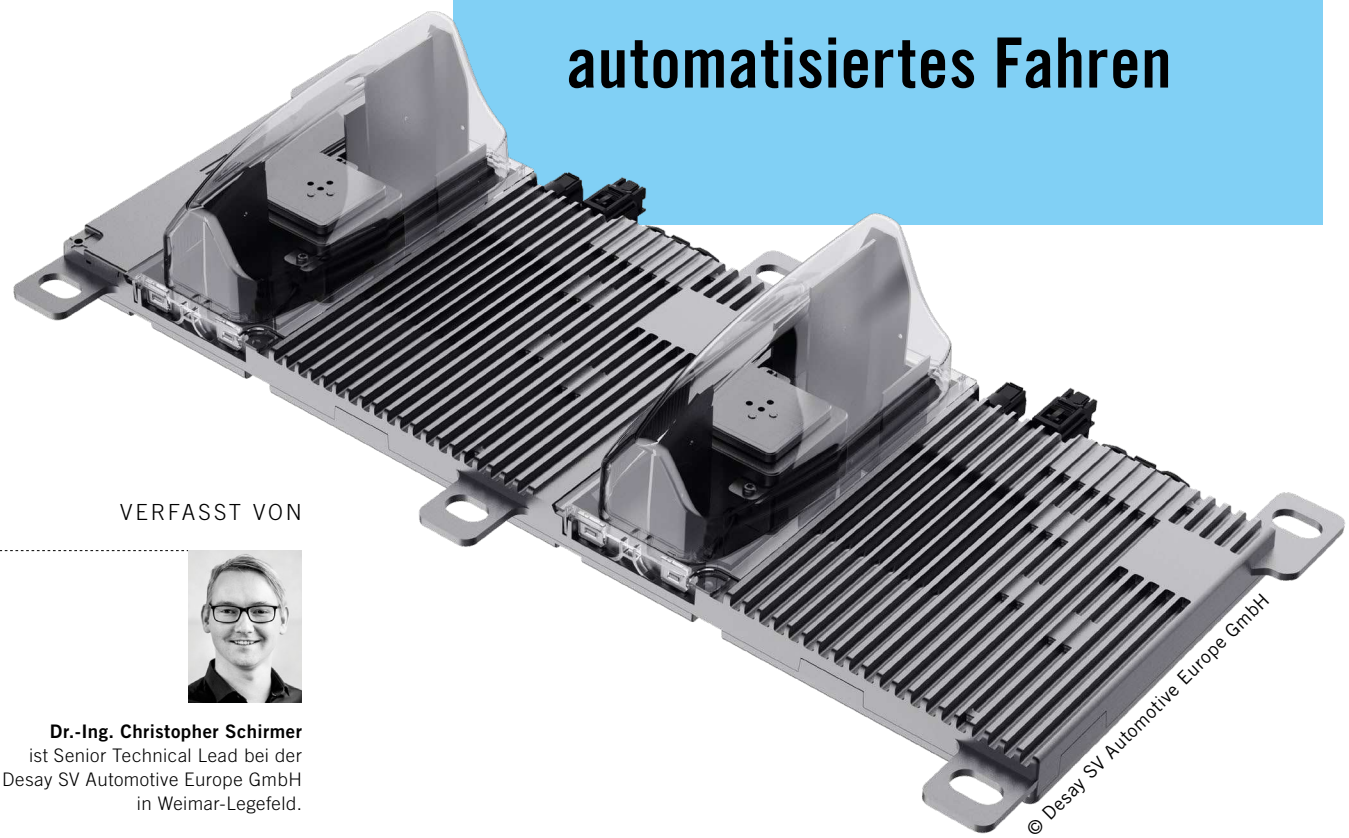
Redundante Telematik-Steuereinheit für automatisiertes Fahren



© Desay SV Automotive Europe GmbH

VERFASST VON

Dr.-Ing. Christopher Schirmer
ist Senior Technical Lead bei der Desay SV Automotive Europe GmbH in Weimar-Legefeld.

Ing. Pavel Pirkl Ph. D.
ist Senior Product Manager bei der Desay SV Automotive Europe GmbH in Weimar-Legefeld.

Long Zhao
ist Technical Lead ID Buzz AD bei VW Nutzfahrzeuge in Wolfsburg.

