



TECHNOLOGIEKALENDER

Strukturwandel Automobil
Baden-Württemberg

Technologiesteckbriefe

April 2020



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU

Im Auftrag des
Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg

Im Rahmen des
Strategiedialogs Automobilwirtschaft Baden-Württemberg

Impressum.

Vorwort

Die Verfasser*innen danken zahlreichen Experten*innen für Antworten auf ihre Fragen und die Teilnahme an der Delphi-Befragung sowie den Workshops. Ohne sie wären viele der neuen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen nicht möglich gewesen.

Herausgeber

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Fahrzeugkonzepte

Projektleitung

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
Institut für Fahrzeugkonzepte
Dr.-Ing. Stephan Schmid

Projektpartner und Autor*innen

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
Institut für Fahrzeugkonzepte
Christian Ulrich, Benjamin Frieske, Dr.-Ing. Stephan Schmid

IMU Institut GmbH

Sylvia Stieler, Dr. Martin Schwarz-Kocher

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

IPEK - Institut für Produktentwicklung
Florian Marthaler, Sascha Ott, Jonas Reinemann

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Dr.-Ing. Peter Bickel, Simon Schwarz, Anna-Lena Fuchs, Maike Schmidt

April 2020

© Copyright liegt bei den Herausgebern. Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Für die Richtigkeit der Herstellerangaben wird keine Gewähr übernommen.

Einführung in die Technologiesteckbriefe.

Der Technologiekalendar Strukturwandel Automobil Baden-Württemberg bietet insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen Orientierung, indem er

- in einem Leitfaden die wesentlichen Veränderungen und die Herausforderungen für die baden-württembergische Automobilindustrie zusammenfasst,
- in einem Modulkatalog für 44 Module einen Überblick über die zeitliche Entwicklung des Technologiereifegrads (TRL) und Herstellungsreifegrads (MRL) darstellt und
- in den hier vorliegenden 148 Technologiesteckbriefen die einzelnen Technologien kurz beschreibt und die jeweiligen Vorteile, Hemmnisse für ihre Einführung, Einsatzbereiche, Leistungsbereiche sowie Kompetenzanforderungen ihrer Produktion darstellt.

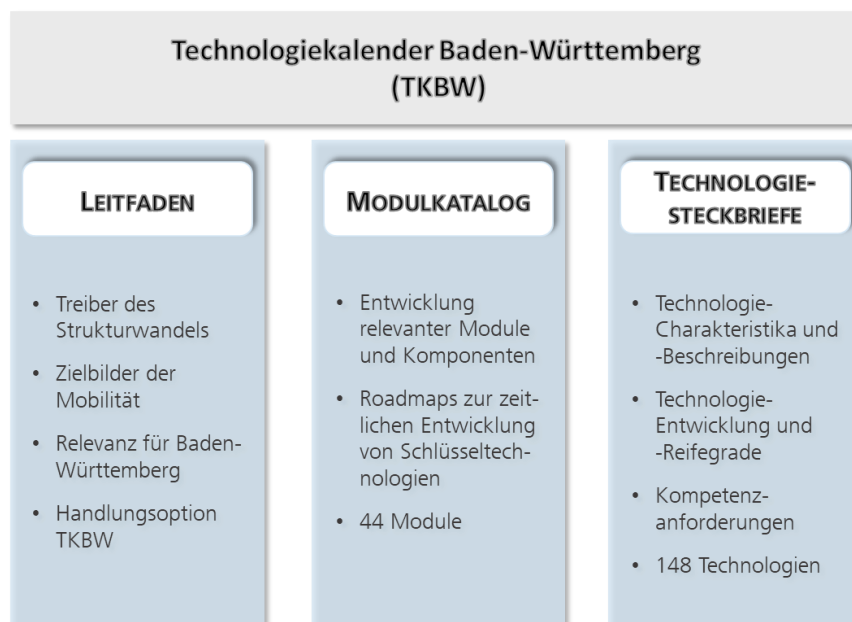


Abbildung 1: Projektergebnisse: die drei Säulen des Technologiekalendar (Quelle: eigene Darstellung)

Die hier dargestellten Technologien ergeben sich aus der Identifikation zentraler Module im Pkw, deren Veränderung infolge mittel- bis langfristiger Trends absehbar ist. Besonderen Einfluss hat dabei die Verringerung der Emissionen als zentrales politisches Ziel im Klimaschutz, die zu Veränderungen im Antriebsstrang konventioneller Fahrzeuge und zur Entwicklung gänzlich neuer Antriebskonzepte führt. Hier wird der Verbrennungsmotor fortlaufend für weitere Kraftstoffeinsparungen und geringen Schadstoff- bzw. CO₂-Ausstoß optimiert. Daneben werden alternative Antriebskonzepte für hybride, batterieelektrische, mit Wasserstoff oder mit synthetischen Kraftstoffen betriebene Fahrzeuge vorangetrieben. Zudem führt die Entwicklung hin zu (hoch-)automatisiert und autonom fahrenden Fahrzeugen zu weiteren Veränderungen in der Wertschöpfung der Fahrzeuge durch zusätzliche Funktionalitäten, Komponenten und Module. So werden beispielsweise auch die Technologien der Umfelderkennung, Positionierung, Kommunikation und Datenverarbeitung im Folgenden beschrieben.

Ausgewählt wurden die Technologien nach ihrer Bedeutung für die Wertschöpfung des Antriebsstrangs und für automatisierte/autonome Fahrfunktionen, da technologische Entwicklungen in diesen Bereichen im derzeitigen Strukturwandel die größte Relevanz besitzen und bestehende Komponenten verändern, erweitern oder gar ganz ersetzen.

Der hier vorliegende Steckbriefkatalog stellt für insgesamt 148 Technologien eines Fahrzeugs (Fokus: Pkw) deren Einsatzbereiche und Vorteile gegenüber dem derzeitigen Stand der Technik sowie Hemmnisse bei der Einführung und konkurrierende Technologien dar. Außerdem wird die zeitliche Entwicklung der Technologiereifegrade (Technology Readiness Level, TLR) und Herstellungsreifegrade (Manufacturing Readiness Level, MRL) bis 2035 aufgezeigt. Schlagworte und für die Produktion der Technologien benötigte Kompetenzen vervollständigen die Steckbriefe. Die weiteren Projektergebnisse (Leitfaden, Technologiesteckbriefe) stehen unter www.tkbw.de zur Verfügung.

Die erstmalige Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Reifegrade basiert auf Delphi-Befragungen und Einschätzungen von Fachexperten – sie stellen den zentralen Mehrwert der Analysen dar und liefern konkrete Ansatzpunkte, wann welche Technologie erstens technologisch ausgereift und zweitens massenherstellungsfähig ist. Beides in Kombination führt zu einem möglichen Produktangebot im genannten Zeitraum. Eine Aussage wiederum, ob zu diesem Zeitpunkt auch eine Produkt-Markt-Kombination möglich ist (also ein mögliches Produkt Kundenbedürfnisse in einem bestimmten Markt befriedigt), kann damit nicht getroffen werden. Insgesamt konnten 123 der 148 Technologiesteckbriefe von Experten verifiziert werden, die weiteren Einschätzungen stützen sich auf Literaturrecherchen.

Nach dem Inhaltsverzeichnis folgen in den Technologiesteckbriefen

- ein Muster-Steckbrief zur Erläuterung des Aufbaus und den zusammengestellten Informationen; die einheitliche Gliederung erleichtert die schnelle Orientierung in den einzelnen Technologiesteckbriefen,
- die Definition der verwendeten Technologie-Reifegrade (Technology Readiness Level, TRL) und Herstellungsreifegrade (Manufacturing Readiness Level, MRL),
- zwei Listen mit den Kompetenzen und Schlagworten und den jeweils relevanten Technologiesteckbriefen (alternativ können Kompetenzen, Schlagworte und alle weiteren Begriffe über die Freitextsuche gefunden werden) sowie
- eine Übersicht zu allem dargestellten Technologien und Modulen.

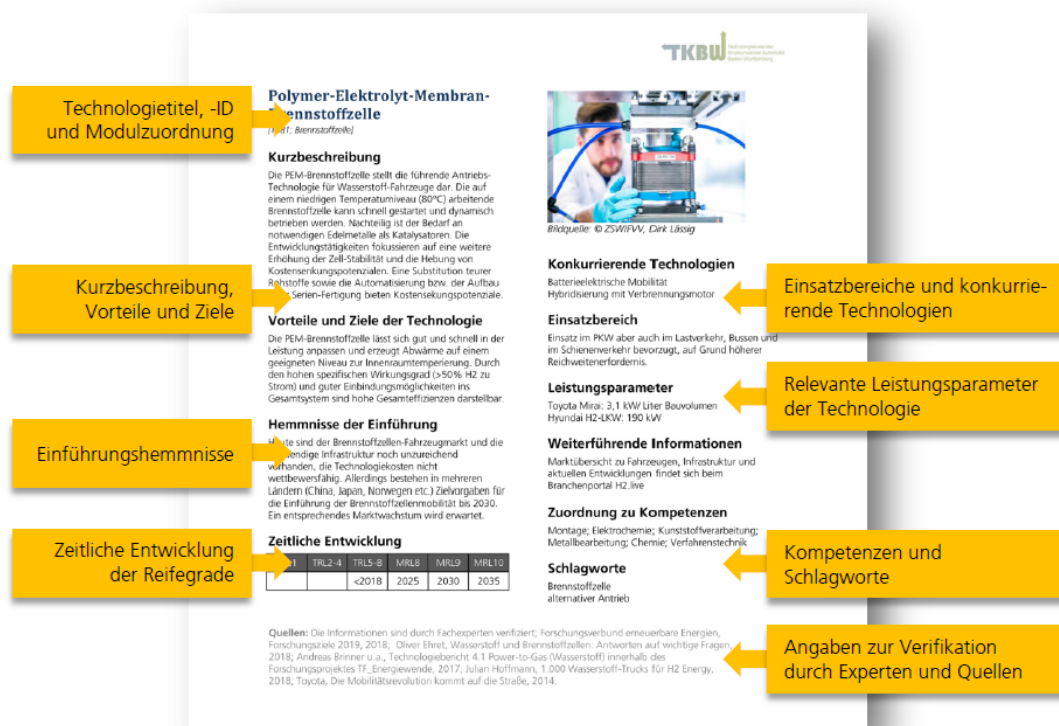


Abbildung 2: Lesehilfe zur Darstellung der Technologiesteckbriefe (Quelle: eigene Darstellung)

Dieser Steckbriefkatalog ergänzt die beiden weiteren Projektergebnisse „Leitfaden“ und „Modulkatalog“:

- Der Leitfaden beschreibt generelle gesellschaftliche Trends, die Entwicklung zukünftiger Fahrzeug-, Antriebs- und Automatisierungskonzepte sowie deren Markthochlauf in verschiedenen Zielbildern der Mobilität. Außerdem konkretisiert der Leitfaden die Auswirkungen des Wandels in der Automobilbranche für den Standort Baden-Württemberg.
- Der Modulkatalog bildet das Bindeglied zwischen Leitfaden und Steckbriefkatalog. Durch die Ableitung relevanter Module und deren Beschreibung wird das Fahrzeug in einzelne Bereiche aufgegliedert. Innerhalb der Module wird die zeitliche Entwicklung konkreter Technologien in Roadmaps anhand von Technologie- und Herstellungsreifegraden dargestellt. Die dort dargestellten Technologien werden im vorliegenden Steckbriefkatalog spezifiziert und im Detail dargestellt. Im Modulkatalog findet sich auch eine Auswertung weltweiter Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (F&E) zu den betrachteten Technologien, um kleinen oder mittleren Unternehmen anhand von Patentdaten Hinweise zu technologisch besonders aktiven Unternehmen und Institutionen bzw. Technologieführern bereitzustellen.

Alle Projektergebnisse finden Sie unter www.tkbw.de.

Inhaltsverzeichnis.

Muster-Steckbrief.....	v
Die Reifegrade TRL und MRL.....	vi
Kompetenzliste.....	vii
Schlagwortliste.....	xii
Technologie- und Modulliste.....	xix
Technologiesteckbriefe.....	1

Die Reifegrade TRL und MRL.

Die Erläuterung der *Technology Readiness Level* (TRL) bzw. der *Manufacturing Readiness Level* (MRL) basiert auf der Klassifikation der NASA¹ und des Automotive Council UK². Die Reifegrade beziehen sich ab TRL5-8 auf den automobilen Einsatz. MRL-Reifegrade sagen nichts darüber aus, ob die Technologie am Markt erfolgreich ist bzw. sein wird, sondern bestimmen lediglich, wie weit deren Produktionsfähigkeit vorangeschritten ist.

TRL1: Grundlagenforschung

- Die naturwissenschaftlichen Grundprinzipien wurden beobachtet.
- Wissenschaftliche Forschung wurde durchgeführt.
- Die Leistungsparameter wurden vorhergesagt.

TRL2-4: Technologische Forschung

- Die Technologiekomponente und/oder das Basissubsystem wurden in der Labor- oder Testumgebung validiert.
- Das Grundkonzept wurde in anderen Branchen als der Automobilbranche (z.B. Luft- und Raumfahrt oder Konsumgüter) umgesetzt.
- Anforderungen und Wechselwirkungen mit relevanten Fahrzeugsystemen wurden ermittelt.

TRL5-8: Produktdemonstration

- Die Test- und Demonstrationsphase ist abgeschlossen.
- Die Technologie hat sich in ihrer endgültigen Form und unter den erwarteten Bedingungen bewährt.
- Die Leistungsparameter wurden bestätigt.

MRL8: Erstproduktion

- Fertigungsprozess im Pilotmaßstab wurde aufgebaut und demonstriert.
- Vorbereitung zur Herstellung in Einzel- oder Kleinserienfertigung.
- Herstellungs- und Qualitätsprozesse und -verfahren haben sich in der Produktionsumgebung bewährt.
- Erste Lieferbeziehungen sind etabliert und stabil.

MRL9: Massenproduktionsfähigkeit nachgewiesen

- Herstellung erfolgt in Einzel- oder Kleinserienfertigung.
- Die Fähigkeit zur Massenproduktion wurde nachgewiesen.
- Die wichtigsten Merkmale des Systemdesigns sind stabil und haben sich in Test und Auswertung bewährt.
- Es stehen Materialien zur Verfügung, um die geplanten Massenproduktionspläne einzuhalten.
- Fertigungsprozesse und -verfahren sind etabliert.

MRL10: Erfolgreiche Massenproduktion bewährt

- Die vollständige Serienproduktion wurde demonstriert.
- Konstruktionsänderungen beschränken sich auf Qualitäts- und Kostenverbesserungen.
- Systeme und Komponenten befinden sich in Serienfertigung und erfüllen alle Anforderungen an Technik, Leistung, Qualität und Zuverlässigkeit.
- Alle Materialien, Herstellungsverfahren, Prüf- und Testgeräte sind in der Produktion und werden in der Qualitätssicherung überwacht.

¹ https://www.nasa.gov/pdf/458490main_TRL_Definitions.pdf [Zugriff: 11.03.2020]

² <https://www.smm.co.uk/wp-content/uploads/sites/2/Automotive-Technology-and-Manufacturing-Readiness-Levels.pdf> [Zugriff: 11.03.2020]

Kompetenzliste.

In der folgenden Liste werden alle Kompetenzen aufgeführt, die den Technologien zugeordnet wurden. Anhand einer Kompetenz kann nach dieser Technologie gesucht werden, bzw. dem Verweis auf die jeweilige Technologie-ID gefolgt werden. Dazu wird am besten die „Suchen“-Funktion des PDF-Readers genutzt.

Kompetenz	Technologien (inkl. Technologie-ID)
Aktuatorik	Elektrische Aktuatoren (T127), Steer-by-Wire (T128), Brake-by-Wire (T129)
Antennen-design	EGNOS v3 für SBAS (T130), Bodengestütztes dGNSS (T131), Real Time Kinematics (T132), Multi-Konstellations- und -Frequenzantennen (T133), Software Defined Radio GNSS (T134), M-MIMO für Mobilfunk und Positionsbestimmung (T141), THz Kommunikation mit 6G (T143), mmWave 5G (T145), VANET (T148)
Batterie-management	Motor, Leistungselektronik (T029), Temperaturmanagement Batterie (T030), Stromzähler mit 2-3 physikalischen Messbereichen (T073), Sensorlose Temperaturbestimmung (T074), Elektronik für Automotive- und stationäre Anwendungen (T075), Online Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) (T076), Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung (T053), Latentwärmespeicher (T054)
Bordnetz	Schirmfreie Hochvoltbordnetze (T043), 800 V - 1,2 kV (T044)
Chemie	Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (T081), Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) (T089), Adsorptions- / Absorptionsspeicher (T096), Methanolsynthese (T097), Methansynthese (T098), Fischer-Tropsch-Verfahren (Benzin, Diesel, Kerosin) (T099), Dimethylether (DME) / Oxymethylether (OME) (T100)
Daten-management	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Energieeffizienz (T164), Sensorfusion (T103), HD-Karten (T140), CAN FD (T149), Optisches Automotive-Ethernet (T150), Kupferbasiertes Automotive-Ethernet (T174)
Elektrochemie	Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061), Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062), Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063), Zellgeneration 5: Li/O ₂ (Li/Luft) (T064), Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (T081), Alkalische Elektrolyse (AEL) (T088), Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) (T089), Festoxid-Elektrolyse (SOEL) (T090)
Elektrochemische Beschichtung	Membran-Elektrodeneinheit (MEA) (T087), Alkalische Elektrolyse (AEL) (T088)
Elektromotor	Exponentialgetriebe / Hochdrehzahlgetriebe (T019), Reduktion der mechanischen Komplexität (T020), Funktionsintegration (T021), Leichtbau durch hochfeste Stähle (T022), neue Materialien (Kunststoffe) (T023), Nutzung als Sensor (T024), Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik (T029), Nadelwickeltechnik / neue Wickeltechnik (T034), Asynchronmaschine mit Kupfer-Käfig (T035), Kühlkanäle direkt in der Wicklung (T036), Rechteckige Drähte für die Wicklungen (T037), Getriebe mit integrierter E-Maschine ohne Zusatzbaureaum (T039), Funktionsweise über E-Maschine (T040), Baukastenlösungen (T042), Bipolares Stapel Prinzip für Batterien (T058), Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung (T053), Latentwärmespeicher (T054)

Elektrotechnik	Schirmfreie Hochvoltbordnetze (T043), 800 V - 1,2 kV (T044), Steigerung Systemspannung auf 800 Volt (T070), Senkung Systemspannung auf 48 Volt (T071), Optimierte Battery Junction Box (T072), Stromzähler mit 2-3 physikalischen Messbereichen (T073), Elektronik für Automotive- und stationäre Anwendungen (T075), Homogenisierung der Zelltemperatur (T078), Temperierung mit nichtleitenden Fluiden (T079), Alkalische Elektrolyse (AEL) (T088), Miniaturisierung (T101), 79 GHz-Radar (T170), Radar im niedrigen THz-Bereich (T171)
Energie-management	Leitungsgebundener Wasserstoff-Transport (T091)
Fahrerassistenz	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013)
Fertigungstechnik	Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061), Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062), Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063), Zellgeneration 5: Li/O ₂ (Li/Luft) (T064), Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Stapeln statt Wickeln (T067), Wässrige Kathodenherstellung (T068), Neue Materialien für Batteriegehäuse (T069)
Halbleitertechnik	Energierückgewinnung (T007), Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis (T047), Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis (T166), Optimierte Battery Junction Box (T072), Miniaturisierung (T101), Radar im niedrigen THz-Bereich (T171), OFDM RadCom (T104), MEMS (T151), NEMS (T152), EUV-Lithographie (T153), More (than) Moore: SoC und SiP (T154), Photonic Integrated Circuit (T155)
Hochfrequenztechnik	79 GHz-Radar (T170), Radar im niedrigen THz-Bereich (T171), OFDM RadCom (T104), EGNOS v3 für SBAS (T130), Bodengestütztes dGNSS (T131), Real Time Kinematics (T132), WLAN-basierte Positionsbestimmung (T135), IEEE 802.11bd Standard für ITS-G5 (T147), Lichtbasierte Kommunikation (T175)
Hochvolttechnik	Steigerung Systemspannung auf 800 Volt (T070)
Integration elektronischer Bauteile	Funktionsintegration (T021)
Keramikverarbeitung	Festoxid-Elektrolyse (SOEL) (T090)
Kommunikationstechnik	EGNOS v3 für SBAS (T130), Bodengestütztes dGNSS (T131), Real Time Kinematics (T132), M-MIMO für Mobilfunk und Positionsbestimmung (T141), URLLC (T142), THz Kommunikation mit 6G (T143), 5G NR für C-V2X (T144), mmWave 5G (T145), VANET (T148), Lichtbasierte Kommunikation (T175), CAN FD (T149), Optisches Automotive-Ethernet (T150), Kupferbasiertes Automotive-Ethernet (T174)
Kühltechnik	Energiebedarfsreduzierung (T026), lokale Klimatisierung (T027), Temperaturmanagement Batterie (T030), Kühlung ohne Kältemittel/ nur mit Wasser (T031), E-Fluide als Kühlmedium (T032), Kühlkanäle direkt in der Wicklung (T036), Bionische Strukturen für einen integrierten Kühlkreislauf (T048), Doppelseitig gekühltes Leistungsmodul (T167), Temperierung mit nichtleitenden Fluiden (T079), Thermomanagement (T085), Deionisiertes Kühlmittel (T086), sCMOS (T158), Kühlsysteme für High-Performance Computing (T157)
Künstliche Intelligenz	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Entwicklung im digitalen Raum (T045), Sensorfusion (T103)

Kunststoff- verarbeitung	neue Materialien (Kunststoffe) (T023), Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (T081), Membran-Elektrodeneinheit (MEA) (T087), Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) (T089)
Ladeelektronik	Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung (T053)
Lasertechnik	Laserzündung (T163), Spinning LiDAR (T105), MEMS LiDAR (T106), OPA LiDAR (T107), Flash LiDAR (T108), LCM LiDAR (T168), VCSEL (T110), Faserlaser (T111), Single Photon Avalanche Diode für 1550nm (T115), Silizium Photomultiplikator für 1550nm (T116), 1550nm Wellenlänge (T112), FMCW Laser (T118), Aktiv geschaltete Bildgebung (T172), EUV-Lithographie (T153)
Leistungselektronik	Reduktion der mechanischen Komplexität (T020), Funktionsintegration (T021), Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik (T029), E-Fluide als Kühlmedium (T032), Entwicklung im digitalen Raum (T045), Null-Totzeit-Treiber (T046), Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis (T047), Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis (T166), Bionische Strukturen für einen integrierten Kühlkreislauf (T048), Doppelseitig gekühltes Leistungsmodul (T167), induktives Laden (T050), 900 kW Ladestandard (T051), Standardisierung Zugang (T052)
Maschinen- und Anlagenbau	Cryo-compressed-Technologie (T095), Adsorptions- / Absorptionsspeicher (T096), Methanolsynthese (T097), Methansynthese (T098), Fischer-Tropsch-Verfahren (Benzin, Diesel, Kerosin) (T099), Dimethylether (DME) / Oxymethylether (OME) (T100)
Materialwissenschaft	Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061), Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062), Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063), Zellgeneration 5: Li/O ₂ (Li/Luft) (T064), Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Wässrige Kathodenherstellung (T068), Neue Materialien für Batteriegehäuse (T069), 350bar / 700bar H ₂ -Speicher (T093), Flüssigwasserstoffspeicher (T094), Cryo-compressed-Technologie (T095), Adsorptions- / Absorptionsspeicher (T096), Methanolsynthese (T097), Methansynthese (T098), Fischer-Tropsch-Verfahren (Benzin, Diesel, Kerosin) (T099), Dimethylether (DME) / Oxymethylether (OME) (T100)
Mechanik	Trailer zum Wasserstoff-Transport (T092)
Mensch- Maschine- Schnittstelle	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Entwicklung im digitalen Raum (T045)
Mess- und Steuerungstechnik	Energieeffizienz (T164), Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061), Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062), Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063), Zellgeneration 5: Li/O ₂ (Li/Luft) (T064), Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Stapeln statt Wickeln (T067), Wässrige Kathodenherstellung (T068), Stromzähler mit 2-3 physikalischen Messbereichen (T073), Sensorlose Temperaturbestimmung (T074), Online Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) (T076), Homogenisierung der Zelltemperatur (T078), Temperierung mit nichtleitenden Fluiden (T079), EUV-Lithographie (T153)
Metallbearbeitung	Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (T081), Alkalische Elektrolyse (AEL) (T088), Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) (T089), Hydraulische Aktuatoren (T126)

Mikrosystem-technik	Spinning LiDAR (T105), MEMS LiDAR (T106), OPA LiDAR (T107), Flash LiDAR (T108), LCM LiDAR (T168), VCSEL (T110), Faserlaser (T111), Single Photon Avalanche Diode für 1550nm (T115), Silizium Photomultiplikator für 1550nm (T116), 1550nm Wellenlänge (T112), FMCW Laser (T118), pMUT (T125), M/NEMS-basierte Navigationssensoren (T136), Halbleiterbasiertes Ring-Laser-Gyroskop (T137), Chip-skalierte Atomuhr (T138), Molekulare Uhr (T139), MEMS (T151), NEMS (T152), More (than) Moore: SoC und SiP (T154), Photonic Integrated Circuit (T155), Kühlsysteme für High-Performance Computing (T157)
Montage	Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (T081), Membran-Elektrodeneinheit (MEA) (T087), Alkalische Elektrolyse (AEL) (T088), Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) (T089), Festoxid-Elektrolyse (SOEL) (T090), Trailer zum Wasserstoff-Transport (T092), 350bar / 700bar H ₂ -Speicher (T093), Flüssigwasserstoffspeicher (T094), Cryo-compressed-Technologie (T095)
Motorsteuerung	Variable Verdichtung und neue Brennverfahren (T159), Doppelspulen-System (T012), Corona-Zündung (T161), Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Energieeffizienz (T164), Thermomanagement (T085), Deionisiertes Kühlmittel (T086)
Netzwerk-technik	URLLC (T142), THz Kommunikation mit 6G (T143), 5G NR für C-V2X (T144), mmWave 5G (T145), VANET (T148), CAN FD (T149), Optisches Automotive-Ethernet (T150)
Oberflächenbearbeitung	Thermomanagement (T085), Deionisiertes Kühlmittel (T086)
Optikdesign	Spinning LiDAR (T105), MEMS LiDAR (T106), OPA LiDAR (T107), Flash LiDAR (T108), LCM LiDAR (T168), VCSEL (T110), Faserlaser (T111), Single Photon Avalanche Diode für 1550nm (T115), Silizium Photomultiplikator für 1550nm (T116), 1550nm Wellenlänge (T112), FMCW Laser (T118), Thermografie mit Mikrobolometern (T119), Event-basiertes Sehen (T120), sCMOS (T158), Aktiv geschaltete Bildgebung (T172), Hyperspektrale Bildgebung (T173), Lichtbasierte Kommunikation (T175), Optisches Automotive-Ethernet (T150)
Photonik	Spinning LiDAR (T105), MEMS LiDAR (T106), OPA LiDAR (T107), Flash LiDAR (T108), LCM LiDAR (T168), VCSEL (T110), Faserlaser (T111), Single Photon Avalanche Diode für 1550nm (T115), Silizium Photomultiplikator für 1550nm (T116), 1550nm Wellenlänge (T112), FMCW Laser (T118)
Regelungs-technik	Doppelspulen-System (T012), Corona-Zündung (T161), Energieeffizienz (T164), Aktiv geschaltete Bildgebung (T172)
Sensortechnik	Intelligente Getriebe (T018), Nutzung als Sensor (T024), Energiebedarfsreduzierung (T026), Miniaturisierung (T101), 79 GHz-Radar (T170), Radar im niedrigen THz-Bereich (T171), OFDM RadCom (T104), Spinning LiDAR (T105), MEMS LiDAR (T106), OPA LiDAR (T107), Flash LiDAR (T108), LCM LiDAR (T168), VCSEL (T110), Faserlaser (T111), Single Photon Avalanche Diode für 1550nm (T115), Silizium Photomultiplikator für 1550nm (T116), 1550nm Wellenlänge (T112), FMCW Laser (T118), Thermografie mit Mikrobolometern (T119), Event-basiertes Sehen (T120), sCMOS (T158), Aktiv geschaltete Bildgebung (T172), Hyperspektrale Bildgebung (T173), pMUT (T125), Piezokeramische Ultraschallwandler (T169), M/NEMS-basierte Navigationssensoren (T136), Halbleiterbasiertes Ring-Laser-Gyroskop (T137), Chip-skalierte Atomuhr (T138), Molekulare Uhr (T139)

Signalverarbeitung	Intelligente Getriebe (T018), 79 GHz-Radar (T170), Radar im niedrigen THz-Bereich (T171), OFDM RadCom (T104), Multi-Konstellations- und -Frequenzantennen (T133), Software Defined Radio GNSS (T134), WLAN-basierte Positionsbestimmung (T135), M-MIMO für Mobilfunk und Positionsbestimmung (T141)
Softwareentwicklung	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Energieeffizienz (T164), Energieeffizienz (T164), Entwicklung im digitalen Raum (T045), Entwicklung im digitalen Raum (T045), Sensorfusion (T103), Thermografie mit Mikrobolometern (T119), Event-basiertes Sehen (T120), Hyperspektrale Bildgebung (T173), Software Defined Radio GNSS (T134), HD-Karten (T140)
Thermomanagement	Energiebedarfsreduzierung (T026), thermische Isolierung der Fahrgastkabine (T028), Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik (T029), Temperaturmanagement Batterie (T030), Kühlung ohne Kältemittel/ nur mit Wasser (T031), E-Fluide als Kühlmedium (T032), Latentwärmespeicher (T054), Thermomanagement (T085), Deionisiertes Kühlmittel (T086), sCMOS (T158), Kühlsysteme für High-Performance Computing (T157)
Vakuumtechnik	EUV-Lithographie (T153)
Verbrennungsmotor	Wassereinspritzung (T002), Variable Verdichtung und neue Brennverfahren (T159), Elektrischer Zusatzverdichter (T160), Hochdruckverdichtung (T003), Lärmunterdrückung (T004), chemische Abgasbehandlung (T005), physikalische Filter (T006), Energierückgewinnung (T007), Benzinhochdruckeinspritzung (T008), Einspritzanlagen für neue Brennverfahren (T009), Saugrohreinspritzung (T010), Strahlgeführte Brennverfahren (T011), Doppelspulen-System (T012), Corona-Zündung (T161), Mikrowellenzündtechnologien (T162), Laserzündung (T163), Riemen-Starter-Generator (T014), Kurbelwellen-Starter-Generator (T015), Exponentialgetriebe / Hochdrehzahlgetriebe (T019), Reduktion der mechanischen Komplexität (T020), Leichtbau durch hochfeste Stähle (T022), neue Materialien (Kunststoffe) (T023), Nutzung als Sensor (T024), Getriebe mit integrierter E-Maschine ohne Zusatzbaureaum (T039), Funktionsweise über E-Maschine (T040)
Verfahrenstechnik	Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061), Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062), Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063), Zellgeneration 5: Li/O ₂ (Li/Luft) (T064), Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Stapeln statt Wickeln (T067), Wässrige Kathodenherstellung (T068), Homogenisierung der Zelltemperatur (T078), Temperierung mit nichtleitenden Fluiden (T079), Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (T081), Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) (T089), Festoxid-Elektrolyse (SOEL) (T090), Leitungsgebundener Wasserstoff-Transport (T091), Trailer zum Wasserstoff-Transport (T092), 350bar / 700bar H ₂ -Speicher (T093), Flüssigwasserstoffspeicher (T094), Cryo-compressed-Technologie (T095), Adsorptions- / Absorptionsspeicher (T096), Methanolsynthese (T097), Methansynthese (T098), Fischer-Tropsch-Verfahren (Benzin, Diesel, Kerosin) (T099), Dimethylether (DME) / Oxymethylether (OME) (T100)
Werkstofftechnik	Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061), Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062), Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063), Zellgeneration 5: Li/O ₂ (Li/Luft) (T064), Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Wässrige Kathodenherstellung (T068), Neue Materialien für Batteriegehäuse (T069)

Schlagwortliste.

Neben den Kompetenzen wurden die Technologien verschlagwortet. Diese Schlagworte sind in der folgenden Liste alphabetisch aufgeführt und dienen ebenfalls dazu, relevante Technologien zu identifizieren bzw. zielgerichtet nachschlagen zu können. Dazu wird am besten die „Suchen“-Funktion des PDF-Readers genutzt.

Schlagwort	Technologien
Abgasanlage	Lärmunterdrückung (T004), chemische Abgasbehandlung (T005), physikalische Filter (T006), Energierückgewinnung (T007)
Abwärme	Energierückgewinnung (T007)
ADAS	79 GHz-Radar (T170), Radar im niedrigen THz-Bereich (T171), Spinning LiDAR (T105), MEMS LiDAR (T106), OPA LiDAR (T107), Flash LiDAR (T108), LCM LiDAR (T168), VCSEL (T110), Faserlaser (T111), Single Photon Avalanche Diode für 1550nm (T115), Silizium Photomultiplikator für 1550nm (T116), 1550nm Wellenlänge (T112), FMCW Laser (T118), Thermografie mit Mikrobolometern (T119), Event-basiertes Sehen (T120), sCMOS (T158), Aktiv geschaltete Bildgebung (T172), Hyperspektrale Bildgebung (T173), EGNOS v3 für SBAS (T130), Bodengestütztes dGNSS (T131), Real Time Kinematics (T132), WLAN-basierte Positionsbestimmung (T135), M/NEMS-basierte Navigations-sensoren (T136), Halbleiterbasiertes Ring-Laser-Gyroskop (T137), Chip-skalierte Atomuhr (T138), Molekulare Uhr (T139), HD-Karten (T140), M-MIMO für Mobilfunk und Positionsbestimmung (T141)
Ad-hoc Netzwerk	VANET (T148)
Aktor	Hydraulische Aktuatoren (T126), Elektrische Aktuatoren (T127), Steer-by-Wire (T128), Brake-by-Wire (T129)
alternativer Antrieb	Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (T081), Alkalische Elektrolyse (AEL) (T088), Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) (T089), Festoxid-Elektrolyse (SOEL) (T090)
Antenna-on-a-Chip	Miniaturisierung (T101)
Antriebsstrang	Wassereinspritzung (T002), Variable Verdichtung und neue Brennverfahren (T159), Elektrischer Zusatzverdichter (T160), Hochdruckverdichtung (T003), Intelligente Getriebe (T018)
Antriebswelle	Leichtbau durch hochfeste Stähle (T022), neue Materialien (Kunststoffe) (T023)
automatisiertes Fahren	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Miniaturisierung (T101), 79 GHz-Radar (T170), Sensorfusion (T103), Event-basiertes Sehen (T120), sCMOS (T158), Piezokeramische Ultraschallwandler (T169), Steer-by-Wire (T128), Brake-by-Wire (T129)
Batterie	Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik (T029), Temperaturmanagement Batterie (T030), Bipolares Stapel Prinzip für Batterien (T058), Neue Materialien für Batteriegehäuse (T069), Steigerung Systemspannung auf 800 Volt (T070), Senkung Systemspannung auf 48 Volt (T071), Optimierte Battery Junction Box (T072), Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung (T053), Latentwärmespeicher (T054)
Baugruppe	Nadelwickeltechnik / neue Wickeltechnik (T034)
Bildgebung	Radar im niedrigen THz-Bereich (T171)
Bionik	Bionische Strukturen für einen integrierten Kühlkreislauf (T048)

BMS/Batterie management-system	Stromzähler mit 2-3 physikalischen Messbereichen (T073), Sensorlose Temperaturbestimmung (T074), Elektronik für Automotive- und stationäre Anwendungen (T075), Online Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) (T076)
Bordnetz	Schirmfreie Hochvoltbordnetze (T043), 800 V - 1,2 kV (T044), Senkung Systemspannung auf 48 Volt (T071), Optimierte Battery Junction Box (T072), CAN FD (T149), Optisches Automotive-Ethernet (T150), Kupferbasiertes Automotive-Ethernet (T174)
Brennstoffzelle	Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (T081), Nanopartikel: Katalysator mit Platin und Kobalt (T084), Membran-Elektrodeneneinheit (MEA) (T087), Thermomanagement (T085)
Brennverfahren	Einspritzanlagen für neue Brennverfahren (T009), Strahlgeführte Brennverfahren (T011)
Bussystem	CAN FD (T149), Optisches Automotive-Ethernet (T150), Kupferbasiertes Automotive-Ethernet (T174)
Chipdesign	MEMS (T151), NEMS (T152), EUV-Lithographie (T153), More (than) Moore: SoC und SiP (T154), Photonic Integrated Circuit (T155)
CMOS	MEMS (T151), Photonic Integrated Circuit (T155)
Computing	Kühlsysteme für High-Performance Computing (T157)
Downsizing	Hochdruckverdichtung (T003)
DSRC	IEEE 802.11bd Standard für ITS-G5 (T147)
Effizienz	Reduktion der mechanischen Komplexität (T020), Nutzung als Sensor (T024), Energiebedarfsreduzierung (T026), thermische Isolierung der Fahrgastkabine (T028), Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik (T029), Temperaturmanagement Batterie (T030), E-Fluide als Kühlmedium (T032), Rechteckige Drähte für die Wicklungen (T037), Funktionsweise über E-Maschine (T040), Baukastenlösungen (T042), Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis (T047), Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis (T166), Bipolares Stapel Prinzip für Batterien (T058), Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung (T053)
Einspritzanlage	Benzinhochdruckeinspritzung (T008), Einspritzanlagen für neue Brennverfahren (T009), Saugrohreinspritzung (T010), Strahlgeführte Brennverfahren (T011)
Elektrifizierung	Energierückgewinnung (T007), Exponentialgetriebe / Hochdrehzahlgetriebe (T019), Reduktion der mechanischen Komplexität (T020), Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061), Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062), Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063), Zellgeneration 5: Li/O ₂ (Li/Luft) (T064), Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Stapeln statt Wickeln (T067), Wässrige Kathodenherstellung (T068), Neue Materialien für Batteriegehäuse (T069), Steigerung Systemspannung auf 800 Volt (T070), Senkung Systemspannung auf 48 Volt (T071), Optimierte Battery Junction Box (T072), Stromzähler mit 2-3 physikalischen Messbereichen (T073), Sensorlose Temperaturbestimmung (T074), Elektronik für Automotive- und stationäre Anwendungen (T075), Online Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) (T076), Homogenisierung der Zelltemperatur (T078), Temperierung mit nichtleitenden Fluiden (T079), Brake-by-Wire (T129)

Elektromotor	Reduktion der mechanischen Komplexität (T020), Funktionsintegration (T021), Leichtbau durch hochfeste Stähle (T022), neue Materialien (Kunststoffe) (T023), Nutzung als Sensor (T024), Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik (T029), Temperaturmanagement Batterie (T030), Nadelwickeltechnik / neue Wickeltechnik (T034), Asynchronmaschine mit Kupfer-Käfig (T035), Kühlkanäle direkt in der Wicklung (T036), Rechteckige Drähte für die Wicklungen (T037), Getriebe mit integrierter E-Maschine ohne Zusatzbauraum (T039), Funktionsweise über E-Maschine (T040), Baukastenlösungen (T042), induktives Laden (T050), 900 kW Ladestandard (T051), Standardisierung Zugang (T052), Bipolares Stapel Prinzip für Batterien (T058), Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung (T053), Latentwärmespeicher (T054)
Elektronik	E-Fluide als Kühlmedium (T032), Schirmfreie Hochvoltbordnetze (T043), 800 V - 1,2 kV (T044)
Emissionsreduktion	Wassereinspritzung (T002), Variable Verdichtung und neue Brennverfahren (T159), Elektrischer Zusatzverdichter (T160), Hochdruckverdichtung (T003), chemische Abgasbehandlung (T005), physikalische Filter (T006), Energierückgewinnung (T007), Benzinhochdruckeinspritzung (T008), Einspritzanlagen für neue Brennverfahren (T009), Saugrohreinspritzung (T010), Strahlgeführte Brennverfahren (T011), Doppelspulen-System (T012), Corona-Zündung (T161), Mikrowellenzündtechnologien (T162), Laserzündung (T163), Riemen-Starter-Generator (T014), Kurbelwellen-Starter-Generator (T015), Exponentialgetriebe / Hochdrehzahlgetriebe (T019), neue Materialien (Kunststoffe) (T023), Energiebedarfsreduzierung (T026), thermische Isolierung der Fahrgastkabine (T028)
Energie	E-Fluide als Kühlmedium (T032)
Energiebedarf	Energiebedarfsreduzierung (T026), lokale Klimatisierung (T027)
Energieeffizienz	Energieeffizienz (T164), Asynchronmaschine mit Kupfer-Käfig (T035), Latentwärmespeicher (T054)
Energierückgewinnung	Riemen-Starter-Generator (T014), Kurbelwellen-Starter-Generator (T015)
Fahrassistenz	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Piezokeramische Ultraschallwandler (T169)
Festelektrolyt	Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062)
Filter	physikalische Filter (T006)
Fluganwendung	Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063)
Funkmodul	THz Kommunikation mit 6G (T143)
Generator	Riemen-Starter-Generator (T014), Kurbelwellen-Starter-Generator (T015)
Getriebe	Intelligente Getriebe (T018), Exponentialgetriebe / Hochdrehzahlgetriebe (T019), Funktionsintegration (T021), Getriebe mit integrierter E-Maschine ohne Zusatzbauraum (T039), Funktionsweise über E-Maschine (T040), Baukastenlösungen (T042)
Gewichtersparnis	Leichtbau durch hochfeste Stähle (T022), neue Materialien (Kunststoffe) (T023), thermische Isolierung der Fahrgastkabine (T028), 800 V - 1,2 kV (T044), Bionische Strukturen für einen integrierten Kühlkreislauf (T048)
Halbleiter	Null-Totzeit-Treiber (T046), Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis (T047), Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis (T166)
HDR	Event-basiertes Sehen (T120)
HMI	pMUT (T125)
Hochvolt	Steigerung Systemspannung auf 800 Volt (T070)

Hybrid-batterie	Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063)
Hybridisierung	Getriebe mit integrierter E-Maschine ohne Zusatzbauraum (T039), Funktionsweise über E-Maschine (T040), Baukastenlösungen (T042)
IEEE 802.11	IEEE 802.11bd Standard für ITS-G5 (T147), Lichtbasierte Kommunikation (T175)
Infrarot	Thermografie mit Mikrobolometern (T119)
Integration	OFDM RadCom (T104)
IoT	URLLC (T142)
Klimatisierung	lokale Klimatisierung (T027), Latentwärmespeicher (T054), Thermomanagement (T085), Deionisiertes Kühlmittel (T086)
Kommunikation	OFDM RadCom (T104)
Komplexität	Reduktion der mechanischen Komplexität (T020), Funktionsweise über E-Maschine (T040)
Konversionsmaterialien	Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063)
Kostenreduktion	Baukastenlösungen (T042), 800 V - 1,2 kV (T044), Entwicklung im digitalen Raum (T045), Nanopartikel: Katalysator mit Platin und Kobalt (T084)
Kraftstoff	Methansynthese (T098), Fischer-Tropsch-Verfahren (Benzin, Diesel, Kerosin) (T099), Dimethylether (DME) / Oxymethylether (OME) (T100)
Kühlung	lokale Klimatisierung (T027), Kühlung ohne Kältemittel/ nur mit Wasser (T031), Kühlkanäle direkt in der Wicklung (T036), Bionische Strukturen für einen integrierten Kühlkreislauf (T048), Doppelseitig gekühltes Leistungsmodul (T167), Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung (T053), Deionisiertes Kühlmittel (T086)
Künstliche Intelligenz	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Entwicklung im digitalen Raum (T045)
Ladeelektronik	Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung (T053)
Ladesystem	induktives Laden (T050), 900 kW Ladestandard (T051), Standardisierung Zugang (T052)
Lärm	Lärmunterdrückung (T004)
Latenz	URLLC (T142)
LED	Lichtbasierte Kommunikation (T175)
Leistungselektronik	Funktionsintegration (T021), Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik (T029), E-Fluide als Kühlmedium (T032), Entwicklung im digitalen Raum (T045), Null-Totzeit-Treiber (T046), Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis (T047), Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis (T166), Bionische Strukturen für einen integrierten Kühlkreislauf (T048), Doppelseitig gekühltes Leistungsmodul (T167), induktives Laden (T050), 900 kW Ladestandard (T051), Standardisierung Zugang (T052)
Leistungserhöhung	Doppelseitig gekühltes Leistungsmodul (T167)
Licht	Lichtbasierte Kommunikation (T175)
Li-Fi	Lichtbasierte Kommunikation (T175)
Lithium-Ionen-Batterie	Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061)
Lösungsmittel	Wässrige Kathodenherstellung (T068)

Maschinelles Lernen	Sensorfusion (T103)
MEMS	Photonic Integrated Circuit (T155)
Mensch-Maschine-Schnittstelle	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013)
Messtechnik	Stromzähler mit 2-3 physikalischen Messbereichen (T073), Sensorlose Temperaturbestimmung (T074)
Miniaturisierung	Null-Totzeit-Treiber (T046), Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis (T047), Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis (T166)
mmWave	79 GHz-Radar (T170)
Mobilfunk	M-MIMO für Mobilfunk und Positionsbestimmung (T141), URLLC (T142), THz Kommunikation mit 6G (T143), 5G NR für C-V2X (T144), mmWave 5G (T145), VANET (T148)
Motorsteuerung	Variable Verdichtung und neue Brennverfahren (T159), Doppelspulen-System (T012), Corona-Zündung (T161), Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Energieeffizienz (T164)
Navigation	EGNOS v3 für SBAS (T130), Bodengestütztes dGNSS (T131), Real Time Kinematics (T132), Multi-Konstellations- und -Frequenzantennen (T133), Software Defined Radio GNSS (T134), WLAN-basierte Positionsbestimmung (T135), M/NEMS-basierte Navigationssensoren (T136), Halbleiterbasiertes Ring-Laser-Gyroskop (T137), Chip-skalierte Atomuhr (T138), Molekulare Uhr (T139), HD-Karten (T140), M-MIMO für Mobilfunk und Positionsbestimmung (T141)
NEMS	Photonic Integrated Circuit (T155)
Night-Vision	Thermografie mit Mikrobolometern (T119), Aktiv geschaltete Bildgebung (T172)
Optik	Spinning LiDAR (T105), MEMS LiDAR (T106), OPA LiDAR (T107), Flash LiDAR (T108), LCM LiDAR (T168), VCSEL (T110), Faserlaser (T111), Single Photon Avalanche Diode für 1550nm (T115), Silizium Photomultiplikator für 1550nm (T116), 1550nm Wellenlänge (T112), FMCW Laser (T118)
Ortung	EGNOS v3 für SBAS (T130), Bodengestütztes dGNSS (T131), Real Time Kinematics (T132), WLAN-basierte Positionsbestimmung (T135), M/NEMS-basierte Navigationssensoren (T136), Halbleiterbasiertes Ring-Laser-Gyroskop (T137), Chip-skalierte Atomuhr (T138), Molekulare Uhr (T139), M-MIMO für Mobilfunk und Positionsbestimmung (T141)
Packaging	More (than) Moore: SoC und SiP (T154)
Pick-and-place	Stapeln statt Wickeln (T067)
Plasmatechnologie	EUV-Lithographie (T153)
Platzersparnis	Leichtbau durch hochfeste Stähle (T022), Entwicklung im digitalen Raum (T045), Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis (T166), Bipolares Stapel Prinzip für Batterien (T058)
Positionierung	Multi-Konstellations- und -Frequenzantennen (T133), Software Defined Radio GNSS (T134)
Produktion	Stapeln statt Wickeln (T067), Wässrige Kathodenherstellung (T068), sCMOS (T158)
Programmierung	Elektronik für Automotive- und stationäre Anwendungen (T075)
Qualitätssicherung	sCMOS (T158), Hyperspektrale Bildgebung (T173)

Radar	OFDM RadCom (T104)
Radar-on-a-Chip	Miniaturisierung (T101)
Rechenleistung	Kühlsysteme für High-Performance Computing (T157)
Regelung	Thermomanagement (T085), Deionisiertes Kühlmittel (T086)
Reichweite	Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik (T029), Temperaturmanagement Batterie (T030)
Satellit	Multi-Konstellations- und -Frequenzantennen (T133), Software Defined Radio GNSS (T134)
Scheinwerfer	Lichtbasierte Kommunikation (T175)
Sektor-kopplung	Methanolsynthese (T097), Methansynthese (T098), Fischer-Tropsch-Verfahren (Benzin, Diesel, Kerosin) (T099), Dimethylether (DME) / Oxymethylether (OME) (T100)
Sensor	Intelligente Getriebe (T018), Nutzung als Sensor (T024), Energiebedarfsreduzierung (T026), Thermografie mit Mikrobolometern (T119)
Sensorfusion	HD-Karten (T140)
Separator	Stabile Separatoren (T065)
SLAM	HD-Karten (T140)
Software-entwicklung	Deep Learning/ KI für das Steuergerät (T013), Entwicklung im digitalen Raum (T045)
Solid-State-Zelle	Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062)
Synthese	Methanolsynthese (T097), Methansynthese (T098), Fischer-Tropsch-Verfahren (Benzin, Diesel, Kerosin) (T099), Dimethylether (DME) / Oxymethylether (OME) (T100)
System-on-a-Chip	THz Kommunikation mit 6G (T143)
Temperaturmanagement	thermische Isolierung der Fahrgastkabine (T028), Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik (T029), Temperaturmanagement Batterie (T030), Kühlung ohne Kältemittel/ nur mit Wasser (T031), Homogenisierung der Zelltemperatur (T078), Temperierung mit nichtleitenden Fluiden (T079)
Temperierung	Homogenisierung der Zelltemperatur (T078), Temperierung mit nichtleitenden Fluiden (T079)
Traktions-batterie	Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061), Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062), Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Stapeln statt Wickeln (T067), Wässrige Kathodenherstellung (T068), Neue Materialien für Batteriegehäuse (T069), Steigerung Systemspannung auf 800 Volt (T070), Senkung Systemspannung auf 48 Volt (T071), Optimierte Battery Junction Box (T072), Stromzähler mit 2-3 physikalischen Messbereichen (T073), Sensorlose Temperaturbestimmung (T074), Elektronik für Automotive- und stationäre Anwendungen (T075), Online Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) (T076), Homogenisierung der Zelltemperatur (T078), Temperierung mit nichtleitenden Fluiden (T079)
Transport	Leitungsgebundener Wasserstoff-Transport (T091), Trailer zum Wasserstoff-Transport (T092), 350bar / 700bar H ₂ -Speicher (T093), Flüssigwasserstoffspeicher (T094), Cryo-compressed-Technologie (T095), Adsorptions- / Absorptionsspeicher (T096)
Ultraschall	pMUT (T125), Piezokeramische Ultraschallwandler (T169)

Valet-Parking	WLAN-basierte Positionsbestimmung (T135)
Verbrennung	Wassereinspritzung (T002), Variable Verdichtung und neue Brennverfahren (T159), Hochdruckverdichtung (T003)
Verbrennungsmotor	Wassereinspritzung (T002), Variable Verdichtung und neue Brennverfahren (T159), Elektrischer Zusatzverdichter (T160), Hochdruckverdichtung (T003), Lärmunterdrückung (T004), chemische Abgasbehandlung (T005), physikalische Filter (T006), Energierückgewinnung (T007), Benzinhochdruckeinspritzung (T008), Einspritzanlagen für neue Brennverfahren (T009), Saugrohreinspritzung (T010), Strahlgeführte Brennverfahren (T011), Doppelspulen-System (T012), Corona-Zündung (T161), Mikrowellenzündtechnologien (T162), Laserzündung (T163), Riemen-Starter-Generator (T014), Kurbelwellen-Starter-Generator (T015), Exponentialgetriebe / Hochdrehzahlgetriebe (T019), Reduktion der mechanischen Komplexität (T020), Leichtbau durch hochfeste Stähle (T022), neue Materialien (Kunststoffe) (T023), Nutzung als Sensor (T024), Getriebe mit integrierter E-Maschine ohne Zusatzbaureaum (T039)
Verteilung	Leitungsgebundener Wasserstoff-Transport (T091), Trailer zum Wasserstoff-Transport (T092), 350bar / 700bar H ₂ -Speicher (T093), Flüssigwasserstoffspeicher (T094), Cryo-compressed-Technologie (T095), Adsorptions- / Absorptionsspeicher (T096)
Wärmeabgabe	Rechteckige Drähte für die Wicklungen (T037)
Wasserstoff	Membran-Elektrodeneinheit (MEA) (T087), Thermomanagement (T085), Deionisiertes Kühlmittel (T086), Alkalische Elektrolyse (AEL) (T088), Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) (T089), Festoxid-Elektrolyse (SOEL) (T090), Leitungsgebundener Wasserstoff-Transport (T091), Trailer zum Wasserstoff-Transport (T092), 350bar / 700bar H ₂ -Speicher (T093), Flüssigwasserstoffspeicher (T094), Cryo-compressed-Technologie (T095), Adsorptions- / Absorptionsspeicher (T096)
Werkstoff	Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Neue Materialien für Batteriegehäuse (T069)
Wi-Fi 6	IEEE 802.11bd Standard für ITS-G5 (T147)
Wirkungsgrad	800 V - 1,2 kV (T044)
Wirtschaftlichkeit	Funktionsintegration (T021)
Zellchemie	Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622) (T059), Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt (T060), Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS (T061), Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode) (T062), Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S) (T063), Zellgeneration 5: Li/O ₂ (Li/Luft) (T064)
Zellebene	Stabile Separatoren (T065), Optimierung inaktiver Materialien (T066), Stapeln statt Wickeln (T067), Wässrige Kathodenherstellung (T068)
Zündung	Doppelspulen-System (T012), Corona-Zündung (T161), Mikrowellenzündtechnologien (T162), Laserzündung (T163)

Technologie- und Modulliste.

