

Technologieradar für automatisierte und vernetzte Mobilität

Bassem Hichri
Institut für Fahrzeugtechnik
Niedersächsisches Forschungszentrum Fahrzeugtechnik



Technologie Klassifizierung



- Die im Technologieradar dargestellten Technologien werden in drei Reifegradstufen unterteilt:



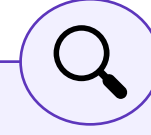
0 – 5 Jahre

Technologien, die bereits einsatzbereit sind und aktiv in der Industrie implementiert werden. Unternehmen sollten diese Technologien in ihre Strategien einbinden.



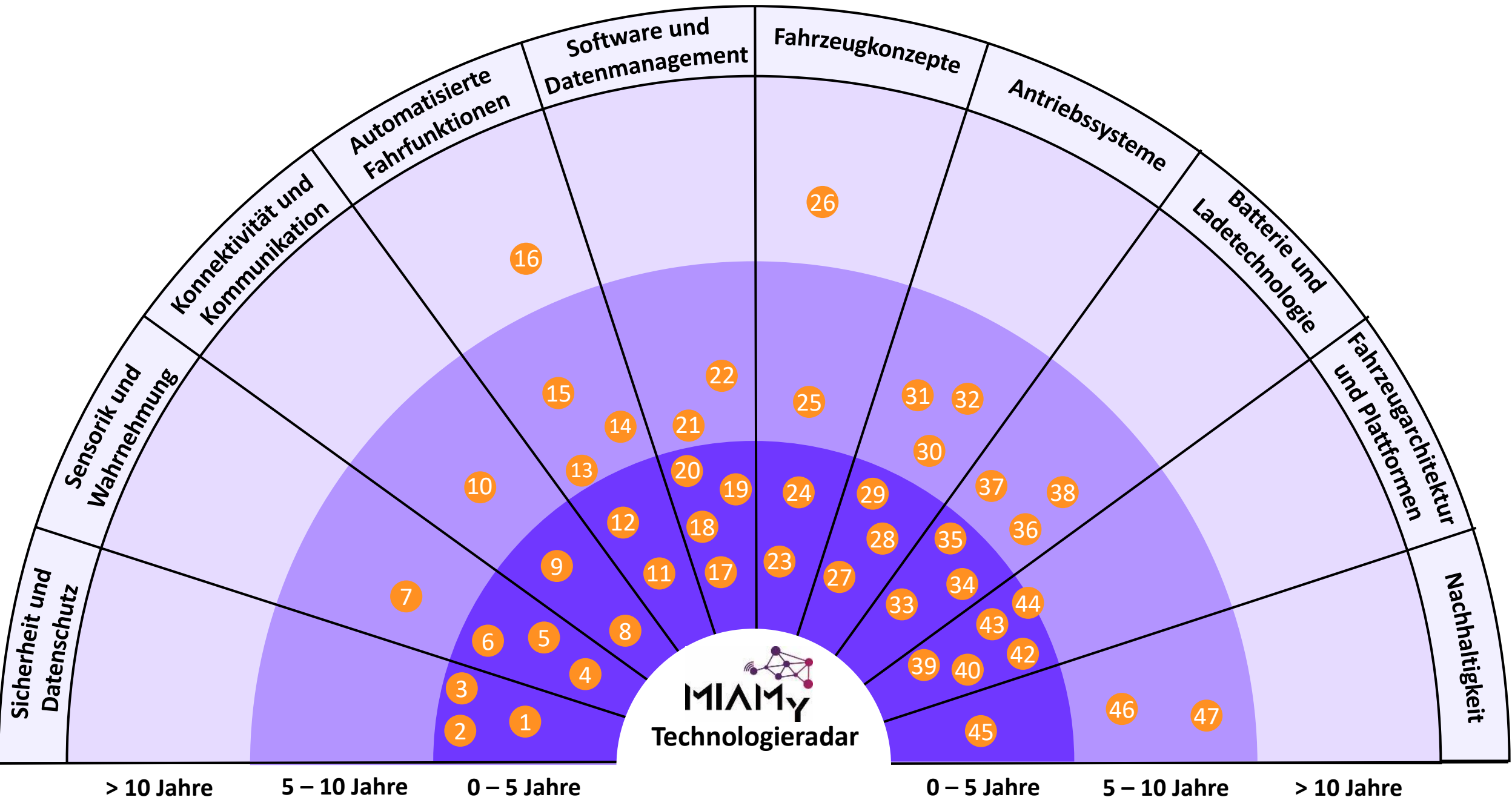
5 – 10 Jahre

Technologien, die sich in der Entwicklung oder frühen Testphase befinden. Sie haben großes Potenzial und sollten strategisch vorbereitet werden.



> 10 Jahre

Zukunftstechnologien, die noch in der Forschungs- oder Konzeptphase sind. Sie sollten hinsichtlich ihrer Entwicklung und Marktchancen überwacht werden.



Cybersecurity



Beschreibung:

Cybersecurity umfasst alle Maßnahmen zum Schutz von Fahrzeugen, Kommunikationssystemen und Backend-Infrastrukturen vor digitalen Angriffen, Manipulationen und unbefugtem Zugriff.

Diese Maßnahmen werden durch internationale Normen und Regularien (z. B. ISO/SAE 21434, UNECE R155) verbindlich vorgegeben.

Vorteile:

- Schutz kritischer Fahrzeugfunktionen vor Manipulation oder Fernangriffen
- Erhöhung von Vertrauen und Akzeptanz gegenüber vernetzter und automatisierter Mobilität
- Ermöglicht sichere OTA-Updates und Flottenmanagement

Herausforderungen:

- Komplexität verteilter Fahrzeug- und Backend-Systeme
- Wachsende Angriffsflächen durch OTA, V2X und Cloud-Anbindung

Wichtige Akteure



- OEMs
- Tier-1-Zulieferer
- Halbleiterhersteller (HSM, Secure Elements, Safety MCUs)
- Spezialisierte Cybersecurity-Unternehmen (Software, IDS, PKI, Threat Detection)
- Regulierung und Standardisierung

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Grundvoraussetzung für automatisiertes und vernetztes Fahren

Aktuelle Relevanz



Durch UNECE R155 und ISO/SAE 21434 gesetzlich vorgeschrieben

Technologische Reife



Reife Technologien und Standards vorhanden

Innenraumüberwachung



Beschreibung:

Innenraumüberwachungssysteme nutzen Kameras und Radarsensoren, um den gesamten Fahrzeuginnenraum zu erfassen. Sie erkennen Belegung, Sitzposition, Bewegungen und Vitalparameter der Insassen.

Vorteile:

- Detektion medizinischer Notfälle (Herzstillstand, Unbeweglichkeit)
- Erkennung von zurückgelassenen Kindern oder Haustieren
- Überwachung bei automatisiertem Fahren, um sichere Zustände zu gewährleisten
- Komfortfunktionen (z. B. automatische Klimaanlage)

Herausforderungen:

- Kosten und Integrationsaufwand bei Mittelklassefahrzeugen
- Anforderungen an Datenschutz und Privatsphäre

Wichtige Akteure

- [Valeo](#)
- [Bosch](#)
- [Infineon](#)
- [Vayyar](#)
- [Smart Eye](#)
- [LG](#)
- [NXP](#)



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsseltechnologie für Insassensicherheit und autonome Fahrkonzepte

Aktuelle Relevanz



Erste Serienimplementierung

Technologische Reife



Serienfertige Systeme verfügbar (Sensoren + KI)

Fahrerüberwachungssysteme



Beschreibung:

Fahrerüberwachungssysteme erkennen den physischen und kognitiven Zustand des Fahrers in Echtzeit. Mittels Kameras, Radarsensoren und KI-basierter Bildverarbeitung werden Blickrichtung, Augenlidbewegungen, Kopfhaltung und ggf. Körperposition analysiert. Das System bewertet, ob der Fahrer aufmerksam, abgelenkt, schläfrig oder nicht mehr fähig zur Fahrzeugkontrolle ist. Die Informationen werden genutzt, um Warnungen auszugeben und bei automatisierten Systemen (z. B. SAE Level 2+ und Level 3) eine sichere Übernahme einzuleiten.

Vorteile:

- Enabler für automatisierte Fahrfunktionen mit Fahrer-Rückübergabe (SAE Level 3)
- Erhöhte Verkehrssicherheit durch frühzeitige Erkennung von Ablenkung oder Müdigkeit

Herausforderungen:

- Akzeptanzprobleme durch Überwachungsgefühl

Wichtige Akteure

- [Mobileye](#)
- [Valeo](#)
- [Smart Eye](#)
- [Bosch](#)
- [NXP](#)
- [Seeing Machines](#)
- [SmartEye](#)



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Zentrale Voraussetzung für automatisiertes Fahren mit Fahrerbeteiligung

Aktuelle Relevanz



Bereits gesetzlich gefordert, Markteinführung bei OEMs im Gange

Technologische Reife



Serienreif mit kontinuierlicher Verbesserung

4D-Radar (Imaging Radar)



Beschreibung:

Das 4D-Imaging-Radar ist eine Weiterentwicklung klassischer Radarsysteme, die neben Entfernung, Richtung und Geschwindigkeit auch die Höhe von Objekten erfasst.

Diese Erweiterung wird durch die vertikale und horizontale Anordnung mehrerer Antennenelemente in Kombination mit digitalem Beamforming und MIMO-Technologie (Multiple Input, Multiple Output) ermöglicht.

