

TRI5G ERGEBNIS- BROSCHÜRE



Pionierregion
Leipziger Nordraum



GELEITWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

schnelles Internet ist heute so wichtig wie eine gute Verkehrsanbindung – privat wie beruflich. Für viele Unternehmen, gerade in Bereichen wie Logistik, Industrie oder IT, ist es längst unverzichtbar. Neue Technologien wie 5G eröffnen spannende Möglichkeiten: Prozesse werden effizienter, Daten in Echtzeit nutzbar, neue Geschäftsmodelle denkbar.

Deshalb hat die Stadt Leipzig das Projekt Tri5G von Beginn an aktiv unterstützt. Ziel war es, gemeinsam mit der Wirtschaft zu erproben, wie sich 5G in der Praxis nutzen lässt – und das mit Erfolg.

Das Projekt zeigt eindrucksvoll, wie moderne Technologien bestehende Prozesse verbessern können. Ein Beispiel ist die KI-gestützte Drohneninspektion von Flugzeugen, die Wartungszeiten verkürzt und Abläufe effizienter macht. Solche Innovationen sind nicht nur für die Luftfahrt relevant – sie schaffen Synergien für Logistik, Mobilität und Industrie. Leipzig stärkt damit seine Rolle als Innovationsstandort und bietet Unternehmen neue Perspektiven.

Haben wir unsere Ziele erreicht? Ja! Tri5G hat bewiesen, dass 5G keine ferne Vision ist, sondern konkrete Vorteile für Wirtschaft und Infrastruktur bietet. Gleichzeitig liefert es wertvolle Erkenntnisse für kommende Projekte – von vernetzter Mobilität bis zur digitalen Stadtentwicklung.

Mein Dank gilt allen, die dieses Projekt mit ihrem Engagement mitgestaltet haben. Lassen Sie uns Leipzigs Zukunft gemeinsam weiter digital und innovativ gestalten.

Clemens Schülke
Bürgermeister und Beigeordneter für
Wirtschaft, Arbeit und Digitales,
Stadt Leipzig

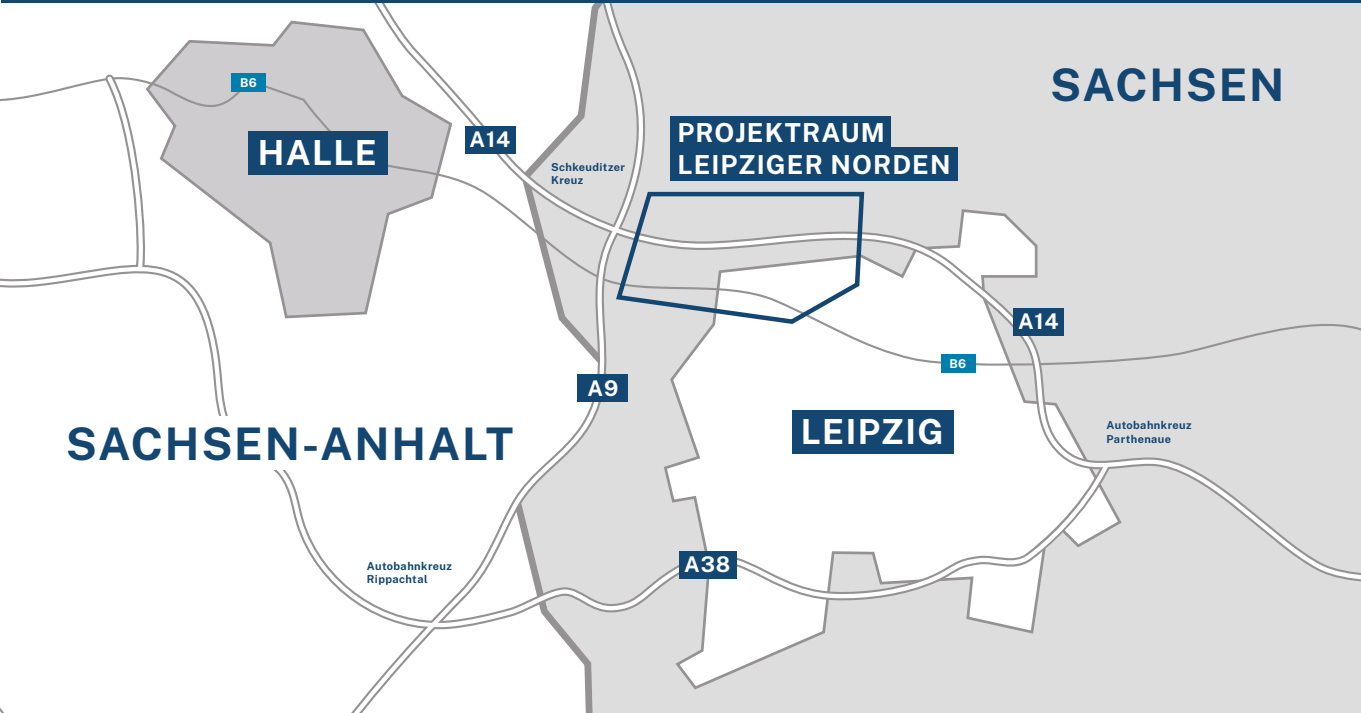


Clemens Schülke
Bürgermeister und Beigeordneter für
Wirtschaft, Arbeit und Digitales,
Stadt Leipzig

TRI5G ERGEBNIS- BROSCHÜRE



Pionierregion Leipziger Nordraum



EINLEITUNG	2
KONSORTIAL-PARTNER	3
USE CASES TRI5G REALLABOR	4
— Anwendungsübergreifende Forschungsfelder	6
— Automatisierte Drohnen	12
— Tracking, Monitoring, IoT und Maintenance	16
— Vernetztes Fahren	22
FAZIT UND AUSBLICK	28

EINLEITUNG

Warum 5G?

5G-Technologien versprechen der Industrie erhebliche Vorteile, indem sie dank hoher Geschwindigkeit und minimaler Latenz Echtzeitkommunikation und datenintensive Anwendungen ermöglichen. Eine massive Vernetzung unterstützt IoT-Geräte, während die hohe Zuverlässigkeit kritische Anwendungen wie Robotik und autonome Systeme absichert. Mit den Optionen des Netzwerkslicing und der Skalierbarkeit verspricht 5G flexible Anpassungsmöglichkeiten für verschiedene Anwendungsbereiche. Technologien wie Edge Computing, Künstliche Intelligenz und Augmented und Virtual-Reality-Anwendungen profitieren von der schnellen und stabilen Datenübertragung.

Hintergrund

Bereits im Jahr 2018 fanden sich unterschiedliche Akteure aus der mitteldeutschen Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlichen Verwaltung im Logistics Living Lab der Universität Leipzig zusammen und trugen ihre jeweiligen Anforderungen und Bedarfe an ein öffentliches 5G-Netz zusammen. Früh wurde deutlich, dass die fünfte Generation des Mobilfunkstandards eine große Wirkungskraft für industrielle Anwendungen verspricht und die Neugierde zum tatsächlichen Einsatz des Standards war geweckt.

Nach der Durchführung einer aussichtsreichen Machbarkeitsstudie im Jahre 2020, welche die Potenziale des Aufbaus von 5G-Standorten im Leipziger Nordraum untersuchte, kristallisierten sich verschiedene Anwendungsfelder der 5G-Technologie durch die Partner heraus. Die Idee eines gemeinsamen Forschungsprojekts war geboren. Dank der »5G-Umsetzungsförderung im

Rahmen des 5G-Innovationsprogramms« des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, konnte die initiale Idee eines 5G-Reallabors zuletzt in die Tat umgesetzt werden. Am 15. Dezember 2021 startete das lange geplante und ersehnte Forschungsprojekt Tri5G (Trimodale Pionierregion Leipziger Nordraum – LOGISTIK-IT-AUTOMOTIVE) mit dem Förderkennzeichen: 45FGU102_H.

Ziel von Tri5G war es durch die enge Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlicher Verwaltung innovative 5G-basierte Dienste zu erforschen und zu entwickeln, um die Digitalisierung in den Bereichen Automobilindustrie, Expresslogistik, Mehrwertlogistik und öffentlicher Personennahverkehr voranzutreiben. Tri5G hob dabei sich von anderen parallel geförderten Projekten deutlich ab, da es eine enorme Vielzahl an Use Cases in unterschiedlichsten Branchen (Produktion, Logistik, Gesundheit, Verkehr) beleuchtete. Vor allem aber unterschied es sich von anderen Forschungsarbeiten, da es keine abgeschlossenen privaten 5G-Campusnetze untersuchte, sondern sich auf öffentliche Netze und deren Übergänge zu privaten Netzen im Blick hatte. Gemeinsam mit dem Mobilfunkanbieter wurde so im Projekt die Forschung an speziell die Industrie betreffende Anwenderfragen vorangetrieben und die Forschungsergebnisse fanden direkt Eingang in Anwendung und Weiterentwicklung beim 5G-Netzbetreiber.

KONSORTIAL-PARTNER

Das Tri5G-Team setzt sich zusammen aus Partnern aus Wissenschaft, Wirtschaft und öffentlicher Verwaltung. Über 3 Jahre hinweg arbeitete das interdisziplinäre

Konsortium professionell und engagiert an der Bearbeitung der Forschungsfragen, der Entwicklung von Anwendungen, der Öffentlichkeitsarbeit und vielem mehr.

ÖFFENTLICHE VERWALTUNG

- Stadt Leipzig | Amt für Wirtschaftsförderung
- Flughafen Leipzig/Halle GmbH
- LVB Leipziger Verkehrsbetriebe GmbH



WISSENSCHAFT

- HTWK Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig | Fakultät Digitale Transformation | Professur für Mobilfunk und Hochfrequenztechnik
- TUD Technische Universität Dresden | Vodafone | Stiftungsprofessur Mobile Nachrichtentechnik | Institut für Automobiltechnik Dresden (IAD) Professur für Fahrzeugmechatronik
- Universität Leipzig | Logistics Living Lab | Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS)



WIRTSCHAFT

- BMW Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft | Werk Leipzig
- DHL EXPRESS | DHL Hub Leipzig GmbH
- AIN Advancing Individual Networks GmbH



HTWK

NETZINFRASTRUKTUR

Zentrale Koordination der Planung, Bereitstellung und Analyse der notwendigen 5G-Netzinfrastruktur.

BMW

NETZ- / INTEROPERATOR-KOMMUNIKATION

Senden und Empfangen von Daten, über verschiedene 5G-Netze hinweg.

AIN

ENDGERÄTEINTEGRATION

Senden und Empfangen von Daten, über verschiedene 5G-Netze hinweg.