Tim Lukas Neumann
ist Project Manager ID Buzz AD bei VW Nutzfahrzeuge in Wolfsburg.

Eine redundante Datenverbindung spielt für automatisierte Fahrfunktionen eine wichtige Rolle. Um die Vorteile eines solchen Systems bewerten zu können, hat VW Nutzfahrzeuge Desay SV beauftragt, ein Telematik- und Messkonzept zu entwickeln und in der Praxis zu testen.

Die Netzabdeckung ist bei der Entwicklung von Telematikeinheiten für Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen, insbesondere der Level 4 und 5, von großer Wichtigkeit [1, 2]. Die Redundanz des Systems ist gesetzlich vorgeschrieben und gewährleistet die geforderte Zuverlässigkeit. So hat der deutsche Gesetzgeber zum Beispiel festgelegt, dass Kraftfahrzeuge mit autonomer Fahrfunktion in der Lage sein müssen, „ausreichend stabile und vor unautorisierten Eingriffen geschützte Funkverbindungen, insbesondere zur technischen Aufsicht, sicherzustellen und das Kraftfahrzeug selbstständig in einen risikominimalen Zustand zu versetzen, wenn diese Funkverbindung abbricht oder darauf unerlaubt zugegriffen wird“ [3, 4]. Um diese nötige Redundanz zu bewerten, müssen Telematik- und Messkonzepte entwickelt und getestet werden. Die Performancebewertung von Telematiksystemen erfolgt überwiegend digital oder semidigital [5, 6]. Die Ergebnisse solcher Tests hängen stark von der Genauigkeit der digitalen Modelle ab. Während Telematik-Steuereinheiten (T-Box), MIMO-Antennen und der dynamische Funkkanal sehr gut

digital modelliert werden können [7, 8], gilt dies nicht für die Konfiguration der Basisstationen unterschiedlicher Netzbetreiber. Grund dafür ist, dass die Daten nicht öffentlich verfügbar sind. Daher wird in diesem Artikel ein Telematik- und Messkonzept vorgestellt, das durch Versuchsfahrten in realer Netzumgebung überprüft wurde.

Eine redundante Datenverbindung wird zum Standard für Fahrzeuge mit automatisierten Fahrfunktionen auf den Levels 4 und 5. Demgegenüber birgt eine einzelne Modemlösung erhebliche Risiken, da eine permanente Netzabdeckung möglicherweise nicht gewährleistet ist. Daher ist Systemredundanz notwendig, was jedoch zu höheren Investitionskosten für die Entwicklung und einem höheren Stückpreis des Produkts führt. Um die Vorteile des entwickelten redundanten Systems zu vergleichen, hat Desay SV ein einzigartiges Messinstrument entwickelt. Für die Durchführung der Tests wurde 2024 ein Projektteam gebildet, dem Experten von VW Nutzfahrzeuge und Desay SV angehörten. Die Zuverlässigkeit des Konzepts wurde in verschiedenen Umgebungen und Szenarien getestet. Das Messinstrument ermöglichte die Datenerfassung in Echtzeit, gefolgt von einer Nachbearbeitung. Untersucht wurden vor allem Großstädte in Deutschland, aber auch ländliche Gebiete und Autobahnen. Im vorliegenden Artikel werden die Ergebnisse im urbanen Umfeld betrachtet.

SYSTEMDIAGRAMM

Für das Projekt wurden zwei identische Mobilfunkmodule (Network Access Devices, NADs), um ein duales System zu bilden. **BILD 1** zeigt das vollständige Systemkonzept. Die NADs sind über einen Ethernet-Switch mit einem PC verbunden, der symbolisch für das Fahrzeug mit seiner Datensignalverarbeitung zum automatisierten Fahren (Automated Driving, AD) sowie dem Up- und Download steht. Dieser PC wird für die Teststeuerung und die Datenerfassung verwendet. Beide NADs verwenden jeweils eine 5G-USIM für die Mobilfunkverbindung über ein 4x4-MIMO-Antennensystem [9]. Zwei dedizierte EU-APNs großer Mobilfunknetzbetreiber, nämlich APN-A und APN-B, sind in NAD-A beziehungsweise NAD-B für die Verbindung mit den Backend-Servern konfiguriert.