Die folgende Liste gibt abschließend einen Überblick über alle betrachteten Technologien geordnet nach den Modulen. Die Liste wird durch die jeweiligen Technologie-IDs ergänzt. Nach dieser Liste folgen die einzelnen Technologiesteckbriefe, je ein Technologiesteckbrief auf einer Seite. Die gewünschte Technologie kann ausgerufen werden, indem das PDF nach der jeweiligen Technologie-ID durchsucht wird.

Modul (inkl. Modul-ID)		Technologie (inkl. ID)	
M01	Verbrennungsmotor	T002	Wassereinspritzung
M01	Verbrennungsmotor	T159	Variable Verdichtung und neue Brennverfahren
M01	Verbrennungsmotor	T160	Elektrischer Zusatzverdichter
M02	Verbrennungsmotor - Luftversorgung	T003	Hochdruckverdichtung
M03	Verbrennungsmotor - Abgasanlage	T004	Lärmunterdrückung
M03	Verbrennungsmotor - Abgasanlage	T005	chemische Abgasbehandlung
M03	Verbrennungsmotor - Abgasanlage	T006	physikalische Filter
M03	Verbrennungsmotor - Abgasanlage	T007	Energierückgewinnung
M04	Verbrennungsmotor - Einspritzanlage	T008	Benzinhochdruckeinspritzung
M04	Verbrennungsmotor - Einspritzanlage	T009	Einspritzanlagen für neue Brennverfahren
M04	Verbrennungsmotor - Einspritzanlage	T010	Saugrohreinspritzung
M04	Verbrennungsmotor - Einspritzanlage	T011	Strahlgeführte Brennverfahren
M05	Verbrennungsmotor - Zündanlage	T012	Doppelspulen-System
M05	Verbrennungsmotor - Zündanlage	T161	Corona-Zündung
M05	Verbrennungsmotor - Zündanlage	T162	Mikrowellenzündtechnologien
M05	Verbrennungsmotor - Zündanlage	T163	Laserzündung
M06	Motorsteuergeräte	T013	Deep Learning/ KI für das Steuergerät
M06	Motorsteuergeräte	T164	Energieeffizienz
M08	Starter-Generator	T014	Riemen-Starter-Generator
M08	Starter-Generator	T015	Kurbelwellen-Starter-Generator
M10	Getriebe	T018	Intelligente Getriebe
M10	Getriebe	T019	Exponentialgetriebe / Hochdrehzahlgetriebe
M10	Getriebe	T020	Reduktion der mechanischen Komplexität
M10	Getriebe	T021	Funktionsintegration
M11	Wellen	T022	Leichtbau durch hochfeste Stähle
M11	Wellen	T023	neue Materialien (Kunststoffe)
M11	Wellen	T024	Nutzung als Sensor
M12	Klimatisierung	T026	Energiebedarfsreduzierung
M12	Klimatisierung	T027	lokale Klimatisierung
M12	Klimatisierung	T028	thermische Isolierung der Fahrgastkabine
M13	Fahrzeugkühlkreislauf	T029	Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik
M13	Fahrzeugkühlkreislauf	T030	Temperaturmanagement Batterie
M14	Thermomanagement	T031	Kühlung ohne Kältemittel/ nur mit Wasser
M14	Thermomanagement	T032	E-Fluide als Kühlmedium

M15	Traktions-Elektromotor	T034	Nadelwickeltechnik / neue Wickeltechnik
M15	Traktions-Elektromotor	T035	Asynchronmaschine mit Kupfer-Käfig
M15	Traktions-Elektromotor	T036	Kühlkanäle direkt in der Wicklung
M15	Traktions-Elektromotor	T037	Rechteckige Drähte für die Wicklungen
M17	Hybridgetriebe	T039	Getriebe mit integrierter E-Maschine ohne Zusatzbauraum
M17	Hybridgetriebe	T040	Funktionsweise über E-Maschine
M17	Hybridgetriebe	T042	Baukastenlösungen
M18	Hochspannungsbordnetz	T043	Schirmfreie Hochvoltbordnetze
M18	Hochspannungsbordnetz	T044	800 V - 1,2 kV
M20	Leistungselektronik	T045	Entwicklung im digitalen Raum
M20	Leistungselektronik	T046	Null-Totzeit-Treiber
M20	Leistungselektronik	T047	Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis
M20	Leistungselektronik	T166	Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis
M21	Leistungselektronik - Kühlung	T048	Bionische Strukturen für einen integrierten Kühlkreislauf
M21	Leistungselektronik - Kühlung	T167	Doppelseitig gekühltes Leistungsmodul
M22	Leistungselektronik - Ladesystem	T050	induktives Laden
M22	Leistungselektronik - Ladesystem	T051	900 kW Ladestandard
M22	Leistungselektronik - Ladesystem	T052	Standardisierung Zugang
M24	Traktionsbatterie - Zellchemie	T059	Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622)
M24	Traktionsbatterie - Zellchemie	T060	Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt
M24	Traktionsbatterie - Zellchemie	T061	Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS
M24	Traktionsbatterie - Zellchemie	T062	Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode)
M24	Traktionsbatterie - Zellchemie	T063	Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S)
M24	Traktionsbatterie - Zellchemie	T064	Zellgeneration 5: Li/O ₂ (Li/Luft)
M26	Traktionsbatterie - Zellebene	T058	Bipolares Stapel Prinzip für Batterien
M26	Traktionsbatterie - Zellebene	T065	Stabile Separatoren
M26	Traktionsbatterie - Zellebene	T066	Optimierung inaktiver Materialien
M26	Traktionsbatterie - Zellebene	T067	Stapeln statt Wickeln
M26	Traktionsbatterie - Zellebene	T068	Wässrige Kathodenherstellung
M27	Traktionsbatterie - Batteriesysteme-bene	T069	Neue Materialien für Batteriegehäuse
M27	Traktionsbatterie - Batteriesysteme-bene	T070	Steigerung Systemspannung auf 800 Volt
M27	Traktionsbatterie - Batteriesysteme-bene	T071	Senkung Systemspannung auf 48 Volt
M27	Traktionsbatterie - Batteriesysteme-bene	T072	Optimierte Battery Junction Box
M28	Traktionsbatterie - Batteriemangementsystem	T073	Stromzähler mit 2-3 physikalischen Messbereichen
M28	Traktionsbatterie - Batteriemangementsystem	T074	Sensorlose Temperaturbestimmung

M28	Traktionsbatterie - Batteriemange- mentssystem	T075	Elektronik für Automotive- und stationäre Anwendungen
M28	Traktionsbatterie - Batteriemange- mentssystem	T076	Online Elektrochemische Impedanzspektro- skopie (EIS)
M29	Traktionsbatterie - Batterietempere- rung	T053	Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung
M29	Traktionsbatterie - Batterietempere- rung	T054	Latentwärmespeicher
M29	Traktionsbatterie - Batterietempere- rung	T078	Homogenisierung der Zelltemperatur
M29	Traktionsbatterie - Batterietempere- rung	T079	Temperierung mit nichtleitenden Fluiden
M30	Brennstoffzelle	T081	Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle
M30	Brennstoffzelle	T084	Nanopartikel: Katalysator mit Platin und Ko- balt
M30	Brennstoffzelle	T087	Membran-Elektrodeneinheit (MEA)
M31	Brennstoffzelle - Thermomanagement	T085	Thermomanagement
M31	Brennstoffzelle - Thermomanagement	T086	Deionisiertes Kühlmittel
M32	H ₂ -Versorgung - Elektrolyse	T088	Alkalische Elektrolyse (AEL)
M32	H ₂ -Versorgung - Elektrolyse	T089	Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PE- MEL)
M32	H ₂ -Versorgung - Elektrolyse	T090	Festoxid-Elektrolyse (SOEL)
M33	H ₂ -Versorgung - Distribution	T091	Leitungsgebundener Wasserstoff-Transport
M33	H ₂ -Versorgung - Distribution	T092	Trailer zum Wasserstoff-Transport
M34	Wasserstoffspeicher	T093	350bar / 700bar H ₂ -Speicher
M34	Wasserstoffspeicher	T094	Flüssigwasserstoffspeicher
M34	Wasserstoffspeicher	T095	Cryo-compressed-Technologie
M34	Wasserstoffspeicher	T096	Adsorptions- / Absorptionsspeicher
M35	Synthetische Kraftstoffe - Synthese- verfahren	T097	Methanolsynthese
M35	Synthetische Kraftstoffe - Synthese- verfahren	T098	Methansynthese
M35	Synthetische Kraftstoffe - Synthese- verfahren	T099	Fischer-Tropsch-Verfahren (Benzin, Diesel, Kerosin)
M35	Synthetische Kraftstoffe - Synthese- verfahren	T100	Dimethylether (DME) / Oxymethylether (OME)
M36	Radar	T101	Miniaturisierung
M36	Radar	T170	79 GHz-Radar
M36	Radar	T171	Radar im niedrigen THz-Bereich
M36, M40, M41, M42	Radar, LiDAR, Kamera, Ultraschall	T103	Sensorfusion
M36, M47	Radar, Langstreckenkommunikation	T104	OFDM RadCom
M37	LiDAR - Bildgebung	T105	Spinning LiDAR

M37	LiDAR - Bildgebung	T106	MEMS LiDAR
M37	LiDAR - Bildgebung	T107	OPA LiDAR
M37	LiDAR - Bildgebung	T108	Flash LiDAR
M37	LiDAR - Bildgebung	T168	LCM LiDAR
M38	LiDAR - Emitter	T110	VCSEL
M38	LiDAR - Emitter	T111	Faserlaser
M39	LiDAR - Detektor	T115	Single Photon Avalanche Diode für 1550nm
M39	LiDAR - Detektor	T116	Silizium Photomultiplikator für 1550nm
M40	LiDAR - Allgemeine Entwicklungen	T112	1550nm Wellenlänge
M40	LiDAR - Allgemeine Entwicklungen	T118	FMCW Laser
M41	Kamera	T119	Thermografie mit Mikrobolometern
M41	Kamera	T120	Event-basiertes Sehen
M41	Kamera	T158	sCMOS
M41	Kamera	T172	Aktiv geschaltete Bildgebung
M41	Kamera	T173	Hyperspektrale Bildgebung
M42	Ultraschallsensor	T125	pMUT
M42	Ultraschallsensor	T169	Piezokeramische Ultraschallwandler
M43	Aktuatoren	T126	Hydraulische Aktuatoren
M43	Aktuatoren	T127	Elektrische Aktuatoren
M44	X-by-Wire	T128	Steer-by-Wire
M44	X-by-Wire	T129	Brake-by-Wire
M45	Satellitenbasierte Positionsbestimmung	T130	EGNOS v3 für SBAS
M45	Satellitenbasierte Positionsbestimmung	T131	Bodengestütztes dGNSS
M45	Satellitenbasierte Positionsbestimmung	T132	Real Time Kinematics
M45	Satellitenbasierte Positionsbestimmung	T133	Multi-Konstellations- und -Frequenzantennen
M45	Satellitenbasierte Positionsbestimmung	T134	Software Defined Radio GNSS
M46	Positionsbestimmung	T135	WLAN-basierte Positionsbestimmung
M46	Positionsbestimmung	T136	M/NEMS-basierte Navigationssensoren
M46	Positionsbestimmung	T137	Halbleiterbasiertes Ring-Laser-Gyroskop
M46	Positionsbestimmung	T138	Chip-skalierte Atomuhr
M46	Positionsbestimmung	T139	Molekulare Uhr
M46	Positionsbestimmung	T140	HD-Karten
M46, M47	Positionsbestimmung und Langstreckenkommunikation	T141	M-MIMO für Mobilfunk und Positionsbestimmung
M47	Langstreckenkommunikation	T142	URLLC
M47	Langstreckenkommunikation	T143	THz Kommunikation mit 6G
M47, M48	Lang- und Kurzstreckenkommunikation	T144	5G NR für C-V2X
M48	Kurzstreckenkommunikation	T145	mmWave 5G
M48	Kurzstreckenkommunikation	T147	IEEE 802.11bd Standard für ITS-G5

M48	Kurzstreckenkommunikation	T148	VANET
M48	Kurzstreckenkommunikation	T175	Lichtbasierte Kommunikation
M49	Fahrzeuginterne Kommunikation	T149	CAN FD
M49	Fahrzeuginterne Kommunikation	T150	Optisches Automotive-Ethernet
M49	Fahrzeuginterne Kommunikation	T174	Kupferbasiertes Automotive-Ethernet
M50	Mikrosystemtechnik	T151	MEMS
M50	Mikrosystemtechnik	T152	NEMS
M50	Mikrosystemtechnik	T153	EUV-Lithographie
M50	Mikrosystemtechnik	T154	More (than) Moore: SoC und SiP
M50	Mikrosystemtechnik	T155	Photonic Integrated Circuit
M50	Mikrosystemtechnik	T157	Kühlsysteme für High-Performance Computing

Wassereinspritzung

[T002; Verbrennungsmotor]

Kurzbeschreibung

Die Wassereinspritzung bei Verbrennungsmotoren zielt auf die Reduzierung der Emissionen unter allen Betriebsbedingungen ab. Man unterscheidet zwischen verschiedenen Arten der Wassereinspritzung: Wasseranschluss-Krafteinspritzung, Wasser-Direkteinspritzung und Einspritzung mit Diesel-Wasser-Emulsion. Hierzu sind verschiedene Wassereinspritzkonzepte in der Entwicklung. Wassereinspritzung an Benzinmotoren wird derzeit zur Leistungssteigerung entwickelt. Die folgenden Anmerkungen beziehen sich auf die Wassereinspritzung bei Benzinmotoren: EURO7 kann ohne Wassereinspritzung erreicht werden. Die Lambda 1 Norm ist unabhängig von der Wassereinspritzung. MRL 10 könnte leicht erreicht werden, fraglich ist hierbei nur die Wasserversorgung an Bord. Der Übergang auf MRL 10 ist unwahrscheinlich, da dies nicht notwendig ist.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Technologie ist unabhängig von der Hybridisierung. Bei Dieselmotoren können Emissionen reduziert werden. Die kühlende Wirkung des Wassers verhilft zu mehr und kälterer Ansaugluft im Brennraum. Das sorgt für eine effizientere Verbrennung. Die Klopfneigung wird verringert und ein früherer Zündzeitpunkt ist möglich, wodurch ein optimierter Betrieb mit 13 % weniger Kraftstoffverbrauch oder 5 % höhere Motorleistung erreichbar wird. Darüberhinaus ist ein höheres Verdichtungsverhältnis möglich, durch das eine CO₂ Reduktion von bis zu 4 % möglich wird.

Hemmnisse der Einführung

Das Hemmniss dieser Technologie stellen deren hohe Kosten dar.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<1980		2016	2020



Bildquelle: © Unsplash / Evan Hein

Konkurrierende Technologien

Abgasrückführung
Chemische Abgasbehandlung (T005)
Physikalische Filter (T006)

Einsatzbereich

Diese Technologie kann sowohl bei Dieselmotoren als auch bei Ottomotoren genutzt werden.

Weiterführende Informationen

Bosch und BMW entwickelten erstmals diese Technologie zur Serienreife. Künftig erhoffen sie einen vermehrten Einsatz dieser Technologie, um aufgrund erhöhter Stückzahlen die Preise zu reduzieren.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung

Schlagworte

Verbrennungsmotor Antriebsstrang
Verbrennung Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Dreher, Wassereinspritzung bei Benzinern; Köllner, Mit Wasser zu mehr Leistung und Verbrauch; Plöntzke, Zellbeck, Wassereinspritzung im Dieselmotor, MTZ Ausgabe4/2016; Roß, Heine, Der Verbrennungsmotor - ein Antrieb mit Vergangenheit und Zukunft, Springer 2018

Variable Verdichtung und neue Brennverfahren

[T159; Verbrennungsmotor]

Kurzbeschreibung

In einem konventionellen Verbrennungsmotor kann die Verdichtung nicht verändert werden, so dass das Brennraumvolumen immer gleich groß bleibt. Bei der variablen Verdichtung - bekannt unter der Bezeichnung VCR (variable compression ratio) - kann das Verdichtungsverhältnis während des Betriebs gezielt geändert werden, so dass variable Mengen Kraftstoff bedarfsgenau zur Verbrennung zur Verfügung gestellt werden. Nissan realisiert diesen variablen Kurbelhub in seiner Premiummarke Infiniti durch das Multi-Link-System. Dieses besteht aus einer zweiteiligen Pleuelstange.

Vorteile und Ziele der Technologie

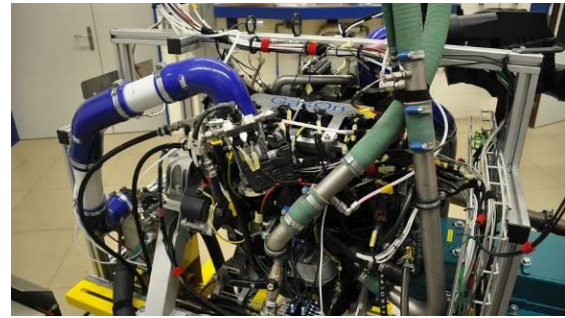
Mittels einer variablen Verdichtung kann eine hohe Verdichtung im Teillastbetrieb erreicht werden, welche sich wiederum vorteilhaft auf den Wirkungsgrad auswirkt. Eine niedrige Verdichtung bei Volllast kann dazu führen, dass eine geringe Klopfneigung besteht, geringe Verbrennungsdrücke existieren und die Reibung reduziert wird. Durch die variable Verdichtung könnte der Kraftstoffverbrauch bis zu 30 % reduziert werden.

Hemmnisse der Einführung

Die variable Verdichtung zieht umfangreiche und kostenintensive Eingriffe in die Motorstruktur nach sich. Ein Großteil des Triebwerks unterliegt kompletten Neukonstruktionen. Zusätzliche Bauteile sind die Folge, so dass beispielsweise beim Verbrennungsmotor von Infiniti dreimal so viele Lagerstellen verbaut werden müssen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2017



Bildquelle: © Empa

Konkurrierende Technologien

Zylinderkopfverstellung relativ zum Kurbelgehäuse über Variation des Ladedrucks bei turbogeladenen Systemen
Pleuel mit schwenkbar gelagertem Excenter variabel über teleskopartiges Pleuel

Einsatzbereich

Eingesetzt wird diese Technologie in Verbrennungsmotoren.

Weiterführende Informationen

Infiniti stellte 2016 als Erstes einen Verbrennungsmotor mit variabler Verdichtung vor. Ein Jahr später stellte auch Nissan seinen neuen, serienreifen VC-T-Motor vor.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Das Potential ist für KMU gering aufgrund des großen Neuentwicklungsaufwands.

Schlagworte

Verbrennungsmotor Verbrennung
Motorsteuerung Antriebsstrang
Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Frohn, Steht der Verbrennungsmotor vor einem Comeback?; Variable Verdichtung (VCR), <https://www.hs-heilbronn.de/9804340/variable-verdichtung-vcr>; "EXPLORE FEV'S VCR CON-ROD", <https://vcr.fev.com/>

Elektrischer Zusatzverdichter

[T160; Verbrennungsmotor]

Kurzbeschreibung

Der elektrische Zusatzverdichter sorgt dafür, dass im unteren Drehzahlbereich mehr Ladedruck generiert wird und damit ein besseres Anfahrverhalten geschaffen wird.

Vorteile und Ziele der Technologie

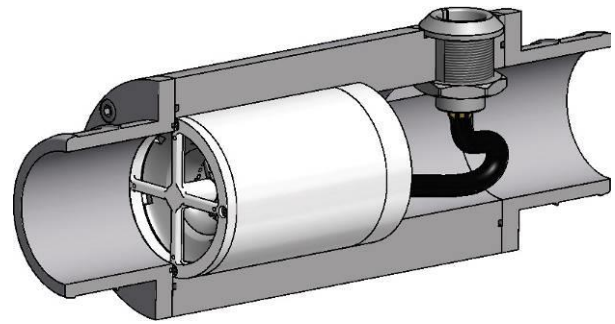
Durch den elektrischen Zusatzverdichter wird die Leistung gesteigert und der Verbrauch reduziert. Dies hat ein dynamisches Ansprechverhalten ohne Turboloch zur Folge.

Hemmnisse der Einführung

Der benötigte Strom muss von einem Startergenerator erzeugt werden und kann nur über eine sehr kurze Einsatzdauer betrieben werden. Der Ansaugtrakt wird um eine Komponente erweitert.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2017



Bildquelle: © Celeroton

Konkurrierende Technologien

Herkömmlicher Kompressor
Hochdruckverdichter (T003)
E-Turbo
Bi-Turbolader

Einsatzbereich

Der elektrische Zusatzverdichter wird als Ergänzung zum konventionellen Turbolader für aufgeladene Motoren eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Mercedes-Benz stellte 2016 einen Reihensechszylinder-Ottomotor vor. Dieser ist für die Elektrifizierung ausgelegt und beinhaltet unter anderem einen elektrischen Zusatzverdichter.

Zuordnung zu Kompetenzen

Maschinen- und Anlagenbau; Elektrotechnik; Motorsteuerung; Für KMU ist ein Marktpotenzial nur eingeschränkt vorhanden, da die Technologie nur eine kleine Ergänzung zur Aufladung darstellt und bereits recht ausgereift ist.

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Antriebsstrang
Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.V., BorgWarners elektrisch angetriebener Verdichter eBooster - elektrische Aufladung für verbesserte Kraftstoffeffizienz; o.V., Neuer Sechszylinder-Benzinmotor (M256): Faszinierender Vortrieb durch 48 Volt, o.D.; o.V.: Audi SQ7 TDI mit elektrisch angetriebenem Verdichter und 48-Volt-Teilbordnetz, 2016,

Hochdruckverdichtung

[T003; Verbrennungsmotor - Luftversorgung]

Kurzbeschreibung

Gegenüber dem Saugmotor kann der hubraumgleiche aufgeladene Motor bei gleichem angesaugten Luftvolumen durch den höheren Druck eine größere Luftmasse in den Brennraum fördern. Die Hochdruckverdichtung ermöglicht ein höheres Drehmoment bereits bei niedrigen Drehzahlen. Bei niedrigen Drehzahlen wird die Effizienz nicht gesteigert. Der Wirkungsgrad kann durch Drosselung des Teillastausbaus in Downsizing-Konzepten verbessert werden. Daher ist eine Verringerung des Kompressionsverhältnisses notwendig, was durch "Miller"-Timing teilweise kompensiert werden kann.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Leistung kann durch die Aufladung bei gleicher Drehzahl und gleichem Hubvolumen gesteigert werden. Daher kann man mit kleineren aufgeladenen Motoren die gleiche Leistung wie mit größeren nicht aufgeladenen Motoren erreichen. Es resultieren geringere Reibungs- und Ladungswechselverluste. Da der kleinere Motor höher belastet wird, kann der Betriebspunkt in den meisten Situationen zu einem Punkt mit geringerem Kraftstoffverbrauch verschoben werden. Eine Möglichkeit ist auch die Verbrennung bei magerem Luftgemisch. Mit geeigneten Maßnahmen der Abgasnachbehandlung können so Schadstoffemissionen reduziert werden.

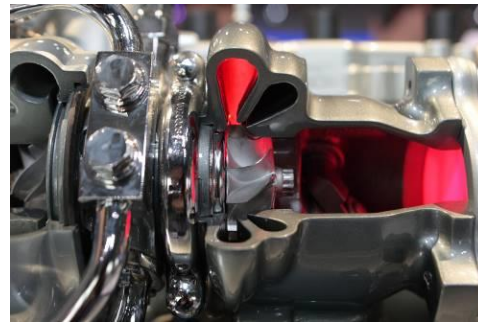
Hemmnisse der Einführung

Diese Technologie ist in Hybridsystemen weniger relevant. Aufgrund der höheren Mitteldrücke müssen die Bauteile verstärkt ausgelegt werden. Um beim Einsatz des klassischen Abgasturboladers die Aufladung zu generieren, wird ein zusätzliches Bauteil benötigt, welches wiederum gekühlt werden muss. Gerade bei aufgeladenen Ottomotoren wird die Abgasturbine stark erhitzt, sodass sie nach der Fahrt über Nachlaufregler gekühlt werden muss. Zudem existiert beim Abgasturbolader das Turboloch, welches bei niedrigen Drehzahlen durch eine zu geringe Abgasmenge verursacht wird.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<1938		1980

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.V. Turbolader, o.D.; Pudenz, Downsizing und Turboaufladung bieten bei Ottomotoren noch hohes Einsparpotenzial (26.04.2013), Springer Professional; o.V., Turbolader: Entwicklung, Anpassung und Erprobung, o.D., URL: <http://www.turbos.borgwarner.com/de/products/turbochargerDevelopment.aspx> (abgerufen am 12.12.2019)



Bildquelle: © Wikipedia (CC BY-SA 3.0)

Konkurrierende Technologien

Elektrischer Zusatzverdichter (T160)

Einsatzbereich

Diese Technologie kann sowohl bei Dieselmotoren als auch bei Ottomotoren eingesetzt werden.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Maschinen- und Anlagenbau

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Downsizing
Verbrennung

Antriebsstrang
Emissionsreduktion

Lärmunterdrückung

[T004; Verbrennungsmotor - Abgasanlage]

Kurzbeschreibung

Bei Kraftfahrzeugen bezeichnet Active Noise Cancellation die Reduktion unerwünschter Geräuschemissionen durch Überlagerung von Gegenschall. Es wird ein Regelkreis aufgebaut, in welchem der Regler den Gegenschall aus den Motordaten ermittelt. Über ein Mikrofon wird zusätzlich das Mündungsgeräusch aufgezeichnet und an den Regler weitergegeben. Dieser berechnet dann einen präzisen Gegenschall, der die Schallwellen überlagert und neutralisiert.

Vorteile und Ziele der Technologie

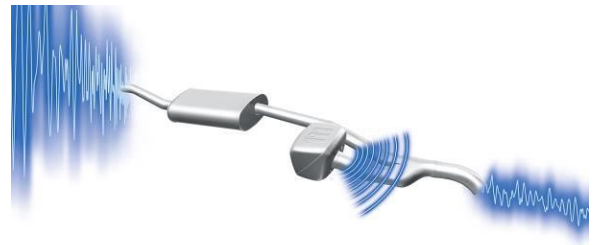
Das Schalldämpfervolumen wird durch diese Technologie um bis zu 60 % reduziert. Das Gewicht kann gemindert und Platz für andere Bauteile geschaffen werden. Die Technologie stellt eine effiziente und umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen Schalldämpfern dar. Zusätzlich können Geräuschkulissen anderer Fahrzeuge emuliert werden.

Hemmnisse der Einführung

Die Hälfte des insgesamt abgestrahlten Außen-geräusches wird vom Reifen-Fahrbahn-Kontakt hervorgerufen. Ganz ohne passive Schalldämpfer geht es nicht, da zunächst durch den Katalysator und den Vorschalldämpfer der Schall auf ein zum Lautsprechermodul passendes Niveau gedrosselt werden muss. Lautsprecher und zugehörige Elektronik bringen ebenfalls Masse mit. Die Verzweigung des Abgasstranges führt zu Druck-Gegenwellen durch Reflexion, die zurück zum Auslassventil laufen und dort nützlich oder schädlich sein können, je nach Phase des Motors.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2015



Bildquelle: © Eberspächer

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Schalldämpfer
Abgasklappe zur Geräuschreduzierung

Einsatzbereich

Diese Technologie wird bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Unter Downsizing wird die Geräuschentwicklung der Motoren verändert und durch die höhere Leistungsabgabe im unteren Drehzahlbereich erhöht sich der Schalldruckpegel im unteren Frequenzbereich. Eberspächer entwickelte beispielsweise ein ActiveSilence-Abgassystem für Pkw, welches für ein angenehmes Fahrzeuginnengeräusch und ein verträgliches Außengeräusch sorgt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Mechanik; Regelungstechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Sensortechnik; Signalverarbeitung

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Lärm
Abgasanlage

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Krüger u.a., Die Auswirkung künftiger Geräuschgrenzwerte auf die Gestaltung von Abgasanlagen, in: ATZ A. 9/2016, S.48-53; Brandstätt u.a., Neuartige reaktive und aktive Abgasschalldämpfer zur Integration mit Partikelfiltern großvolumiger Dieselmotoren, 2011; o.V, Produkte und Technologien für Mobilität von morgen, Eberspächer o.D.

Chemische Abgasbehandlung

[T005; Verbrennungsmotor - Abgasanlage]

Kurzbeschreibung

Es wird derzeit eine neuartige Technologie entwickelt, mit deren Hilfe Stickoxide effizient aus Dieselabgasen reduziert werden sollen. Es handelt sich hierbei um einen Katalysator, der zwei große technische Neuheiten besitzt: Zum einen werden neuartige keramische Materialien aus der Brennstoffzellenforschung eingesetzt. Zum anderen wird der sonst übliche Aufbau mit hintereinander geschalteten Einheiten zu einer Prozesseinheit geändert. Die Stickoxide werden im Katalysator eingelagert. Ist der Speicher voll, werden die eingelagerten Stickoxide mithilfe der neuen Materialien und einer geänderten Motorsteuerung in Ammoniak überführt. Ammoniak kann nun die Stickoxide in unschädlichen Stickstoff überführen. Wenn das Ammoniak aufgebraucht ist, beginnt der Prozess von vorne. Der Einbau in das Fahrzeug ist anspruchsvoll, aber machbar. Die einzigen offenen technologischen Fragen bestehen in Bezug auf Magergasmotoren hinsichtlich der Haltbarkeit der CH_2O - und CH_4 -Behandlung (Oxidationskatalysator).

Vorteile und Ziele der Technologie

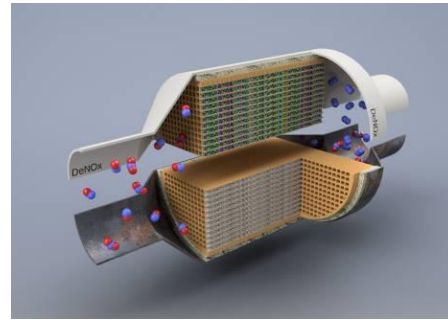
Der Katalysator funktioniert ohne Zusätze und auch bereits bei niedrigen Abgastemperaturen wie im Stadtverkehr.

Hemmnisse der Einführung

Die Hemmnisse dieser Technologie sind zum einen die hohen Kosten bei anspruchsvollem Einbau ins Fahrzeug. Zum anderen ist die Haltbarkeit der Magergasmotoren nur beschränkt möglich. Es ist notwendig zukünftig die Lebensdauer von Katalysatoren zu erhöhen und eine verbesserte Motorbetriebsstrategie in Bezug auf die spannungsfreie Katalysatorreaktivierung zu entwickeln.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2018	2021	2025



Bildquelle: © Forschungszentrum Jülich / J. Dornseiffer

Konkurrierende Technologien

Physikalische Filter (T006)

Einsatzbereich

Die Technologie wird zur Abgasnachbehandlung bei Dieselmotoren eingesetzt, um Stickoxidemissionen zu reduzieren. Dies wird hauptsächlich bei geringen Abgastemperaturen angewendet.

Weiterführende Informationen

Das Forschungszentrum Jülich und die RWTH Aachen entwickeln gemeinsam einen Katalysator, welcher Stickoxide nahezu vollständig aus Abgasen von Dieselfahrzeugen entfernen soll.

Zuordnung zu Kompetenzen

Chemie; Verfahrenstechnik; Keramikverarbeitung

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Emissionsreduktion
Abgasanlage

Quellen: Harnstoff. Neuartiger Katalysator entfernt Stickoxide fast komplett aus Dieselabgasen, 2017, URL: <https://www.ingenieur.de/technik/forschung/neuartiger-katalysator-entfernt-stickoxide-komplett-dieselabgasen>; Stickoxide: Neuartiger Katalysator soll Abgase ohne Zusätze reinigen, <https://www.fz-juelich.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/UK/DE/2017/2017-10-23-stickoxide-kat.html>

Physikalische Filter

[T006; Verbrennungsmotor - Abgasanlage]

Kurzbeschreibung

Feinstpartikelfilter für Benzinmotoren sind besonders wichtig für Verbrennungsmotoren mit höheren Verdichtungsverhältnissen. Die Serienanwendung ist bereits vorhanden. Feinstpartikelfilter sind nur für direkteinspritzende Benzinmotoren relevant. Standard sind diese seit EURO6. Die Kompressionsreaktionen sind unabhängig von der Notwendigkeit von Filtern.

Vorteile und Ziele der Technologie

Es gibt keine alternative Technologie zur Beseitigung von Partikelemissionen. Mithilfe dieser Technologie werden Partikelemissionen reduziert und Vorschriften eingehalten.

Hemmnisse der Einführung

Die Interaktion mit einem Hybrid-Antriebsstrang stellt aufgrund der reduzierten Abgastemperatur für die Regeneration ein Problem dar. Es ist eine Anpassung der Betriebsstrategie notwendig, um die Regeneration zu beschleunigen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2007



Bildquelle: © Eberspächer

Konkurrierende Technologien

Chemische Abgasbehandlung (T005)

Einsatzbereich

Diese Technologie wird bei Ottomotoren mit Benzin-Direkteinspritzung eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Eberspächer entwickelte beispielsweise einen Ottopartikelfilter, welcher seit 2017 bereits in Serienproduktion ist.

Zuordnung zu Kompetenzen

Chemie, Verfahrenstechnik; Materialwissenschaft; Keramikverarbeitung

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Abgasanlage

Emissionsreduktion
Filter

Quellen: Die Informationen sind durch einen Fachexperten aus dem Bereich des Thermomanagements verifiziert; "Die ersten Benziner-Modelle mit Ottopartikelfilter (OPF)" https://www.adac.de/infotestrat/tests/ecotest/benziner_mit_opf_2018/default.aspx (abgerufen 01.04.2020)

Energierückgewinnung

[T007; Verbrennungsmotor - Abgasanlage]

Kurzbeschreibung

Neben Turbokompressoren könnten zusätzliche Abwärmenutzungssysteme wie Rankine-Systeme und Thermoelektrische Generatoren (TEG) an Bedeutung gewinnen. Bei den Thermoelektrischen Generatoren wird der Seebeck-Effekt ausgenutzt. Hierbei wird durch eine Wärmedifferenz in einem thermoelektrischen Halbleiter eine elektrische Spannung erzeugt. Zusammen mit einem anderen gegenpoligen Halbleiter entsteht so eine kleine und autarke Spannungsquelle. Thermoelektrische Generatoren haben für kleine und mittelgroße Systeme das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis aller Abwärmenutzungstechnologien. Darunter fällt die Nutzung der Abwärme in PKW.

Vorteile und Ziele der Technologie

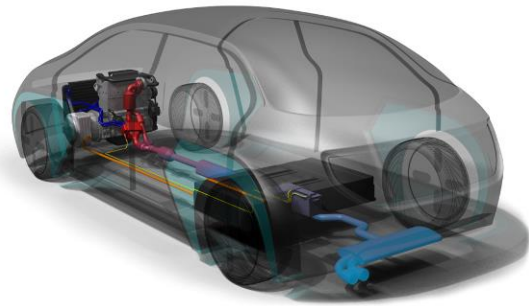
Thermoelektrische Systeme haben eine hohe Leistungsdichte und einen sehr geringen Wartungsaufwand. Mithilfe der Energierückgewinnung hat man die Möglichkeit, den Wirkungsgrad deutlich zu erhöhen ohne den Verbrennungsmotor des Systems in hohem Maße zu beeinträchtigen. Die Elektrifizierung und der steigende Energieverbrauch unterstützen Systeme, die zusätzliche elektrische Energie bereitstellen, wie beispielsweise Abwärmenutzungssysteme. Strengere Vorschriften für den CO₂-Ausstoß werden die Weiterentwicklung von Abwärmenutzungssystemen fördern.

Hemmnisse der Einführung

Eine aufwändige Abgasnachbehandlung kann die rückgewonnene Wärme und den verfügbaren Bauraum beeinträchtigen. Jedoch führen viele Trends der aktuellen Motorenentwicklung und /-applikation zu einer Erhöhung der mittleren Exergie im Abgas. Dies ist z.B. der Fall beim Downsizing, bei der Hybridisierung, Lastpunktanhebung und Zylinderabschaltung.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2018	2021	2022	2024



Bildquelle: © DLR

Konkurrierende Technologien

E-Turbo

Einsatzbereich

Thermoelektrische Generatoren werden im Automobil eingesetzt. Sie finden zur Wandlung vielfältiger Wärme-ströme Anwendung (z.B. Industrielle Abwärmenutzung).

Weiterführende Informationen

Im Bereich der Halbleitertechnologie von Thermoelektrischen Materialien und Modulen ist das Potential aufgrund vorhandener Kompetenzen und Produktionsinfrastruktur in Deutschland besonders groß.

Zuordnung zu Kompetenzen

Maschinen- und Anlagenbau; Halbleitertechnik;

Schlagworte

Verbrennungsmotor Abwärme
Abgasanlage Emissionsreduktion
Elektrifizierung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.V., Thermoelektrischer Generator ist kleiner als ein Zuckerwürfel, ingenieur.de; Paschotta, Thermoelektrischer Generator, RP-Energie-Lexikon; o.V., Thermoelektrischer Generator gewinnt Energie aus der Umgebung, Pressemitteilung IPH 2018; Kober, Holistic Development of Thermoelectric Generators for Automotive Applications, Journal of Electronic Materials 49, 2020

Benzinhochdruckeinspritzung

[T008; Verbrennungsmotor - Einspritzanlage]

Kurzbeschreibung

Tribologische Herausforderungen an die Einspritzpumpe sind bis 500 bar kein großes Problem. Die Hochdruckeinspritzung in Kombination mit angepasstem Injektordesign reduziert die Partikelemissionen und ermöglicht eine Schichtung im stöchiometrischen Betrieb. Aber die Technologie hat auch Vorteile bei homogenem Betrieb.

Vorteile und Ziele der Technologie

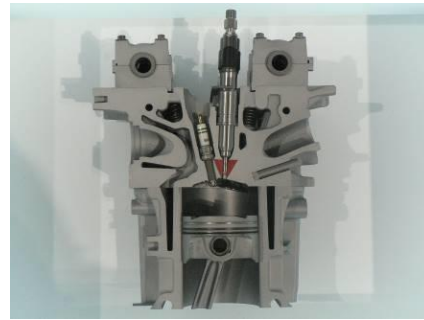
Mithilfe dieser Technologie kann die Effizienz des Brennverfahrens gesteigert werden. Dadurch können der Kraftstoffverbrauch und damit einhergehend die Feinstaubemissionen reduziert werden. Drücke von 500-600 bar könnten dazu dienen, dass die teure und komplexe Abgasnachbehandlung teilweise nicht mehr notwendig ist.

Hemmnisse der Einführung

Hauptsächlich bestimmen die Kosten den Umfang der Anwendung. Ein weiteres Hemnis stellt die Leistung von Partikelfiltern dar. Eine Erhöhung des GPF (gasoline particulate filter) kann die Notwendigkeit von HPDI (High Pressure Direct Injection) reduzieren.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<1995



Bildquelle: © Wikipedia (CC BY-SA 3.0)

Konkurrierende Technologien

Saugrohreinspritzung (T010)
Konventionelle (Niederdruck)Direkteinspritzung

Einsatzbereich

Zur Senkung der Schadstoffemissionen sowohl im Schichtladungsbetrieb als auch bei homogener Gemischbildung, in Verbrennungsmotoren eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Bosch brachte bereits 1951 die erste Benzin-Direkteinspritzung auf den Markt und ist bis heute Vorreiter dieser Technologie.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Maschinen- und Anlagenbau

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Einspritzanlage
Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Spicher, u.a., High Pressure Gasoline Direct Injection in Spark Ignition Engines - Efficiency Optimization through Detailed Process Analyses, in: SAE International Journal of Engines

Einspritzanlagen für neue Brennvverfahren

[T009; Verbrennungsmotor - Einspritzanlage]

Kurzbeschreibung

Mit der Entwicklung neuer Brennvverfahren sollen Verbrennungsmotoren effizienter werden. Die Technologie wird zur Realisierung des Schichtladungs-betriebs angewendet. Das Einspritzsystem ist nicht das zentrale Entwicklungsproblem. Eine Weiterentwicklung des Schichtbetriebs mit höheren DI-Drücken ist für die nahe Zukunft nicht zu erwarten.

Vorteile und Ziele der Technologie

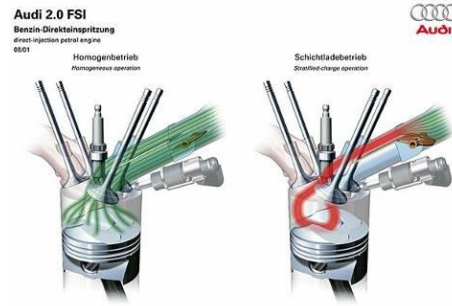
Mit dieser Technologie kann die Effizienz erhöht und Emissionen reduziert werden.

Hemmnisse der Einführung

Diese Technologie eignet sich nicht für magere Verbrennungskonzepte. Die Technologie in Kombination mit der schlanken Verbrennung ist in letzter Zeit aufgrund der hohen Kosten und Komplexität sowie der Notwendigkeit schwefelfreier Kraftstoffe vom Markt verschwunden. Der Vorteil einer höheren Energieeffizienz kann auch mit den konkurrierenden Technologien erreicht werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2018



Bildquelle: © Audi AG

Konkurrierende Technologien

Downsizing
Dual-Fuel Combustion
Miller-Ventil-Timing
Kondensateinspritzung

Einsatzbereich

Diese Technologie wird im Ottomotor zur Effizienzsteigerung eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Audi entwickelte beispielsweise einen Zweiliter-Benzinmotor, den 2.0. TFSI, welcher ein neues Brennvverfahren nutzt und laut eigener Angaben der effizienteste in seiner Klasse ist.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Maschinen- und Anlagenbau

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Einspritzanlage
Brennvverfahren
Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Audis 2.0 TFSI wird mit neuartigem Brennvverfahren sparsamer", Brüninghaus, URL: <https://www.springerprofessional.de/automobil---motoren/audis-2-0-tfsi-wird-mit-neuartigem-brennvverfahren-sparsamer/6586040> (01.04.2020)

Saugrohreinspritzung

[T010; Verbrennungsmotor - Einspritzanlage]

Kurzbeschreibung

Bei der Saugrohreinspritzung entsteht das Luft-Kraftstoff-Gemisch außerhalb des Brennraumes im Saugrohr und wird anschließend vom Injektor zum Einlassventil gespritzt. In der Ansaugphase öffnet sich das Einlassventil und das Gemisch kann in den Brennraum strömen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Vorteile dieser Technologie sind zum einen die geringen Kosten und zum anderen aufgrund von Downsizing sowie weiterer Entwicklungen die CO₂-Reduktion. Im Vergleich zur Direkteinspritzung weist die Saugrohreinspritzung Vorteile in Bezug auf Partikel- und Stickoxidemissionen auf. Des Weiteren weist das Luft-Kraftstoff-Gemisch homogene sowie gute Zünd-Eigenschaften auf, wodurch die Anforderungen an das Zündsystem geringer sind.