Dadurch entsteht eine hochaufgelöste, mehrdimensionale Punktwolke, die eine detaillierte Abbildung der Fahrzeugumgebung erlaubt und der eines Lidar-Systems ähnelt.

Vorteile:

- Robustheit gegenüber Witterungseinflüssen und variablen Lichtbedingungen
- Verbesserte Objekterkennung und Auflösung gegenüber 3D-Radar durch zusätzliche Höheninformation
- Geringere Kosten als Lidar

Herausforderungen:

- Kosten und Größe derzeit noch höher als konventionelles Radar
- Geringere Auflösung gegenüber Lidar-Systeme

Wichtige Akteure

- [Valeo](#)
- [Vayyar](#)
- [Aptiv](#)
- [NXP](#)
- [Bosch](#)
- [Infineon](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsseltechnologie für robuste, wetterunabhängige Umfeldwahrnehmung in hochautomatisierten Fahrsystemen

Aktuelle Relevanz



Die Technologie gewinnt industrieübergreifend an Bedeutung.

Technologische Reife



Serienfähige Hardware vorhanden; weitere Optimierung von Auflösung und Kosten im Fortschritt

Solid-State-Lidar



Beschreibung:

Solid-State-LiDAR ist eine Sensortechnologie zur 3D-Umgebungserfassung, die wie herkömmliches LiDAR Laserpulse aussendet und deren reflektierte Laufzeit (Time-of-Flight) misst, um eine präzise Punktwolke der Umgebung zu erstellen.

Im Gegensatz zu mechanischen Lidar-Systemen erfolgt die Strahlablenkung rein elektronisch, z. B. mittels MEMS-Strukturelementen, optischen Phased-Arrays oder Flash-Beleuchtung, wodurch keine beweglichen makroskopischen Komponenten erforderlich sind.

Vorteile:

- Niedrigere Kosten als mechanische Lidar-Systeme
- Geringer Wartungsaufwand, keine beweglichen Teile

Herausforderungen:

- Skalierung und Kostenoptimierung im Gange
- Erhöhte Störanfälligkeit bei intensiver Sonnenlicht-Einwirkung und stark reflektierenden Oberflächen



Wichtige Akteure

- [Innoviz](#)
- [Hesai](#)
- [RoboSense](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsseltechnologie zur robusten hochauflösenden 3D-Umfelderfassung

Aktuelle Relevanz



Erste Serienfahrzeuge setzen Solid-State-Lidar ein

Technologische Reife



Serienhardware verfügbar, Skalierung und Kostenoptimierung im Gange

UWB-Radar



Beschreibung:

Ultra-Wideband-Radar (UWB-Radar) nutzt extrem breitbandige Impulse (typisch >500 MHz), um sehr präzise Entfernung- und Bewegungsschätzungen zu ermöglichen. Durch die kurze Pulsdauer und hohe Bandbreite erreicht UWB eine feine Entfernungsauflösung im Zentimeterbereich und eine robuste Objekterkennung auch in komplexen Innenraum- oder Nahbereichsszenarien.

UWB-Radar wird zunehmend für Innenraumüberwachung, Vitalzeichenerkennung, Seat Occupancy, Driver Monitoring sowie sichere digitale Fahrzeugzugangssysteme eingesetzt.

Vorteile:

- Sehr hohe Auflösung & Mikro-Bewegungssensitivität → Detektion von Respiration & Vitalzeichen.
- Hohe Sicherheit durch kryptografisch geschützte ToF-Messungen → Sichere digitale Fahrzeugzugangssysteme

Herausforderungen:

- Begrenzte Reichweite → primär Innenraum & Kurzdistanz.

Wichtige Akteure

- [NXP](#)
- [Valeo](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Wachsende Bedeutung durch Innenraum-Sensing & digitale Schlüssel.

Aktuelle Relevanz



Erste Serienanwendungen

Technologische Reife



Technologie marktreif, aber Anwendungen noch im Hochlauf.

FMCW-Lidar



Beschreibung:

FMCW-LiDAR (Frequency-Modulated Continuous Wave LiDAR) ist eine Weiterentwicklung klassischer LiDAR-Systeme.

Statt kurzer Laserimpulse sendet es kontinuierlich frequenzmoduliertes Licht aus, dessen Laufzeit und Doppler-Verschiebung gemessen werden.

Dadurch kann das System gleichzeitig Entfernung und Relativgeschwindigkeit jedes reflektierten Punkts bestimmen – ähnlich wie Radar, aber mit der hohen Auflösung eines LiDAR-Systems.

Diese Kombination ermöglicht eine rauschärmere und robustere Umgebungserfassung, insbesondere bei wechselnden Lichtverhältnissen.

Vorteile:

- Kann die Relativgeschwindigkeit jedes reflektierten Objektes messen
- Reduziert Ghost Targets und Rauschsignale im Vergleich zu klassischen LiDAR-Sensoren

Herausforderungen:

- Höhere Kosten im Vergleich zu klassischen LiDAR-Sensoren.



Wichtige Akteure

- Technologieanbieter/ Startups:
 - [Aeva](#)
 - [Scantinel Photonics](#)
- Forschung:
 - [Fraunhofer Institute](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



kombiniert LiDAR-Auflösung mit Radarfunktionalität für präzisere Umfeldwahrnehmung

Aktuelle Relevanz



Erste Prototypen; noch keine breite Fahrzeugintegration

Technologische Reife



Frühe Industrialisierung

V2X-Kommunikation



Beschreibung:

V2X bezeichnet die drahtlose Kommunikation zwischen Fahrzeugen und ihrer Umgebung, einschließlich anderer Fahrzeuge (V2V), Verkehrsinfrastruktur (V2I), Fußgängern (V2P) und Netzwerkinformationen (V2N). Die Übertragung erfolgt über standardisierte, latenzoptimierte Funktechnologien (ITS-G5 / IEEE 802.11p oder C-V2X / 4G/5G). Ziel ist die Erhöhung des situativen Umfeldwissens (collective perception) über die Grenzen der fahrzeugeigenen Sensorik hinaus und die Unterstützung kooperativer Verkehrsmanöver.

Vorteile:

- Erhöhte Verkehrssicherheit durch frühzeitige Warnungen
- Effizienterer Verkehrsfluss durch kooperative Fahrmanöver und Signalloptimierung
- Erweiterte Wahrnehmung über Sensorsicht hinaus

Herausforderungen:

- Flächendeckende Infrastruktur
- Datenschutz & Sicherheit

Wichtige Akteure

- OEMs
- Tier-1-Zulieferer
- Chip- & Modemhersteller
- Standardisierung & Ökosystem

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Grundvoraussetzung für kooperatives automatisiertes Fahren und Smart Infrastructure

Aktuelle Relevanz



Erste Pilot- und Serienimplementierungen

Technologische Reife



Standardisierung weit fortgeschritten; infrastrukturelle Skalierung noch im Ausbau

Over-The-Air Updates



Beschreibung:

Over-the-Air Updates (OTA) bezeichnen die ferngesteuerte Aktualisierung von Softwarekomponenten eines Fahrzeugs über eine drahtlose Kommunikationsschnittstelle, ohne Werkstattaufenthalt.

OTA umfasst sowohl Software-Updates (Firmware, Anwendungen, Steuergeräte-Software) als auch Konfigurations- und Funktionsparameter (z. B. Fahrassistentenkalibrierung, Funktionsfreischaltungen). Die Updates werden über Backend-Server bereitgestellt, über Mobilfunk (4G/5G) oder WLAN übertragen, im Fahrzeug zwischengespeichert und anschließend validiert und installiert.

OTA ist eine zentrale Voraussetzung für Continuous Deployment in softwaredefinierten Fahrzeugarchitekturen und ermöglicht einen kontinuierlichen Verbesserungspfad über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus.

Vorteile:

- Ermöglicht Software-Pflege und Fehlerkorrekturen ohne physischen Serviceeingriff
- Erhöht Softwarequalität durch kontinuierliche Aktualisierung
- Ermöglicht Feature-Rollouts und Funktionsfreischaltungen nach Auslieferung

Herausforderungen:

- Hohe Anforderungen an die Cybersicherheit

Wichtige Akteure

- OEMs
- Cloud- & Backend Anbieter
- Tier-1-Zulieferer
- Software-, Security- und Middleware-Anbieter
- Telematikmodule / TCU-Hersteller

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



grundlegende Voraussetzung für SDV und lebenszyklische Softwarepflege

Aktuelle Relevanz



bereits breite Anwendung bei Serienfahrzeugen über diverse OEMs

Technologische Reife



Technologie etabliert, aber Sicherheits- und Freigabeprozesse entwickeln sich weiter

6G Konnektivität



Beschreibung:

6G bezeichnet die nächste Mobilfunkgeneration nach 5G und befindet sich aktuell in der Forschungs- und Standardisierungsphase.

Zielparameter umfassen extrem hohe Datenraten, ultra-niedrige Latenzen und hohe Zuverlässigkeit, u. a. durch Terahertz-Frequenzbänder, intelligente Reconfigurable Surfaces und verteilte Antennenarchitekturen.

Für die Mobilität bedeutet dies eine ultra-zuverlässige, latenzarme und hochkapazitive Kommunikationsinfrastruktur, die kooperative automatisierte Fahrfunktionen und verteilte Edge-Intelligenz in großem Umfang unterstützen kann.