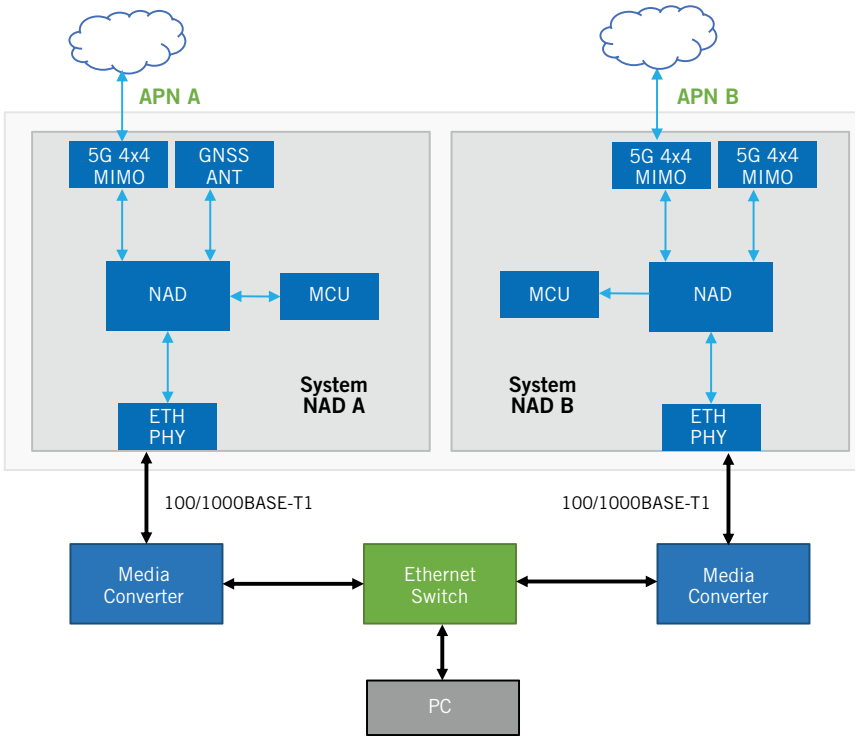


BILD 1 Diagramm der Systemschnittstellen (© Desay SV Automotive Europe GmbH)

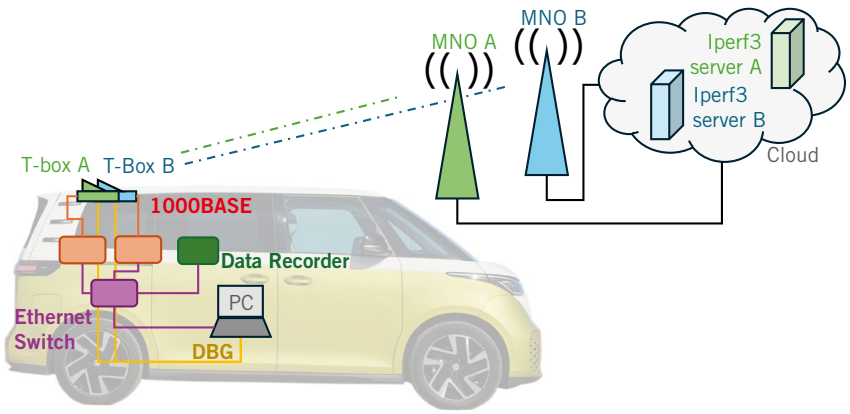


BILD 2 Schematische Darstellung des Messaufbaus (© Desay SV Automotive Europe GmbH)

MESSAUFBAU UND TESTKONZEPT

BILD 2 zeigt eine Skizze des Messaufbaus für die Versuchsfahrten. Im Autodach sind zwei T-Boxen in ein gemeinsames Gehäuse integriert, wobei jede T-Box über eine eigene SIM-Karte verfügt: die erste für den Netzbetreiber Vodafone und die zweite für T-Mobile. Der Mess-PC ist über USB mit den T-Boxen verbunden, um auf die Debugging-Schnittstelle für den Abruf von System- und Netzwerkparametern zuzugreifen. Zusätzlich verbindet eine 1-GB-Ethernetschnittstelle die T-Boxen über einen Switch mit dem PC. Ein Medienkonverter im Netzwerk übersetzt von Automotive 1000BASE-T1 auf GB-Ethernet. Ein Datenlogger zeichnet die Temperaturen der T-Boxen und NAD-Sensoren sowie Spannung und Stromstärke auf. Jede T-Box ist mit ihrem Mobilfunknetzbetreiber verbunden und kann auf einen dedizierten iperf3-Server in der Cloud zugreifen. Die Messeinrichtung wird von einem DC/AC-Wandler mit Strom (12 bis 220 V) versorgt.

