Kurzbericht – Teil I

Projekt EdgeLimit

26. Juni 2025

Öffentlich

Impressum

Herausgeber Telekom

Deutsche Telekom AG
Group Technology
Landgrabenweg 149, 53227 Bonn

Dateiname	Dokumentennummer	Dokumentenbezeichnung
DTAG_Kurzbericht_Teil1_ Projekt_EdgeLimit	1	Projektkurzbericht

Version	Stand	Status
1.0	26.06.2025	Final

Autor

Tottingham, John

Bonn, 26.06.2025

Projektangaben

ZE	Förderkennzeichen 16ME0443
Vorhabenbezeichnung: EdgeLimit-GreenICT	
Laufzeit des Vorhabens: 2022-2024	
Berichtzeitraum: 04.2023 – 06.2025	

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung 3

2 Ablauf des Vorhabens 4

3 Wesentlichen Ergebnisse 5

1 Aufgabenstellung

Die Deutsche Telekom AG (DTAG) trat dem EdgeLimit-Konsortium im Jahr 2021 bei, um eine Betreiberperspektive auf die geplanten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten einzubringen.

Als Betreiber führender, moderner Telekommunikationsnetze in ganz Europa ist die DTAG in einer hervorragenden Position, um Orientierung hinsichtlich der zukünftigen Ausrichtung und Anforderungen von Netzen zur Erreichung von Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen zu geben. Insbesondere der Fokus von EdgeLimit auf die Entwicklung von Halbleitertechnologien unter Verwendung von Scandiumnitrid – einem Material mit potenziell erheblichen Effizienzvorteilen gegenüber bestehenden Galliumnitrid-Halbleitern – war eine der Hauptgründe für die Beteiligung am Projekt.

Auch wenn DTAG nicht direkt zur wissenschaftlichen Entwicklung von Scandiumnitrid beigetragen hat, lagen die Beweggründe in folgenden Aspekten:

1. Die Industrie zur Entwicklung energieeinsparender Lösungen zu ermutigen, die für den Einsatz bei Netzbetreibern relevant sind
2. Sicherzustellen, dass F&E-Teams, Zulieferer und Hersteller die Herausforderungen beim Netzaufbau verstehen
3. Die Weiterentwicklung von Lösungen zu fördern, die die energiebezogenen Grenzen aktueller Funktechnologien adressieren

Die Aufgabe der DTAG im Rahmen des Projekts bestand darin, zwei Arbeitspakete zu unterstützen:

- AP5 Anwendungsfälle
- AP6 Begleitforschung

2 Ablauf des Vorhabens

Von Beginn des Projekts an war klar, dass der stark wissenschaftliche Charakter der Aktivitäten die Möglichkeiten der DTAG einschränken würde, eine aktive Rolle bei der Entwicklung neuer Halbleitermaterialien oder beim Bau von Chipsätzen für neuartige Antennenlösungen zu übernehmen. Beiträge zu den Entwicklungen erfolgten in Form der Teilnahme an regelmäßigen Review-Meetings, bei denen Ergebnisse bewertet, Rückmeldungen gegeben und praktische Netzaspekte auf Basis von Erfahrungen mit heutigen Technologien und deren Fähigkeiten eingebracht wurden.

Während der jährlich stattfindenden Präsenztreffen leistete die DTAG inhaltliche Beiträge in Form von Präsentationen, die Einblicke in aktuelle Entwicklungen im Bereich Netz-Nachhaltigkeit, Anwendungsfälle und weitere für das Konsortium relevante Aspekte boten. Die bereitgestellten Informationen konzentrierten sich darauf, wie Energiesparinitiativen in verschiedenen Ausbau-Szenarien durch unterschiedliche Radio Access Network (RAN) Technologien und deren softwarebasierte Energiesparfunktionen umgesetzt werden. Besondere Betonung lag auf der Adressierung zentraler Prioritäten in Bezug auf Energieverbrauch und Effizienz im Rahmen der Entwicklung der verschiedenen Arbeitspakete des Konsortiums.