Hemmnisse der Einführung

Ein Problem dieser Technologie ist es, die geforderte Genauigkeit bei der Kraftstoffdosierung zu erreichen. Zudem ist die Saugrohreinspritzung komplexer als ein konventioneller Vergaser, da bei der Regelung der Drehzahl auch Faktoren wie der Luftdruck und -temperatur mit beachtet werden müssen. Im Vergleich zur Direkteinspritzung hat die Saugrohreinspritzung Nachteile bezüglich des Klopf- und Leerlaufverhaltens sowie der Kohlenwasserstoffemissionen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<1970



Bildquelle: © Wikipedia (CC BY-SA 3.0)

Konkurrierende Technologien

(Niederdruck)Direkteinspritzung
Vergaser
Benzinhochdruckeinspritzung (T008)

Einsatzbereich

Die Direkteinspritzung ist eine sehr bekannte Technologie und wird in kostenbewussten Anwendungen eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Bosch beliefert rund 70 Automobilfirmen mit Injektoren und ist somit weltweit Marktführer.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Maschinen- und Anlagenbau

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Einspritzanlage
Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Robert Bosch GmbH, Ottomotor-Management, Springer 2003; Benzin-Saugrohreinspritzung, <https://www.bosch-mobility-solutions.com/de/produkte-und-services/pkw-und-leichte-nutzfahrzeuge/antriebssysteme/benzin-saugrohreinspritzung/> (abgerufen am 30.03.20)

Strahlgeführte Brennverfahren

[T011; Verbrennungsmotor - Einspritzanlage]

Kurzbeschreibung

Diese Technologie zielt in erster Linie auf die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs ab, reduziert aber nicht zwangsläufig auch die Emissionen. In der Regel sind aufwändigere Abgasnachbehandlungstechnologien erforderlich. Die Emissionen von Motoren nehmen tendenziell zu, NOx sinkt, aber eine NOx-Abgasnachbehandlung ist immer noch notwendig sowie komplex und teuer. Der Schichtbetrieb ist auch innerhalb der Brennkammer bei einem Lambda des Abgases ~ 1 möglich, um den frühen Verbrennungsprozess zu stabilisieren.

Vorteile und Ziele der Technologie

Mithilfe dieser Technologie kann ein höherer Wirkungsgrad als bei anderen geschichteten Brennverfahren erreicht werden. Auf diese Weise wird eine höhere Verbrauchersparnis als bei wand- oder luftgeführten Brennverfahren erreicht.

Hemmnisse der Einführung

Diese Technologie ist nicht für magere Verbrennungskonzepte geeignet. Die Technologie in Kombination mit der schlanken Verbrennung ist in letzter Zeit wegen folgender Nachteile vom Markt verschwunden: Komplexität, Kosten, Notwendigkeit schwefelfreier Kraftstoffe (NOx-Speicherkatalysator). Der Vorteil einer höheren Energieeffizienz kann auch mit den konkurrierenden Technologien erreicht werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2018



Bildquelle: © Audi AG

Konkurrierende Technologien

Downsizing
Miller-Ventil-Timing
Hybride Energiekonzepte

Einsatzbereich

Diese Technologie wird eingesetzt, um in Automobilen Kraftstoff einzusparen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Maschinen- und Anlagenbau

Schlagworte

Verbrennungsmotor Brennverfahren
Einspritzanlage Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Tschöke, Helmut, Marohn, Ralf, 10. Tagung Diesel- und Benzindirekteinspritzung 2016 - Inklusive Gaseinblasung. - Wiesbaden Springer Fachmedien Wiesbaden 2017

Doppelspulen-System

[T012; Verbrennungsmotor - Zündanlage]

Kurzbeschreibung

Das Doppelspulen-Zündsystem wurde von Borg Warner Beru Systems entwickelt und besteht aus zwei Zündspulen in einem Gehäuse. Durch den Einsatz von zwei Spulen und einer entsprechenden Steuerung kann ein gleichmäßiger und kontinuierlicher Funke erzeugt werden und der Verschleiß auf einem tolerierbaren Niveau gehalten werden. Außerdem lassen sich Verzögerungen bei der Zündung reduzieren und so der Zündzeitpunkt bei unterschiedlichen Drehzahlen sowie unterschiedlicher Motorlast anpassen. Das Zukunftspotential dieser Technologie liegt in der Reduktion des Verschleißes, eine erhöhte Zündstabilität hängt hauptsächlich von einer geeigneten Regelstrategie und einer geeigneten Steuerung der Zündanlage ab.

Vorteile und Ziele der Technologie

Diese Technologie verbessert den Verbrennungsprozess für eine magere Verbrennung und erhöht die Abfuhrate. Auf diese Weise können Emissionen reduziert werden. Mittels dieser Technologie können auch der Verschleiß auf einem tolerierbaren Niveau gehalten und die Zündstabilität erhöht werden.

Hemmnisse der Einführung

Die Doppelspulen-Zündanlage kann lediglich magere Gemische zünden. Ein weiteres Hemmnis stellen das Preis-Leistungs-Verhältnis sowie die Zuverlässigkeit der Anlage dar. Entscheidend für die Technologie ist auch die Emissionsreduktion (abhängig von zukünftigen Wirkungsgrad- und Emissionsvorschriften), der Vergleich mit günstigeren alternativen Zündsystemen (mit Bezug auf das Steuerungssystem), die ebenfalls weiterentwickelt werden können.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2013		2017	



Bildquelle: © Wikipedia (CC BY-SA 3.0)

Konkurrierende Technologien

Corona-Zündung (T161) Laserzündung (T163)
Konventionelle Zündk. Mikrowellenzünd. (T162)
Mehrere Zündk. p. Kammer

Einsatzbereich

Eingesetzt wird diese Technologie bei Verbrennungsmotoren und Kleinfahrzeugen.

Weiterführende Informationen

Borg Warner BERU Systems entwickelte eine solche Technologie und bezeichnet sie als Dual-Coil-Ignition (DCI).

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Regelungstechnik; Maschinen- und Anlagenbau

Schlagworte

Verbrennungsmotor Emissionsreduktion
Motorsteuerung Zündung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Pudenz, Zündung: wenn der Funke überspringt (13.02.2013), URL: <https://www.springerprofessional.de/motorentechnik/zuendung-wenn-der-funke-ueberspringt/6560898> (abgerufen am 12.12.2019)

Corona-Zündung

[T161; Verbrennungsmotor - Zündanlage]

Kurzbeschreibung

Die Corona Zündung erzeugt elektrostatische Hochspannungsfelder, die zu Corona-Entladungen führen. Diese sind stark verzweigt und aktivieren ein hohes Volumen, was zur Entzündung führt. Es liegen Energien von 2,5 bis 22 J in 3 bis 4 ms an.



Bildquelle: © Tenneco Inc.

Vorteile und Ziele der Technologie

Mittels dieser Technologie kann Kraftstoff (bis zu 28 %) eingespart werden und so in Verbindung mit modernen Brennverfahren die CO₂-Reduktion von ca. 10 % erzielt werden. Des Weiteren ergibt sich eine höhere Verdünnungstoleranz (EGR: 35 % vs. 25 %) und eine erweiterte Magergrenzverbrennungsstabilität ($\lambda = 1,8$). Bereits nach 30 μ s setzt die Verbrennung ein. Zudem ist diese Technologie kompatibel mit vorhandenen Benzinmotorarchitekturen. Bewährte Materialien und Designstrategien sind bereits vorhanden, um die Serienreife zu beschleunigen.

Hemmnisse der Einführung

Der Leistungsbedarf der Corona-Zündung macht nur ca. 0,1 % der von Motoren erzeugten Leistung aus. Zudem ist die für den Corona Zündprozess erforderliche Zeit vier- bis sechsmal länger als die für die Zündung mit konventionellen Zündkerzen und einige Größenordnungen länger als die der Laserzündung. Das Corona-System benötigt Zeiten von 3 bis 4 ms, was schwerwiegende Probleme hinsichtlich der erforderlichen Zündzeitpunktgenauigkeit mit sich bringen kann. Zudem benötigt das Steuergerät dieser Zündung mehr Platz im Motorraum.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2011	2013	2016	2020

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Zündk. Laserzündung (T163)
Doppelspulen-Sys.(T012) Mikrowellenzünd. (T162)
Mehrere Zündk. p. Kammer

Einsatzbereich

Eingesetzt wird diese Technologie bei Verbrennungsmotoren und Kleinfahrzeugen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Regelungstechnik; Maschinen- und Anlagenbau

Schlagworte

Verbrennungsmotor Emissionsreduktion
Motorsteuerung Zündung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Martin Puhl: Corona and Laser Ignition in Internat Combustion Engines. A comparison to conventional spark plug ignition, Diplomarbeit am Institut für Photonik an der Technischen Universität Wien, URL: https://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_171230.pdf (abgerufen am 12.12.2019); o.V.: "ACIS - Advanced Corona Ignition System" (o.D.), URL: <http://www.federalmogul.com/en-US/OE/Products/Pages/Product-Details.aspx?CategoryId=15&SubCategoryId=21&ProductId=224> (abgerufen am 12.12.2019)

Mikrowellenzündtechnologien

[T162; Verbrennungsmotor - Zündanlage]

Kurzbeschreibung

Anstatt der herkömmlichen Zündkerze wird ein Element zur Einkopplung von Mikrowellenenergie in den Brennraum eingesetzt. Diese Mikrowellenenergie ermöglicht eine simultane Zündung im gesamten Brennraum. Für Großmotoren wurde eine Mikrowellenvorkammerzündung entwickelt, um schwer entzündbare Treibstoffe gesichert zu zünden.

Vorteile und Ziele der Technologie

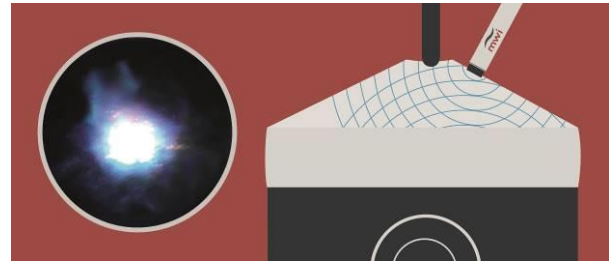
Mittels dieser Technologie ist eine drastische Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs (theoretisch bis zu 30 %) bei gleicher Motorleistung möglich. Schädliche Emissionen im signifikant zweistelligen Prozentbereich können durch Betrieb in optimierten Kennfeldbereichen gesenkt werden. Bei einer Kraftstoffreduzierung von 15 % ist auch von einer CO₂-Reduktion von 15 % auszugehen. Genauso ist von einer Reduktion von CO auszugehen, da bei der Kraftstoffreduzierung abgemagert wird und folglich bei der Verbrennung eine höhere Sauerstoffkonzentration vorliegt.

Hemmnisse der Einführung

Bei der Beschleunigung von Fahrzeugen kann diese Art von Zündung nicht arbeiten. Werden mehr Luft und Kraftstoff benötigt, ist es nicht möglich die notwendigen Zündbedingungen herzustellen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2018	2020	2021	2024	2027



Bildquelle: © MWI Micro Wave Ignition

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Zündk. Corona-Zündung (T161)
Doppelspulen-Sys.(T012) Laserzündung (T163)
Mehrere Zündk. p. Kammer

Einsatzbereich

Diese Technologie gleicht die Reichweitenbegrenzung reiner E-Mobilität aus. Durch den Einsatz eines mikro-wellengezündeten Range Extenders, der idealerweise mittels synthetischem Kraftstoff versorgt wird, sind Fahrstrecken bis 800 km technisch realisierbar. Der Einsatz der Mikrowellenvorkammerzündtechnologie in Arbeitsmaschinen, Großmotoren und Schiffen bewirkt die Reduktion großer Schadstoffmengen durch die Verwendung neuer, schwer entzündbarer Treibstoffarten.

Weiterführende Informationen

Solch eine Technologie wurde von der Micro Wave Ignition AG entwickelt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Regelungstechnik; Elektrotechnik

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Emissionsreduktion
Zündung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Akio Okahara: Problems of Plasma Ignition System, in DENSO TEN Technical Review Vol.1 (3/2018), URL: <https://www.denso-ten.com/business/technicaljournal/pdf/Vol01-10.pdf> (abgerufen am 12.12.2019)

Laserzündung

[T163; Verbrennungsmotor - Zündanlage]

Kurzbeschreibung

Der Strahl eines Hochleistungspulslasers wird eng fokussiert, um in brennbaren Gemischen einen verbrennungsinitiierten Funken zu bilden. Zu den Technologietreibern zählt die Notwendigkeit einer Effizienzsteigerung und die Reduzierung der Schadstoffemissionen, die dazu führen, dass fortschrittliche Motoren umweltverträglicher (reduzierte Emissionen) und unter Hochdruck (erhöhte Effizienz) betrieben werden können. Das Lasersystem basiert auf passiv gütegeschaltetem Nd: YAG und erzeugt kurze, aber hochintensive Laserpulse von etwa 20 mJ und Pulsdauern von mehreren Nanosekunden. Diese werden in der Mitte der Brennkammer fokussiert und ergeben ein Plasma, das die Verbrennung einleitet.

Vorteile und Ziele der Technologie

Aufgrund seiner selbstreinigenden Eigenschaft ist keine Wartung erforderlich. Wahlweise ist eine willkürliche Positionierung des Zündplasmas im Verbrennungszylinder möglich. Zudem hat man keine Löschwirkung der Zündkerzenelektroden. Die Zündung von mageren Gemischen ermöglicht niedrigere Verbrennungstemperaturen, welche sich wiederum positiv auf die NO_x-Emissionen auswirken. Es sind hohe Last- und Zünddrücke möglich, welche zu einer höheren Effizienz führen. Zudem ist ein präziser Zündzeitpunkt möglich. Diese Technologie hat den Vorteil, dass es keine Erosionseffekte wie bei den Zündkerzen gibt, wodurch die Lebensdauer einer Laserzündanlage voraussichtlich deutlich länger ist als die einer Zündkerze. Des Weiteren ist eine exakte Regelung der im Zündplasma abgelagerten Zündenergie und damit eine Mehrpunktzündung möglich. Zudem sind die Zündverzögerungs- und auch die Verbrennungszeit kürzer.

Hemmnisse der Einführung

Ein Hemmnis dieser Technologie sind die hohen Systemkosten. Das Konzept ist zwar bewährt, aber es ist noch kein kommerzielles System verfügbar.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2016	2018	2021	2024



Bildquelle: © Pixabay / Thor Deichmann

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Zündk. Mikrowellenz. (T162)
Doppelpulen-Sys.(T012) Corona-Zündung (T161)
Mehrere Zündk. p. Kammer

Einsatzbereich

Diese Technologie wird bei Verbrennungsmotoren eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Eine solche Zündung wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Universität Bayreuth am Institut für Technische Thermodynamik und Transportprozesse entwickelt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Lasertechnik

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Emissionsreduktion
Zündung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Himanshu Rajput: "Laser Ignition System" (15.04.2016), URL: <https://de.slideshare.net/HimanshuRajput27/laser-ignition-system-60969545> (abgerufen am 13.12.2019)

Deep Learning/ KI für das Steuergerät

[T013; Motorsteuergeräte]

Kurzbeschreibung

Mit dem Einsatz neuronaler Netze im Steuergerät in Form von Deep Learning (DL), soll dieses die optimale Einstellung von Eingangsgrößen lernen. Zudem wollen Forscher neue Visualisierungsmöglichkeiten für die vielfältigen Messdaten aus den neuronalen Netzen erarbeiten.

Vorteile und Ziele der Technologie

Mithilfe dieser Technologie soll die Sicherheit im Straßenverkehr erhöht werden. Weiterhin sollen Fahrten effizienter gestaltet und Staus vermieden werden. Fahrzeuginsassen haben die Möglichkeit, die Fahrzeit sinnvoll zu nutzen und fahren somit komfortabler.

Hemmnisse der Einführung

Es ist wichtig, die Interoperabilität, Sicherheit und Zuverlässigkeit der DL/KI-Systeme zu gewährleisten. Die Einführung in den Markt hängt von einem angemessenen Verständnis und Sicherheitsverfahren sowie der damit verbundenen Gesetzgebung ab. Die Entwicklung geeigneter Hardware (CPU- und Speichersysteme) und Softwaresysteme ist notwendig. Einschränkende Faktoren sind: Aufwand für die Entwicklung; verfügbare Hard- und Softwaresysteme; verfügbare Schulungen für Ingenieure und andere Anwender; Sicherheitsfragen und -richtlinien für den Einsatz von KI-Technologie. Ein weiteres Hemmnis stellen die Vertraulichkeit und die Datensituation in Deutschland dar.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2018	2024	2027	2029



Bildquelle: © Audi AG

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Optimierung

Einsatzbereich

Neuronale Netze sollen u.a. bei der Zeitreihenanalyse von Motorprüfdaten eingesetzt werden, um so Voraussagen bezüglich Verschleiß und Wartungsfällen besser treffen zu können.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Künstliche Intelligenz; Softwareentwicklung; Datenmanagement; Es wird erwartet, dass KMU bei Innovationen zur Nutzung und der Entwicklung von DL- und KI-Technologien wichtig sind.

Schlagworte

Motorsteuerung
Mensch-Maschine-Schnittstelle
Fahrassistentz
Softwareentwicklung
Künstliche Intelligenz
automatisiertes Fahren

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Makoviichuk, u.a., Deep learning based motor control unit, (o.D.), URL: http://cs229.stanford.edu/proj2016/report/MakoviichukLapko_DeepLearningBasedMotorControlUnit_report2.pdf (abgerufen am 12.12.2019)

Energieeffizienz

[T164; Motorsteuergeräte]

Kurzbeschreibung

Continental entwickelte ein neues Steuergerät namens Central Powertrain Controller (CPC), welches in der gesamten Mercedes E-Klasse verbaut wird. Es regelt als sogenanntes Gateway alle Steuergeräte des Antriebsstranges und kann darüberhinaus auch Steuerfunktionen anderer Geräte übernehmen. Mittels leistungsfähigster Mikrocontroller führt das Steuergerät alle Aktionen in Echtzeit aus. Das Steuergerät kann von anderen Systemen Daten empfangen und auf Basis dieser ermitteln, auf welchen Teilen der Strecke sich Energie gewinnen lässt und wie diese gewonnene Energie anschließend genutzt werden kann.

Vorteile und Ziele der Technologie

In elektrifizierten Antrieben sind neue, effizienzsteigernde Funktionen möglich. Beispielsweise kann das Steuergerät ermitteln, auf welchen Streckenabschnitten Energie gewonnen und am sinnvollsten genutzt werden kann.

Hemmnisse der Einführung

Die wachsenden Anforderungen an Energieeffizienz führen zu immer größeren Anforderungen an die Motorsteuergeräte. Die Gateway-Funktion ist nur möglich, wenn die Hersteller der anderen Steuergeräte im Fahrzeug entsprechende Schnittstellen anbieten. Sicherheitsgewährleistung der Hard/Software-Architektur wird deutlich komplexer.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2017



Bildquelle: © Wikipedia (CC BY-SA 3.0)

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Steuergeräte

Einsatzbereich

Das Einsatzspektrum des CPC reicht von Benzinern über Diesel bis hin zu Hybridfahrzeugen.

Weiterführende Informationen

Das Steuergerät von Continental ist bereits in der Mercedes E-Klasse verbaut.

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Regelungstechnik; Datenmanagement; Softwareentwicklung; Mess- und Steuerungstechnik

Schlagworte

Motorsteuerung
Energieeffizienz

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.V., Von Diesel bis Hybrid: Neues Continental-Steuergerät ist Schaltzentrale in gesamter Mercedes E-Klasse, URL: <https://www.continental-corporation.com/de/presse/pressemitteilungen/2017-03-28-control-unit-e-class-64626> (abgerufen am 12.12.2019)

Riemen-Starter-Generator

[T014; Starter-Generator]

Kurzbeschreibung

Diese Technologie integriert die Funktionen des Anlassers und der Lichtmaschine innerhalb eines Elektromotors und wird mittels Riementrieb mit dem Motor gekoppelt. Auf diese Weise kann der Elektromotor sowohl den Verbrennungsmotor beim Starten und Beschleunigen unterstützen, als auch für die Rekuperation genutzt werden.

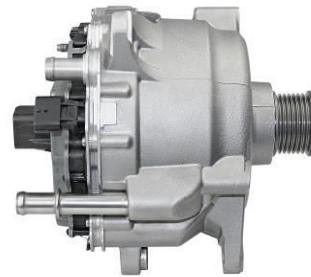
Vorteile und Ziele der Technologie

Mit dieser Technologie lassen sich ein höherer Wirkungsgrad und Kraftstoffeinsparungen erreichen. Bremsenergie wird in nutzbaren elektrischen Strom umgewandelt und ein leiseres sowie schnelleres Starten des Motors ermöglicht. Die Technologie ist preiswert und hat gegenüber Kurbelwellen-Starter-Generator den Vorteil, dass sie keine Änderungen im Antriebsstrang des Motors verursacht. Außerdem ist der Einsatz von elektrischen Turboladern möglich.

Hemmnisse der Einführung

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2016



Bildquelle: © Continental AG

Konkurrierende Technologien

Kurbelwellen-Starter-Generator (T015)
Konventionell getrennter Starter und Lichtmaschine

Einsatzbereich

Diese Technologie wird im Automobil mit Verbrennungsmotor eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Continental entwickelte einen kompakten 48-Volt-Riemen-Starter-Generator mit integrierter Leistungselektronik.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrotechnik; Mechanik

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Generator

Energierückgewinnung
Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; "Starter-Generatoren und 48-V-Bordnetz: Ausdauernde Helfer", daimler.com (abgerufen am 01.04.2020); o.V., Continental liefert Herzstück für 48-Volt-Hauptbordnetz im neuen Audi A8, URL: <https://www.continental-corporation.com/de/presse/pressemitteilungen/2018-01-15-audi-48-volt-119112> (abgerufen am 12.12.2019)

Kurbelwellen-Starter-Generator

[T015; Starter-Generator]

Kurzbeschreibung

Kurbelwellen-Starter-Generatoren können bei Wirkungsgraden von 80 % 6 bis 10 kW zur Verfügung stellen. Konventionelle Generatorleistungen in Mittelklassefahrzeugen liegen bei nur 1,2 kW und erzielen lediglich Wirkungsgrade von 65 %. Kurbelwellen-Starter-Generatoren sind coaxial mit der Kurbelwelle verbunden und Nebenantriebe werden dadurch nicht mehr benötigt. Mithilfe dieser Generatoren werden Bordnetzspannungen zwischen 14 Volt und 42 Volt für viele Verbraucher zur Verfügung gestellt.

Vorteile und Ziele der Technologie

Mit dieser Technologie können Schadstoffemissionen und der Kraftstoffverbrauch reduziert werden. Aufgrund der hohen Generatorleistung sind sowohl Schnellstart, als auch Startdrehzahlen von 600/min nahezu geräuschlos möglich. Durch elektrisches Bremsen kann Energie rückgewonnen werden. Außerdem können höhere Drehmomente als beim Riemen-Starter-Generator übertragen werden.

Hemmnisse der Einführung

Das maximale Moment wird durch den Bauraum beschränkt. Ein weiteres Hemmnis dieser Technologie sind deren hohe Kosten. Je nach Anbindung an den Antriebsstrang ist Rekuperation nur möglich, wenn die VKM mitgeschleppt wird (Energiefluss geht also durch sämtliche Wellen, Getriebe und die Kurbelwelle), was seine Effizienz deutlich reduziert. Hinzu kommt ein "Interessenkonflikt" zwischen Starter (langsam drehend, hohes Moment, somit tendenziell höhere Drehmassen, unpraktisch für dynamische Vorgänge) und Generator (vorzugsweise hochdrehend, um hohe Spannung einfacher zu erzeugen, mit kleinem Moment). Außerdem kann nur dann rekuperiert werden, wenn Motor und Getriebe nicht entkuppelt sind. Das muss sowohl auf Fahrerseite als auch bzgl. der Sicherheitsbedenken umgesetzt werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2017



Bildquelle: © ZF Friedrichshafen AG

Konkurrierende Technologien

Riemen-Starter-Generator (T014)
Konventionell getrennter Starter und Lichtmaschine

Einsatzbereich

Diese Technologie wird im Automobil mit Verbrennungsmotor eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Mercedes setzt diese Technologie im Sechszylinder-Motor ein.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrotechnik; Mechanik

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Generator

Energierückgewinnung
Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Van Basshysen Richard: Fahrzeugentwicklung im Wandel. Gedanken und Visionen im Spiegel der Zeit. 1. Auflage. Springer Fachmedien Wiesbaden. 2010

Intelligente Getriebe

[T018; Getriebe]

Kurzbeschreibung

Intelligente Getriebe ermöglichen mittels integrierter Sensorik die Industrie 4.0-Konnektivität. Die Einflussparameter des Getriebes wie Einbaulage, Temperatur, Vibrationen und Betriebsdauer werden erfasst, gespeichert und per IO-Link ausgegeben. Mittels integrierter Logikfunktion ist es für ein solches Getriebe möglich, sich selber zu überwachen. Mit der Kombination von intelligenten Getrieben mit intelligenten Systemen für den Motor wäre es möglich, Fehler und deren Ursache schneller zu entdecken.

Vorteile und Ziele der Technologie

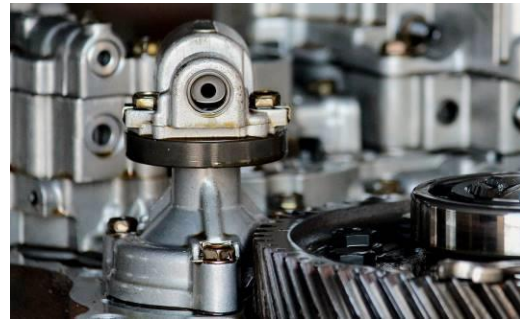
Direkt im Getriebe können über die integrierten Logikfunktionen die Ist- und Schwellwerte von Temperaturen und Vibrationen verglichen werden, sowie nicht legitime Abweichungen gemeldet und dokumentiert werden. Auf diese Weise können kritische Betriebszustände frühzeitig erkannt, das Risiko für Schäden minimiert und teure Instandsetzungen oder Maschinenausfälle vermieden werden. Somit sind effizientere Prozessverbesserungen möglich und die Transparenz von Antriebssträngen wird verbessert.

Hemmnisse der Einführung

Als Hemmniss dieser Technologie sind deren hohe Kosten zu nennen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2019	2021



Bildquelle: © Pixabay / Ulrike Mai

Konkurrierende Technologien

Externe Berechnung der geschätzten Schadensakkumulation

Einsatzbereich

Intelligente Sensorik kommt sowohl im Automobilbereich als auch bei industriellen Anlagen zum Einsatz.

Zuordnung zu Kompetenzen

Sensortechnik; Signalverarbeitung

Schlagworte

Getriebe
Antriebsstrang
Sensor

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.V., It's new. It's connective. The smart gearbox., (o.D.), wittenstein.de (abgerufen am 12.12.2019); Smarte Getriebe für intelligente Maschinen, wittenstein.de (abgerufen am 01.04.2020); o.V., Smartes Getriebe weist den Weg in die digitale Zukunft, URL: <https://www.konstruktion-entwicklung.de/smartes-getriebe-weist-den-weg-in-die-digitale-zukunft> (abgerufen am 12.12.2019)

Exponentialgetriebe / Hochdrehzahlgetriebe

[T019; Getriebe]

Kurzbeschreibung

Bei elektrifizierten Antriebssträngen ist die maximale Reichweite des Automobils eine der großen Herausforderungen. Durch eine Steigerung der Leistungsdichte und damit verbunden der Reduktion von Gewicht soll diese Kenngröße des Fahrzeugs gesteigert werden. Mithilfe von wirkungsgrad-optimierten Komponenten sowie Hochdrehzahl-antriebssträngen sollen diese Ziele erreicht werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

Durch eine Drehzahlwandlung der Motordrehzahl eines Elektromotors von 10.000 U/min auf 30.000 U/min kann eine Volumen- und damit eine Gewichtsreduktion von bis zu 50 % sowie eine Verringerung der Motor-kosten von bis zu 30 % erreicht werden. Damit ist eine deutliche Erhöhung der Leistungsdichte und Wirtschaft-lichkeit elektrifizierter Antriebsstränge zu erreichen.

Hemmnisse der Einführung

Schwingungsverhalten des Antriebsstrangs und damit einhergehend neue Auslegungen und Anpassungen der Verzahnungen und anderer Teilsysteme stellen Hem-nisse dieser Technologie dar.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2018	2021	2025	2028



Bildquelle: © BMW AG

Konkurrierende Technologien

Faller Exponentialgetriebe
Speed2E Hochdrehzahl-Antriebsstrang

Einsatzbereich

Einsatz wird vorrangig in elektrifizierten Antriebs-strängen sein, aber ist theoretisch in allen Formen von stationären Antriebsmaschinen zur Bereitstellung verschiedener Drehzahlen möglich.

Weiterführende Informationen

Das Faller Exponentialgetriebe hat 15 Zahnrädern und 81 Gänge. Es lässt sich auf engstem Raum verbauen und es können bis zu 25 % Kraftstoff eingespart werden. Im Projekt Speed2E wurde ein Hochdrehzahl-Antriebsstrang für elektrifizierte Automobile entwickelt, um die Gesamteffizienz des Fahrzeugs zu erhöhen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Verbrennungsmotor; Elektromotor; In dieser Tech-nologie besteht ein großes Potential, da in elektrifizierten Antriebssträngen große Reduktionen von Gewicht und auch Kosten zu erwarten sind.

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Elektrifizierung

Emissionsreduktion
Getriebe

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Poll, u.a., Speed2E – Innovatives Super-Hochdrehzahl-Mehrgang-Konzept für den elektrifizierten automobilen Antriebsstrang für höchste Effizienz und höchsten Komfort; Gwinner, u.a., Innovatives Hochdrehzahl-Antriebsstrangkzept für hocheffiziente elektrische Fahrzeuge, in: ATZ Ausgabe 3/2017, S.48-53

Funktionsintegration

[T021; Getriebe]

Kurzbeschreibung

In elektrifizierten Antriebssträngen wird der Elektromotor, die Leistungselektronik und das Getriebe zu einem kompakten System zusammengefasst, der sogenannten eAchse (vgl. Bosch).

Vorteile und Ziele der Technologie

Die eAchse zeichnet sich durch eine kompakte Bauweise, verringerte Kosten und gesteigerte Effizienz aus. Zudem werden die Leistungsfähigkeit und die Reichweite erhöht. Weitere Vorteile sind eine verkürzte Entwicklungszeit sowie die gute Skalierbarkeit vom kleinen Pkw bis zum großen Nutzfahrzeug.

Hemmnisse der Einführung

Die Wärmeentwicklung des Elektromotors stellt eine große Herausforderung dar und Kühlkonzepte mittels eines Kühlmantels (Kühlkanäle) erfordern ein hohes produktionstechnisches Know-how. Dies funktioniert aber nur mit einem Motor mit mechanischem Differenzial gut. Gerade bei der Ausnutzung der Vorteile von verteilten (radnahen) Antrieben (z.B. Torque Vectoring/Active Yaw Control, Rekuperation, el. ABS, ESP), führt diese Integration zu größeren Problemen (siehe T020).

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2018



Bildquelle: © Bosch

Konkurrierende Technologien

ZF	Schaeffler
Bosch	Continental

Einsatzbereich

Eine Elektroachse ist für jedes beliebige Fahrzeug vom Kleinwagen bis zum SUV und zudem auch für Hybrid- und Brennstoffzellenfahrzeuge eine attraktive Lösung.

Weiterführende Informationen

Viele Automobilzulieferer entwickeln in diese Richtung.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Leistungselektronik; Integration elektronischer Bauteile; Durch die breite Einsatzmöglichkeit in einer Vielzahl von Fahrzeugen besteht ein großer Bedarf in der Entwicklung der Elektroachse. Für kleine und mittlere Unternehmen ist es allerdings ein großer Entwicklungsaufwand. Außerdem haben bereits eine Vielzahl von großen Unternehmen dieses Entwicklungsfeld eingenommen, so dass hier schon eine Konkurrenz zwischen den Zulieferern besteht.

Schlagworte

Getriebe	Leistungselektronik
Elektromotor	Wirtschaftlichkeit

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Bosch-E Achse, <https://www.bosch-mobility-solutions.com/de/produkte-und-services/pkw-und-leichte-nutzfahrzeuge/antriebssysteme/elektroantrieb/eachse/> (abgerufen am 01.04.2020)

Leichtbau durch hochfeste Stähle

[T022; Wellen]

Kurzbeschreibung

Um Kraftstoff zu sparen und Emissionsgrenzwerte einzuhalten, wird unter anderem auf Leichtbau gesetzt. Bei elektrifizierten Antriebssträngen muss das hohe Gewicht der Batterie kompensiert werden. Hierfür entwickelte die aus dem Rennsport bekannte CP Tech GmbH eine Antriebswelle als Hohlwelle, die aus hochfestem Stahl besteht und zusätzlich wärmebehandelt wurde, wodurch sie eine hohe Zähigkeit besitzt.

Vorteile und Ziele der Technologie

Eine Leichtbau-Antriebswelle aus Stahl spart etwa 20 kg pro Fahrzeug. Bei einer konturnachgeführten Hohlwelle kommt es nur zu einer geringen Änderung der Steifigkeit und Festigkeit, dafür aber zu einer höheren Gewichtsabnahme. Nicht nur die Gewichtsersparnis als Hohlwelle, sondern auch die Platzersparnis ist ein weiterer Vorteil. Betriebsmittel, Medien oder zusätzliche kleine Maschinenelemente können in der Hohlwelle angebracht werden oder diesen Platz als Arbeitsraum nutzen.

Hemmnisse der Einführung

Hohlwellen erfordern einen höheren Produktions- und Fertigungsaufwand als eine gewöhnliche Vollwelle. Die Stabilität der Hohlwelle wird signifikant von ihren Maßen beeinflusst. So ist die Einhaltung des Verhältnisses von Wandstärkenden zu Durchmesser eine Notwendigkeit zur Sicherstellung der Funktionssicherheit. Des Weiteren weist die Hohlwelle eine höhere Anfälligkeit für Kerben bzw. Beschädigungen von außen auf.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2018



Bildquelle: © Jansen Steel Tubes

Konkurrierende Technologien

CFK-Vollwellen
Hohlwellen mit eingeklebten/einlamierten Enden
Wellen aus neuen Materialien

Einsatzbereich

Im Automobilbereich übertragen Antriebswellen die Kraft des Motors auf die Antriebsräder. Allerdings nicht nur in Fahrzeugen, sondern vielmehr in allen Antriebssträngen vom Flugzeug bis zur stationären Produktionsmaschine.

Weiterführende Informationen

Zur Reduktion des Kraftstoffverbrauchs und der Emissionen entwickeln Automobilhersteller und Zulieferer vermehrt Komponenten in Leichtbauweise. Eine leichte Antriebswelle entwickelte beispielsweise CP autosport (CP Tech GmbH).

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Für KMU mit Kompetenzen in der Produktionstechnik relevant. Massivumformung als Schlüsselkompetenz und gleichzeitig als Herausforderung der Technologie.

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Elektromotor
Antriebswelle
Gewichtersparnis
Platzersparnis

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Schmieder, Kettner, Fertigung von Getriebe-Hohlwellen durch Massivumformung" (1996), URL: https://www.massivumformung.de/fileadmin/user_upload/6_Presse_und_Medien/Veroeffentlichungen/Schmied_e-Info/00000111.pdf; CP Tech GmbH-Drive Shafts, <https://www.cp-tech.com/autosport/services-und-products/driveshafts.html>; o.V.: "Hohlwelle" (o.D.), URL: <https://harmonicdrive.de/de/glossar/hohlwelle>

Neue Materialien (Kunststoffe)

[T023; Wellen]

Kurzbeschreibung

Um Gewicht einzusparen und somit den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen zu senken, werden die Komponenten der Fahrzeuge verstärkt auf Leichtbau ausgerichtet. Zur Steigerung der Effizienz des Antriebsstranges wird beispielsweise auf Leichtbau-Antriebswellen aus Kohlenstoff-Faserverstärkten Kunststoffen (CFK) gesetzt.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Antriebswellen aus CFK sind nur halb so schwer wie eine vergleichbare Antriebswelle aus Stahl. Außerdem besitzen Faserverbundwerkstoffe gegenüber bisher verwendeten Materialien, wie z.B. Stahl, verbesserte mechanische Eigenschaften hinsichtlich der Steifigkeit und Festigkeit. Auch die Eigenfrequenz und Dämpfung kann in einem gewissen Bereich eingestellt werden.

Hemmnisse der Einführung

Die Lasteinleitungsbereiche werden weiterhin aus Stahl oder Aluminium realisiert. Nur die zylindrische Wellenform besteht aus dem Verbundwerkstoff, da die Festigkeit an den Endpunkten der Welle für die Kraftübertragung nicht ausreicht. Hier sind dann wiederum die unterschiedlichen Eigenschaften von Stahl und CFK, wie der unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizient in der Bauteilverbindung eine Herausforderung. Ebenfalls ein Problem ist die kraftschlüssige/formschlüssige Verbindung zwischen CFK und Stahl/Aluminium. Techniken wie kleine aufgeschweißte Pins (vgl. Teufelberger T-IGEL) zum Formschluss können verwendet werden

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2022	2024	2029



Bildquelle: © BMW AG

Konkurrierende Technologien

CFK-Vollwellen
Hohlwellen mit eingeklebten/einlamierten Enden
Leichtbau durch hochfeste Stähle

Einsatzbereich

Im Automobilbereich werden vermehrt neue Materialien eingesetzt, um das Gewicht bei Fahrzeugen zu reduzieren.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Kunststoffverarbeitung; Das Know-how in faserverstärkten Kunststoffen sowie der Materialmischbauweise gelten als grundlegende Kompetenz. Für kleine und mittlere Unternehmen mit Kompetenzen in diesem Bereich relevant.

Schlagworte

Verbrennungsmotor
Elektromotor
Emissionsreduktion
Gewichtersparnis
Antriebswelle

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.V., Ultraleichte Antriebswelle, (o.D.), URL: <http://www.fvv-net.de/forschung/projekte/ultraleichte-antriebswelle> (abgerufen am 13.12.2019); Pudenz: "Leichte Antriebswellen: Wissenschaftler erforschen Auslegung", <https://www.springerprofessional.de/automobil---motoren/werkstoffe/leichte-antriebswellen-wissenschaftler-erforschen-auslegung/6587244> (abgerufen am 01.04.2020)

Nutzung als Sensor

[T024; Wellen]

Kurzbeschreibung

Zur Verringerung des Ausstoßes von Emissionen und zur Optimierung von Fahrzeugen werden genaue Messwerte benötigt. Sensoren, die auf Basis von Magnetostraktion arbeiten und bei geringem Bauraum zuverlässig Messwerte trotz Hitze und Schmutz liefern, sind wichtige Impulsgeber in diese Richtung. Hierfür werden bei der Magnetostraktion die Getriebeeingangs- oder die Antriebswellen magnetisiert und anschließend über die Messung der Änderung des Magnetfeldes das einwirkende Drehmoment bestimmt.

Vorteile und Ziele der Technologie

Sensoren bieten die Möglichkeit, mehr über den aktuellen Zustand des Antriebsstrangs zu erfahren. Berührungslose Sensoren ermöglichen exakte Werte selbst bei schwierigen Einsatzbedingungen wie in einem Getriebe, welches sich durch Vibrationen, hohe Temperaturen und flüssige Medien charakterisiert. Somit sind eine Echtzeitmessung des Drehmoments möglich und dadurch genauere Messwerte, wie eine über das Motorsteuergerät errechnete Motorleistung. Auf diesem Wege lassen sich zum Beispiel Schaltzeitpunkte in Automatikgetrieben optimieren, die wiederum zu einer höheren Leistungsausbeute als auch zu einer Einsparung von Kraftstoff führen.

Hemmnisse der Einführung

Bei der Produktion entstehen für die Magnetisierung der Welle höhere Kosten.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2019	2025



Bildquelle: © Burster Präzisionsmesstechnik

Konkurrierende Technologien

NCTE-Sensoren
Dehnmessstreifen auf der Stahlwelle, faseroptische Dehnungsmessung bei CFK
Messwellen zum Ausmessen und Hinterlegen als Kennfeld

Einsatzbereich

Der Einsatzbereich im Fahrzeug weist durch die zunehmende Relevanz der Mess- und Regelungstechnik ein breites Anwendungsfeld auf. Beispielsweise sei hier der Einsatz in Automatikgetrieben zur Unterstützung von Schaltzeitpunkten genannt.

Weiterführende Informationen

Sensoren im Fahrzeug gewinnen zunehmend an Bedeutung, v.a. im Hinblick auf autonomes Fahren.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Sensortechnik; Sensoren als essenzielle Bestandteile des Fahrzeuges sind als Sinnesorgane des Fahrzeuges zu verstehen und bekommen durch den zunehmenden Anteil des elektronischen Regelsystems im Fahrzeug eine immer größere Bedeutung. Dies bietet ein großes Potential für KMU, die in der Sensorik Kompetenzen aufweisen.

Schlagworte

Verbrennungsmotor Effizienz
Elektromotor Sensor

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Beitrag von der NCTEngineering GmbH, Unterhaching, Optimierungsexperten (12.04.2012); Franz Merold (NCTE), Berührungsfreie Drehmomentsensorik im Motorsport. Messungen unter extremen Bedingungen, URL: <https://www.elektroniknet.de/elektronik/messen-testen/messungen-unter-extremen-bedingungen-128021-Seite-2.html> (abgerufen am 13.12.2019);

Energiebedarfsreduzierung

[T026; Klimatisierung]

Kurzbeschreibung

Der Fahrzeuginnenraum wird mittels Energie aus der Batterie klimatisiert, wodurch die Reichweite von Elektroautos erheblich beeinträchtigt wird. Daher ist es wichtig, den Energiebedarf für die Innenraumklimatisierung zu optimieren bzw. zu reduzieren. Hierzu sind sowohl Innovationen im Bereich der Sensorik als auch im Bereich der Autoheizung wie beispielsweise Weiterentwicklungen der Sitzbeheizung oder Flächenbeheizung notwendig. Zur Entwicklung neuer Technologien orientiert man sich an Klimatisierungskonzepten aus der Gebäudetechnik und an Behaglichkeitsmodellen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Durch die intelligente Klimatisierung im Fahrzeuginnenraum kann der Energieverbrauch reduziert werden.

Hemmnisse der Einführung

Dadurch, dass beim batterieelektrischen Antriebskonzept weniger Abwärme durch den Antriebsstrang entsteht als bei einem konventionellen Verbrennungsmotor, muss die Energie für die Temperierung des Innenraums von Zusatzgeräten generiert und der Energiebedarf dafür zusätzlich mitgeführt werden. Hier kommt der Nachteil zu tragen, dass elektrische Energiespeicher eine viel geringere Energiedichte besitzen als fossile Energieträger.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2019	2025



Bildquelle: © Unsplash / Olav Tvedt

Konkurrierende Technologien

Karosserieisolierungen
Vorkonditionieren vor Abfahrt
Infrarotreflektierende Scheiben
Latentwärmespeicher

Einsatzbereich

Energie zu reduzieren, ist verstärkt in elektrifizierten Antriebssträngen notwendig, da durch die höhere Effizienz ein geringerer Teil der Energie als Abwärme genutzt werden kann.

Weiterführende Informationen

Besonders bei Elektroautos sind entsprechende Energiekonzepte notwendig, da durch die Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums die Energie für eine größere Reichweite fehlt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Sensortechnik; Thermomanagement; Kühltechnik; Kühltechnik; Für neuartige Klimatisierungs- und Komfortkonzepte besteht Potenzial für KMU mit Kompetenzen in Bereichen des thermischen Energiemanagements.

Schlagworte

Energiebedarf
Emissionsreduktion
Effizienz
Sensor

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Konz u.a., Spezifische Anforderungen an das Heiz-Klimasystem elektromotorisch angetriebener Fahrzeuge, in: FAT-Schriftreihe 2011; Marion Conrady: "Individueller Klimakomfort im Elektroauto" ingenieur.de (abgerufen am 13.12.2019); Burkert, Mehr Reichweite dank effizienter Klimatisierung (11.07.2014), Springer Professional

Lokale Klimatisierung

[T027; Klimatisierung]

Kurzbeschreibung

Die Klimaanlage zählt heute zur Grundausstattung eines Neuwagens und im Zuge der Elektrifizierung des Antriebsstranges ist es zunehmend von größerer Bedeutung, ihren Energieverbrauch zu reduzieren sowie effizienter zu gestalten. Gleichzeitig steigen die Ansprüche der Kunden hinsichtlich Luftqualität, Behaglichkeit und Innenraumkomfort. Durch den Einsatz lokaler körpurnaher Wärmequellen kann die Kabinentemperatur reduziert werden ohne den Komfort für die Insassen zu beeinträchtigen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Für den Heizfall kann eine Reduzierung der Zulufttemperatur verbunden mit lokalen beheizten und körpernahen Elementen der Fahrgastzelle, wie der Sitzheizung, Lenkradheizung und Flächenstrahlungselemente zu einem geringeren Energieverbrauch führen.

Hemmnisse der Einführung

Die Schwierigkeit besteht darin, den Insassen ein vergleichbar gutes Komfortgefühl zu bieten, wie es konventionelle Klimasysteme tun. Bei ausschließlichem Einsatz einer Sitzheizung und gleichzeitiger Absenkung der Kabinentemperatur kommt es zu einem Temperaturunterschied zwischen den Körperregionen. Dadurch verringert sich aufgrund des Regulationsmechanismus des Körpers die Durchblutung der distalen Körperregionen (z.B. Hände und Füße), um den Körperkern vor dem Auskühlen zu schützen. Durch die lokal zugeführte Wärme der Sitzheizung wird dieser Effekt verstärkt und die Insassen fühlen sich unwohl.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2019	2025



Bildquelle: © BMW AG

Konkurrierende Technologien

Konventionelles Klimasystem

Einsatzbereich

Die lokale Klimatisierung kann unabhängig vom Antriebsstrangkzept gewählt werden. Im Zuge der Reichweitenerhöhung spielt sie allerdings eine größere Rolle für Fahrzeuge mit elektrifiziertem Antriebsstrang.

Zuordnung zu Kompetenzen

Kühltechnik; Kühltechnik; Diese Technologie bietet besonders für Unternehmen mit Kompetenzen in der Wärmediffusion und -konvektion Potentiale.

Schlagworte

Energiebedarf
Klimatisierung
Kühlung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Carolin Schmidt, Christoph van Treeck: Lokale Klimatisierungsmaßnahmen in Elektrofahrzeugen, in: ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift Vol. 117 Issue 11 (11/2015), S.84-93; Aschoff, J.; Günther, B.; Kramer, K.: Energiehaushalt und Thermoregulation. In: Physiologie des Menschen, Band 2, 1971

Thermische Isolierung der Fahrgastkabine

[T028; Klimatisierung]

Kurzbeschreibung

Zur thermischen Isolierung der Fahrgastkabine werden verschiedene Materialien angewendet. Hierbei verwendet man bisher beispielsweise Schaumstoffe oder Thinsulite. Diese dämmen nicht nur, sondern dienen ebenfalls der akustischen Absorption. Die Anforderungen an diese Materialien stellen sich bezüglich Leichtbau und Flexibilität.

Vorteile und Ziele der Technologie

Mithilfe neuer Materialien zur thermischen Isolierung kann man Gewicht einsparen (z.B. sind Thinsulite um 50 % leichter als klassische Dämmmaterialien) und zusätzlich die Fahrgastkabine gegen akustische Geräusche schützen. Die Gewichtseinsparung wirkt sich positiv auf den Kraftstoffverbrauch und damit einhergehend auf Emissionen aus. Thinsulite bringen auch den Vorteil mit sich, dass sie kavitätsfüllende Eigenschaften besitzen und sich so sehr gut in Hohlräume einpassen. Bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen kann mithilfe von thermischer Isolierung Energie eingespart und somit die Reichweite erhöht werden.

Hemmnisse der Einführung

Bisher wurden passive Maßnahmen zur thermischen Isolierung der Fahrgastkabine kaum betrachtet. Eine inhomogene Temperatur- und Strömungsverteilung an den Bauteiloberflächen der Fahrgastkabine beeinflusst den Wärmedurchgang. Zudem wirken sich Interaktionseffekte der Wärmeübertragungsmechanismen auf den Wärmeübergang aus. Aufgrund dessen ist eine ganzheitliche Bewertung der Fahrzeugbaugruppen sehr komplex. Heutzutage ist es aufgrund von zu hohen Rechen- sowie Postprocessingaufwänden noch nicht möglich, den Wärmeübergang von Baugruppen in Simulationsmodellen für die Fahrgastkabine dreidimensional aufzuzeigen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2022	2025



Bildquelle: © Pixabay / Mikesphotos

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Dämmmaterialien

Einsatzbereich

Die thermische Isolation besitzt ihre Relevanz hinsichtlich des Thermomanagements nicht nur im PKW-Bereich, sondern auch im Nutzfahrzeugbereich und anderen Verkehrsmitteln.