Der Schwerpunkt der Datenübertragung im Mobilfunk lag bisher auf dem Downlink. Algorithmen für das automatisierte Fahren der Levels 4 und 5 erfordern

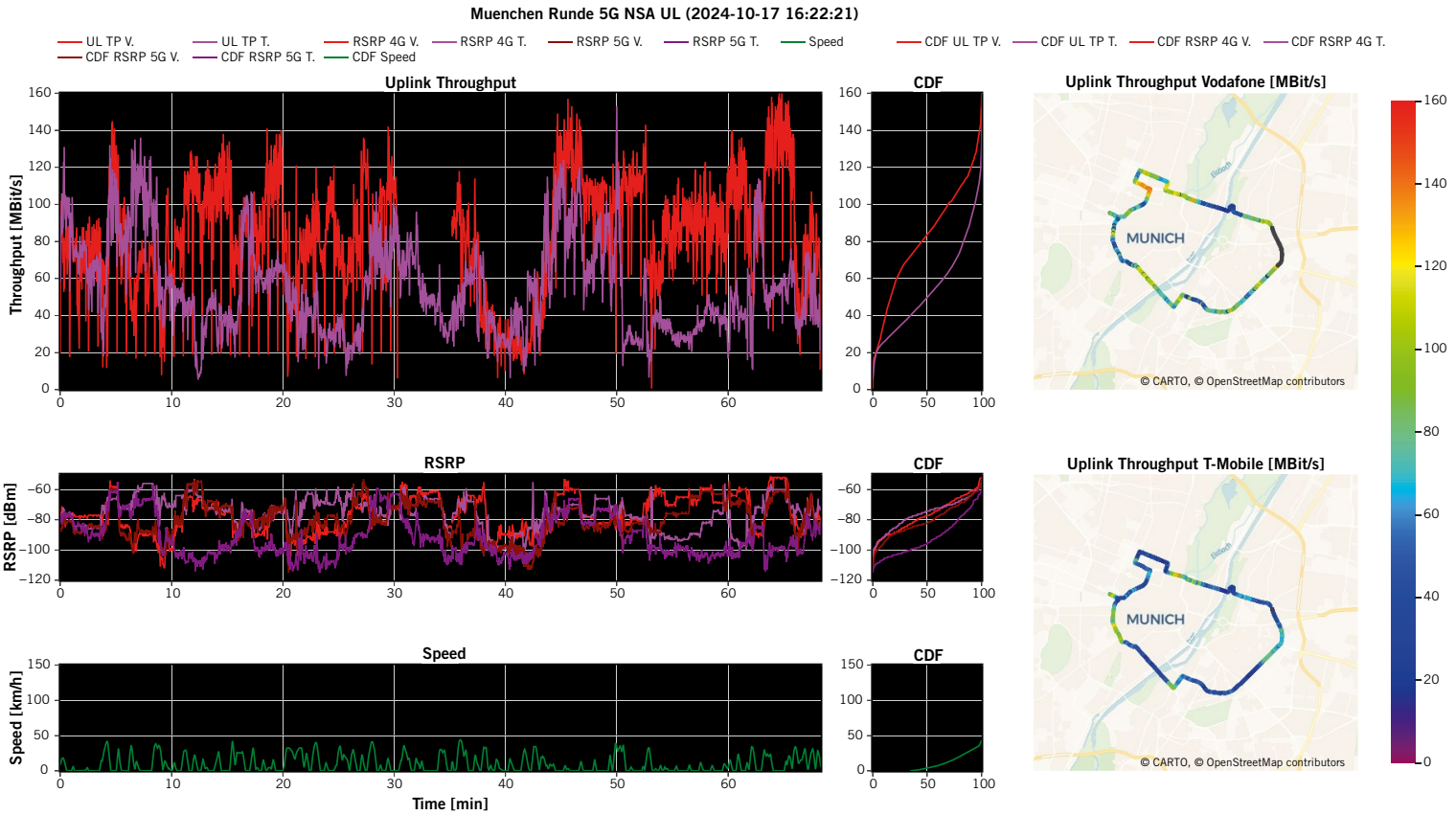


BILD 3 Grafische Benutzeroberfläche (Graphical User Interface, UI) für die Auswertung von Live-Messungen (© Desay SV Automotive Europe GmbH)

