
ToSKa



Gemeinsamer Abschlussbericht zum Vorhaben „Bordnetz- Topologie, - Stabilisierung und -Kommunikation für zukünftige Fahrzeuganforderungen bis hin zum automatisierten Fahren“ zum Fachprogramm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien.“



Projektpartner mit FKZ:
Vitesco Technologies Regensburg, 19A17003A
Universität Kassel, 19A17003B
Ford Werke GmbH Aachen, 19A17003C
Technische Universität Chemnitz, 19A17003D

Projektkoordinator:
Rainer Knorr, Vitesco Technologies,
Siemenstrasse 12, 93055 Regensburg

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Verfasser:
Rainer Knorr, Vitesco Technologies
Prof. Dr. Ludwig Brabetz, Uni Kassel
Prof. Dr. Ganglof Hirtz, TU Chemnitz
Dr. Björn Mohrmann, Ford

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation	2
2	Ziele des Vorhabens.....	4
2.1	Stand der Wissenschaft und Technik.....	5
1.1	Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Vorhabens	7
2.2	Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans/Aufgabenstellung.....	11
2.3	Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	13
2.4	Zusammenarbeit mit anderen	13
3	Kurzdarstellung der Ergebnisse aus den Arbeitspaketen	14
3.1.1	Anforderungen an zukünftige Fahrzeug-Bordnetze AP1	14
3.1.2	Topologien AP2.....	15
3.1.3	Heterogenes Kommunikationsnetz AP3	16
3.1.4	Prädiktives Leistungsmanagement AP4	16
3.1.5	Demonstration und Validierung AP5.....	17
4	Zahlenmäßiger Nachweis	19
5	Ursprüngliche Ziele und deren Erreichung	19
6	Verwertbarkeit der Ergebnisse	20
7	Erfolgte Veröffentlichungen	21

1 Motivation

Der gesteigerte Funktionsumfang und eine Elektrifizierung von Nebenaggregaten in heutigen Fahrzeugen tragen zu einem erheblichen Anteil zur CO₂ Reduzierung bei, lassen aber auch das heutige 12V Bordnetz mit seiner Architektur bezüglich Leistung- und Energiebereitstellung an seine Grenzen stoßen.

Ein weiterer Auslöser für die Entwicklung neuer Bordnetzarchitekturen ist das Thema autonomes Fahren. Bereits 1939 entstand die erste Vision im Bereich autonomes Fahren. In einem von General Motors geförderten Projekt „Futurama: Highway & Horizons“ entstand die Idee eines automatisierten Highway Systems.

Das autonome Fahren ist ein Überbegriff für alle Assistenzfunktionen, angefangen beim einfachen Bremsassistenten bis hin zum komplexen Piloten, für vollautomatisiertes Fahren. Abhängig vom Fahrereinfluss wird das automatisierte Fahren in 6 Stufen unterteilt. In Abbildung 1 sind die einzelnen Stufen des automatisierten Fahrens dargestellt.

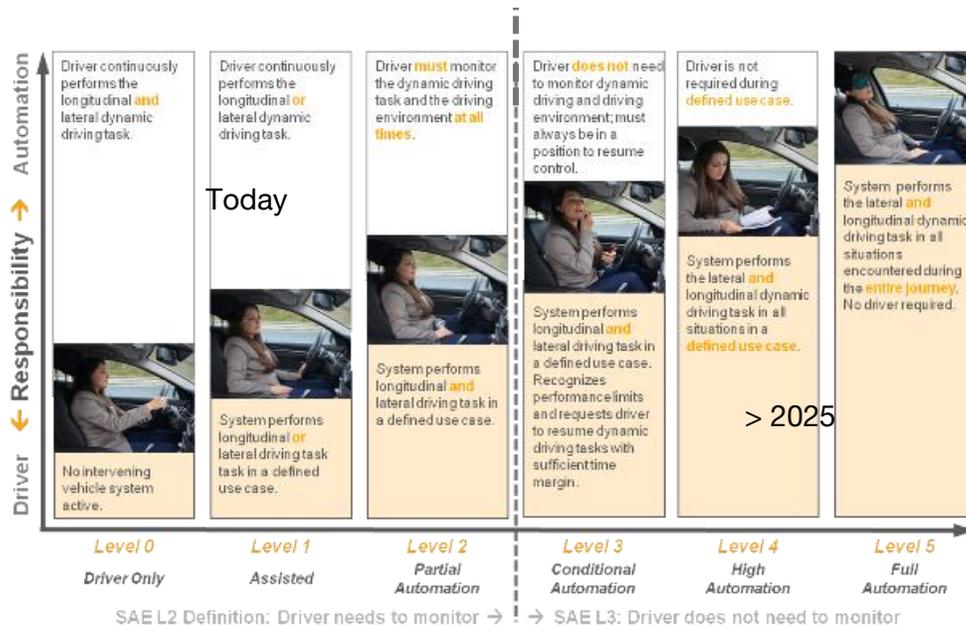
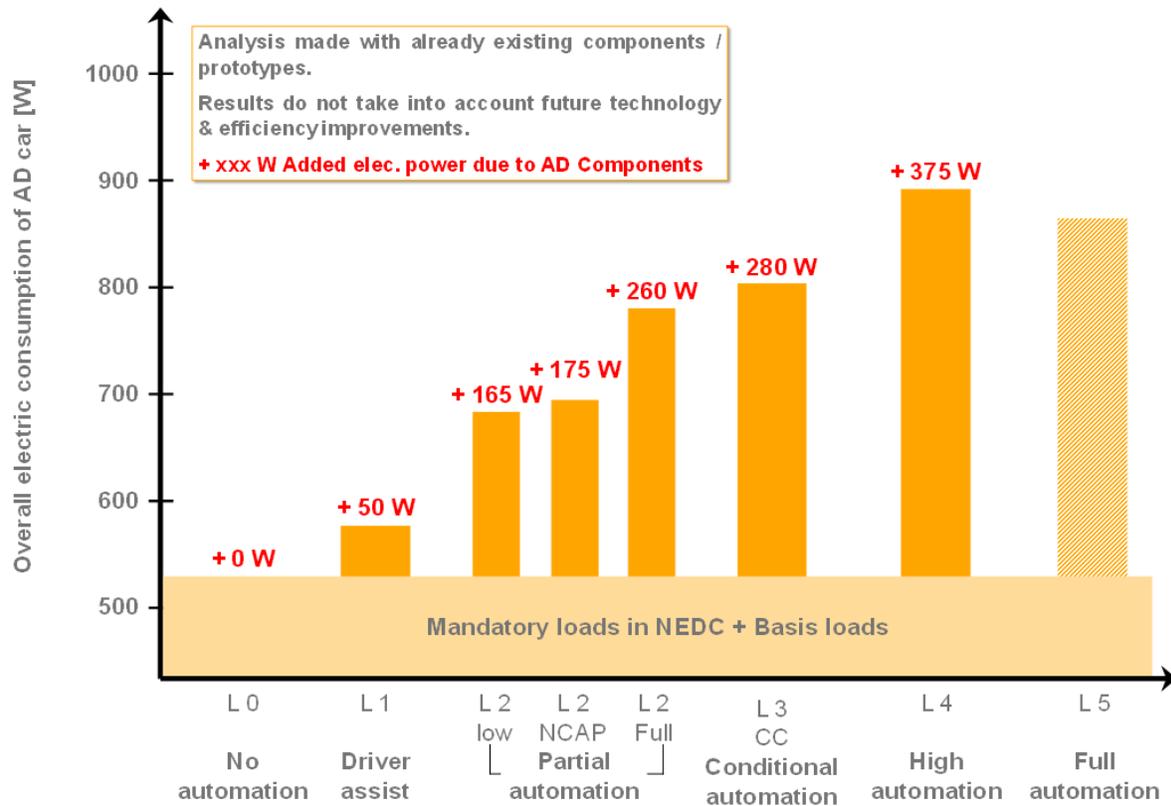


Abbildung 1: Stufen des automatisierten Fahrens; Quelle: Vitesco Technologies

Der 1968 entwickelte Tempomat hat sich weiterentwickelt zur vollautomatischen Längsführung, die bereits seit dem Jahr 2000 in Serie ist. Einige wenige Automobilhersteller bieten bereits heute teilautomatisierte Fahrzeuge an. Die Serienreife für teilautomatisiertes Fahren wird allerdings erst in den nächsten Jahren erwartet und der große Durchbruch für hochautomatisiertes Fahren ist erst nach dem Jahr 2025 vorausgesagt.

Electric consumption needed for example on Automated Driving (real driving)



**Abbildung 2: Zusätzliche benötigte elektrische Leistung für Komponenten im Bereich autonomes Fahren;
Quelle: Vitesco Technologies**

Verbunden mit der stufenweisen Einführung des autonomen Fahrens in den nächsten Jahren, ist ein stetig wachsender Funktionsumfang und damit einhergehend ein steigender elektrischer Leistungsbedarf. In Abbildung 2 wird der zusätzliche Leistungsbedarf abhängig vom Grad der Automatisierung dargestellt. Etwa 400 W mehr Leistung, abhängig von der benötigten finalen Rechnerleistung, werden durch Komponenten für das automatisierte Fahren in den letzten Ausbaustufen erwartet. Der leichte Rückgang bei vollautomatisiertem Fahren ist darin begründet, dass die visuelle Aufbereitung des aktuellen Fahrzeugzustandes reduziert werden kann.

Die Funktion autonomes Fahren wird in Zukunft höhere Sicherheitsanforderungen an das Gesamtsystem und damit auch an die Bordnetzarchitektur stellen. Daher werden zur sicheren Versorgung der elektrischen Komponenten redundante Bordnetzsysteme unumgänglich.