Weiterführende Informationen

Ein Hersteller für Leichtbau-Schaumstoffe ist beispielsweise FoamPartner Switzerland AG. Thinsulate bietet z.B. die 3M Deutschland GmbH an.

Zuordnung zu Kompetenzen

Thermomanagement; Die thermische Isolation der Fahrgastzelle wird als passive Maßnahme einen essenziellen Bestandteil in Fahrzeugen haben und besitzt dahingehend Potential für KMU.

Schlagworte

Temperaturmanagement Gewichtersparnis
Effizienz Emissionsreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Wirth u.a., Thermische Isolation der Fahrgastzelle von Elektrofahrzeugen, in ATZ 115, 2013; Thermische und akustische Isolierung im Leichtbau, 3M Deutschland GmbH, 3mdeutschland.de (abgerufen am: 04.02.2020); Ihr innovativer Experte für Akustik- und Wärmemanagement, FoamPartner Switzerland AG, URL: <https://www.foampartner.com/schaumstoffe/acoustic-thermal-solutions> (abgerufen am: 04.02.2020)

Thermomanagement Batterie, Motor, Leistungselektronik

[T029; Fahrzeugkühlkreislauf]

Kurzbeschreibung

Die Aufgabe des Thermomanagements besteht in der Klimatisierung der Komponenten Batterie, Elektromotor sowie Leistungselektronik in dem für sie jeweils optimalen Temperaturbereich. Für Elektrofahrzeuge ist das Thermomanagement-System komplexer als für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Die Batterie muss im Elektrofahrzeug entweder gekühlt oder beheizt werden. Der E-Motor und die Leistungselektronik hingegen müssen stets gekühlt werden. Aus diesem Grunde ist es im Fahrzeug wichtig, dass der Kälte- und der Kühlkreislauf optimal aufeinander abgestimmt sind. Das Kühlwasser im Kühlkreislauf transportiert Wärme von deren Erzeugungsort an die Stellen im Fahrzeug, an denen sie gebraucht wird.

Vorteile und Ziele der Technologie

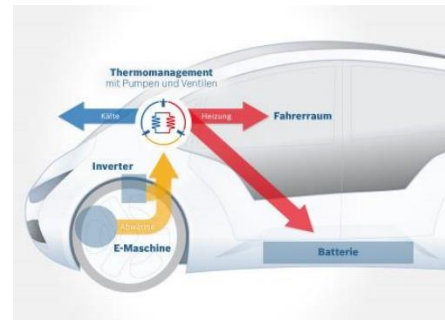
Aufgrund der hohen spezifischen Wärmekapazität von Kühlwasser (es kann auf kleinem Raum viel Wärme aufnehmen) ist eine effektive Kühlung der Komponenten möglich. Des Weiteren ist es so möglich, Wärme flexibel im Fahrzeug zu verteilen. Ein solches Thermomanagement bringt einen geringeren Energieverbrauch mit sich, was gleichzeitig die Reichweite von Elektrofahrzeugen erhöht. Des Weiteren ist die Reichweite ganzjährig verlässlich verfügbar.

Hemmnisse der Einführung

Die Herausforderung von Thermomanagement-Systemen besteht darin, den Kälte- und den Kühlmittelkreislauf optimal aufeinander abzustimmen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2018



Bildquelle: © Continental AG

Konkurrierende Technologien

Thermomanagement von Bosch, Hella, Continental und Mahle

Einsatzbereich

Eingesetzt wird diese Technologie im Bereich der Elektromobilität.

Weiterführende Informationen

Mehrere Automobilzulieferer entwickeln und bieten bereits Thermomanagement-Systeme für Elektro- und Hybridfahrzeuge an.

Zuordnung zu Kompetenzen

Thermomanagement; Leistungselektronik; Elektromotor; Batteriemangement; Kompetenzen liegen im Themomanagement von Elektrofahrzeugen. Für KMUs ist Potential vorhanden.

Schlagworte

Temperaturmanagement	Reichweite
Effizienz	Elektromotor
Leistungselektronik	Batterie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Thermomanagement für Hybridsysteme und Elektroantriebe., bosch-mobility-solutions.de (abgerufen am 04.02.2020); Thermomanagement von Continental steigert Effizienz von Fahrzeugen um rund 25 Prozent., continental.com (abgerufen am 04.02.2020)

Temperaturmanagement Batterie

[T030; Fahrzeugkühlkreislauf]

Kurzbeschreibung

Die Leistungsfähigkeit, Alterung und Zuverlässigkeit sowie Betriebssicherheit von Batteriesystemen, die aus Lithium-Ionen Batteriezellen aufgebaut sind, besitzen eine starke Abhängigkeit von der Betriebstemperatur der Batteriezellen. Die Erwärmung der Batteriezellen korreliert dabei mit dem Gesundheitsstand (SOH), Ladezustand (SOC), innerem Zellaufbau und anliegendem Lastprofil. Eine möglichst homogene Temperaturverteilung wirkt sich dabei positiv auf die Erwärmung der Batteriezellen aus.

Vorteile und Ziele der Technologie

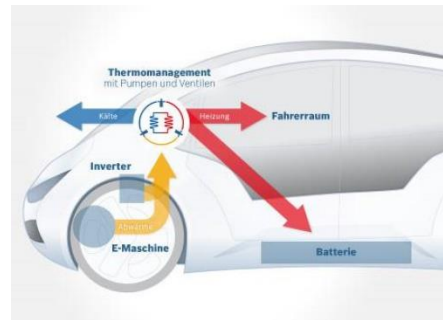
Ein gutes Temperaturmanagement von Batterien erhöht deren Lebensdauer und erfüllt die Sicherheitsanforderungen, da die Wärme effektiv abgeleitet wird. Des Weiteren wird die Leistungsfähigkeit der Batterie erhöht. Mittels des Temperaturmanagements von Batterien wird eine Schnellladung unterstützt. Es werden außerdem kein schädliches Kältemittel mehr verwendet und CO₂-Emissionen reduziert.

Hemmnisse der Einführung

Aufgrund der Temperaturempfindlichkeit der Batterien besteht die Herausforderung darin, die Batterie in jeder Situation und zu jeder Jahreszeit optimal und effektiv zu klimatisieren.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2018	2023



Bildquelle: © Continental AG

Konkurrierende Technologien

- Luftkühlung und -heizung
- Kühlung mit Phasenwechselmaterialien
- Flüssigkeitskühlung und -heizung
- Thermoelektrische Module
- Kühlung und Heizung mit Kältemittel
- Wärmerohr

Einsatzbereich

Eingesetzt wird diese Technologie im Bereich der Elektromobilität.

Zuordnung zu Kompetenzen

Batteriemanagement; Thermomanagement; Kühltechnik; Kühltechnik; Potenzial ergibt sich in diesem Bereich für KMUs, die Kompetenzen im Bereich von Spezialanwendungen aufweisen.

Schlagworte

Temperaturmanagement Elektromotor
Effizienz Batterie
Reichweite

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Rizzo, G., Christen, R., Stöck, M.: „Prüfstand zur thermischen Charakterisierung von Batteriezellen und Validierung geplanter Kühlkonzepten“, 23. DESIGN&ELEKTRONIK-Entwicklerforum – Batterien & Ladekonzepte. WEKA FACHMEDIEN, München, 2016 ; R. van Noorden, „A Better Battery - Chemists are reinventing rechargeable cells to drive down costs and boost capacity,“ Nature, Bd. 507, pp. 26-28, 2014

Kühlung ohne Kältemittel/ nur mit Wasser

[T031; Thermomanagement]

Kurzbeschreibung

Die Brennstoffzelle kann gekühlt werden, indem überschüssiges Wasserstoffgas durch sogenannte Reaktionskanäle geleitet wird. Dazu wird das Wasserstoffgas, im Gegensatz zur Luftkühlung, in einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert. Zur Abführung der Prozesswärme an die Umgebung ist entweder ein Luft-/Wasserstoffgas-Wärmeübertrager oder ein zusätzlicher Flüssigkeitskühlkreislauf notwendig. Aufgrund der größeren Volumenströme der Flüssigkeitsumlaufkühlung, die auch bei Luftkühlung auftreten, bedarf es einen größerer Querschnitt der Reaktionskanäle.

Vorteile und Ziele der Technologie

Wasserstoff besitzt eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Luft. Dies wirkt sich auch positiv auf den Wärmeübergang aus. ($\lambda_{\text{Luft}} = 0.025 \text{ W/(mK)}$, $\lambda_{\text{H}_2} = 0.175 \text{ W/(mK)}$ bei Bedingungen von $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und 1 bar)

Hemmnisse der Einführung

Zu lösende Probleme betreffen die Dichtigkeit im Bereich der Pumpe, die für die Zirkulation des Wasserstoffs notwendig ist. Hinzu kommt, dass bei diesem Kühlkonzept aufgrund des vergrößerten Volumens auf der Wasserstoffseite verhältnismäßig viel Wasserstoff im Umlauf ist, welches dem System bei Fahrzeugstillstand ungenutzt durch Leckage und Diffusion entweichen kann.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2009	2012	2018	2022



Bildquelle: © Pexels / Gabriel Peter

Konkurrierende Technologien

Kühlung mit Kältemittel

Einsatzbereich

Diese Technologie wird in Brennstoffzellenfahrzeugen eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Kühltechnik; Thermomanagement; Potenzial ergibt sich in diesem Bereich für KMU, die Kompetenzen im Bereich von Spezialanwendungen aufweisen.

Schlagworte

Kühlung
Temperaturmanagement

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Reichler, Theoretische Untersuchungen zur Kühlleistungssteigerung durch innovative Kühlsysteme für Brennstoffzellen Elektrofahrzeuge. Diss. Universität Stuttgart, 2009; Oliver Berger: Thermodynamische Analyse eines Brennstoffzellensystems zum Antrieb von Kraftfahrzeugen. Diss. Universität Duisburg-Essen, 2009

E-Fluide als Kühlmedium

[T032; Thermomanagement]

Kurzbeschreibung

Hochleistungselektronik entwickelt während ihrem Betrieb enorme Mengen an Abwärme. E-Fluide können diese Wärme besser ableiten. Daher hängt die Effizienz der Elektronik sehr stark von verwendeten Wärmemanagement ab. Mit Hilfe von 3M™ Novec™ High-Tech Flüssigkeit, die in Tauch-Siedekühlungen von Hochleistungsrechnern oder Server-Modulen zum Einsatz kommt, können Energie und Kosten in Daten- und Rechenzentren eingespart werden. Diese Technologie könnte auch bei Anwendungen im Fahrzeug eine entscheidende Rolle spielen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Durch die Nutzung von E-Fluiden kann der Strombedarf für die Kühlung der Elektronik um bis zu 97 % reduziert werden. Mit Hilfe der Tauch-Siede-Kühlungs-Technologie können größere Packungsdichten der Leistungselektronik-Komponenten erzielt werden und dadurch zu einer höheren Zuverlässigkeit der Elektronik beitragen.

Hemmnisse der Einführung

Bei dieser Technologie handelt es sich um eine Spezialanwendung. Die Entwicklung läuft noch und bietet weitere Potentiale. Aus diesem Grund ist diese noch zu teuer für den Einsatz in Fahrzeugen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2016	2019	2022



Bildquelle: © Pexels / Chokniti Khongchum

Konkurrierende Technologien

3M™ Novec™ High-Tech Flüssigkeiten
Mobil-EV-Therm-Serie von ExxonMobil

Einsatzbereich

Diese Technologie wird zur Kühlung von Komponenten in Elektrofahrzeugen eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik; Kühltechnik; Thermomanagement

Schlagworte

Leistungselektronik
Elektronik

Energie
Effizienz

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.V.: Unternehmensflyer 3M "Hocheffektives Kühlen von HighPerformance Computern und Servern", <https://multimedia.3m.com/mws/media/14381350/flyer-highly-effective-cooling-of-high-performance-computers-and-servers.pdf> (abgerufen am 01.04.2020); o.V. 3M: „Tauchkühlung für Rechenzentren“, https://www.3mdeutschland.de/3M/de_DE/novec-de/anwendungen/tauchkuhlung/ (abgerufen am 01.04.2020)

Nadelwickeltechnik / neue Wickeltechnik

[T034; Traktions-Elektromotor]

Kurzbeschreibung

Die Bewicklung von Statorn und Rotoren sind mit herkömmlichen Verfahren sehr aufwendig und benötigen speziell gefertigte Einziehwerkzeuge. Im Gegensatz zu den bestehenden Verfahren erfolgt bei der Nadelwickeltechnik die Verlegung des Drahts direkt am Spulenkörper. Dazu hebt und senkt sich kontinuierlich der Drahtführer, der einer Nadel ähnelt, bei gleich gleichzeitigem Vor- und Zurückschwenken des Stators.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Nadelwickeltechnik eignet sich besonders für innengenutete Statorn, da hier die besten Füllfaktoren ohne Segmentierung des Blechpakets erzielt werden können. Durch die direkte Bewicklung von Blechpaketen wird die Prozesskette verkürzt und somit eine höhere Flexibilität bei der Fertigung ermöglicht.

Hemmnisse der Einführung

Aufgrund der neuartigen Technik fallen hohe Investitionskosten an. Außerdem muss ein ausreichender Abstand zwischen zwei benachbarten Polen zum Verfahren des Drahtführers vorhanden sein.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2016



Bildquelle: © Audi AG

Konkurrierende Technologien

Linearwicklung
Flyer-Wicklung
Ringkernwicklung

Einsatzbereich

Diese Technologie findet bei Elektromotoren, Generatoren, Induktoren, Elektromagneten, Transformatoren sowie Sensorspulen Anwendung.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Für KMU, die Kompetenzen in diesem Bereich haben, ist Potenzial vorhanden.

Schlagworte

Elektromotor
Baugruppe

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Dobroschke, Flexible Automatisierungslösungen für die Fertigung wickeltechnischer Produkte“ Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2011; Hagedorn, u.a. Handbuch der Wickeltechnik für hocheffiziente Spulen und Motoren, 1. Auflage, Springer 2016; Fleischer u.a., Quo Vadis Wickeltechnik? Eine Studie zum aktuellen Stand der Technik und zur Recherche zukünftiger Trends im Automobilbau, WBK KIT 2017

Asynchronmaschine mit Kupfer-Käfig

[T035; Traktions-Elektromotor]

Kurzbeschreibung

Ersetzen des derzeit in Asynchronmotoren verwendeten Aluminiums durch Kupfer, da es eine bessere Leitfähigkeit aufweist.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Gesamtenergieverluste des Motors werden um durchschnittlich 14 % reduziert und der Wirkungsgrad um mindestens einen vollen Prozentpunkt erhöht.

Hemmnisse der Einführung

Der Kurzschlussläufer kann leicht durch Druckgießen durch das Rotorblechpaket hergestellt werden. Das Druckgießen des Kupfers ist für eine schnelle und kostengünstige Herstellung erforderlich, aber das Verfahren ist wegen der kurzen Standzeit, die sich aus der hohen Schmelztemperatur von Kupfer ergibt, nicht praktikabel.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2003



Bildquelle: © Audi AG

Konkurrierende Technologien

Kurzschlussläufer aus Aluminium

Einsatzbereich

Diese Technologie wird bereits bei Asynchronmotoren eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Aktuell erfolgt bereits Einsatz bei KMU (Beispiel SEW).

Schlagworte

Elektromotor
Energieeffizienz

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; D. T. Peters, J. G. Cowie, E. F. Brush, D. J. Van Son: Copper in the squirrel cage for improved motor performance, in IEEE International Electric Machines and Drives Conference, 2003. IEMDC'03, 2017

Kühlkanäle direkt in der Wicklung

[T036; Traktions-Elektromotor]

Kurzbeschreibung

Elektrische Maschinen mit konzentrierter Wicklung und Einzelzahndesign bieten eine kostengünstige Möglichkeit, Flachdrähte zu verwenden. Hierdurch können hohe Füllfaktoren erreicht werden. Jedoch bleibt aufgrund geometrischer Beschränkungen und des Einflusses von Stromverschiebungen ungenutzter Raum innerhalb des Schlitzes. Dieser Raum kann für Wasserkühlungskanäle genutzt werden. Durch den geringen Wärmewiderstand zwischen Wicklung und Kühlflüssigkeit ergibt sich eine hervorragende Kühlleistung.

Vorteile und Ziele der Technologie

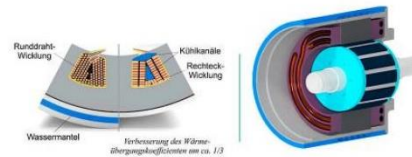
Es handelt sich hierbei um eine effektive Kühltechnik für Stator und Rotor. Es können ohne temperaturbeständige Magnete und Isolationsmaterialien hohe Leistungsdichten erreicht werden. Niedrige Wicklungstemperaturen tragen zur Reduzierung der Kupferverluste bei. Das Kühlungsdesign kommt ohne einen Statorkühlmantel aus. Das Fehlen des Kühlmantels führt zu akzeptablen Produktionskosten bei noch kompakterer Maschinenkonstruktion.

Hemmnisse der Einführung

Bei hohen Drehzahlen führen Stromverschiebungen in der Flachdrahtwicklung zu einem geringen Nachteil gegenüber einer herkömmlichen Maschinenkonstruktion. Dieser Prozess muss noch auf Langzeitstabilität und Mediendichtheit des Stators geprüft werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2015	2017	2019	2022	2025



Bildquelle: © Fraunhofer LBF

Konkurrierende Technologien

Konduktive Kühlung
Luftkühlung
Flüssigkühlung mit Wasser, Ethylen, Glycol o.a.

Einsatzbereich

Diese Technologie wird in Elektromotoren eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Kühltechnik; Kühltechnik; Potenzial ergibt sich in diesem Bereich für KMU, die Kompetenzen im Bereich von Spezialanwendungen aufweisen.

Schlagworte

Elektromotor
Kühlung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Schiefer, M., Doppelbauer, M.: "Indirect slot cooling for high-power-density machines with concentrated winding", in: Proceedings of the 2015 IEEE International Electric Machines and Drives Conference, IEMDC 2015, Coeur d'Alene, United States, p. 1820-1825, 2015

Rechteckige Drähte für die Wicklungen

[T037; Traktions-Elektromotor]

Kurzbeschreibung

Dank der Technologie der rechteckigen Drähte erzielen diese Motoren eine höhere Leistung bei gleichzeitig akzeptabler Lebensdauer.

Vorteile und Ziele der Technologie

Rechteckquerschnitte füllen das Volumen der Statorzahnöffnungen besser als Runddrähte. Der Einsatz von mehr Kupfer führt zu einer Steigerung des Stroms und der Leistung bei gleichzeitiger Verringerung der Kupferverluste (Effizienzsteigerung). Bei niedrigen Drehzahlen haben rechteckige Drähte einen geringeren Widerstand als Maschinen mit rund gewickelten Drähten. Drähte fungieren als Motorkühler und werden mit Öl benetzt. Die Wärmeabgabe hängt direkt von den freiliegenden Oberflächen ab (bei rechteckigen Drähten ist die Wärmeabgabefläche zwischen 50 % und 100 % höher als bei Runddrähten).

Hemmnisse der Einführung

Runddraht hat bei höheren Motordrehzahlen aufgrund von Annäherungseffekten tatsächlich einen geringeren Wechselstromwiderstand. Des Weiteren entstehen bei rechteckigen Drähten höhere Kosten als bei Runddrähten.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2017



Bildquelle: © Felix Wirth (KIT/wbk)

Konkurrierende Technologien

Runde Drähte

Einsatzbereich

Diese Technologie wird in Elektromotoren eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor

Schlagworte

Elektromotor
Effizienz
Wärmeabgabe

Quellen: Die Informationen sind durch einen Fachexperten aus dem Bereich E-Maschine verifiziert; Handbuch der Wickeltechnik für hocheffiziente Spulen und Motoren, Jürgen Hagedorn, Springer Berlin Heidelberg 2016, ISBN 978-3-662-49210-9; Kombination von Kupplungen und E-Motoren für P2-Hybride, Eckart Gold, ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, 2018

Getriebe mit integrierter E-Maschine ohne Zusatzbauraum

[T039; Hybridgetriebe]

Kurzbeschreibung

Der Elektromotor sitzt platzsparend im Getriebegehäuse, ohne die axiale Baulänge des Getriebes zu beeinflussen. Bei dieser Hybridvariante kann das Fahrzeug rein verbrennungsmotorisch fahren oder rein elektrisch. Beim sogenannten Boosten unterstützt die E-Maschine den Verbrennungsmotor beim Beschleunigen. Beim Bremsen wird die E-Maschine zum Generator, der die Bremsenergie in elektrische Energie umwandelt und in der Batterie speichert.

Vorteile und Ziele der Technologie

Mit dieser Technologie wird der Antriebsstrang mit nur geringem zusätzlichem Platzbedarf hybridisiert.

Hemmnisse der Einführung

Die Herausforderung dieser Technologie besteht in den hohen Anforderungen an die Ingenieure aufgrund des komplexen Designs.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2017	2020



Bildquelle: © Wikipedia (CC BY-SA 3.0)

Konkurrierende Technologien

Elektroantrieb als Radnabenmotor
Reichweiten-Verlängerer-Konzepte

Einsatzbereich

Diese Technologie wird in leistungsverzweigten Hybridwagen eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Mechanik

Schlagworte

Elektromotor Getriebe
Verbrennungsmotor Hybridisierung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Hoffmann u.a., The Top3 of P2. Space, Space, Space. III. Optimizing the installation space within the transmission (2018), https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/technicalpresentation/downloads_20/luk_fachtagung.pdf

Funktionsweise über E-Maschine

[T040; Hybridgetriebe]

Kurzbeschreibung

Stufenlose Getriebe, die motorseitig mit einer zusätzlichen elektrischen Maschine ausgestattet sind, befinden sich bereits im Serieneinsatz. Allerdings verfügen diese Getriebe über einen Wendesatz für die Rückwärtsfahrt. Aufgrund steigender Momente des Elektroantriebs sowie höherer Batteriekapazität wird es in Zukunft möglich sein, das Rückwärtsfahren allein über die elektrische Maschine zu realisieren. Dadurch entfallen der Planetenradsatz, die für die Zuschaltung des Radsatzes benötigte Aktorik sowie eine Kupplung. Die Charakteristik der elektrischen Maschine erlaubt den Entfall des Drehmomentwandlers. Alle übrigen Betriebsarten entsprechen denen einer klassischen P2-Hybridisierung.

Vorteile und Ziele der Technologie

Der Gesamtsystemwirkungsgrad wird erhöht und die elektrische Vollastbeschleunigung verbessert. Dedizierte Hybridgetriebe bieten erhebliches Potential, um die Effizienz und Fahrdynamik von Plug-in-Hybridfahrzeugen weiter zu steigern. Die Auslegung auf den Einsatz in Hybridfahrzeugen ermöglicht es, die Systemeigenschaften zu verbessern und gleichzeitig die Gesamtkomplexität im Antriebsstrang zu verringern.

Hemmnisse der Einführung

Aufgrund teurer Elektronikkomponenten und einer geringen Serienzahl konnte sich diese Technologie noch nicht auf dem Markt durchsetzen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2018	2021



Bildquelle: © IAV

Konkurrierende Technologien

P2-Anordnung des Elektromotors zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe

Einsatzbereich

Diese Technologie wird in leistungsverzweigten Hybridautos eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Mechanik; Für KMU gibt es kaum Potential in diesem Gebiet, da Schaeffler diese Technologie bereits entwickelt und verkauft.

Schlagworte

Elektromotor Effizienz
Hybridisierung Komplexität
Getriebe

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Hoffmann u.a. The Top3 of P2. Space, Space, Space. V. Potenziale für Fahrleistung und Verbrauch (2018), URL: http://schaeffler-events.com/symposium/lecture/h5/index.html#optimizing_the_installation_space_within_the_transmission (abgerufen am 13.12.2019)

Baukastenlösungen

[T042; Hybridgetriebe]

Kurzbeschreibung

Mithilfe von Baukastenlösungen sollen die Varianz und die Komplexität eines Getriebe-Produktportfolios verringert werden. Zudem ist es auf diese Weise auch möglich Kosten zu senken. Die Breite und Individualität des Angebots bleiben dabei unberührt. Ziel ist es auf diese Weise die gesamte Bandbreite von Hybridfahrzeugen abzudecken.

Vorteile und Ziele der Technologie

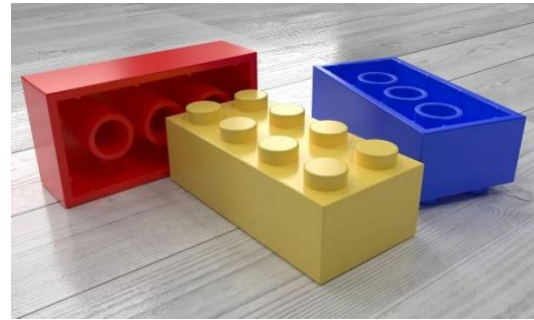
Mithilfe von Baukastenlösungen soll die Flexibilität der Unternehmen gesteigert werden, da diese so flexibler auf die Anforderungen der Kunden reagieren können. Des Weiteren können die Kosten reduziert und die Effizienz erhöht werden.

Hemmnisse der Einführung

Für OEMs und Zulieferer besteht die Herausforderung darin, die integrierten Aggregate von Morgen in kurzer Zeit, in modularer Form und insbesondere auch wirtschaftlich zu realisieren. Damit ist ein enormer Wandel verbunden. Um zukünftig zu integrierten Systemlösungen zu gelangen, können Verbrennungsmotor und Getriebe nicht länger separat betrachtet werden. Das ist eine hohe Herausforderung und Chance für die Branche zugleich. Die zunehmende Verknüpfung und Integration vieler Technologien und Ansätze stellen eine Gefahr für die Flexibilität im Sinne eines Baukastens dar.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2018	2020	2023	2025



Bildquelle: © Pixabay / sutulo

Konkurrierende Technologien

Nicht modulare Systeme

Einsatzbereich

Diese Technologie wird in leistungsverzweigten Hybridautos eingesetzt.

Weiterführende Informationen

ZF bietet mit einem modularen Baukasten Lösungen für Hybridfahrzeuge an.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektromotor; Für KMU gibt es Potential in diesem Gebiet.

Schlagworte

Elektromotor
Hybridisierung
Getriebe

Effizienz
Kostenreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Frohn Wie sieht das Getriebe der Zukunft aus?, ingenieur.de (abgerufen am 13.12.2019); Sorger u.a., Der Modulare Baukasten E-Fusion für den Hybrid-Antriebsstrang, in ATZ 2013; Scherer, Modellbasierte Methoden zur Modellierung des Zielsystems und des Funktions-Gestalt-Zusammenhangs zur Unterstützung der Serienentwicklung von Baukästen am Beispiel von Hybrid-Triebstrangsystemen, Diss. KIT 2016

Schirmfreie Hochvoltbordnetze

[T043; Hochspannungsbordnetz]

Kurzbeschreibung

In der Regel setzt man bei Hochvolt-Traktionsbordnetzen Abschirmungen ein, um eine elektromagnetische Verträglichkeit zu erhalten. Möchte man eine Abschirmung vermeiden, so kommen beispielsweise Filter in Kombination mit einer optimierten Leitergeometrie zum Einsatz. Es wird hierbei ein Filter zwischen den HV-DC-Links und der Leistungselektronik eingesetzt. Auf diese Weise breiten sich Störungen nicht mehr auf Hochspannungs-Gleichstromverbindungen aus, noch werden sie von diesen abgestrahlt.

Vorteile und Ziele der Technologie

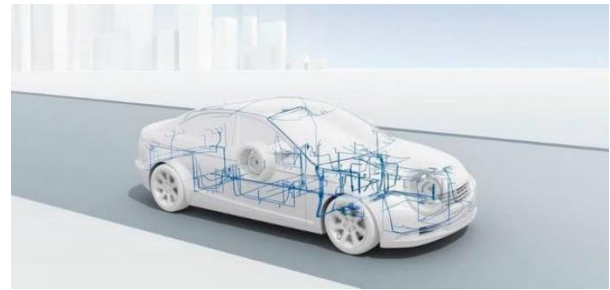
Mithilfe dieser Technologie sind aufwändige, komplexe Konstruktionen nicht mehr notwendig. Beim Einsatz eines Filters wird zudem das Risiko einer gegenseitigen Beeinflussung vom Hoch- und Niedervolt-Bordnetz vermindert.

Hemmnisse der Einführung

Bei der Auswahl geeigneter Filter kann die CISPR25-Norm für Störstrahlungen ab 150kHz eingehalten werden. Allerdings nimmt die Wirkung für darunterliegende Frequenzen erheblich ab. Aus diesem Grund müssen Filter, welche auch geringere Frequenzen filtern können, entwickelt werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2023	2025	2028



Bildquelle: © next-mobility.news (gemeinfrei / CC0)

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Abschirmung aller Rundleiter

Einsatzbereich

Diese Technologie wird im Automobil in der Bordelektronik eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Bordnetz; Elektrotechnik; Potenzial ergibt sich in diesem Bereich für KMUs, die Kompetenzen im Bereich von komplexen Elektronikanwendung aufweisen.

Schlagworte

Bordnetz
Elektronik

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Reif, (2010) Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und Funkentstörung. In: Reif K. (eds) Batterien, Bordnetze und Vernetzung. Vieweg+Teubner; Wortberg u.a., Das schirmfreie Hochvolt-Bordnetz im Automobil. 01.01.2019. URL: <https://www.next-mobility.news/das-schirmfreie-hochvolt-bordnetz-im-automobil-a-774736> (abgerufen am 04.02.2020)

800 V - 1,2 kV

[T044; Hochspannungsbordnetz]

Kurzbeschreibung

Die Leistungsanforderungen an die Bordnetze moderner PKW, LKW und weiterer Nutzfahrzeuge, sind im Laufe der Zeit gestiegen. Um diese Leistung liefern zu können, werden bei altbekannten 12/24-VDC-Bordnetzen immer dickere Kabelquerschnitte benötigt. Dieses Problem kann mit einer Erhöhung der Spannung zu Hochvoltspannungen im Bereich 60-1500 VDC gelöst werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

Zusammengefasst ergeben sich Vorteile in Bezug auf Wirkungsgrad, Thermomanagement, Materialkosten, Gewicht und Platzbedarf.

Hemmnisse der Einführung

HV-Bordnetze stellen besondere Anforderungen an die Sicherheit bei Berührungsschutz und Abschirmung. Des Weiteren dürfen keine HV-Leitungen im Crashbereich eines Fahrzeugs verlegt werden und es muss für eine automatische Abschaltung des HV-Bordnetzes im Crashfall gesorgt sein.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2022	2025	2028	2030



Bildquelle: © Audi AG

Konkurrierende Technologien

48V-Bordnetz
12V-Bordnetz

Einsatzbereich

Diese Technologie wird in Hybrid- und Elektroautos eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Bordnetz; Elektrotechnik; Potenzial ergibt sich in diesem Bereich für KMUs, die Kompetenzen im Bereich von Hochspannungsnetzen aufweisen.

Schlagworte

Bordnetz
Elektronik
Wirkungsgrad
Gewichtersparnis
Kostenreduktion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Bordnetze und Powermanagement, Gerhard Babel, Springer Wiesbaden 2018, ISBN: 978-3-658-21143-1

Entwicklung im digitalen Raum

[T045; Leistungselektronik]

Kurzbeschreibung

Vor dem Prototyping wird die Steuerungsstufe in der Regel mehreren Testzyklen und Änderungen unterzogen. Ein solcher Prüfstand ist mit Stromrichter, Motor-Generator-Sätzen, Sensoren, Schaltanlagen und anderen Testgeräten mit hohen Kosten verbunden. Alternativ bietet ein digitaler Echtzeitsimulator, der die Leistungsstufe genau und effizient modellieren kann, eine weitere Möglichkeit zum Testen der Steuerung. Die Steuerung kann so in einer simulierten Hardware-in-the-Loop-Konfiguration (HIL) kosteneffizient getestet werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

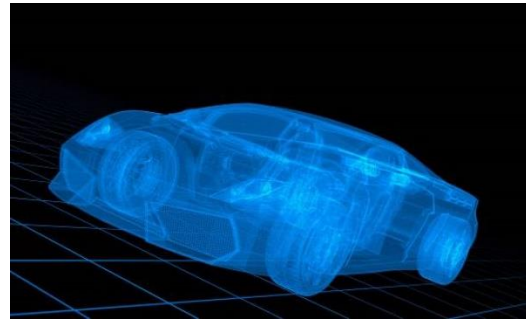
Die Vorteile dieser Technologie zeigen sich durch geringere Kosten, einem geringeren Stromverbrauch sowie weniger Platzbedarf.

Hemmnisse der Einführung

Derzeit verfügbare Echtzeitsimulatoren leiden immer noch unter Modellierungsungenauigkeiten und begrenzter Rechenleistung. Die Modellierung des Stromrichters stellt eine besondere Herausforderung dar, da der Hochfrequenzbetrieb hohe Anforderungen an die Genauigkeit und Präzision der Erfassung der vom digitalen Regler kommenden Ansteuerungssignale stellt. Zudem ist eine sinnvolle Verknüpfung der vielen Einzellösungen für jedes spezielle Thema notwendig, um alle Abhängigkeiten ausreichend berücksichtigen zu können. Parallel zur Simulation werden entsprechende Validierungsmethoden benötigt, um sicherzustellen, dass die Simulation die Ergebnisse in ausreichender Genauigkeit liefert.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2025	2030



Bildquelle: © Pixabay / TayebMEZAHDIA

Konkurrierende Technologien

Hardware-In-the-Loop
Prototypenerprobung

Einsatzbereich

In der Automobilindustrie wird heutzutage schon im digitalen Raum entwickelt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik; Softwareentwicklung;
Softwareentwicklung; Mensch-Maschine-Schnittstelle;
Künstliche Intelligenz; Für KMUs ist diese Technologie bedingt einsetzbar.

Schlagworte

Leistungselektronik
Künstliche Intelligenz
Kostenreduktion

Platzersparnis
Softwareentwicklung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; G. G. Parma, V. Dinavahi, "Real-Time Digital Hardware Simulation of Power Electronics and Drives", IEEE trans. on Power Delivery, Vol 22, no. 2, April 2007.

Null-Totzeit-Treiber

[T046; Leistungselektronik]

Kurzbeschreibung

Miniaturisierte und hocheffiziente Null-Totzeit-Treiber zeigen neue Ansätze für schnellschaltende Leistungshalbleiter mit geringeren Schaltverlusten durch die Vermeidung negativer Effekte durch Freilaufdioden. Die im Gate verbleibende Energie wird wiedergewonnen und auf diese Weise die Leistungsaufnahme des Treibers reduziert. Aus diesem Grund kann der Standby-Strom mittels Energieübertragung auf die High-Side über einen hochfrequenten Kondensator möglichst klein gehalten werden. Zusätzlich zu dieser Funktion wurde zwischen den high- und low-side Gate-Pfaden ein Transformator integriert, welcher zur Vermeidung von Totzeiten beiträgt.

Vorteile und Ziele der Technologie

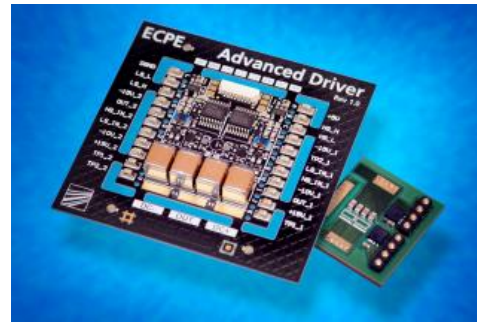
Mithilfe dieser Technologie können Schaltverluste reduziert und Totzeiten vermieden werden. Einen weiteren wichtigen Aspekt stellt auch die Miniaturisierung von Treibern inklusive deren Versorgung durch heterogene Integrationstechnologien dar.

Hemmnisse der Einführung

Der Aufwand für Treiber ist vor allem dann sehr hoch, wenn passive Bauteile durch Leistungselektronik-Topologien mit mehr Halbleitern verkleinert werden sollen. Hinsichtlich dessen besteht noch Forschungsbedarf.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2017	2020	2023	2026	2029



Bildquelle: © Fraunhofer IZM

Konkurrierende Technologien

Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis (T047)
Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis (T166)

Einsatzbereich

Mögliche Einsatzbereiche dieser Technologie sind Solarumrichter, aktive Filter, PFCs, Umrichter für Elektrofahrzeuge oder Ladegeräte.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik; Halbleitertechnik

Schlagworte

Leistungselektronik
Halbleiter
Miniaturisierung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.V., "Miniaturisierte und hocheffiziente Null-Totzeit-Treiber für Si-, SiC- und GaN-Anwendungen" (o.D.), URL: https://www.izm.fraunhofer.de/de/abteilungen/system_integrationsinterconnectionstechnologies/arbeitsgebiete/niederinduktive-packages-fuer-schnell-schaltende-halbleiter/advanced-driver-by-fraunhofer-izm.html (abgerufen am 13.12.2019); Embedded Very Fast Switching Module for SiC Power MOSFETs, 2015 Nuremberg, ISBN 978-3-8007-3924-0

Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis

[T047; Leistungselektronik]

Kurzbeschreibung

Die aktuellen Entwicklungen in der Siliziumkarbid (SiC) - Vorrichtungstechnologie entsprechen insbesondere Hoch- bis Höchstspannungsbauerelementen der nächsten Generation, SiC-Super-Junction-Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren, SiC-Bipolartransistoren mit isoliertem Gate und der grundlegenden bipolaren Degradationsunterdrückungstechnologie. Es wird vermutet, dass diese Geräte der nächsten Generation einen Paradigmenwechsel in der Leistungselektronik auslösen werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Bandlücke von SiC ist dreimal so groß wie die von Si, was zu einem zehnfach höheren elektrischen Durchschlagsfeld führt. SiC-Bauelemente besitzen dadurch bei gleicher Bauelementstruktur eine zehnfach höhere Durchschlagsspannung als Si-Bauelemente. Das führt zu einer Reduzierung der Größe und der Kosten von Leistungselektronikkomponenten (PE), einhergehend mit einer Reduktion von Leitungs- und Schaltverlusten. Es sind bis zu zehnfach höhere Schaltgeschwindigkeiten möglich als mit Si. Die externe Freilaufdiode kann durch die Verwendung der internen Body-Diode entfallen.

Hemmnisse der Einführung

Da diese Technologie aus einem pn-Übergang besteht, sind Maßnahmen gegen die durch den bipolaren Betrieb hervorgerufene Vorwärtverschlechterung erforderlich. Insbesondere wenn ein Stoßstrom in die Body-Diode eintritt, ist es möglich, dass sich die Basisebenenversetzung (BPD) im Substrat ausdehnt und einzelne Shockley-Stapelfehler bildet.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2012	2016	2019	2021	2023



Bildquelle: © Pixabay / TayebMEZAHDA

Konkurrierende Technologien

Null-Totzeit-Treiber (T046)
Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis (T166)

Einsatzbereich

Diese Technologie findet in Mikroprozessoren, der Leistungselektronik, Optik uvm. Anwendung.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik; Halbleitertechnik

Schlagworte

Leistungselektronik Effizienz
Halbleiter Miniaturisierung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Y. Yonezawa, K. Nakayama, R. Kosugi, S. Harada, K. Koseki, K. Sakamoto, T. Kimoto, H. Okumura: Progress in High and Ultrahigh Voltage Silicon Carbide Device Technology, in: 2018 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM), 2018

Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis

[T166; Leistungselektronik]

Kurzbeschreibung

Bei dieser Technologie muss zwischen Anwendungen für kleine Leistungsklassen, d.h. ein- bis zweistelliger kW-Bereich und große Leistungsklassen, d.h. dreistelliger kW-Bereich unterschieden werden. Bisher gibt es unterschiedliche technologische Ansätze hierfür. Das Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie in Itzehoe will beispielsweise Chips mittels Halbleitern aus Galliumnitrid deutlich verkleinern.

Vorteile und Ziele der Technologie

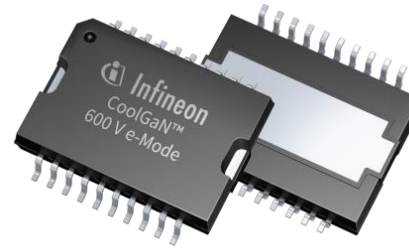
Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis sind leistungsfähiger als Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis. Zudem halten sie aufgrund ihrer Beschichtung höhere Spannungen und Stromstärken aus. Des Weiteren ist deren Wärmeabgabe geringer, wodurch diese auch eine höhere Lebensdauer haben. Die Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis vom Fraunhofer sind nur etwa zehn Quadratmillimeter groß. Wird diese Technologie im Automobil eingesetzt, wirkt sich dies zum einen positiv auf die Umweltbelastung aus und zum anderen wird der Elektromotor kompakter, wodurch sich zusätzlicher Raum für eine größere Fahrgastzelle ergibt.

Hemmnisse der Einführung

Die aktuellen Halbleiter auf Galliumnitrid-Basis weisen laterale Strukturen auf, wodurch der Strom das Material nicht optimal ausnutzen kann. Hinsichtlich Strukturen für einen vertikalen Stromfluss wird bereits geforscht. Des Weiteren ist Galliumnitrid wesentlich schwieriger zu bearbeiten und teurer als Silizium.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2017	2020	2023	2027	2030



Bildquelle: © Infineon

Konkurrierende Technologien

Halbleiter auf Siliziumkarbid-Basis (T047)
Null-Totzeit-Treiber (T046)

Einsatzbereich

Diese Technologie findet in der Halbleiterbranche Anwendung. Im Bereich des Automobils v. a. bei Elektro- und Hybridfahrzeugen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik; Halbleitertechnik

Schlagworte

Leistungselektronik Effizienz
Halbleiter Platzensparnis
Miniaturisierung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.A., Halbleiter aus Galliumnitrid statt Silizium: Kleinere Chips für mehr Platz im E-Auto" (29.12.2017), URL: automobilwoche.de (abgerufen am 13.12.2019) iaf.fraunhofer.de/content/dam/iaf/documents/publikationen/GaN_Kampf_der_Giganten.pdf (31.03.2020)
Untersuchungen zum Einsatz von Siliziumkarbid-Leistungshalbleitern in Traktionsantriebsumrichtern, Merkert, Diss. Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover 2018

Bionische Strukturen für einen integrierten Kühlkreislauf

[T048; Leistungselektronik - Kühlung]

Kurzbeschreibung

Betrachtet man den evolutionären Anpassungsprozess, so kann man feststellen, dass dessen Ziele Sparsamkeit und Effizienz sind. Im Zuge dessen entwickelt sich die Natur stetig weiter und generiert Lösungen mit möglichst geringem Energie- und Materialaufwand. Man versucht daher diese Lösungen auch in die Automobilbranche zu übertragen. Auch für die Wärmeabfuhr lassen sich in der Natur Vorbilder finden. Es lassen sich beispielsweise additiv gefertigte Kühlstrukturen in das Gehäuse von Elektronikerelementen integrieren, wodurch die Kühlleistung erheblich gesteigert werden kann.

Vorteile und Ziele der Technologie

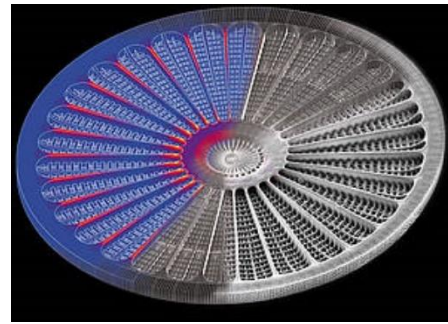
Die Kühlleistung von Leistungselektronikkomponenten wird erheblich gesteigert und damit auch der Wirkungsgrad erhöht. Außerdem sind dadurch auch Einsparungen im Gewicht möglich.

Hemmnisse der Einführung

Diese Kühlkanäle sind bisher nicht mit konventionellen Herstellungsverfahren darstellbar. Es sind noch zusätzliche Entwicklungsschritte notwendig, bevor in Serie produziert werden kann.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2013	2017	2021	2025	2029



Bildquelle: © Alfred-Wegener-Institut, Bionischer Leichtbau

Konkurrierende Technologien

Flüssigkeitskühlkörpersystem "Easy System"

Einsatzbereich

Diese Technologie findet im Bereich der Elektromobilität Anwendung.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik; Kühltechnik; Kühltechnik

Schlagworte

Leistungselektronik
Kühlung

Gewichtersparnis
Bionik

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Herbold, Entwicklung und Herstellung naturähnlicher verzweigter Kühlkörper für LED-Systeme. Diss. KIT 2016; Bionische Fahrzeugkonzepte: Blaupausen aus der Natur für die Automobilindustrie. 06.08.2015. URL: <https://www.edag-engineering.de/news/bionische-fahrzeugkonzepte-blaupausen-aus-der-natur-fuer-die-automobilindustrie> (abgerufen am 05.02.2020)

Doppelseitig gekühltes Leistungsmodul

[T167; Leistungselektronik - Kühlung]

Kurzbeschreibung

Gehäuse für Leistungshalbleiter müssen eine Wärmeabfuhr von beiden Seiten des Chips gewährleisten. Eine Möglichkeit dafür stellt eine "DBC-Sandwich"-Struktur dar. Hierbei wird der Chip zwischen zwei direkt gebundenen Kupfersubstraten (DBC) platziert, die eine elektrische Verbindung und ausreichende Wärmeabfuhr an die Umgebung ermöglichen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die beidseitige Kühlung bietet Potenzial für eine Leistungssteigerung um ca. 40 % im Gegensatz zu Leistungsmodulen mit nur einseitiger Kühlung, ohne den Einsatz von teuren Wärmeleitmaterialien oder Substraten im Wärmestapel. Die Nennströme von IGBT-Modulen (Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode) mit dem bewerteten beidseitigen Kühlsystem können um ca. 33 % erhöht werden im Vergleich zu einseitigen Kühllösungen, bei gleichem Kühlmitteldurchsatz. Bei gesteigertem Kühlmitteldurchsatz bei beidseitiger Kühlung können noch weitere Verbesserungen der Kühlleistung erreicht werden.

Hemmnisse der Einführung

Die Verfügbarkeit von Halbleitern zum beidseitigen Löten oder Sintern mit optimiertem Pad-Layout, angepasstem DCB-Layout sowie Verkapselungstechnologien zur Erzielung entsprechender Isolationsfähigkeit, der Montagetechnologie und der Abdichtung von Kühlkanälen stellt ein Hemmnis dieser Technologie dar. Zuverlässigkeitsthemen sind das Ermüdungs-/Kriechverhalten der Halbleiter-Substrat-Kontakte, die mechanische Stabilität der DCBs und die thermomechanische Fehlanpassung zwischen den aufgetragenen Materialien. Beim Einsatz dieser Technologie mit SiC-Halbleitern sind deren Wechselwirkungen zu berücksichtigen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2018



Bildquelle: © Infineon

Konkurrierende Technologien

Einseitige Kühlung

Einsatzbereich

Diese Technologie wird als Konverter für den Antrieb elektrischer Fahrzeuge eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik; Kühltechnik; Kühltechnik; Aktuell erfolgt die Herstellung durch Infineon. Für kleinere und mittlere Unternehmen gibt es daher kein Potential in diesem Gebiet.

Schlagworte

Leistungselektronik
Kühlung
Leistungserhöhung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Marcinkowski u.a., Dual-sided Cooling for Automotive Inverters - Practical Implementation with Power Module, in: Proceedings of PCIM Europe 2015, International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management, 2015

Induktives Laden

[T050; Leistungselektronik - Ladesystem]

Kurzbeschreibung

Beim induktiven Laden werden zur Energieübertragung zwei Teile benötigt. Eine Primärspule überträgt mithilfe eines Magnetfelds Energie an eine Sekundärspule. Dadurch ist ein berührungsloses Laden von Fahrzeugen möglich. Des Weiteren ist zwischen induktivem Laden im Stand und induktivem Laden während der Fahrt zu unterscheiden.

Vorteile und Ziele der Technologie

Auch wenn das Fahrzeug sich bewegt, ist das Laden möglich. Eine mechanische Verbindung durch ein Kabel ist nicht nötig.

