2 AP 3: Kanaladaption

Intel hat kontinuierlich mit den anderen Konsortialpartnern, insbesondere mit MOTIUS, an der Definition von KI/ML-basierten Schätzverfahren für Kanalparameter gearbeitet, durch Untersuchung zum aktuellen Stand der Forschung anhand vorhandener Literatur, und durch enge Zusammenarbeit. Eines der Ergebnisse der gemeinsamen Arbeit war die Veröffentlichung des Buchkapitels ‚Lesson Learnt and Future of AI Applied to Manufacturing‘.

Intel hat eine Verbindung zwischen EU-finanzierten Projekten und den laufenden Arbeiten hergestellt, z.B., durch die Verknüpfung der FunKI-Arbeiten mit ähnlichen Arbeiten in den Projekten HEXA-X, SIFIS-Home, KI-Absicherung, TRANSMIXR, VERGE, und 6G-XR. Die Arbeit der IEEE-Arbeitsgruppe P1932.1 zum Thema 'Licensed/Unlicensed spectrum interoperability' wurde fortgesetzt und die Beiträge aus FunKI wurden in den Gruppengesprächen diskutiert. Der Hauptantrieb für die Arbeit war die laufende Diskussion in den Normen über die Verbesserungen, die in 3GPP Release-17 und Release-18 stattgefunden haben.

Die geplanten Arbeiten an einer High-Level-Analyse von MAC konnten aufgrund der oben erwähnten Personalprobleme nicht abgeschlossen werden. Als Folge dieser Probleme konnte Intel auch nicht die geplanten Ressourcen für alle geplanten Aktivitäten in AP3 bereitstellen.

4.3 AP 5: SDR Demonstrator

Intel halfen bei der Auswahl und Definition geeigneter Demonstrationsszenarien und, dank seines Fachwissens in den Bereich 5G und 5G Beyond Märkten, Intel konnte auch unterstützen bei der Festlegung der am besten geeigneten Validierungsmethoden zur Bewertung der Ergebnisse des FunKI-Projekts.

Intel spielt bei dieser Aufgabe eine untergeordnete Rolle und hat damit mitgewirkt, andere Partner bei der Festlegung der am besten geeigneten Validierungsmethoden zur Bewertung der Ergebnisse des FunKI-Projekts zu unterstützen.

5 Industrieller Nutzen und Verwertbarkeit

Dank seiner Beteiligung an FunKI war **Intel** in der Lage, sein Wissen auf dem Gebiet der Anforderungen und Anwendungsfälle im Zusammenhang mit der Anwendung von KI-Methoden auf drahtlosen Systemen zu verbessern und zu vertiefen. Dieses Wissen wird für die Teilnahme an zukünftigen deutschen und europäischen Forschungsprojekten sehr nützlich sein. Die mit den anderen Projektpartnern erlernten und ausgetauschten Konzepte ermöglichten eine Reihe von Präsentationen und Einblicken zu KI-Themen, insbesondere in internationalen Foren wie europäischen Kategorieverbänden (BDVA, AIOTI, 6G-IA, NetworldEurope) und Normungsforen (3GPP, ETSI, IEEE). Die erlernten Konzepte haben auch das Potenzial, auf die neu begonnene Standardisierung von 6G-Technologien angewendet zu werden, für die AL/ML sehr wichtige Faktoren sind.

6 Erfolgte Verwendung

6.1 Veröffentlichungen auf White Papers und in Buchbeiträge

Die Ergebnisse von FunKI, an denen Intel beteiligt war, wurden in 2 Buchkapiteln und 4 White Papers veröffentlicht, wie Tabelle 1 listet die veröffentlichten Artikel auf.

Tabelle 1: Veröffentlichungen

Wissenschaftliche Publikationen	
[Kou2023]	K. Koufos, K. El Haloui, C. Zhou, V. Frascolla, M. Dianati <i>State-of-the-art in PHY layer deep learning for future wireless communication systems and networks</i> , in the book <i>Deep Learning and Its Applications for Vehicle Networks</i> , CRC Press, 2023. eBook ISBN9781003190691. DOI: 10.1201/9781003190691-7.
[Fra2022]	V. Frascolla, M. Hummert, T. Monsees, D. Wübben, A. Dekorsy, N. Michailow, V. Dörricht, C. Niedermeier, J. Kaiser, A. Bröring, M. Villnow, D. Wessel, F. Geiser, M. Wissel, A. Viseras, B. Han, B. Richerzhagen, H.D. Schotten, D. Calandra, F. Lamberti <i>Lessons Learnt and Future of AI Applied to Manufacturing</i> River Publishers, Intelligent Edge-Embedded Technologies for Digitising Industry, 2022.
[Fra2021c]	V. Frascolla et al. <i>European Vision for the 6G Network Ecosystem</i> White Paper, 5g-IA association. DOI:10.13140/RG.2.2.19993.95849.
[Fra2021b]	V. Frascolla et al. <i>Key Media & Content use cases in the context of 6G</i> White Paper edited by the NetworldEurope association, 2021. Available online: https://nem-initiative.org/wp-content/uploads/2022/01/key-media-content-use-cases-in-the-context-of-6g.pdf?x74682 .
[Fra2021a]	V. Frascolla et al. <i>5G PPP Architecture Working Group - View on 5G Architecture, Version 4.0 (auch bekannt als ‚5G-Advanced Architecture‘)</i> White Paper, the 5G-IA Association. 10.5281/zenodo.5155657.
[Fra2020b]	V. Frascolla et al.