In dem Verbundprojekt ToSKa ist die Motivation, den steigenden Anforderungen in der Leistungsversorgung, durch die Entwicklung eines sicheren und stabilen Bordnetzes für zukünftige Fahrzeuganwendung mit automatisierten Fahrfunktionen, entgegen zu wirken.

2 Ziele des Vorhabens

Hochautomatisiertes Fahren stellt hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit eines innovativen Fahrzeuges und damit an die Auslegung des Bordnetzes. Heutige Bordnetze sind für automatisiertes Fahren jedoch unterdimensioniert, bzw. nicht geeignet, da die elektrische Leistungsaufnahme aufgrund der zusätzlichen Aktuatoren, Sensoren und Steuergeräte und der Grad der Vernetzung beträchtlich steigt und auch bisher keine redundante Auslegung gegeben ist.

Durch die zunehmenden Freiheiten, die das automatisierte Fahren erlaubt, kann zudem mit einer erweiterten Leistungsaufnahme für nicht fahrrelevante Tätigkeiten, wie die Benutzung von Infotainment-, Entertainmentsystemen und Internetzugang gerechnet werden. Bereits in heutigen Bordnetzen ist ersichtlich, dass die Generatoranbindung an den Verbrennungsmotor für hochdynamische Lastanforderungen nicht ausreichend schnell ist und der Energiespeicher die Leistungsspitzen abdecken muss (siehe Abbildung 3), welche langfristig zu nicht beherrschbaren Spannungseinbrüchen im Bordnetz und zum Ausfall sicherheitskritischer Funktionen führen können.

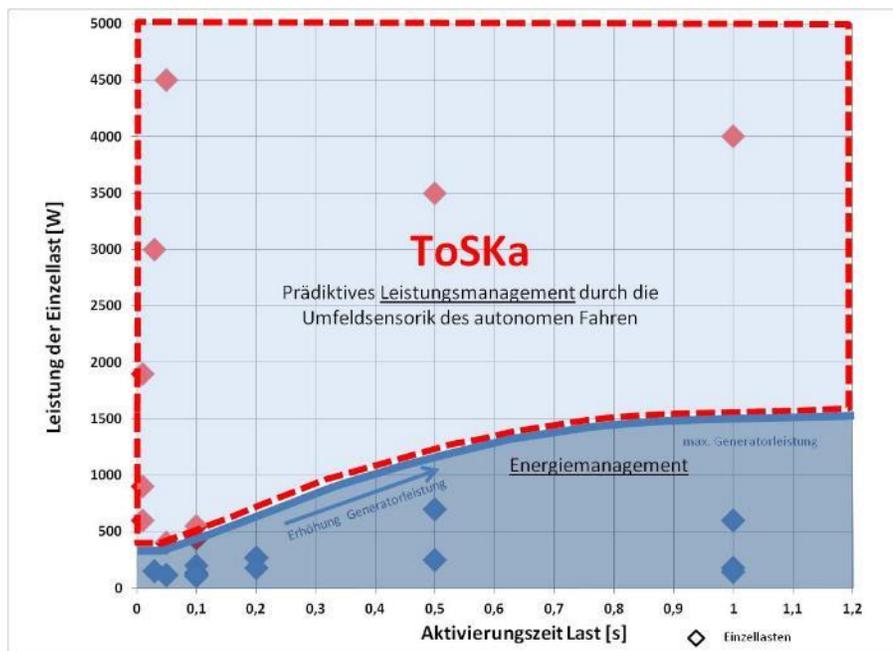


Abbildung 3: Typische Lasten mit ihrer Aktivierungszeit und der Abdeckungsbereich von ToSKa

In zukünftigen innovativen Fahrzeugen mit einem hohen Grad an Autonomie und steigender Elektrifizierung führen nicht nur Einzellasten zu einer Gefährdung der Bordnetzverfügbarkeit, sondern insbesondere das gleichzeitige Abrufen von neuen Funktionen. Hier sei die elektronische Wank-Stabilisierung, elektr. oder elektr.-hydraulische Bremse und das elektrische Lenksystem genannt. In sicherheitsrelevanten Fahrsituationen ist eine gleichzeitige Aktivierung der eben genannten Systeme mehr als wahrscheinlich. Darüber hinaus stellen neue Fahrfunktionen, die zu einer Effizienzsteigerung des Fahrzeuges führen, eine weitere Herausforderung dar. Bei der Fahrfunktion Segeln mit Motor „Aus“ z.B., kommt es zu einer erhöhten Leistungsanforderung an den Energiespeicher, da keine Lichtmaschinenleistung bereitsteht. Aber auch bei Segeln mit

laufendem Verbrennungsmotor kommt es zu einem Leistungsdefizit im Bordnetz. Der Verbrenner ist hierbei im Leerlauf. Dies führt zu einer geringeren Lichtmaschinenrehzahl und somit zu einer reduzierten verfügbaren Bordnetzleistung. Erschwerend kommt hinzu, dass die Lichtmaschinenleistung nur im Sekundenbereich auf die maximale Leistung gesteigert werden kann. Eine Überforderung des Bordnetzes droht hier in beiden Fällen, welche in letzter Konsequenz dazu führt, dass Steuergeräte außerhalb der Spezifikation der Versorgungsspannung betrieben werden. Dies kann zum Reset und zu einem Re-Boot der Steuergeräte führen. In dieser Zeit ist die Funktion des Steuergerätes nicht verfügbar und fahrsicherheitsrelevante Funktionen können nicht ausgeführt werden. Dies gilt es unbedingt zu vermeiden.

Daher ist die Zuverlässigkeit des elektrischen Bordnetzes eine unabdingbare Voraussetzung zur Einführung automatisierter und innovativer Fahrzeuge mit der folgenden Zielstellung:

- Sicherstellung einer zuverlässigen und stabilen elektrischen Energieversorgung bei signifikant erhöhten Leistungsanforderungen und –spitzen und Erfüllung der „Freedom from Interference“ Anforderung der funktionalen Sicherheit bzgl. fahr- und sicherheitsrelevanter Funktionen und Komfortfunktionen,
- Sicherstellung einer zuverlässigen Kommunikation bei erhöhtem Vernetzungsgrad und
- Umsetzung dieser Anforderungen unter den Randbedingungen möglichst niedriger Kosten- und Gewichtszunahme sowie hoher Energieeffizienz.

Eine evolutionäre Weiterentwicklung des konventionellen Bordnetzes würde den ersten beiden Anforderungen nur eingeschränkt und durch zusätzliche und teilweise überdimensionierte Komponenten gerecht werden, womit die dritte Anforderung nicht erfüllt wäre. Andererseits bieten jedoch die erweiterten Funktionen automatisierter innovativer Fahrzeuge auch Potentiale, die für die obige Aufgabenstellung genutzt werden können:

- Präzise und bisher nicht mögliche Prädiktion des zu erwartenden Leistungsprofils der antriebs- und fahrdynamikrelevanten Verbraucher auf Basis der für automatisiertes Fahren notwendigen Umfelderkennung und Vorausberechnung der Trajektorie und fahrdynamischen Zustände.
- Erweiterte Eingriffsmöglichkeiten hinsichtlich Steuerung und Regelung der elektrischen Verbraucher. Außerdem werden künftige Bordnetztopologien mehr als eine Spannungsebene, DC/DC Wandler sowie Leistungshalbleiter für die Potentialsteuerung und Absicherung besitzen.

Das angestrebte Ziel muss es sein, die neuen Potentiale möglichst sinnvoll für die Erfüllung der skizzierten zukünftigen Anforderungen zu nutzen.

2.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Elektrische Verbraucher in einem Kraftfahrzeug werden heutzutage über ein Gleichspannungs-Bordnetz mit einer Nennspannung von 12V versorgt. Zu diesen Verbrauchern zählen neben Komfortverbrauchern (z.B. Sitzheizungen) auch sicherheitskritische Verbraucher wie z.B. eine elektro-mechanische Lenkung. Bei Fahrzeugen mit steigendem Automatisierungsgrad kommen umfangreiche Sensorik, Aktorik sowie Steuergeräte mit hoher Rechenleistung zum Einsatz.

Zusammen stellen die genannten Verbraucher eine hohe Anforderung an das Bordnetz hinsichtlich Ihres Leistungsbedarfs und der sicheren Energieversorgung.

Diese aktuellen Versorgungssysteme werden in der Regel auf Leistungsaufnahmen dimensioniert, welche aufgrund von Kosten- und Gewichtsbedingungen deutlich unter der theoretisch maximal möglichen Leistungsspitze liegen. Letzteres wird dadurch gerechtfertigt, dass viele Funktionen sich ausschließen und die worst-case Szenarien vieler sich überlagernder Verbraucher unwahrscheinlich sind. In sehr geringem Maße erfolgt bereits eine zeitliche Entkopplung von z.B. Einschaltströmen, soweit die Funktionalitäten dies zulassen.

Über ein mittlerweile als Standard vorhandenes Energiemanagement werden kritische Energiebilanzen vermieden. Es beruht auf der Diagnose der Batterie-, Generator- und Lastzustände und kann auf ausgewählte Lasten, Generator- und Wandler-Regelungen sowie das Motormanagement zugreifen. Die entsprechende Betriebsstrategie ist mittelfristig angelegt.

Im Gegensatz dazu adressiert das Leistungsmanagement die kurzfristigen Anforderungen und die Stabilität des Bordnetzes und ist derzeit noch im Bereich Forschung und Vorentwicklung zu verorten. Das größte Problem ist, dass Ausgleichsmaßnahmen bei sprunghafter Belastung aufgrund der zur Verfügung stehenden langsamen Regelungen nicht rechtzeitig greifen bzw. ihrerseits zu Störungen führen können. Für das daher konsequenterweise angestrebte prädiktive Leistungsmanagement wiederum fehlt in heutigen Fahrzeugen die Datenbasis.