Zentrale Treiber waren:

- Steuerungsverbesserungen durch neue Schalttechniken, Virtualisierung, Software und KI – ermöglicht durch den Fokus des Konsortiums auf neue Transceiver-Designs und dessen Virtualisierungsprototyp
- Qualitätssteigerungen durch erhöhte Hardware-Leistung und -Robustheit
- Kostenreduktionen durch verringerten Energieverbrauch infolge neuer Hardware- und Betriebsmöglichkeiten, z. B. durch den Einsatz neuer Halbleitermaterialien

3 Wesentlichen Ergebnisse

Für das Gesamtprojekt sowie für die Deutsche Telekom lieferte das Projekt wichtige Ergebnisse, die eine Grundlage für weiterführende Forschung und die Entwicklung zukünftiger Produkte zur Einführung bei Telekommunikationsanbietern bilden.

Common Transceiver (TRX)
Das Hardware-Design, die unterstützten Funktionen sowie die Einsatzmöglichkeiten sind entscheidende Aspekte für jeden Netzbetreiber. Funkmodule einschließlich ihrer Leistungsverstärker und Transceiver-Architekturen tragen wesentlich zum Energieverbrauch bei. Die im Konsortium geleistete Arbeit zur Entwicklung eines neuen Transceivers (Common TRX-Lösung) zeigt, dass durch die Neugestaltung von Schaltungsarchitekturen und Komponenten zusätzliche Einsparungen möglich sind. Obwohl mm-Wellen-Deployments derzeit noch nicht zum Standard bei Netzbetreibern gehören, erhöht das neue TRX-Design – insbesondere durch den Einsatz von Phasenschiebern für Uplink (UL) und Downlink (DL) bei gleichzeitiger Reduzierung der Komponentenanzahl – die Effizienz weiter.

Antennensegment-Optimierung
Ein erheblicher Aufwand wird betrieben, um die Verkehrsnachfrage im Zeitverlauf vorherzusagen und zu verstehen, wie sich durch Anpassung der Antennenkonfigurationen und Layer-Strategien (Frequenzen) der Energieverbrauch und die Netzwerkleistung (z. B. Abdeckung, Kapazität, Verfügbarkeit) beeinflussen lassen. Gemeinsam mit den Ergebnissen aus den Multi-TRP-Simulationen von MIMO-Antennen, sowie der KI-Modellierung mittels Reinforcement Learning für Beamforming-Zwecke konnten umfassende Erkenntnisse gewonnen werden, die zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz beitragen können, indem neue Ansätze für Verkehrsmodellierung und -steuerung entwickelt werden.

Virtualisierung & Orchestrierung
Die Entwicklung von Virtualisierungs- und Orchestrierungstechniken im Netzwerk bietet große Chancen zur Verbesserung der Energieeffizienz. Während sich unter Laborbedingungen zeigen lässt, wie sich die Orchestrierung virtualisierter Systeme auf den Energieverbrauch auswirkt, gestaltet sich die Messung in realen Netzen deutlich komplexer. Die im Konsortium gewonnenen Erkenntnisse belegen, dass genauere und präzisere Steuerungsmechanismen entwickelt werden können, die Verbesserungen in den Bereichen Energieverbrauch, Netzlast und KPI-Optimierung ermöglichen.

Energy Balance Sheet (EBS)
Das EBS ist ein zentrales Werkzeug zur Darstellung des Energiepotenzials bzw. der Auswirkungen einzelner Bestandteile von EdgeLimit. Die Berechnung von CO_2-Emissionen, Energieverbrauch und Kosten in Bezug auf Netzkomponenten und Ausbauvarianten ist auf der Ebene einzelner Basisstationen (BTS) nur schwer genau durchzuführen. Viele Tools können lediglich Netzwerte auf Gesamtbasis liefern. Das EBS-Tool hingegen ermöglicht die Berechnung unterschiedlicher Kennzahlen für einzelne Komponenten, die für Netzplanungsszenarien skaliert werden können – und liefert dadurch präzisere Aussagen zur Energieeffizienz.

Halbleiterentwicklung
Auch wenn die Entwicklung von Halbleitern auf Basis von Scandiumnitrid noch nicht die für den operativen Netzbetrieb erforderliche Stabilität aufweist, stellt die Erforschung dieser Materialien, ihrer elektrischen Eigenschaften und ihres Leistungspotenzials einen bedeutenden Schritt in Richtung leistungsfähigerer Hardware dar – insbesondere im Vergleich zu Lösungen auf Basis von

Galliumnitrid. Die wissenschaftlichen Aktivitäten in diesem Bereich ermöglichen es, künftige Grenzen zu verschieben, um die Energieeffizienz deutlich über den heutigen Stand hinaus zu steigern – bei gleichbleibender oder sogar verbesserter Leistung und Lebensdauer.