eine schnelle und zuverlässige Datenverbindung zum Backend. Die Uplink-Datenrate wird immer wichtiger, da die enormen Datenmengen, die von den Fahrzeugsensoren, wie zum Beispiel Kamera, Lidar und Radar, erzeugt werden, im Backend verarbeitet werden müssen. Dies ermöglicht Entscheidungen zur autonomen Fahrfunktion, aber auch Datenanalysen für KI-Trainings zur Erhöhung der Fahrzeugsicherheit.

Das hier vorgestellte Testkonzept sieht Uplink-Datenmessungen in deutschen Großstädten, ländlichen Gebieten und auf Autobahnen vor. Die Redundanz der beiden NADs dient hauptsächlich der Ausfallsicherheit: Wenn ein NAD nicht funktionsfähig ist, kann das andere NAD weiterhin die Datenverbindung zum Backend sicherstellen. Mit zwei NADs ergeben sich weitere Vorteile: Wenn beide NADs funktionsfähig sind, erhöht die Zusammenführung des Datenverkehrs, zum Beispiel unter Verwendung des Multi-Path TCP Protokoll (MPTCP), den Datendurchsatz. Wenn die Verbindung eines NADs unterbrochen ist, kann das andere NAD die Lücke mit sehr hoher Wahrscheinlich schließen. Um den technischen Vorteil redundanter NADs zu bewerten, wird die Uplink-Datenrate jeder T-Box bzw. jedes NADs entlang einer vordefinierten Messstrecke aufgezeichnet. Die Messungen

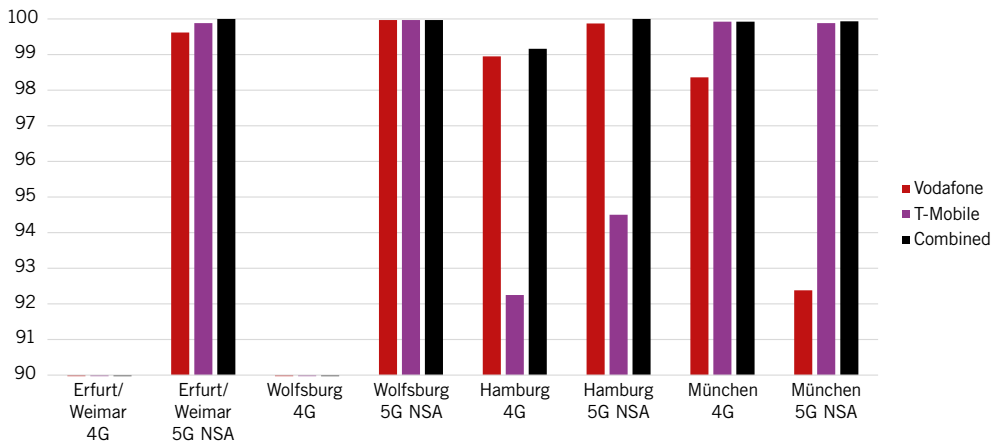


BILD 4 Individuelle und kombinierte Netzabdeckung in Prozent (Szenarien ohne Werte wurden nicht gemessen) (© Desay SV Automotive Europe GmbH)

Mobilfunknetz Versuchsfahrt	4G Vodafone	4G T-Mobile	4G kombiniert	5G-NSA Vodafone	5G-NSA T-Mobile	5G-NSA kombiniert
Wolfsburg	-/-	-/-	-/-	99,97 %	99,97 %	99,97 %
Hamburg	98,95 %	92,25 %	99,16 %	99,87 %	94,50 %	100,00 %
München	98,36 %	99,92 %	99,92 %	92,38 %	99,88 %	99,93 %
Erfurt/Weimar	-/-	-/-	-/-	99,62 %	99,88 %	100,00 %

TABELLE 1 Statistiken zur Netzabdeckung (Szenarien mit -/- wurden nicht gemessen) (© Desay SV Automotive Europe GmbH)

werden im 4G-Modus und im Auto-Modus (4G und 5G) durchgeführt. Zu den erfassten Parametern gehören unter anderem:

- Uplink-Durchsatz T-Box/NAD A
- Uplink-Durchsatz T-Box/NAD B
- Latenz (Ping) von T-Box/NAD A und B
- GNSS-Standort (Längengrad, Breitengrad, Höhe)
- Zeitstempel
- Signalstärke RSRP, RSSI und RSRQ für jedes NAD
- genutzter Standard (4G, 5G-NSA oder 5G-SA).