DHL | IWI

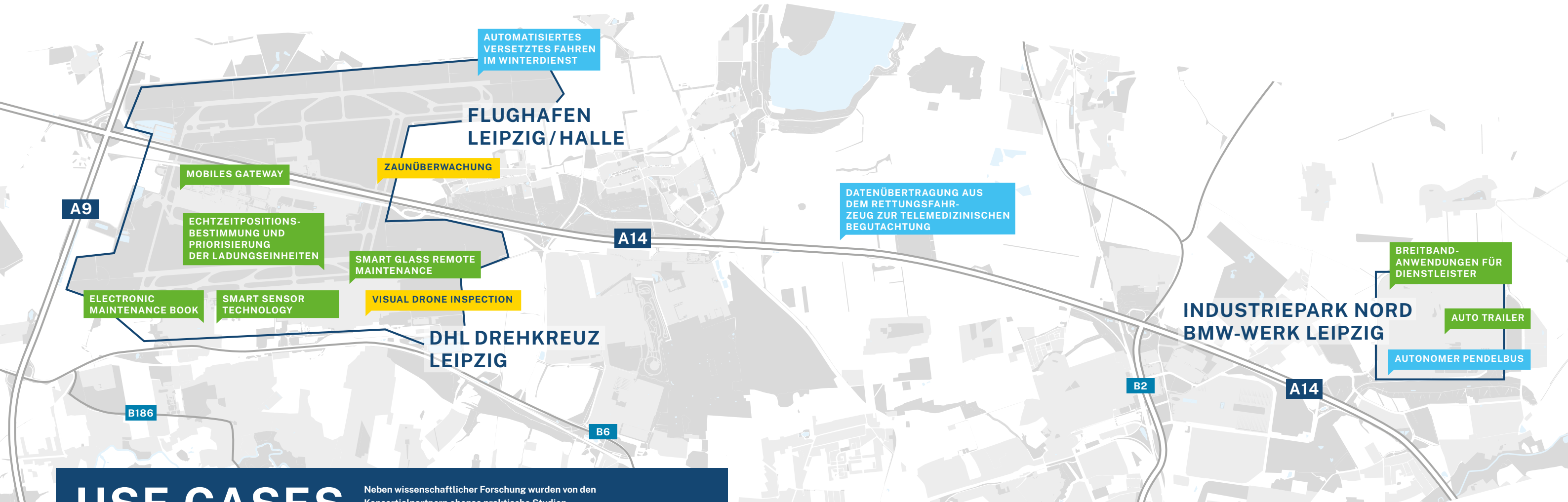
VISUAL DRONE INSPECTION

Automatisierte Schadenserkenennung an Flugzeugen mit Drohnen und Künstlicher Intelligenz

DHL | ICCAS | IWI

ZAUNÜBERWACHUNG

Lückenlose Überwachung des Außenzauns durch Roboterhund Spot von Boston Dynamics



USE CASES

Neben wissenschaftlicher Forschung wurden von den Konsortialpartnern ebenso praktische Studien zur Anwendbarkeit von 5G-Technologien durchgeführt.

LVB | TUD

AUTONOMER PENDELBUS

Einsatz von 5G-Technologien zur Unterstützung des autonomen Fahrens im öffentlichen Personennahverkehr.

ICCAS

DATENÜBERTRAGUNG AUS DEM RETTUNGSFAHRZEUG ZUR TELEMEDIZINISCHEN BEGUTACHTUNG

Verschlüsselte Übertragung der Vitalparameter von Patienten während Rettungseinsätzen.

FLUGHAFEN LEIPZIG

AUTOMATISIERTES VERSETZTES FAHREN IM WINTERDIENST

Schneeräumung von Flugbetriebsflächen am Verkehrsflughafen mittels im Platooningverfahren automatisiert versetzt fahrenden Maschinen beim zeitkritischen Winterdienst.

DHL | IWI

SMART SENSOR TECHNOLOGY

Moderne Sensortechnologie in Kombination mit 5G-Konnektivität hilft den Zustand von Frachtgütern während Transport und Lagerung zuverlässig zu überwachen.

DHL

SMART GLASS REMOTE MAINTENANCE

Einsatz von Augmented Reality (AR) zur Unterstützung von Wartungsarbeiten: Die Kombination der natürlichen Wahrnehmung des Nutzers mit digitalen Informationen und ermöglicht eine interaktive Arbeitsweise.

BMW

AUTO TRAILER

Einsatz autonom fahrender Trailerzugmaschinen zur automatisierten Anstellung von Trailern an Direktanlieferoren

DHL

MOBILES GATEWAY

Einsatz eines mobilen Gateways mit integrierter MEC-Komponente.

BMW

BREITBANDANWENDUNGEN FÜR DIENSTLEISTER

Vermeidung von Produktionsstörungen und Verzögerungen in der Logistik und im Produktionsprozess.

DHL

ECHTZEITPOSITIONS-BESTIMMUNG UND PRIORISIERUNG DER LADUNGSEINHEITEN

Echtzeitortung von Transportmitteln (Unit Load Devices) auf dem Flughafenvorfeld.

DHL

ELECTRONIC MAINTENANCE BOOK

Das elektronische Wartungsbuch ermöglicht eine digitale Dokumentation aller Wartungs- und Reparaturarbeiten in Echtzeit.

AUTO TRAILER

AUTONOMER PENDELBUS

Netzinfrasturktur

Im Tri5G-Projekt übernahm die HTWK Leipzig die zentrale Koordination der Planung, Bereitstellung und Analyse der notwendigen 5G-Netzinfrasturktur. Ziel war es, die Projektpartner optimal bei der Umsetzung der Tri5G-Anwendungsfälle zu unterstützen und eine leistungsfähige Netzinfrasturktur für diese Anwendungen bereitzustellen. Zu Beginn des Projekts wurde der Zustand des bestehenden Netzes durch umfangreiche Messungen und Analysen bewertet. Darauf aufbauend definierte die HTWK gemeinsam mit den Partnern die Anforderungen an die Netzinfrasturktur basierend auf den spezifischen Anwendungsfällen. Durch die HTWK wurde unter Berücksichtigung aktueller technischer Möglichkeiten der 5G-Technologie nach einer erfolgreichen Ausschreibung in Zusammenarbeit mit Vodafone die Erweiterung der 5G-Netzinfrasturktur für den Leipziger Nordraum geplant und umgesetzt. Der Fokus lag dabei auf dem Projektgebiet am Flughafen Leipzig/Halle bei DHL, das besonders hohe Anforderungen an die Netzleistung stellt.

Ergebnisse und Technologien

Das Tri5G-Projekt trug wesentlich zur Weiterentwicklung der 5G-Netzinfrasturktur im Leipziger Nordraum bei. Besonders hervorzuheben ist die Implementierung neuer 5G-Standorte, die zu deutlichen Verbesserungen der Netzleistung führten:

- Höhere Datenraten: Die neuen Standorte ermöglichen eine erhebliche Steigerung der Datenübertragungsraten, insbesondere im Uplink.
- Geringere Latenzzeiten: Durch die Einbindung moderner Technologien konnten die Latenzzeiten spürbar reduziert werden, was die Nutzererfahrung deutlich verbessert.

Während der gesamten Projektlaufzeit wurden umfangreiche Messungen und Analysen durchgeführt. Dabei standen zwei Schlüsseltechnologien im Fokus:

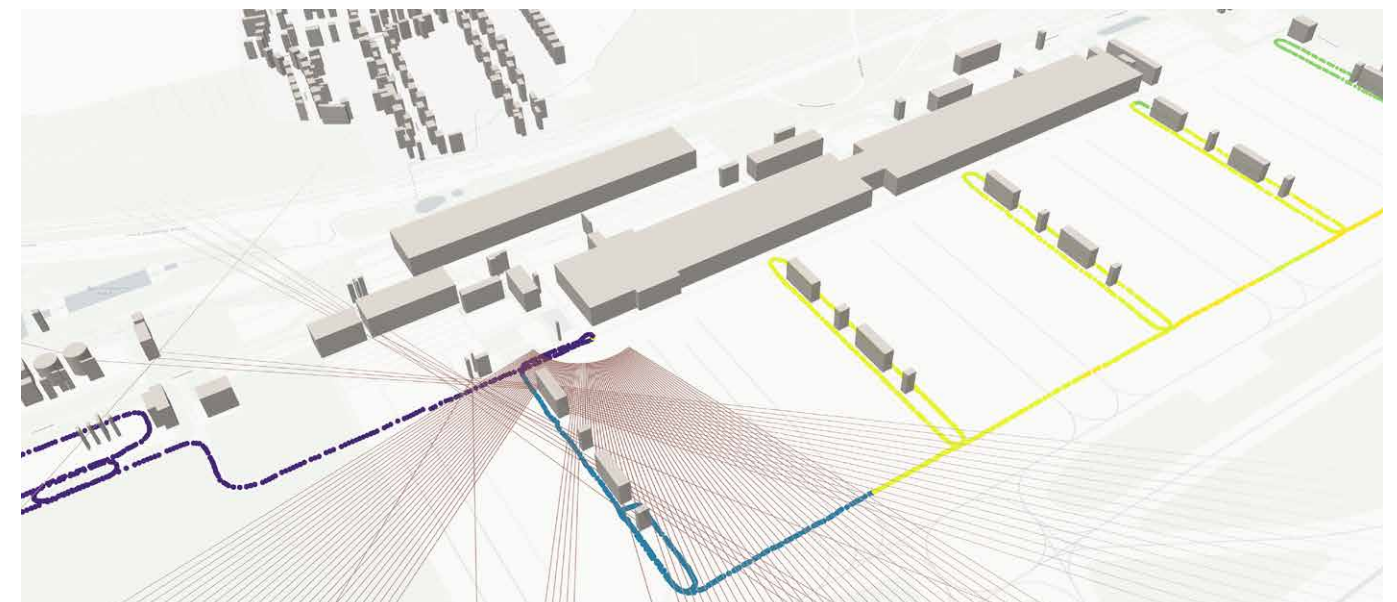
- Network Slicing: Diese Technologie priorisiert bestimmte Datenströme, um eine hohe Qualität und Zuverlässigkeit im Mobilfunknetz sicherzustellen.
- Mobile Edge Computing: Durch die Verlagerung von Rechenressourcen näher an den Netzwerkrand konnten Latenzzeiten erheblich reduziert werden.

Die Untersuchungen konzentrierten sich hauptsächlich auf den kritischen Uplink, der für hochbitratige Datenströme wie Videostreaming entscheidend ist. Neben den Messkampagnen entwickelte die HTWK Software-Tools zur präzisen Analyse der Dienstgüte in 5G-Netzen. Diese Tools unterstützen zudem spezifische Anwendungen auf mobilen Endgeräten. Für das Projekt wurden fünf neue Funkzellen mit breitbandiger Versorgung bei 3500 MHz in Betrieb genommen, wodurch die Datenraten im Uplink in kritischen Bereichen mehr als verdoppelt werden konnten.

Die beigefügte Abbildung zeigt die neuen 5G-Standorte im Projektgebiet sowie die entsprechenden Abdeckungsbereiche, die durch eine exemplarische Messkampagne am Flughafen Leipzig/Halle ermittelt wurden. Die Daten verdeutlichen, dass die Netzleistung insbesondere in kritischen Bereichen erheblich verbessert wurde, wodurch die Anforderungen der Tri5G-Anwendungsfälle erfolgreich erfüllt werden konnten.