Kontakt
Deutsche Telekom AG
Landgrabenweg 151
53227 Bonn

Telefon: +49 171 221 2535

Internet: www.telekom.com

Erleben,
was verbindet.

Sachbericht – Teil II

Projekt EdgeLimit

26. Juni 2025

Öffentlich

Impressum

Herausgeber Telekom

Deutsche Telekom AG
Group Technology
Landgrabenweg 149, 53227 Bonn

Dateiname	Dokumentennummer	Dokumentenbezeichnung
DTAG_Sachbericht_Teil2_ Projekt_EdgeLimit	1	Projektsachbericht

Version	Stand	Status
1.0	26.06.2025	Final

Autor

Tottingham, John

Bonn, 26.06.2025

Projektangaben

ZE	Förderkennzeichen 16ME0443
Vorhabenbezeichnung: EdgeLimit-GreenICT	
Laufzeit des Vorhabens: 2022-2024	
Berichtzeitraum: 04.2023 – 06.2025	

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung und Ergebnisse 4

2 AP5 Use Cases & AP6 Research 5

3 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 7

4 Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeiten 8

5 Voraussichtliche Nutzen 9

6 Durchführung des Vorhabens 10

7 Geplante Veröffentlichungen 11

1 Aufgabenstellung und Ergebnisse

Es gibt viele verschiedene Aspekte des Energiesparens in Mobilfunknetzen. Diese reichen von der Hardware-Entwicklung, die beispielsweise die Arten von Remote Radio Units (RRUs), Baseband Units (BBUs) und Stromversorgungseinheiten umfassen, bis hin zur Nutzung von Energiespar-Softwarefunktionen. Die Auswahl und Nutzung von Frequenzbändern, um die Kapazitäts- und Abdeckungsanforderungen basierend auf spezifischen Einsatzszenarien im Netz zu erfüllen, beeinflusst ebenfalls den Energieverbrauch.

Die Rolle der Deutschen Telekom in diesem Projekt bestand darin, Einblicke in die oben aufgelisteten Aspekte und die verschiedenen Möglichkeiten zu geben, wie sie Energiespartechniken auf verschiedene Anwendungsfälle im Netzwerk anwendet, die vom Konsortium untersucht werden. Ziel war es, sicherzustellen, dass das Konsortium seine akademischen, Forschungs- und Entwicklungskapazitäten mit praktischen Erfahrungen eines Telekommunikationsanbieters kombinieren konnte, um die Ergebnisse zu bereichern, die Steuerung von Lösungsideen zu unterstützen und zu gewährleisten, dass die Tätigkeiten des Konsortiums in Zukunft von Betreibern genutzt werden können.

2 AP5 Use Cases & AP6 Research

Common Transceiver (TRX)
Das Hardware-Design, die unterstützten Funktionen sowie die Einsatzmöglichkeiten sind entscheidende Aspekte für jeden Netzbetreiber. Funkmodule einschließlich ihrer Leistungsverstärker und Transceiver-Architekturen tragen wesentlich zum Energieverbrauch bei. Die im Konsortium geleistete Arbeit zur Entwicklung eines neuen Transceivers (Common TRX-Lösung) zeigt, dass durch die Neugestaltung von Schaltungsarchitekturen und Komponenten zusätzliche Einsparungen möglich sind.

Das Design des Common TRX ist besonders interessant, da es eine Kompaktheit erreicht, die bei anderen Designs nicht verfügbar ist. Die einheitliche Line-Up- und Zirkulator-Architektur ermöglicht eine optimierte technische Lösung, die durch ihre Fähigkeit, zwischen Senden (TX) und Empfangen (RX) zu wechseln, Kostenvorteile durch eine reduzierte Anzahl an benötigten Komponenten bietet. Die Fähigkeit des Designs, sowohl mm-Wellen- als auch Sub-6GHz-Frequenzen zu unterstützen, ist vorteilhaft für verschiedene Einsatzszenarien in Netzwerken.

Optimierung des Antennensegments
Ein erheblicher Aufwand wird betrieben, um die Verkehrsnachfrage im Zeitverlauf vorherzusagen und zu verstehen, wie sich durch Anpassung der Antennenkonfigurationen und Layer-Strategien (Frequenzen) der Energieverbrauch und die Netzwerkleistung (z. B. Abdeckung, Kapazität, Verfügbarkeit) beeinflussen lassen.