Hemmnisse der Einführung

Diese Technologie ist bisher noch nicht wirtschaftlich umgesetzt und es besteht daher noch Entwicklungsbedarf hinsichtlich Effizienz und Kosten.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2023	2027	2032



Bildquelle: © BMW AG

Konkurrierende Technologien

Kabel

Einsatzbereich

Aktuell wird diese Technologie beispielsweise bei Mobiltelefonen oder elektrischen Zahnbürsten eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik

Schlagworte

Leistungselektronik
Ladesystem
Elektromotor

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Mude u.a., Inductive Characteristics of Different Coupling Setups for Wireless Charging of an Electric City-Car, 2014 IEEE Internat. Electric Vehicle Conf.; Lukic u.a., Cutting the Cord: Static and Dynamic Inductive Wireless Charging of Electric Vehicles, IEEE Electrification Mag. Vol. 1 Iss. 1 2013, Debbou u.a., Inductive wireless power transfer for electric vehicle dynamic charging, IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies 2016

900 kW Ladestandard

[T051; Leistungselektronik - Ladesystem]

Kurzbeschreibung

In Japan und China soll ein neuer Stecker für einen neuen Schnellladestandard etabliert werden. Das neue System trägt den Namen ChaoJi und weist erheblich größere Ladeleistungen auf als andere Systeme auf dem Markt.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Ladeleistung von 900 kW ist 2,5-mal so hoch wie die bisherigen. Damit lassen sich Fahrzeuge nahezu so schnell laden wie Fahrzeuge mit Flüssigkraftstoff. Mit diesem Ladestandard könnten auch große Elektro-LKWs schnell genug geladen werden.

Hemmnisse der Einführung

Bisher gibt es noch keine Autos, die eine solch hohe Ladeleistung nutzen können.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2017	2020



Bildquelle: © Volkswagen AG

Konkurrierende Technologien

Aktueller GB/T	CCS
Tesla	Ultra-Schnelllader
CHAdeMO	

Einsatzbereich

Eingesetzt werden sollen Schnellladetechnologien in jedem Elektrofahrzeug.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik

Schlagworte

Leistungselektronik
Ladesystem
Elektromotor

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Stegmaier, 900 kW Ladeleistung - China und Japan kooperieren. 01.07.2019. auto-motor-und-sport.de; Holzer, Neuer Standard für ultraschnelles Laden - China und Japan erhöhen die Spannung. 12.07.2019. motorzeitung.de Porsche's fast-charge power play: The new, all-electric Taycan will come with a mighty thirst. This charging technology will slake it, J. Voelcker, IEEE Spectrum V.56, Iss.09, 2019

Standardisierung Zugang

[T052; Leistungselektronik - Ladesystem]

Kurzbeschreibung

International gibt es bisher keine einheitlichen Steckertypen zum Laden von Elektroautos. An öffentlichen Ladestationen sowie an Wallboxen, an denen mit Wechselstrom geladen wird, haben sich weltweit drei Steckertypen durchgesetzt: Typ 1 - SAE J1772-2009 (Standard in den USA und Asien), Typ 2 - Mennekes-Stecker (Standard in der EU), Typ 3A/C - SCAME-Stecker (Frankreich und Italien). Zum Laden mit Gleichstrom sind die Ladestecker Combined Charging System (CCS) und CHAdeMO üblich. Es gibt auch noch weitere Steckertypen, die allerdings weniger verbreitet sind. Bisher gelang es der EU nicht, den Stecker Typ 2 als Standard durchzusetzen, da der Marktanteil nicht-europäischer Hersteller zu groß ist. Es zeigt sich daher kein Trend Richtung Standardisierung der Stecker, sondern ein Trend zum induktiven Laden.

Vorteile und Ziele der Technologie

Mithilfe dieser Technologie würde die Ladeinfrastruktur billiger und einfacher. Des Weiteren gestaltet sich das Laden für die Verbraucher komfortabler, da man an jeder beliebigen Ladestation sein Auto aufladen könnte.

Hemmnisse der Einführung

Ein sehr großes Hemmnis zur Durchsetzung eines Standards sind die inkompatiblen Herstellernormen. Zudem zeigt sich ein deutlicher Trend hin zum kabellosen Laden mittels Induktion.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2018	2030



Bildquelle: © Wikipedia (CC BY-SA 3.0)

Konkurrierende Technologien

Induktives Laden

Einsatzbereich

Ein standardisierter Zugang ist für Elektrofahrzeuge von Interesse.

Zuordnung zu Kompetenzen

Leistungselektronik

Schlagworte

Leistungselektronik
Ladesystem
Elektromotor

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Musavi u.a., Wireless Power Transfer: A Survey of EV Battery Charging Technologies, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition 2012; Khaligh u.a., Global Trends in High-Power On-Board Chargers for Electric Vehicles, IEEE Transactions on Vehicular Technology Vol. 68, Iss. 4 2019; EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm, Electric Power Systems research Vol. 120 2015, p.96-108

Zellgeneration 2b: Steigerung Ni-gehalt (NMC532 bis 622)

[T059; Traktionsbatterie - Zellchemie]

Kurzbeschreibung

Frühe Generationen von Lithium-Ionen-Batteriezellen des Typs NMC (Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid) enthielten gleiche Anteile von Nickel, Mangan und Kobalt (NMC111). Die Verwendung nickelreicherer Kathodenmaterialien (NMC 532 bis NMC 622) ermöglicht eine Steigerung der Energiedichte sowie eine Senkung des Bedarfs an Kobalt. Als Anodenmaterialien werden weiterhin Graphit oder Silizium-Kohlenstoff-Komposite mit Siliziumanteilen bis 2,5 % eingesetzt. Zellen vom Typ NMC 532 bis 622 sind bereits im Markt zu finden.

Vorteile und Ziele der Technologie

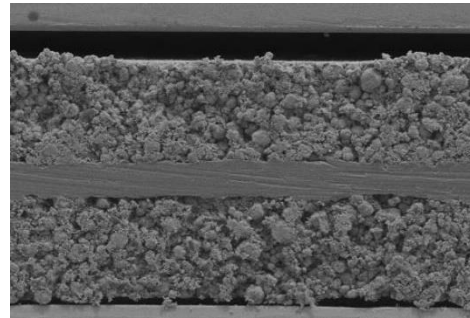
Die Steigerung des Nickelanteils im Kathodenmaterial erlaubt es, den Kobaltanteil zu senken. Hierdurch wird eine Steigerung der Energiedichte bei gleichzeitig verringertem Kobaletinsatz erreicht. In der Folge werden Kobaltressourcen geschont, was hohen Umweltbelastungen und Imageproblemen wg. teilweise schlechter Arbeitsbedingungen beim Abbau entgegenwirkt. Die Herstellprozesse der Batteriezellen sind vergleichbar mit denen bereits bestehender Zellchemien, was im Vergleich zu neu entwickelten Zellchemien Kosten und Risiken in der Produktion vermindert.

Hemmnisse der Einführung

Aktuell sind kaum relevante Hemmnisse für die Einführung absehbar. Mögliche Kostenvorteile von Zellen der Generationen 1 und 2a im Bereich der Produktionstechnik dürften durch geringere Materialkosten sowie eine höhere Energiedichte mehr als ausgeglichen werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2020	2023



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

(optimierte) Zellgen. 1 (LFP, LMO, NCA)
Zellgen. 4a (Li-Feststoffzelle) (T062)
(optimierte) Zellgen. 2a (NMC111)
Zellgen. 3a (NMC811) (T060)

Einsatzbereich

Neben Traktionsbatterie für BEV und PHEV auch Verwendung in Powertools, Haus- und Gartengeräten sowie stationären Energiespeichern.

Leistungsparameter

Gravimetr. Energiedichte: ca. 180 Wh/kg
Volumetr. Energiedichte: 360 Wh/l
Kosten: ca. 200 EUR/kWh
(jeweils bezogen auf Zellebene)

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; Materialwissenschaft; Werkstofftechnik;
Mess- und Steuerungstechnik; Verfahrenstechnik;
Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie
Lithium-Ionen-Batterie
Zellchemie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Nationale Plattform Elektromobilität (NPE): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, Berlin Januar 2016
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017)
Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien, Karlsruhe Dezember 2017

Zellgeneration 3a: weitere Steigerung Ni-gehalt

[T060; Traktionsbatterie - Zellchemie]

Kurzbeschreibung

Frühe Generationen von Lithium-Ionen-Batteriezellen des Typs NMC (Lithium-Nickel-Mangan-Kobalt-Oxid) enthielten vergleichsweise hohe Anteile an Kobalt, was als kritisches Material eingestuft wird. Durch den Einsatz nickelreicher Materialien (NMC811) lassen sich Kobaltbedarf und damit Materialkosten und Ressourcenbedarf senken. In Kombination mit Kohlenstoff-Silizium-Anoden mit 5-10% Siliziumanteil resultiert eine Erhöhung der gravimetrischen und volumetrischen Energiedichte sowie eine verbesserte Schnellladefähigkeit. Den Vorteilen stehen allerdings Nachteile bezüglich der Zellebensdauer gegenüber.

Vorteile und Ziele der Technologie

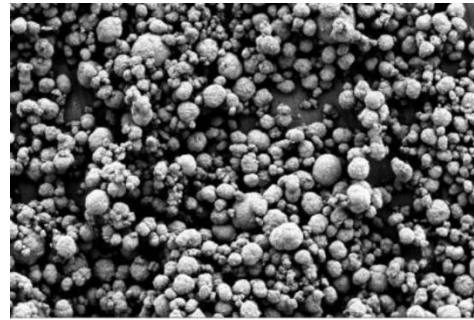
Ein geringerer Kobalteinsatz schont die Kobaltressourcen und führt zu geringeren Materialkosten bei der Zellherstellung. Daneben wird hohen Umweltauswirkungen und Imageproblemen wg. schlechter Arbeitsbedingungen beim Abbau entgegenwirkt. Die veränderte Zellchemie trägt zu einer Erhöhung der gravimetrischen und volumetrischen Energiedichte sowie einer verbesserten Schnellladefähigkeit bei.

Hemmnisse der Einführung

Die Oberfläche nickelreicher Materialien ist reaktiver gegenüber dem Elektrolyten, was zu einer geringeren Zellebensdauer führt. Die höhere Feuchteempfindlichkeit des nickelhaltigen Materials erfordert entsprechende Maßnahmen im Produktionsprozess, wodurch sich die Produktionskosten im Vergleich zu früheren Zellgenerationen erhöhen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2020	2020	2022	2025



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

(optimierte) Zellgen. 1 (LFP, LMO, NCA)
(optimierte) Zellgen. 2a/2b (NMC111 / NMC532 bis 622 - T059)
Zellgen. 4a (Li-Feststoffzelle) (T062)

Einsatzbereich

Neben Traktionsbatterie für BEV und PHEV auch Verwendung in Powertools, Haus- und Gartengeräten sowie stationären Energiespeichern.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; Materialwissenschaft; Werkstofftechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Verfahrenstechnik; Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung Lithium-Ionen-Batterie
Traktionsbatterie Zellchemie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Nationale Plattform Elektromobilität (NPE): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, Berlin Januar 2016
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017)
Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien, Karlsruhe Dezember 2017

Zellgeneration 3b: HE-NMC, HVS

[T061; Traktionsbatterie - Zellchemie]

Kurzbeschreibung

Durch den Einsatz von Hochenergie-NMC (lithiumreiche integrierte Kompositmaterialien) oder Hochvolt-Spinellen (HVS: Lithium-Mangan-basierte Oxide mit kubischer Struktur) als Kathodenmaterial von Batteriezellen wird eine Steigerung der Energiedichte bei geringeren Materialkosten angestrebt. Der Siliziumanteil der Silizium-Kohlenstoff-Anode soll im Sinne einer höheren Energiedichte gesteigert werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

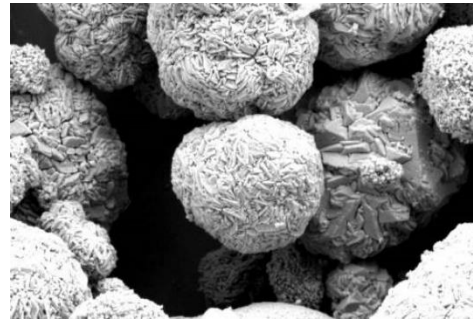
Das Kathodenmaterial von HE-NMCs und HVS weist einen hohen Mangananteil auf, was Kostenvorteile gegenüber nickelreichen Materialien mit sich bringt. HVS enthalten darüber hinaus kein Kobalt, was zu weiteren Preis- und Umweltvorteilen beiträgt. Im Vergleich zu Zellen des Typs NMC111 (Zellgen. 2a) erreichen HE-NMCs und HVS eine bessere Energiedichte.

Hemmnisse der Einführung

Die Energiedichte von HE-NMCs und HVS erreicht nicht das Niveau nickelreicher Materialien. Darüber hinaus können in beiden Systemen keine Standardelektrolyte verwendet werden, da diese sich zersetzen. Die Zersetzungprodukte lagern sich in der Zelle ab oder reagieren weiter, was die Zelllebensdauer verkürzt. Um dies zu verhindern sind neue Elektrolyte bzw. Additive zu entwickeln. Ein weiteres Problem stellen Mangan-Auswaschungen dar, die durch Beschichtungen für das Aktivmaterial vermieden werden können.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2027	2027	2033	2035>



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

(optimierte) Zellgen. 1 (LFP, LMO, NCA)
Zellgen. 4a (Li-Feststoffzelle) (T062)
(optimierte) Zellgen. 2a/2b (NMC111 / NMC532 bis 622 - T059)
(optimierte) Zellgen. 3a (NMC811) (T060)

Einsatzbereich

Neben Traktionsbatterie für BEV und PHEV auch Verwendung in Powertools, Haus- und Gartengeräten sowie stationären Energiespeichern.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; Materialwissenschaft; Werkstofftechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Verfahrenstechnik; Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie
Lithium-Ionen-Batterie
Zellchemie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Nationale Plattform Elektromobilität (NPE): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, Berlin Januar 2016
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017)
Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien, Karlsruhe Dezember 2017

Zellgeneration 4a: Feststoffzelle (Li-Anode)

[T062; Traktionsbatterie - Zellchemie]

Kurzbeschreibung

In Feststoff- oder Solid-State-Batteriezellen werden der flüssige Elektrolyt und der Separator durch Feststoff-Elektrolyte z.B. auf Polymer- und Keramikbasis ersetzt und die Anode durch eine Lithium-Metall-Folie realisiert. Durch den Entfall z. B. von Kühlsystemen geht man von Kosten-, Gewichts- und Volumenreduktionen auf Ebene der Fahrzeugbatterie aus. Mittelfristig erscheint gegenüber heute eine deutliche Steigerung der Energiedichte bzw. Senkung der Kosten möglich.

Vorteile und Ziele der Technologie

Feststoffbatteriezellen sind systembedingt sicherer hinsichtlich eines sich selbst verstärkenden thermischen Durchgehens („thermal runaway“) einer Batterie sowie gegenüber äußeren Einflüssen wie z.B. Kurzschlüssen, hohen Temperaturen oder einer mechanischen Deformation durch Kollision. Folglich sind deutlich weniger Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, was den Aufwand auf Batteriesystemebene deutlich reduziert und zu Gewichts-, Volumen- und Kosteneinsparungen führt.

Hemmnisse der Einführung

Es sind noch eine Reihe von Problemen zu lösen, die man aktuell noch nicht beherrscht, z.B. unterschiedliche volumetrische Änderungen einzelner Zellbestandteile, die bei Kleinzellen unproblematisch aber bei großformatigen Zellen kritisch sind. Auch sind Li-Folien schwer herstellbar und deshalb teuer. Dendritenbildung bei hohen Ladeströmen stellt ein weiteres Problem dar.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2030	2035	2035>



Bildquelle: © Pixabay / PublicDomainPictures

Konkurrierende Technologien

(optimierte) Zellgen. 1 (LFP, LMO, NCA)
 (optimierte) Zellgen. 2a/2b (NMC111 / NMC532 bis 622 - T059)
 (optimierte) Zellgen. 3a/3b (NMC811 - T060 / HE-NMC, HVS - T061)

Einsatzbereich

Neben Traktionsbatterie für BEV und PHEV auch Verwendung in Powertools, Haus- und Gartengeräten sowie stationären Energiespeichern.

Leistungsparameter

Gravimetr. Energiedichte: ca. 270 Wh/kg
 Volumetr. Energiedichte: ca. 640 Wh/l
 Kosten: ca. 100 EUR/kWh
 (jeweils bezogen auf Zellebene)

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; Materialwissenschaft; Werkstofftechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Verfahrenstechnik; Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
 Traktionsbatterie
 Zellchemie
 Festelektrolyt
 Solid-State-Zelle

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Nationale Plattform Elektromobilität (NPE): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, Berlin Januar 2016
 Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017)
 Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien, Karlsruhe Dezember 2017

Zellgeneration 4b: Konversionsmaterialien (Li/S)

[T063; Traktionsbatterie - Zellchemie]

Kurzbeschreibung

Die Vorteile der Lithium/Schwefel-Zelle bestehen in der hohen gravimetrischen Energiedichte und der nahezu unbegrenzten Verfügbarkeit von Schwefel als Aktivmaterial. Allerdings können Li/S-Zellen in der Regel bisher nicht unter Aufrechterhaltung einer ausreichend hohen Kapazität zyklisiert werden.

Automobilanwendungen sind auf Grund der geringen Leistungsdichte und volumetrischen Energiedichte weniger wahrscheinlich.

Vorteile und Ziele der Technologie

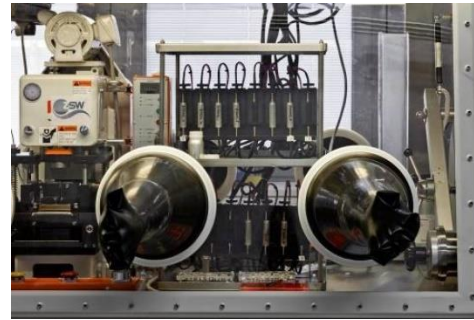
Der wesentliche Vorteil von Lithium/Schwefel-Zellen liegt in der Erhöhung der gravimetrischen Energiedichte gegenüber weiterentwickelten Lithium-Ionen-Technologien. Noch ungeklärt ist, ob der Ersatz teurer Aktivmaterialien (Kobalt, Nickel) durch Schwefel zu Kostenvorteilen gegenüber bestehenden Batteriesystemen führen wird.

Hemmnisse der Einführung

Nach derzeitigem Wissen ist keine Erhöhung der volumetrischen Energiedichte gegenüber der weiterentwickelten Lithium-Ionen-Technologie zu erwarten. Es ist noch weitgehend offen, ob sich der theoretisch nachgewiesene Vorteil der höheren Energiedichte auf Zellebene auch praktisch - insbesondere in Form einer funktionstüchtigen Batterie auf Pack-Ebene - umsetzen lässt.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2027	2035	2035>



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

(optimierte) Zellgen. 1 (LFP, LMO, NCA)

Zellgen. 4a (Li-Feststoffzelle) (T062)

(optimierte) Zellgen. 2a/2b (NMC111 / NMC532 bis 622 - T059)

(optimierte) Zellgen. 3a/3b (NMC811 - T060 / HE-NMC, HVS - T061)

Einsatzbereich

Fluganwendungen, hybride Traktionsspeicher (in Kombination mit anderen Batterietechnologien); Einsatz im Automobilbereich eher unwahrscheinlich

Leistungsparameter

Aktuell (Prototyp/Kleinserie):

gravimetr. Energiedichte: 300-350 Wh/kg, 50-100 Zyklen

Markteintritt:

gravimetr. Energiedichte: 400 Wh/kg

volumetr. Energiedichte: 400 Wh/l, 100 Zyklen

Kosten ca: 500 €/kWh

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; Materialwissenschaft; Werkstofftechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Verfahrenstechnik; Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Fluganwendung
Zellchemie

Konversionsmaterialien
Hybridbatterie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Nationale Plattform Elektromobilität (NPE): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, Berlin Januar 2016
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017)
Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien, Karlsruhe Dezember 2017

Zellgeneration 5: Li/O₂ (Li/Luft)

[T064; Traktionsbatterie - Zellchemie]

Kurzbeschreibung

Metall-Sauerstoff oder Metall-Luft-Batterien besitzen sehr hohe theoretische Energiedichten. Auf Grund der hohen Zellspannung und des niedrigen Gewichts von Lithium stehen Li-Luft-Batterien im Fokus der Forschung. Aufgrund vielfältiger zu lösender Probleme ist mit einer schnellen Kommerzialisierung jedoch nicht zu rechnen.

Vorteile und Ziele der Technologie

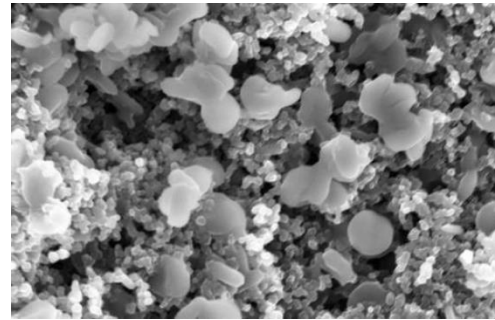
Bei Nutzung von Luftsauerstoff fällt kein Leergewicht für Wirtsmaterial an, wodurch sehr hohe theoretische Energiedichten erzielbar sind. Durch den Entfall teuren Kathodenmaterials erscheinen niedrige Preise realisierbar.

Hemmnisse der Einführung

Bei Verwendung von Luftsauerstoff besteht ein wesentliches Problem in der Verhinderung des Eindringens von Verunreinigungen in die Zelle. Daneben stellen die mangelnde Stabilität der Lithium-Anode sowohl die langsame Kinetik der ablaufenden Reaktionen wesentliche Probleme dar. Darüber hinaus gibt es noch kein Zelldesign.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2025	2033	2035>	



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

(optimierte) Zellgen. 1 (LFP, LMO, NCA)
 (optimierte) Zellgen. 4a/4b (Li-Feststoffzelle - T062 / Li/S-Zelle - T063)
 (optimierte) Zellgen. 2a/2b (NMC111 / NMC532 bis 622 - T059)
 (optimierte) Zellgen. 3a/3b (NMC811 - T060 / HE-NMC, HVS - T061)

Einsatzbereich

Einsatz in Fahrzeugen eher unwahrscheinlich.
 Möglicherweise Einsatz zunächst in stationären Speichern.

Leistungsparameter

Markteintritt: volumetr. Energiedichte >300 Wh/kg,
 Zyklenanzahl >500

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; Materialwissenschaft; Werkstofftechnik;
 Mess- und Steuerungstechnik; Verfahrenstechnik;
 Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
 Zellchemie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Nationale Plattform Elektromobilität (NPE): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland, Berlin Januar 2016
 Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017)
 Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien, Karlsruhe Dezember 2017

Bipolares Stapel Prinzip für Batterien

[T058; Traktionsbatterie - Zellebene]

Kurzbeschreibung

In Elektroautos stecken meist hundert bis tausende separate Batteriezellen, die getrennt von einander angeordnet und jeweils in einem eigenen Gehäuse eingefasst sind. Diese Bauweise zeichnet sich durch einen erheblichen Platzverlust aus, da über 50 % Gehäuse und Kontaktierung einnehmen (vgl. Fraunhofer). Zudem summiert sich ein Widerstandsverlust auf, der aus den Anschlüssen der kleinteilig aufgebauten Zellen resultiert. Über das Bipolar-Prinzip, bei dem die Batteriezellen großflächig direkt übereinander gestapelt werden, kann der Aufbau für Kontakte und Gehäuse zwischen den Zellen weggelassen werden. Dieser Aufbau kann dadurch realisiert werden, dass ein gemeinsamer Elektroden-Träger als Grundelement existiert, auf dem auf der einen Seite das Aktivmaterial der Kathode aufgebracht und auf der anderen Seite das Aktivmaterial der Anode aufgebracht ist. Das Bipolare Zelldesign wird frühestens mit der All-Solid-State-Batterie ohne jeglichen flüssigen Elektrolyten kommen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Mittels dieses Prinzips kann der Platzgewinn durch eine größere Anzahl an Batteriezellen ausgenutzt werden und so wiederum die Reichweite verlängert werden. Zudem kann der elektrische Widerstand erheblich reduziert werden, da der Strom über die gesamte Fläche fließt.

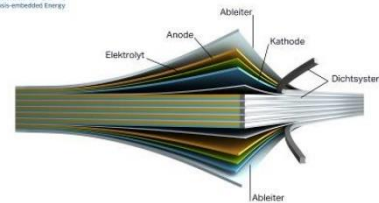
Hemmnisse der Einführung

Bisher wurden nur Untersuchungen im Labor- und Technikumsmaßstab angefertigt. Zudem bieten die Herstellung verbesserter bipolarer Elektroden als Speichermedium, die Skalierung der Montagetechnologie und die Anbindung einer elektrischen Batterieüberwachung noch Optimierungspotenzial. Ein weiteres Hemmnis ist, dass die notwendige Kapazität nur über große Flächen darstellbar ist. Dies ist aus fertigungstechnischen Gründen aber nicht realisierbar. Außerdem stellen die hohen Spannungsdifferenzen auf kleinem Raum ein Hindernis dar. Des Weiteren ist die Frage der Implementierung von Zellausgleichssystemen noch nicht gelöst.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	2019	2020	2022	2023	2025

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Benjamin Schleich: "Bipolarbatterien für mehr Reichweite" (23.02.2019), URL: <https://www.automobil-industrie.vogel.de/bipolare-lithiumionen-batterien-vom-labor-in-die-serie-a-779565> (abgerufen am 13.12.2019); Christiane Köllner: "Was ist eine Bipolarbatterie?" (18.12.2018), URL: <https://www.springerprofessional.de/batterie/elektromobilitaet/was-ist-eine-bipolarbatterie-/16315822> (abgerufen am 13.12.2019); o.V.: "1000 Kilometer Reichweite durch neues Batteriekonzept" (02.05.2017), URL: <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2017/mai/1000-kilometer-reichweite-durch-neues-batteriekonzept.html> (abgerufen am 13.12.2019)



Bildquelle: © IAV

Konkurrierende Technologien

klassische Lithiumionen- Batterien

Einsatzbereich

Die Technologie wird als Energiespeicher für elektrifizierte Antriebsstränge immanent wichtig, und kann unabhängig vom Einsatz im Automobil auch als platzsparender Energiespeicher für andere Anwendungen genutzt werden.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; Materialwissenschaft;
Elektromotor.

Schlagworte

Elektromotor
Batterie

Platzersparnis
Effizienz

Stabile Separatoren

[T065; Traktionsbatterie - Zellebene]

Kurzbeschreibung

In der Lithium-Ionen-Batterie zelle trennt der Separator die Elektroden elektrisch, ist aber durchlässig für die Lithiumionen. Der Einsatz von keramischen Separatoren oder keramisch beschichteten Membranen soll zur Steigerung der Sicherheit (thermische und (im Schmelzfall) mechanische Stabilität) von Batteriezellen beitragen. Beim Einsatz von Beschichtungen ist keine Erhöhung der Energiedichte zu erwarten, da diese zusätzlichen Raum benötigen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Neben einer gleichbleibenden oder sogar verbesserten thermischen und mechanischen Stabilität verspricht die Entwicklung keramisch beschichteter oder keramischer Separatoren eine verbesserte Verarbeitbarkeit im Herstellungsprozess sowie eine erhöhte Zyklenstabilität, die sich positiv auf die Zellebensdauer auswirkt.

Hemmnisse der Einführung

Um die angestrebten Eigenschaften zu erreichen, muss bei der Herstellung eine hohe Homogenität der Oberfläche (keramische Separatoren) bzw. der Oberflächenbeschichtung (beschichtete Membranen) erreicht werden. Wichtig ist darüber hinaus eine ausreichende Zugfestigkeit für den Wickel- bzw. Stapelprozess der Zelle. Schließlich besteht derzeit noch ein Kostennachteil im Vergleich zu Separatoren aus Polymer (PP oder PE). Werden beschichtete Separatoren eingesetzt, so verringert sich durch das zusätzlich eingesetzte Material der Raum für aktive Materialien auf Kosten der Energiedichte der Zelle. Eine Steigerung der Energiedichte lässt sich eher durch Änderungen bei den Aktivmaterialien als durch geringere Schichtdicken der Separatoren erreichen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2017	2018>	



Bildquelle: © Pixabay / honglixin

Konkurrierende Technologien

Polymerfolien (PP oder PE)

Einsatzbereich

Lithium-Ionen-Batteriezellen

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; Materialwissenschaft; Werkstofftechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Verfahrenstechnik; Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung Separator
Traktionsbatterie Werkstoff
Zellebene

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

VDE: Kompendium: Li-Ionen-Batterien - Grundlagen, Bewertungskriterien, Gesetze und Normen. Frankfurt a. M., Juli 2015.

Optimierung inaktiver Materialien

[T066; Traktionsbatterie - Zellebene]

Kurzbeschreibung

Der Anteil aktiver, d.h. letztlich Energie speichernder Materialien bestimmt die Leistungsfähigkeit einer Batteriezelle. Aus diesem Grund wird angestrebt, den Anteil inaktiver Materialien (z.B. Gehäuse, Stromableiter) zu minimieren. Auf diese Weise lässt sich bei gleicher Masse bzw. Volumen mehr Energie speichern. Durch die Reduktion von Schicht- und Trägerdicken sowie die Substitution von Materialien bei Stromableitern, Gehäuse, Schutzschichten, Bindern, Klammern, Federn oder Überdruckventilen wird eine Einsparung von Gewicht, Bauraum und Kosten von Batteriezellen angestrebt.

Vorteile und Ziele der Technologie

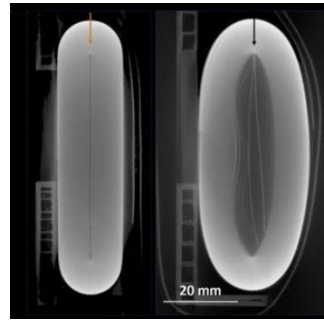
Gelingt es, den Anteil aktiver Materialien an Masse und Volumen der Batteriezelle zu erhöhen, so steigt die Energiedichte der Zelle. Ansatzpunkte hierfür sind Gewichtseinsparungen durch die Verringerung von Schicht- und Trägerdicken von inaktiven Materialien (z.B. Separatoren, Stromableiter und Gehäuse) sowie die Substitution von Materialien. Darüber hinaus können sich durch Materialeinsparungen und -änderungen Kostenvorteile ergeben.

Hemmnisse der Einführung

Der Minimierung des Anteils inaktiver Materialien in Batteriezellen wird durch Anforderungen an die Verarbeitbarkeit und Sicherheit Grenzen gesetzt (z.B. Stromleiter und Gehäuse). Materialänderungen können sich nachteilig auf die Kosten auswirken (z.B. Ersatz von Stahl durch Aluminium).

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2017	2017	2017>		



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

konventionelle Lithium-Ionen-Batterien

Einsatzbereich

Lithium-Ionen-Batteriezellen

Leistungsparameter

Steigerung gravimetrische oder volumetrische Energiedichte; Kostenreduktion

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; Materialwissenschaft; Werkstofftechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Verfahrenstechnik; Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie

Werkstoff
Zellebene

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

Stapeln statt Wickeln

[T067; Traktionsbatterie - Zellebene]

Kurzbeschreibung

Bei der Herstellung von Batteriezellen können die Elektrodenpakete je nach Zellformat (zylindrische, prismatische oder Pouch-Zelle) gewickelt oder gestapelt in das Zellgehäuse eingeführt werden. Während das Wickeln das weiter verbreitete Verfahren darstellt, verspricht das Stapeln der Elektrodenpakete einen höheren Zellfüllgrad und damit eine höhere Energiedichte. Aufgrund des Elektrodenformats ist die Technologie nicht für zylindrische Zellen geeignet.

Vorteile und Ziele der Technologie

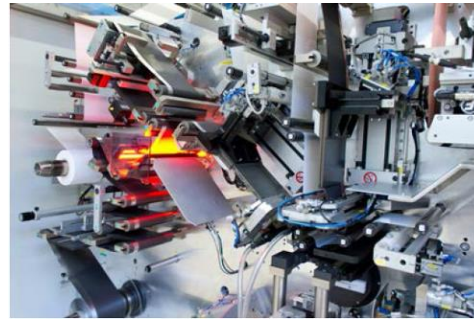
Das Totvolumen, das beim Wickeln der Elektrodenbänder durch die entstehenden Radien relativ hoch ist, wird beim Stapeln verringert. Dadurch erhöht sich die Energiedichte einer „gestapelten“ Zelle. Außerdem verbessert sich die Druckverteilung in der Zelle und die Verarbeitung dickerer Schichten wird dadurch verbessert, dass nicht mehr auf kleine Biegeradien geachtet werden muss. Schließlich wird die Zelllebensdauer dadurch begünstigt, dass die Ränder beim Stapeln weniger mechanischem Stress ausgesetzt sind als beim Wickeln.

Hemmnisse der Einführung

Das Einzelblatt-Stapelverfahren hat bei den derzeit verfügbaren Anlagen einen um den Faktor zwei bis sechs niedrigeren Durchsatz als beim Wickeln. Daneben ist bei großformatigen Zellen aufgrund der Biegeschlaffheit der Materialien die notwendige Präzision beim ultraschnellen und hochpräzisen Stapeln der einzelnen Elektroden-Blätter eine enorme Herausforderung. Daneben haben die Stapel eine höhere Anzahl an Schnittkanten als Zellen mit gewickelten Elektrodenpaketen

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2017



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

Wickeln der Elektrodenpakete

Einsatzbereich

Lithium-Ionen-Batteriezellen im Zellformat Pouch oder prismatisch

Leistungsparameter

Steigerung der Zellproduktionsrate

Weiterführende Informationen

Kontinuierliche Z-Faltung: TU-Berlin Projekt "KontiBAT"
Einzelblattstapeln: ZSW-Projekt "STACK"

Zuordnung zu Kompetenzen

Fertigungstechnik; Mess- und Steuerungstechnik;
Verfahrenstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung Produktion
Traktionsbatterie Pick-and-place
Zellebene

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

ZSW-Presseinformation 01/2018: Neuer Prozess für ultraschnelles und hochpräzises Einzelblattstapeln von Elektroden in Hochleistungsbatterien

Wässrige Kathodenherstellung

[T068; Traktionsbatterie - Zellebene]

Kurzbeschreibung

Bei der herkömmlichen Kathodenfertigung werden organische Lösungsmittel eingesetzt, die teuer und umweltbelastend sind. Eine Umstellung auf wässrige Kathodenherstellung strebt die Substitution organischer Lösungsmittel durch Wasser an und verspricht eine Senkung von Kosten und Umweltbelastung. Wegen der Wasserempfindlichkeit vieler Zellkomponenten (nickelreiche Systeme, Elektrolyte) stehen den Vorteilen noch Probleme bzgl. der Lebensdauer und Performance gegenüber.

Vorteile und Ziele der Technologie

Der Ersatz organischer Lösungsmittel durch Wasser führt zu Kostensenkungen durch Einsparung des Lösungsmittel selbst und durch entfallenden Aufwand zu dessen Rückgewinnung. Daneben sinkt die Umweltbelastung durch die Kathodenproduktion.

Hemmnisse der Einführung

Da viele Zellkomponenten wie nickelreiche Materialien oder Elektrolyte empfindlich auf den Einsatz von Wasser reagieren, sind Lösungen zur Gewährleistung der Qualität der hergestellten Elektroden bzw. Zellen erforderlich. Insbesondere ist sicherzustellen, dass bei der Herstellung zugeführte Wasser wieder vollständig aus den Elektroden entfernt wird. Andernfalls leidet die Zelleistung und -lebensdauer.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2017	2017		2025	2025>	



Bildquelle: © Unsplash / Louis Reed

Konkurrierende Technologien

Kathodenherstellung auf Basis organischer Lösungsmittel

Einsatzbereich

Lithium-Ionen-Batteriezellen

Leistungsparameter

reduzierter Einsatz organischer Lösungsmittel

Zuordnung zu Kompetenzen

Verfahrenstechnik; Materialwissenschaft; Werkstofftechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie
Zellebene

Produktion
Lösungsmittel

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

Neue Materialien für Batteriegehäuse

[T069; Traktionsbatterie - Batteriesystemebene]

Kurzbeschreibung

Der Einsatz neuer Materialien hat zum Ziel, das Batteriegehäuse leichter oder mechanisch stabiler zu gestalten. Neue Materialien für oder innerhalb des Gehäuses umfassen eine große Bandbreite an Materialarten wie z.B. Mica (Glimmer), superthermische Isolatoren, Leichtbaustoffe oder Phasenwechsellmaterialien zur Erhöhung der thermischen Sicherheit.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Reduzierung des Gewichts und der Stabilität des Batteriegehäuses zielt auf eine Erhöhung der Reichweite des Fahrzeugs. Gelingt es durch den Einsatz neuer Materialien das Batteriegehäuse stabiler und damit im Crashfall sicherer zu machen, können bei der Konstruktion andere Fahrzeugteile ggf. leichter ausgelegt werden. Darüber hinaus soll die Alterung der Batterie verringert werden.

Hemmnisse der Einführung

Die Verwendung zusätzlicher Materialien verringert tendenziell die Energiedichte des Batteriesystems und damit die Reichweite. Der Einsatz neuer Materialien führt gegebenenfalls zu einer Erhöhung der Kosten.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2017	2017	2017>		



Bildquelle: © Pixabay / estefania17

Konkurrierende Technologien

etablierte Materialien

Einsatzbereich

Traktionsbatteriesystem

Zuordnung zu Kompetenzen

Materialwissenschaft; Werkstofftechnik; Fertigungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie

Werkstoff
Batterie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

Steigerung Systemspannung auf 800 Volt

[T070; Traktionsbatterie - Batteriesystemebene]

Kurzbeschreibung

Aktuelle Batteriesysteme für BEV und PHEV arbeiten mit einer Spannung von 400 V. Eine Erhöhung der Systemspannung auf 800 V ermöglicht die Steigerung der Batterieperformance bei Leistung und Bremskraft. Im Gegenzug erhöhen sich die Systemkosten durch steigende Anforderungen an die Komponenten..

Vorteile und Ziele der Technologie

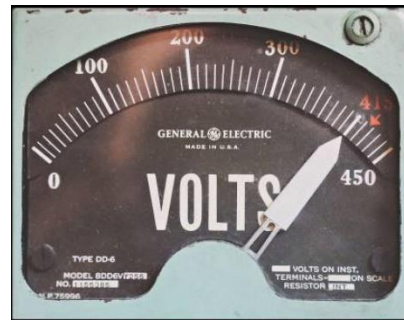
Die Steigerung der Systemspannung auf 800 V ermöglicht die Übertragung größerer Leistungen, was insbesondere für das Schnellladen von Fahrzeugen von Vorteil ist. Auch verbessert sich die Rekuperationsleistung. Die Erhöhung der Systemspannung resultiert bei gleicher Leistung in geringeren Stromstärken und erfordert damit geringere Querschnitte der Verbinder und Stromschienen.

Hemmnisse der Einführung

Durch steigende (Sicherheits-) Anforderungen an die Komponenten erhöhen sich die Systemkosten. Neben aufwendigeren Lösungen für Schütze (Minimierung von Abrisslichtbögen bei Schaltvorgängen) sind auch aufwendigere Personenschutzmaßnahmen (u.a. Berührungsschutz, Potenzialausgleich und Isolationsüberwachung) zu treffen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2017	2017	2019	2020	2020>



Bildquelle: © Unsplash / Thomas Kelley

Konkurrierende Technologien

400 V-Systeme

Einsatzbereich

Traktionsbatteriesystem

Weiterführende Informationen

Porsche setzt im Modell Taycan auf die 800 V-Technik (<https://newsroom.porsche.com/de/produkte/porsche-produktion-4-0-taycan-investition-wissensoffensive-elektromobilitaet-zukunftsaehigkeit-16249.html>)

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrotechnik; Hochvoltssystem

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie

Hochvolt
Batterie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.
Zentralverband Elektrotechnik- und elektronikindustrie e.V. ZVEI (Hrsg.): Spannungsklassen in der Elektromobilität. Frankfurt/Main, Dezember 2013.

Senkung Systemspannung auf 48 Volt

[T071; Traktionsbatterie - Batteriesystemebene]

Kurzbeschreibung

Für Anwendungen mit geringeren Anforderungen an die Antriebsleistung (z.B. Flurförderfahrzeuge, Kleinfahrzeuge) bietet die Verwendung einer Systemspannung von 48 V erhebliche Kostensenkungspotenziale. Im Automobilbereich verspricht das 48 V-System Effizienzsteigerungen beim Betrieb von Nebenaggregaten (Übergang von mechanisch gekoppelten zu elektrisch betriebenen Komponenten).

Vorteile und Ziele der Technologie

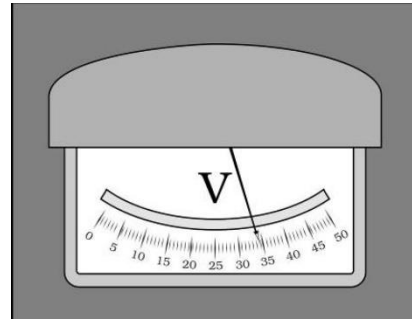
Die Senkung der Systemspannung auf 48 V bietet erhebliche Kostenvorteile, u.a. weil die Zahl der Zellverbindungen in der Batterie reduziert wird und der Aufwand für das Batteriemangement sinkt. Bei Spannungen unter 60 V kann auf aufwendige Personenschutzmaßnahmen (u.a. Berührschutz) verzichtet werden. Darüber hinaus gelten 48 V-Netze für kommende Fahrzeuggenerationen als wichtige Voraussetzung für das automatisierte Fahren.

Hemmnisse der Einführung

Es treten tendenziell höhere Stromstärken auf, welche sich negativ auf die Leistungseffizienz des Systems auswirken.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2017	2017	2020		2021



Bildquelle: © Pixabay / Clker-Free-Vector-Images

Konkurrierende Technologien

400 V-Systeme

Einsatzbereich

Traktionsbatteriesystem

Weiterführende Informationen

Bosch und andere Zulieferer arbeiten an 48 V-Systemen (vgl. z.B. www.bosch.com/de/stories/48-volt-hybrid-batterie/)

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrotechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie

Bordnetz
Batterie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.
Zentralverband Elektrotechnik- und elektronikindustrie e.V. ZVEI (Hrsg.): Spannungsklassen in der Elektromobilität. Frankfurt/Main, Dezember 2013.

Optimierte Battery Junction Box

[T072; Traktionsbatterie - Batteriesystemebene]

Kurzbeschreibung

Die Battery Junction Box enthält das Batteriemanagementsystem (BMS) sowie alle sicherheitsrelevanten Komponenten wie Schütze/Relais und Sicherung. Diese Baueinheit soll im Hinblick auf Volumen, Gewicht und Kosten optimiert werden. Hierzu ist insbesondere eine konstruktive und werkstoffseitige Weiterentwicklung des Schaltsystems und der Sicherheitskomponenten erforderlich.

Vorteile und Ziele der Technologie

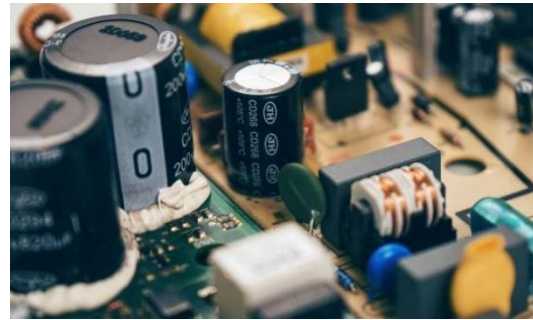
Der Ersatz bspw. von mechanischen Schaltelementen durch Halbleiterschalter verspricht große Kosteneinsparungen sowie eine Reduktion des Gewichts und des benötigten Volumens.

Hemmnisse der Einführung

Das zentrale Problem bei der Umsetzung ist die Gewährleistung der (elektrischen) Sicherheit, u.a. sind im Bedarfsfall die unter Spannung stehenden Komponenten durch Schütze galvanisch zu trennen. Je höher die möglichen auftretenden Leistungen sind, desto aufwendiger und teurer sind entsprechende technische Lösungen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2017	2017		2020	2025	2025>



Bildquelle: © Pexels / Pixabay

Konkurrierende Technologien

System mit mechanischen Schaltelementen

Einsatzbereich

Traktionsbatteriesystem

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrotechnik; Halbleitertechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie

Bordnetz
Batterie

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.
Zentralverband Elektrotechnik- und elektronikindustrie e.V. ZVEI (Hrsg.): Spannungsclassen in der Elektromobilität. Frankfurt/Main, Dezember 2013.

Stromzähler mit 2-3 physikalischen Messbereichen

[T073; Traktionsbatterie - Batteriemanagementsystem]

Kurzbeschreibung

Durch die Ausstattung von Batteriesystemen mit Stromzählern mit zwei bis drei physikalischen Messbereichen können die Ströme genauer gemessen und dadurch der Ladezustand der Batterie (State of Charge - SOC) der Batterie exakter ermittelt werden. Dies ermöglicht eine bessere Ausnutzung der Batteriekapazität bei gleichzeitiger Verringerung der Alterung.

Vorteile und Ziele der Technologie

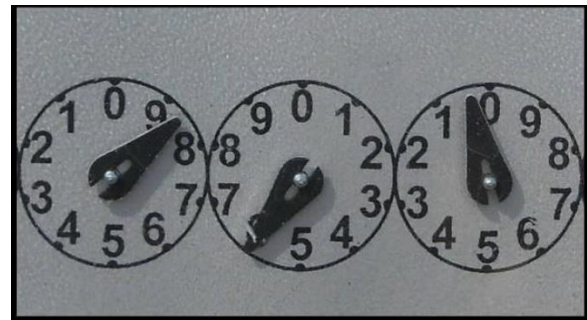
Eine genauere Gesamtstrommessung durch die erhöhte Messgenauigkeit erlaubt die exaktere Bestimmung des Ladezustandes der Batterie. Dies ermöglicht dem Batteriemanagementsystem die Steuerung der Lade- und Entladevorgänge so, dass die Batteriekapazität besser ausgenutzt wird und die Batteriealterung vermindert wird. Daraus resultiert eine höhere dauerhaft erzielbare Fahrzeugreichweite bei unveränderter Batteriegröße.

Hemmnisse der Einführung

Der zusätzliche messtechnische Aufwand führt zu höheren Kosten. Dabei entsteht neben den Kosten für die Messelektronik auch Mehraufwand für die Hardwareintegration.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2017	2017	2020	2020>	



Bildquelle: © Pixabay / Rebecca Moninghoff

Konkurrierende Technologien

System mit ungenauerer Strommessung

Einsatzbereich

Traktionsbatterie für BEV und PHEV

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrotechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Batteriemangement

Schlagworte

Elektrifizierung
Messtechnik
Traktionsbatterie
BMS/Batteriemanagementsystem

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

Sensorlose Temperaturbestimmung

[T074; Traktionsbatterie - Batteriemanagementsystem]

Kurzbeschreibung

Die indirekte (sensorlose) Temperaturbestimmung basiert auf der Analyse von Abweichungen der Zellarbeitsspannung. Sie dient der genaueren Bestimmung des Zustands einzelner Zellen. Die resultierende bessere Überwachung des Batteriesystems erlaubt es, auffälliges Verhalten von Zellen frühzeitig zu erkennen und einzugreifen. Neben verbesserter Batteriesicherheit und nutzbarer Kapazität würde die Zellalterung bei sinkendem Verkabelungsaufwand reduziert.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Temperaturbestimmung ohne Sensoren soll die genauere Bestimmung des Zustandes einer einzelnen Zelle ermöglichen. Dies verbessert die Überwachung des Batteriesystems und erhöht dadurch die Batteriesicherheit. Durch den Wegfall von Sensoren entfällt auch die damit verbundene Verkabelung.