Bedeutung und Perspektiven

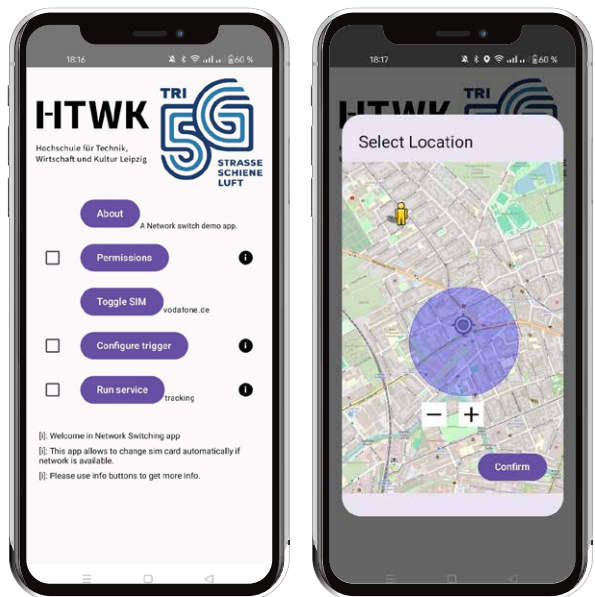
Die Ergebnisse des Tri5G-Projekts sind äußerst zufriedenstellend. Durch die enge Zusammenarbeit zwischen der HTWK Leipzig und den Projektpartnern konnte der Prozess der Planung, Konzeption und Optimierung der 5G-Netzinfrasturktur effizient und zielgerichtet begleitet werden. Die umfangreiche Arbeit an der Schnittstelle zwischen Industriepartnern und Netzbetreibern lieferte wertvolle Erfahrungen für zukünftige kooperative Optimierung von Mobilfunknetzen – insbesondere im Hinblick auf 6G-Konzepte. Das im Rahmen des Projekts geschaffene Testfeld in Leipzig bietet ideale Bedingungen für weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in den Bereichen Netzplanung, Optimierung und Dienstgüteprediktion. Die im Tri5G-Projekt gewonnenen Erkenntnisse bilden eine solide Grundlage für die Weiterentwicklung moderner Mobilfunknetze und deren Anwendungen.



Netzmessungen auf dem DHL-Vorfeld

Netz-und Interoperator-kommunikation

Unter Interoperatorkommunikation ist das Senden und Empfangen von Daten, über verschiedene 5G-Netze hinweg, zu verstehen -unabhängig vom Betreiber bzw. Operator des Netzes. Ein theoretisches Beispiel zur Veranschaulichung: Der Transportprozess von unterschiedlichsten Waren und Gütern wird oft durch viele, voneinander unabhängige Logistikunternehmen durchgeführt. Eine Echtzeit-Datenübertragung von Wareninformationen über den gesamten Transportprozess ist deshalb nicht möglich. Hier setzen die Ideen der Interoperatorkommunikation an. Ein 5G-fähiges Endgerät oder Tag wird an der Ware angebracht. Während des Transports wählt sich das Endgerät automatisch in die unterschiedlichen öffentlichen und privaten 5G-Netze ein ohne dabei die Datenverbindung zu verlieren. Im Arbeitspaket 2 von Tri5G wurden zwei Ansätze herausgearbeitet: Reselection und Roaming.



Tri5G Reselection App

Reselection

Unter Reselection ist der endgeräteseitige, softwarebasierte Netzwechsel zu verstehen. Dafür benötigt das Endgerät mindestens zwei SIM-Karten von unterschiedlichen 5G-Netzen. Auf diesem Weg kann das Endgerät bspw. bei schlechter Signalstärke, von einer SIM-Karte oder einem SIM-Profil auf ein anderes mit besseren Empfangswerten wechseln. Um die theoretischen Überlegungen zu überprüfen, wurde sich für die Entwicklung einer Android-Applikation entschieden, deren Logik auf dem beschriebenen Reselection-Ansatz beruht. Die Entwicklungsleistung hat federführend die HTWK – Professur für Mobilfunk und Hochfrequenztechnik übernommen. Nach einigen Herausforderungen, die vor allem mit dem Zugriff auf die Kernebene (Stichwort unlocking und rooting) zu tun hatten, ist es gelungen die funktionsfähige Android-Applikation zu testen, zu evaluieren und final den Konsortialpartnern vorzustellen.

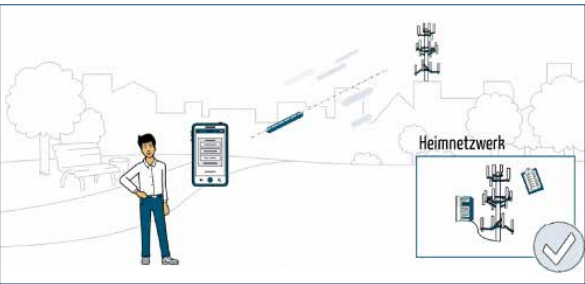


Darstellung Ansatz Reselection



Roaming

Der Roaming-Ansatz hingegen setzt auf die bereits im 5G-Standard vorhandene Roaming-Schnittstelle zwischen verschiedenen 5G-Netzen. Wie bei einer Reise ins Ausland, meldet sich das Endgerät im besuchten 5G-Netz an und kontaktiert zum Datenabgleich das jeweilige Heimnetzwerk des Endgerätes. Sind die technischen und formalen Voraussetzungen, wie bspw. Ein Roamingabkommen erfüllt, findet der vollständige Verbindungsaufbau zwischen dem besuchten Netz und dem Endgerät statt. Roaming gehört bereits heute zum Standard des öffentlichen Mobilfunks, jedoch keineswegs zum Standard bei Campusnetzen, geschweige denn zum Netzwechsel zwischen öffentlichem 5G-Netz und 5G-Campusnetz. Die Gründe dafür sind vielseitig. Auf formaler Ebene ist es 5G-Campusnetzen aktuell nicht erlaubt zu roamen, da für die Netze der Mobile Country Code 999 verwendet werden muss und dadurch keine eindeutige Kennung des 5G-Netzes vorliegt. Des Weiteren stellt die rechtliche Situation einen hohen Aufwand dar. Zwischen den einzelnen Betreibern müssten Verträge, sogenannte Roamingabkommen geschlossen werden, was die Skalierbarkeit für große Unternehmen weitgehend unattraktiv macht. Auf technischer Ebene müsste eine Verbindung zwischen den beiden Core-Netzwerken der Betreiber hergestellt werden. In Summe Aufwände die Roaming zwischen öffentlichen 5G-Netzen und 5G-Campusnetzen erheblich erschweren und unattraktiv machen.



Darstellung Ansatz Roaming

Endgeräteintegration

Die Anwendungsanalyse als Grundlage des Kommunikationssystems

Im Rahmen der Anwendungsanalyse wurden zunächst die Anforderungen der Anwendungen genau aufgenommen. Dabei ging es darum, zu verstehen, welche Funktionen und Eigenschaften von den Anwendungen benötigt werden, um diese erfolgreich umzusetzen. Anschließend wurde eine Machbarkeitsanalyse durchgeführt, um zu prüfen, ob und wie sich diese Anforderungen umsetzen lassen. Am Ende konnten wir klare Anforderungen an das Kommunikationssystem definieren, sowohl für die Infrastruktur als auch für die zu verwendenden Endgeräte. Die Definition der Use-Case-Eigenschaften war dabei oft schwierig, da sie stark von den beteiligten Personen und deren Perspektiven abhingen.

Wissenstransfer 5G Mobilfunk

Um alle Beteiligten auf denselben Wissensstand zu bringen, haben wir unser Mobilfunkwissen im Rahmen von Workshops mit den Partnern geteilt. In diesen wurde grundlegendes Wissen zur Telekommunikation und

speziell zum 5G-Mobilfunkstandard vermittelt. Dadurch erhielten die Teilnehmer eine gute Einführung in die Grundlagen von 5G und konnten dadurch die gewonnenen Ergebnisse besser interpretieren. Eine Herausforderung war das Erwartungsmanagement. Oft hatten Teilnehmer zu hohe Vorstellungen von den Möglichkeiten des 5G-Standards, weil dieser durch Marketing und Vertriebsversprechen überhöht dargestellt wurde.

Infrastrukturerrichtung der 5G Anlage

Für die Errichtung des 5G-Netzes wurden zunächst Anforderungen der Anwendungen an die Systemtechnik definiert. Anhand der Ergebnisse der Anwendungsanalyse konnten wir der HTWK Leipzig entsprechende Teile zur Ausschreibung der geplanten Mobilfunkversorgung zuarbeiten, um geeignete Anbieter für das Netz zu finden. Nach erfolgreicher Vergabe und der anschließenden Realisierungsphase konnte das Mobilfunksystem aktiv zur Umsetzung der geplanten Anwendungen genutzt werden. Der Prozess des Mobilfunkausbaus ging mit Verzögerungen und einem hohen organisatorischen Aufwand einher, da dieser mit einigen bürokratischen Hürden verbunden war.



Mobilfunkmessung mittels Drohnen



5G Endgeräte zur Vernetzung von Fahrzeugen

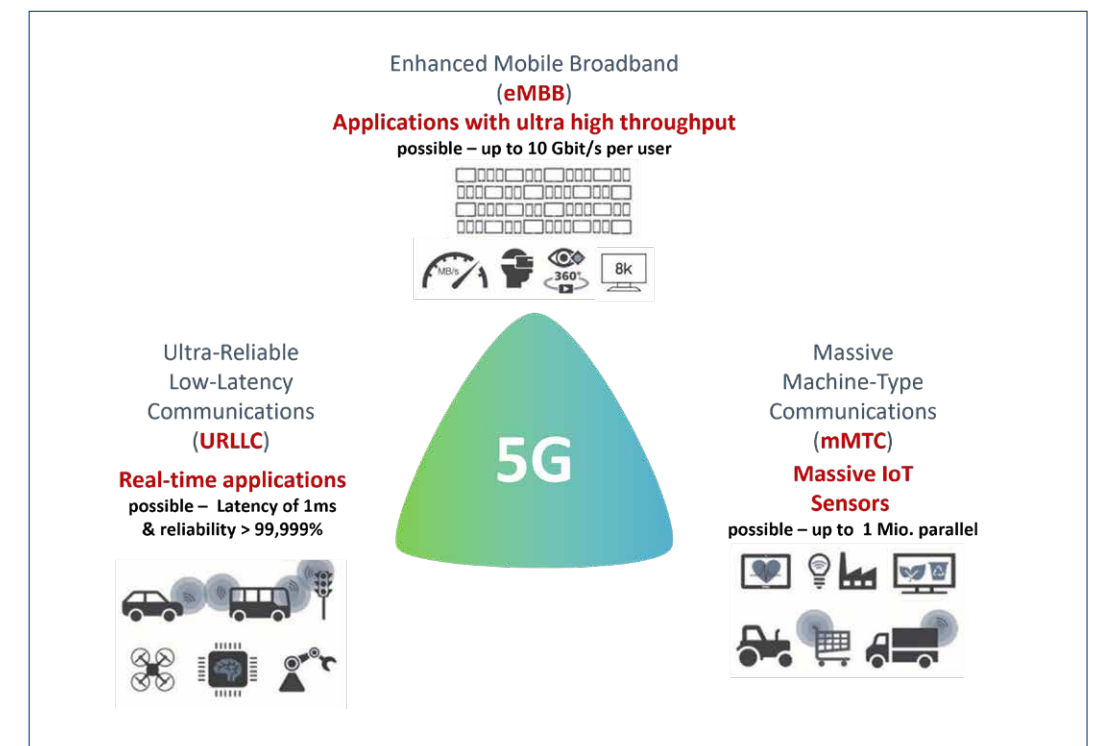
5G Endgeräte zur Vernetzung mobiler Use-Cases, wie XR-Brillen