Redundanzen zur Erhöhung der Zuverlässigkeit werden aus besagten Kostengründen nicht oder sehr selten eingesetzt. Lediglich für Mehrspannungsbordnetze gibt es konzeptionelle Ansätze, die dort implizit vorhandenen Redundanzen zu nutzen und die dort ohnehin vorhandenen Wandler auch für die Bordnetzstabilisierung anzuwenden.

Die Kommunikation zwischen Sensoren und Aktoren beruht bis auf wenige Ausnahmen auf verschiedenen, meist funktionsdomänen-basierten Bussystemen, deren unterschiedliche Protokolle und Hardware den spezifischen Anforderungen entsprechen und welche über meist ein zentrales Gateway vernetzt sind. In Abhängigkeit von der Datenrate und den Echtzeitanforderungen kommen hierfür meist etablierte Bussysteme, wie CAN (Controller Area Network), LIN (Local Interconnect Network), MOST (Media Oriented Systems Transport) und FlexRay zum Einsatz. Zudem wird zunehmend Ethernet als lokales, kabelgebundenes System im Fahrzeug eingesetzt. Der erste Serieneinsatz erfolgt derzeit bei verschiedenen Automobilherstellern und soll die bisherigen Bussysteme (CAN, FlexRay und MOST) teilweise ersetzen bzw. bedingt durch neue Anforderungen (Maschine-Maschine-Kommunikation) weiterentwickeln. Trotz des geplanten Einsatzes von Automotive Ethernet werden stets zusätzliche Kabel zwischen Sensoren, Aktoren und den daten-verarbeitenden Steuereinheiten benötigt.

Im Heimbereich hat sich in den letzten Jahren die PLC-Technik erfolgreich etabliert. Gegenüber den Ausbreitungsbedingungen im Heimbereich, weist die Kanalübertragungsfunktion im Kabelbaum ein zeitvariantes und frequenzselektives Verhalten auf, das in zahlreichen Arbeiten untersucht wurde. Weiterhin führen die verschiedenen Verbraucher im Fahrzeug zu einer Veränderung der Leitungsimpedanz, so dass selbst an der gleichen Position, zu unterschiedlichen Zeiten und bei verschiedenen Lasten, die Kanalübertragungsfunktion ein vollkommen differentes Verhalten zeigt. Eine weitere wichtige Randbedingung ist durch impulsartige Störungen gegeben. Diese werden durch kritische Verbraucher mit getakteten

Leistungsendstufen oder durch den Generator hervorgerufen und können ebenfalls stochastisch variieren.

Nicht zuletzt sind Bordnetztopologien mit mehreren Spannungsebenen und meist unidirektionalen Wandlern bereits im Einsatz, allerdings wurden die damit gewonnenen Freiheitsgrade nur für den Ausgleich der Energiebilanz genutzt. Ferner wird konzeptionell der Einsatz von Leistungshalbleitern für die Potentialschaltung und Absicherung diskutiert, die damit verbundenen Möglichkeiten der Systemdiagnose und redundanten Verschaltung waren aber noch Gegenstand der Forschung. Auch hier sollte durch das Projekt ToSKa eine Erweiterung des Standes der Technik erzielt werden.

1.1 Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Vorhabens

Um die beschriebenen Gesamtziele zu erreichen, baut das Projekt ToSKa auf drei Säulen auf. (siehe Abbildung 4).

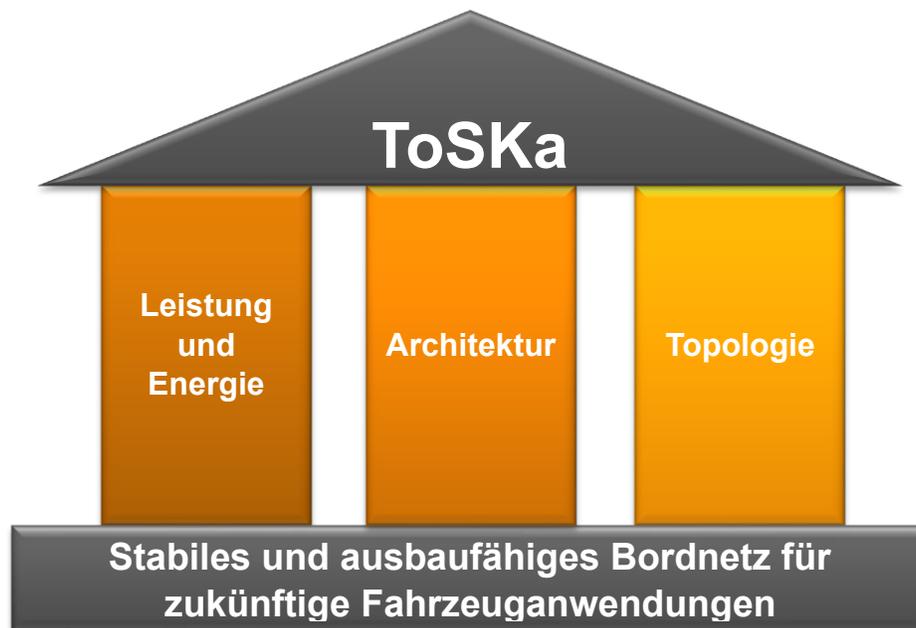


Abbildung 4: Säulen des Projektes ToSKa

Die wissenschaftlichen und technischen Ziele der drei Säulen, Leistung/Energie – Architektur – Topologie, werden im folgendem erläutert. Des Weiteren wird im Abschnitt *Topologie* gezeigt, dass die einzelnen Ansätze Teile eines übergeordneten Konzepts sind:

Leistung und Energie: Die Idee ist, die durch das automatisierte Fahren mögliche Vorhersage der kurzfristig bevorstehenden Fahrzustände, welche über die Umfeldsensorik des Fahrzeuges erkannt werden (Abbildung 5), für die z.B. modellgestützte Prognose der Leistungsaufnahme der elektrischen Verbraucher zu nutzen.

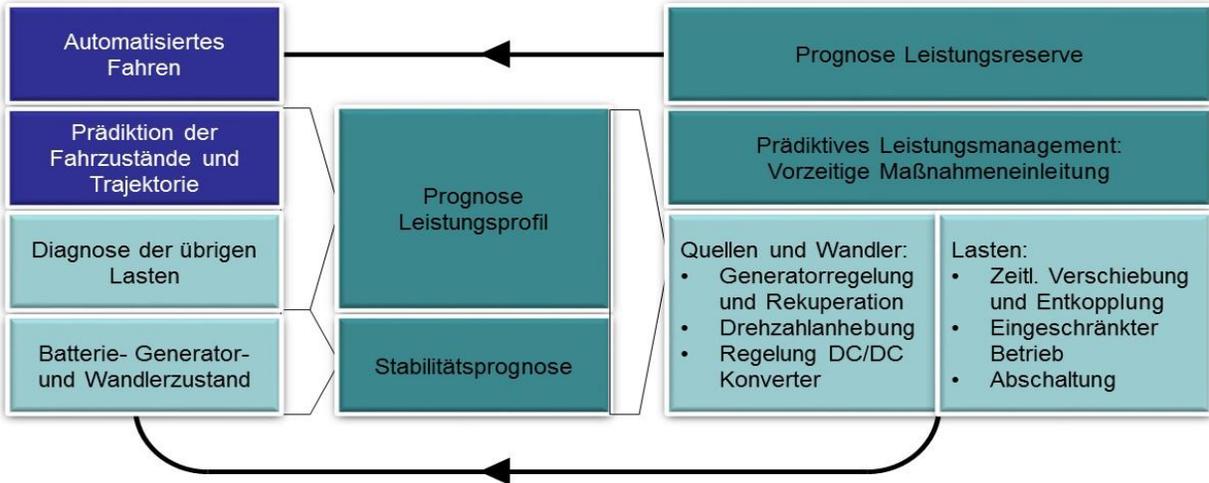


Abbildung 5: Prognose der bevorstehenden Fahrzustände und des daraus resultierenden Leistungsverlaufs auf Basis der Umfeldsensorik des Fahrzeuges (Vitesco Technologies)

Ergänzt um die Erfassung der übrigen, weit weniger sicherheitskritischen Verbraucher lässt sich daraus das zu erwartende Lastprofil ableiten und in Verbindung mit den bekannten aktuellen Zuständen von Generator, Speicher und Wandler eine Stabilitätsprognose erstellen.

Auf Basis dieser Daten erfolgt das prädiktive Leistungsmanagement mit den folgenden Funktionen, siehe Abbildung 6:

- Beurteilung der Kritikalität auf Basis der z.B. modellgestützten Stabilitätsprognose.
- Einleitung von Gegenmaßnahmen vor, und das ist entscheidend, Eintreffen einer kritischen Belastung. Im Unterschied zu rein reaktiven Systemen sind damit die relativ langsamen Regelungen der Generatoren und Wandler unproblematisch und das Schalten von Lasten kann besser auf deren Funktion abgestimmt werden. Anders als beim Energiemanagement sind beim Leistungsmanagement meist nur kurzzeitige, aber zeitlich präzise Lasteingriffe notwendig, und genau diese Informationen stehen nun durch die Prädiktion zur Verfügung. Insbesondere die Schaltzeiten von Lasten mit sehr hohen Schaltströmen lassen sich besser entkoppeln.
- Prognose der noch zur Verfügung stehenden Leistungsreserve. Eine derartige Information bietet ein enormes Potential, da künftige Regelungen von Aktuatoren diese Information durchaus für eine Leistungsbegrenzung bei nur geringer Funktionseinschränkung berücksichtigen können, wenn sie denn, wie in diesem Konzept, rechtzeitig vorliegt.



Dunkelgrün: Neue Systeme; Hellgrün: Bestehende Systeme, auf welchen aufgebaut wird.