Netzbetreiber setzen heute Softwarefunktionen wie Cell Shutdown oder MIMO-Abschaltung ein, um Energieeinsparungen zu erzielen. Beim Cell Shutdown können KI-basierte Systeme verwendet werden, um den Datenverkehrsbedarf für einen bestimmten Zeitraum – z. B. 24 Stunden im Voraus vorherzusagen und basierend auf diesen Prognosen Strategien zur Abschaltung von Layern (Schichten) oder einzelnen Zellen durch das Ausschalten von Leistungsverstärkern zu entwickeln.

Im Fall der MIMO-Abschaltung wird die Anzahl der TX/RX-Kanäle eines Antennenarrays reduziert, z. B. von 4×4 auf 2×2. Zwar sind die Energieeinsparungen im Vergleich zur vollständigen Zellabschaltung geringer, da der Leistungsverstärker weiterhin eingeschaltet bleibt, dennoch kann auch die MIMO-Abschaltung zur Reduzierung des Energieverbrauchs beitragen. Durch die Begrenzung der Anzahl an TX/RX-Kanälen – also die Optimierung des Antennenarrays – können insbesondere dann Energieeinsparungen erzielt werden, wenn sich ein verbundenes Gerät beispielsweise durch ein industrielles Umfeld wie ein Campusnetz bewegt. Bei großflächigen industriellen Einsätzen sind durch die Optimierung von Antennenarrays oder den Einsatz KI-gestützter Zellabschaltungsfunktionen erhebliche Energieeinsparungen zu erwarten.

Gemeinsam mit den Ergebnissen aus den Multi-TRP-Simulationen von MIMO-Antennen, sowie der KI-Modellierung mittels Reinforcement Learning für Beamforming-Zwecke konnten umfassende Erkenntnisse gewonnen werden, die zur weiteren Steigerung der Energieeffizienz beitragen können, indem neue Ansätze für Verkehrsmodellierung und -steuerung entwickelt werden.

Virtualisierung & Orchestrierung
Die Entwicklung von Virtualisierungs- und Netzwerkorchestrierungstechniken bietet erhebliche Chancen zur Verbesserung der Energieeffizienz. Während sich unter Laborbedingungen zeigen lässt, wie sich die Orchestrierung virtualisierter Systeme auf den Energieverbrauch auswirkt, gestaltet sich die Messung in realen Netzen deutlich komplexer. Der vom Konsortium entwickelte

Orchestrierungsprozess zeigt den Nutzen von Systemen, die in virtualisierten Netzwerkszenarien KI-Agentenfunktionen und Managementfähigkeiten einsetzen können, um die Last- und Verkehrssteuerung zu optimieren. Die Ergebnisse belegen eindeutig, dass Virtualisierungs- und KI-Agententechniken, wenn sie künftig in Verarbeitungseinheiten von Funkanlagen eingesetzt werden, Energieeinsparpotenziale bieten, die mit heutigen Funkdesigns nicht erreichbar sind.

Energiebilanz-Tool (EBS)
Das EBS ist ein zentrales Werkzeug zur Darstellung des Energiepotenzials bzw. der Auswirkungen einzelner Bestandteile von EdgeLimit. Die Berechnung von CO_2-Emissionen, Energieverbrauch und Kosten in Bezug auf Netzkomponenten und Ausbauvarianten ist auf der Ebene einzelner Basisstationen (BTS) nur schwer genau durchzuführen. Viele Tools können lediglich Netzwerte auf Gesamtbasis liefern. Das EBS-Tool hingegen ermöglicht die Berechnung unterschiedlicher Kennzahlen für einzelne Komponenten, die für Netzplanungsszenarien skaliert werden können – und liefert dadurch präzisere Aussagen zur Energieeffizienz.

Insbesondere der fein granulare Ansatz des EBS liefert wertvolle Erkenntnisse darüber, in welchen Bereichen Energieeinsparungen oder CO_2-Effekte erzielt werden und welche Kosten damit verbunden sind. Durch den Nachweis eines Werkzeugs, das in der Lage ist, kritische Netzkomponenten aufzuschlüsseln, zeigt das EBS nicht nur, welchen Grad an energetischem Verständnis ein detaillierter Ansatz ermöglichen kann, sondern liefert auch wichtige Erkenntnisse darüber, wie solche EBS-Werkzeuge etabliert werden können und welcher Aufwand erforderlich ist, um sie mit präzisen und aussagekräftigen Daten zu pflegen.