5G Endgeräte

Ein weiterer wichtiger Schritt war die Evaluierung geeigneter Endgeräte für verschiedene Use Cases. Dazu gehörten Tests zur Performance und speziell zum Network Slicing, einer Technologie, die es ermöglicht, Netzressourcen flexibel auf die Bedürfnisse einzelner Anwendungen zuzuschneiden. Im Ergebnis konnten passende Endgeräte für die jeweiligen Use Cases identifiziert werden. Die von den Anwendungen geforderte Performance wurde mit der tatsächlichen Performance des öffentlichen Mobilfunknetzes abgeglichen, um die Machbarkeit in realen Netzen zu überprüfen. Eine Herausforderung war es geeignete Endgeräte zu finden, zu Beginn des Projekts die Verfügbarkeit von passenden 5G-Endgeräten begrenzt war. Dies hat sich im Laufe des Projekts verbessert, aber in speziellen Bereichen wie der Sensorik blieb die Verfügbarkeit weiterhin eine Schwierigkeit.

Funknetzmessungen

In Zusammenarbeit mit der TU Dresden und der HTWK Leipzig wurden Messungen des öffentlichen Mobilfunknetzes durchgeführt, um den Einfluss von 5G und Slicing bewerten zu können. Hierfür wurde ein entsprechendes Messkonzept verfasst, das diese Messverfahren strukturiert und nachvollziehbar darstellt. Die Versorgungssituation im öffentlichen Mobilfunknetz vor der Errichtung der projektspezifischen 5G-Infrastruktur wurde zu Beginn des Projektes analysiert. Nach der Installation der eigenen Infrastruktur konnten wir die Ergebnisse vergleichen und Potentiale identifizieren. Ein weiterer Schwerpunkt war die Bewertung der sogenannten Slicing-Funktion im öffentlichen Mobilfunknetz. Slicing ermöglicht es, verschiedene Netzwerkbereiche mit unterschiedlichen Leistungsmerkmalen bereitzustellen. Unsere Analyse zeigte, dass diese Technologie großes Potenzial für spezialisierte Anwendungen der Logistik und Industrie bietet.



Anforderungen an den 5G Standard

Visual Drone Inspection

Automatisierte Schadenserkennung an Flugzeugen mit Drohnen und KI

Flugzeuge sind während des Betriebs zahlreichen Umwelteinflüssen ausgesetzt, die zu Schäden wie Kratzern, Lackabnutzungen oder sogar Blitzeinschlägen führen können. Bei der Wartung bleibt dem Inspektionsteam meist ein Zeitfenster von etwa 12 Stunden, um das Flugzeug auf mögliche Schäden zu überprüfen, diese zu dokumentieren und bei Bedarf Reparaturen einzuleiten. Im Rahmen von Tri5G wurde ein innovatives System entwickelt, das Drohnen und künstliche Intelligenz (KI) kombiniert, um den Inspektionsprozess zu optimieren. Gemeinsam mit dem DHL Drehkreuz Leipzig testete das Logistics Living Lab den Einsatz von Computer Vision zur automatisierten Schadensdetektion an der Flugzeugoberfläche, um den Wartungsprozess der Flugzeuge effizienter und präziser zu gestalten.

Technologieeinsatz: Drohnen, 5G und KI

Die Umsetzung dieses Use Cases erfolgte durch einen Drohnenscan des Flugzeugs im geschlossenen Hangar. Dabei wurden hochaufgelöste Bilder und Videos der Oberfläche aufgenommen und in Echtzeit über eine leistungsstarke 5G-Verbindung an einen zentralen Server übertragen. Ein vortrainiertes KI-Modell analysierte im Anschluss das Bildmaterial live und markierte potenzielle Schadensstellen.

Für das Training des Modells wurden über 500 reale Bilder von Flugzeugschäden aufgenommen und durch mehr als 1.800 ähnliche Schadensbilder aus dem Internet ergänzt. Zum Einsatz kam das leistungsstarke YOLO-Framework (»You Only Look Once«), das für seine Geschwindigkeit und Präzision in der Objekterkennung bekannt ist. Das Modell wurde speziell für die Schadenserkenkung optimiert und mit einem kuratierten Datensatz trainiert, um präzise und zuverlässige Ergebnisse zu gewährleisten.



KI-Basierte Erkennung von Schäden an Flugzeugen im Hangar von DHL mittels dem Einsatz von Drohnen



Logistics Living Lab

Herausforderungen und Ausblick

Eine der größten Herausforderungen des Projekts bestand in der Beschaffung ausreichender realer Schadensbilder für das Training des KI-Modells. Zudem unterlagen die Drohnenflüge regulatorischen Einschränkungen und durften nur innerhalb des DHL-Hangars bei geschlossenen Toren durchgeführt werden. Dennoch konnte das entwickelte System erfolgreich implementiert werden und bietet zahlreiche Vorteile:

- Beschleunigte Inspektionen: Die automatisierte Schadenserkenkung reduziert die Zeit, die für eine ausschließlich manuelle Inspektionen benötigt wird, indem es den WartungstechnikerInnen eine Entscheidungsunterstützung bietet.
- Erhöhte Genauigkeit: KI-gestützte Analysen ermöglichen eine präzisere und konsistente Identifikation von Schäden.
- Flexibilität und Skalierbarkeit: Das Modell kann für verschiedene Flugzeugtypen angepasst und auch in anderen Branchen eingesetzt werden.

Einbindung in das Tri5G-Projekt

Das Ziel von Tri5G war es, verschiedene innovative 5G-Anwendungsfälle zu testen, mit besonderem Fokus auf hohe Datenraten im Uplink und Downlink sowie geringe Latenzzeiten. Im Rahmen des Projekts wurde das System der Visual Drone Inspection entwickelt, das in Zusammenarbeit zwischen dem DHL Drehkreuz Leipzig und dem Logistics Living Lab der Universität Leipzig entstand. Bei dem Use Case zur Schadenserkenkung per Drohne konnte erfolgreich der Einsatz von 5G in Kombination mit KI realisiert werden. Diese technologische Innovation ermöglicht nicht nur eine Optimierung des Wartungsprozesses von Flugzeugen, sondern stellt auch einen bedeutenden Schritt in Richtung effizienter und sicherer Inspektionsverfahren dar.

Zaunüberwachung

Flughäfen müssen strenge Sicherheitsanforderungen erfüllen und investieren daher in aufwendige Systeme sowie umfassende Richtlinien. Eine besondere Herausforderung stellt die lückenlose Überwachung des Außenzauns dar, da eine permanente Kontrolle durch menschliches Wachpersonal rund um die Uhr nicht immer umsetzbar ist. Im Zentrum einer innovativen Sicherheitslösung stand die Einbindung des Roboterhundes Spot von Boston Dynamics, der mit einer Kamera ausgestattet wurde, um die Überwachung des Flughafenzauns zu optimieren. Der Roboter bringt zwei entscheidende Vorteile mit sich: Er bewegt sich zuverlässig auf unebenem, bewachsenem Terrain bei jeder Witterung und kann vordefinierte Patrouillenrouten eigenständig ablaufen.

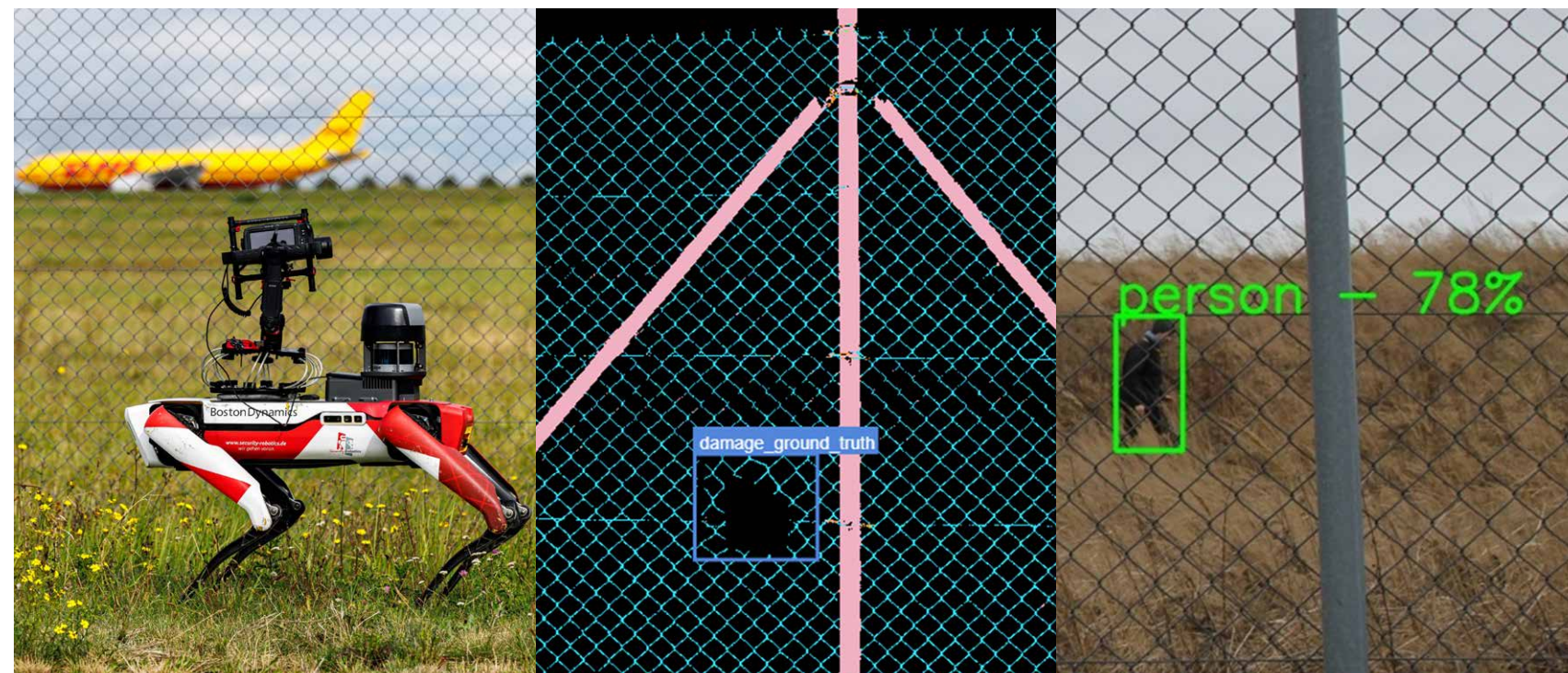
Zur Erkennung von Zaunschäden wurde durch das Logistics Living Lab der Universität Leipzig ein KI-Modell entwickelt und trainiert. Da nur wenige reale Beispielbilder zur Verfügung standen, untersuchten die Forscher gemeinsam mit Mitarbeitern des DHL Drehkreuz Leipzig die Struktur des Maschendrahtzauns und erstellten rund 2.000 Aufnahmen – darunter 400 mit einem Greenscreen, um den Zaun vom Hintergrund zu isolieren. Auf Basis dieser Daten wurde ein Modell entwickelt, das die Zaunstruktur synthetisieren und in verschiedene Umgebungen integrieren konnte. Um reale Schäden nachzubilden, simulierten die Forscher zudem Verzerrungen. Anschließend wurde ein weiteres KI-Modell darauf trainiert, tatsächliche Beschädigungen oder Störungen zuverlässig zu erkennen.