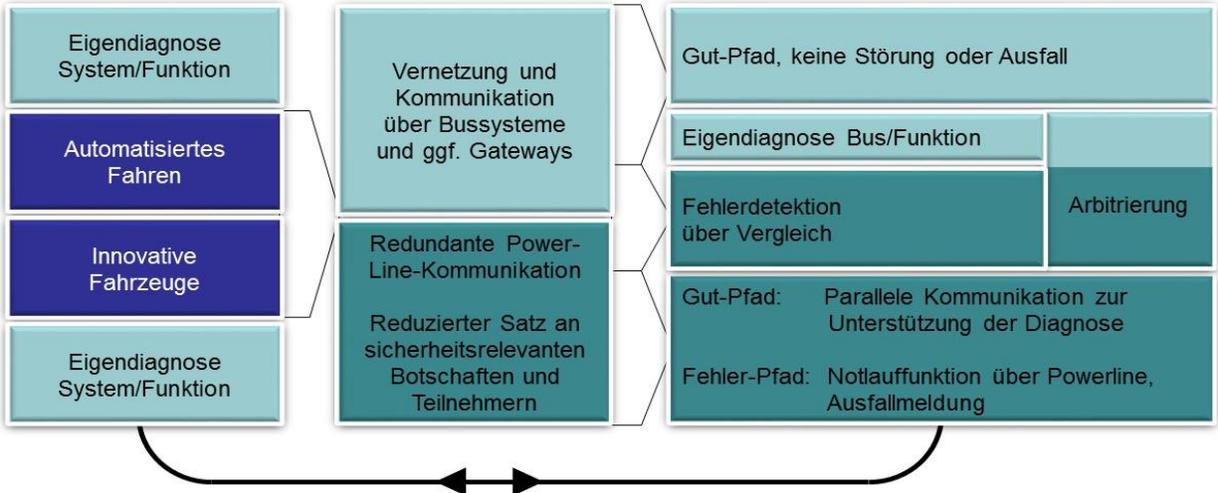
Abbildung 6: Prädiktives Leistungsmanagement

Sehr vorteilhaft ist, dass die Entwicklung und Implementierung zwar aufwendig sind, diese jedoch nur einmalig anfallen und ansonsten nur sehr geringe zusätzliche Hardware erforderlich wird.

Der vorgestellte Ansatz erlaubt letztendlich eine effektive Stabilisierung des Bordnetzes und damit die Vermeidung kritischer Versorgungszustände. Eine weitere Erhöhung der Zuverlässigkeit durch Redundanz wird im Folgenden unter *Architektur* und *Topologie* adressiert.

Architektur: Aufgrund der erforderlichen Redundanz zu bestehenden CAN-, Ethernet-, Lin-Bussystemen, welche bei innovativen Fahrzeugen und insbesondere beim automatisierten Fahren erforderlich sind sowie im Hinblick auf die Vielzahl von angesprochenen Sensoren und Aktuatoren, bietet sich aus Aufwands-, Kosten- und Gewichtsgründen der Aufbau einer zweiten, unabhängigen Busstruktur im Fahrzeug nicht an. Zur Redundanzabsicherung der Kommunikation kommt hier eine auf Powerline (PLC) basierende Datenübertragung in Frage. Für PLC im Fahrzeug wurden bereits erste Schaltkreise vorgestellt, welche jedoch deutliche Einschränkungen aufweisen und für das aufgezeigte Forschungsvorhaben ungeeignet sind. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sollen deshalb alternative Konzepte, basierend auf adaptiven Mehrträgerverfahren (OFDM) und Fehlerschutz (Adaptive Modulation and Coding) untersucht werden, um so eine robuste Kommunikation über die Versorgungsleitungen des Fahrzeuges zu gewährleisten. Neben den beiden unteren Layern (Physical- und Link-Layer) sind des Weiteren Medienzugriffsverfahren wie CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) oder TDMA (Time Division Multiple Access) auf deren Echtzeitanforderungen im Bordnetz zu untersuchen und die entsprechenden Protokolle anzupassen.

Abbildung 7 zeigt die Potentiale einer redundanten PLC-Kommunikation auf Funktionsebene.



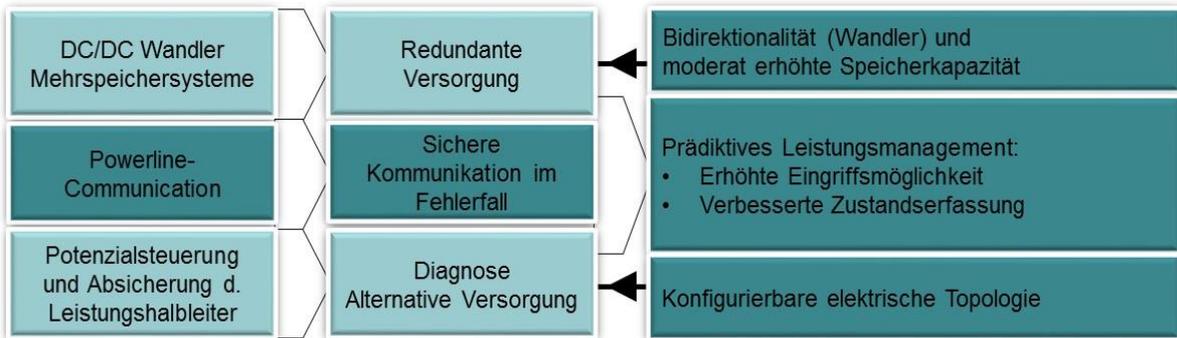
Dunkelgrün: Neue Systeme; Hellgrün: Bestehende Systeme, auf welchen aufgebaut wird.

Abbildung 7: Redundante Kommunikation über PLC

Die auf diese Weise realisierte heterogene Redundanz, also die hard- und softwaretechnische Nutzung alternativer Kommunikationswege, gilt als besonders sicher. Da zudem die Kommunikation nur dann Sinn macht, wenn die Leistungsversorgung des entsprechenden Knotens intakt ist, ist die Nutzung der Versorgungsleitungen für die Kommunikation im Fehlerfall ein weiterer Vorteil.

Topologie: Die folgenden zwei Entwicklungen im Bordnetz sollen für die Erhöhung der Zuverlässigkeit ausgenutzt werden, siehe Abbildung 8:

- Künftige Bordnetztopologien werden zumindest zwei Spannungsebenen und einen DC/DC-Wandlern aufweisen, wobei zur Entlastung des Wandlers auf beiden Ebenen in der Regel jeweils ein Speicher/Puffer vorgesehen wird. Der Ansatz ist nun, diese implizite Redundanz durch bidirektionale Auslegung des Wandlers und geringfügig höhere Dimensionierung der Speicher zu nutzen.



Dunkelgrün: Neue Systeme; Hellgrün: Bestehende Systeme, auf welchen aufgebaut wird.

Abbildung 8: Redundante Notlaufversorgung über das erweiterte Mehrspannungsbordnetz bzw. Schaltung alternativer Versorgungswege und erhöhte Diagnostiefe über intelligente Leistungshalbleiter

- Künftig werden Leistungshalbleiter zunehmend für die Potentialsteuerung und Absicherung im Bordnetz eingesetzt werden. Die damit verbundene Diagnosefähigkeit, Schaltfunktion und Rücksetzbarkeit lassen sich exzellent für das oben beschriebene prädiktive

Leistungsmanagement nutzen. Darüber hinaus bietet sich damit erstmals die Möglichkeit, die elektrische Topologie während des Betriebes zu verändern, z.B. im Fehlerfall eine sicherheitskritische Komponente über einen anderen, noch intakten Kreis zu versorgen.

Wie zuvor wird auch hier die Infrastruktur zukünftiger Bordnetze lediglich erweitert, kommende Entwicklungen also synergetisch genutzt und so der spezifische Aufwand für die Erhöhung der Zuverlässigkeit deutlich reduziert. Auch zeigt Abbildung 8, wie sich die Ansätze gegenseitig bedingen und ergänzen.

2.2 Ausführliche Beschreibung des Arbeitsplans/Aufgabenstellung

Das Projekt startet am 01.03.2017 und war in sechs Arbeitspakete unterteilt, wie in untenstehender Abbildung 9 ersichtlich.

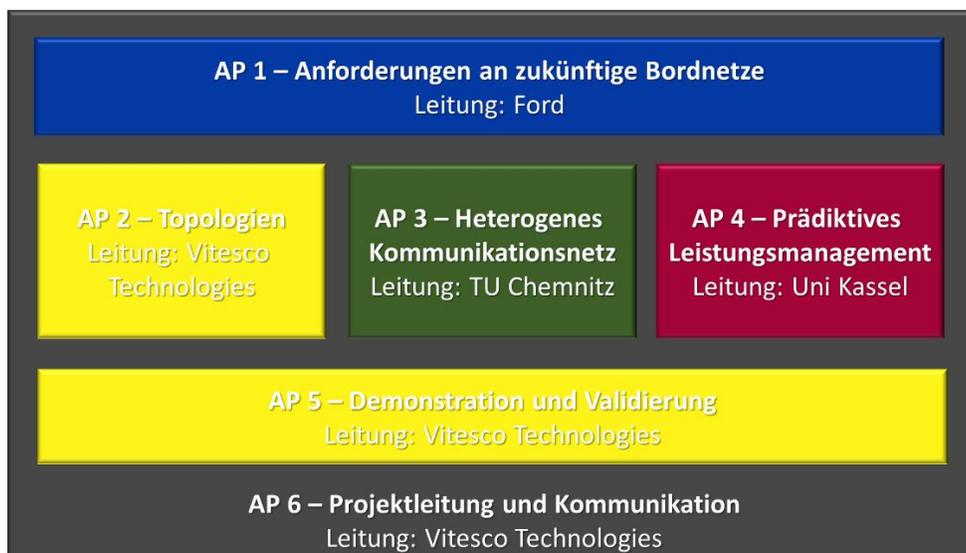


Abbildung 9: Arbeitspakete im Projekt ToSKa

Die Ergebnisse des ersten Arbeitspakets, „Anforderungen an zukünftige Bordnetze“, waren Grundlage für die folgenden Arbeitspakete zwei bis vier und beinhalteten neben den Anforderungen an das Fahrzeugbordnetz und dessen Komponenten ebenfalls die Auswahl von Metriken zur Bordnetzbewertung, die Festlegung sicherheitskritischer Komponenten, die Definition kritischer Fahrsituation und die Ermittlung des Leistungsbedarfs und der benötigten Versorgungsstabilität elektrischer Fahrzeugkomponenten.