Edge computing for 5G networks
 White paper, the 5G-IA association. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3698117>.

6.2 Fachvorträge

Aufgrund der Einschränkungen durch die Corona-Pandemie fanden insbesondere in den ersten beiden Projektjahren kaum Veranstaltungen oder Kongresse in Präsenz statt. Folglich reduzierten sich die Möglichkeiten zum direkten Austausch mit anderen Forschungsprojekten, Forschungseinrichtungen. Durch aktive Mitgestaltung von Online-Events wurde diesen Einschränkungen begegnet. Es wurden hierzu auf den folgenden Veranstaltungen Fachvorträge von Intel gegeben:

- 2021
 - V. Frascolla: Network Intelligence for the future, MedComNet 2021, Panel, 17.06.2021
 - V. Frascolla: als Vorsitzender des Industry Forums ‘Hurdles, challenges, and opportunities of IoT moving towards 6G’, IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT) 2021, 30.07.2021
 - V. Frascolla: IoT Evolutionary Computing Concepts, IoT Week 2021, Panel, 30.08.2021
 - V. Frascolla, T. Wild: Next Generation Mobile Radio: the transition from 5G to 6G, VTC Fall 2021, Panel, 10.10.2021. Als Organisator des Panels lud Intel andere FunKI-Partner ein, ihren Beitrag zu dem Panel zu leisten.
 - V. Frascolla: AIOTI Advancing European IoT and Edge Computing Research and Innovation. Priorities and Synergies across Horizon Europe Partnerships, AIOTI Signature Event 2021, Panel, 30.11.2021
 - V. Frascolla: als Vorsitzender des Panels ‘Industrial IoT: key technology enablers for its evolution’, Globecom 2021, Panel, 08.12.2021
- 2022
 - V. Frascolla: International Conference on Communications (ICC 2022), 16-20.05.2022, als Vorsitzender (Chair) der Conference AI/ML Industrial Sessions:
 - als Sprecher und Vorsitzender des Industrial Session “Toward AI-native 6G Networks”,
 - als Vorsitzender des Panels “AI-enabled communication networks”.
 - V. Frascolla: Convergence Points: The Way to 6G, 6G Symposium Spring 2022, Invited Talk, 23.05.2022
 - V. Frascolla: IoT Intelligent Connectivity and Edge Computing Research Priorities, IoT Week 2022, Invited Talk ‘AI at the Edge: Learnings from two collaborative research projects: SIFIS-Home and FunKI’, 20.06.2022
 - V. Frascolla: AI at the Edge: a key ingredient for Smart Cities, 12th Workshop on Management of Cloud and Smart City Systems (MoCS 2022), Invited Keynote, 30.06.2022
 - V. Frascolla: AI at the Edge, 4th international Conference on Advance in Signal Processing and Artificial Intelligence (ASPAI) 2022, Invited Keynote, 21.10.2022
 - V. Frascolla: ‘European Big Data Value Forum (EBDVF) 2022’, als Vorsitzender des Special Session ‘Metaverse’, Prag, 21-23.11.2022.

7 Referenzen

- [Fra2020a] V. Frascolla (2020) “What Are 3GPP 5G Phase 1 and 2 and What Comes After”. In: Thampi S. et al. (eds) Advances in Signal Processing and Intelligent Recognition Systems. SIRS 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1209. Springer, Singapore. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4828-4_32.
- [Fra2020b] V. Frascolla et al. Edge computing for 5G networks. White paper, the 5G-IA association. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3698117>.
- [Fra2021a] V. Frascolla et al. 5G PPP Architecture Working Group - View on 5G Architecture, Version 4.0. White Paper edited by the 5G-IA Association. 10.5281/zenodo.5155657.