Dieser zweistufige Ansatz bot mehrere Vorteile:

- Eine präzise Erkennung von Zaunschäden,
- Nachvollziehbare Modellentscheidungen basierend auf der Zaunanalyse,
- Die Möglichkeit, auf reale Zaunbeschädigungen zu Trainingszwecken zu verzichten.

Zusätzlich wurde von den Forschern des Logistics Living Lab das YOLO-Objekterkennungsmodell eingesetzt, um unbefugte Personen in der Nähe des Zauns zu identifizieren. In der finalen Anwendung übertrug der Spot-Roboter Live-Videodaten über das 5G-Netz, während die serverseitige Analyse in der Edge Cloud Sicherheitskräfte in Echtzeit über potenzielle Eindringlinge oder Schäden am Zaun informierte.

Für die Zaunüberwachung und Inspektion nutzte das Team des ICCAS die offene Schnittstelle von Boston Dynamics, um Bild- und Radardaten über einen dedizierten 5G-Slice an einen Server zu senden. Eine eigene Übertragungssoftware ermöglichte zudem die Integration einer hochauflösenden Kamera. Die Zaunerkenkung erfolgte über einen spezialisierten Algorithmus des Logistics Living Lab. Tests auf den Werksgeländen von Security Robotics, DHL und BMW Leipzig durch das ICCAS bestätigten die erfolgreiche 5G-Anbindung, Umgebungserfassung per Kamera und Lidar sowie autonome Auftragsmissionen. Herausforderungen ergaben sich bei der Bildqualität: Die internen Kameras des



KI-Basierte Erkennung von Schäden und Sicherheitsvorfällen am Zaun des Leipziger Flughafens



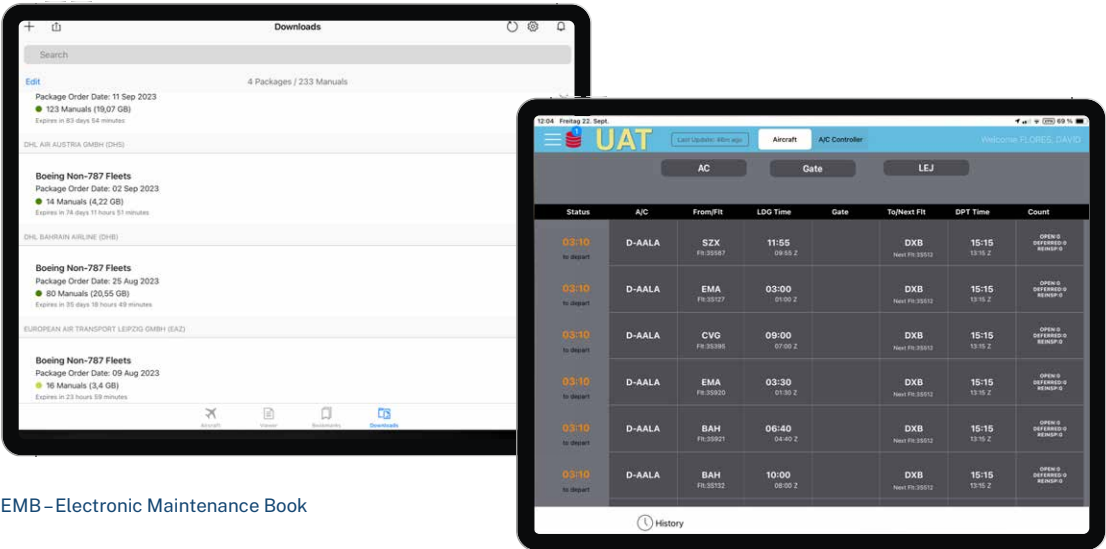
Logistics Living Lab

Electronic Maintenance Book

Traditionell werden Wartungsbücher in Papierform oder als digitale Dokumente geführt, die manuell aktualisiert und synchronisiert werden müssen. Durch die Vernetzung elektronischer Wartungsbücher in Kombination mit 5G können Wartungs- und Instandhaltungsprozesse jedoch deutlich effizienter und flexibler gestaltet werden.

Das elektronische Wartungsbuch ermöglicht eine digitale Dokumentation aller Wartungs- und Reparaturarbeiten in Echtzeit. Mechaniker und Ingenieure können über mobile Geräte oder Tablets jederzeit darauf zugreifen, relevante Informationen abrufen und Eintragungen vornehmen. Zudem können sie Bilder und Videos hochladen, um beispielsweise Beschädigungen oder durchgeführte Reparaturen zu dokumentieren. Diese Daten werden sofort über das 5G-Netz in eine zentrale Datenbank hochgeladen, auf die alle relevanten Akteure zugreifen können. So steht der gesamte Wartungsverlauf eines Flugzeugs jederzeit zur Verfügung, was die Diagnose von Problemen erleichtert und Reparaturen beschleunigt.

Dank der hohen Übertragungsraten von 5G können große Mengen an Wartungsdaten, Berichten sowie hochauflösenden Bildern oder Videos in Echtzeit übermittelt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass keine Verzögerungen bei der Dokumentation auftreten und alle notwendigen Informationen sofort verfügbar sind.



EMB – Electronic Maintenance Book



Ergebnisse der Campusnetz-Messung

Die Wartung und Reparatur von Flugzeugen erfolgt am DHL Drehkreuz Leipzig in einer separaten Wartungshalle (Hangar) der European Air Transport. Mehrere Flugzeuge können gleichzeitig gewartet werden, während verschiedene Teams parallel arbeiten. Die digitalen Wartungsbücher stellen sicher, dass alle Mechaniker stets auf die neuesten Informationen zugreifen können, was die Effizienz der Wartungsprozesse erheblich verbessert.

Mobiles Gateway

Zusammen mit AIN und HTWK wurden die Bedingungen der Funkversorgung vor und nach dem Ausbau des Mobilfunknetzes vermessen. Untersucht wurden die Signalstärke sowie die Qualität, wobei die erreichbaren Datenraten insbesondere für den Uplink im Vordergrund standen. Durch Verzögerungen im Netzausbau und der notwendigen Netzerweiterung hat MNS seine Netztechnik in Form als Campusnetz zur Verfügung gestellt und während der Projektlaufzeit auf das Flughafengelände zur Nutzung am DHL Hub aufgebaut. Daraus ergaben sich Möglichkeiten, private Campusnetze und öffentliche Mobilfunknetze parallel zu vermessen. Durch die kaum vorhandene Versorgung durch private Campusnetze sind die Signalqualitäten gegenüber dem öffentlichen Mobilfunk klar im Vorteil. Allerdings sind öffentliche Mobilfunknetze flächendeckend verfügbar, während ein privates Campusnetz mit einer Antennenstation in seiner Reichweite deutlich beschränkter ist. Die 2. Messung nach der Netzerweiterung hat ergeben, dass die Versorgung auf dem DHL Hub-Gelände deutlich verbessert wurde, insbesondere in der priorisierten Flugzeughalle.



5G-Antenne auf DHL Hub



Smart Glass Remote Maintenance



Ein weiterer innovativer Ansatz des Projekts ist der Einsatz von Augmented Reality zur Unterstützung von Wartungsarbeiten. Diese Technologie kombiniert die natürliche Wahrnehmung des Nutzers mit digitalen Informationen und ermöglicht so eine interaktive Arbeitsweise.

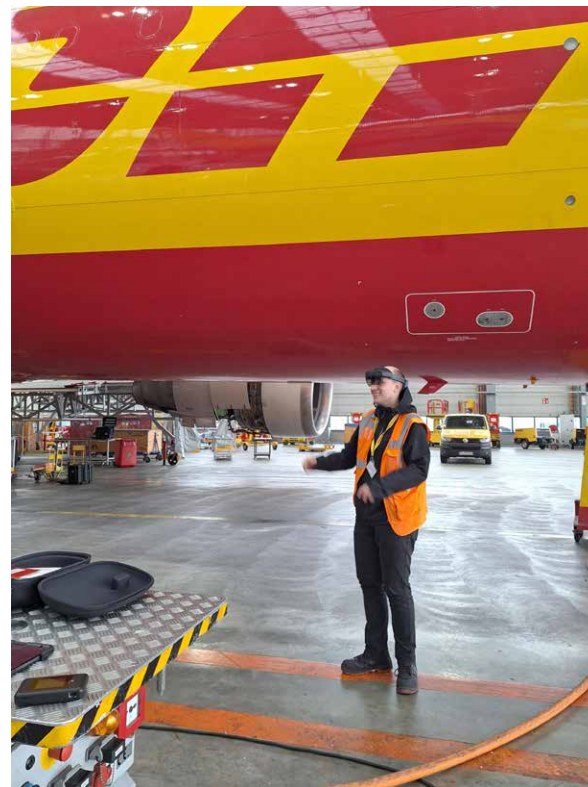
Eine mögliche Umsetzung erfolgt über Smart Glasses wie die Microsoft HoloLens. Diese Datenbrille projiziert 3D-Modelle und digitale Informationen direkt ins Sichtfeld des Nutzers. Dadurch können Techniker nicht nur Informationen abrufen, sondern auch mit digitalen Objekten interagieren – sie betrachten, bewegen oder modifizieren. Die Brille erkennt Handbewegungen und überträgt sie in Echtzeit, sodass Nutzer virtuelle Objekte greifen und verändern können.

Der Einsatz dieser Technologie in der Flugzeugwartung bietet zahlreiche Vorteile: Techniker können sich Schritt-für-Schritt-Anleitungen für Reparaturen direkt im Sichtfeld einblenden lassen. Notizen oder Hinweise von Kollegen werden in Echtzeit angezeigt, was die Zusammenarbeit und Kommunikation erheblich erleichtert. Zudem ermöglicht die HoloLens Videokonferenzen während der Reparatur, sodass Experten ortsunabhängig Unterstützung leisten können.