Hemmnisse der Einführung

Die Temperaturmessung bereitet noch Schwierigkeiten, weil z.B. Motorenumrichter die Messung stören und die Genauigkeit der Spannungsmessung zu gering ist. Auch bereitet der Umgang mit unterschiedlich gealterten Zellen noch Probleme. Schließlich entstehen moderate Mehrkosten durch zusätzlich erforderliche elektronische Bauelemente. Ein grundsätzliches Problem besteht darin zu erkennen, welche Spannungsänderungen von anderen Effekten als der Temperatur verursacht werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2017	2017		2020	2025	2025>



Bildquelle: © Unsplash / Manki Kim

Konkurrierende Technologien

Temperaturmessung mit Sensoren

Einsatzbereich

Traktionsbatterie für BEV und PHEV

Zuordnung zu Kompetenzen

Mess- und Steuerungstechnik; Batteriemangement

Schlagworte

Elektrifizierung
Messtechnik
Traktionsbatterie
BMS/Batteriemanagementsystem

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

Elektronik für Automotive- und stationäre Anwendungen

[T075; Traktionsbatterie - Batteriemanagementsystem]

Kurzbeschreibung

Die Elektronik in aktuellen Batteriesystemen ist stark anwendungsbezogen (mobil, stationär) ausgelegt, weshalb die Systeme ohne Modifikation nur für die jeweilige Anwendung gut geeignet sind. Eine Auslegung und Optimierung der Batterieelektronik sowohl für den Einsatz im Fahrzeug als auch als stationärer Energiespeicher würde die Second-Life-Nutzung erleichtern.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Auslegung der Batterieelektronik sowohl für den Einsatz im Fahrzeug als auch als stationärer Energiespeicher würde die Second-Life-Nutzung erleichtern. Ergebnis wäre eine verbesserte Gesamtbilanz des Batteriesystems aus ökonomischer und ökologischer Sicht.

Hemmnisse der Einführung

Durch die Auslegung der Elektronik auf unterschiedliche Anforderungen entstehen Mehrkosten, die durch eine Second-Life-Nutzung zu kompensieren ist. Noch ist ungewiss, ob zukünftig dieselben Anforderungen (u.a. Reichweite) an mobile Batteriesysteme gestellt werden wie heute oder ob sich durch Einsatz hoch automatisierter Fahrzeuge die Anforderungen verändern werden. Ein grundsätzliches Hindernis für eine Optimierung besteht darin, dass die konkrete Second-Life-Anwendung bei Entwicklung des Systems bereits bekannt sein müsste.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2017	2017		2020	2025	2025>



Bildquelle: © Pexels / Miguel Á. Padriñán

Konkurrierende Technologien

Auf nur einen Anwendungszweck ausgelegte Systeme

Einsatzbereich

Traktionsbatterie für BEV und PHEV

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrotechnik; Elektronik; Batteriemangement

Schlagworte

Elektrifizierung
Programmierung
Traktionsbatterie
BMS/Batteriemangementssystem

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

Online Elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS)

[T076; Traktionsbatterie - Batteriemanagementsystem]

Kurzbeschreibung

Die Online EIS bestimmt die Impedanz elektrochemischer Systeme als Funktion der Frequenz einer Wechselspannung. Die Analyse der Frequenzspektren ermöglicht Rückschlüsse auf den Zustand von Batteriezellen zu ziehen und erlaubt damit eine verbesserte Steuerung des Batteriesystems.

Vorteile und Ziele der Technologie

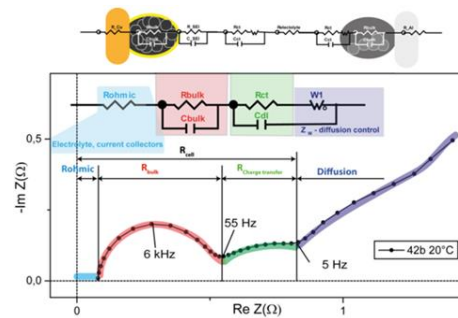
Eine genauere Zustandsbestimmung der Batterie (u.a. deren Ladezustand) erlaubt eine verbesserte Steuerung des Batteriesystems, wodurch die nutzbare Kapazität erhöht und die Batteriealterung gleichzeitig reduziert werden kann. Auch kann die Eignung für eine Second-Life-Anwendung zum Ende der mobilen Nutzungsdauer ermittelt werden.

Hemmnisse der Einführung

Der Einsatz von EIS im Fahrzeug bringt große Herausforderungen mit sich, da u.a. während des Fahrens Störungen vom Umrücker die Messgenauigkeit stark beeinträchtigen, was die Funktionalität einschränkt. Es entstehen Mehrkosten im Vergleich zu konventionellen Systemen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2017	2017		2025	2030	2030>



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Systeme

Einsatzbereich

Traktionsbatterie für BEV und PHEV

Zuordnung zu Kompetenzen

Mess- und Steuerungstechnik; Batteriemangement

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie
BMS/Batteriemanagementsystem

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

Stationäre Zusatzkühlung bei Schnellladung

[T053; Traktionsbatterie - Batterietemperatur]

Kurzbeschreibung

Durch den verstärkten Wunsch der Kunden nach immer größeren Batterien für eine hohe Reichweite führt die simultane Entwicklung der notwendigen Schnellladefunktion zu einer enormen Belastung des Materials. Sehr hohe Laderaten sind ohne eine stationäre Zusatzkühlung kaum denkbar. Beim Schnellladen können Ströme bis zu 500 Ampere fließen. Da ein Akkumulator im Automobil eine nennenswerte Lebensdauer aufweisen sollte, ist der Einsatz eines Batteriemanagements sinnvoll, welches eine Flüssigkeitskühlung der Batterie als unverzichtbar beinhalten lässt. Um eine effektive Kühlung zu erhalten, wäre es ideal den fahrzeugseitigen und den externen Flüssigkeitskreislauf zu verbinden. Die Gestaltung hiervon ist allerdings sehr komplex. Die Zusatzkühlung ist mittels eines Kühlfluids von außen oder über die Stromversorgung eines Kälteaggregats/ Rückkühlers möglich. Letztere wäre technisch einfacher, aber es ergibt sich zusätzlich eine größere Masse. Welche Variante sinnvoll ist, muss fahrzeugspezifisch bewertet werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

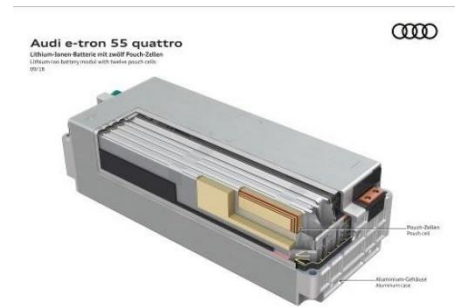
Kurze Ladezeiten sind möglich, da durch die Kühlung die entstehende Wärme besser abgegeben werden kann als über eine Wärmekonvektion und somit die Batterie langfristig geschützt wird.

Hemmnisse der Einführung

Die Konstruktion der Batterien gestaltet sich durch die Kühlkanäle als technisch aufwendiger. Aus diesem Grund ist eine stationäre Zusatzkühlung nur sinnvoll, wenn die Kühlung auch effektiv „angreifen“ kann. Nicht nur die Batterie wird durch die hohe Stromstärke stark belastet, sondern auch das Kabel. Dieses sollte entweder dicker ausgeführt werden oder andernfalls selbst mit einer entsprechenden Kühlung ausgestattet sein. Hierbei wäre wiederum eine Ladestation ausgestattet mit einem Kühlaagregat, einer Pumpe sowie einer Steuerung notwendig.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				2019	2025



Bildquelle: © Audi AG

Konkurrierende Technologien

reine Luftkühlung

Einsatzbereich

Der Einsatz dieser Kühltechniken wird für die Batterie als auch die Schnellladestation an sich wichtig sein.

Zuordnung zu Kompetenzen

Batteriemangement; Elektromotor; Ladeelektronik; Durch die zunehmende Nachfrage nach Batterien durch Elektrofahrzeuge, tragbare Elektrogeräte sowie stationäre dezentrale Energiespeicher besteht erhöhtes Potenzial für kleinere und mittlere Unternehmen.

Schlagworte

Elektromotor Effizienz
Batterie Kühlung
Ladeelektronik

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Sebastian Schaal: "Jetzt kommen die Superlader" (27.04.2018), URL: <https://www.wiwo.de/unternehmen/mittelstand/hannovermesse/elektroautos-jetzt-kommen-die-superlader/21193030.html> (abgerufen am 13.12.2018); Thielmann, A., et al.: Energiespeicher-Roadmap (Update 2017)—Hochenergie-Batterien 2030 + und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe (2017)

Latentwärmespeicher

[T054; Traktionsbatterie - Batterietemperierung]

Kurzbeschreibung

Latentwärmespeicher (LWS) sind in der Lage große Wärmemengen zu speichern. Das Funktionsprinzip basiert auf der bei einem Phasenwechsel (z.B. von fest zu flüssig) auf konstantem Temperaturniveau aufgenommenen latenten Energie, die beim Entladen des Wärmespeichers wieder abgegeben wird. Je nach Bauform des LWS kann zusätzlich auch die sensibel gespeicherte Wärmeenergie zur Speicherung genutzt werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

Durch den Einsatz von metallischen Latentwärmespeichern als Hochtemperaturspeicher zur Innenraumbeheizung in batterieelektrischen Fahrzeugen (z.B. Stadtbussen) lässt sich die Antriebsbatterie vom Heizen des Fahrzeuginnenraums entlasten. Auf diese Weise lässt sich der Reichweitenverlust bei niedrigen Außentemperaturen beschränken. Zudem sind die Kosten metallischer Latentwärmespeicher im Vergleich zu (zusätzlichen) Batterien für die Innenraumbeheizung potenziell geringer. Die Aufnahme der benötigten Wärmeenergie erfolgt kann bedarfsgerecht durch elektrische Vorkonditionierung während des Ladevorgangs erfolgen. Niedertemperatur-LWS mit Schmelztemperaturen zwischen 20 und 40°C ermöglichen potentiell die Aufnahme von Verlustwärme (z.B. aus Ladeverlusten) und können so erhöhen die Gesamteffizienz des Elektrofahrzeugs. Sie können außerdem für die Batterietemperierung zum Einsatz kommen.

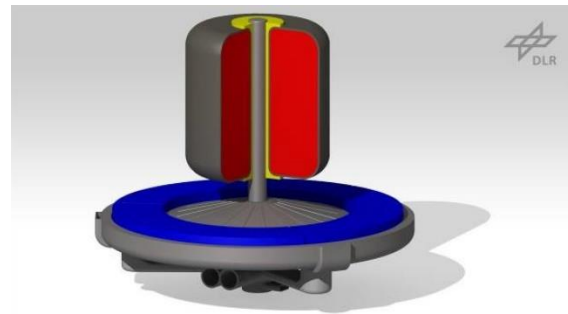
Hemmnisse der Einführung

Aufgrund der Reaktivität des flüssigen Speichermaterials mit konventionellen Werkstoffen wie z.B. Edelstahl besteht eine der größten Herausforderungen in der langzeitstabilen Einhausung des Speichermaterials. Für Speichermaterialien auf Salzbasis folgt eine weitere technologische Herausforderung aus deren niedriger Wärmeleitfähigkeit. Diese führt dazu, dass Wärmeenergie nur relativ langsam aufgenommen und wieder abgegeben werden kann. Hier könnte beispielsweise die Entwicklungen von Additiven oder Wärmeleitstrukturen im Material entgegenwirken.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2020	2020	2025	2025>		

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; o.V.: "Wärmespeicher-Konzept erhöht die Reichweite von Elektrofahrzeugen im Winter" (o.D.), URL: https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2017/20171019_waermespeicher-konzept-erhoert-die-reichweite-von-elektrofahrzeugen-im-winter_24651#/gallery/28836 (abgerufen am 13.12.2019)



Bildquelle: © DLR e.V.

Konkurrierende Technologien

Thermochemische Speicher
Andere Heizkonzepte (Widerstandsheizung etc.)
Kühlmittelkühlung
Kältemittelkühlung

Einsatzbereich

Einsatzbereiche umfassen die Innenraumbeheizung von Elektrofahrzeugen. Dazu kommen Hochtemperatur-LWS zum Einsatz. Niedertemperatur-LWS kommen für die Batterietemperierung und die Aufnahme von Verlustwärme zum Einsatz. Hoch- und Niedertemperatur-LWS können in einem System kombiniert werden.

Zuordnung zu Kompetenzen

Thermomanagement; Elektromotor;
Batteriemanagement

Schlagworte

Elektromotor
Batterie
Klimatisierung
Energieeffizienz

Homogenisierung der Zelltemperatur

[T078; Traktionsbatterie - Batterietemperierung]

Kurzbeschreibung

Durch die Homogenisierung der Wärmeverteilung innerhalb einer Zelle, aber auch zwischen den Zellen des gesamten Systems, wird angestrebt eine gleichmäßige Alterung der einzelnen Zellen zu erreichen. Mögliche Ansatzpunkte hierfür sind ein im Hinblick auf die Wärmeverteilung optimiertes Zelldesign, der Einsatz von Kühlsystemen sowie entsprechend optimierte Gehäuse.

Vorteile und Ziele der Technologie

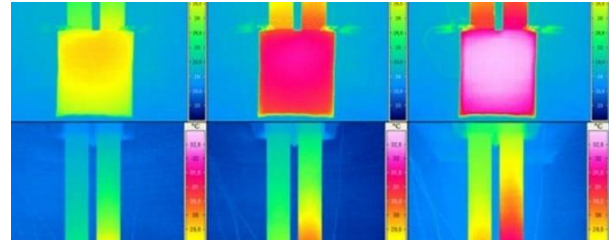
Eine gleichmäßigere Temperaturverteilung innerhalb einer Zelle und zwischen den Zellen wirkt sich positiv auf die Batterielebensdauer und -performance aus und verbessert die Schnellladefähigkeit durch gleichbleibende Innenwiderstände. Zusätzlich könnte der Aufwand für das Zellbalancing reduziert werden.

Hemmnisse der Einführung

Durch die Optimierung von Zelldesign, Kühlung und Gehäusen ist mit einem erhöhten Aufwand im Kühlsystem sowie mehr Platzbedarf und Gewicht zu rechnen. Letztere Maßnahmen verringern die Energiedichte des Batteriesystems. Darüber hinaus kann es zu einer Steigerung der Materialkosten kommen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2017	2017	2020	2020>	



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

Ausschließlich externe Kühlung

Einsatzbereich

Traktionsbatterie für BEV und PHEV.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrotechnik; Verfahrenstechnik; Mess- und Steuerungstechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie

Temperaturmanagement
Temperierung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.): Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven zukünftiger Batterietechnologien. Karlsruhe, Dezember 2017.

Temperierung mit nichtleitenden Fluiden

[T079; Traktionsbatterie - Batterietemperierung]

Kurzbeschreibung

In dieser Technologie steckt ein sehr hohes Potential, aber auch eine sehr hohe Komplexität. Batteriezellen werden bei diesem Konzept vollständig von einer nichtleitenden Flüssigkeit umschlossen, was zu einer direkten und über die gesamte Zelle hinweg homogenen Abfuhr der Wärmeentwicklung führt. Das Kühlmittel wird dabei von Pumpen durch das Kühlsystem zirkuliert.

Vorteile und Ziele der Technologie

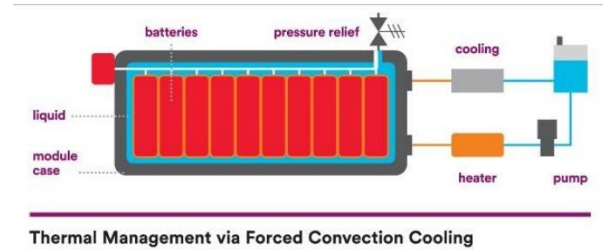
Durch den Einsatz nichtleitender Fluide zur direkten Kühlung von Batteriezellen kann auf klassische aktive/passive Kühlelemente verzichtet werden. Das Konzept ermöglicht eine höhere Wärmeabfuhr und gleichmäßigere Kühlung, mit theoretisch positiven Effekten auf Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Batterie.

Hemmnisse der Einführung

Die Technologie wird derzeit eher bei stationären (Hochleistungs-)Energiespeichern eingesetzt und getestet. Sie muss für die Anwendung im Automotive-Bereich an die jeweiligen Spezifikationen und Anforderungen angepasst werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		2020	2022	2024	2025



Bildquelle: © 3M™ Novec™

Konkurrierende Technologien

reine Luftkühlung
andere Heizkonzepte (Widerstandsheizung etc.)

Einsatzbereich

Traktionsbatterien in BEV und PHEV.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrotechnik; Verfahrenstechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Kühltechnik

Schlagworte

Elektrifizierung
Traktionsbatterie
Temperaturmanagement
Temperierung

Quellen: Die Informationen stammen von Fachexperten im Bereich Batterietemperierung und aus eigener Analyse; Wu u.a., Optimal Cooling Solution for High-Power Automotive Battery Module, 2018.

Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle (PEM)

[T081; Brennstoffzelle]

Kurzbeschreibung

Die PEM-Brennstoffzelle stellt die führende Antriebs-Technologie für Wasserstoff-Fahrzeuge dar. Die auf einem niedrigen Temperaturniveau (80°C) arbeitende Brennstoffzelle kann schnell gestartet und dynamisch betrieben werden. Nachteilig ist der Bedarf an notwendigen Edelmetallen als Katalysatoren. Die Entwicklungstätigkeiten fokussieren auf eine weitere Erhöhung der Zell-Stabilität und die Hebung von Kostensenkungspotenzialen. Eine Substitution teurer Rohstoffe sowie die Automatisierung bzw. der Aufbau einer Serien-Fertigung bieten Kostensenkungspotenziale.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die PEM-Brennstoffzelle lässt sich gut und schnell in der Leistung anpassen und erzeugt Abwärme auf einem geeigneten Niveau zur Innenraumtemperierung. Durch den hohen spezifischen Wirkungsgrad (>50% H₂ zu Strom) und guter Einbindungsmöglichkeiten ins Gesamtsystem sind hohe Gesamteffizienzen darstellbar.

Hemmnisse der Einführung

Heute sind der Brennstoffzellen-Fahrzeugmarkt und die notwendige Infrastruktur noch unzureichend vorhanden, die Technologiekosten nicht wettbewerbsfähig. Allerdings bestehen in mehreren Ländern (China, Japan, Norwegen etc.) Zielvorgaben für die Einführung der Brennstoffzellenmobilität bis 2030. Ein entsprechendes Marktwachstum wird erwartet.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2018	2025	2030	2035



Bildquelle: © ZSW/FVV, Dirk Lässig

Konkurrierende Technologien

Batterieelektrische Mobilität
Hybridisierung mit Verbrennungsmotor

Einsatzbereich

Einsatz im PKW, aber auch im Lastverkehr, in Bussen und im Schienenverkehr bevorzugt, auf Grund höherer Reichweitenerfordernis.

Leistungsparameter

Toyota Mirai: 3,1 kW/ Liter Bauvolumen
Hyundai H₂-LKW: 190 kW

Weiterführende Informationen

Marktübersicht zu Fahrzeugen, Infrastruktur und aktuellen Entwicklungen findet sich beim Branchenportal H₂.live

Zuordnung zu Kompetenzen

Montage; Elektrochemie; Kunststoffverarbeitung; Metallbearbeitung; Chemie; Verfahrenstechnik

Schlagworte

Brennstoffzelle
alternativer Antrieb

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017; Julian Hoffmann, 1.000 Wasserstoff-Trucks für H₂ Energy, 2018; Toyota, Die Mobilitätsrevolution kommt auf die Straße, 2014.

Nanopartikel: Katalysator mit Platin und Kobalt

[T084; Brennstoffzelle]

Kurzbeschreibung

Als Alternative zu großen, schweren Batterien in Elektrofahrzeugen mit hohen Reichweitenanforderungen gewinnt die Brennstoffzelle zunehmend an Bedeutung. Die Lebensdauer ist allerdings noch begrenzt, da die Katalysatoren schnell korrodieren. Speziell geschichtete Katalysatoren aus Nanopartikeln sollen dies verringern. Das Platin in der Brennstoffzelle dient dabei als Katalysator, um die Energiebarriere der Redoxreaktion zu verringern und die Reaktion zu beschleunigen, bei der Wasserstoff oxidiert und Sauerstoff reduziert wird. Da Platin als Edelmetall eine hohe ökonomische Belastung darstellt und die Brennstoffzelle dadurch insgesamt sehr teuer wird, forschen die Wissenschaftler an Legierungen, um dies zu umgehen. Die entwickelten Nanopartikel besitzen eine Platin-Außenhülle und im Kern befinden sich Schichten aus Platin und Cobalt, die sich abwechseln. Somit werden die Platinatome an der Oberfläche reaktiver und die unedleren Cobaltatome im Inneren geschützt.

Vorteile und Ziele der Technologie

Unter Laborbedingungen konnte die Brennstoffzelle mit geschichteten Nanopartikeln bereits 30.000 Spannungszyklen aushalten. Dies entspricht in einem Auto einer Lebensdauer von 5 Jahren. Bei Verwendung von Kobalt und Platin, können die Kosten des Katalysators gesenkt werden, da reines Platin sehr teuer ist.

Hemmnisse der Einführung

Die Temperatur in den Labortests entspricht nicht der Realität, somit würden Metalle in handelsüblichen Geräten schneller korrodieren. Zudem ist die Technologie noch in einer frühen Entwicklungsphase.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	2018	2020	2023	2026	2029

Quellen:

Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; New, durable catalyst for key fuel cell reaction may prove useful in eco-friendly vehicles, <https://www.brown.edu/news/2018-10-16/catalyst> (18.04.2020); Hard-Magnet L10-CoPt Nanoparticles Advance Fuel Cell Catalysis, J. Li u.a., Joule Vol. 3 Iss. 1, S.124-135



Bildquelle: © Wikipedia (CC BY-SA 2.0)

Konkurrierende Technologien

Katalysator bestehend aus organischen Molekülen sowie Eisen bzw. Mangan auf einer Metallunterlage und konventionelle Katalysatoren.

Einsatzbereich

Als Katalysator in Brennstoffzellen, gegebenenfalls auch in anderen Anwendungen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Chemie; Verfahrenstechnik; Materialwissenschaft

Schlagworte

Brennstoffzelle
Kostenreduktion

Membran-Elektrodeneinheit (MEA)

[T087; Brennstoffzelle]

Kurzbeschreibung

Die MEA ist eine Kernkomponente der PEM-Brennstoffzelle. Sie liegt zwischen zwei Bipolarplatten und setzt sich aus der Kathode und der Anode sowie der Membran zusammen. Die Membran als Elektrolyt trennt die Elektroden elektrisch, lässt aber gleichzeitig den Ionenaustausch zu. Die Membran ist beispielsweise ein Polymer aus Polyperfluorsulfonsäure mit einer Schichtdicke von 30 bis 175 µm. Die Elektroden werden mit einem Edelmetall-Katalysator (Platinmenge rund 0,4 mg/cm²) beladen und sollten eine gute elektrische Leitfähigkeit, eine große Kontaktfläche mit dem Elektrolyten, gute Transporteigenschaften für Gase und Ionen, gute katalytische Eigenschaften und eine Stabilität gegenüber Wasserstoff und Sauerstoff aufweisen.

Vorteile und Ziele der Technologie

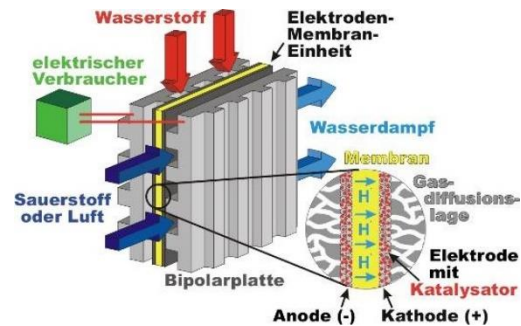
Durch den Brennstoffzellenaufbau mit einer Reihenschaltung von Einzelplatten eignet sich die Konstruktion prinzipiell gut für den Serienproduktion. Viele gleiche Bauteile und damit einstellbare Größenordnungen bieten die Möglichkeit mit gleichen Produktionsabläufen eine Varianz in der Anwendung zu ermöglichen.

Hemmnisse der Einführung

Die in der MEA erforderlichen Edelmetalle (Platin) stellen einen hohen Kostenfaktor dar. Durch Materialforschung und Produktverbesserung zur weiteren Substitution und Minderung der benötigten Edelmetallmenge werden hier weitere Fortschritte erwartet (vgl. T084). Außerdem müssen die Produktionsschritte weiter automatisiert werden, um entsprechende Stückzahlereffekte erreichen zu können.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2019>	



Bildquelle: © ZSW/Alexander Kabza

Konkurrierende Technologien

Eine Konkurrenztechnologie zur MEA kann nicht benannt werden. Als Konkurrenz sind generell andere Energieversorgungswege, wie zum Beispiel die batterieelektrische Mobilität zu sehen.

Einsatzbereich

Die MEA ist ein Bestandteil der PEM-Brennstoffzelle.

Leistungsparameter

Einzelflächen von 45cm² - 605cm²
Die Anforderungen, die an die Membran gestellt werden sind: Gasdichtheit, eine gute Protonenleitfähigkeit, eine geringe elektrische Leitfähigkeit, Resistenz gegen Wasserstoff und Sauerstoff und dennoch eine hohe mechanische Stabilität, auch bei wechselnden Temperaturen (niedrige Außentemperatur bis rund 100°C Betriebstemperatur).

Zuordnung zu Kompetenzen

Kunststoffverarbeitung; Montage; elektrochemische Beschichtung

Schlagworte

Wasserstoff
Brennstoffzelle

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Ludwig Jörissen u. a., Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie, 2008; Carsten Henschel, Protonenleitende Membran, 2019; Alexander Kabza, Funktion und Aufbau einer PEMFC, 2018.

Thermomanagement

[T085; Brennstoffzelle - Thermomanagement]

Kurzbeschreibung

Brennstoffzellen erzeugen bei der Wasserstoff-Wandlung Abwärme. Diese muss sicher und zuverlässig abgeführt werden. Des Weiteren wird die Abwärme häufig für Heizwecke zur Innenraumtemperierung vorgesehen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Ein gutes Thermomanagement sorgt dafür, dass die Brennstoffzelle beim Anfahren schnell auf Betriebstemperatur kommt und während des Betriebs die Energie zuverlässig abgeführt wird. Durch die Kombination mit der Innenraumtemperierung steigt der Ausnutzungsgrad des Brennstoffs und damit die Effizienz des Gesamtsystems.

Hemmnisse der Einführung

Der Einsatz eines deionisierten Kühlmittels stellt hohe Anforderungen an die verbauten Komponenten im Kühlkreislauf. Zudem erfolgt der gesamte Kreislauf mit elektrischen Komponenten, da in der Brennstoffzelle keine mechanischen Antriebe gegeben sind.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2025	2030



Bildquelle: © Pixabay / Karolina Grabowska

Einsatzbereich

Kühlung und Wärmemanagement der Brennstoffzelle

Zuordnung zu Kompetenzen

Motorsteuerung; Thermomanagement; Kühltechnik; Oberflächenbearbeitung

Schlagworte

Klimatisierung
Regelung

Wasserstoff
Brennstoffzelle

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, K. Reif (Hrsg.), Springer Wiesbaden 2010

Deionisiertes Kühlmittel

[T086; Brennstoffzelle - Thermomanagement]

Kurzbeschreibung

Die Brennstoffzelle kann bis zu 60 % ihrer chemischen Energie in elektrische Energie umwandeln. Es werden 40 % der Energie als Verlustenergie in Form von Wärme freigesetzt, welche abgeführt werden muss. Zur Kühlung einer Brennstoffzelle bedarf es eines elektrisch nicht leitfähigen Kühlmittels.

Vorteile und Ziele der Technologie

Durch das deionisierte Wasser kann ein Kurzschluss zwischen den Bipolar-Platten verhindert werden.

Hemmnisse der Einführung

Deionisiertes Wasser besitzt eine hohe Aggressivität und erzwingt die Verwendung hochwertiger Materialien. Um deionisiertes Wasser zu erzeugen bedarf es eines Ionentauschers, der für die geringe Leitfähigkeit sorgt. Diese muss dann kontinuierlich überwacht werden. Der Ladeluftkühler muss zusätzlich eine gute Beständigkeit gegen entionisiertes Wasser aufweisen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2022	2025



Bildquelle: © Pexels / Chokniti Khongchum

Konkurrierende Technologien

Luftkühlung
Verdampfungskühlung

Einsatzbereich

Die Technologie findet in der Brennstoffzelle als Kühlmittel Anwendung.

Zuordnung zu Kompetenzen

Thermomanagement; Kühltechnik;
Oberflächenbearbeitung

Schlagworte

Kühlung
Klimatisierung
Wasserstoff
Regelung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Pundt, M. et al. Fahrzeugintegration eines Brennstoffzellensystems. ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift, Z 120, 40–45 (2018); Oliver Berger: Thermodynamische Analyse eines Brennstoffzellensystems zum Antrieb von Kraftfahrzeugen. Diss. Universität Duisburg-Essen (2009); Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, K. Reif (Hrsg.), Springer Wiesbaden 2010

Alkalische Elektrolyse (AEL)

[T088; H₂-Versorgung - Elektrolyse]

Kurzbeschreibung

Bei der alkalischen Elektrolyse (AEL) handelt es sich um eine Technik zur Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser durch elektrische Energie. Die Herstellung von Wasserstoff mittels alkalischer Elektrolyse ist heute Stand der Technik. Dennoch befindet sich die Technologie noch am Beginn der Industrialisierung, da bisher Wasserstoff vorwiegend durch Reformation von Kohlenwasserstoffen gewonnen wird. Ein weiterer Entwicklungsbedarf besteht hinsichtlich der Steigerung der Effizienz, der Erhöhung der Lebenserwartung, der Reduktion der Investitionskosten und der Einbindung ins Energiesystem. Durch einen Umstieg von Manufaktur- und Kleinserienbauweise hin zur Großserienfertigung werden Kostensenkungspotenziale erwartet. Hier finden sich, gerade für den Anlagen- und Maschinenbau, interessante Anwendungsfelder.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die alkalische Elektrolyse ist technisch erprobt und modular aufbaubar. Ein Stack (Zell-Stapel) wird durch eine Aneinanderreihung einer Vielzahl an Einzelzellen erstellt. Durch die Zusammenschaltung mehrerer Stacks wird der erforderliche Leistungsbereich erzielt. Dieser Aufbau ist prinzipiell für eine hohe Automatisierungstiefe geeignet, womit entsprechende Kostensenkungspotenziale einhergehen.

Hemmnisse der Einführung

Der Bedarf an Elektrolyse ist im Leistungsumfang und im zeitlichen Verlauf schwer zu prognostizieren, da viele äußere Einflüsse darauf einwirken. In Abhängigkeit der Wasserstoff-Nachfrage aus dem Verkehrssektor, der Herstellungsmenge alternativer Kraftstoffe (PtX) und dem Bedarf an Strom-Langzeitspeicherung, um nur drei große Anwendungsfelder zu nennen, entwickelt sich die Nachfrage.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2018	2023	2025



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

PEM-Elektrolyse (T089)
Festoxid-Elektrolyse (SOEL, T090)
Reformierung mit CO₂-Abscheidung

Einsatzbereich

Herstellung von Wasserstoff als Kraftstoff, Stomspeicher oder chemische Basiskomponente.

Leistungsparameter

Die Alkalische Elektrolyse ist modular aufgebaut und umfasst den Leistungsbereich weniger kW bis zu multi MW-Anlagen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Elektrochemie; elektrochemische Beschichtung; Metallbearbeitung; Elektrotechnik; Montage

Schlagworte

alternativer Antrieb
Wasserstoff

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017.

Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL)

[T089; H₂-Versorgung - Elektrolyse]

Kurzbeschreibung

Bei der PEM-Elektrolyse (PEMEL) handelt es sich um eine Technik zur Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser durch elektrische Energie. Die PEMEL ist in der Entwicklung weit fortgeschritten, hat jedoch noch nicht die technologische Reife wie die Alkalische Elektrolyse (T088) erreicht. Da der grundsätzliche Aufbau der PEMEL dem Aufbau der PEM-Brennstoffzelle ähnelt, werden Synergieeffekte bei der Entwicklung und der Industrialisierung erwartet. Ein weiterer Entwicklungsbedarf besteht hinsichtlich der Steigerung der Effizienz, der Erhöhung der Lebenserwartung, der Reduktion der Investitionskosten und der Einbindung ins Energiesystem. Durch einen Umstieg von Manufaktur- und Kleinserienbauweise hin zu Großserienfertigung werden Kostensenkungspotenziale erwartet. Hier finden sich gerade für den Anlagen- und Maschinenbau interessante Anwendungsfelder.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die PEM-Elektrolyse lässt sich sehr dynamisch und kurzzeitig auch in Überlast betreiben, zwei Eigenschaften, die bei der Einbindung in ein Energiesystem mit fluktuierender Strombereitstellung Vorteile bieten können. Außerdem ist die Ähnlichkeit mit der PEM-Brennstoffzellentechnologie und theoretisch auch die Reversibilität (Umschalten von Brennstoffzellenbetrieb auf Elektrolyse und zurück) ein Alleinstellungsmerkmal. Die großtechnische Umsetzung ist allerdings noch ausstehend.

Hemmnisse der Einführung

Der Bedarf an Elektrolyseleistung ist in der Höhe und im zeitlichen Verlauf schwer zu prognostizieren, da viele äußere Einflüsse darauf einwirken. In Abhängigkeit der Wasserstoff-Nachfrage aus dem Verkehrssektor, der Herstellungsmenge alternativer Kraftstoffe (PtX) und dem Bedarf an elektrischer Langzeitspeicherung, um nur drei große Anwendungsfelder zu nennen, entwickelt sich die Nachfrage.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2018	2025	2030	2035



Bildquelle: © ZSW/FVV, Dirk Lässig

Konkurrierende Technologien

Alkalische Elektrolyse (T088)
Festoxid-Elektrolyse (SOEL, T090)
Erdgas-Reformierung mit CO₂-Abscheidung

Einsatzbereich

Herstellung von Wasserstoff als Kraftstoff, zur Stromspeicherung oder als chemische Basiskomponente.

Leistungsparameter

Die PEM-Elektrolyse ist modular aufgebaut und umfasst den Leistungsbereich weniger kW bis zu MW-Anlagen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Montage; Elektrochemie; Kunststoffverarbeitung; Metallbearbeitung; Chemie; Verfahrenstechnik

Schlagworte

alternativer Antrieb
Wasserstoff

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017.

Festoxid-Elektrolyse (SOEL)

[T090; H₂-Versorgung - Elektrolyse]

Kurzbeschreibung

Bei der Festoxid-Elektrolyse (SOEL) handelt es sich um eine Technik zur Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser(dampf) durch elektrische und thermische Energie. Die Festoxid-Elektrolyse arbeitet bei Temperaturen bis 1000 °C (Hochtemperaturelektrolyse). Hierfür sind keramische Werkstoffe erforderlich. In den Prozess lässt sich thermische Energien einbinden, wodurch der Einsatz elektrische Energie vermindert werden kann. Hierdurch kann rechnerisch ein Wirkungsgrad (Strom zu Wasserstoff) > 100 % erreicht werden. Steht Abwärme, die eingekoppelt werden kann, zur Verfügung, ist die Hochtemperaturelektrolyse ein interessantes Verfahren.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Hochtemperaturelektrolyse kann sehr hohe elektrische Wirkungsgrade erzielen und so besondere Anwendungsfelder besetzen. Der Aufbau eines Stacks (Zellstapel) umfasst eine Vielzahl an Einzelzellen und mehrere Stacks werden dann in Parallel- und Reihenschaltung zur benötigten Leistungsklasse verschaltet. Ein hoher Automatisierungsgrad bei der Anlagenherstellung kann erreicht werden.

Hemmnisse der Einführung

Zur Erzielung entsprechender Effizienzvorteile ist das Vorhandensein von nutzbarer Wärme erforderlich. Auf Grund der hohen Temperatur eignet sich die Technologie nicht für schnelle An- und Abfahrprozesse, sondern ist für eine kontinuierliche Betriebsweisen prädestiniert. Hierdurch entstehen besondere Anforderungen zur Einbindung in ein von fluktuierenden Energien dominiertes Energiesystem.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2021	2025	2030	2032



Bildquelle: © sunfire GmbH, Dresden (CC BY-ND 2.0)

Konkurrierende Technologien

AEL-Elektrolyse (T088)
PEM-Elektrolyse (T089)
Reformierung mit CO₂-Abscheidung

Einsatzbereich

Herstellung von Wasserstoff als Kraftstoff, zur Stromspeicherung oder als chemische Basiskomponente.

Leistungsparameter

Die SO-Elektrolyse ist modular aufgebaut und umfasst den Leistungsbereich weniger kW bis zu MW-Anlagen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Montage; Elektrochemie; Verfahrenstechnik; Keramikverarbeitung

Schlagworte

alternativer Antrieb
Wasserstoff

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017; Julian Hoffmann, 1.000 Wasserstoff-Trucks für H₂ Energy, 2018; Toyota, Die Mobilitätsrevolution kommt auf die Straße, 2014.

Leitungsgebundener Wasserstoff-Transport

[T091; H₂-Versorgung - Distribution]

Kurzbeschreibung

Der Transport von Wasserstoff, von der Erzeugung hin zum Anwender, kann in Wasserstoffleitungen erfolgen. Die Technologie ist verfügbar und sofort einsatzbereit. In der chemischen Industrie bestehen zudem viele Erfahrungswerte im Umgang mit Wasserstoff. Heute besteht jedoch kein längeres Wasserstoffnetz vergleichbar dem Erdgasnetz. Daher ist der Aufbau einer neuen Infrastruktur erforderlich. Prinzipiell ist es vorstellbar nicht mehr benötigte Erdgasleitungen für den Wasserstofftransport umzuwidmen. Anpassungen in der Messtechnik und bei aktiven Elementen (Verdichter, Gasdruck-Regelstation etc.) wären erforderlich.

Vorteile und Ziele der Technologie

Der Transport in Rohrleitungen ist energetisch effizient und belastet nicht die anderen Verkehrsträger (Straße, Schiene). Zudem sind geringere Druckniveaus ausreichend.

Hemmnisse der Einführung

Es gibt bisher nur sehr wenige Wasserstoff-Rohrnetze, so dass neue Leitungen errichtet werden müssen. Eine flächendeckende Verbreitung, wie heute das Erdgasnetz, scheint nicht umsetzbar, aber auch nicht erforderlich. Gezielte Leitungen zur Verbindung von punktuellen Erzeugern und Verbrauchern sind kurzfristig umsetzbar.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2018	2020	2024



Bildquelle: © Pixabay / David Mark

Konkurrierende Technologien

Transport im Trailer (T092)
Erzeugung vor Ort

Einsatzbereich

Wasserstoffspeicherung und -verteilung

Leistungsparameter

Wenige hundert Meter bis hin zu mehreren tausend Kilometern. Übertragungsleistung wenige kW bis mehrere GW

Zuordnung zu Kompetenzen

Verfahrenstechnik; Energiemanagement

Schlagworte

Transport
Verteilung
Wasserstoff

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017; Joachim Wolf, Die neuen Entwicklungen der Technik - Elemente der Wasserstoff-Infrastruktur von der Herstellung bis zum Tank, 2003.

Trailer zum Wasserstoff-Transport

[T092; H₂-Versorgung - Distribution]

Kurzbeschreibung

Der Wasserstofftransport im Trailer über die Straße oder auf der Schiene ist heute Stand der Technik. Herausfordernd beim Wasserstofftransport ist die geringe volumetrische Dichte. Durch Verdichtung (350 - 700 bar; T093) oder Verflüssigung (-253°C; T094) wird die Speicherkapazität und damit die Transportleistung erhöht. Transportradien von bis zu 200 km können bei Druckspeicherung über den Straßenweg wirtschaftlich dargestellt werden. Dies ist von besonderer Relevanz hinsichtlich dem Aufbau einer flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur zur Versorgung von Tankstellen und Brennstoffzellenfahrzeugen. Die Forschung und Entwicklung zielt darauf, die Transportkapazität weiter zu erhöhen und die Gesamtkonzeption von Erzeugung, Speicherung, Transport, Lagerung, Vertankung und Nutzung energetisch und kostenseitig zu optimieren.

Vorteile und Ziele der Technologie

Der Transport im Trailer ermöglicht eine hohe Flexibilität. Sowohl auf Verbraucherseite als auch auf Erzeugerseite. Zudem kann ein Trailer mehrere Kunden beliefern. Ein Radius von rund 200 km um die Erzeugungsstelle hat sich als wirtschaftlich und energetisch sinnvoll gezeigt.

Hemmnisse der Einführung

Sollen große Mengen Wasserstoff über die Straße transportiert werden steigt das Verkehrsaufkommen weiter an. Um größere Mengen transportieren zu können muss der Wasserstoff entweder hoch verdichtet oder tiefkalt komprimiert werden. Beides sind energieintensive Verfahren, die die Effizienz des Gesamtsystems mindern.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
				<2018	2022



Bildquelle: © Wikipedia

Konkurrierende Technologien

Leitungsgebundener Wasserstoff-Transport (T 091)
Erzeugung vor Ort

Einsatzbereich

Wasserstoffspeicherung und -verteilung

Leistungsparameter

LKW-Transport ist im Umkreis von rund 200 km wirtschaftlich darstellbar.

Zuordnung zu Kompetenzen

Montage; Mechanik; Verfahrenstechnik

Schlagworte

Transport
Verteilung
Wasserstoff

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017; Joachim Wolf, Die neuen Entwicklungen der Technik - Elemente der Wasserstoff-Infrastruktur von der Herstellung bis zum Tank, 2003.

350bar / 700bar H₂-Speicher

[T093; Wasserstoffspeicher]

Kurzbeschreibung

Wasserstoff hat eine sehr hohe gravimetrische Energiedichte von rund 33 kWh/kg, jedoch eine sehr geringe volumetrische Energiedichte von lediglich rund 3 kWh/m³. Ein PKW benötigt rund 30 kWh Wasserstoff pro 100 km. Dies bedeutet, dass der Kraftstoff für den praktischen Einsatz verdichtet werden muss. Hier hat sich die 350 bar Technik im Bus- und Schienenverkehr etabliert und die 700 bar Technik beim PKW. Auch für die Belieferung von Tankstellen und die stationäre Lagerung vor Ort werden die hohen Druckniveaus genutzt.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Vorteile der Hochdruckspeicherung liegen in einem Kompromiss zwischen Verdichtungsaufwand, Speicherfähigkeit, Anforderung an die Tanktechnik und Bauvolumen für eine adäquate Reichweite.

Hemmnisse der Einführung

Das Verdichten des Wasserstoffs ist sehr energieaufwändig, wodurch die Gesamteffizienz Well-to-Wheel verschlechtert wird. Die Akzeptanz von (Druck-) Gas ist weniger ausgeprägt als von flüssig betankten Fahrzeugen. Hier gilt es Überzeugungsarbeit zu leisten und Erfahrungen zu sammeln.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2018	2022	2027



Bildquelle: © DLR/Fabian Walker (CC-BY 3.0)

Konkurrierende Technologien

Flüssigwasserstoffspeicher (T094)
Cryo-compressed-Technologie (T095)
Adsorption- / Absorptionsspeicher (T096)

Einsatzbereich

Wasserstoffspeicherung und -verteilung

Leistungsparameter

wenige kg bis t Speicherkapazität

Zuordnung zu Kompetenzen

Montage; Mechanik; Verfahrenstechnik

Schlagworte

Transport
Verteilung
Wasserstoff

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017; Joachim Wolf, Die neuen Entwicklungen der Technik - Elemente der Wasserstoff-Infrastruktur von der Herstellung bis zum Tank, 2003.

Flüssigwasserstoffspeicher

[T094; Wasserstoffspeicher]

Kurzbeschreibung

Eine hohe volumetrische Energiedichte wird durch die Verflüssigung von Wasserstoff erreicht. Allerdings ist der Umgang mit Wasserstoff, der auf -253 °C abgekühlt worden ist sehr anspruchsvoll. Kontinuierliche Wärmeerbringung führt, insbesondere bei kleinen Speichern, zu Boil-Off-Effekten (Abdampfverlusten). Die Herstellung geeigneter Tanks ist sehr komplex, die Verflüssigung von Wasserstoff energieintensiv. Gegenwärtig wird daher nicht erwartet, dass in Fahrzeugen verflüssigter Wasserstoff verwendet werden wird. Hingegen gilt Flüssigwasserstoff zur Verteilung und lokalen Speicherung an Tankstellen als eine Alternative zur Druckspeicherung.

Vorteile und Ziele der Technologie

Der Vorteil liegt in einer sehr hohen Energiedichte und geringere Anforderungen an die Druckfestigkeit des Speichers.

Hemmnisse der Einführung

Besondere Herausforderungen stellt die thermische Isolierung des Tanks dar. Denn ein kontinuierlicher Wärmeertrag ist unvermeidbar, weswegen es zu Boil-Off-Effekten (Abdampfverluste) kommt. Außerdem wirkt sich der erforderliche Energieaufwand zur Verflüssigung nachteilig auf die Gesamteffizienz aus.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2022	2028	2030



Bildquelle: © Tiia Monto (CC-BY-SA 3.0)

Konkurrierende Technologien

350bar / 700bar Wasserstoffspeicher (T093)
Cryo-compressed-Technologie (T095)
Adsorption- / Absorptionsspeicher (T096)

Einsatzbereich

Wasserstoffspeicherung und -verteilung

Leistungsparameter

Auf einem Trailer können bis zu 3,5t Flüssigwasserstoff transportiert werden.

Zuordnung zu Kompetenzen

Montage; Mechanik; Verfahrenstechnik

Schlagworte

Transport
Verteilung
Wasserstoff

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017; Joachim Wolf, Die neuen Entwicklungen der Technik - Elemente der Wasserstoff-Infrastruktur von der Herstellung bis zum Tank, 2003.

Cryo-compressed-Technologie

[T095; Wasserstoffspeicher]

Kurzbeschreibung

Die Mischform aus kryogenem und komprimiertem Wasserstoff ist die Cryo-compressed-Technologie. Der Wasserstoff wird auf (nur) -220°C gekühlt und gleichzeitig auf bis zu 1000 bar komprimiert. Dies führt zur höchsten volumetrischen Energiedichte, aber die Herausforderungen und die Kosten für den thermisch isolierten Druckspeicher steigen durch die aufwändige Konstruktion stark an. Trotz großer Bemühungen eines Automobilherstellers gelang es nicht, einen Tank zur Serienreife zu entwickeln, der für längerer Fahrzeug-Standzeit (wenige Wochen, bspw. Flughafenparken) den Kraftstoff sicher bevorraten konnte. Der beständige Abdampfverlust sorgt kontinuierlich für eine Selbstentleerung. Die Problematik verliert im stationären Fall an Relevanz. Am Beispiel von Tankstellen kann von einer kontinuierlichen Nachfrage ausgegangen werden, sodass die Entleerung geplant erfolgt oder abzuführende Kraftstoffmengen für die stationäre Strom- oder Wärmeversorgung sinnvoll eingesetzt werden können.

Vorteile und Ziele der Technologie

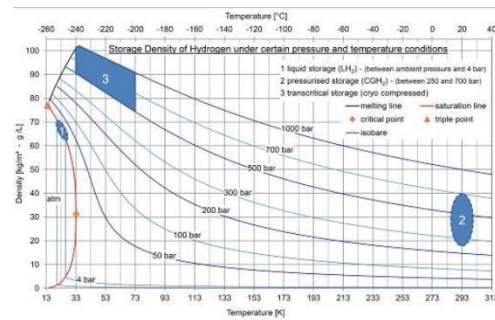
Die hohe Energiedichte bringt Vorteile in Bezug auf Reichweite im Fahrzeug und Wasserstoffdistribution zu Tankstellen und Verbrauchern. Ziel ist es, die notwendigen Tanks weiterzuentwickeln und den Energieeinsatz bei Kühlung und Verdichtung zu senken.

Hemmnisse der Einführung

Die Herstellung geeigneter Tanks und Infrastruktur ist sehr aufwändig, da gleichermaßen druckfeste und thermisch isolierte Tanks benötigt werden. In der Automobilindustrie wurden damit Erfahrungen gesammelt, jedoch setzte sich das Verfahren bisher nicht durch.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2018	2033	2035	2036



Bildquelle: © ILK Dresden, Moritz Kuhn (CCBY-SA 4.0)

Konkurrierende Technologien

350bar / 700bar Wasserstoffspeicher (T093)
Flüssigwasserstoffspeicher (T094)
Adsorption- / Absorptionsspeicher (T096)

Einsatzbereich

Wasserstoffspeicherung und -verteilung

Leistungsparameter

6 - 8 kg Wasserstoff-Tank

Zuordnung zu Kompetenzen

Maschinen- und Anlagenbau; Verfahrenstechnik;
Montage; Materialwissenschaft

Schlagworte

Transport
Verteilung
Wasserstoff

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017; Joachim Wolf, Die neuen Entwicklungen der Technik - Elemente der Wasserstoff-Infrastruktur von der Herstellung bis zum Tank, 2003; Klaas Kunze u.a., Cryo-Compressed Hydrogen Storage, 2002.