- [Fra2021b] V. Frascolla et al. Key Media & Content use cases in the context of 6G. White Paper edited by the NetworkEurope association, 2021. Available online: <https://nem-initiative.org/wp-content/uploads/2022/01/key-media-content-use-cases-in-the-context-of-6g.pdf?x74682>
- [Fra2021c] V. Frascolla et al. European Vision for the 6G Network Ecosystem. White Paper edited by the 5G-IA association. DOI:10.13140/RG.2.2.19993.95849.
- [Fra2022] V. Frascolla, M. Hummert, T. Monsees, D. Wübben, A. Dekorsy, N. Michailow, V. Döricht, C. Niedermeier, J. Kaiser, A. Bröring, M. Villnow, D. Wessel, F. Geiser, M. Wissel, A. Viseras, B. Han, B. Richerzhagen, H.D. Schotten, D. Calandra, F. Lamberti. Lessons Learnt and Future of AI Applied to Manufacturing. River Publishers, Intelligent Edge-Embedded Technologies for Digitising Industry, 2022.
- [Kou2023] K. Koufos, K. El Haloui, C. Zhou, V. Frascolla, M. Dianati. State-of-the-art in PHY layer deep learning for future wireless communication systems and networks, in the book ,Deep Learning and Its Applications for Vehicle Networks', CRC Press, 2023. eBook ISBN9781003190691. DOI: 10.1201/9781003190691-7.

FunKI

Funkkommunikation mit Künstlicher Intelligenz

Intel Deutschland GmbH Kurzbericht

mit Bezug auf die BMBF-Ausschreibung
"Künstliche Intelligenz in Kommunikationsnetzen"
im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung

Ansprechpartner

Intel Deutschland GmbH

Dr. Valerio Frascolla
Director Research and Innovation
Am Campeon 10-12,
85579, Neubiberg
Deutschland

Übersicht

Gesamtlaufzeit: 36 Monate + 6 Monate Verlängerung (15.05.2020 – 14.11.2023)
Gesamtkosten: 281.657,55 €
Fördermittel: 112.663,02 €

1 Thema und Zielsetzung von FunKI (ursprüngliche Aufgabenstellung)

Als der FunKI-Projektantrag fertiggestellt wurde (Ende 2019), wurde die fortschrittlichste Mobilfunktechnologie namens 5G (die fünfte Generation) durch die ETSI/3GPP-Standards fertiggestellt, und kommerzielle Dienste auf Basis von 5G waren bereit, weltweit breit eingesetzt zu werden. Da die Anforderungen und Anwendungsfälle für 5G klar waren, zielte das Projekt FunKI darauf ab, die Fähigkeit zur ordnungsgemäßen Verwaltung von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) in die neue physikalische Schicht (PHY) von 5G (und auch in zukünftige Erweiterungen) einzubetten.

KI war und kann auch im Jahr 2024 als eine sehr vielversprechende Reihe von Technologien angesehen werden, von denen erwartet wird, dass sie zahlreiche Key Performance Indicators (KPIs) für Telekommunikationssysteme drastisch verbessern werden, wobei die wichtigsten die Reaktionszeit des Systems, die Sicherheit, die Anpassungsfähigkeit und der Energieverbrauch sind.

Das FunKI-Konsortium plante daher, neue Methoden vorzuschlagen, um den Mangel an KI-basierten Modellen und Algorithmen zu beheben, um die PHY und teilweise die Medium Access Control (MAC)-Schicht von Mobilfunknetzen zu verbessern.

Intel plante, das Konsortium durch sein tiefes Engagement und seine Erfahrung in Normungsgremien (IEEE, ETSI, 3GPP, O-RAN) sowie durch die verschiedenen laufenden Beziehungen und sogar die treibende Rolle, die es in europäischen und internationalen Verbänden und Organisationen (AIOTI, BDVA, 6G-IA) übernommen hat, zu unterstützen. Aus technologischer Sicht plante Intel, das FunKI Konsortium bei der Definition von Anwendungsfällen, dem Anforderungsmanagement und den Validierungsmethoden für die geplanten endgültigen Demonstratoren zu unterstützen und auch eine Vorstudie über die Auswirkungen der Arbeit aller anderen Partner auf der PHY-Schicht auf die MAC-Schicht durchzuführen. All dies war hochinnovativ und auch in der Literatur fanden sich nur sehr wenige Arbeiten, die sich unter dem Dach der FunKI-Projektaktivitäten mit dem Thema beschäftigten.