BILD 3 zeigt die Datenerfassung und -analyse der Desay-SV-Software bei einer Live-Messung. Für die Bewertung der Systemleistung ist es unerlässlich, einen permanenten Einblick in die Daten zu haben, um Messfehler frühzeitig zu erkennen und die Plausibilität sicherzustellen.

ERGEBNISSE DER DYNAMISCHEN VERSUCHSFAHRTEN

In deutschen Großstädten wurden mit dem entwickelten Konzept Versuchsfahrten durchgeführt, um die Systemperformance zu bewerten (einschließlich Uplink-Datendurchsatz und Netzabdeckung). Die Ergebnisse zeigen einen klaren Vorteil der Kombination zweier unabhängiger Netze, in unserem Fall Vodafone und T-Mobile. In allen Szenarien wurde eine kombinierte Netzabdeckung von mehr als 99 % erreicht.

Eine deutliche Verbesserung zeigt sich in Hamburg, wo das 4G-Netz von T-Mobile allein nur 92 % Abdeckung bot. Die gleiche Beobachtung gilt für das 5G-Netz, **BILD 4**, **TABELLE 1**.

Der Uplink-Datendurchsatz lag in Hamburg, München und im Raum Erfurt im Durchschnitt über den angestrebten 50 Mbit/s für 5G-NSA. Mit reinem 4G LTE konnten 50 Mbit/s nicht immer erreicht werden. Die 5G-NSA-Daten für den Raum Wolfsburg dürfen nicht mit den Messergebnissen anderer Städte verglichen werden, da sie mit einem vorläufigen, das heißt noch nicht optimierten Messkonzept erfasst wurden, **BILD 5**, **TABELLE 2**.

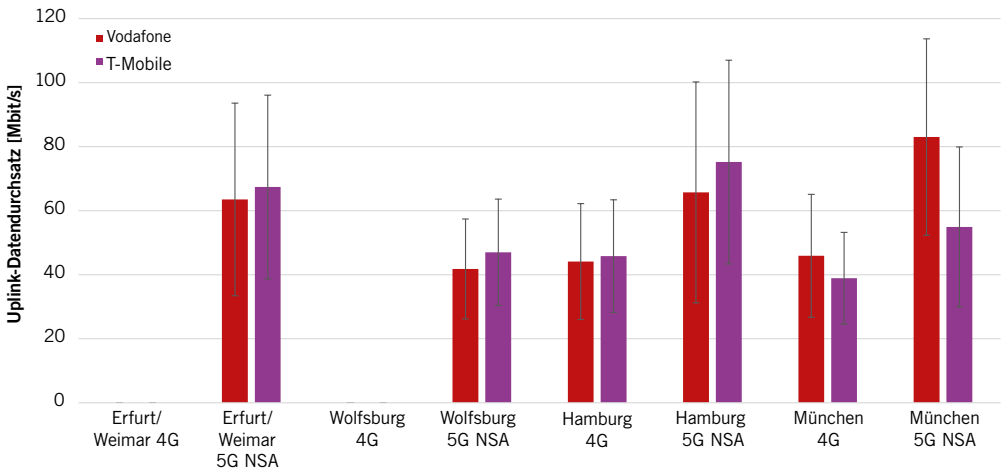


BILD 5 Mittlerer Uplink-Datendurchsatz einschließlich Standardabweichung (Szenarien ohne Werte wurden nicht gemessen) (© Desay SV Automotive Europe GmbH)gemessen)