Halbleiterentwicklung
Auch wenn die Entwicklung von Halbleitern auf Basis von Scandiumnitrid noch nicht die für den operativen Netzbetrieb erforderliche Stabilität aufweist, stellt die Erforschung dieser Materialien, ihrer elektrischen Eigenschaften und ihres Leistungspotenzials einen bedeutenden Schritt in Richtung leistungsfähigerer Hardware dar – insbesondere im Vergleich zu Lösungen auf Basis von Galliumnitrid. Die wissenschaftlichen Aktivitäten in diesem Bereich ermöglichen es, künftige Grenzen zu verschieben, um die Energieeffizienz deutlich über den heutigen Stand hinaus zu steigern – bei gleichbleibender oder sogar verbesserter Leistung und Lebensdauer.

Das Konsortium hat sich auf eine Vielzahl unterschiedlicher Lösungen und Technologien konzentriert, die jeweils für sich betrachtet Potenzial für Energie- und Kosteneinsparungen bieten. Auch wenn nicht alle Lösungen bereits den Reifegrad für den Einsatz in bestehenden Netzwerken erreicht haben, zeigen sie eine klare Richtung auf, in die zukünftige Entwicklungsaktivitäten gehen sollten. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass die kombinierten Vorteile aller dieser Ansätze künftig zu erheblichen Einsparungen führen werden.

3 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

813	Material	Keine
823	F/E-Leistungen	Keine
837	Personalkosten	Projektleitung und interne technische Experten. Insgesamt 170,5 Stunden abgerechnet
838	Reisekosten	Nur für jährliche Projekttreffen
850	sonst. unm. Vorhabenk.	Keine

4 Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeiten

Die meisten Arbeiten, die vom Konsortium durchgeführt wurden, wurden von den Wissenschaftlern und Partnern, die die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten leiteten, ausgeführt. Während Deutsche Telekom durch die Bereitstellung von Informationen, Einblicken aus ihren eigenen Netzwerkinfrastrukturen, Testaktivitäten und Feedback von Experten zu diesen Aktivitäten beitrug, war ihr Engagement nur ein kleiner Anteil der Gesamtarbeit. Dies war sowohl vernünftig als auch angemessen, um die Projektkosten zu minimieren und sicherzustellen, dass das Engagement nur in Bereichen erfolgte, in denen ein sinnvoller und nützlicher Beitrag geleistet werden konnte.

5 Voraussichtliche Nutzen

Die Arbeiten des Konsortiums stellen einen wertvollen und nützlichen Beitrag im Bereich der Energieeinsparungen bei Mobilfunknetzen dar. Die verschiedenen identifizierten Forschungen und Lösungen, sei es die Entwicklung von Leistungsverstärkern, neue Ansätze für das Transceiver-Design oder Möglichkeiten zur Orchestrierung von Rechenressourcen, zeigen ein erhebliches Potenzial zur Reduzierung des Energieverbrauchs über die bestehenden Niveaus hinaus. Darüber hinaus bieten sie, wie vom Konsortium in seinen Zielen dargelegt, sowohl im Bereich der 5G-Campus-Netzwerke als auch in anderen Einsatzszenarien Chancen.

Unter der Annahme, dass die Marktbedingungen stimmen und mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Lösungen hin zu verfeinerten, robusten, skalierbaren und hochwertigen Produkten oder Softwarefähigkeiten kann erwartet werden, dass Betreiber in der Lage sind, die durch die Aktivitäten des Konsortiums aufgezeigten Vorteile in ihren Netzwerken zu nutzen.

6 Durchführung des Vorhabens

Im Verlauf des Projekts haben sich Ressourcen des Deutsche Telekom Konsortiums mit internen Experten auseinandergesetzt, um Annahmen zu testen, Theorien zu diskutieren, relevante Informationen bereitzustellen und die Ergebnisse der verschiedenen Projektaktivitäten zu überprüfen. Abgesehen vom Austausch mit Mitgliedern des Konsortiums fand keine breitere Konsultation mit Branchenverbänden oder Anbietern statt.

7 Geplante Veröffentlichungen

Die Deutsche Telekom plant nicht, Ergebnisse aus dem Projekt zu veröffentlichen.

Kontakt
Deutsche Telekom AG
Landgrabenweg 151
53227 Bonn

Telefon: +49 171 221 2535

Internet: www.telekom.com

Erleben,
was verbindet.