Die Ergebnisse aus dem zweiten Arbeitspaket „Topologien“ fanden ihre Anwendung in den Arbeitspaketen vier und fünf, durch die Auswahl der Zieltopologie. Zur Festlegung der Zieltopologie wurden vorab verschiedene Bordnetz-Topologien aufgestellt und hinsichtlich Leistungsfähigkeit und Kosteneffizienz sowie Ausfallsicherheit, Skalierbarkeit und Kontrollierbarkeit bewertet.

Das Arbeitspaket „Heterogenes Kommunikationsnetz“ lieferte als Ergebnis ein im Fahrzeug integriertes und optimiertes PLC Übertragungssystem, das im Arbeitspaket fünf zur Anwendung kam. Des Weiteren wurde im dritten Arbeitspaket ein Simulationsmodell zur Bestimmung des zeit- und frequenzselektiven Übertragungskanals entwickelt.

Das vierte Arbeitspaket stellte den letzten Baustein für das Arbeitspaket 5 bereit, ein Algorithmus für ein prädiktives Leistungsmanagement. Die Erstellung dieses Algorithmus beinhaltete, unter anderem, die Ableitung der Anforderungen aus dem Bereich automatisiertes Fahren, die Entwicklung eines Schätzverfahrens für den Leistungsbedarf, die Erstellung von Prognosemodellen für die zur Verfügung stehende Leistungsreserve, die Beurteilung der Kritikalität, die Erstellung einer Stabilitätsprognose und die Identifikation von Gegenmaßnahmen auf Verbraucher- und Erzeugerebene.

Im fünften Arbeitspaket „Demonstration und Validierung“ wurden alle oben beschriebenen Teilergebnisse zusammengetragen und der Funktionsnachweis des prädiktiven Leistungsmanagements, Stabilisierung und Erhöhung der Versorgungssicherheit des Bordnetzes, in einem Versuchsfahrzeug erbracht.

Das sechste Arbeitspaket beinhaltete die Projektleitung und Dokumentation des Projektes ToSKa.

Jedes dieser Arbeitspakete wurde in weitere Teil-Arbeitspakete aufgeteilt, welches letztendlich zu dem nachfolgenden Projektplan führte. Dem ursprünglichen Plan wurde, mit wenigen Änderungen, gefolgt. Zusätzliche Meilensteine, für interne Berichtsperioden, wurden noch hinzugefügt. Zusätzlich sind in diesem Plan noch die großen Abbruchmeilensteine für das Gesamtprojekt eingetragen.

In nachfolgender Graphik ist die zeitliche Abfolge der Arbeitspakete zu sehen, sowie die Meilensteinplanung des Projektes ToSKa.

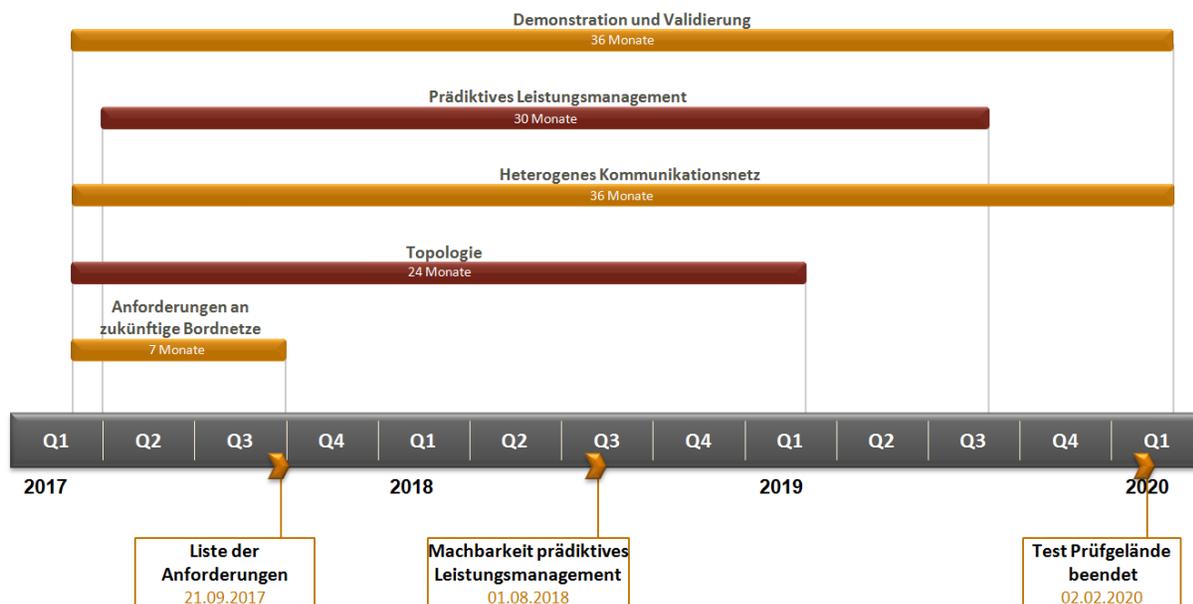


Abbildung 10: Zeit- und Meilensteinplanung des Projektes ToSKa

Bei einer zeitlichen Verfehlung der Meilensteine hätte dies in allen drei Fällen zu einer zeitlichen Verzögerung im Projekt geführt. Wäre im Laufe des Projektes ersichtlich geworden, dass das prädiktive Leistungsmanagement nicht realisiert werden kann, wäre eine Weiterführung des Projektes nicht mehr zielführend gewesen. Aus diesem Grund konnte bei einer technischen Verfehlung des zweiten Meilensteines, Machbarkeit prädiktives Leistungsmanagement, ein

vorzeitiger Abbruch des Projektes vorgesehen werden. Der Nachweis über die Machbarkeit des prädiktiven Leistungsmanagements konnte zum vorgesehenen Meilenstein, am 01.08.2018, erbracht werden. Auch die beiden anderen Meilensteine konnten, wie geplant, nachgewiesen werden.

2.3 Voraussetzungen unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt ToSKa wurde als Verbundprojekt mit insgesamt vier Partnern durchgeführt. Die Partner waren

- Ford-Werke GmbH, Aachen
- Universität Kassel, FG Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik
- Technische Universität Chemnitz, Professur Digital- und Schaltungstechnik
- Vitesco Technologies GmbH, Regensburg

Jeder der Projektpartner hatte seine eigenen Arbeitsbereiche und Arbeitspakete. Die Synchronisierung erfolgte in Regelterminen, web-basiert, in wöchentlichen Besprechungen und als Präsenzveranstaltungen mindestens zweimal jährlich. Die Präsenzveranstaltungen wurde jeweils bei einem anderen Projektpartner, in den entsprechenden Standorten, betreut und durchgeführt.

Vitesco Technologies hatte zudem jeweils einen Unterauftrag an

- Cognition Factory GmbH für die Unterstützung in den Arbeitspaketen und an
- Context AG zur Moderation der FMEA, die während der Projektlaufzeit erstellt wurde,
- Continental Automotive GmbH (durch die Neugestaltung des Continental Konzern, wurde eine Unterbeauftragung der Continental Automotive GmbH notwendig)

vergeben.

2.4 Zusammenarbeit mit anderen

In dem Vorhaben ToSKa gab es eine klare Arbeitsteilung zwischen den Industrie - und den wissenschaftlichen Partnern. Die Industriepartner fokussierten sich in erster Linie auf das Themenumfeld Anforderungen der Energieversorgung und Leistungsbereitstellung, sowie auf die Umsetzung und Integration im automatisierten Fahrzeugumfeld. Der wissenschaftliche Anteil wurde insbesondere von den Universitäten bearbeitet. Dabei waren die größten Anteile die Entwicklung des prädiktiven Leistungsmanagement, durch die Universität Kassel, und die notwendige, redundante Kommunikation durch eine Power Line Communication von der TU Chemnitz zu realisieren. Für das prädiktive Leistungsmanagement ist ein direkter Zugriff auf alle Steuergeräte und Lasten notwendig. Daher bietet sich auch die Versorgungleitung der Lasten als redundanter Kommunikationskanal an. Neue Verfahren der PLC, die besonders EMV unempfindlich sind wurden dabei von einem wissenschaftlichen Partner untersucht und umgesetzt. Unterstützt wurden diese Aktivitäten von den beiden Partnern Ford und Vitesco Technologies, um hierbei die Randbedingungen einer fahrzeuggerechten Integration und industriell umsetzbaren Lösungen sicher zu stellen. Die Fahrzeugdarstellung wurde von den

Industriepartnern übernommen. Eine prinzipielle Darstellung der Arbeitsvernetzung, der einzelnen Partner im Projekt ToSKa, ist in Abbildung 11 zu sehen.