Durch überlagerte Informationen wie 3D-Anleitungen wird eine präzisere und effizientere Durchführung von Wartungsarbeiten ermöglicht. Augmented Reality generiert jedoch große Datenmengen, insbesondere bei der Übertragung von hochauflösenden 3D-Grafiken

und Echtzeitinteraktionen. Hier kommt das 5G-Netz ins Spiel: Dank hoher Bandbreiten und niedriger Latenzen können diese Daten schnell und zuverlässig übertragen werden.

In einem Flugzeughangar, in dem mehrere AR-Anwendungen parallel genutzt werden, sorgt die Kombination aus moderner Hardware, Software und 5G-Technologie für effizientere Prozesse und eine optimierte Wartung. Der Einsatz von Augmented Reality ermöglicht es, komplexe Reparaturvorgänge schneller und präziser durchzuführen, wodurch sich Ausfallzeiten von Flugzeugen reduzieren lassen.



Nutzung einer AR Brille im Flugzeughangar von DHL

Auto Trailer



Im Rahmen des Use Cases wurde im 5G-Reallabor konzeptionell untersucht, inwieweit der Einsatz autonom fahrender Trailierzugmaschinen zur automatisierten Anstellung von Trailern an Direktanlieferanten realisierbar ist. Der Fokus lag dabei auf innerbetrieblichen Zwischenwerksverkehren zwischen dem BMW Werk und angebundenen Lieferanten. Ziel war es, zukünftige Potenziale für effizientere und automatisierte Logistikprozesse aufzuzeigen.

Die Untersuchung erfolgte ausschließlich auf konzeptioneller Ebene. Dabei wurden Anforderungen, mögliche Betriebsabläufe sowie technische Rahmenbedingungen – insbesondere im Zusammenspiel mit 5G-Kommunikation – detailliert analysiert. Es konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen und die technische Umsetzbarkeit grundsätzlich bestätigt werden. Die Untersuchung lieferte eine fundierte Basis für mögliche nächste Schritte in Richtung praktischer Erprobung.

Smart Sensor Technology



Im Rahmen von Tri5G wurde untersucht, inwiefern sich smarte 5G-Sensoren für den Einsatz in logistischen Prozessen eignen. Ziel war es, besser zu verstehen, wie moderne Sensortechnologie in Kombination mit 5G-Konnektivität dabei helfen kann, den Zustand von Frachtgütern während Transport und Lagerung zuverlässig zu überwachen. Dabei standen insbesondere Umweltfaktoren wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Fokus – zwei entscheidende Parameter, wenn es etwa um den Transport von empfindlichen Waren wie Lebensmitteln, Medikamenten oder Elektronik geht. Die untersuchten Sensorlösungen versprechen eine kontinuierliche und nahezu in Echtzeit erfolgende Erfassung und Übermittlung dieser Daten. Dank 5G lassen sich Informationen schnell, sicher und ortsunabhängig übertragen, was eine präzisere Überwachung und schnellere Reaktionen bei Abweichungen ermöglicht. Auch wenn sich die Untersuchung derzeit auf theoretischer

Ebene und in ersten Tests bewegt, zeigt sich bereits ein großes Potenzial für den praktischen Einsatz: 5G-fähige Umweltsensoren könnten in Zukunft einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung, Nachverfolgbarkeit und Effizienzsteigerung in der Logistik leisten.



Logistics Living Lab

Echtzeitspositionsbestimmung, Priorisierung der Ladungseinheit



Ein Tri5G-Use-Case ist die Echtzeitortung von Transportmitteln auf dem Flughafenvorfeld. Dazu gehören sowohl beladene als auch leere Luftfrachtcontainer und -paletten, sogenannte Unit Load Devices (ULD).

Derzeit können bestimmte Fahrzeuge wie Zugfahrzeuge (Tugs) oder Anhänger (Dollies) mithilfe eines Trackingsystems geortet werden. Spezielle Sensoren erfassen jederzeit ihren genauen Standort, wodurch die Abläufe auf dem Vorfeld transparenter und effizienter gestaltet werden können. Für Luftfrachtcontainer war dies bisher nicht möglich. Zwar wurde bereits getestet, ULDs mit Sensoren auszustatten, jedoch ist dies aufgrund der großen Anzahl an weltweit eingesetzten Transportmitteln mit erheblichem Aufwand und hohen Kosten verbunden.

Bislang wurden Informationen über den Entladezeitpunkt und den Zielort der ULDs anhand der Fahraufträge der Schlepperfahrer gewonnen. Daher wird nun ein neuer Ansatz verfolgt:

Für die Echtzeitortung werden alle Be- und Entladevorgänge (Reloads und Offloads) mit speziellen Kameras und Sensoren erfasst. Diese Technologie erkennt, wann ein ULD auf einen Dolly geladen wird – ein Vorgang, der als »Heirat« zwischen ULD und Dolly bezeichnet wird. Ebenso wird das Entladen, also die »Scheidung« des Containers vom Dolly, registriert.



Echtzeitspositionsbestimmung, Priorisierung der Ladungseinheit

Zusätzlich werden auch Highloader – die Geräte, mit denen ULDs zwischen Flugzeug und Dolly transportiert werden – mit dieser Technologie ausgestattet. Dadurch kann genau bestimmt werden, auf welchem Dolly sich ein bestimmter ULD befindet.

Die Kamera erfasst dabei nicht nur die exakte Bezeichnung des ULDs, sondern auch den Dolly, auf den er transportiert wird. Im unteren Bereich der Aufnahmen wird die erfolgte »Heirat« angezeigt. So lässt sich der Weg des ULDs bis zu seinem Zielort jederzeit nachvollziehen.

Alle gesammelten Daten werden in einer IoT-Plattform gebündelt und dienen als Grundlage für operative Entscheidungen. Ziel ist es, die Position, den Inhalt und den Zustand der ULDs in Echtzeit zu erfassen, um die Be- und Entladeprozesse effizienter zu gestalten. Ein 5G-Netz ermöglicht dabei die Vernetzung zahlreicher Sensoren sowie die Übertragung der Daten in Echtzeit.

Ein ULD mit zeitkritischer Fracht kann so schnell identifiziert und unmittelbar zur nächsten freien Entladestelle geleitet werden. Dadurch lassen sich Verzögerungen in der Prozesskette minimieren und Abläufe effizienter gestalten.



Breitbandanwendungen für Dienstleister



F2 Meldung im Werksaußenbereich

Effizienzsteigerung durch Verkürzung der Wegezeiten. Der Prozessschritt F2 Melden ist einer der wichtigsten beim Fahrzeugbau im BMW Werk Leipzig. Wird ein Fahrzeug F2 gemeldet, bedeutet das, der werkseitige Bau des Fahrzeugs ist abgeschlossen. In unregelmäßigen Abständen gibt es Sperren, die eine F2 Meldung verhindern. Die nicht F2 gemeldeten Fahrzeuge müssen auf dem Werksgelände zwischen gepuffert werden. Nach Aufhebung einer solchen Sperre werden die Fahrzeuge wieder in die Montagehalle gefahren und an dafür vorgesehenen Stationen F2 gemeldet. Der neue Prozess sieht vor, mehrere Tablets und das 5G-Mobilfunknetz für die F2 Meldung direkt auf den Pufferflächen zu nutzen. Damit werden die Transferzeiten signifikant verringert und die Effizienz gesteigert. Die größte Herausforderung bei der Umsetzung des Anwendungsfalls war die Endgeräteverfügbarkeit. Für den Industriebereich müssen gewisse IP-Standards erfüllt werden. Bis zum Ende des Forschungsprojektes wurden nur vereinzelt Endgeräte gefunden, die eine 5G-Verbindung aufbauen konnten. Der Anwendungsfall wurde Mitte 2024 in den Produktivbetrieb überführt.

ReScan Prozess – Spot

Der Anwendungsfall beschreibt das automatisierte Aktualisieren des digitalen Werkabbildes via Boston Dynamics Spot. Anfang des Jahres 2022 wurde das BMW Werk Leipzig initial vermessen, per LiDAR-Technik gescannt und anschließend als digitales Abbild über das Tool »FactoryViewer« zugänglich gemacht. Dabei stellt die Aktualität des Werkabbildes die größte Herausforderung dar. Durch den Einsatz des BD-Spots sollen vor allem kleine bis mittelgroße Flächen des Werks aktuell gehalten werden. Die 5G-Technologie kommt dabei in Übergangsbereichen zwischen Werkshallen und Werksaußengelände zum Einsatz.

Autonomes Fahren auf dem Werksgelände

Fahrzeuge bewegen sich eigenständig innerhalb der Logistikzonen und der Montage – fahrerlos, sicher und effizient. Das ist das Ziel des BMW Group Projektes »Automatisiertes Fahren im Werk« (AFW). Durch die im Forschungsprojekt vorhandene Expertise, konnte eine technische Bewertung des Außen-Use Cases vorgenommen werden. Eine Umsetzung ist in den kommenden Jahren geplant.



F2 Melden in der Anwendung



Anwendungsfall F2 Melden via Mobilfunk

Autonomes Shuttle

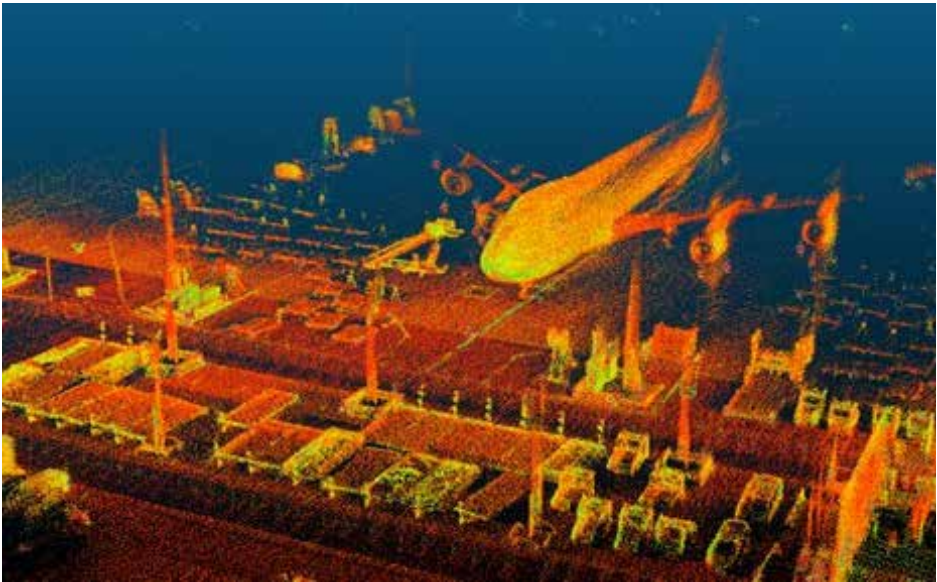
Themenschwerpunkt LVB – Autonomes Fahren im ÖPNV

Im Rahmen von Tri5G untersuchten die Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) den Einsatz von 5G-Technologien zur Unterstützung des autonomen Fahrens im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Dabei wurde eine Kommunikationsanbindung entwickelt und getestet, die den sicheren Betrieb autonomer Shuttles ermöglichen soll –mit besonderem Fokus auf die Anforderungen an die »Technische Aufsicht« gemäß der Automatisiertes-Fahren-Genehmigungs-und-Betriebsverordnung (AFGBV). Durch die Definition und Erprobung spezifischer Use Cases wurde untersucht, wie die Konnektivität im realen Betrieb gestaltet sein muss, um eine reibungslose Integration in den ÖPNV zu gewährleisten.