Messort	Entfernung [km]	Mittlerer Uplink Vodafone 4G [Mbit/s]	Mittlerer Uplink Vodafone 5G-NSA [Mbit/s]	Standard-abweichung Vodafone 4G [Mbit/s]	Standard-abweichung Vodafone 5G-NSA [Mbit/s]	Mittlerer Uplink T-Mobile 4G [Mbit/s]	Mittlerer Uplink T-Mobile 5G-NSA [Mbit/s]	Standard-abweichung T-Mobile 4G [Mbit/s]	Standard-abweichung T-Mobile 5G-NSA [Mbit/s]
Wolfsburg	4,8	-/-	41,8	-/-	15,6	-/-	47,0	-/-	16,6
Hamburg	44,4	44,1	65,7	18,1	34,5	45,8	75,2	17,6	31,8
München	11	45,9	83	19,2	30,7	38,9	54,9	14,3	25,0
Erfurt/Weimar	74	-/-	63,5	-/-	30,1	-/-	67,4	-/-	28,7

TABELLE 2 Statistiken Datendurchsatz (Szenarien mit -/- wurden nicht gemessen) (© Desay SV Automotive Europe GmbH)

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Desay SV hat im Auftrag von VW Nutzfahrzeuge eine redundante Telematik-Lösung mit zugehörigem Messverfahren entwickelt. Eine solche Lösung bietet zwei Vorteile. Erstens gewährleisten zwei unabhängige NADs Ausfallsicherheit. Wenn ein NAD nicht funktionsfähig ist, kann das andere NAD die Verbindung aufrechterhalten. Der zweite Vorteil ist die nahezu vollständige Netzabdeckung und der verbesserte Datendurchsatz. Um die Performance in der Praxis zu validieren, wurden Versuchsfahrten unter anderem in deutschen Großstädten durchgeführt. Erreicht wurde eine kombinierte Netzabdeckung von fast 100 %. Der Uplink-Datendurchsatz lag bei Nutzung des 5G-Netzes durchweg über den angestrebten 50 Mbit/s. Die in diesem Artikel vorgestellten Ergebnisse belegen die Überlegenheit eines dualen Systems für das automatisierte Fahren in realer Umgebung. Die Umsetzung eines solchen Konzepts einschließlich der besonderen Herausforderungen wie Thermik und Konnektivität erfordert fachliche Expertise in mehreren Disziplinen. Dazu zählen Mechanik, Hochfrequenz-Technik und Software. In der zweiten Hälfte 2025 wird das Konzept auch im europäischen Ausland validiert.

LITERATURHINWEISE

[1] Volkswagen Nutzfahrzeuge: Autonomous driving – the future of mobility. Online: https://www.volkswagen-nutzfahrzeuge.de/de/elektrisch-und-autonom/autonomous-driving.html, aufgerufen: 24. Februar 2025
[2] Volkswagen Group: Volkswagen focuses development for autonomous driving. Online: https://www.volkswagen-group.com/en/press-releases/volkswagen-focuses-development-for-autonomous-driving-16777, aufgerufen am 24. Februar 2025
[3] Deutsches Straßenverkehrsgesetz § 1e (2) 10
[4] Deutsches Straßenverkehrsgesetz § 1f (3) 3
[5] DOCT Research Project, DOCT – Digital OTA Connectivity Twin. Online: https://www.doct-projekt.de, aufgerufen: 24. Februar 2025
[6] Schirmer, C.; Lorenz, M.; Kotterman, W. A. T.; Perthold, R.; Landmann, M.; Del Galdo, G.: MIMO Over-The-Air testing for electrically large objects in Non-Anechoic environments. The 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2016) (EuCAP 2016), Davos, Schweiz, 2016
[7] Schirmer, C. (2018): Over-The-Air Testing using Wave-Field Synthesis. Universitätsverlag Ilmenau, Ilmenau. Chapter VIII. Online: https://www.db-thueringen.de/receive/dbt_mods_00034471, abgerufen: 24. Februar 2025
[8] Desay SV, Desay SV Europe legt Grundstein für Antennenmesskammer der Spitzenklasse. Online: https://www.desaysv.eu/newsroom/detailansicht-news/desay-sv-europe-legt-grundstein-fuer-antennenmesskammer-der-spitzenklasse, abgerufen: 24. Februar 2025
[9] Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS, 5G and beyond. Online: https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/kom/mobile-kom/5G.html, aufgerufen: 24. Februar 2025

READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
Test now for 30 days free of charge:
www.atz-worldwide.com