Vorteile:

- Niedrige Latenzen und sehr hohe Datenraten
- Erleichtert kooperative Fahrmanöver und „collective Perception“
- ermöglicht verteilte KI-Architekturen (Edge + Cloud + Onboard)

Herausforderungen:

- Infrastrukturaufbau: Die bestehende Infrastruktur muss erheblich erweitert und modernisiert werden, um die hohen Datenraten und die dichten Netzwerkanforderungen zu bewältigen.
- Kosten für Industrie & Endnutzer: Einführung und Nutzung erfordern hohe Investitionen für den Infrastrukturaufbau.
- Standardisierung & Regulierung



Wichtige Akteure

- Standardisierung & Regulierung:
 - [3GPP](#), [ITU](#)
- Telekommunikation / Netzwerkausrüster:
 - Nokia, Samsung, Huawei, Ericsson, ZTE
- Halbleiterunternehmen:
 - Qualcomm, NXP, MediaTek, Broadcom

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Enabler für vernetzte Mobilität

Aktuelle Relevanz



Forschung und frühe Testbeds; keine Serienanwendung

Technologische Reife



frühe F&E-Phase, Standardisierung noch nicht abgeschlossen

Teilautomatisiertes Fahren (SAE Level 2)



Beschreibung:

SAE Level 2 beschreibt Fahrassistenzsysteme, bei denen Lenkung und Längsführung gleichzeitig durch das System übernommen werden, während der Fahrer die Überwachungspflicht behält (kein „eyes-off“).

Typische Level-2+-Funktionen sind z. B. Highway Assist, Adaptive Lane Change Assist oder Predictive Cruise / Curve Control.

Vorteile:

- erhöht Komfort und reduziert Fahrerarbeitslast in Langstrecken-/Autobahnszenarien
- bereits weitreichend in Serienfahrzeugen verfügbar

Limitierungen:

- Fahrer bleibt vollständig verantwortlich → kein „Eyes-off“ Betrieb möglich
- Risiko von Fehlverständnissen („Overtrust“ / falsche Erwartungshaltung)

Wichtige links

- [Tesla Autopilot](#)
- [GM Super Cruise](#)
- [Mobileye SuperVision](#)
- [Volvo Pilot Assist](#)
- [Volkswagen Travel Assist](#)
- [BMW Driving Assistant Plus](#)
- [Honda Sensing 360+](#)



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Mit zunehmender Einführung von L3/L4 wird die relative Bedeutung sinken

Aktuelle Relevanz



Breite Marktdurchdringung in Serienfahrzeugen weltweit

Technologische Reife



Etablierte Standardtechnologie im ADAS-Portfolio

Bedingte Fahrautomatisierung (SAE Level 3)



Beschreibung:

SAE Level 3 bezeichnet automatisierte Fahrfunktionen, bei denen das System Quer- und Längsführung übernimmt und die Umfeldüberwachung autonom ausführt.

Der Fahrer darf kurzfristig die Aufmerksamkeit abwenden, muss jedoch auf Anforderung innerhalb definierter Reaktionszeit die Fahraufgabe wieder übernehmen können.

Die Verantwortung für die Fahraufgabe liegt situationsabhängig beim System (in definierten Betriebsbereichen – ODD).

Vorteile:

- Ermöglicht zeitweise Entlastung des Fahrers (z. B. in Stau / Autobahnszenarien)
- Wichtige Zwischentechnologie auf dem Pfad zu Level 4

Limitierungen:

- Hohe Anforderungen an Sensorik, Redundanzen und Diagnosefähigkeit
- Fahrer muss weiterhin übernahmebereit bleiben (Take-Over Management)

Wichtige links

- [Mercedes Drive Pilot](#)
- [BMW Personal Pilot](#)
- [Honda Sensing Elite](#)
- [Mobileye Chauffeur](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Relevante Zwischenstufe auf dem Weg zu L4-Systemen

Aktuelle Relevanz



Bisher nur einzelne Serienanwendungen in Premiumsegmenten

Technologische Reife



Serienhardware vorhanden, Rollout noch begrenzt und ODD-spezifisch

Hochautomatisiertes Fahren (SAE Level 4)



Beschreibung:

SAE Level 4 beschreibt automatisierte Fahrfunktionen, bei denen das System Quer- und Längsführung sowie die vollständige Umfeldüberwachung übernimmt und innerhalb des definierten Operational Design Domain (ODD) autonom verantwortlich fährt.

Eine Fahrerübernahme ist in der ODD nicht vorgesehen – das System kann die Fahraufgabe dauerhaft selbst durchführen.

Außerhalb der ODD muss das System jedoch autonom in einen risikominimalen Zustand übergehen.

Vorteile:

- Ermöglicht fahrerlosen Betrieb innerhalb definierter ODDs
- Potenziell hohe Sicherheitsgewinne durch eliminierte menschliche Fehlerursachen
- Ermöglicht neue Mobilitäts- und Betriebskonzepte ohne Fahrerpräsenz

Herausforderungen:

- Sehr hoher sensorischer und funktionaler Redundanzbedarf
- Regulierung und Haftungsfragen sind noch nicht vollständig geklärt.

Wichtige Akteure

- [Waymo](#)
- [Mobileye](#)
- [ZOOX](#)
- [Apollo Go](#)
- [Motional](#)
- [Volkswagen](#)
- [WeRide](#)



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Level-4-Systeme gelten als zukünftige Form der Mobilität

Aktuelle Relevanz



Derzeit überwiegend Pilotprojekte / begrenzte ODD-Use-Cases

Technologische Reife



Breite Serienreife noch nicht erreicht

Vollautomatisiertes Fahren (SAE Level 5)



Beschreibung:

SAE Level 5 beschreibt vollautonome Fahrsysteme, die die Fahraufgabe unter allen Verkehrs-, Umwelt- und Straßenbedingungen ohne ODD-Begrenzung durchführen können.

Das System übernimmt die vollständige fahrdynamische Führung und die vollständige Verantwortung für die Fahraufgabe, unabhängig von Standort, Wetter, Geschwindigkeit oder Verkehrsszene.

Ein menschlicher Fahrer ist nicht erforderlich; Eingabelemente wie Lenkrad oder Pedale sind optional.

Vorteile:

- Ermöglicht neue Mobilitäts- und Fahrzeugkonzepte
- Potenziell hohe Sicherheitsgewinne durch eliminierte menschliche Fehlerursachen
- Keine ODD Begrenzung

Herausforderungen:

- Fehlende regulatorische Rahmenbedingungen für globalen Betrieb
- Hohe Entwicklungskosten
- Hohe technische Anforderungen

Wichtige Akteure

- Aktuell liegt der industrielle Schwerpunkt noch auf Level-4-Systemen.

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Level 5 gilt langfristig als Zielbild vollständig autonomer Mobilität

Aktuelle Relevanz



Kein Relevanz, da Level 4 noch nicht etabliert ist.

Technologische Reife



Grundlegende Anforderungen noch nicht gelöst oder validiert

Automated Valet Parking



Beschreibung:

Automated Valet Parking (AVP) ist eine automatisierte Parktechnologie, die es Fahrzeugen ermöglicht, ohne Fahrer eigenständig einen Parkplatz zu suchen, einzuparken und später autonom wieder vorzufahren. Diese Funktion kann in Parkhäusern oder speziellen Parkzonen genutzt werden.

Es gibt zwei Hauptarten von AVP:

- AVP Type 1 (Fahrzeugbasiert) – Das Fahrzeug nutzt eigene Sensoren und KI, um sich autonom im Parkhaus zu bewegen.
- AVP Type 2 (Infrastrukturbasiert) – Das Parkhaus verfügt über Sensoren und Steuerungssysteme, die das Fahrzeug navigieren.
- AVP Type 3 (Infrastruktur- und Fahrzeugbasiert) – Kombiniert die Typ 1 und Typ 2 Ansätze.

Vorteile:

- Komfort & Zeitersparnis – Fahrer muss keinen Parkplatz mehr suchen.
- Effizientere Nutzung des Parkraums – Dichteres Parken möglich.
- Reduzierte Unfallgefahr – Menschliche Fehler werden vermieden.

Herausforderungen:

- Infrastrukturabhängigkeit – Aktuelle Systeme benötigen speziell ausgestattete Parkhäuser.
- Standardisierung & Interoperabilität – Verschiedene Hersteller arbeiten an eigenen Lösungen.
- Wirtschaftliche Umsetzung – Die Entwicklung eines Business-Case bleibt anspruchsvoll.

Wichtige Akteure

- [BMWxValeo](#)
- [XPENG](#)
- [Kopernikus Automotive](#)
- [Unikie](#)
- [Institut für Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Kann Wegbereiter für autonome Fahrfunktionen L4 sein

Aktuelle Relevanz



Erste Pilotprojekte und Serienfahrzeuge mit AVP sind verfügbar.

Technologische Reife



Funktioniert in Testumgebungen, aber noch nicht flächendeckend einsetzbar.

Hub-to-Hub automatisierte Lkw



Beschreibung:

Hub-to-Hub bezeichnet automatisierte Lkw-Transporte zwischen definierten Logistikzentren oder Autobahnabschnitten, bei denen der Fahrbetrieb hochautomatisiert (SAE Level 4) erfolgt.

Das Fahrzeug übernimmt selbstständig die Fahrdynamikführung auf klar strukturierten, vorher validierten Strecken (z. B. Autobahnen), während der manuelle Betrieb auf dem Werks- oder Stadtgelände erfolgt.

Ziel ist eine Effizienzsteigerung im Güterverkehr durch kontinuierlichen Betrieb, reduzierte Personalkosten und optimierte Flottenauslastung.

Vorteile:

- Erhöht Effizienz und Auslastung im Fernverkehr
- Reduziert Fahrpersonalbedarf auf definierten Streckenabschnitten
- Ermöglicht Betrieb rund um die Uhr
- Verbessert Verkehrssicherheit durch automatisierte Fahrsteuerung
- Potenzielle Senkung von Kraftstoffverbrauch und Emissionen durch optimierte Fahrstrategien

Herausforderungen:

- Integration in Logistikprozesse (Hubs, Disposition, Schnittstellen)
- Rechtliche Rahmenbedingungen und Zulassungsverfahren für hochautomatisierte Nutzfahrzeuge

Wichtige Akteure

- OEMs:
 - [Traton Group](#)
 - [Daimler Trucks](#)
 - [Volvo](#)
- Logistikpartner
- Technologieanbieter:
 - [Aurora](#)
 - [PlusAI](#)
 - [Einride](#)
 - [Torc Robotics](#)



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsselanwendung für hochautomatisierten Straßengüterverkehr

Aktuelle Relevanz



Laufende Pilotprojekte in Europa, USA und Asien

Technologische Reife



Funktional möglich und erste Pilotprojekte sind im Gange.

Cloud Computing



Beschreibung:

Cloud Computing bezeichnet die Auslagerung von Rechenleistung, Speicher und Datenverarbeitung in entfernte Rechenzentren.

Im Kontext der Mobilität wird Cloud Computing eingesetzt, um Flottenmanagement, Karten- und Sensordatenverarbeitung, Trainingsprozesse für KI-Modelle sowie OTA-Bereitstellung von Software zu unterstützen.

Vorteile:

- Skalierbare Rechen- und Speicherressourcen für Flotten und Fahrzeugdaten
- Erweiterte Wahrnehmung über Sensorsicht hinaus

Herausforderungen:

- Hohe Anforderungen an Netzwerkverfügbarkeit und Latenz
- Datenschutz & Cybersecurity

Wichtige Akteure

- Microsoft Azure
- Amazon Web Services (AWS)
- Google Cloud
- Alibaba Cloud
- Apollo
- Tencent Cloud

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Cloud ist grundlegendes Element für datengetriebene Mobilität

Aktuelle Relevanz



flächendeckend im industriellen Einsatz

Technologische Reife



Etablierte Basisinfrastruktur und Automotive-Cloud-Dienste vorhanden

Edge Computing



Beschreibung:

Edge Computing bezeichnet die fahrzeugnahe bzw. infrastrukturnahe Datenverarbeitung, bei der Daten nicht primär zentral in der Cloud, sondern lokal „am Rand des Netzwerks“ (z. B. im Fahrzeug, an RSUs oder im Mobilfunk-Edge-Node) verarbeitet werden.

Für automatisierte Mobilität reduziert Edge Computing Übertragungswege und Latenzen, unterstützt Echtzeitentscheidungen und ermöglicht eine selektive Datenvorverarbeitung, bevor Daten ggf. in die Cloud überführt werden.

Vorteile:

- Geringe Latenzen für zeitkritische Anwendungen
- Erhöhte Datensicherheit & Datenschutz
- Höhere Verfügbarkeit bei eingeschränkter Netzabdeckung

Herausforderungen:

- Hohe Anfangs- und Hardwarekosten
- Begrenzte Ressourcen an Bord

Wichtige Akteure

- Automotive System-on-Chips:
 - Nvidia
 - Qualcomm
 - Renesas
 - Mobileye
 - Tesla
 - Horizon Robotics
 - Bosch



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Edge ermöglicht zeitkritische Entscheidungen nah am Fahrzeug

Aktuelle Relevanz



Bereits im Einsatz für automatisierte Fahrfunktionen und modernes Infotainment.

Technologische Reife



Serienhardware verfügbar

Digital Twin



Beschreibung:

Digital Twins sind detaillierte virtuelle Modelle physischer Objekte oder Systeme, die deren Lebenszyklus von der Konzeptphase über die Entwicklung, Nutzung bis hin zur Entsorgung und zum Recycling vollständig abbilden. Sie finden breite Anwendung in der Automobilindustrie, nicht nur zur Produktionsoptimierung, sondern auch zur Verbesserung bestehender Produkte. Ihre Fähigkeit, Prozesse und Produkte virtuell zu replizieren, ermöglicht proaktive Wartung und eine exakte Fehlerprognose.

Vorteile:

- Erkennt und verhindert potenzielle Ausfälle durch kontinuierliche Überwachung und Analyse, führt zu verbesserten Wartungsstrategien.
- Ermöglicht eine datengetriebene Analyse und Optimierung von Produktionsprozessen, was zu höherer Produktqualität und Effizienz führt.
- Reduziert Validierungsaufwände durch virtuelle Prüfungen.

Herausforderungen:

- Hohe Datenmengen müssen konsistent, korrekt und aktuell synchronisiert werden.
- Modellaufbau und Modellpflege sind aufwändig



Wichtige Akteure

- OEMs → entwickeln Digital-Twin-Modelle für Fahrzeuge und Komponenten
- Cloud-/ Backend-Plattformen → stellen die Infrastruktur und Twin-Management-Services bereit

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Kann Entwicklungsprozesse revolutionieren.

Aktuelle Relevanz



Ihre Relevanz steigt aufgrund ihrer bewährten Effizienz bei der Verbesserung der Produktions- und Managementprozesse.

Technologische Reife



Technologie verfügbar, Standardisierung noch im Aufbau

HD-Karten (High-Definition Maps)



Beschreibung:

HD-Karten sind hochpräzise kartografische Darstellungen, die detaillierte Informationen für autonome Fahrzeuge bereitstellen. Sie gehen weit über herkömmliche Karten hinaus und enthalten dreidimensionale Merkmale der Umgebung, exakte Spurverläufe, Verkehrszeichen und andere relevante Straßeninformationen bis auf Zentimetergenauigkeit.

Vorteile:

- Präzise Navigation – Ermöglicht autonomen Fahrzeugen eine millimetergenaue Ortserkennung und Fahrspurführung.
- Umwelterkennung – Unterstützt die Sensorfusion zur Erkennung und Interpretation komplexer Fahrsituationen.
- Erhöhung der Sicherheit – Verbessert Entscheidungsfindung durch präzise Informationen über die Straßenumgebung.

Herausforderungen:

- Aktualisierungsbedarf – Regelmäßige Aktualisierung notwendig für Genauigkeit und Sicherheit, insbesondere bei Baustellen oder Verkehrsänderungen.
- Kosten – Hohe initiale Erstellungs- und Aktualisierungskosten für die Erfassung der Kartendaten.

Wichtige Akteure

- [Here Technologies](#)
- [Nvidia Drive Map](#)
- [Tomtom Orbis Maps](#)
- [Mobileye AV Maps](#)
- [Waymo](#)
- [Apollo](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Essenziell für die Entwicklung von autonomen Fahrfunktionen

Aktuelle Relevanz



Stark wachsend im Bereich der autonomen Mobilität.

Technologische Reife



Fortgeschrittene Anwendungen vorhanden, weitere Optimierungen nötig.

Generative AI



Beschreibung:

Generative AI umfasst Modellarchitekturen (z. B. Transformer), die aus Trainingsdaten neue Inhalte erzeugen und nicht nur bestehende Muster klassifizieren.

Im Kontext der Mobilität wird Generative AI genutzt, um synthetische Daten für Trainingsprozesse zu erzeugen, Szenarien zu erweitern (corner cases), sowie zur Automatisierung von Entwicklungs- und Analyseprozessen (z. B. Code-, Testfall- oder Simulationsgenerierung).

Generative KI wird außerdem für sprachbasierte Assistenzfunktionen im Fahrzeug genutzt, um das Fahrerlebnis persönlicher und natürlicher zu gestalten.

Vorteile:

- Ermöglicht synthetische Daten zur Ergänzung realer Datensätze
- Reduziert Aufwand für Datenerhebung und Labeling
- Beschleunigt Entwicklungs- und Validierungsprozesse
- Verbessert das Fahrerlebnis durch personalisierte, kontextadaptive Interaktion

Herausforderungen:

- Qualität synthetischer Daten muss validiert werden
- Regulatorischer Rahmen für sicherheitsrelevante Nutzung
- Hoher Rechenaufwand für Training und Modellpflege



Wichtige Akteure

- Technologieunternehmen:
 - OpenAI
 - Google
 - Meta AI
- OEMs

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Generative KI wird ein wichtiger Baustein für zukünftige Mobilitätsdienste

Aktuelle Relevanz



Erste konkrete Anwendungen sind vorhanden

Technologische Reife



Grundmodelle sind verfügbar, Skalierung auf den Automobilindustrie noch im Gange.

Predictive Maintenance



Beschreibung:

Predictive Maintenance (vorausschauende Wartung) nutzt Sensordaten, Fahrzeug-Telemetrie und KI-Algorithmen, um den Zustand von Fahrzeugkomponenten kontinuierlich zu überwachen und Ausfälle frühzeitig vorherzusagen. Statt fixer Wartungsintervalle können Wartungsmaßnahmen rechtzeitig und bedarfsgerecht geplant werden.

Vorteile:

- Geringere Wartungskosten – Nur notwendige Komponenten werden gewartet/ersetzt
- Längere Lebensdauer – Schonende Nutzung durch frühzeitige Erkennung von Problemen.
- Reduzierte Ausfallzeiten – Fehler werden erkannt, bevor sie kritisch werden.
- Höhere Fahrzeugverfügbarkeit – Besonders wichtig für Flotten & Robotaxis.

Herausforderungen:

- Datenqualität & -verfügbarkeit – Viele Sensoren nötig, Integration in Altsysteme schwierig.
- Cybersecurity & Datenschutz – Vernetzte Diagnosedaten müssen geschützt werden.
- Komplexität der Algorithmen – KI muss für unterschiedliche Fahrzeugkomponenten trainiert werden.



Wichtige links

- [Predictive Maintenance bei BMW](#)
- [AI Lab von Volkswagen](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsseltechnologie für die Verbesserung der Fahrzeugwartung.

Aktuelle Relevanz



Erste Ansätze bei OEMs & Flottenbetreiber.

Technologische Reife



Funktioniert bei spezifischen Komponenten gut, aber noch nicht vollumfänglich.

HMI-Technologien



Beschreibung:

Das Infotainmentsystem ist in Zukunft für die Verbindung von Fahrerassistenzsystemen (FAS), Systemen für das autonome Fahren, V2X-Systemen und persönlichen Geräten verantwortlich. Durch die zunehmende Komplexität und Automatisierungsgrade wird das **HMI** als Brücke zwischen Mensch und Fahrzeug eine zentrale Rolle bei der erfolgreichen Integration dieser sich weiterentwickelnden Technologien einnehmen. Die Nutzer*innen stehen dabei im Mittelpunkt.

Relevante Interaktionstechnologien der zukünftigen Mobilität:

- **Displays** – zunehmende Displaygröße, steigende Anzahl von Displays im Interieur
- **Haptik** – Integration von Bedieneinheiten in z.B. Armlehne (Smart Surfaces), Erzeugung von virtuellem Berührungsfühl durch Ultraschall (Berührungsloses Bedienen von Bildschirmen)
- **Sprachsteuerung** – Natürlichste Form der menschlichen Interaktion, Intuitive Kommunikation
- **Digitale Assistenten** – Unterstützung bei Aufgaben wie z.B. Streckenplanung
- **Externes HMI (eHMI)** – Informationen über Status und Absichten autonomer Fahrzeuge

Vorteile:

- **Unterstützung der Kommunikation** – Förderung der Interaktion zwischen Mensch und Fahrzeug
- **Komfort** – Digitale Assistenten nehmen Aufgaben ab, komfortable Bedienung über Sprachsteuerung

Herausforderungen:

- **Datenschutz und Cyber-Security** – Beste Erfahrung für Nutzer*innen bieten, ohne die Privatsphäre zu verletzen
- **Vertrauen und Sicherheitsgefühl schaffen** – Transparentes Verhalten automatisierter Fahrfunktionen

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsselkomponente für hochautomatisiertes Fahren (Level 3–4)

Aktuelle Relevanz



Erste Serienfahrzeuge setzen Solid-State-Lidar ein

Technologische Reife



Serienhardware verfügbar, Skalierung und Kostenoptimierung im Gange

Interieurmaterialien



Beschreibung:

Faktoren wie ein wachsendes Bewusstsein für ökologische Nachhaltigkeit, die Erforschung und Entwicklung neuartiger Materialien und der zunehmende Automatisierungsgrad von Fahrzeugen beeinflussen die **Interieur-Materialien** der Zukunft.

Wesentliche Aspekte zukünftiger Materialien:

- **Umweltfreundliche Materialien** – Stoffe und Kunstleder mit biobasierten Ausgangsstoffen
- **Leichte Materialien** – Unterstützung der Dekarbonisierung durch geringeren Verbrauch über den gesamten Lebenszyklus eines Fahrzeugs
- **Langlebige, attraktive Oberflächenmaterialien** – Besonders relevant für autonome Sharing-Konzepte („Living Room on Wheels Experience“)

Vorteile:

- **Nachhaltigkeit** – Beitrag zur Erreichung von Dekarbonisierungszielen und Förderung der Zirkularität
- **Hohe Akzeptanz nachhaltiger Materialien** – insbesondere für neue Stoffe und Kunstleder
- **Komfort** – durch „wohnliche“ Interieur-Ausstattung

Herausforderungen:

- **Erforschung alternativer Materialien** – Entwicklung von Ersatzmaterialien für z.B. Leder mit ähnlichen Eigenschaften erforderlich
- **Hohe Anforderungen an Materialeigenschaften** – z.B. schmutzabweisend, antibakteriell, gute tribologische Eigenschaften

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsselkomponente für hochautomatisiertes Fahren (Level 3–4)

Aktuelle Relevanz



Erste Serienfahrzeuge setzen Solid-State-Lidar ein

Technologische Reife



Serienhardware verfügbar, Skalierung und Kostenoptimierung im Gange

Modularisierung



Beschreibung:

Zur Förderung der Upgradefähigkeit von Fahrzeugkomponenten, der Handhabung hoher Variantenvielfalten und der Bewältigung dynamischer Anforderungen ist der Aufbau einer **modularen** Produktstruktur sinnvoll. Des Weiteren kann durch das Konzept dynamisch konfigurierbarer Fahrzeuge die Gesamtanzahl von Fahrzeugen im Straßenverkehr reduziert werden. Durch diese „On-the-Road-Modularität“ ist ein Wechsel der Fahrzeugfunktion während der Nutzungszeit möglich, wodurch ein Fahrzeug verschiedene Aufgaben übernehmen kann.

Relevante Modularisierungsstrategien für die zukünftige Mobilität:

- **Produktstrategische Modularisierung** – Produktstruktur auf strategische Planung von Unternehmen ausrichten
- **Modulbauweise** – Kombination von Modulen zur Erzeugung verschiedener Varianten

Vorteile:

- **Produkterweiterung während der Nutzungsphase** – Integration neuer Technologien
- **Technisch-funktionale Vorteile** – „On-the-Road-modulare (OTR) Fahrzeugkonzepte“ durch Trennung von Fahrplattform und Aufbau
- **Verlängerung der Fahrzeuglebensdauer** – Austausch und Wiederverwendung einzelner Module

Herausforderungen:

- **Aufwand** – Aufbau einer modularen Produktstruktur erfordert einen hohen initialen Aufwand
- **Anforderungskonflikte** – Es existiert keine einzige, optimale modulare Struktur -> Kompromissbildung für alle beteiligten Lebensphasen notwendig

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsselkomponente für hochautomatisiertes Fahren (Level 3–4)

Aktuelle Relevanz



Erste Serienfahrzeuge setzen Solid-State-Lidar ein

Technologische Reife



Serienhardware verfügbar, Skalierung und Kostenoptimierung im Gange

Sitzanordnung



Beschreibung:

Durch das Konzept autonomer Fahrzeuge eröffnen sich neue Freiheiten in der Auslegung des Fahrzeuginterieurs. Der nicht länger benötigte Platz für Fahrzeugführer*innen ermöglicht die Neugestaltung der **Sitzanordnung**, die für Fahrgäste optimiert entwickelt werden kann.

Mögliche Sitzanordnungen für autonome Fahrzeuge:

- **Konventionell** – Zweireihig mit in Fahrtrichtung blickenden Fahrgästen
- **Konventionell einreihig** – Einreihig mit in Fahrtrichtung blickenden Fahrgästen
- **Vis-á-vis** – Zweireihig mit gegenüber sitzenden Fahrgästen
- **Seitlich** – Seitwärts zur Fahrtrichtung blickende Fahrgäste

Vorteile:

- **Für Fahrgäste optimierte Sitzanordnung** – Nicht gebunden an Fahrerposition
- **Förderung der Kommunikation zwischen Fahrgästen** – z.B. durch Vis-á-vis Anordnung

Herausforderungen:

- **Fehlende Standardisierung** – Standards zur Package-Dimensionierung wie SAE J1100 oder ISO 4131 sind nur für konventionelle Sitzanordnung nutzbar
- **Begrenzte Anwendbarkeit** – Umgestaltung der Sitzanordnung ausschließlich für vollständig automatisierte Fahrzeuge sinnvoll

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsselkomponente für hochautomatisiertes Fahren (Level 3–4)

Aktuelle Relevanz



Erste Serienfahrzeuge setzen Solid-State-Lidar ein

Technologische Reife



Serienhardware verfügbar, Skalierung und Kostenoptimierung im Gange

800-Volt-Antriebe



Beschreibung:

800-Volt-Systeme bezeichnen Hochvolt-Architekturen für elektrische Antriebe, die anstelle der bislang üblichen 400 V eine verdoppelte Betriebsspannung verwenden.

Dadurch können gleiche Leistungen bei halbiertem Stromfluss übertragen werden, was Verluste reduziert, Leitungsquerschnitte verkleinert und schnelleres Laden ermöglicht.

Die Technologie ist insbesondere in leistungsstarken Elektrofahrzeugen und Premium-Plattformen im Einsatz und wird zunehmend auch in Volumensegmente übertragen.

Vorteile:

- Ermöglicht deutlich kürzere Ladezeiten (z. B. < 20 min bis 80 %)
- Reduziert elektrische Verluste und verbessert den Systemwirkungsgrad
- Verringert Kabelquerschnitte → geringeres Gewicht
- Verbessert Kühlkonzepte durch geringere Strombelastung
- Unterstützt höhere Fahrleistungen

Herausforderungen:

- Höhere Anforderungen an Isolation und Sicherheit der Komponenten
- Erhöhte Kosten für Leistungselektronik und Material

Wichtige Akteure

- OEMs
- Zulieferer
- Halbleiter-Hersteller



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Zentrale Technologie für Effizienz und Schnellladefähigkeit moderner BEVs

Aktuelle Relevanz



Zunehmend in Serienplattformen verfügbar

Technologische Reife



Serienreif und industriell etabliert, Skalierung im Gang

SiC- und GaN-Leistungselektronik



Beschreibung:

Leistungselektronik auf Basis von Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) ersetzt zunehmend konventionelle Silizium-Halbleiter in Inverter-, DC/DC- und Ladeeinheiten.

SiC und GaN zeichnen sich durch eine höhere Bandlücke und bessere elektrische Feldstärke aus, wodurch sie mit höheren Spannungen, Frequenzen und Temperaturen betrieben werden können.

Das ermöglicht eine effizientere Energieumwandlung, geringere Schaltverluste und kompaktere Bauformen in elektrischen Antriebssystemen.

Vorteile:

- bis zu 50 % geringere Schaltverluste gegenüber Si-Leistungselektronik
- höhere Effizienz → längere Reichweite oder kleinere Batterien
- unterstützt Hochvolt-Architekturen (z. B. 800 V-Systeme)
- verbesserte Schnellladefähigkeit durch geringere Verluste

Herausforderungen:

- aktuell höhere Material- und Fertigungskosten

Wichtige Akteure

- OEMs
- Halbleiterhersteller



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsseltechnologie für effiziente elektrische Antriebe und Schnellladen

Aktuelle Relevanz



Zunehmende Serienanwendung

Technologische Reife



Marktreif, Skalierung und Kostenreduktion in Umsetzung

X-in-1 Elektrischer Antrieb



Beschreibung:

„X-in-1“-Antriebe bezeichnen hochintegrierte elektrische Antriebssysteme, bei denen mehrere Komponenten des E-Powertrains in einem gemeinsamen Gehäuse oder Fertigungsmodul zusammengefasst sind.

Typische Varianten sind 3-in-1 (E-Motor, Inverter, Getriebe), 5-in-1 (zusätzlich DC/DC-Converter und Onboard-Charger) oder 6-in-1-Lösungen (inklusive Power Distribution Unit oder Battery Management).

Die Integration reduziert Verluste, Gewicht und Kosten und ermöglicht eine kompaktere, effizientere Systemarchitektur für Elektrofahrzeuge.

Vorteile:

- Reduzierte Systemkosten durch geringeren Material- und Montageaufwand
- Kompaktere Bauweise → mehr Platz für Batterie oder Innenraum
- Kürzere Leitungslängen → geringere elektrische Verluste

Herausforderungen:

- Wartung und Reparatur sind aufwendiger, da Einzelkomponenten schwerer zugänglich sind
- Höhere Komplexität in der Entwicklung und der Wärmeableitung (Thermomanagement) im engen Raum.

Wichtige Akteure

- OEMs
- Zulieferer:
 - Bosch
 - ZF
 - Schaeffler
 - Valeo
- Halbleiterhersteller:
 - NXP
 - Infineon



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Ermöglicht kosteneffiziente, skalierbare Elektroplattformen

Aktuelle Relevanz



Bereits in Serienfahrzeugen weit verbreitet

Technologische Reife



marktreif und etabliert, kontinuierliche Optimierung im Gange

Axialflussmotoren



Beschreibung:

Axialflussmotoren unterscheiden sich von den klassischen Radialflussmotoren durch ihre axiale Magnetflussrichtung.

Statt eines zylindrischen Aufbaus mit radialem Magnetfeld nutzen sie flache, scheibenförmige Rotor-Stator-Strukturen, bei denen der Magnetfluss parallel zur Rotationsachse verläuft.

Diese Bauweise ermöglicht eine höhere Leistungsdichte und ein besseres Drehmoment-Gewichts-Verhältnis, was sie besonders für kompakte Hochleistungsanwendungen in Elektrofahrzeugen attraktiv macht.

Vorteile:

- Bis zu 30–50 % höhere Leistungs- und Drehmomentdichte
- Geringeres Gewicht und kompaktere Bauform
- Verbesserte Kühlbarkeit durch planare Struktur
- Ermöglicht Integration in Radnähe oder direkt in Achssysteme (E-Achse)
- Effizienter bei niedrigen Drehzahlen

Herausforderungen:

- Aufwändige Fertigung und höhere Produktionskosten

Wichtige Akteure



- OEMs:
 - Mercedes
 - Ferrari
 - Lamborghini
- Technologieanbieter:
 - Yasa
 - Magnax
 - Saitta Group

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Hohes Potenzial für leichtere, effizientere E-Antriebe

Aktuelle Relevanz



Einsatz bisher auf Premium- und Performance-Fahrzeuge geplant

Technologische Reife



Prototypen und Kleinserien verfügbar, Skalierung in Arbeit

In-Wheel-Motoren



Beschreibung:

In-Wheel-Motoren sind direkt in die Radnabe integrierte Elektromotoren, die den Antrieb jedes Rades individuell ermöglichen.

Anders als bei zentralen oder achsintegrierten Antrieben erfolgt die Drehmomentübertragung ohne mechanische Komponenten wie Wellen oder Differenziale.

Dadurch entsteht ein hochgradig modulares Fahrzeugkonzept, das flexible Plattformarchitekturen, präzise Drehmomentsteuerung und eine kompakte Bauweise ermöglicht – besonders relevant für automatisierte Shuttles und urbane Fahrzeuge.

Vorteile:

- Direkter, verlustarmer Kraftfluss ohne Getriebe oder Antriebswelle
- Ermöglicht Torque Vectoring und präzise Fahrdynamikregelung an jedem Rad
- Raumgewinn für Batterien oder Innenraum durch Wegfall des zentralen Antriebs

Herausforderungen:

- Höhere ungefederte Massen beeinträchtigen Fahrkomfort und Dynamik
- Anspruchsvolles Thermomanagement in der Radumgebung erforderlich
- Schutz vor Feuchtigkeit, Schmutz und mechanischen Stößen komplex

Wichtige Akteure

- Technologieanbieter:
 - Protean Electric
 - Elaphe
 - Schaeffler



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Ermöglicht neue, modulare Fahrzeugarchitekturen und präzise Fahrdynamikregelung

Aktuelle Relevanz



Bisher auf Pilot- und Nischenanwendungen beschränkt

Technologische Reife



Funktionsfähig erprobt, aber noch nicht industriell skaliert

Magnetfreie E-Motoren



Beschreibung:

Magnetfreie E-Motoren verzichten auf Permanentmagnete aus Seltenen Erden und erzeugen ihr Erregerfeld stattdessen durch elektrische Erregung oder Reluktanzeffekte.

Zu den wichtigsten Varianten zählen erregte Synchronmaschinen (EESM), bei denen das Magnetfeld durch Spulen im Rotor entsteht, sowie Reluktanzmotoren (SynRM oder SRM), die das magnetische Drehmoment durch variable magnetische Reluktanz erzeugen.

Diese Topologien ermöglichen eine nachhaltige, rohstoffunabhängige und kosteneffizientere Alternative zu Permanentmagnet-Synchronmaschinen (PMSM), die derzeit in den meisten Elektrofahrzeugen eingesetzt werden.

Vorteile:

- Verzicht auf Seltene Erden → reduzierte Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen
- potenziell geringere Kosten bei steigenden Rohstoffpreisen
- Bessere Leistung bei hohen Geschwindigkeiten

Herausforderungen:

- Geringere Leistungsdichte und schlechtere Effizienz im Teillastbereich im Vergleich zu Permanentmagnet-Synchronmaschinen (PSM)
- Größerer Bauraum erforderlich

Wichtige Akteure

- OEMs
- Zulieferer:
 - ZF
 - Mahle
 - Schaeffler
 - Valeo



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Ermöglicht nachhaltige, rohstoffunabhängige Elektromobilität

Aktuelle Relevanz



Bisher auf Pilot- und Nischenanwendungen beschränkt

Technologische Reife



Technische Machbarkeit nachgewiesen, Skalierung läuft

Induktives Laden



Beschreibung:

Induktives Laden ermöglicht das kabellose Laden von Elektrofahrzeugen, indem elektrische Energie über ein magnetisches Feld zwischen einer Ladeplatte am Boden und einer Empfangsspule im Fahrzeug übertragen wird. Dadurch entfällt das manuelle Anschließen eines Ladekabels, was den Ladeprozess komfortabler und automatisierter macht. Es gibt zwei Hauptanwendungen:

- **Statisches induktives Laden** – Fahrzeug lädt, wenn es über einer Ladeplatte parkt.
- **Dynamisches induktives Laden** – Energieübertragung während der Fahrt auf speziell ausgestatteten Straßen.

Vorteile:

- **Bequemer Ladeprozess** – Kein Stecker oder Kabel erforderlich, ideal für autonomes Laden.
- **Erhöhte Sicherheit** – Keine freiliegenden Kabel oder Steckverbindungen.
- **Automatisiertes Laden** – Induktives Laden erleichtert die automatisierte Ladefunktion.
- **Erweiterung der Reichweite** durch dynamisches Laden.

Herausforderungen:

- **Effizienzverluste** – Induktives Laden ist oft weniger effizient als kabelgebundenes Laden.
- **Hohe Kosten** – Infrastruktur und Fahrzeugintegration sind teurer als konventionelle Ladelösungen.

Wichtige Akteure

- [Easelink](#)
- [WiTricity](#)
- [InductEV](#)
- [Porsche](#)
- [Hevo](#)
- [Plugless Power](#)
- [Wave Charging](#)



Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsseltechnologie für Komfort und autonomes Laden.

Aktuelle Relevanz



Erste Pilotprojekte, aber noch nicht weit verbreitet.

Technologische Reife



Technisch umsetzbar, aber Herausforderungen bei Effizienz und Kosten.

Megawatt Charging System



Beschreibung:

Megawatt Charging Systems (MCS) sind ein neuer Standard für das ultraschnelle Laden von Nutzfahrzeugen, wie Elektro-Lkw, Busse oder schwere Nutzfahrzeuge. Im Vergleich zu bestehenden Hochleistungsladesystemen (z. B. CCS) ermöglicht MCS Ladeleistungen bis zu 3,75 MW und damit deutlich kürzere Ladezeiten selbst bei großen Batteriekapazitäten.

Vorteile:

- Extrem kurze Ladezeiten – Von 20% auf 80% in 30 Minuten.
- Ermöglicht Elektrifizierung von Langstrecken-Lkw – Schlüsseltechnologie für CO₂-freien Schwerlastverkehr.

Herausforderungen:

- Hoher Infrastrukturbedarf – Netzanschluss, Transformatoren und Kühlung müssen stark dimensioniert werden.
- Standardisierung läuft noch – Endgültige Spezifikationen sind noch in der Entwicklung (CharIN).

Wichtige Akteure

- [Kempower](#)
- [Alpitronic](#)
- [Siemens](#)
- [ABB](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Kritisch für die Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs.

Aktuelle Relevanz



Pilotprojekte laufen, aber noch keine breite Verfügbarkeit.

Technologische Reife



Standardisierung und Markteinführung im Gange.

Batteriewechselsysteme



Beschreibung:

Batteriewechselsysteme ermöglichen es, leere Fahrzeugbatterien innerhalb weniger Minuten gegen vollständig geladene Batterien auszutauschen, anstatt sie per Kabel zu laden. Diese Technologie ist besonders interessant für Elektrofahrzeuge, Nutzfahrzeuge und Robotaxis, da sie Ladezeiten eliminiert und die Nutzung von kleineren, standardisierten Batterien erlaubt.

Vorteile:

- Schnellere „Ladezeiten“ – Austausch dauert nur wenige Minuten.
- Weniger Batterieverschleiß – Optimiertes Laden außerhalb des Fahrzeugs kann die Lebensdauer der Akkus verlängern.
- Kleinere Batterie nötig – Nutzer müssen keine überdimensionierte Batterie für seltene Langstrecken mitführen.
- Besonders geeignet für Flotten & Taxis – Reduziert Standzeiten und steigert die Effizienz.

Herausforderungen:

- Standardisierung erforderlich – Fahrzeughersteller müssten einheitliche Batteriestandards entwickeln.
- Hohe Infrastrukturkosten – Wechselstationen müssen in großem Maßstab gebaut und betrieben werden.

Wichtige Akteure

- [Nio Power](#)
- [Ample](#)
- [CATL](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Große Chance für Taxis & Flotten, aber fragliche Akzeptanz bei Privatfahrzeugen.

Aktuelle Relevanz



Erste Pilotprojekte, aber kein globaler Standard.

Technologische Reife



Funktioniert technisch, aber Skalierbarkeit ist eine Herausforderung.

Automatisiertes Laden



Beschreibung:

Automatisiertes Laden ermöglicht es Elektrofahrzeugen, eigenständig den Ladevorgang zu starten und zu beenden, ohne dass ein menschlicher Eingriff erforderlich ist. Dies ist eine Schlüsseltechnologie für autonomes Fahren, da sie sicherstellt, dass selbstfahrende Fahrzeuge ohne Fahrer aufgeladen werden können. Es gibt verschiedene Ansätze für automatisiertes Laden:

- Induktives Laden – Kabelloses Laden durch elektromagnetische Felder.
- Robotergestütztes Laden – Mechanische Ladeeinheiten, die den Ladestecker selbstständig anschließen.

Vorteile:

- Hoher Komfort – Keine manuelle Handhabung von Ladekabeln erforderlich.
- Grundlage für autonome Fahrzeuge – Ermöglicht eine vollständig fahrerlose Fahrzeugnutzung.

Herausforderungen:

- Technologische Komplexität – Hohe Anforderungen an Präzision und Automatisierung.
- Hohe Kosten für Infrastruktur – Robotergestützte Ladesysteme sind teuer und noch wenig verbreitet.

Wichtige links

- [Bosch + Cariad](#)
- [Rocsys](#)
- [Hyundai Automatic Charging Robot](#)
- [Zeekr](#)

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsseltechnologie für autonome Mobilität.

Aktuelle Relevanz



Erste Pilotprojekte, aber noch keine breite Marktanwendung.

Technologische Reife



Die Technologie ist in der Entwicklung fortgeschritten, aber noch nicht standardisiert oder weit verbreitet.

Vehicle-to-Grid



Beschreibung:

Vehicle-to-Grid (V2G) ermöglicht es Elektrofahrzeugen (EVs), nicht nur Energie aus dem Stromnetz zu beziehen, sondern auch überschüssige Energie zurück ins Netz einzuspeisen. Dadurch können EVs als mobile Energiespeicher genutzt werden, um das Stromnetz zu stabilisieren.

Vorteile:

- Netzstabilisierung – EVs können Stromspitzen ausgleichen und erneuerbare Energien effizienter nutzen.
- Kosteneinsparung für Nutzer – Möglichkeit, durch Stromrückspeisung Geld zu verdienen.
- Reduzierung fossiler Energieabhängigkeit – Erneuerbare Energie kann besser integriert werden.

Herausforderungen:

- Batterieverschleiß – Häufige Lade-/Entladezyklen können die Lebensdauer der Batterie beeinflussen.
- Hohe Anfangsinvestitionen – Bidirektionale Ladeinfrastruktur ist teurer als normale Ladesysteme.

Wichtige Akteure

- OEMs
- Ladeinfrastruktur:
 - ABB
 - Kempower
 - Enel X
- Netzbetreiber

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsseltechnologie für smarte Netze und erneuerbare Energien.

Aktuelle Relevanz



Erste Pilotprojekte, aber noch nicht weit verbreitet.

Technologische Reife



Technisch umsetzbar, aber infrastrukturelle Hürden bestehen.

Feststoffbatterien



Beschreibung:

Feststoffbatterien (SSB, Solid-State Batteries) sind eine Weiterentwicklung der herkömmlichen Lithium-Ionen-Batterien, bei denen der flüssige Elektrolyt durch einen festen Elektrolyten ersetzt wird. Diese Technologie verspricht höhere Energiedichte, verbesserte Sicherheit und längere Lebensdauer, was sie besonders attraktiv für Elektrofahrzeuge macht.

Vorteile:

- Erhöhte Reichweite – Bis zu 50 % höhere Energiedichte als herkömmliche Lithium-Ionen-Batterien.
- Verbesserte Sicherheit – Kein brennbarer Flüssigelektrolyt, daher geringeres Risiko für Thermal Runaway.
- Potenzial für Schnellladen – Kürzere Ladezeiten möglich, abhängig von der Materialwahl des Festelektrolyten.

Herausforderungen:

- Produktionskosten & Skalierung – Aktuell noch teurer in der Herstellung als Lithium-Ionen-Batterien.
- Materialherausforderungen – Die Wahl des richtigen Festelektrolyten (Keramik, Polymere, Sulfide) ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit.

Wichtige Akteure



- OEMs
- Technologieentwickler und Start-ups:
 - Quantumscape
 - Solid Power
 - ProLogium
- Etablierte Batteriehersteller:
 - LG
 - Samsung
 - CATL

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Könnte die Elektromobilität revolutionieren und Lithium-Ionen-Batterien ersetzen.

Aktuelle Relevanz



Erste Prototypen vorhanden, aber noch keine Serienfertigung für Fahrzeuge.

Technologische Reife



Herausforderungen in Produktion und Skalierung.

Software Defined Vehicle



Beschreibung:

Ein Software-Defined Vehicle (SDV) ist ein Fahrzeug, dessen Funktionen und Fähigkeiten hauptsächlich durch Software gesteuert und aktualisiert werden können. Im Gegensatz zu traditionellen Fahrzeugen, bei denen die Hardware den Funktionsumfang bestimmt, ermöglichen SDVs kontinuierliche Over-the-Air (OTA) Updates, neue Features und eine flexiblere Fahrzeugarchitektur.

Vorteile:

- Funktionen können über Softwareupdates erweitert werden
- Ermöglicht längere Nutzungsdauer und höhere Wertstabilität
- Beschleunigt Entwicklungs- und Update-Zyklen

Herausforderungen:

- Hohe Anforderungen an Cybersecurity und Softwarequalität
- Bedarf an stabiler Backend-/Cloud-Integration

Wichtige Akteure

- OEMs
- Tier-1-Zulieferer
- Chip- und Technologieanbieter

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Eine Schlüsseltechnologie für das automatisierte Fahren

Aktuelle Relevanz



Erste Seriengenerationen im Markt

Technologische Reife



Architektur vorhanden, aber Ecosystem und Standards entwickeln sich noch

Zonenbasierte E/E-Architektur



Beschreibung:

Die zonenbasierte elektrische/elektronische (E/E) Architektur ist eine grundlegende Umgestaltung der Fahrzeugarchitektur.

Anstelle zahlreicher, funktionspezifischer Steuergeräte (ECUs) wird das Fahrzeug in räumliche Zonen unterteilt.

Jede Zone enthält einen leistungsfähigen Zonenkontroller, der lokale Sensoren und Aktoren steuert und Daten an eine zentrale Recheneinheit weiterleitet.

Diese Architektur reduziert Kabelbäume, vereinfacht Softwareintegration und bildet die technische Grundlage für softwaredefinierte Fahrzeuge.

Vorteile:

- Reduzierte Komplexität der Verkabelung und Systemarchitektur
- Gewichts- und Kostenreduktion durch kürzere Kabel und weniger Steuergeräte
- Einfachere Software-Updates und standardisierte Schnittstellen
- Bessere Skalierbarkeit für verschiedene Fahrzeugplattformen

Herausforderungen:

- Zentralisierung erfordert hohe Rechenleistung und Cybersecurity

Wichtige Akteure

- OEMs
- Zulieferer
- Chip- und Technologieanbieter

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Basis für Software-Defined Vehicle und skalierbare Plattformen

Aktuelle Relevanz



Wird von führenden OEMs in aktuellen Plattformen und skaliert.

Technologische Reife



Architektur ist in neuen Fahrzeugmodellen etabliert, der Übergang vom alten System ist jedoch noch in Gange.

Steer-by-Wire



Beschreibung:

Steer-by-Wire ersetzt die mechanische, durchgehende Verbindung zwischen Lenkrad und Vorderachse durch eine elektrische / mechatronische Signalübertragung.

Lenkwinkel und Lenkmomente werden über Sensoren erfasst, elektronisch verarbeitet und über Aktuatoren auf die Räder übertragen.

Haptisches Feedback (Lenkmoment) wird künstlich generiert (Force-Feedback).

Vorteile:

- Enabler für höheres automatisiertes Fahren
- Verbesserte Sicherheit durch Redundanz
- Verbesserte Fahrdynamik & Personalisierung

Herausforderungen:

- Erhöhter Energiebedarf
- Lenkgefühl und Fahrer-Feedback



Wichtige Akteure

- OEMs
- Tier-1-Zulieferer
- Halbleiter- und Chip-Anbieter

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Schlüsselkomponente für hochautomatisiertes Fahren (Level 3–4)

Aktuelle Relevanz



Erste Serienanwendungen vorhanden.

Technologische Reife



Systeme verfügbar, Skalierung im Gange

Brake-by-Wire



Beschreibung:

Brake-by-Wire ersetzt die mechanische bzw. hydraulische Durchleitung der Bremskraft durch ein elektronisch gesteuertes Bremssystem.

Pedalweg und Pedalkraft werden über Sensoren erfasst und in elektrische Signale übertragen. Aktuatoren im Bremssystem setzen diese Signale in Bremsdruck um (z. B. elektromechanisch oder elektrohydraulisch).

Das System erzeugt ein künstliches Pedalfeedback („Pedal Feel“) über softwarebasierte Kennlinien.

Vorteile:

- Schnellere und präzisere Bremsdruckregelung
- Effiziente Rekuperationssteuerung bei E-Fahrzeugen
- Wichtig für automatisierte Fahrfunktionen

Herausforderungen:

- Komplexe Redundanzkonzepte für Aktuatorik und Energieversorgung
- Validierung des künstlichen Pedalgefühls / Nutzerakzeptanz

Wichtige links

- Tier-1-Zulieferer
- OEMs
- Halbleiter- und Chip-Anbieter

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Wichtige Technologie für E-Fahrzeuge und automatisiertes Fahren

Aktuelle Relevanz



Erste Serienanwendungen vorhanden

Technologische Reife



Systeme verfügbar, Skalierung im Gange

Shift-by-Wire



Beschreibung:

Shift-by-Wire bezeichnet die elektronische Steuerung der Gangwahl ohne mechanische Verbindung zwischen Bedienelement (z. B. Gangwahlschalter) und Getriebeaktuator. Die Schaltanforderung wird als elektrisches Signal übertragen, das im Getriebe bzw. Antriebssteuergerät in einen Schaltvorgang umgesetzt wird. Dadurch entfällt die mechanische Koppelung (Bowdenzug / Schaltgestänge).

Vorteile:

- Reduzierter mechanischer Aufwand / weniger Bauteile
- Wichtig für automatisierte Fahrfunktionen
- Flexiblere Positionierung-Optionen für Bedienelemente im Innenraum

Herausforderungen:

- Redundante Auslegung notwendig

Wichtige links

- Tier-1-Zulieferer
- OEMs
- Halbleiter- und Chip-Anbieter

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Etablierte Technologie, höheres Potenzial in Kombination mit Automatisierung

Aktuelle Relevanz



Breite Serienverfügbarkeit, Standard bei modernen Automatik- und EV-Plattformen

Technologische Reife



Ausgereift und industriell vollständig eingeführt

Batterierecycling



Beschreibung:

Das Batterierecycling für Batterien aus der E-Mobilität beginnt oft nach einer möglichen Zweitnutzung im stationären Bereich. Der Prozess startet mit der manuellen Demontage des Batteriesystems. Anschließend werden die Komponenten sortiert, geschreddert und einer thermischen Aufschmelzung unterzogen. Am Ende steht die Materialtrennung, wodurch ein Großteil der wertvollen Batteriematerialien effizient zurückgewonnen werden kann.

Vorteile:

- Ressourcenschonung – Reduzierung des Bedarfs an neu abgebauten Rohstoffen wie Lithium, Kobalt und Nickel.
- Umweltfreundlichkeit – Verminderung von Umweltverschmutzung durch die Reduktion von Batterieabfällen
- Förderung der Kreislaufwirtschaft – Unterstützung nachhaltiger Produktionsmethoden durch Rückführung von Materialien in den Produktionskreislauf.

Herausforderungen:

- Technologische Komplexität – Effiziente und sichere Verfahren zur Rückgewinnung der Materialien sind technisch anspruchsvoll.
- Wirtschaftlichkeit – Hohe Investitionskosten für die Entwicklung und Implementierung von Recyclinganlagen.

Wichtige Akteure



- Spezialisierte Recycler:
 - Umicore
 - Li-Cycle (Glencore)
 - Redwood Materials
 - Fortum
- Zellhersteller mit eigenen Recyclingpfaden
- OEMs mit eigenen Recyclinginitiativen

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Entscheidend für nachhaltige Elektromobilität

Aktuelle Relevanz



der Ausbau wird durch neue gesetzliche Recyclingquoten und EU-Batterieregulierung stark vorangetrieben.

Technologische Reife



Verfahren sind bekannt, die Herausforderung liegt in der Automatisierung der Demontage und der industriellen Skalierung.

Circular Economy



Beschreibung:

Circular Economy beschreibt ein Wertschöpfungsmodell, bei dem Materialien und Produkte so lange wie möglich im Kreislauf gehalten werden.

Im Mobilitätsbereich umfasst dies u. a. Recycling, Wiederverwendung (Second Life), Remanufacturing, modulare Reparaturfähigkeit und Design-for-Recycling, um Ressourcenverbrauch, CO₂-Emissionsintensität und Abhängigkeit von Primärrohstoffen zu reduzieren.

Vorteile:

- Reduziert Material- und Rohstoffverbrauch über den Lebenszyklus
- Verringert CO₂-Footprint von Fahrzeugen und Batterien
- Erhöht Ressourceneffizienz und Materialverfügbarkeit
- Unterstützt regulatorische Anforderungen (z. B. EU-Batterieregulation)

Herausforderungen:

- Komplexe Rücknahme-, Zerlegung- und Logistikprozesse
- Standardisierung für Rückgewinnung und Demontage noch im Aufbau
- Wirtschaftliche Skalierung abhängig von Materialpreisen
- Datenverfügbarkeit über den gesamten Lifecycle nötig (Traceability)



Wichtige Akteure

- Gesetzgeber und Regelierungsbehörden
- Unternehmen und Industrie
- Recyclingunternehmen

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Zentrale Grundlage für nachhaltige und regulatorisch konforme Wertschöpfung

Aktuelle Relevanz



Umsetzung wird durch neue EU-Regulatorik deutlich beschleunigt

Technologische Reife



Verfahren und Prozesse existieren, Harmonisierung und Skalierung laufen noch

Green Factories



Beschreibung:

Green Factories bezeichnen Produktionsstätten, die auf ressourcen- und energieeffiziente Fertigung ausgerichtet sind.

Dies umfasst u. a. den Einsatz von erneuerbaren Energien, energieoptimierte Produktionsprozesse, CO₂-reduzierte Materialien, Closed-Loop-Kreisläufe in der Fabrik sowie digital gestützte Energie- und Materialmonitoring-Systeme.

Ziel ist die Reduktion von CO₂-Emissionen, Energieverbrauch und Abfall entlang der automatisierten Wertschöpfung.

Vorteile:

- Reduzierter Energieverbrauch und CO₂-Fußabdruck in der Produktion
- Geringerer Rohstoffverbrauch durch effizientere Materialnutzung
- Unterstützt Nachhaltigkeits-/ESG-Ziele und gesetzliche Anforderungen
- Fördert Kosteneffizienz im Betrieb

Herausforderungen:

- Hohe Investitionskosten in Produktionsmodernisierung
- Komplexe Umrüstung bestehender Fabriken



Wichtige Akteure

- Gesetzgeber und Regelierungsbehörden
- Produzierende Unternehmen (OEMs und Konzerne)
- Energieanbieter
- Industrie-Automatisierer (Smart Factory)
- Bau- und Gebäudetechnik

Bewertung

Zukünftiger Einfluss



Notwendig für regulatorisch geforderte CO₂-Reduktion in der Fertigung

Aktuelle Relevanz



Umsetzung wird durch neue EU-Regulatorik deutlich beschleunigt

Technologische Reife



Technologien verfügbar, aber breite Umsetzung noch im Aufbau