Im Projekt wurden die folgenden Anwendungsfälle ausgearbeitet und getestet:

- Fahrzeugfernsteuerung durch »Technische Aufsicht«
- Fahrzeugdisposition /-management /-monitoring
- Notfallkommunikation mit Leitstelle
- Vernetzung mit Infrastruktur
- Update »Lokale Dynamische Karte«
- Fahrgastmehrwertdienste
- Edge-Cloud-Berechnungen für Fahrzeug-AD-System

Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit war die Definition der Mindestanforderungen an die 5G-Konnektivität. Diese wurde in Bezug auf Upload- und Downloadgeschwindigkeiten, Latenzzeiten und die Netzwerkverfügbarkeit präzise festgelegt, um den zuverlässigen Betrieb sicherzustellen. Für die praktische Umsetzung wurde ein spezielles Demorack entwickelt, das die technologischen Anforderungen des Entwicklungsfahrzeuges eCrafter aus den ABSOLUT Projekten abbildet. In Werkstatt-und Feldtests konnte das Demorack im 5G-Netzwerk auf seine Funktionalität und die Machbarkeit der definierten Use Cases hin geprüft werden. Parallel stellte die LVB den eCrafter für die Tests und Entwicklungsarbeiten der Technischen Universität Dresden (TUD) bereit. Dies ermöglichte die nahtlose Verknüpfung der verschiedenen Themenschwerpunkte und die Realisierung eines praxisnahen, interdisziplinären Ansatzes.



3D -Modell des Vorfelds als Punktwolke zur Fahrzeuglokalisierung - Ausschnitt

Themenschwerpunkt TUD – Autonomes Fahren auf DHL-Vorfeld mit Fernzugriff

Das in den Förderprojekten ABSOLUT und ABSOLUT II entwickelte und eingesetzte Versuchsfahrzeug der Leipziger Verkehrsbetriebe diente im Rahmen von Tri5G zur Untersuchung der Potentiale automatisierten Verkehrs auf dem Flughafenvorfeld. Am von DHL betriebenen LEJ HUB wird täglich eine erhebliche Anzahl Flugzeuge abgefertigt. Die Be- und Entladung der Maschinen erfolgt dabei manuell durch sogenannte »Ladegruppen«. Durch die Dimensionen des Flughafenvorfelds und der Menge abzufertigender Maschinen entsteht die Notwendigkeit eines effizienten und schnellen Shuttle- bzw. Verteilungs-Verkehrs der Ladegruppen zu und von den Einsatzorten. Ein automatisiertes Fahrzeug mit passender Gefäßgröße bietet die Möglichkeit die Effizienz dieses Verteilungsverkehrs zu erhöhen. Im Rahmen von Tri5G wurde das Testfahrzeug für hochautomatisierten Verkehr bis 30 km/h ertüchtigt und dieser Verteilungsverkehr prototypisch realisiert. Dank 5G-Anbindung an eine zentrale Leitstelle inkl. Sensordatenübertragung ist eine permanente Überwachung des Systemzustands möglich. Ein Leitstellenoperator kann damit in Situationen, in denen das Automatisierungssystem die Fahraufgabe nicht selbstständig ausführen oder die Umgebung nicht ausreichend interpretieren kann, die Kontrolle übernehmen und das Shuttle unter Zuhilfenahme der aus dem Fahrzeug übertragenen Bilder der Umgebungskameras fernsteuern. Zur Abbildung dieser Wirkkette und Sicherstellung des Fahrzeugfernzugriffs war die zuverlässige Datenanbindung mit erhöhten Anforderungen an das Mobilfunknetz entscheidend.

Erkenntnisse, Ergebnisse, Herausforderungen

Die geplanten Anwendungsfälle ließen sich mit gegebenem Automatisierungssystem und installierter 5G-Hardware (zumindest prototypisch) darstellen. Alle Fahrten wurden dabei mit einem Sicherheitsfahrpersonal im Fahrzeug durchgeführt. Es konnte der Nachweis erbracht werden, dass mit einem performanten (Zusicherung von Leistungsmerkmalen z.B. durch Network-Slicing) 5G-Mobilfunknetz der Fahrzeugfernzugriff auf autonome Shuttle zuverlässig realisierbar ist.



Der ABSOLUT eCrafter im Einsatz auf dem Vorfeld des LEJ HUB

Automatisiertes versetztes Fahren im Winterdienst

Zukunft im Einsatz

Die Automatisierung im Winterdienst eröffnet insbesondere auf nicht-öffentlichen Flächen wie Flughäfen neue Chancen. Angesichts wachsender Fachkräftelücken, steigender Betriebskosten und rasanter technologischer Entwicklungen bietet der Einsatz autonomer Fahrzeuge eine attraktive Lösung. Der Winterdienst stellt durch seine Saisonalität besondere Anforderungen an Personalverfügbarkeit und Flexibilität – beides wird durch autonome Systeme gezielt adressiert. Sie reduzieren nicht nur den personellen Aufwand, sondern erhöhen auch Effizienz und Verlässlichkeit im Einsatz.

Ein zentraler Baustein für den erfolgreichen Betrieb ist die Nutzung von 5G-Technologie. Mit hoher Datenrate, niedriger Latenz und stabiler Netzabdeckung schafft 5G die Grundlage für reaktionsschnelle, sichere Kommunikation – gerade auf begrenzten Flächen mit eigener Infrastruktur wie Flughäfen. Dort kann das volle Potenzial autonomer Systeme ausgeschöpft werden.

Technologische Herausforderungen als Innovationsmotor

Im Projektverlauf zeigte sich: Die technische Umsetzung hängt stark von den Maschinenherstellern ab. Standardlösungen aus dem Bereich des autonomen Fahrens stoßen im Winterdienst an ihre Grenzen.

Schnee, Eis und eingeschränkte Sichtverhältnisse stellen hohe Anforderungen an Sensorik und Kamertechnik. Klassische Systeme arbeiten unter diesen Bedingungen oft unzuverlässig – besonders durch große Frontschilder, die die Umfelderkennung einschränken. Daher wurde im Projekt deutlich, wie wichtig individuelle technische Lösungen für diese Einsatzbedingungen sind. Aktuell befinden sich viele notwendige Komponenten noch in der Entwicklung. Dennoch zeigt der Fortschritt: Der Weg ist eingeschlagen, und das Potenzial ist groß. Die Integration von 5G erweist sich dabei als ein entscheidender Innovationstreiber.

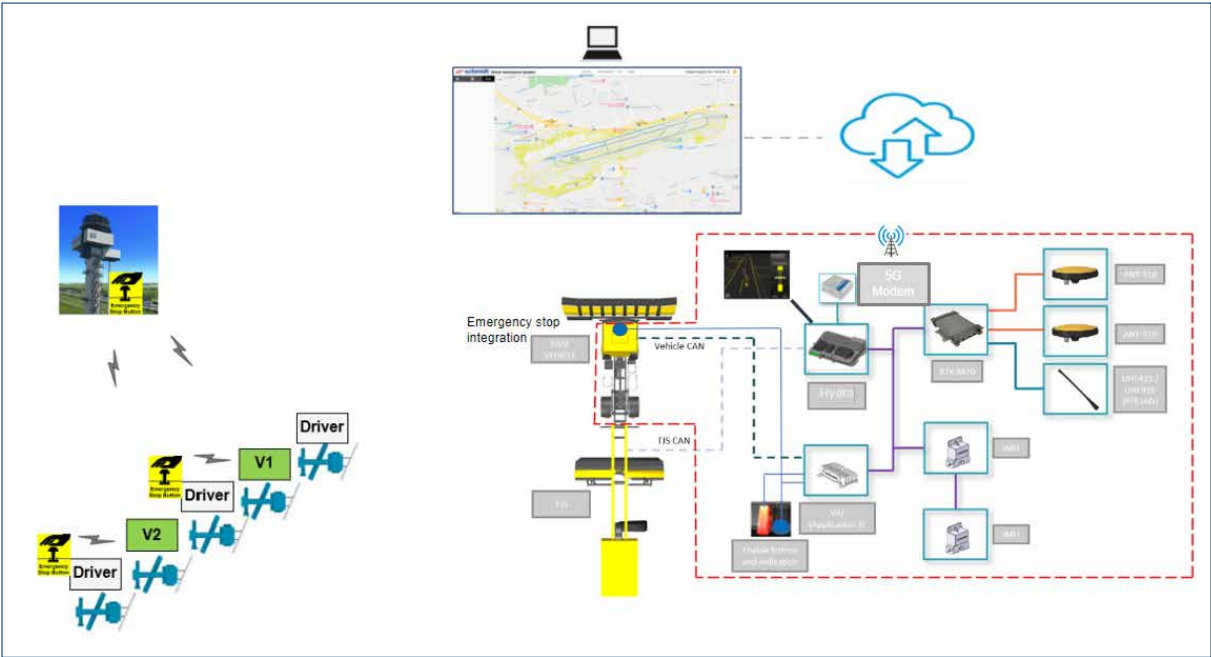


Schneeräumfahrzeug

Ausblick: Viel erreicht – und noch mehr möglich

Zwar konnte der angestrebte Schritt zu einer vollumfänglichen Platooning-Lösung im Projektzeitraum noch nicht realisiert werden – der Erkenntnisgewinn war dennoch enorm. Das Projekt motivierte die beteiligten Maschinenhersteller, die Entwicklung autonomer Systeme weiter voranzutreiben und sich aktiv an zukunftsorientierten Lösungen zu beteiligen.

Das Fazit ist klar: Der autonome Winterdienst ist keine ferne Vision mehr, sondern eine greifbare Zukunft. Das Projekt hat wichtige Impulse gesetzt, konkrete Herausforderungen identifiziert und gezeigt, wie durch enge Zusammenarbeit zwischen Forschung, Industrie und Infrastrukturpartnern tragfähige Innovationen entstehen.