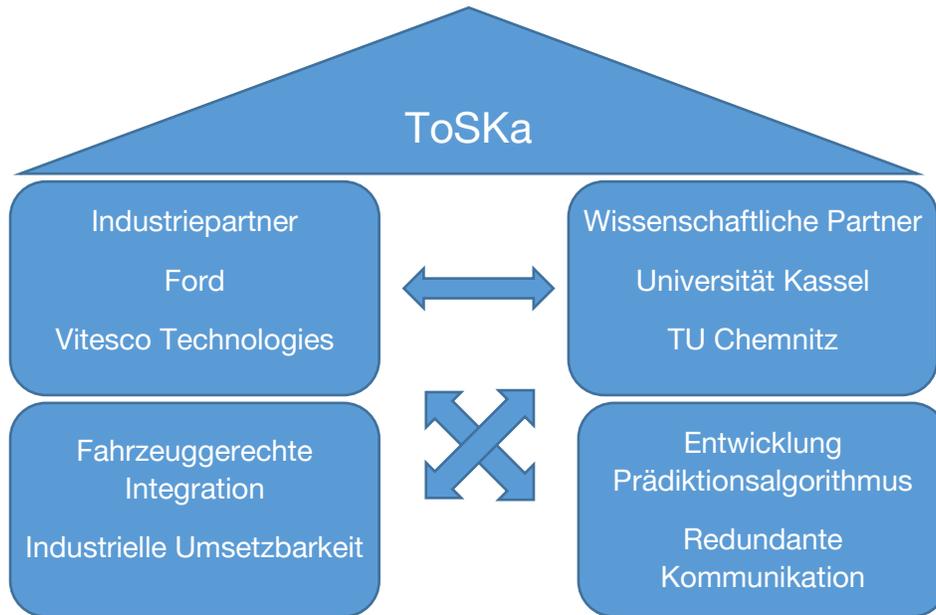


Abbildung 11: Prinzipielle Arbeitsvernetzung von ToSKa

3 Kurzdarstellung der Ergebnisse aus den Arbeitspaketen

Im Folgenden wird eine Zusammenfassung der fünf, inhaltlichen Arbeitspakete dargestellt. Detaillierte Ergebnisse sind in den individuellen Abschlussberichten der Partner zu finden.

3.1.1 Anforderungen an zukünftige Fahrzeug-Bordnetze AP1

Automatisierte Fahrzeuge haben auf Grund der notwendigen Sensorik und Rechenkapazität einen erhöhten elektrischen Leistungsbedarf gegenüber konventionellen Fahrzeugen. Darüber hinaus erhöhen Technologien zur Verbesserung des Fahrkomforts (z.B. aktive Fahrwerksysteme) sowie zur Steigerung der Energieeffizienz (z.B. elektrische Kompressoren) den Leistungsbedarf weiter.

Im Rahmen des Arbeitpaketes erfolgte die Festlegung der Rahmenbedingungen der geplanten Forschungsarbeiten hinsichtlich der zu untersuchenden Fahrzeugklassen mit der Zusammenstellung der zu erwartenden Verbraucher, Wandler, Speicher und Quellen und deren elektrischen Eigenschaften. Darüber hinaus wurden Use-Cases mittels sogenannter EPIC's definiert. Anhand dieser Use-Cases wurde die Leistungsfähigkeit der zu entwickelten Konzepte untersucht. Zusätzlich wurden Kriterien und Metriken definiert, mit deren Hilfe Bordnetzstabilität, die Verfügbarkeit der Versorgung und die Zuverlässigkeit der Kommunikation bewertet werden konnte.

Im Einzelnen hatte das AP1 folgende Unterpunkte:

- AP 1.1: Ermittlung des Leistungsbedarfs elektrischer Fahrzeugkomponenten
- AP 1.2: Definition kritischer Fahrsituationen für automatisierte Fahrzeuge
- AP 1.3: Festlegung der sicherheitskritischen Komponenten
- AP 1.4: Anforderungen an das Fahrzeug-Bordnetz und dessen Komponenten
- AP.1.5: Auswahl von Metriken zur Bewertung von Fahrzeug-Bordnetzen

Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse ist in den Partnerberichten zu finden. Insbesondere bei den Partnern Ford und Vitesco Technologies.

3.1.2 Topologien AP2

Eine Steigerung der Leistungsfähigkeit und Ausfallsicherheit von Fahrzeug-Bordnetzen lässt sich durch das Hinzufügen neuer oder redundanter Komponenten erreichen, sowie durch die Steigerung der Ausfallsicherheit einzelner Komponenten. Hierdurch ergibt sich eine Anzahl von Freiheitsgraden für den Entwickler.

Basierend auf Literaturstudien und der im Projektteam vorhandenen Expertenwissen konnten mögliche Bordnetztopologien entwickelt und beurteilt werden. Dabei wurden Ein- und Mehrspannungsbordnetze in einfacher und redundanter Ausführung berücksichtigt. Die Integration unterschiedlicher Energiewandler und –speicher, sowie schaltbarer Zusatzspeicher und intelligenter Absicherungen war dabei ein wesentlicher Fokus. Im Laufe des Projektes kristallisierte sich immer mehr eine Ziel-Topologie heraus, die sich bzgl. Kosten, Robustheit und Komplexität am geeignetsten zeigte, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. An dieser Topologie wurde dann eine System FMEA durchgeführt, um mögliche Schwachstellen aufzudecken und entsprechende Gegenmaßnahmen zu identifizieren. Letztendlich wurde diese Topologie in dem Tool Pree-Vision modelliert.

Im Einzelnen hatte das AP2 folgende Unterpunkte:

- AP 2.1: Aufstellung von Bordnetz-Topologien
- AP 2.2: Aufstellung der Diagnosemöglichkeiten (Leistungs- und Fehlerdiagnose)
- AP 2.3: E/E Systeme
- AP 2.4: Aufstellung der Ziel Topologie

Auch hier ist eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse in den Partnerberichten zu finden. Insbesondere bei den Partner Ford und Vitesco Technologies.

3.1.3 Heterogenes Kommunikationsnetz AP3

In einem modernen Fahrzeug ist eine Vielzahl unterschiedlicher Funktionen miteinander vernetzt. Gemeinsam formen sie ein System das für den Fahrer durch sein Verhalten erlebbar wird. Abhängig von der jeweiligen Funktionsklasse ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an das zur Vernetzung verwendete Kommunikationssystem.

Bei ToSKa standen vor allem die Funktionen im Vordergrund, die für das teilautonome Fahren benötigt werden. So sollte das Fahrzeug beispielsweise bei Auftreten eines Fehlers im Bordnetz in der Lage sein, selbständig ein Minimum-Risk-Manöver auszuführen und zu einem sicheren Halt kommen. Dies setzt jedoch voraus, dass das Fahrzeug weiterhin in der Lage ist, seine Umgebung korrekt zu erkennen, um die richtigen Aktionen einzuleiten. Zu diesem Zweck müssen auch die dafür beteiligten Funktionen korrekt funktionieren und Daten miteinander austauschen können. Um eine sichere, redundante Kommunikation zu gewährleisten wurde, parallel zu der CAN-Kommunikation, eine Power-Line-Communication (PLC) angestrebt.

Als Grundlage diente das virtuelle Modell eines zukünftigen Fahrzeugs mit teilautonomen Fahrfunktionen. Es ist mit den dazu benötigten Sensoren und Aktuatoren ausgestattet, um seine Umgebung zu erfassen und selbständig Aktionen auszuführen. Auf Basis von Simulationen wurde ein PLC System aufgebaut, optimiert sowie in der Fahrzeugumgebung implementiert und erfolgreich erprobt.

Im Einzelnen hatte das AP3 folgende Unterpunkte:

- AP 3.1: Systemspezifikation
- AP 3.2: Aufbau eines PLC-Übertragungssystems
- AP 3.3: Entwicklung eines Simulationsmodells zur Bestimmung des zeit- und frequenzselektiven Übertragungskanal
- AP 3.4: Implementierung im Fahrzeugumfeld
- AP 3.5: Optimierung hinsichtlich fahrzeugspezifischer Anforderungen

Auch hier ist eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse in den Endberichten der Partner zu finden. Insbesondere bei den Partner TU Chemnitz und Vitesco Technologies.

3.1.4 Prädiktives Leistungsmanagement AP4

Eine Überforderung des Bordnetzes droht in künftigen innovativen und autonomen Fahrzeugen, welche in letzter Konsequenz dazu führt, dass Steuergeräte außerhalb der Spezifikation der Versorgungsspannung betrieben werden. Dies kann zum Reset und zu einem Re-Boot der Steuergeräte führen. In dieser Zeit ist die Funktion des Steuergerätes nicht verfügbar und fahrsicherheitsrelevante Funktionen können nicht ausgeführt werden. Dies gilt es unbedingt zu vermeiden.

Die durch das automatisierte Fahren mögliche Vorhersage der kurz- und mittelfristig bevorstehenden Fahrzustände wurde für eine Prognose der Leistungsaufnahme der antriebs- und fahrdynamikrelevanten elektrischen Verbraucher genutzt. Zusätzlich ermöglichte die Erfassung der übrigen, weit weniger sicherheitskritischen Verbraucher die Bestimmung des zu

erwartenden Lastprofils. In Verbindung mit den bekannten aktuellen Zuständen von Generator, Speicher und Wandler ließ sich daraus eine Stabilitätsprognose erstellen. In einem speziell ausgestatteten Fahrzeugversuchsträger wurden die Algorithmen erprobt, optimiert und ihre Leistungsfähigkeit erfolgreich demonstriert.

Im Einzelnen hatte das AP4 folgende Unterpunkte:

- AP 4.1: Anforderungen des prädiktiven Leistungsmanagements an die abgeleiteten Daten aus dem automatisierten Fahren
- AP 4.2: Schätzverfahren für den Leistungsbedarf
- AP 4.3: Prognosemodelle für die zur Verfügung stehende Leistungsreserve
- AP 4.4: Beurteilung der Kritikalität und Erstellung einer Stabilitätsprognose
- AP 4.5: Identifikation und Einleitung von Gegenmaßnahmen auf Verbraucher- und Erzeugerebene

Die Ergebnisse sind in detaillierter Form in den Endberichten der Partner zu finden. Insbesondere bei den Partnern Universität Kassel und Vitesco Technologies.

3.1.5 Demonstration und Validierung AP5

In Kooperation der Partner Vitesco Technologies, Ford, der Universität Kassel und Universität Chemnitz wurden die im Rahmen des Projektes ToSKa die erarbeiteten Ergebnisse teilweise im Labor, aber auch in einem Versuchsfahrzeuge demonstriert. Das Versuchsfahrzeug, ein Ford Mondeo mit maximaler Ausstattung von elektrischen Verbrauchern, wurde von FORD zur Verfügung gestellt und entsprechend der Anforderungen des automatisierten Fahrens adaptiert, angepasst und umgebaut.

Die Änderungsmaßnahmen im Fahrzeug umfassten:

- Austausch der notwendigen Sensorik durch Komponenten von Vitesco Technologies
- Implementierung der ToSKa Topologie mit zwei redundanten Board Netzen (Haupt und Sekundär, bzw. Zweig 1 & 2 oder Branch 1 & 2), dynamisch trennbar durch einen intelligenten Schalter.
- Die Erweiterung der ToSKa Topologie um zwei redundante Kommunikationswege durch CAN Bus und Power Line Communication.
- Die Stabilisierung des Haupt Board Netzes mit dem prädiktiven Leistungsmanagement.

Diese umfangreichen Änderungsmaßnahmen im Fahrzeug wurden von Vitesco Technologies durchgeführt.



Abbildung 12: ToSKa Demonstration Fahrzeug: Ford Mondeo 2.0 EcoBoost

Die Umsetzung der Ergebnisse konnten erfolgreich während des Abschluss-Events, in Aldenhoven nahe Aachen, demonstriert werden.

Im Einzelnen hatte das AP5 folgende Unterpunkte:

- AP 5.1: Fahrzeugauswahl und Vorbereitung
- AP 5.2: Ermittlung von Testdaten im Fahrzeug zur Algorithmus Entwicklung
- AP 5.3: HW Integration zusätzlicher Sensorik, Aktuatorik, Stützsysteme
- AP 5.4 SW Integration E-Horizon, Prädiktion
- AP 5.5: Algorithmus- Basistest Fahrzeugprüfstand
- AP 5.6: Funktionsanpassung und Optimierung
- AP 5.7: Algorithmus Test Fahrzeugprüfstand
- AP 5.8: Algorithmus Test Prüfgelände

Da in dem Fahrzeugdemonstrator alle Partner ihre Arbeitsergebnisse demonstrieren konnten, sind die entsprechenden Ergebnisse in den individuellen Endberichten zu finden.

4 Zahlenmäßiger Nachweis

Das Projekt ToSKa erhielt eine Förderung von

2.020.671 €

über das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Betreut wurde das Projekt vom TÜV Rheinland als Projektträger.

Die Projektlaufzeit war vom 03.2017 bis 02.2020. Das Projekt wurde von Vitesco Technologies als Federführer geleitet und von 3 weiteren Partnern mit bearbeitet.

- Vitesco Technologies GmbH, Regensburg Industrie
- Ford Werke GmbH, Aachen Industrie
- Universität Kassel Universität
- Technische Universität Chemnitz Universität

Die Mitarbeit von KMU's wurden als Unteraufträge von der Industrie im Projekt realisiert.

5 Ursprüngliche Ziele und deren Erreichung

Das Verbundprojekt ToSKa adressierte den dritten Cluster „Querschnittsthemen“ des Fachprogramms „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologie“ und die dort konkretisierten Ansätze:

- *„Höhere Effizienz des Energie- und Antriebsmanagements von künftigen Fahrzeugen in Wechselwirkung mit dem Informationsfluss für das automatisierte Fahren“* und
- *„Fortschrittliche E/E-Architekturen als Nervenbahnen in innovativen Fahrzeugen als wichtige Grundlage für die Realisierung der höheren Automatisierungsgrade“*.

Darüber hinaus leiste es einen wichtigen Beitrag für die funktionale Sicherheit der beiden Cluster „Automatisiertes Fahren“ und „Innovative Fahrzeuge“, für welche eine zuverlässige stabile Energieversorgung und Kommunikation bei erweitertem Vernetzungsgrad und erhöhter Leistungsaufnahme zwingende Voraussetzungen sind. Wesentlicher Aspekt im Sinne der Wechselwirkung der drei Cluster ist, dass nicht einfach ein konventionelles besseres Bordnetz entwickelt wird, sondern spezifisch die neuen Potentiale der Leistungsprädiktion und Regeltiefe genutzt und um eine heterogene Redundanz der Kommunikation ergänzt wurden.

Das Vorhaben basierte auf folgenden Annahmen:

- Das „automatisierte Fahren“ stellt außerordentlich hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit.
- Eine signifikant steigende, elektrische Leistungsaufnahme beim automatisierten Fahren und seitens innovativer Fahrzeuge ist zu erwarten
- Die Zuverlässigkeit der Energie- und Signalverteilung wird zur wichtigsten und unabdingbaren Voraussetzung zur Einführung beider Technologien.

- Eine evolutionäre Weiterentwicklung des konventionellen Bordnetzes würde den Anforderungen nur eingeschränkt erfüllen und wäre nur mit zusätzlichen und teilweise überdimensionierten Komponenten umzusetzen, was mit Kosten- und Gewichtszunahme sowie niedriger Energieeffizienz einhergehen würde.
- Ein prädiktives Leistungsmanagement, welches die neuen autonomen Fahrfunktionen auch für die Voraussage der zu erwartenden Leistungsanforderungen der antriebs- und fahrdynamikrelevanten elektrischen Verbraucher nutzt, ist in der Lage, sicherheitskritische Zustände zu antizipieren und über vorzeitig eingeleitete Maßnahmen der Last-, Generator- und Wandlerregelung zu kompensieren. Die Effizienz dieser Methode wird über die Topologie des Mehrspannungsbordnetzes und eine Potentialsteuerung mittels Leistungshalbleiter optimiert.
- Spezifisch nur für den Erhalt sicherheitskritischer Funktionen zu entwickelnde Powerline-basiertes zusätzliches Bussystem ist als eine heterogene Redundanz in der Lage, im Notfall für die sichere Kommunikation und Vernetzung der relevanten Systeme zu sorgen.

Basierend auf den drei Säulen des Projektes ToSKa ließen sich folgende relevante Indikatoren festlegen:

- Leistung und Energie
- Architektur
- Topologie

An dieser Stelle sind nur die Ergebnisse, anhand der Erhöhung des Technical Readiness Level (TRL) als Zielerreichung zum Ausdruck gebracht.

Indikatoren	TRL Ziele zu Projekt-Beginn	
	2017	2020
Leistung und Energie	5	5
Architektur	4-5	4
Topologie	5-6	5

Tabelle 1: TRL zu Beginn und Ende des Verbundprojekte ToSKa für gesetzte Indikatoren.

6 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Für die Erreichung des Projektziels „Bordnetz-Topologie, -Stabilisierung und -Kommunikation für zu-künftige Fahrzeuganforderungen bis hin zum automatisierten Fahren“ waren gegenüber dem Stand zu Projektbeginn, insbesondere im Hinblick auf die Leistungsversorgung, weitreichende Innovationen erforderlich. Diese zu entwickelnden waren der Schlüssel dafür, dass nicht nur

spezielle Szenarien demonstriert wurden, sondern ein Entwicklungsstand erreicht worden ist, auf dessen Grundlage eine solide Weiterentwicklung zu erweiterten Lösungen und Produkten erfolgen kann.

Als zentrale Schlüsselkomponente für weitere Lösungen erweist sich der während des Verbundprojektes ToSKa identifizierte intelligente Schalter, der IPS (Intelligent Power Switch) genannt wurde. In der ToSKa Topologie wurde er als bidirektionaler Schalter zur Auftrennung des Bordnetzes in zwei Teilnetze untersucht. Dieser kann aber auch weitere, vielfältige Aufgaben in der Versorgung und Sicherstellung der Bordnetzversorgung von Fahrzeugen übernehmen. Eine Überführung in Serienprodukte ist hier sicherlich ein möglicher nächster Schritt.

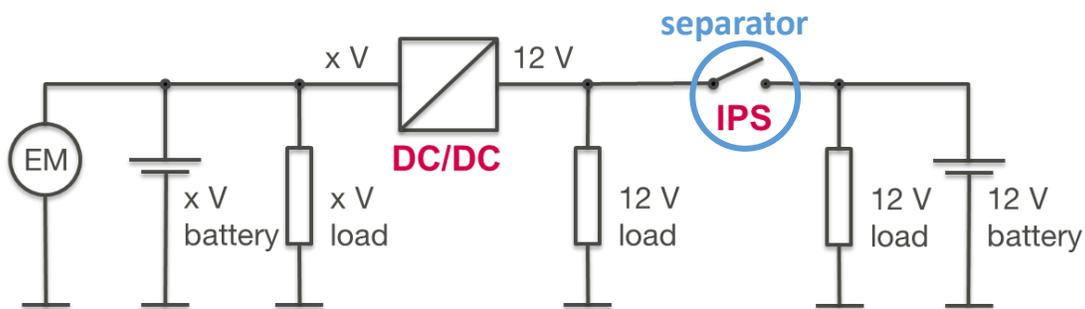


Abbildung 13: ToSKa Topologie mit einer 12V Batterie, DC/DC und Trennschalter (IPS)

Ein weiterer, deutlicher Entwicklungsschritt ist bei der Powerline Communication (PLC) erfolgt. Hier konnte eine Steigerung der Übertragungsrates von 1,3 Mbit/s auf teilweise mehr als 10 Mbit/s, welches durch die Einführung neuer Übertragungsverfahren erreicht wurde, erzielt werden. Aufbauend auf diesen Ergebnissen konnte bereits Anschlussarbeiten gestartet werden.

Nicht zuletzt sind die entwickelten Algorithmen zum prädiktiven Leistungsmanagement eine wichtige Basis zur Stabilisierung des Bordnetzes für autonome/teilautonome Fahrzeuge. Die Prädiktion der Leistung, über die Informationen der Umfeldsensorik der Fahrzeuge, hatte sich als erfolgversprechend gezeigt und bildet eine Grundlage für eine Weiterentwicklung. Da anzunehmen ist, dass der Peak-Leistungsbedarf in zukünftigen Fahrzeugen weiter zunehmen wird, ist dieses Ergebnis umso wertvoller anzusehen.

In Summe finden die erreichten Ergebnisse, aus dem Projekt ToSKa, bei allen Partnern eine weitere Anwendung und helfen dabei Deutschland, als Entwicklungsstandort für Innovationen und neue Technologien, zu sichern.

7 Erfolgte Veröffentlichungen

Während der Projektlaufzeit wurde auf eine frühe Darstellung und Bekanntmachung des Projektes auf nationalen Veranstaltungen Wert gelegt. In Zusammenarbeit mit den Partnern wurden folgende Vorträge über das Projekt ToSKa gehalten und veröffentlicht:

- Rainer Knorr, Projektvorstellung ToSKa im Harnack Haus, Fachtagung „Automatisiertes und vernetztes Fahren“, 2017, Berlin
- Björn Mohrmann, Janis Lehmann, Benjamin Löwer, Gangolf Hirtz, Christoph Ellenrieder, Stephanie Preisler, Vincent Vahée: ToSKa – Power Supply Topology, Stabilization and Communication for Future Vehicles and Automated Drive, 27th Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology, 2018, Aachen
- Björn Mohrmann, Ludwig Brabetz, Gangolf Hirtz, Stephanie Preisler: Project „ToSKa“, Power Supply Topologies, Stabilization and Communication for Future Vehicles and Automated Drive, EEHE – Electric & Electronic Systems in Hybrid and Electric Vehicles and Electrical Energy Management, 12.-13.06.2018, Würzburg
- Janis Lehmann, Benjamin Löwer, Mohamed Ayeb, Ludwig Brabetz: Prädiktives Leistungsmanagement für automatisierte Fahrzeuge, EEHE – Electric & Electronic Systems in Hybrid and Electric Vehicles and Electrical Energy Management, 22.05.2019, Bad Nauheim
- Janis Lehmann, Benjamin Löwer, Björn Mohrmann, Rainer Knorr: Prädiktives Leistungsmanagement für künftige Fahrzeugbordnetze, ATZextra 48 V, Springer Verlag, April 2019

Am 14. November 2019 fand ein Abschluss- und Fahrevent in Aldenhoven bei Aachen statt, mit Pressebeteiligung und entsprechenden Artikeln in der Automobilwoche und Tageszeitungen.

Zusätzlich zu all diesen Aktivitäten erhielt das Demonstrator-Fahrzeug ein entsprechendes Projektdesign, um auch im öffentlichen Straßenverkehr auf das Projekt aufmerksam zu machen.



Abbildung 14: ToSKa Demonstrator-Fahrzeug mit werbewirksamer Folierung

Mit dem Abschluss des Forschungsprojektes ToSKa sind zwei Dissertationen geplant, wobei sich eine mit der Prädiktion der Zustandswahrscheinlichkeiten und Umfelddaten befasst und die zweite die Kritikalitätsbewertung und Bordnetzsteuerung in einem prädiktiven Leistungsmanagement adressiert.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Stufen des automatisierten Fahrens; Quelle: Vitesco Technologies	2
Abbildung 2: Zusätzliche benötigte elektrische Leistung für Komponenten im Bereich autonomes Fahren; Quelle: Vitesco Technologies	3
Abbildung 3: Typische Lasten mit ihrer Aktivierungszeit und der Abdeckungsbereich von ToSKa	4
Abbildung 4: Säulen des Projektes ToSKa	7
Abbildung 5: Prognose der bevorstehenden Fahrzustände und des daraus resultierenden Leistungsverlaufs auf Basis der Umfeldsensorik des Fahrzeuges (Vitesco Technologies).....	8
Abbildung 6: Prädiktives Leistungsmanagement.....	9
Abbildung 7: Redundante Kommunikation über PLC	10
Abbildung 8: Redundante Notlaufversorgung über das erweiterte Mehrspannungsbordnetz bzw. Schaltung alternativer Versorgungswege und erhöhte Diagnosetiefe über intelligente Leistungshalbleiter	10
Abbildung 9: Arbeitspakete im Projekt ToSKa.....	11
Abbildung 10: Zeit- und Meilensteinplanung des Projektes ToSKa	12
Abbildung 11: Prinzipielle Arbeitsvernetzung von ToSKa	14
Abbildung 12: ToSKa Demonstration Fahrzeug: Ford Mondeo 2.0 EcoBoost	18
Abbildung 13: ToSKa Topologie mit einer 12V Batterie, DC/DC und Trennschalter (IPS).....	21
Abbildung 14: ToSKa Demonstrator-Fahrzeug mit werbewirksamer Folierung	22

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Bordnetz- Topologie, -Stabilisierung und -Kommunikation für zukünftige Fahrzeuanforderungen bis hin zum automatisierten Fahren	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Rainer Knorr, Vitesco Technologies Prof. Dr. Ludwig Brabetz, Uni Kassel Prof. Dr. Ganglof Hirtz, TU Chemnitz Dr. Björn Mohrmann, Ford	5. Abschlussdatum des Vorhabens Februar 2020
	6. Veröffentlichungsdatum August 2020
	7. Form der Publikation Berichtsband
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <ol style="list-style-type: none"> 1. Vitesco Technologies GmbH, Siemensstr. 12, D-93055 Regensburg 2. FG Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik, Universität Kassel (FSG), Wilhelmshöher Allee 73, 34121 Kassel 3. Ford-Werke GmbH, Süsterfeldstr. 200, 52072 Aachen 4. Technische Universität Chemnitz, Professur Digital- und Schaltungstechnik (DST), Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz 	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen <div style="text-align: right;"> 19A17003A 19A17003B 19A17003C 19A17003D </div>
	11. Seitenzahl 23
	12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin
13. Literaturangaben 0	
14. Tabellen 1	
15. Abbildungen 14	
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Automatisiertes Fahren und Innovative Fahrzeugen ist gemein, dass sie außerordentlich hohe Anforderungen an die funktionale Sicherheit stellen und gleichzeitig zu einer signifikant steigenden elektrischen Leistungsaufnahme führen. Die Zuverlässigkeit der Energie- und Signalverteilung ist hierfür wohl wichtigste und unabdingbare Voraussetzung. Für die sichere Energieversorgung sah das Konzept ein prädiktives Leistungsmanagement vor, welches die neuen autonomen Fahrfunktionen auch für die Voraussage der zu erwartenden Leistungsanforderungen nutzt. Auf diese Weise wurden sicherheitskritische Zustände antizipiert und über vorzeitig eingeleitete, energetische Maßnahmen kompensiert. Die Effizienz dieser Methode wurde über die Topologie des Mehrspannungsbordnetzes und eine Potenzialsteuerung mittels Leistungshalbleiter optimiert. Für die sichere Kommunikation wurde eine heterogene Redundanz über ein Powerline-basiertes zusätzliches Bussystem vorgesehen. Dieses System wurde spezifisch nur für den Erhalt sicherheitskritischer Funktionen im Notfall ausgelegt, so dass der zusätzliche Aufwand deutlich reduziert werden konnte.	
19. Schlagwörter Bordnetz, Topologie, autonomes Fahren, Energieversorgung, Leistungsprädiktion	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN planed	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. Title Boardnet, topology, stabilization and communication for future vehicle requirements up to automated driving	
4. autho(s) (family name, first name(s)) Rainer Knorr, Vitesco Technologies Prof. Dr. Ludwig Brabetz, Uni Kassel Prof. Dr. Ganglof Hirtz, TU Chemnitz Dr. Björn Mohrmann, Ford	5. end of project February 2020
	6. publication date August 2020
	7. form of publication single volume edition
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) 1. Vitesco Technologies GmbH, Siemensstr. 12, D-93055 Regensburg 2. FG Fahrzeugsysteme und Grundlagen der Elektrotechnik, Universität Kassel (FSG), Wilhelmshöher Allee 73, 34121 Kassel 3. Ford-Werke GmbH, Süsterfeldstr. 200, 52072 Aachen 4. Technische Universität Chemnitz, Professur Digital- und Schaltungstechnik (DST), Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz	9 originator's report no.
	10. reference no. 19A17003A 19A17003B 19A17003C 19A17003D
	11. no. of pages 23
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 11019 Berlin	13. no. of references 0
	14. no. of tables 1
	15. no. of figures 14
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract An extraordinary high demand on functional safety and at same time a high increasing request on electrical power are autonomous driving and innovate vehicles are in common. The reliability of the energy and signal distribution are the most important precondition. For the secure energy supply the concept used a predictive power management which reused the new autonomous driving information to predict also up-coming power requests in short time. By this approach safety relevant driving situations could be determined, and load counter measures could be started in advance. The efficiency of this method could be improved by a new multiple voltage powernet topology based on a potential control via power semiconductors. For the secure communication an additional heterogenous redundancy via power-line was chosen. This system was specific designed only for the survive of safety critical functions at emergency. Caused by this the additional effort could be reduced significantly.	
19. keywords Powernet, boardnet, topology, autonomous driving, energy supply, power prediction	
20. publisher	21. price