Adsorptions- / Absorptionspeicher

[T096; Wasserstoffspeicher]

Kurzbeschreibung

Durch die Anlagerung von Wasserstoff an Trägerstoffen besteht die Möglichkeit, große Mengen Wasserstoff vergleichsweise gefahrlos zu transportieren. Hierzu wird ein reversibler Prozess genutzt, der im Fahrzeug eine Wasserstoffabgabe ermöglicht. Entweder handelt es sich um Feststoffe (Metallhydrid) oder Flüssigkeiten (LOHC). Bei den Feststoffen findet die Hydrierung im Tankprozess statt. Bei den flüssigen LOHC wird hingegen beim Tanken das Trägermedium insgesamt gewechselt, also an der Tankstelle das entladene LOHC abgegeben und hydriertes, frisches LOHC aufgenommen. Die Dehydrierung findet jeweils während der Fahrt im Fahrzeug statt.

Vorteile und Ziele der Technologie

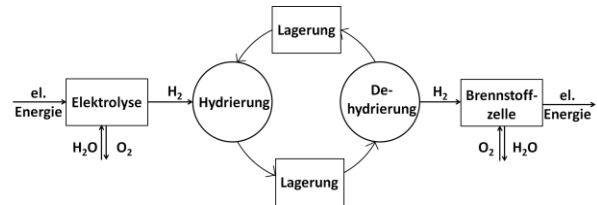
Durch die Bindung des Wasserstoffs am Träger kann der energieintensive und in Handhabung und Akzeptanz nicht unumstrittene Weg über Druckerhöhung und/oder Tief-Kühlung des Wasserstoffs vermieden werden. Gerade bei LOHC sind zu den heutigen Tankvorgängen vergleichbare Vorgehen vorstellbar. Der Aufbau einer Verteil-Infrastruktur für LOHC wird auf Grund der bestehenden Strukturen und Erfahrungen als einfacher eingeschätzt verglichen mit dem Aufbau eines direkten H₂-Pfads.

Hemmnisse der Einführung

Nachteilig ist, dass die Dehydrierung im Fahrzeug stattfinden muss. Zum Austreiben des Wasserstoffs ist meist thermische Energie erforderlich. Besonders bei LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carrier) gilt es zudem die Umweltwirkung der Träger-Flüssigkeiten zu beachten (Toxizität) und der bestehende Tankvorgang muss, um die Rückführung der "entladenen" LOHC (Kreislaufwirtschaft) zur erneuten Beladung mit Wasserstoff, ergänzt werden. Zudem ist für alle Trägermaterialien eine hohe Zyklenfestigkeit für den nachhaltigen Einsatz erforderlich. Nur wenn der Träger auch entsprechend häufig genutzt werden kann entstehen nachhaltige Kreisläufe.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2018	2030	2035	2035>



Bildquelle: © K.Müller (CC BY-SA 3.0)

Konkurrierende Technologien

350bar / 700bar Wasserstoffspeicher (T093)
Flüssigwasserstoffspeicher (T094)
Cryo-compressed-Technologie (T095)

Einsatzbereich

Wasserstoffspeicherung und -verteilung

Leistungsparameter

LOHC: 1,2 - 1,9 kWh/l // Metallhydrid: 300 - 600 Wh/kg

Zuordnung zu Kompetenzen

Maschinen- und Anlagenbau; Verfahrenstechnik;
Chemie; Materialwissenschaft

Schlagworte

Transport
Verteilung
Wasserstoff

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Forschungsverbund erneuerbare Energien, Forschungsziele 2019, 2018; Oliver Ehret, Wasserstoff und Brennstoffzellen: Antworten auf wichtige Fragen, 2018; Andreas Brinner u.a., Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende, 2017; Joachim Wolf, Die neuen Entwicklungen der Technik - Elemente der Wasserstoff-Infrastruktur von der Herstellung bis zum Tank, 2003; Klaas Kunze u.a., Cryo-Compressed Hydrogen Storage, 2002; Wolfgang Arlt, Wasserstoff und Speicherung im Schwerlastverker, 2017.

Methanolsynthese

[T097; Synthetische Kraftstoffe - Syntheseverfahren]

Kurzbeschreibung

Bei der Methanolsynthese reagiert Wasserstoff mit CO₂ zu Methanol (CH₃O). Der energiereiche Energieträger liegt bei Raumtemperatur flüssig vor und kann in Reinform oder als Additiv im Fahrzeug eingesetzt werden. Zur Synthese wird dem Wasserstoff entweder CO₂ oder ein CO₂-haltiges Synthesegas zugeführt.

Vorteile und Ziele der Technologie

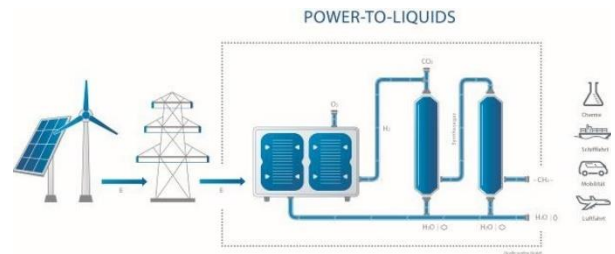
Methanol ist ein flüssiger Energieträger und kann besonders im Verkehr zu fossilen Kraftstoffen beigemischt werden. Hierdurch wirkt das Potenzial des Kraftstoffes nicht erst bei Neuzulassungen, sondern bereits schon bei Bestandsfahrzeugen. Außerdem ist Methanol in der chemischen Industrie ein weit verbreiteter Rohstoff.

Hemmnisse der Einführung

Bei jedem Wandlungsschritt treten Umwandlungsverluste auf. Daher ist aus Effizienzsicht eine direkte Wasserstoffnutzung dem Methanoleinsatz vorzuziehen. Durch die Einbindung der Synthese ins Gesamtsystem (u.a. Abwärmennutzung) kann jedoch der Systemnutzungsgrad erhöht werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2018	2025	2025>	



Bildquelle: © sunfire GmbH, Dresden (CC BY-ND 2.0)

Konkurrierende Technologien

direkte Wasserstoffnutzung
alternative Syntheseverfahren Methan (T098), Fischer Tropsch (T099), DME / OME (T100) etc.

Einsatzbereich

alternativer Antriebe; Grundstoff in der Chemie;

Leistungsparameter

Synthese-Wirkungsgrad 60 - 80%
Reaktorleistungen im Bereich t/a bis Mt/a

Zuordnung zu Kompetenzen

Maschinen- und Anlagenbau; Verfahrenstechnik;
Materialwissenschaft; Chemie; Montage

Schlagworte

Synthese
Sektorkopplung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Peter Viebahn u.a., (Hrsg.), Technologien für die Energiewende Technologiebericht - Band 2, 2018.

Methansynthese

[T098; Synthetische Kraftstoffe - Syntheseverfahren]

Kurzbeschreibung

Bei der Methansynthese reagiert Wasserstoff mit CO₂ zu Methan (CH₄). Das energiereiche Gas ist identisch mit und daher ein Austauschgas für fossiles Erdgas. Als technisch erprobte Syntheseverfahren sind die biologische und die katalytische Methanisierung bekannt. Bei der biologischen Kathalyse wird eine Biogasanlage mit einem Bioreaktor ergänzt. Die thermochemische Methanisierung findet im Festbett-, Wirbelschicht- oder Drei-Phasen-Reaktor statt. Es wird direkt CO₂ oder ein CO₂ haltiges Synthesegas zugeführt.

Vorteile und Ziele der Technologie

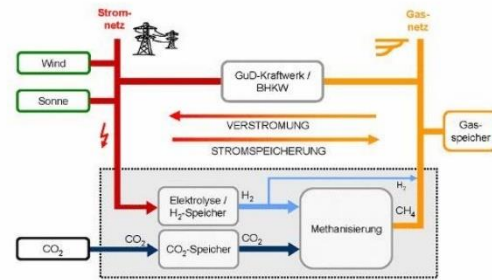
Da Methan ein Austauschgas zu fossilem Erdgas ist, kann die vorhandenen Erdgasinfrastruktur unverändert übernommen werden. Zudem bestehen vielfältige Einsatzmöglichkeiten im Wärmemarkt, dem Verkehr, der Stromversorgung oder der chemischen Industrie.

Hemmnisse der Einführung

Bei jedem Wandlungsschritt treten Umwandlungsverluste auf. Daher ist aus Effizienzicht eine direkte Wasserstoffnutzung der Methanisierung vorzuziehen. Durch die Einbindung der Methanisierung ins Gesamtsystem (u.a. Abwärmenutzung) kann jedoch der Systemnutzungsgrad erhöht werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2025	2025>



Bildquelle: © ZSW

Konkurrierende Technologien

direkte Wasserstoffnutzung
alternative Syntheseverfahren Methanol (T097), Fischer Tropsch (T099), DME / OME (T100) etc.

Einsatzbereich

alternativer Antrieb; saisonale Stromspeicherung;
Grundstoff in der Chemie; Wärmeversorgung

Leistungsparameter

Synthese-Wirkungsgrad 70 - 85%
heute realisiert: dezentral im niedrigen MW Bereich
zukünftig: auch zentral im Multi-MW-Bereich erwartet
Auf Grund modularer Bauweise zukünftig eine Anlagenvergrößerung möglich

Zuordnung zu Kompetenzen

Maschinen- und Anlagenbau; Materialwissenschaft;
Chemie; Verfahrenstechnik; Montage

Schlagworte

Kraftstoff
Synthese
Sektorkopplung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Peter Viebahn u.a., (Hrsg.), Technologien für die Energiewende Technologiebericht - Band 2, 2018.

Fischer-Tropsch-Verfahren (Benzin, Diesel, Kerosin)

[T099; Synthetische Kraftstoffe - Syntheseverfahren]

Kurzbeschreibung

Die direkte Hydrierung von CO₂ mit Wasserstoff im Fischer-Tropsch-Verfahren zur Herstellung flüssiger Kraftstoffsubstitute (Benzin, Diesel, Kerosin) befindet sich im Gegensatz zur groß angelegten Fischer-Tropsch-Synthese aus Synthesegas noch in der Entwicklung. Ein Forschungsschwerpunkt ist die Realisierung kleinerer Anlagengrößen zur dezentralen Kraftstoffherzeugung. Vielversprechende Ansätze werden derzeit in den Markt eingeführt.

Vorteile und Ziele der Technologie

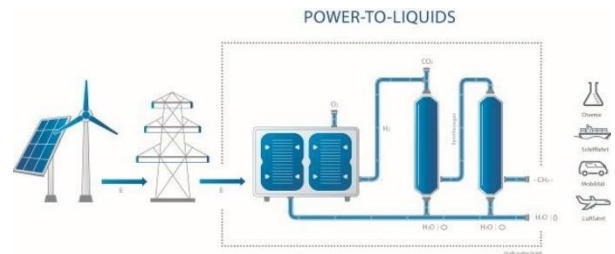
Der Energieträger aus dem Fischer-Tropsch-Verfahren hat große Ähnlichkeit zu bestehenden Treibstoffen. Hierdurch lässt sich ein Substitut für fossile Kraftstoffe, ohne Anpassung der bestehenden Infrastruktur (Distribution, Nutzung) erreichen. Damit können auch Fahrzeuge im Bestand und nicht nur Neuzulassungen erreicht werden.

Hemmnisse der Einführung

Bei jedem Wandlungsschritt treten Umwandlungsverluste auf. Daher ist aus Effizienzsicht eine direkte Wasserstoffnutzung der Kraftstoff-Synthese im Fischer-Tropsch-Verfahren vorzuziehen. Jedoch besteht die Möglichkeit, den Fahrzeugbestand bzw. Anwendungsfälle mit erforderlicher hoher Energiedichte (bspw. Flugverkehr) zu adressieren.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2018	2025	2025>



Bildquelle: © sunfire GmbH, Dresden (CC BY-ND 2.0)

Konkurrierende Technologien

direkte Wasserstoffnutzung
alternative Syntheseverfahren Methan (T098),
Methanol (T097), DME / OME (T100)

Einsatzbereich

alternativer Antrieb; Grundstoff in der Chemie

Leistungsparameter

Synthese-Wirkungsgrad 60 - 80%
Reaktorleistungen im Bereich t/a bis Mt/a

Zuordnung zu Kompetenzen

Maschinen- und Anlagenbau; Materialwissenschaft;
Chemie; Verfahrenstechnik; Montage

Schlagworte

Kraftstoff
Synthese
Sektorkopplung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Peter Viebahn u.a., (Hrsg.), Technologien für die Energiewende Technologiebericht - Band 2, 2018.

Dimethylether (DME) / Oxymethylether (OME)

[T100; Synthetische Kraftstoffe - Syntheseverfahren]

Kurzbeschreibung

Durch die Synthese von Methanol zu DME / OME können Ersatzkraftstoffe für Benzin und Diesel erzeugt werden. Die DME und OME Synthese ist im Ergebnis vergleichbar zum Fischer-Tropsch-Verfahren. Aktuell wird in mehreren Forschungsvorhaben die Herstellung und Nutzung von DME und OME weiter untersucht.

Vorteile und Ziele der Technologie

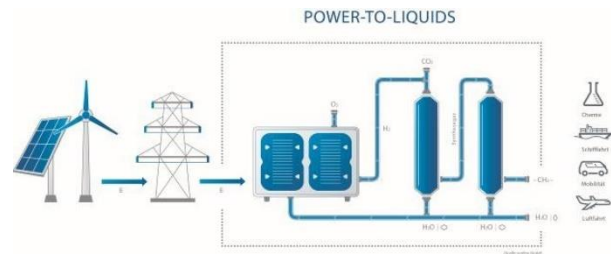
Der Energieträger aus der DME / OME Synthese hat große Ähnlichkeit zu bestehenden Treibstoffen. Hierdurch lässt sich ein Substitut für fossile Kraftstoffe, ohne Anpassung der bestehenden Infrastruktur (Distribution, Nutzung) erreichen.

Hemmnisse der Einführung

Bei jedem Wandlungsschritt treten Umwandlungsverluste auf. Daher ist aus Effizienz­sicht eine direkte Wasserstoffnutzung der Kraftstoff-Synthese vorzuziehen. Jedoch besteht die Möglichkeit, den Fahrzeugbestand bzw. Anwendungsfälle mit erforderlicher hoher Energiedichte (bspw. Flugverkehr) zu adressieren.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2018	2021	2030	2033	2035



Bildquelle: © sunfire GmbH, Dresden (CC BY-ND 2.0)

Konkurrierende Technologien

alternative Syntheseverfahren Methnaol (T097), Methan (T098), Fischer-Tropsch (T099) etc.
direkte Wasserstoffnutzung

Einsatzbereich

alternativer Antrieb; Grundstoff in der Chemie

Leistungsparameter

Synthese-Wirkungsgrad 60 - 80%
Reaktorleistungen im Bereich t/a --> Mt/a

Zuordnung zu Kompetenzen

Maschinen- und Anlagenbau; Verfahrenstechnik; Materialwissenschaft; Verfahrenstechnik; Chemie; Montage

Schlagworte

Kraftstoff
Synthese
Sektorkopplung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Peter Viebahn u.a., (Hrsg.), Technologien für die Energiewende Technologiebericht - Band 2, 2018.

Miniaturisierung

[T101; Radar]

Kurzbeschreibung

Die Miniaturisierung von Radarsensoren ermöglicht ihre unauffällige Integration in das Fahrzeug. Dadurch kann Design-Forderungen entgegen gekommen werden. Bei gleichzeitig gleichbleibenden bzw. reduzierten Kosten können zudem mehr Sensoren verbaut werden, um so ein dezentrales Radar-Sensornetzwerk zu etablieren. Ein bereits realisiertes Projekt ist ein Radar-Frontend (der komplette Analogteil des Radars inklusive Antenne) in einem 5 x 5 Quadratmillimeter großen Gehäuse. Die Miniaturisierung wird durch die Integration des Radars inkl. der Antenne auf einem Halbleiter-Chip ermöglicht (Radar on a Chip). Erste Produkte sind bereits am Markt verfügbar, die Technologie wird aber stetig weiterentwickelt und v. a. für die automobilen Anforderungen besteht noch Optimierungspotential (Reichweite, Signal-Rausch-Verhältnis, Temperaturbeständigkeit).

Vorteile und Ziele der Technologie

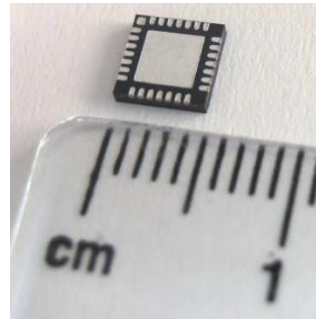
Obwohl der Radar Sensor sehr klein ist, bietet er bei der Erfassung der Umgebung eine Genauigkeit im einstelligen Millimeterbereich. Diese Sensoren können potenziell kostengünstig in Halbleiterfabriken hergestellt werden. Außerdem benötigen sie wenig Strom.

Hemmnisse der Einführung

Die Schwierigkeit besteht in der Integration der Antenne auf dem Chip. Die Antenne ist bei niedrigeren Systemen zu groß und muss daher extern verbaut werden. Je höher die Frequenzen, desto kürzer die Wellenlänge und desto kleiner kann die Antenne konzipiert werden. Durch die hohen Frequenzen eignet sich der Sensor nur für den Einsatz im Nahbereich; in Kombination mit dielektrischen Linsen erhöht sich die Reichweite aber bis zu ca. 100 m. Kosten und Verfügbarkeit für die Halbleitermaterialien sind ebenfalls zu beachten.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2019	2021	2024	2026	2027



Bildquelle: © Mike1024 [Public domain]

Konkurrierende Technologien

Konventionelle Radar-Systeme

Einsatzbereich

v. a. als Short-Range-Radar

Leistungsparameter

Für Frequenzen größer 100 GHz liegt die Messgenauigkeit im Bereich von 1 mm bei 50 m Entfernung. Weitere wichtige Parameter sind Bandbreite, Reichweite, Signal-Rausch-Verhältnis, Temperatur- und Vibrationsbeständigkeit

Weiterführende Informationen

Die Technologie geht mit hochfrequenten Systemen einher. Daher hängt sie eng mit der Technologie T171 (Radar im niedrigen THz-Bereich) zusammen. Die Firma Silicon Radar GmbH ist an vielen Forschungsprojekten zu der Miniaturisierung bzw. dem Radar-on-a-Chip beteiligt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Halbleitertechnik; Sensortechnik; Elektrotechnik

Schlagworte

Radar-on-a-Chip
Antenna-on-a-Chip
automatisiertes Fahren

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Beer u. a., Integrated 122-GHz Antenna on a Flexible Polyimide Substrate With Flip Chip Interconnect, 2013; Universität Paderborn, Miniaturisierter Radarsensor für autonome Fluggeräte, 2019.

79 GHz-Radar

[T170; Radar]

Kurzbeschreibung

79 GHz-Radar-Systeme nutzen wie die Konkurrenztechnologien, 24 GHz und 77 GHz, das FMCW-Verfahren, um mittels Frequenzmustervergleich des emittierten und reflektierten Signals, Richtung, Entfernung und relative Geschwindigkeit der Objekte in der Umgebung zu bestimmen. Anders als die Konkurrenten steht der 79 GHz-Technologie ein breites Frequenzband von 4 GHz (77-81 GHz) zur Verfügung. Dadurch kann das Frequenzmuster des gesendeten Signals stärker variiert werden als bei konkurrierenden Systemen. Die Auflösung verbessert sich dadurch deutlich.

Vorteile und Ziele der Technologie

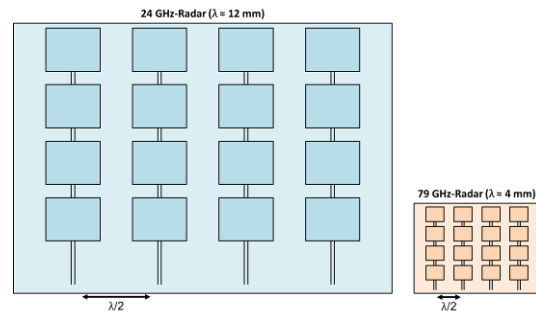
Den konkurrierenden Technologien 24 GHz und 77 GHz sind durch Regulierungen von (inter-) nationalen Behörden nur schmale Frequenzbänder von 0,2 GHz, respektive 1 GHz zugänglich (Details unter: „Weiterführende Informationen“). Dadurch ergibt sich für die 79 GHz-Technologie eine bessere Genauigkeit und eine bessere radiale Auflösung (Trennfähigkeit, d.h. die Eigenschaft Objekte die nahe beieinander stehen unterscheiden zu können). Die Geschwindigkeitsmessung ist deutlich besser als bei 24 GHz Systemen, aber ähnlich wie bei 77 GHz. Im Gegensatz zu 24 GHz-Radar-Systemen können 79 GHz Radar-Systeme kompakter gebaut werden, da die Antennen bei höherer Frequenz und somit kleineren Wellenlängen kleiner sind (Faktor x3).

Hemmnisse der Einführung

Wegen der großen Bandbreite wird mehr Rechenleistung benötigt, um das reflektierte Signal auszuwerten als bei Technologien mit schmälere Frequenzbändern. Der Radarchip besteht heute noch meist aus teurem SiGe (Anteil von 30% an den Herstellungskosten). Durch den Einsatz von CMOS können die Kosten erheblich gesenkt werden. Außerdem sind höhere Sendeleistungen möglich. Bereits in ca. 10 Jahren wird CMOS SiGe als Hauptmaterial abgelöst haben.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2021	2022



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

24 GHz-Radar

77 GHz-Radar (weniger konkurrierend, da 77 GHz v. a. für den Fernbereich eingesetzt werden)

Einsatzbereich

Umfelderfassung in naher und mittlerer Entfernung (<100 m, 90-130°)

Leistungsparameter

Da die Frequenzbandbreite 20x größer ist als bei 24 GHz-Systemen, verbessert sich auch die Genauigkeit und die radiale Auflösung ebenfalls um den Faktor 20 (d. h. auf 4 cm statt 75 cm). Die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessung korreliert proportional mit der Wellenlänge und damit der Frequenz. Somit ist dieser Parameter bei 79 GHz-Systemen um den Faktor 3 besser als bei 24 GHz. Weitere wichtige Größen sind die Reichweite und der Öffnungswinkel.

Weiterführende Informationen

In Europa und den USA wird der Betrieb des 24 GHz-Radars im UWB-Bereich (21,65-26,65 GHz) ab 2022 verboten. Anschließend ist nur noch der Betrieb im schmälere Frequenzband 24,05-24,25 GHz erlaubt. Da die Wellenlänge bei 79 GHz bei ca. 4 mm liegt, zählt die Technologie zu den mmWave-Radar Systemen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Hochfrequenztechnik; Signalverarbeitung; Sensortechnik; Elektrotechnik

Schlagworte

mmWave
automatisiertes Fahren
ADAS

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Ramasubramanian u. a., Moving from legacy 24 GHz to state-of-the-art 77 GHz radar, 2017; Sturm u. a., 79 GHz automotive radar and its opportunities for frequency and bandwidth agile operation, 2017.

Radar im niedrigen THz-Bereich

[T171; Radar]

Kurzbeschreibung

Heutige Radar-Systeme operieren bei Frequenzen von 24 GHz, 77 GHz oder (in Zukunft) 79 GHz. Seit einigen Jahren zeichnet sich eine Entwicklung hin zu Frequenzen >100 GHz ab (ca. 150-600 GHz). Ab 100 GHz (0,1 THz) spricht man von Radar-Systemen im niedrigen THz-Bereich.

Vorteile und Ziele der Technologie

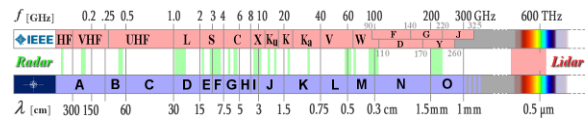
Die Nutzung höherer Frequenzen ermöglicht eine größere Frequenzbandbreite und damit eine bessere Entfernungsauflösung (Trennfähigkeit). Des Weiteren können deutlich kleinere Systeme gebaut werden, da die Antennengröße umgekehrt proportional zu der Frequenz ist. Weitere Vorteile sind eine erhöhte Empfindlichkeit für Oberflächenstrukturen und ein besseres Reflexionsverhalten als bei Systemen mit geringeren Frequenzen. Durch die höhere Frequenz wird die Auswertung von Mikrodoppler-Signaturen verbessert. Dies bietet Vorteile bei der Klassifikation u.a. von Fußgängern. Bei hohen Frequenzen (>0,25 THz) sind die Wellenlängen so klein, dass kontrastreiche und höchstauflösende Aufnahmen nahe der optischen Qualität möglich werden.

Hemmnisse der Einführung

Die Dämpfung von elektromagnetischen Wellen durch Verunreinigungen auf dem Sensorelement steigt mit der Frequenz. Mit der reduzierten Systemgröße geht auch eine Abnahme der effektiven Fläche einher. Daher werden höhere Leistungen benötigt, um dieselbe Reichweite wie konkurrierende Technologien zu erreichen. Ein weiteres Hemmnis sind fehlende Integrationstechnologien. So gibt es bei 122 GHz MMICs mit integrierter Antenne. Allerdings ist es bis dato nicht möglich, die Performance wie bei 77 GHz und insbesondere komplexe Antennenkonfigurationen zu erreichen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2019	2025			2032



Bildquelle: © Wolff, Radartutorial.eu

Konkurrierende Technologien

24 GHz-Radar
77 GHz-Radar
79 GHz-Radar (T170)

Einsatzbereich

Mittel- bis Langfristig: Radar-Sensor im Fahrzeug für die Erfassung der Umgebung. Kurzfristig: Detaillierte Erfassung der Straßen- und Infrastrukturbeschaffenheit (inkl. kleiner Risse etc.) für HD-Maps.

Leistungsparameter

Dämpfungsverhalten, Reflexionsfähigkeit, Auflösung, Öffnungswinkel, Reichweite und Kosten sind u.a. wichtige Kenngrößen für die Durchsetzung gegenüber existierenden Technologien.

Weiterführende Informationen

Abseits des Automobils wird die Technologie bereits in der Qualitätskontrolle von Lebensmitteln und Körperscannern eingesetzt. Das EU-Projekt Car2TERA beschäftigt sich u.a. mit dieser Technologie. Die Einführung dieser Systeme setzt eine vorangehende Frequenzzulassung bei der ITU voraus – diese kann in der Regel mehrere Jahre dauern.

Zuordnung zu Kompetenzen

Hochfrequenztechnik; Signalverarbeitung;
Halbleitertechnik; Sensortechnik; Elektrotechnik

Schlagworte

ADAS
Bildgebung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fraunhofer FHR, 300-GHz SAR measurements of streets and facades, 2019; Fraunhofer FHR, High-Resolution 240-GHz Radar with SiGe Chip, 2019; Jasteh u. a., THz sensing in front of Vehicle (Ground Profiling), 2015; Marchetti u. a., Comparison of pedestrian reflectivities at 24 and 300 GHz, 2017; Norouzi u. a., Next Generation, Low-THz Automotive Radar – the potential for frequencies above 100 GHz, 2019; Vizard u. a., Portable low THz imaging radars for automotive applications, 2015.

Sensorfusion

[T103; Radar, LiDAR, Kamera, Ultraschall]

Kurzbeschreibung

Für das autonome Fahren kommen unterschiedliche Sensoren wie Radar, Kamera, LiDAR oder Ultraschall zum Einsatz. Erst die Kombination der Informationen aller Sensoren bietet die Grundlage für das autonome Fahren. Dieses Zusammenwirken der unterschiedlichen Sensoren wird als Sensorfusion bezeichnet. Sensorfusion umfasst aber nicht nur die Sensordaten, sondern auch die Integration von Daten aus der Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern (V2X) sowie von Navigations- bzw. Kartendaten. Bevor eine Fahränderung vorgenommen wird, wird auf Basis der fusionierten Daten geprüft, ob mehrere unabhängige Sensoren dieselbe Information liefern. Die redundante Wahrnehmung ist eine Anforderung der funktionalen Sicherheitsstufe ASIL D.

Vorteile und Ziele der Technologie

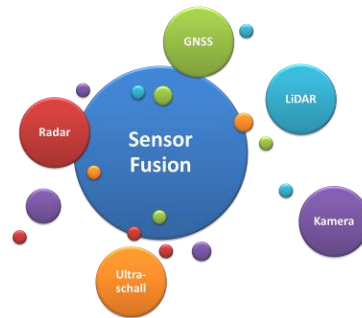
Da die jeweiligen Sensortechnologien unterschiedliche Vor- und Nachteile besitzen, kann durch die Fusion der Sensordaten ein viel besseres Bild der gesamten Umgebung (Nah vs. Fern, Nacht vs. Tag, Sonne vs. Schnee etc.) erstellt werden, als dies mit nur einem Sensortyp möglich wäre. Außerdem erhöht die doppelte Prüfung der Daten die Sicherheit enorm, da Fehlentscheidungen vermieden werden. Die Sensorfusion ist daher elementarer Bestandteil für die Umsetzung des hoch automatisierten bzw. autonomen Fahrens.

Hemmnisse der Einführung

Die Sensoren generieren zum Einen verschiedene Datentypen und zum Anderen eine enorme Datenflut (ca. 450 GB/h). Bei der zentralen Auswertung der Daten bestehend daher erhebliche Anforderungen an die Rechenleistung – u. a. auch damit die doppelte Prüfung der Daten möglichst schnell abläuft. Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen sind daher wichtige Bestandteile der Sensorfusion. Die Rechenleistung benötigt allerdings sehr viel Strom, der wiederum die Reichweite elektrischer Fahrzeuge beeinflusst.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2019	2021	2023	2024	2024



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

Alternativ könnte nur ein einziger Sensortyp genutzt werden. Dies ist aber nicht zu empfehlen, da nicht genügend Daten erfasst werden könnten.

Einsatzbereich

Automatisiertes und autonomes Fahren
(min. ab SAE-Level 3).

Leistungsparameter

Wichtige Kenngrößen: KI Performanz, GPU, CPU, Deep Learning Beschleuniger, Stromverbrauch, Speicherkapazität und -geschwindigkeit

Weiterführende Informationen

Die Experten waren sich in der zeitlichen Entwicklung sehr uneinig. Während die einen MRL10 bereits heute sehen, datieren es andere auf nach 2030. Heutige Ansätze der Fusion vereinigen 2-3 Sensoren. Die Integration weiterer Sensoren, v.a. LiDAR, steht aber noch aus. Eine alle eingesetzten Sensoren umfassende und energieeffiziente Lösung benötigt weiteren Entwicklungsbedarf. Die zeitliche Entwicklung wurde über alle Expertenaussagen hinweg ermittelt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Softwareentwicklung; Künstliche Intelligenz; Datenmanagement; da keine Investitionen in Produktionskapazitäten notwendig sind, sondern die Softwareentwicklung im Vordergrund steht, können KMUs hier gut partizipieren.

Schlagworte

Maschinelles Lernen
automatisiertes Fahren

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; NVIDIA, NVIDIA DRIVE AGX Developer Kit, 2019; Schoettle, Sensor Fusion: A Comparison of Sensing Capabilities of Human Drivers and Highly Automated Vehicles, 2017; Winner, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2012.

OFDM RadCom

[T104; Radar, Langstreckenkommunikation]

Kurzbeschreibung

Sowohl die 5G-Kommunikation als auch Radarsysteme können mit OFDM-Wellenformen (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) betrieben werden. OFDM ist ein Verfahren zur digitalen Datenübertragung. Dabei wird ein Datenstrom über eine große Anzahl von schmalen Frequenzträgern innerhalb eines Frequenzbereichs verteilt. OFDM ist ein sehr robustes Verfahren zur Datenübertragung, da nur einzelne Frequenzen betroffen sind, wenn das Spektrum gestört wird. OFDM ist bereits für 4G und 5G etabliert, aber für das Gebiet der Radartechnologie eher neu. Durch die Implementierung von MIMO (Multiple Input Multiple Output) wird das Radar-System als Multi-Sender-Empfänger-Antennenanordnung konzipiert, die jeweils unabhängige Wellenformen sendet und empfängt. Dies ermöglicht die Strahlformung des Signals. MIMO OFDM erlaubt die Verknüpfung der Funktionen „Radar“ und „4G/5G“, da beide die gleiche Bandbreite nutzen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die spektrale Effizienz wird durch gemeinsame Nutzung des gleichen Spektrums erhöht. Da die Radar- und Kommunikationseinheit mit der gleichen Radiofrequenz-Hardware arbeiten können, kann die Energieeffizienz bei gleichzeitiger Senkung der Herstellungskosten gesteigert werden. Mit den Systemen würde eine direkte Datenübertragung von großen Datenpaketen (mehrere GB) zwischen zwei Fahrzeugen möglich.

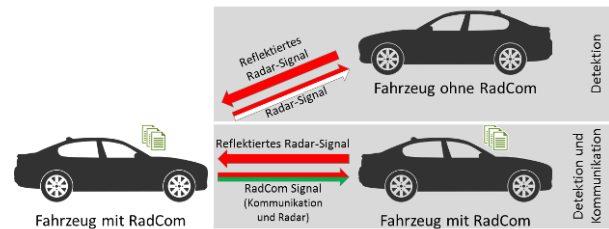
Hemmnisse der Einführung

Ein „reines“ Radar-System besitzt eine bessere Performanz als RadCom-Systeme (u. a. hinsichtlich Signal-Rausch-Verhältnis, Auflösungs- und Trennfähigkeit) und andere Modulationsverfahren liefern bei geringerem Hardwareaufwand eine bessere/gleiche Leistung. Die Verwendung von mehreren RadCom Systemen kann zu Störungen führen. V. a. werden bestehende „reine“ FMCW Radar-Systeme beeinträchtigt, da sie mit den ständig emittierenden RadCom Systemen interferieren.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2019	2021	2024	2027	2030

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Huang u. a., Constant envelope OFDM RadCom fusion system, 2018; Sit u. a., Extension of the OFDM joint radar-communication system for a multipath, multiuser scenario, 2011; Kong u. a., Joint Range-Doppler-Angle Estimation for OFDM-Based RadCom System via Tensor Decomposition, 2018; Gameiro u. a., Research Challenges, Trends and Applications for Future Joint Radar Communications Systems, 2018.



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

„reine“ Radar-System
„reine“ Kommunikationssysteme
FMCW Radar

Einsatzbereich

Zur Umfelderkennung und gleichzeitigen Datenkommunikation.

Weiterführende Informationen

OFDM wird v. a. durch die Fortschritte bei der Halbleiterintegration gefördert. Die Kosten für ein RadCom werden auch in Zukunft höher liegen als für ein „reines“ Radar-System, die Differenz wird sich aber verringern. Für die erfolgreiche Implementierung muss ein neuer, weltweit definierter Frequenzbereich festgelegt werden, um Interferenzen zu vermeiden. Heute genutzte Frequenzbereiche für Radar-Systeme sind ausschließlich für die Ortung gedacht und schließen bisher die Radiokommunikation aus.

Zuordnung zu Kompetenzen

Hochfrequenztechnik; Signalverarbeitung; Halbleitertechnik; Sensortechnik; Während ein Experte die Entwicklung eher in den Händen von großen Chip-Herstellern wie INTEL oder Samsung sieht, glaubt ein anderer, dass zunächst KMUs in dieser Nische erstarken können – bei erfolgreicher Marktentwicklung würden dieser aber von großen Herstellern übernommen.

Schlagworte

Radar
Kommunikation
Integration

Spinning LiDAR

[T105; LiDAR - Bildgebung]

Kurzbeschreibung

Spinning-LiDAR Systeme ermöglichen ein 360° horizontales Field of View (FoV) indem mehrere Emitter-Detektor-Paare übereinander in Form einer Säule angebracht und anschließend um die eigene Achse gedreht werden. Dabei tastet ein kollimierter Laserstrahl Punkt für Punkt die Umgebung im Time-of-Flight Verfahren ab, woraus ein 3D-Pixel-Netz erstellt wird. Velodyne, der Pionier auf dem Gebiet der Spinning LiDAR, bietet Systeme mit bis zu 128 gestapelten Laser-Einheiten an. Je mehr Einheiten übereinander angebracht werden, desto größer ist das vertikale FoV. Das Spinning LiDAR ist vor allem bekannt aus der Nutzung durch die ersten automatisierten Testfahrzeuge von Google/Waymo.

Vorteile und Ziele der Technologie

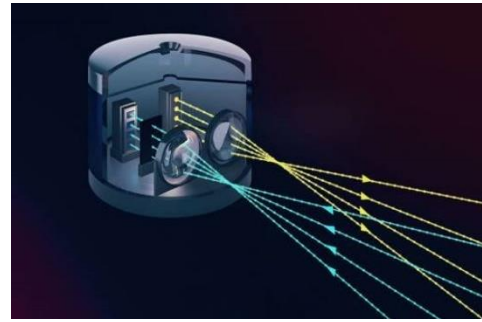
Durch die scannende Bewegung des Lasers, können höhere Ausgangsleistungen in der Lichtquelle eingesetzt werden, ohne das menschliche Auge zu gefährden, als bei bspw. Flash-LiDAR. Dadurch kann die Reichweite, sowie die Auflösung erhöht werden. Im Gegensatz zu den anderen LiDAR-Systemen, bietet dieses als einziges die Möglichkeit einer 360°-Rundumsicht (horizontales FoV). Es entstehen sehr detaillierte 3D-Bilder der Umgebung.

Hemmnisse der Einführung

Nachteile sind u.a. die sehr hohen Kosten und die sperrige Formgebung. Aufgrund der Komplexität des Systems wird es schwierig sein, die Produktionskosten zu senken. Darüber hinaus müssen die beweglichen Teile nach Ansicht mehrerer Experten regelmäßig gewartet (kalibriert) werden. Fahrzeugvibrationen haben einen negativen Einfluss auf die Lebensdauer der Spinning LiDAR. Gegenüber von Solid State LiDAR ist die Scan-Geschwindigkeit dieser Systeme aufgrund des größeren Trägheitsmoments der beweglichen Teile langsamer.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2019	2020



Bildquelle: © SCHOTT

Konkurrierende Technologien

MEMS LiDAR (T106)
OPA LiDAR (T107)
Flash LiDAR (T108, nur Short-Range)
LCM LiDAR (T168)

Einsatzbereich

Als Long-Range-LiDAR zur detaillierten Erfassung der fernen Umgebung mit großem Field of View.

Leistungsparameter

Z.B. Velodyne HDL-64E (Herstellerangaben):
FoV: 360x27° (HxV)
Winkelauflösung: 0,08° (H) und 0,4° (V)
Reichweite: 100-120m
Scan-Rate: 1,3 Mio. Punkte/sec
Preis: 75.000 US-\$

Weiterführende Informationen

Velodyne und Quanergy bieten 360° Spinning LiDAR an, während IBEO bspw. ein System mit 145° am Markt bereitstellt. Robosense ist ein chinesischer Player im LiDAR Markt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; Die Fertigung wird eher von Herstellern mit hoher Produktionskapazität übernommen werden.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Schoettle, Sensor Fusion: A Comparison of Sensing Capabilities of Human Drivers and Highly Automated Vehicles, 2017; Thakur, Scanning LiDAR in Advanced Driver Assistance Systems and Beyond, 2016.

MEMS LiDAR

[T106; LiDAR - Bildgebung]

Kurzbeschreibung

MEMS-LiDAR nutzen Millimeter-kleine Spiegel auf Halbleiterbasis, um einen Laserstrahl in verschiedene Richtungen zu lenken. Das kleine Trägheitsmoment erlaubt eine sehr schnelle Bewegung des Spiegels wodurch das gesamte Field of View gescannt wird.

Vorteile und Ziele der Technologie

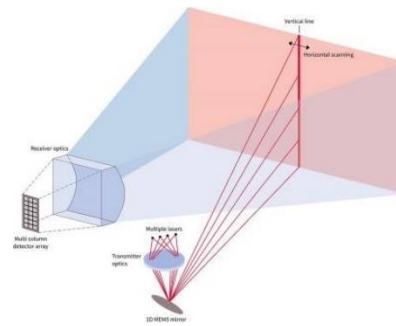
Ein Vorteil gegenüber Spinning LiDAR-Systemen ist, dass das Scan-Muster dynamisch angepasst werden kann, um so auf POIs (Points of Interest) zu fokussieren. Ein anderer Vorteil ist die kompakte Bauweise und die kostengünstigere Produktion aufgrund der weiten Verbreitung der MEMS-Technologie auf dem Massenmarkt.

Hemmnisse der Einführung

Im Gegensatz zu Solid State LiDAR-Systemen haben MEMS-LiDAR langsamere Scan-Zeiten und sind ebenso wie Spinning LiDAR anfällig für Fahrzeugvibrationen, welche sich negativ auf die Lebensdauer des Sensors auswirken können. Die optische Apertur (Öffnungswinkel) ist bedingt durch die MEMS-Spiegel kleiner als bei Konkurrenzsystemen. Da in MEMS Systemen die Spiegel sowohl für das Emittieren als auch das Detektieren des Lichts benötigt werden, ist das System bei sehr nahen Objekten überfordert (da das reflektierte Licht zu schnell zurückkehrt).

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2020	2020	2022



Bildquelle: © Infineon

Konkurrierende Technologien

Spinning Lidar (T105)
OPA LiDAR (T107)
Flash LiDAR (T108, nur Short-Range)
LCM LiDAR (T168)

Einsatzbereich

MEMS-LiDAR dienen für die Umfelderkennung im Fernbereich.

Leistungsparameter

Z.B. InnovizPro (Herstellerangaben):
FoV: 73x20° (HxV)
Winkelauflösung: 0,2° (H) und 0,45° (V)
Reichweite: 150m
Scan-Rate: 20 Bilder/sec
Preis: ca. 5.000 US-\$

Weiterführende Informationen

Mit u.a. Innoviz, Valeo, LeddarTech, Luminar und Robosense sind bereits einige Player auf dem Markt für automotive MEMS LiDAR Systeme.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; Die Fertigung wird voraussichtlich eher von Herstellern mit hoher Produktionskapazität übernommen.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Draper u. a., Holography for automotive applications, 2018; Thakur, Scanning LIDAR in Advanced Driver Assistance Systems and Beyond, 2016; Yoo u. a., MEMS-based lidar for autonomous driving, 2018.

OPA LiDAR

[T107; LiDAR - Bildgebung]

Kurzbeschreibung

Optical Phased Array LiDAR Systeme sind mit Phased-Array-Radar Systemen vergleichbar und arbeiten mit optischen Phasenmodulatoren, die die Geschwindigkeit des Laserlichts steuern. Wenn die Laser-Emitter alle synchron arbeiten, zeigt der resultierende Laserstrahl geradeaus, sind die Phasen der Emitter verschieden, wird der Strahl in einer Dimension entsprechend abgelenkt. Eine Gitteranordnung (Waveguide), die wie ein Prisma funktioniert, ändert die Richtung des Lichts basierend auf dessen Frequenz und erlaubt dadurch die Strahllenkung in der zweiten Dimension. Dasselbe Funktionsprinzip fokussiert das zurückkehrende Licht auf den Detektor.

Vorteile und Ziele der Technologie

Der große Vorteil ist, dass dieses System tatsächlich keine beweglichen Elemente mehr hat (Solid State) und damit sehr robust ist. Aus Anwendersicht ist dies äußerst gewünscht. Außerdem werden so Scan-Geschwindigkeiten über 100kHz ermöglicht. Die Größe der Systeme ist ebenfalls deutlich kleiner als bei Spinning LiDAR und eher vergleichbar mit einem Flash- bzw. MEMS-LiDAR.

Hemmnisse der Einführung

Ein Nachteil ist die bisher schwierige Fertigung der Systeme (exakte Anordnung der optischen Elemente auf dem Chip). Fortschritte der Silizium-Photonik bzgl. der Fertigung auf gewöhnlichen CMOS Fabriken (300mm Wafern) könnten die Herstellung vereinfachen. In OPA Technologie entstehen Lichtverluste u.a. an den Waveguides, wodurch sich die Gesamteffizienz des Systems verringert.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2022	2022	2025



Bildquelle: © Daniel L. Lu [CC BY 4.0, Wikipedia]

Konkurrierende Technologien

Spinning Lidar (T105)
MEMS LiDAR (T106)
Flash LiDAR (T108, nur Short-Range)
LCM LiDAR (T168)

Einsatzbereich

Das OPA-LiDAR soll als Long-Range-LiDAR eingesetzt werden. Daher konkurriert es vorwiegend mit Spinning- und MEMS-LiDAR. Der Einsatz im Nahbereich ist aber ebenfalls möglich.

Leistungsparameter

Z.B. Quanergy S3 (Herstellerangaben):
FoV: 120x120° (HxV)
Winkelauflösung: 0,05° (H)
Reichweite: 150m
Scan-Rate: ?
Preis: ca. 250 US-\$

Weiterführende Informationen

Quanergy und Robosense arbeiten an OPA LiDAR Systemen. Das Projekt „Optical Phased Array LiDAR (OPALID)“ wird vom BMBF bis 2021 finanziert.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; Die Fertigung wird eher von Herstellern mit hoher Produktionskapazität übernommen werden.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Draper u. a., Holography for automotive applications, 2018; Khader/Cherian, An Introduction to Automotive LiDAR, 2018; Thakur, Scanning LiDAR in Advanced Driver Assistance Systems and Beyond, 2016.

Flash LiDAR

[T108; LiDAR - Bildgebung]

Kurzbeschreibung

Anders als die anderen Ansätze für LiDAR Systeme verzichtet das Flash LiDAR darauf, das Field of View (FoV) mit einem Laserstrahl sequentiell abzutasten (scannen), sondern arbeitet eher wie eine Kamera: Ein Laserpuls wird von der Optik (Diffusor & Linse) so gestreut, dass er die gesamte Szene (bedingt durch das FoV) auf einmal beleuchtet. Das reflektierte Licht wird von einem Sensor-Array detektiert.

Vorteile und Ziele der Technologie

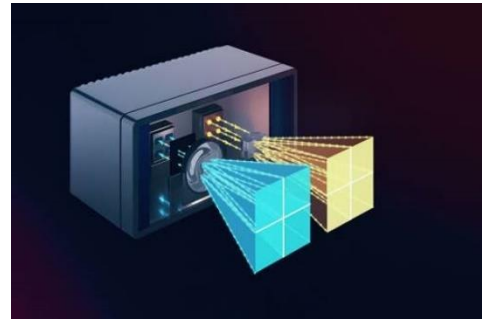
Dieser Ansatz arbeitet schneller als scannende Systeme und umgeht die Komplexität von Scanning-LiDAR-Systemen. Dabei muss das „Bild“ nicht wie bei Scanning Systemen aus einzelnen Punkten zusammengesetzt werden. Das optische System, bestehend aus einem Diffusor und einer Linse, ist kostengünstig und einfach mit verschiedenen Öffnungswinkeln herstellbar (Skaleneffekte). Es gehört wie das OPA-LiDAR zu den Solid State Systemen. Aus Anwendersicht sind Solid State Systeme äußerst gewünscht.

Hemmnisse der Einführung

Im Gegensatz zu abtastenden LiDAR-Systemen, wird der Laser durch den Diffusor aufgefächert und nicht auf einen einzelnen Punkt fokussiert. D.h. die Ausgangsenergie auf einer Fläche verteilt, wodurch sich die Reichweite deutlich verschlechtert. Flash-LiDAR Systeme werden daher v.a. als Short-Range-LiDAR eingesetzt. Die Umfelderkennung durch Flash-LiDAR-Systeme wird durch Schlechtwetter beeinträchtigt. Hier könnte der Einsatz von 1550nm-Lasern eine geeignete Maßnahme sein. Auf Seiten des Detektor-Arrays besteht ein Trade-off zwischen möglichst großen Pixeln (besseres Signal-Rausch-Verhältnis) und möglichst vielen Sensor-Elementen (bessere Auflösung). Im Vergleich zu Spinning LiDAR Systemen ist das Field of View signifikant kleiner.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2019	2022	2023



Bildquelle: © SCHOTT

Konkurrierende Technologien

Spinning Lidar (T105) LCM LiDAR (T168)
MEMS LiDAR (T106) OPA LiDAR (T107)

Einsatzbereich

Aufgrund der geringeren Reichweite werden Flash-LiDAR v.a. für die Nahfelderfassung eingesetzt.

Leistungsparameter

Z.B. Conti 3D Flash (Herstellerangaben):
FoV: 120x120° (HxV)
Winkelauflösung: ?
Reichweite: 30m
Scan-Rate: 30 Bilder/sec
Preis: ?