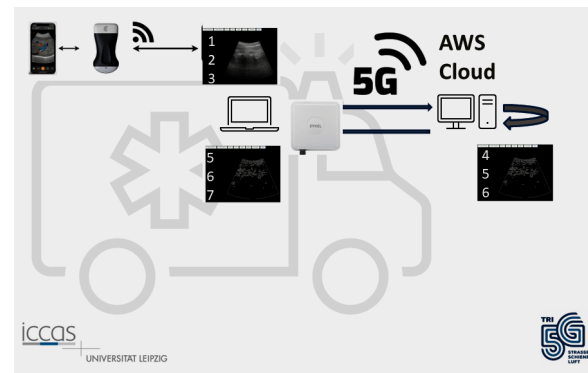


Sytemübersicht 5G-Platoning Winterdienst

Datenübertragung aus dem Rettungsfahrzeug zur telemedizinischen Begutachtung und Automatische Analyse patientenspezifischer Daten

Im Krankenwagen jede Sekunde nutzen

Ein fiktiver Anwendungsfall: Eine Person ist bei einem Unfall schwer verletzt und wird per Krankenwagen ins naheliegende Krankenhaus gebracht. Jede Sekunde zählt, also versorgen Notfallsanitäterinnen und Notfallsanitäter den Patienten bereits am Unfallort und während der Fahrt. Die moderne Fahrzeugtechnologie und das flächendeckende 5G-Netz ermöglichen es, dass per Videoschaltungen und Datenübertragungen Fachärztinnen und Fachärzte im Zielkrankenhaus bereits während der Fahrt eine Ersteinschätzung vornehmen und die Leitung des Schockraums in der Klinik die Vitalparameter live sieht. So können wichtige Vorbereitungen getroffen und die richtige Auswahl an Ärztinnen und Ärzten für Noteingriffe kontaktiert werden, um den Patienten bei Ankunft im Krankenhaus schneller zu versorgen. Das Rettungswagenteam kann währenddessen auf dem Weg zum Krankenhaus auf Telemedizinische Beratung zugreifen und lebensrettende Informationen wie Vorerkrankungen schnell erhalten sowie die Vitalparameter wie Blutdruck und Herzschlag messen und übertragen. Das spart Zeit und erhöht die Chancen, dem Unfallopfer rechtzeitig zu helfen und lebenswichtige Maßnahmen einzuleiten. Das Gesamtziel der Forschung des Innovation Centers Computer Assisted Surgery im Projekt war es integrierte Medizintechnik, welche entlang der Prozesskette, wie z.B. am Einsatzort oder im Rettungswagen eingesetzt wird mittels 5G mit dem Schockraum der Klinik zu verbinden. Dabei werden vernetzte Medizintechnik- und IT-Systeme in einer gemeinsamen Kommunikationsinfrastruktur über heterogene Kommunikationstechnologien hinweg integriert und stellen ihre Funktionalitäten über eine gemeinsame Infrastruktur zur Verfügung.



Fusion der Sensordaten von EKG und Ultraschall:
Computergestützte Analyse der Herztätigkeit aus Vierkammerblick und Elektrokardiogramm

Was wurde realisiert

Vom Rettungswagen aus werden die Daten aus dem EKG, Ultraschall, Blutdruck, sowie aus der Spritzenpumpe für die Medikation ausgelesen und mittels 5G an das fiktive, später in der Klinik stehende Dashboard übertragen, innerhalb des ABCDE Schemas eingeordnet und anschaulich dargestellt. Vom Rettungswagen aus wird eine Videoübertragung zur Klinik realisiert, so können Ärztinnen und Ärzte bereits aus der Klinik, die Arbeit im Rettungswagen aus mehreren Kameraperspektiven ansehen und für Unterstützung und Beurteilung konsultiert werden. Zusätzlich werden in Echtzeit Daten des Ultraschalls mit dem EKG mittels Videodetektion in einer Edgecloud synchronisiert. Dafür werden Ultraschallbilder des Vierkammerblicks auf das Herz in einem separaten Teil des Netzes über das öffentliche 5G-Netz an die AWS Cloud im Vodafone Netz übertragen, vom Algorithmus ausgewertet und der aktuelle Zustand des Herzens erkannt. Durch diese Information werden die EKG-Kurve und das Ultraschallbild auf dem

Dashboard zeitlich synchronisiert. Die Übertragung von Vitalparametern gelingt in 5G und LTE Umgebung problemlos, vor allem die Videounterstützung profitiert von den höheren Übertragungsraten im 5G-Netz. Für eine flächendeckende medizinische Unterstützung auch im ländlichen Bereich muss die videotelefonische Unterstützung des Rettungswagens aber skalierbar implementiert werden. So wechselt die Bildqualität mit der Up- und Downloadgeschwindigkeit im Netz. Dies gelingt sogar so weit, dass in als Funklöchern deklarierten Kartengebieten eine Videoübertragung möglich ist. Allerdings brach die Verbindung teilweise beim Wechsel zwischen zwei Funkmasten zusammen und es musste eine neue Verbindung aufgebaut werden. Die Bildbearbeitung ist aktuell nicht schnell genug für die Masse an gesendeten Ultraschalldaten an die Cloud, so dass zur Synchronisation geringer aufgelöste und weniger Bilder gesendet wurden; bleibt es bei hohen Datenströmen steigt die Verzögerung bis zum Erhalt der synchronisierten Ultraschall-EKG Bilddaten. Videoübertragung und US-Auswertung mittels Bilddetektion waren in unseren Tests auch unter LTE machbar, sind in 5G aber mit besserer Auflösung möglich. Mit der Einführung von neuen mobilen Routern kommen aber auch technikbezogene Einschränkungen. So ist im Mobilfunknetz ein IP Passthrough nicht einfach zu realisieren, auch wenn die Hersteller der Router diese Funktionalität als Feature angeben. Das bedeutet teilweise Umwege bis hin zu statischen IP Adressen im öffentlichen Netzwerk zu nutzen, was für Projekte ohne Kooperation mit Mobilfunkanbietern und Privatanwender schwierig möglich ist.

Erkenntnisse

5G Funktionalitäten bieten ein Potential mit deutlichen Anstiegen der Übertragungsgeschwindigkeiten, vor allem im Downloadbereich, was die öffentliche Mobilfunkinfrastruktur betrifft. Die Übertragung von Vitalparametern gelingt in 5G und LTE Umgebung problemlos, vor allem die Videounterstützung profitiert von den höheren Übertragungsraten im 5G-Netz. Für eine flächendeckende medizinische Unterstützung auch im ländlichen Bereich muss die videotelefonische Unterstützung des Rettungswagens aber skalierbar implementiert werden. So wechselt die Bildqualität mit der Up- und Downloadgeschwindigkeit im Netz. Dies gelingt sogar so weit, dass in als Funklöchern deklarierten Kartengebieten eine Videoübertragung möglich ist.

iccas

Die Bildbearbeitung ist aktuell nicht schnell genug für die Masse an gesendeten Ultraschalldaten an die Cloud, so dass zur Synchronisation geringer aufgelöste und weniger Bilder gesendet wurden; bleibt es bei hohen Datenströmen steigt die Verzögerung bis zum Erhalt der synchronisierten Ultraschall-EKG Bilddaten. Videoübertragung und US-Auswertung mittels Bilddetektion sind in 5G mit besserer Auflösung möglich.



Technikdemonstration und Dialog an der HTWK Leipzig



Übertragung und Modulation von simulierten Patientendaten auf der Medizinmesse DMEA

FAZIT UND AUSBLICK

Das 3-jährige Forschungsprojekt Tri5G bot verschiedenen Akteuren aus Wirtschaft, Wissenschaft und öffentlicher Verwaltung die Möglichkeit, innerhalb eines Real-labors im Leipziger Nordraum 5G-Technologien zu erproben und zu bewerten. Im Fokus standen sowohl vertiefte Technologieanalysen und Messungen als auch der Einsatz verschiedener Hardware in branchenspezifischen Anwendungen.

Die Vorteile von 5G, die es zu einer Schlüsseltechnologie der digitalen Zukunft machen sollen, wurden durch das Projekt untersucht. Im Zusammenhang mit den Use Cases des Forschungsprojekts zeigte sich jedoch, dass die bestehende 5G-Infrastruktur, Netzabdeckung und Konfiguration an vielen Stellen noch nicht ausgereift sind und weiterentwickelt werden müssen. Ohne einheitliche, offene Standards bleibt das volle Potenzial von 5G – insbesondere für industrielle Anwendungen – ungenutzt oder eingeschränkt. Einheitliche Schnittstellen, internationale Kompatibilität und branchenspezifische Normen sind daher entscheidend für die erfolgreiche Nutzung von 5G. Besonders die geringe Upload-Rate im Vergleich zur stark genutzten Download-Rate stellt ein Problem dar, insbesondere bei zeitkritischen Anwendungen wie dem autonomen Fahren.

Die 5G-Technologie bietet enormes Potenzial für Leipzigs Wirtschaft und sollte daher weiterhin intensiv mit regionalen Unternehmen erforscht werden. Sie ermöglicht neue Geschäftsmodelle, effizientere Prozesse und innovative Anwendungen – etwa in der Industrie, Logistik oder im Gesundheitswesen. Durch kontinuierliche Forschung können Unternehmen flexibel auf technologische Entwicklungen reagieren und Wettbewerbsvorteile sichern. Leipzig bietet mit seiner urbanen Struktur ideale Voraussetzungen für praxisnahe Tests und trägt so aktiv zur Entwicklung einer smarten, zukunftsfähigen Stadt bei.

Das Forschungsvorhaben Tri5G war ein bedeutender Impulsgeber für die Region Leipzig. Es stärkte die technologische Innovationskraft, schuf neue wirtschaftliche Perspektiven und förderte zukunftsweisende Anwendungen in den Bereichen Mobilität, Gesundheit und Energie. Das Konsortium von Tri5G bedankt sich herzlich beim Bundesministerium für Digitales und Verkehr für das Vertrauen und die Finanzierung in dieses einzigartige Leuchtturmprojekt, als auch dem Projektträger, der Bundesanstalt für Verwaltungsdienstleistungen, für seine Unterstützung und Beratung sowie bei allen Partnern für ihre Mitarbeit.

Bildnachweis

Titel- und Rückseite: jens schlüter photography i.A. DHL Hub Leipzig GmbH

Umschlag 2: Stadt Leipzig

Seite 7, 8: Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

Seite 9: BMW Group Werk Leipzig

Seite 10, 11: Advancing Individual Networks GmbH

Seite 12: Logistics Living Lab, Universität Leipzig

Seite 14, 15: jens schlüter photography i.A. DHL Hub Leipzig GmbH | Logistics Living Lab, Universität Leipzig

Seite 16, 17, 18, 20: DHL Hub Leipzig GmbH

Seite 16: Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

Seite 21: jens schlüter photography i.A. DHL Hub Leipzig GmbH

Seite 22: Technische Universität Dresden – Georg Beierlein

Seite 23: DHL Hub Leipzig GmbH

Seite 24: Flughafen Leipzig / Halle GmbH

Seite 25: Aebi Schmidt Deutschland GmbH

Seite 26, 27: Innovation Center Computer Assisted Surgery (ICCAS)

HERAUSGEBER

Stadt Leipzig
Amt für Wirtschaftsförderung
Martin-Luther-Ring 4-6
04109 Leipzig

Telefon: +49 341 123 5885
www.Leipzig.de/wirtschaft

FÖDERRAHMEN

Förderprogramm: BMDV-»5G-Umsetzungsförderung
im Rahmen des 5G-Innovationsprogramms«
Förderkennzeichen: 45FGU102_H
Laufzeit: 15.12.2021-14.12.2024

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages