

Datenbordnetz mit Backbone-Struktur:

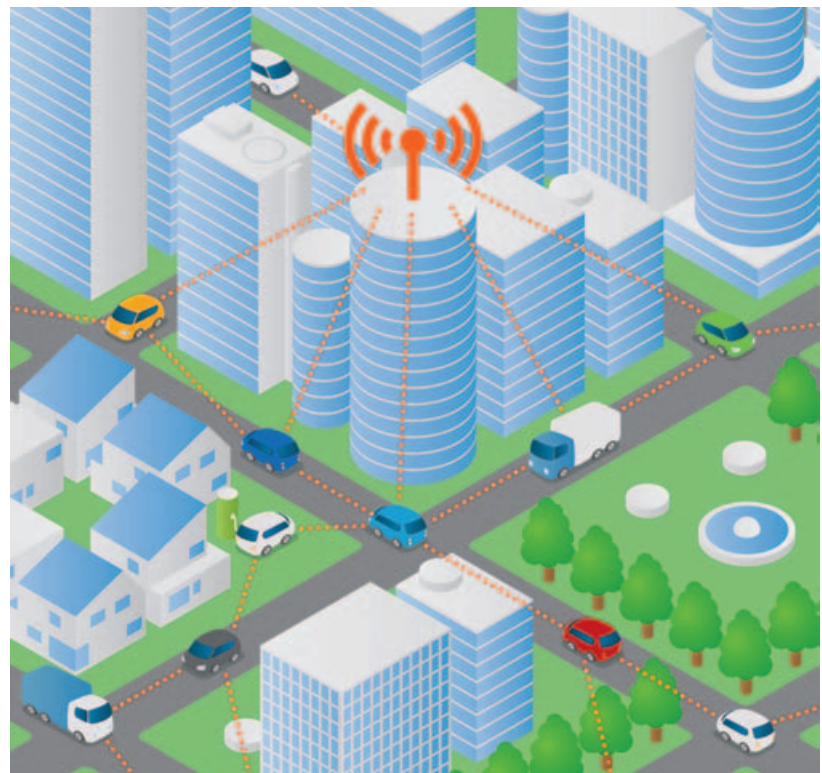
# Das vernetzte Netz

Der Trend zu mehr Konnektivität, höheren Datenraten und automatisiertem Fahren wird die Bordnetzarchitektur grundlegend verändern: Das Bordnetz wird zur systemrelevanten Komponente und muss damit den Anforderungen der funktionalen Sicherheit genügen. Skalierbare Backbone-Architekturen und spezielle Maßnahmen zur EMV-Absicherung sind mögliche Lösungsansätze.

Von Daniel Wiesmayer und Oliver Druhm

Was vor wenigen Jahren noch belächelt und als Science-Fiction-Szenario abgetan worden wäre, soll Prognosen zufolge bereits in zehn Jahren Realität auf unseren Straßen sein: Autos, die autonom fahren. Schon jetzt sind unterschiedlichste Fahrerassistenzsysteme wie Abstands-, Spurhalte- und Parkassistenten erhältlich (Bild 1). Um sich auf vielbefahrenen Straßen auch bei höheren Geschwindigkeiten unfallfrei bewegen zu können, ist eine reibungslose Kommunikation der Fahrzeuge untereinander essenziell, genauso wie die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und der Umwelt. Hierzu wird ein Wagen jedoch nicht nur über Anbindungen wie beispielsweise Mobilfunk, WLAN oder LTE mit der umgebenden Infrastruktur vernetzt sein, sondern vielmehr auch durch seine Sensorik und Aktuatorik. Das Fahrzeug soll in der Lage sein, Erfahrungen zu sammeln und aus bestimmten Situationen zu lernen. Und vor allem: Es soll dieses Wissen an andere Fahrzeuge weitergeben.

Diese komplexe Aufgabe erfordert in jedem Fall ein oder mehrere zentrale Steuergeräte, welche die Daten aller Assistenzsysteme erfassen, weiterverarbeiten und in definierte Aktionen des Fahrzeugs umwandeln können. Unter Beachtung entsprechender Sicherheitsaspekte natürlich: Sollte einer



(Bild: chombosan – Fotolia)

dieser zentralen Knotenpunkte ausfallen, darf das keinesfalls zu einem Unfall führen. Hier muss über verschiedene Sicherheitskonzepte geregelt werden, dass dem System bestimmte Szenarien bekannt sind, sodass es entsprechend darauf reagieren kann beziehungsweise dass es diese im Vorfeld schon proaktiv verhindert.

## Das Datenbordnetz der Zukunft

Urbanisierung, Umweltschutz, Individualisierung, Konnektivität – an diesen Megatrends, die aktuell zu beobachten sind, werden sich zukünftige Fahrzeugfunktionen immer stärker ausrichten (Bild 2). Vor allem im Bereich der Vernetzung steckt großes Innovationspotenzial – bei Fahrerassistenzsystemen ebenso wie im Infotainment-Bereich. Entsprechend rasant steigen auch die zu bewältigenden Datenmengen. Hier muss die Automobilindustrie Lösungen finden: Das Datenbordnetz der Zukunft muss neu gedacht werden.

Neben stetig steigenden Datenraten spielen vor allem die Übertragungssi-

cherheit und die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) eine immer bedeutendere Rolle. In den vergangenen Jahren waren die Entwicklung und die Absicherung von Komponenten im Hinblick auf die beiden letzten Aspekte hauptsächlich Aufgabe der Steuergerätehersteller. Die Anforderung, den Leitungssatz als systemverantwortliche Komponente zu entwickeln und abzusichern, tauchte im Rahmen der Einführung von FlexRay zum ersten Mal in Ansätzen im Automotive-Umfeld auf. Durch die Einführung von Übertragungstechnologien wie BroadR-Reach, Reduced Twisted Pair Gigabit Ethernet (RTPGE) oder in Zukunft auch 10 Gbit/s Automotive Ethernet rückt diese Anforderung immer stärker in den Fokus der gesamten Automobilindustrie. Am OSI-7-Schichten-Modell lässt sich die Rolle des Kommunikationskanals als entscheidender Faktor für die Auslegung der Bitübertragungsschicht sehr gut veranschaulichen (Bild 3).

Auf der Bitübertragungsschicht, dem sogenannten Physical Layer, wird die elektrische Schnittstelle zum physischen

Übertragungsmedium, dem Kommunikationskanal, definiert. Die Definition des physischen Mediums ist hier jedoch nicht enthalten. Beispielsweise bedeutet dies im Fall von Automotive Ethernet, dass die technische Spezifikation des zu übertragenden Signals, die zu implementierenden Filter und das Routing der Leiterbahnen auf der Platine unter Berücksichtigung strenger Hochfrequenzanforderungen stattfinden. Wie aus der schematischen Darstellung des OSI-Modells deutlich wird, lässt sich ein Großteil der Anforderungen des Physical Layer 1:1 auf den Kommunikationskanal anwenden. In Zukunft werden deshalb immer stärker verschiedene Architekturvarianten, Topologien sowie Bordnetz- und Sicherheitskonzepte in den Fokus rücken.

**Anspruchsvolle Sicherheitskonzepte**

Die wichtigsten Eigenschaften bei der Entwicklung und Absicherung von E/E-Komponenten sind Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit, wobei sich letztere in verschiedene Sicherheitsstufen bezüglich des Automotive Safety Integrity Level (ASIL) kategorisieren lässt. Die sogenannte funktionale Sicherheit befasst sich dabei hauptsächlich mit der Vermeidung von übermäßigen Personenschäden in der ASIL-Kategorisierung gemäß ISO 26262. Hier sind vor allem das Fail-Safe- und das Fail-Operational-Verhalten ausschlaggebend für die Auslegung des Systems. Fail-Safe, wie es bereits heute Stand der Technik ist, bedeutet, dass im Fehlerfall das betroffene System in einen definierten Zustand übergeht. Ein Fehler in einer Komponente muss durch zusätzliche Maßnahmen zum Übergang in diesen definierten Zustand führen.

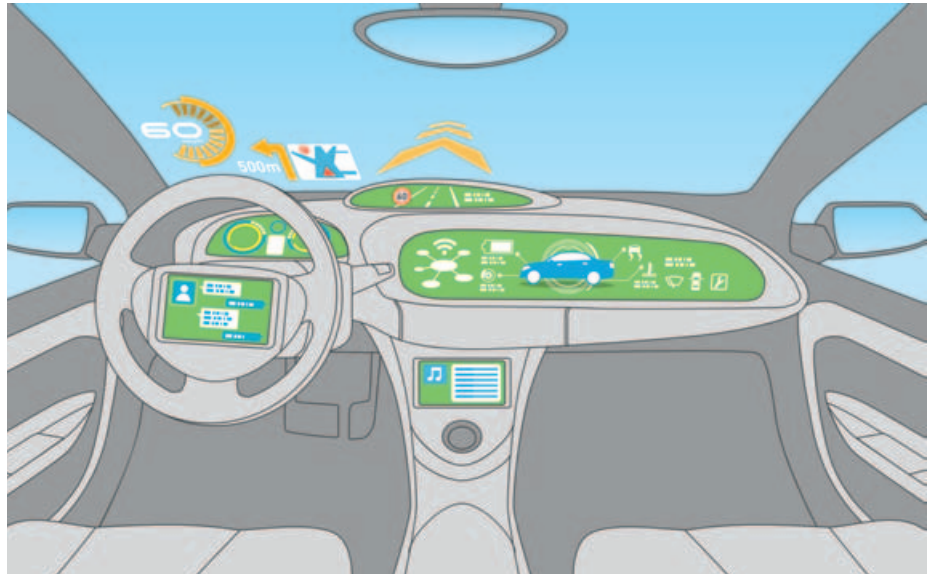


Bild 1. Die Zahl der verfügbaren Fahrerassistenzsysteme wird noch erheblich wachsen.

(Bild: chombosan – Fotolia)



Bild 2. Automobilzulieferer und OEM müssen sich den Megatrends stellen und innovative Elektrik- und Elektronik-Lösungen anbieten.

(Bild: Dräxlmaier)

Fail-Operational gibt an, dass im Fehlerfall nicht ein Fehlerzustand eingenommen wird, sondern das System weiter betrieben werden kann – es muss operativ und fehlertolerant sein. Dies kann jedoch nur durch zusätzliche

**LIN & CAN Tools für Test und Produktion**

**NEU**  
LINWorks V2



- ✓ LIN- & CAN-Bus Geräte ansteuern
- ✓ Buswerte auslesen und vorgeben
- ✓ Monitoring, Restbussimulation
- ✓ Steuergerätestest, Dauerlauf
- ✓ DLL für C#, VB, Labview, uvm.
- ⊕ Digital I/O zur SPS-Kopplung
- ⊕ Mit und ohne PC nutzbar
- ⊕ Isoliertes USB-Interface
- ⊕ Schaltschranktauglich
- ⊕ Attraktiver Preis

SEIT 1986

www.lipowsky.de



06151-93591-0

LIPOWSKY INDUSTRIE-ELEKTRONIK



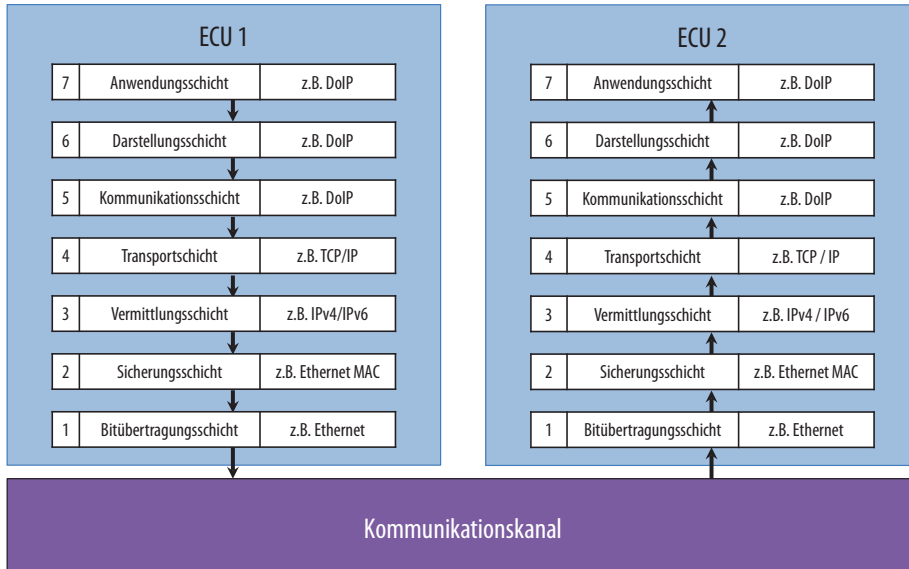


Bild 3. OSI-7-Schichtenmodell: Auf der Bitübertragungsschicht, dem sogenannten Physical Layer, wird die elektrische Schnittstelle zum physischen Übertragungsmedium, dem Kommunikationskanal, definiert. (Bild: Dräxlmaier)

Maßnahmen erreicht werden, etwa durch verschiedene Ausprägungen von Redundanz und Diversität.

Im Hinblick auf das autonome Fahren werden Fail-Operational-Sicherheitskonzepte wichtiger denn je, um auch im Fehlerfall einen Systemausfall zu vermeiden. Da einzelne Systeme in verschiedene ASIL-Kategorien eingeteilt sind, ist es sinnvoll, auch das Datenbordnetz in diese Kategorisierung mit einzubeziehen. Eine Maßnahme, die das Bordnetz in ein neues Licht rückt: Es muss nun als systemrelevante Komponente betrachtet werden, die selbstverständlich auch abzusichern ist. Die besondere Herausforderung für das Datenbordnetz liegt nun darin, Parameter und Testszenarien zu definieren, die Rückschlüsse zulassen, inwieweit das Datenbordnetz Einfluss auf das Gesamtsystemverhalten nimmt.

### EMV-relevante Übertragungseigenschaften

Die Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Teilnehmern darf weder durch äußere Umwelteinflüsse, wie etwa hohe Temperaturen oder Chemikalien, noch durch Alterungseffekte über die Fahrzeuglebensdauer so weit beeinflusst werden, dass sie nicht mehr den Systemanforderungen genügt.

Neben den Umwelteinflüssen spielt bei fast allen Arten von Kommunikationssystemen die elektromagnetische Verträglichkeit eine entscheidende Rolle. Dabei unterscheidet man allgemein

zwischen der Störemission und der Störfestigkeit des Systems. Die Störemission liefert eine Aussage darüber, wie stark umliegende andere Systeme vom übertragenden System beeinflusst werden. Die Störfestigkeit gibt dagegen an, wie groß die Beeinflussung durch andere Systeme maximal sein darf, bevor die Kommunikation beeinträchtigt wird. Das Sicherstellen der Übertragungseigenschaften und das Reduzieren der Einflüsse von außen auf ein verträgliches Niveau sind wichtige Aspekte bei der Entwicklung von E-/E-Komponenten.

Ein Gesamtsystemtest ist vor den ersten Prototypen in den frühen Entwicklungsphasen oftmals noch nicht möglich. Anders als in der Steuergeräteentwicklung mit den größtenteils klar definierten Entwicklungszyklen, Testszenarien und

Prüfparametern ist die Standardisierung in Bezug auf das Datenbordnetz noch nicht so weit fortgeschritten. Eine Anpassung der Entwicklungsphasen des Bordnetzes sowie bekannter Testszenarien für Komponenten wird durch die Betrachtung des Leitungssatzes als systemrelevante Komponente teilweise nötig. Darüber hinaus ist eine klare Definition der Schnittstellen nötig, um aus den Anforderungen des Physical Layer entsprechende Anforderungen an den Leitungssatz ableiten zu können. Bei der differenziellen Signalübertragung bieten die sogenannten Mixed-Mode-Streuparameter die Möglichkeit, den Übertragungskanal entsprechend zu bewerten (Bild 4).

Diese Parameter dienen zur Charakterisierung von symmetrischen Übertragungsstrecken im Frequenzbereich. Die differentiellen Parameter ( $S_{dd}$ ) liefern eine Aussage über die Eigenschaften des Übertragungsmediums, bezogen auf ein differenzielles beziehungsweise Gegentakt-Eingangssignal. Im Gegensatz dazu liefern die Common-Mode-Parameter ( $S_{cc}$ ) eine Aussage zu den Eigenschaften des Übertragungsmediums bezogen auf ein Gleichtakt-Eingangssignal. Die  $S_{dc}$ -Parameter beschreiben die Fähigkeit der Übertragungstrecke, einen gewissen Anteil eines Gleichtakt-Eingangssignals in einen differentiellen Anteil umzuwandeln. Sie lassen also einen Rückschluss auf den Einfluss des Übertragungsmediums auf die Störfestigkeit des Gesamtsystems zu. Umgekehrt beschreiben die  $S_{cd}$ -Parameter die Fähigkeit der Übertragungstrecke, einen gewissen Anteil eines Gegentakt-Eingangssignals in einen

Gleichtaktsignalanteil umzuwandeln, und lassen somit einen Rückschluss auf den Einfluss des Übertragungsmediums auf das Störemissionsverhalten des Gesamtsystems zu. Die Erfassung dieser Messwerte im systemabhängigen Frequenzbereich erfordert zum Beispiel einen vektoriiellen Netzwerkanalysator in Verbindung mit einem speziellen Prüfaufbau, der bestimmte Eigenschaften vorweisen muss, um eine hinrei-

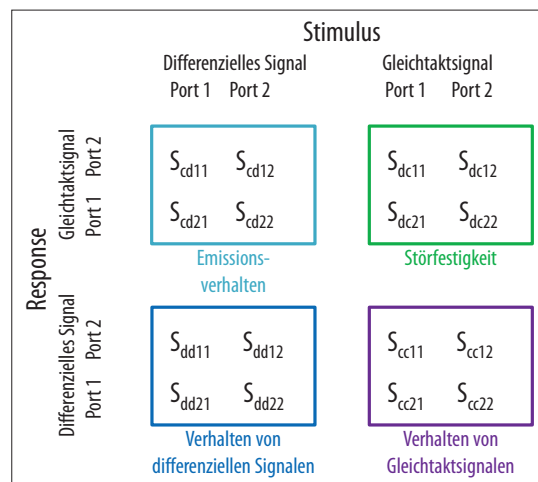
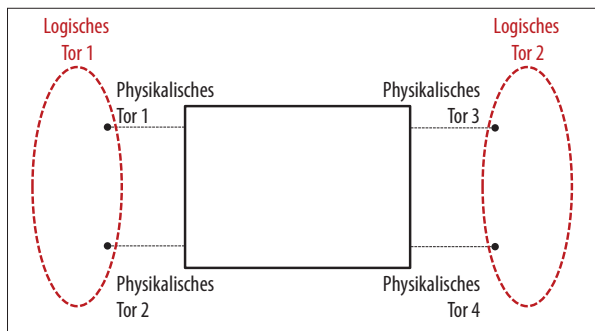


Bild 4. Übersicht über die 16 Mixed-Mode-Streuparameter.

(Bild: Dräxlmaier)



**Bild 5. Vier-Tor-Netzwerkstruktur für Messungen bei einem differenziellen Übertragungsmedium.**  
(Bild: Dräxlmaier)

chend genaue Messung zu gewährleisten. Im Fall eines differenziellen Übertragungsmediums ist hier eine Vier-Tor-Netzwerkstruktur nötig (Bild 5).

Für diese Messparameter werden in Abhängigkeit vom Physical Layer der jeweiligen Übertragungstechnologie systemspezifische Grenzwerte definiert. Die Definition dieser Grenzwerte findet in verschiedenen Arbeitskreisen statt, wie zum Beispiel in der OPEN Alliance bei Automotive Ethernet. Eine Veränderung dieser Parameter in Abhängigkeit vom jeweiligen Testszenario – zum Beispiel verschiedene Umwelttests – kann sowohl gegen die festgelegten Grenzwerte als auch gegen den ursprünglichen Originalzustand bewertet werden. Diese Tests müssen an den einzelnen Teilkomponenten durch den jeweiligen Hersteller sowie am Gesamtsystem durch den Systemverantwortlichen durchgeführt werden. Eine solche Absicherung der Teilkomponenten bildet die Grundlage für den abschließenden Systemtest, der unter anderem bekannte Testszenarien wie den Funktionstest, Störemission oder Störfestigkeit umfasst.

**Architekturvariante Daten-Backbone**

Besonders der zunehmende Vernetzungsgrad im Fahrzeug, aber auch die Implementierung eines zentralen Steuergeräts für das autonome Fahren haben großen Einfluss auf die zukünftigen Bordnetzarchitekturen und -topologien. Eine besondere Rolle wird dabei das Automotive Ethernet in seinen verschiedenen Ausbaustufen spielen.

Zum einen stellt diese Technologie hohe Datenraten über relativ preiswerte Übertragungsmedien zur Verfügung, zum anderen bietet sie aufgrund der realisierbaren Netzwerkstruktur zahl-

reiche Möglichkeiten, um die Bordnetzarchitektur zu optimieren. Interessant wird dabei vor allem die Integration der Ethernet-Technologie sein, die ja die Eigenschaft hat, beim Aufstarten und der ersten Kommunikation neue Teilnehmer

automatisch zu erkennen und diese dem Kommunikationsnetzwerk hinzuzufügen. Nutzt man Automotive Ethernet als Daten-Backbone (Bild 6), bietet das zum einen die Möglichkeit, verschiedene Systeme untereinander über Gateways zu vernetzen, zum anderen wird das Bordnetz deutlich besser erweiterbar. Für die Realisierung zusätzlicher Funktionen muss dann längst nicht mehr der gesamte Teilnehmerkreis am System neu geflasht werden. Vielmehr könnte man hier neue Funktionsumfänge durch einfaches Verbinden mit der nötigen Hardware und dem Laden der entsprechenden Application Software (App) realisieren.

Darüber hinaus macht es die Integration von zwei oder mehr Switches in das Bordnetz möglich, Redundanz bei den Kommunikationswegen zu erzeugen und einige heutzutage noch parallel nebeneinander laufende Übertragungsmedien zu ersetzen.

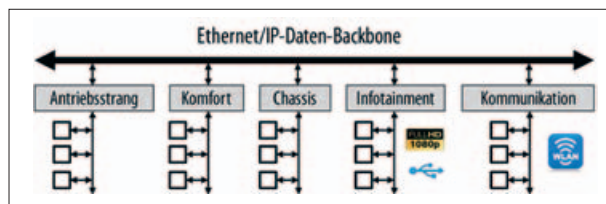
**Skalierbarkeit ist gefordert**

Um die genannte Vielfalt in den Anforderungen überhaupt ermöglichen zu können, sind zudem skalierbare Datenbordnetz-Topologien notwendig. Skalierbarkeit bezeichnet im Allgemeinen die Fähigkeit eines Systems, bei einem erhöhten Anforderungsumfang erweiterbar zu sein. Und zwar so, dass neue Komponenten oder Funktionsumfänge hinzugefügt beziehungsweise vorhandene aktualisiert werden, ohne die Anwendung dabei gravierend zu verändern.

Das gesamte Datenbordnetz wird in Zukunft hauptsächlich hierarchisch strukturiert sein, wobei Automotive Ethernet als Daten-Backbone für die

Vernetzung der zentralen Knotenpunkte zuständig ist. Da Ethernet auf dem Physical Layer unabhängig von den höheren Protokollschichten ist, kann im Allgemeinen an jedem Port eines Switch ohne Veränderung der höheren Protokollschichten 100 Mbit/s, 1 Gbit/s oder zukünftige Ausbaustufen des Automotive Ethernet angeschlossen werden. Außerdem ist die Adressierung über das Internet Protocol (IP) von der vorliegenden Netzwerkarchitektur unabhängig und ermöglicht so ein homogenes Adressierungskonzept für jeden Teilnehmer des Bordnetzes.

Der vergrößerte und vielfältige Funktionsumfang zukünftiger Fahrzeuggenerationen wird die Datenbordnetz-Architektur also nachhaltig verändern.



**Bild 6. Kommunikationsarchitektur auf Basis eines Ethernet/IP-Daten-Backbone.**  
(Bild: Dräxlmaier)

Schwerpunkte auf dem Weg zum autonomen Fahren sind in diesem Zusammenhang die Sicherheit und die Skalierbarkeit der Datenbordnetz-Architekturen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die EMV, die besondere Maßnahmen zur Absicherung des Bordnetzes erfordert.  
*ku*



**Daniel Wiesmayer**  
studierte Elektro- und Informationstechnik mit Schwerpunkt Kommunikationstechnik an der Hochschule Landshut sowie Automotive Electronics an der Technischen Hochschule Regensburg. Er arbeitet seit 2008 bei der Dräxlmaier Group in Vilsbiburg und ist im Rahmen der Bordnetz-Konzeptentwicklung für das Datenbordnetz verantwortlich.



**Dipl.-Ing. (FH) Oliver Druhm**  
studierte Elektrotechnik mit Schwerpunkt Daten- und Informationstechnik an der Universität der Bundeswehr München. Er arbeitet seit 2010 bei der Dräxlmaier Group in Vilsbiburg und ist bei dem Automobilzulieferer für das Bordnetz-Innovationsmanagement verantwortlich.