2 Ablauf des Vorhabens

Aufgrund einer Reihe von Problemen und unvorhergesehenen Ereignissen, die im Laufe des Projekts auftraten, musste Intel die Teilnahme am FunKI-Projekt nach unten anpassen, wodurch die Anzahl der geplanten Aktivitäten um etwa 30% reduziert wurde. In der Folge reduziert sich der Arbeitsplan von Intel von anfänglich 30 PM Arbeit und einem Budget von umgerechnet zirka 412.000 € auf einen Schlusssaufwand von knapp 20 PM und ein Budget von ~ 281.000 € (bezogen auf einen Bundesanteil von ~112.000 € statt ~165.000 €).

Die Probleme waren hauptsächlich: 1. Auswirkungen der Covid19-Pandemie auf das Personal (häufige Erkrankungen von Menschen mit Schlüsselqualifikationen); 2. Die anschließende Verschlechterung des Gesundheitszustands eines bestimmten Kollegen, der das Projekt verlassen musste; 3. Kollegen mit spezifischen Kenntnissen, die das Unternehmen verlassen haben; 4. Konsequente Umverteilung von Personal in interne Projekte, die nicht aufgedeckt werden. All dies hat dazu geführt, dass die geplante Analyse der Auswirkungen der Projektarbeiten auf den MAC-Schichten nicht erfolgt ist. Trotz der genannten Probleme wurden alle anderen ursprünglich geplanten Aktivitäten abgeschlossen, wie im nächsten Absatz beschrieben.

Intel hat zusammen mit den anderen Partnern des Projekts um eine 6-monatige Verlängerung gebeten, um eine Analyse der Auswirkungen der neuen O-RAN-Standardisierungsgruppen auf die von FunKI vorgeschlagene Architektur der PHY-Schicht abzuschließen.

3 Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Partnern

Intel hat mit allen Partnern bei der Definition der Anwendungsfälle und der Szenarien des Projekts zusammengearbeitet und dabei sein Expertenwissen über die Marktdynamik in den Bereichen KI/ML genutzt.

Intel hat seinen Beitrag geleistet, insbesondere in enger Zusammenarbeit mit MOTIUS, an der Definition von KI/ML-basierten Schätzverfahren für Kanalparameter gearbeitet, durch Untersuchung zum aktuellen Stand der Forschung anhand vorhandener Literatur.

Intel hat eine Verbindung zwischen EU- und Deutschland-finanzierten Forschungsprojekten und den laufenden Arbeiten hergestellt, durch die Verknüpfung der FunKI-Arbeiten mit ähnlichen Arbeiten in den Projekten 5GENESIS, HEXA-X, SIFIS-Home, KI-Absicherung, TRANSMIXR, VERGE, und 6G-XR.

Intel halfen bei der Auswahl und Definition geeigneter Demonstrationsszenarien und, dank seines Fachwissens in den Bereich 5G/5G Beyond/(zukünftig 6G) Märkten, Intel konnte auch unterstützen bei der Festlegung der am besten geeigneten Validierungsmethoden zur Bewertung der Ergebnisse des FunKI-Projekts. Intel spielt bei dieser Aufgabe eine untergeordnete Rolle und hat damit mitgewirkt, andere Partner bei der Festlegung der am besten geeigneten Validierungsmethoden zur Bewertung der Ergebnisse des FunKI-Projekts zu unterstützen.

Intel hat seine führende Position in internationalen Vereinigungen, Initiativen, und Normungsgremien genutzt, indem es einerseits in der internen FunKI-Diskussion über die sich dynamisch verändernden Richtungen des Forschungsökosystems berichtet und andererseits die Ergebnisse der FunKI-Arbeit in relevante internationale Publikationen und Arbeitsgruppenaktivitäten einfließen lässt. Insbesondere wurden Berichte und Eingaben in den 3GPP-, O-RAN- und IEEE- Normungsgremien erstellt.

Die Ergebnisse von FunKI, an denen Intel beteiligt war, wurden in 2 Buchkapiteln, 4 White Papers, und 12 Fachvorträge veröffentlicht.

Intel hat die Arbeit von FunKI mit Arbeiten zu KI-bezogenen Themen von großen internationalen Verbänden wie AIOTI, BDVA, 6G-IA und NetworldEurope verknüpft.

Dank seiner Beteiligung an FunKI war Intel in der Lage, sein Wissen auf dem Gebiet der Anforderungen und Anwendungsfälle im Zusammenhang mit der Anwendung von KI-Methoden auf drahtlosen Systemen zu verbessern und zu vertiefen. Dieses Wissen wird für die Teilnahme an zukünftigen deutschen und europäischen Forschungsprojekten sehr nützlich sein.

Die erlernten Konzepte haben auch das Potenzial, auf die neu begonnene Standardisierung von 6G-Technologien angewendet zu werden, für die AI/ML sehr wichtige Faktoren sind.