Weiterführende Informationen

In Deutschland sind Continental und Bosch führend bei der Entwicklung von Flash-LiDAR Systemen. Laser mit hoher Ausgangsleistung können Beiträge zur Verbesserung der Technologie liefern.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; Die Fertigung wird eher von Herstellern mit hoher Produktionskapazität übernommen werden.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Khader/Cherian, An Introduction to Automotive LiDAR, 2018.

LCM LiDAR

[T168; LiDAR - Bildgebung]

Kurzbeschreibung

Neben den OPA LiDAR Systemen sind LCM LiDAR Systeme die einzigen Scanning LiDAR Systeme die einzigen bewegliche Elemente. Sie setzen wie auch OPA auf die Phasenverschiebung. Die Erzeugung der Verschiebung unterscheidet sich allerdings: Es wird ein Metamaterial aus Flüssigkristallen (LCM, Liquid Crystal Metasurface) verwendet, welches aus einzelnen adressierbaren Bereichen besteht (analog zu Pixeln in einem LCD-TV). Je nach Einstellung eines „Pixels“ (anlegen einer bestimmten Spannung am optischen Element) wird der eintreffende Laserstrahl aus einer Lichtquelle gegenüber anderen Pixeln verlangsamt. Dadurch entstehen Phasenverschiebungen, die durch Interferenz den Gesamtstrahl in die gewünschte Richtung lenken.

Vorteile und Ziele der Technologie

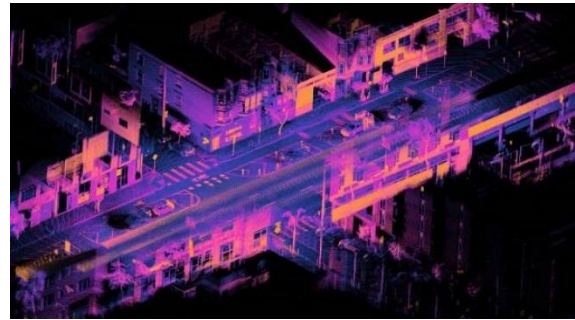
Ein LCM LiDAR zählt zu den Solid State Systemen, d.h. es besitzt keinerlei bewegliche Elemente. Das bisher einzige LCM LiDAR System (von Lumotiv) hat eine große optische Apertur (25x25mm²), so dass auch weit entfernt reflektiertes Licht noch eingefangen werden kann. Dies erleichtert den Einsatz von 905nm Licht. Da auf Emitter-Seite ein anderes LCM verwendet wird als für den Detektor können auch nah entfernte Objekte erkannt werden (kurz Signallaufzeit). Da die Fertigung in Standard 0,13µm-CMOS-Halbleitfabriken möglich ist (ähnlich wie bei LCOS Displays) ist die Technologie potentiell kostengünstig fertigbar. Die Abmessungen sind ähnlich klein wie von OPA LiDAR Systemen.

Hemmnisse der Einführung

Eine Schwierigkeit besteht in der Fertigung des Metamaterials bzw. der optischen Elemente („Pixel“), die kleiner sein müssen als die Wellenlänge des eingesetzten Lichts.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2019	2019>	



Bildquelle: © Daniel L. Lu [CC BY 4.0, Wikipedia]

Konkurrierende Technologien

Spinning Lidar (T105)
MEMS LiDAR (T106)
OPA LiDAR (T107)
Flash LiDAR (T108, nur Short-Range)

Einsatzbereich

Einsatz als Fern- und Nahbereichs LiDAR zur Umfelderkennung.

Leistungsparameter

z.B. Lumotiv (Herstellerangaben)
FoV: 120°x25° (HxV)
Winkelauflösung: 0,1° (H)
Reichweite: 200m
Scan-Rate: 20Hz
Preis: ?

Weiterführende Informationen

Bill Gates investierte in die Firma Lumotiv, ein Pionier der LCM LiDAR Technologie.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; Die Fertigung wird eher von Herstellern mit hoher Produktionskapazität übernommen werden.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Ross, Lumotive Says It's Got a Solid-State Lidar That Really Works, 2019; Akselrod, Optics for Automotive Lidar: Metasurface beam steering enables solid-state, high-performance lidar, 2019.

VCSEL

[T110; LiDAR - Emitter]

Kurzbeschreibung

Oberflächenemitter (Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers, VCSEL) basieren ebenso wie Laserdioden auf Halbleitersubstrat. Im Gegensatz zu kantenemittierenden Laserdioden, emittieren VCSELS den Lichtstrahl senkrecht zum aktiven Bereich des Lasers und nicht parallel dazu.

Vorteile und Ziele der Technologie

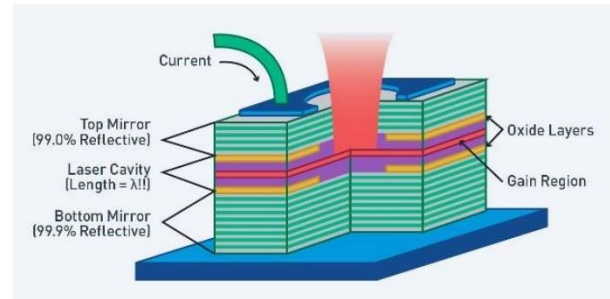
Dadurch wird die Produktion der VCSELS erleichtert, d.h. es können mehr Elemente pro Wafer produziert werden. Im Vergleich zu Laserdioden haben sie eine bessere Strahlqualität, bessere thermische Eigenschaften und lassen sich besser modulieren. Da die VCSELS auch in vielen anderen Consumer-Produkten eingesetzt werden, profitieren LiDAR-Systeme von Branchenübergreifenden Verbesserungen hinsichtlich Kosten, Energieeffizienz und vor allem höherer Leistung.

Hemmnisse der Einführung

Im Gegensatz zu Laserdioden haben sie dafür aber eine geringere Output-Leistung. Daher wird eine hohe Ausgangsleistung für den Einsatz in LiDAR-Systemen benötigt. Dabei muss besonders genau darauf geachtet werden, dass auch bei der hohen Ausgangsleistung noch die Augensicherheit gewährleistet ist (VCSEL Licht liegt größtenteils nahe des sichtbaren Lichts und ist somit bei hoher Leistung potentiell gefährlich für die Augen).

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2017	2017	2017>	



Bildquelle: © myvcSEL.com

Konkurrierende Technologien

Laserdioden
Faserlaser (T111)

Einsatzbereich

VCSEL erzeugen in LiDAR Systemen das benötigte Licht. In anderen Bereichen wird es für die 3D Gesichtserkennung oder kamerabasierter Abstandsmessung eingesetzt.

Leistungsparameter

Wichtige Parameter sind: Effizienz, Modulationsgeschwindigkeit, Strahlformung, Kosten, Güte der spektralen Eigenschaften (Spektralverschiebung und Linienbreite).

Weiterführende Informationen

Yole schätzt, dass sich das automotiv VCSEL-Marktvolumen von US-\$0 Mio. in 2017 auf US-\$46 Mio. in 2023 entwickelt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; Für KMUs bietet sich das optische Design und F&E an. Die Produktion erfolgt in Halbleiterfabriken und ist daher mit sehr hoher Investition verbunden.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Grabherr et al., New markets for VCSELS, 2007; Yole, VCSEL - Technology, Industry and Market Trends report, 2018.

Faserlaser

[T111; LiDAR - Emitter]

Kurzbeschreibung

Faserlaser werden derzeit v.a. in der Materialbearbeitung eingesetzt, da sie eine sehr viel höhere Leistung erbringen können als bspw. Diodenlaser. Inzwischen wird deren Anwendung aber auch im automobilen LiDAR-Bereich entwickelt (bspw. von der Firma Luminar).

Vorteile und Ziele der Technologie

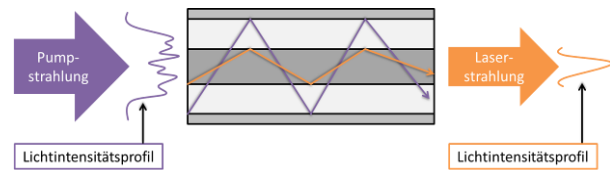
Vorzüge sind die erwähnte sehr hohe Output-Leistung, die eine höhere maximale Reichweite des Systems ermöglicht.

Hemmnisse der Einführung

Allerdings wird dementsprechend auch mehr Energie für den Betrieb benötigt. Die bisher großen Abmessungen und der hohe Preis sind weitere Nachteile der Faserlaser. Für den SWIR Bereich ($\lambda=1550\text{nm}$) wird Erbium als Verstärkermaterial im Faserkern eingesetzt. Erbium ist ein seltenes Erdelement.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2017	2017	2017>		



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

LiDAR mit Laserdioden
LiDAR mit VCSEL

Einsatzbereich

Faserlaser erzeugen in LiDAR Systemen das benötigte Licht.

Leistungsparameter

Durchmesser der Faser (je kleiner desto besser die Strahlqualität).

Weiterführende Informationen

Toyota war der erste Hersteller, der 2017 in einer Partnerschaft mit Luminar ein Fahrzeug mit Faserlaser-basiertem LiDAR testete. Ab 2022 rechnet IDTechEx mit einem stetig steigenden Marktvolumen für Faserlaser in LiDAR Systemen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; KMUs aus dem Bereich der Materialbearbeitung mit Laser könnten das nötige Know How haben. Bspw. ermöglicht die Entwicklung kleinerer Faserdurchmesser eine höhere Strahlqualität. Dies ist von LiDAR-Systemherstellern gewünscht.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Cochard et al., LiDAR Technologies for the Automotive Industry, 2018; Wijeyasinghe, Fiber Lasers 2018-2028: Technologies, Opportunities, Markets & Forecasts, 2018.

Single Photon Avalanche Diode für 1550nm

[T115; LiDAR - Detektor]

Kurzbeschreibung

Pin-Photodioden sind Halbleiterelemente, die auf Basis ihres inneren Photoeffekts Licht in elektrischen Strom wandeln können. Dadurch eignen sie sich, um bei eintreffenden Photonen ein elektrisches Signal auszulösen. Avalanche Photodioden (APD) nutzen denselben Effekt und zusätzlich den Lawineneffekt. Dabei aktiviert ein durch den Photoeffekt erzeugter Ladungsträger weitere Ladungsträger, wodurch ein stärkeres Signal entsteht als bei pin-Photodioden. Die Single Photon Avalanche Diode (SPAD) ist eine Sonderform der APDs und kann durch ein Photon bereits mehrere Millionen Elektronen auslösen. Je höher dieser Multiplikationsfaktor ist desto besser. SPADs werden bereits für 905nm Systeme eingesetzt (MRL10), 1550nm-geeignete SPADs auf Basis des Materials „InGaAs“ befinden sich in der Entwicklung.

Vorteile und Ziele der Technologie

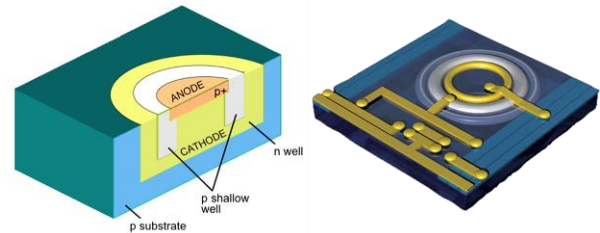
SPADs eignen sich für Zustände bei denen nur wenige Photonen reflektiert werden (wenig Ausgangsenergie, hohe Distanz, schlechtes Wetter). SPADs können als Halbleiterelemente direkt mit der Elektronik für die Auswertung vereint werden.

Hemmnisse der Einführung

Der aktive Bereich von SPADs ist klein und der dynamische Bereich begrenzt. Die Kosten für InGaAs sind hoch.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2019	2019>	



Bildquelle: © Edoardo Charbon, AQUA Lab, EPFL

Konkurrierende Technologien

PIN-Photodiode
Avalanche Photodiode
Silizium Photomultiplikator (T116)

Einsatzbereich

SPADs eignen sich für Zustände bei denen nur wenige Photonen reflektiert werden.

Leistungsparameter

Für LiDAR-Detektoren sind folgende Parameter wichtig: Hohe Sensitivität, gutes Signal-Rausch-Verhältnis, Temperaturbeständigkeit, hohe Detektionsgeschwindigkeit, großer dynamischer Bereich (d.h. von sehr schwach bis sehr stark reflektierenden Objekten), Möglichkeit eines Detektor-Arrays

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; Kenntnisse in dem Design von Detektor-Halbleiterelementen.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Cochard et al., LiDAR Technologies for the Automotive Industry, 2018; Hamamatsu, Photodetectors for LiDAR, 2019.

Silizium Photomultiplikator für 1550nm

[T116; LiDAR - Detektor]

Kurzbeschreibung

Silizium-Photomultiplikatoren (SiPM) bzw. MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) bestehen aus einem Array mehrerer SPADs (T115) und sind somit Halbleiterbauteile mit optischen Eigenschaften. Für den Einsatz mit 1550nm Laserlicht, wird das Halbleitermaterial InGaAs benötigt. SiPM für 905nm haben bereits MRL10 erreicht.

Vorteile und Ziele der Technologie

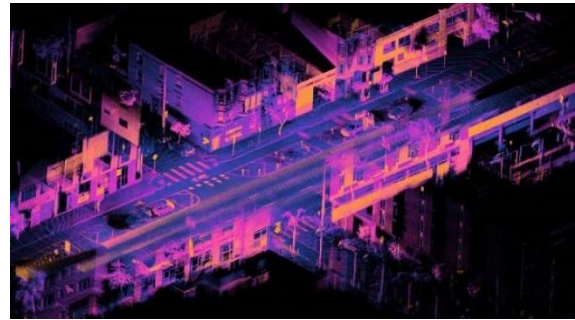
Durch die Vereinigung mehrerer SPADs können gleichzeitig viele Photonen gemessen und dennoch zwischen einzelnen Photonen unterschieden werden (hohe Empfindlichkeit /Auflösung). Durch Fortschritte in der Halbleiterfertigung können SiPMs zukünftig kostengünstiger hergestellt werden. Gleichzeitig liefern sie ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis bei hohen Distanzen.

Hemmnisse der Einführung

Die Technologie ist für den Einsatz mit 1550nm Licht noch teuer.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2019	2019>	



Bildquelle: © Daniel L. Lu [CC BY 4.0, Wikipedia]

Konkurrierende Technologien

PIN-Photodiode
Avalanche Photodiode
Single Photon Avalanche Diode (T115)

Einsatzbereich

SiPM eignen sich für Zustände bei denen nur wenige Photonen reflektiert werden.

Leistungsparameter

Für LiDAR-Detektoren sind folgende Parameter wichtig: Hohe Sensitivität, gutes Signal-Rausch-Verhältnis, Temperaturbeständigkeit, hohe Detektionsgeschwindigkeit, großer dynamischer Bereich (d.h. von sehr schwach bis sehr stark reflektierenden Objekten), Möglichkeit eines Detektor-Arrays

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; Kenntnisse in dem Design von Detektor-Halbleiterelementen.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Cochard et al., LiDAR Technologies for the Automotive Industry, 2018; Hamamatsu, Photodetectors for LiDAR, 2019.

1550nm Wellenlänge

[T112; LiDAR - Allgemeine Entwicklungen]

Kurzbeschreibung

In LiDAR-Systemen kann Laserlicht verschiedener Wellenlängen eingesetzt werden. Derzeit wird v.a. Licht mit einer Wellenlänge von 905nm (NIR-Bereich) eingesetzt, da die Materialien dafür kostengünstig beziehbar und bereits aus anderen Branchen bekannt sind. Die Wellenlänge 1550nm (SWIR-Bereich) hat allerdings einige Vorteile (s.u.), wodurch sie sich trotz teurerer Herstellungskosten (s.u.) als Alternative bewähren könnte.

Vorteile und Ziele der Technologie

Laser im SWIR-Bereich (1550nm) können eine 6x höhere Strahlungsenergie (Energiedichte) als im NIR-Bereich erreichen, ohne die Augensicherheit zu gefährden. Dadurch verbessert sich die Leistung des Gesamtsystems hinsichtlich höherer Reichweiten und besserer Schlechtwetter-Eigenschaften.

Hemmnisse der Einführung

Durch die Möglichkeit eine höhere Ausgangsleistung einzusetzen, steigt der Energieverbrauch an. Die Wahl der Wellenlänge ist sowohl für die Lichtquelle also auch für den Photodetektor entscheidend. Für die Lichtquelle werden bei SWIR-Anwendungen entweder Laserdioden oder VCSELs auf Basis von Indiumphosphid (InP) eingesetzt. InP ist bisher noch schwer industriell für die automobilen Massenfertigung herzustellen. Photodetektoren bestehend aus Indium-Gallium-Arsenid (InGaAs) können 1550nm Licht detektieren. Diese sind sensibler aber auch weitaus teurer als die Silizium-basierten die für NIR eingesetzt werden können. Diese Kosten sind aktuell das Haupthemmnis der Technologie. Die Si-Technologie ist bereits weit verbreitet und einfach sowie kostengünstig herzustellen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2020	2020	2023



Bildquelle: © Horst Frank / Phrood / Anony [CC BY-SA 3.0, Wikipedia]; Änderung: Bildzuschnitt

Konkurrierende Technologien

LiDAR Systeme die mit Licht im NIR-Bereich arbeiten (Wellenlänge von 850nm bzw. 905nm). Außerdem könnten Detektoren entwickelt werden, deren Wahrnehmung sensibel genug ist, um zurückkehrende Photonen auch bei hoher Reichweite im NIR-Bereich zu erfassen. Sind die Scan-Raten hoch genug können auch kürzere Wellenlängen eingesetzt werden ohne die Augensicherheit zu gefährden.

Einsatzbereich

In allen Arten von LiDAR-Systemen.

Weiterführende Informationen

Auf der CES 2019 wurde eine Kamera eines Fotografen beschädigt, als ein LiDAR System mit 1550nm Laserlicht fotografiert wurde. Ob der Schaden tatsächlich von der Wellenlänge ausging, ist aber nicht eindeutig geklärt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Lee, Man says CES lidar's laser was so powerful it wrecked his \$1,998 camera, 2019; Wong, Jumping Hurdles To Build A Better LiDAR, 2019.

FMCW Laser

[T118; LiDAR - Allgemeine Entwicklungen]

Kurzbeschreibung

Continuous Wave (cw)-Systeme senden ein kontinuierliches Signal aus, welches die Szene kontinuierlich beleuchtet. Dadurch können sie mit geringerer Leistung betrieben werden als gepulste Systeme. Frequenzmodellerte cw-LiDAR-Systeme (FMCW) verändern die Laserfrequenz im Laufe der Zeit, während die Amplitude gleich bleibt. Der Strahl ist in zwei Hälften geteilt, wobei eine Hälfte des Strahls in die Umwelt gesandt wird und bei der Reflektion mit der anderen Hälfte wieder vereint wird. Da der Quellstrahl eine sich ständig ändernde Frequenz aufweist, führt die zwischen den Strahlen verschiedene Laufdistanz zu leicht unterschiedlichen Strahlfrequenzen. Dadurch entsteht ein Interferenzmuster dessen Frequenz der Umlaufzeit und damit der Umlaufdistanz proportional ist.

Vorteile und Ziele der Technologie

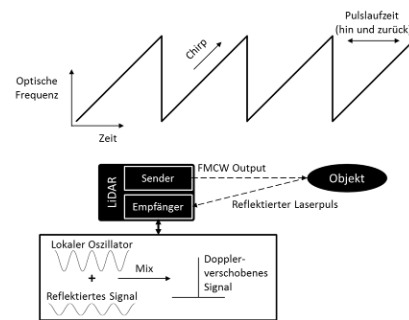
Die Vorteile von FMCW-Systemen gegenüber „Time-of-Flight“-basierten Systemen (ToF), welche mit Laserpulsen arbeiten und derzeit den Stand der Technik darstellen, sind die Beständigkeit durch Interferenzen sowie die Möglichkeit über den Doppler-Effekt direkt die Geschwindigkeit von Objekten erfassen zu können. Zudem ist eine höhere räumliche Auflösung möglich und die FMCW Systeme lassen sich bei geringeren Spitzenleistungen betreiben.

Hemmnisse der Einführung

ToF ist eine weniger komplexe und billigere Technologie und weiter verbreitet als FMCW. Bisherige FMCW-LiDAR Systeme haben eine maximale Kohärenzlänge von 100 m und damit eine Reichweite von ca. 50 m. Für den erfolgreichen Einsatz muss dieses Hemmnis überwunden werden, bspw. durch verbesserte Signalnachbearbeitung. Laser mit guter Polarisationskontrolle und sehr langer Kohärenzlänge werden benötigt. Eine Kombination mit Optical Phased Arrays (T107) stellt eine Möglichkeit dar, die Kosten zu senken.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2018	2018	2018>		



Bildquelle: Eigene Darstellung (nach Hecht, 2019)

Konkurrierende Technologien

Time of Flight LiDAR Systeme mit gepulstem Laser

Einsatzbereich

Technologie für die Tiefendatenerfassung bei Sensoren (u. a. LiDAR).

Weiterführende Informationen

Die FMCW-Technologie wird im Radar-Bereich seit längerem erfolgreich und kostengünstig eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Photonik; Lasertechnik; Sensortechnik; Mikrosystemtechnik; KMUs mit Kenntnisse im optischen Design können hier Entwicklungsarbeit leisten.

Schlagworte

Optik
ADAS

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Hecht, Lasers for Lidar: FMCW lidar: An alternative for self-driving cars, 2019; Lum et al., Frequency-modulated continuous-wave LiDAR compressive depth-mapping, 2018.

Thermografie mit Mikrobolometern

[T119; Kamera]

Kurzbeschreibung

Alle Objekte oberhalb strahlen eine charakteristische Wärme- bzw. Infrarotstrahlung im elektromagnetischen Spektrum von ca. 0,9-14 μm aus, wobei die emittierte Strahlungsintensität mit der Temperatur steigt. Die Thermografie misst die Strahlung der Umgebung und erstellt daraus ein Videobild (von warm nach kalt: weiß, grau, schwarz). Diese Wärmebildkameras haben daher wenig mit „herkömmlichen“ Kameras gemeinsam, die sichtbares Licht erfassen, um eine Szene abzubilden. Im Gegensatz zur aktiven Thermografie, sind Wärmebildkameras passive Systeme, d.h. sie emittieren selbst keine Strahlung. Die Sensorelemente, die in Wärmebildkameras eingesetzt werden, heißen Mikrobolometer und erfassen Strahlung im langwelligen Infrarotbereich (FIR bzw. LWIR, 7,5-14 μm), dem für die Umfeld-erfassung relevanten Bereich.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die passive Thermografie kann sowohl bei Tag als auch in der Nacht eingesetzt werden und erkennt zuverlässig schlecht reflektierende Objekte. Es werden Temperaturunterschiede bis $0,05^\circ\text{K}$ erkannt. Mikrobolometer müssen nicht gekühlt werden und liefern Reichweiten bis zu 400 m (Idealwert). Aktuelle Entwicklungen bei Mikrobolometern führen zu Pixelabständen von $12\mu\text{m}$ statt $17\mu\text{m}$.

Hemmnisse der Einführung

Die Auflösung muss weiter verbessert (kleinere Pixelabstände) und die Latenzzeit sowie v.a. die Kosten reduziert werden. Allerdings wird in den nächsten Jahren mit einem starken Preisabfall gerechnet, sodass geeignete Sensoren bei unter 1.000 EUR (Endkundenpreis) liegen. Weitere Preissenkung und die Fähigkeit zur Massenproduktion sind für den Erfolg erforderlich. Bisherige Geräte müssen regelmäßig kalibriert werden (mechanisch bewegliche Teile). Allerdings hat Adasky kürzlich ein FIR-System ohne mechanisch bewegliche Teile vorgestellt.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2019	2023	2025	2025>



Bildquelle: © Robert Basic from Germany [CC BY 4.0, Wikipedia]

Konkurrierende Technologien

Aktive Thermografie
LiDAR und Radar für Nachtsicht
Herkömmliche Kamera (bspw. CMOS)

Einsatzbereich

Ergänzung der anderen Umfeldsensoren, wie Radar, Kamera und LiDAR, da diese keine Information zur Temperatur liefern. V.a. die enge Kombination mit CMOS-Kameras ist vielversprechend.

Leistungsparameter

Wichtige Kenngrößen sind u. a.: Field of View, Reichweite, räumliche Auflösung, Temperaturauflösung und spektrale Empfindlichkeit.

Weiterführende Informationen

Für das Training von entsprechenden Algorithmen stellt der Hersteller FLIR einen Datensatz von mehr als 14.000 Wärmebildern kostenlos zur Verfügung (www.flir.de). Mikrobolometer werden bereits in einigen Luxusautos für Assistenzsysteme eingesetzt. In der Ausprägung wie hier beschrieben (keine beweglichen Teile, ungekühlt) ist MRL10 aber noch nicht erreicht. Die OEMs sind sich bisher noch uneinig, ob Wärmebildkameras für automatisiertes bzw. autonomes Fahren benötigt wird.

Zuordnung zu Kompetenzen

Sensortechnik; Optikdesign; Softwareentwicklung; Entwicklung von Algorithmen zur Fusion mit anderen Sensoren, sowie zur Bildauswertung/ -klassifizierung.

Schlagworte

Sensor
Night-Vision
Infrarot
ADAS

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; FLIR, IR Automation Guidebook, 2018; Shen u. a., An Uncooled Infrared Microbolometer Array for Low-Cost Applications, 2015; Stockton, Autonomous vehicle industry remains cool to thermal imaging, 2018.

Event-basiertes Sehen

[T120; Kamera]

Kurzbeschreibung

Eine „konventionelle“ Kamera zeichnet eine Szene Bild für Bild auf. Dynamic Vision Sensoren (DVS) für das „Event-basierte Sehen“ (Event-based Vision) zeichnen stattdessen nur einzelne, spezifische Ereignisse auf. Ein Ereignis ist dabei eine lokale Änderung der Helligkeit, die von einem einzelnen Pixel erfasst wird. D.h. es werden nicht die gesamten Daten jedes einzelnen Bildes, sondern nur die Ereignisdaten aufgenommen. Ungenutzte Szenen, wie bspw. der Himmel (der uninteressant für den Straßenverkehr ist), müssen nicht berechnet werden. Der resultierende Datenstrom ist eine Kette von asynchronen Ereignissen im einstelligen Mikrosekundentakt (geringe Latenzzeit). Bisher wird DVS vor allem in der akademischen Forschung eingesetzt.

Vorteile und Ziele der Technologie

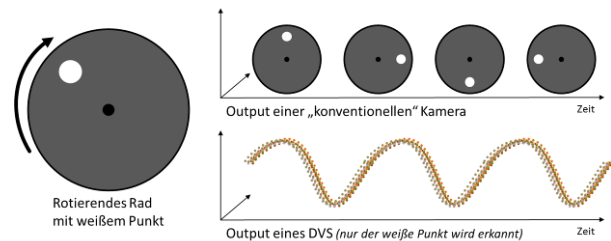
Da nur die interessanten bzw. wichtigen Ereignisse, d.h. v.a. Bewegungen, aufgenommen werden, wird die Datenrate reduziert und weniger Rechenleistung für die Bildverarbeitung benötigt (geringe Bandbreite). Die hohe zeitliche Auflösung, geringe Latenz, geringer Stromverbrauch und großer Dynamikbereich (HDR, High Dynamic Range) qualifizieren DVS für automobiler Anwendungen. HDR ist wichtig für die zuverlässige Funktion während schlechten Wetterbedingungen.

Hemmnisse der Einführung

Bildverarbeitungsalgorithmen für Bilder konventioneller Kameras, müssen für den Einsatz mit DVS angepasst bzw. neu entwickelt werden. Für die automobiler Qualifizierung müssen DVS hinsichtlich Temperaturstabilität, (Pixel-) Größe, Preis, Stromverbrauch, Signal-Rausch-Verhältnis optimiert werden. Auch die nahtlose Integration im Fahrzeug (Embedded System), muss weiter entwickelt werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2020	2023	2026	2029	2033



Bildquelle: Eigene Darstellung (nach Mueggler, 2015)

Konkurrierende Technologien

„konventionelle“ Kamera
sCMOS (T158)
Sensorfusion (T103)
Fortschritte des maschinellen Sehens mit konventionellen Kameras, gepaart mit steigender Rechenleistung

Einsatzbereich

DVS können sowohl für automatisiertes und autonomes Fahren eingesetzt werden, als auch für Fahrerüberwachung und SLAM (Simultaneous Localisation and Mapping).

Leistungsparameter

Wichtige Parameter (typische Werte in Klammer) sind: Temperaturstabilität, Öffnungswinkel, Reichweite, (Pixel-) Größe, Preis, Stromverbrauch (ca. 10 mW), Signal-Rausch-Verhältnis, Auflösung, Latenz (<1 ms), Bildrate (ca. 10.000 fps) und Dynamikbereich (>120 dB).

Weiterführende Informationen

Entwicklung von DVS-spezifischen Algorithmen, d. h. optimale Nutzung der hohen zeitlichen Auflösung und asynchronen Ereignisketten.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Softwareentwicklung; Sensortechnik; Entwicklung von DVS-spezifischen Algorithmen, d. h. optimale Nutzung der hohen zeitlichen Auflösung und asynchronen Ereignisketten.

Schlagworte

ADAS
automatisiertes Fahren
HDR

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Gallego u. a., Event-based Vision, 2019; Inivation, The Dynamic Vision Sensor, 2019; Janai u. a., Computer Vision for Autonomous Vehicles: Problems, Datasets and State-of-the-Art, 2017; Mueggler u. a., Lifetime estimation of events from Dynamic Vision Sensors, 2015.

sCMOS

[T158; Kamera]

Kurzbeschreibung

Scientific CMOS (sCMOS) ist die Weiterentwicklung des CMOS-Bildsensors. Die CMOS-Technologie ist im Automobilsektor für die Umfelderkennung neben der CCD-Technologie bereits weit verbreitet. Für bessere Ergebnisse kühlen einige Hersteller die Geräte bis auf -20°C bis -40°C stark ab (Wasser oder Luft). Wegen den hohen Sensorkosten wird die sCMOS-Technologie bisher nur in der Wissenschaft oder für die Qualitätsprüfung in industriellen Produktionsanlagen eingesetzt.

Vorteile und Ziele der Technologie

Zu den Vorteilen von sCMOS (gegenüber CMOS und CCD) gehören ein sehr gutes Signal-Rausch-Verhältnis, schnelle Bildraten, ein großer Dynamikbereich, eine hohe Auflösung, eine hohe Empfindlichkeit und ein großes Field of View (Sichtfeld, Öffnungswinkel).

Hemmnisse der Einführung

sCMOS-Geräte sind bisher zu sperrig und viel zu teuer für die Anwendung im automobilen Massenmarkt. Außerdem erfüllen die Geräte noch nicht die Qualifizierungsstandards für automobiler Anwendungen (v.a. hinsichtlich Temperatur). Das Kosten-Nutzen-Verhältnis wird in absehbarer Zeit nicht attraktiv genug für den Einsatz im Fahrzeug sein.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2020	2026	2031	2035>	



Bildquelle: © PCO Camera [CC BY-SA 4.0, Wikipedia];
Änderung: Bildzuschnitt

Konkurrierende Technologien

CMOS

Fortschritte in Bildverarbeitungs-Algorithmen kombiniert mit konventionellen CMOS-/ CCD-Bildsensoren

Einsatzbereich

Als Sensor für die Erfassung der Umgebung. Nach Expertenmeinung ist der Sensor aber eher überqualifiziert für diesen Einsatz. Wahrscheinlicher ist der Einsatz für die Qualitätssicherung in der Automobilproduktion.

Leistungsparameter

Auflösung, Bildsensorgröße, Dynamikbereich, SNR (Signal-Rausch-Verhältnis), Bildrate und Öffnungswinkel sind wichtige Kenngrößen.

Weiterführende Informationen

In anderen Branchen, wie bspw. der akademischen Forschung, Astronomie oder Militärindustrie, hat die Technologie bereits MRL8 erreicht.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Kühltechnik; Thermomanagement; Sensortechnik; KMU mit Kompetenzen in Kühltechnologien könnten ebenfalls zu der Entwicklung der Technologie beitragen.

Schlagworte

Produktion
ADAS

automatisiertes Fahren
Qualitätssicherung

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Croucher, Camera Comparison: Prime 95B Scientific CMOS and EMCCD, 2017; Wallace, Photonics Products: Scientific CMOS Cameras: sCMOS cameras reach new levels of capability, 2018.

Aktiv geschaltete Bildgebung

[T172; Kamera]

Kurzbeschreibung

Time-of-Flight (ToF) Kameras werden bereits erfolgreich in Fahrzeugen für Assistenzsysteme eingesetzt. Dabei wird die Umgebung aktiv beleuchtet und aus der Laufzeit der reflektierten Lichtstrahlen ein 3D-Abbild erstellt. Um das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern, werden optische Filter eingesetzt, die den größten Teil des Hintergrundlichts unterdrücken sollen. V.a. bei schlechten Wetterbedingungen ist das Rauschen aber sehr hoch. Die Technologie der aktiv geschalteten Bildgebung (engl. Active Gated Imaging System, AGIS) hat das Ziel dies zu verbessern. Wie eine ToF-Kamera besteht das System aus einem Bildsensor und einer Beleuchtungseinheit. Eine „Blende“ vor dem Sensor kann sehr schnell geöffnet und geschlossen werden (0,01-2 μ s). Die Blende und die Beleuchtungseinheit werden so synchronisiert, dass die Blende nur dann kurz öffnet und schließt, wenn Licht aus einer bestimmten Distanz zurückgekehrt sein müsste (vorgeschaltete theoretische Laufzeitberechnung). Hintergrundlicht gelangt daher erst gar nicht zu dem Bildsensor. Dadurch lässt sich die Umgebung in Szenen verschiedener Abstände unterteilen, welche jeweils ein sehr gutes Signal-Rausch-Verhältnis haben. Für die Beleuchtung kann bspw. nahes Infrarotlicht ($\lambda > 800$ nm) eingesetzt werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Technologie erreicht ein sehr gutes Signal-Rausch-Verhältnis auch bei schlechtem Wetter (bspw. Schnee) sowohl bei Tag als auch Nacht. AGIS ist sowohl in Mono- als auch Stereokameras integrierbar. Unter idealen Bedingungen sind Reichweiten bis 250 m möglich, realistisch sind ca. 150 m.

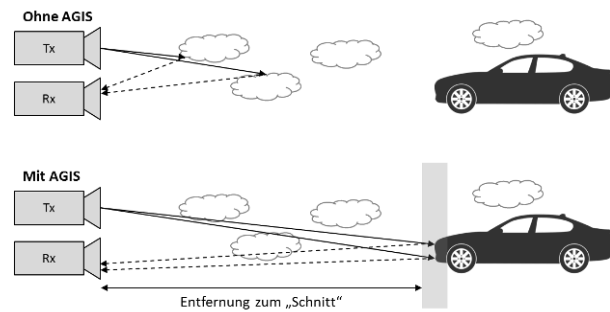
Hemmnisse der Einführung

Rasante Fortschritte im maschinellen Sehen, die auch bei hohem Bildrauschen, die Objekte verlässlich detektieren, machen es unnötig neue, wenig erprobte Systeme einzuführen. Da die Umgebung in einzelne „Schnitte“ unterteilt wird, dauert die gesamte Erfassung länger als bei einer einmaligen Beleuchtung.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2019	2025	2025>

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Grauer/Sonn, Active gated imaging for automotive safety applications, 2015; Winner, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2012; Yole Développement, Imaging for Automotive, 2019.



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

Mikrobolometer (T119)
Sensorfusion (T103)
„herkömmliche“ ToF-Kamera
Verbesserte Bildverarbeitungsalgorithmen, die bestehendes Bildmaterial besser auswerten

Einsatzbereich

Als ToF-Sensor für die Erfassung der Umgebung bei schlechtem Wetter, bei Nacht, aber auch am Tag.

Leistungsparameter

Wichtige Kenngrößen sind Bildsensortyp inkl. Auflösung, Verschluss- bzw. Belichtungszeit, Reichweite, Dauer und Ausgangsleistung des Lichtpulses und Lasertyp inkl. Wellenlänge.

Zuordnung zu Kompetenzen

Regelungstechnik; Optikdesign; Lasertechnik; Sensortechnik; Softwaredesign für Auswertung der einzelnen Szenen bzw. Kombination der Szenen zu einem Gesamtbild.

Schlagworte

Night-Vision
ADAS

Hyperspektrale Bildgebung

[T173; Kamera]

Kurzbeschreibung

Monochrome Kameras nehmen einen einzigen spektralen Kanal auf, ein digitales Farbfoto hat üblicherweise drei Kanäle (RGB: Rot, Grün, Blau). Dagegen spricht man von multispektralen Systemen, wenn elektromagnetische Strahlung über vier bis neun spektrale Kanäle erfasst wird. Zwischen 10 und 100 Kanälen spricht man von Hyperspektralkameras. Diese erfassen elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlängen im Bereich zwischen ultravioletter und infraroter Strahlung (meist RGB + nahes Infrarot). Als Ergebnis erhält man bspw. die Funktionen Lichtintensität- oder Reflexionsgrad-vs.-Wellenlänge. Die Erfassung erfolgt entweder indem das gesamte Spektrum für einzelne Raumsegmente nacheinander (Spatial Scanning) oder indem der gesamte Raum nacheinander für einzelne Spektralkanäle erfasst wird (Spectral Scanning). Das Non-Scanning-Verfahren erfasst gleichzeitig den gesamten Raum über alle Spektralkanäle.

Vorteile und Ziele der Technologie

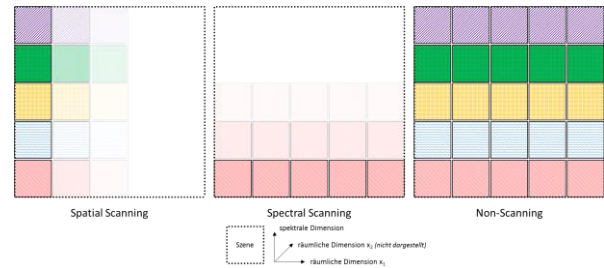
Die Umgebung wird mit viel mehr Informationen gleichzeitig erfasst und ermöglicht daher u.a. Aussagen über die Bodenbeschaffenheit.

Hemmnisse der Einführung

Die Systeme sind noch sehr teuer (>1.000 EUR) und es ist sehr viel Rechenleistung notwendig, um die gesammelte Datenmenge auszuwerten.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2019		2035	2035>



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

Multispektrale Bildgebung
Sensorfusion aus RGB-Kamera und bspw. Infrarotkamera

Einsatzbereich

Einsatz in der Umfelderfassung (u. a. Informationen über Terrain) aber auch in der Produktion zur Qualitätssicherung denkbar (bspw. Verunreinigungen im Lack).

Weiterführende Informationen

Bisher werden Hyperspektralkameras v.a. für die Vegetations- und Bodenüberwachung aus der Luft oder für die Qualitätssicherung in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Die Firma VTT hat ein Smartphone-kompatibles System auf MEMS-Basis entwickelt, das 130 € kostet und in Zukunft noch günstiger werden soll. Spill-over Effekte für den automobilen Bereich sind denkbar. Datensätze für das Training von Hyperspektralalgorithmen sind bspw. in Takumi (2017) zu finden.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Softwareentwicklung; Sensortechnik; Entwicklung geeigneter Algorithmen um zum einen die Datenmenge effizient auszuwerten und zum anderen mit anderen Systemen zu kombinieren (Sensorfusion).

Schlagworte

Qualitätssicherung
ADAS

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Takumi u. a., Multispectral Object Detection for Autonomous Vehicles, 2017; Winkens u. a., Hyperspectral Terrain Classification for Ground Vehicles, 2017; Yole Développement, Imaging for Automotive, 2019.

pMUT

[T125; Ultraschallsensor]

Kurzbeschreibung

Im Gegensatz zu den derzeit für automobiler Fahrassistentensysteme eingesetzten piezokeramische Ultraschallsensoren werden piezoelektrische Ultraschallwandler (pMUT, von engl. „piezoelectric Micromachined Ultrasonic Transducers“) auf Halbleiterbasis mittels MEMS-Technologie hergestellt. In Standard CMOS Halbleitfabriken werden sie dabei zusammen mit allen elektrischen Komponenten auf einem Chip gefertigt. Dabei liegt ein dünner piezoelektrischer Film zwischen zwei Elektroden. Beim Anlegen einer Spannung biegt sich diese Membran nach unten in einen Hohlraum im Substrat durch. Bei der Bewegung zurück in die Ausgangslage wird ein Ultraschallimpuls ausgelöst.

Vorteile und Ziele der Technologie

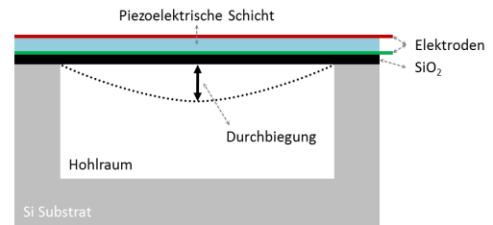
pMUTs sind sehr kompakt, haben geringe Abmessungen, einen geringen Stromverbrauch, potenzell günstig in Halbleiterfabriken in Masse zu produzieren und sind einfach in elektrischen Komponenten auf Halbleiterbasis integrierbar. Außerdem besitzt der Ultraschallwandler eine extrem hohe Entkopplung. pMUTs profitieren von der Integrierbarkeit mit der CMOS-Technologie.

Hemmnisse der Einführung

pMUTs sind v.a. für sehr hochfrequente (ca. 1 MHz) Applikationen (Medizinische Diagnostik) angedacht. Mit der Frequenz steigt auch die Dämpfung der Schallwellen in der Luft. Für die Umfelderfassung (40 kHz-70 kHz) sind sie daher weniger geeignet.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2022	2024	2025	2026	2026



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

Piezokeramische Ultraschallwandler (T169)
cMUT (kapazitive MUT; nur Medizintechnik)
Kameras

Einsatzbereich

Eher in der Schnittstelle zwischen Mensch und Fahrzeug zur Identifikation von Fingerabdrücken oder zur Gestenerkennung. Der Einsatz für Fahrerassistenzfunktionen ist bisher nicht möglich.

Weiterführende Informationen

pMUTs stammen aus der medizintechnischen Forschung.

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Sensortechnik; KMUs mit Kenntnissen im Design von Mikrosystemkomponenten können an der Technologie partizipieren. Know-How zur Einhausung der pMUT-Chips ist ebenfalls wichtig.

Schlagworte

Ultraschall
HMI

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Qiu u. a., Piezoelectric Micromachined Ultrasound Transducer (PMUT) Arrays for Integrated Sensing, Actuation and Imaging, 2015; Yole Développement, The micro-machined ultrasound transducers market is taking off. Why now?, 2018.

Piezokeramische Ultraschallwandler

[T169; Ultraschallsensor]

Kurzbeschreibung

Diese Art Ultraschallsensoren nutzen Piezokeramiken für die Transformation von elektrischer Energie in akustische Energie: Beim Anlegen einer Spannung unter einer bestimmten Frequenz wird das Piezoelement angeregt und sendet Schallwellen aus. Bei Reflexionen in der Umgebung wird das Echo von dem Wandler wieder in elektrische Energie und damit ein digitales Signal umgewandelt. Das Messprinzip beruht auf dem Pulslaufzeitverfahren, d.h. die Distanz der Objekte in der Umgebung ist abhängig von der Laufzeit des Schalls (ausgesendete Welle und Echo). Die Sensoren sind folgendermaßen aufgebaut: Die Piezokeramik ist auf einer metallischen Scheibe angebracht, wodurch sich die Schwingungsenergie erhöht. Das Wandler-element wird über einen Entkopplungsring aus weichem Silikon so in einem Gehäuse eingebettet, dass die Schwingungen der Membran vollständig entkoppelt sind. Diese Entkopplung ist auch bei der elektrischen Verbindung des Piezoelements mit dem Kabelstrang des Fahrzeugs zu beachten.

Vorteile und Ziele der Technologie

Sehr weit fortgeschrittene Technologie und daher kostengünstig und zuverlässig. Bereits seit den 90er Jahren im Einsatz.

Hemmnisse der Einführung

Die Entkopplung des Ultraschallwandlers ist sehr wichtig. Durch Vereisen kann eine Kopplung zwischen Piezoelement und Gehäuse erfolgen. Dies beeinträchtigt die Zuverlässigkeit.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2019



Bildquelle: © Bosch

Konkurrierende Technologien

Ultraschallbasiert: keine, zukünftig evtl. pMUTs (T125)
Radar (Einparkhilfe und Totwinkelassistent)
Kamera (Totwinkelassistent)

Einsatzbereich

Als Sensor für die Fahrassistenzsysteme „Einparkhilfe“ und „Totwinkelassistent“.

Leistungsparameter

Öffnungswinkel: 120°-140°x60°-70° (HxV);
Mindestabstand: ca. 15 cm; Reichweite: ca. 5 m;
Frequenzbereich: 40 kHz-70 kHz

Weiterführende Informationen

Die Sensoren werden typischerweise in den Stoßfängern verbaut (je 4-6 Sensoren).

Zuordnung zu Kompetenzen

Sensortechnik; Bereits sehr ausgereift. Allerdings besteht für KMU stets Potential zur Verbesserung der Witterungsbeständigkeit und Sicherstellung der zuverlässigen Entkopplung.

Schlagworte

Ultraschall
automatisiertes Fahren
Fahrassistenz

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Hosur u. a., Environmental awareness around vehicle using ultrasonic sensors, 2016; Winner, Handbuch Fahrerassistenzsysteme, 2012.

Hydraulische Aktuatoren

[T126; Aktuatoren]

Kurzbeschreibung

Ein Aktuator setzt Eingangs-Signale in mechanische Bewegungen um. Klassische Systeme arbeiten hydraulisch oder pneumatisch und kommen seit vielen Jahren, z.B. in der Motorsteuerung, zum Einsatz.

Vorteile und Ziele der Technologie

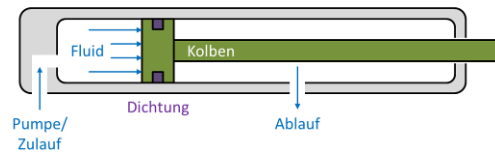
Hydraulische Aktuatoren haben sowohl technologisch als auch in der Fertigung bereits einen hohen Reifegrad erreicht. Sie sind generell heutzutage robust, sicher und zudem kostengünstig in Massenfertigung herzustellen.

Hemmnisse der Einführung

Hydraulische Aktuatoren sind als ausgereifte Produkte bereits in Massenfertigung am Markt erhältlich, es existieren keine Hemmnisse zur Markteinführung.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2019



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

Elektrische und elektromechanische Aktuatoren

Einsatzbereich

Zur Umsetzung elektrischer Signale in mechanische Bewegung, beispielsweise zur Steuerung eines Verbrennungsmotors im PKW.

Zuordnung zu Kompetenzen

Metallbearbeitung; Bereits sehr ausgereift. Die Wertschöpfungskette ist etabliert, die Potenziale für KMUs für ein Gesamtsystem werden als eher gering bewertet

Schlagworte

Aktor

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Hochwallner, On Motion Control of Linear Incremental Hydraulic Actuators, 2017.

Elektrische Aktuatoren

[T127; Aktuatoren]

Kurzbeschreibung

Ein Aktuator setzt Eingangs-Signale in mechanische Bewegungen um. Es zeigt sich ein deutlicher Trend zu elektrischen und elektromechanischen Aktuatoren auf dem Markt, da u.a. die Anforderungen zur positionsgenauen und dynamischen Steuerung durch neue Antriebskonzepte steigen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Elektrische und elektromechanische Aktuatoren sind kleiner, leichter, kompakter und leistungsfähiger als klassische pneumatische oder hydraulische Lösungen. Da diese direkt an den Traktionsmotor angeschlossen sind können zusätzliche Komponenten (wie Pumpen oder Leitungen) entfallen. Sie arbeiten zudem geräuscharm und bieten so dem Kunden Komfort-Vorteile.

Hemmnisse der Einführung

Derzeit sind elektrische Aktuatoren teurer als klassische hydraulische Systeme.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2021	2025



Bildquelle: © Thomson Neff Industries GmbH

Konkurrierende Technologien

Hydraulische und pneumatische Aktuatoren

Einsatzbereich

Zur Umsetzung elektrischer Signale in mechanische Bewegung.

Weiterführende Informationen

Möglichkeiten für neue UX-relevante Features

Zuordnung zu Kompetenzen

Aktuatorik; Die Potenziale für KMUs werden bei Einzelkomponenten gesehen. Neue Möglichkeiten entstehen durch neue Motorkonzepte, so dass eine Weiterentwicklung von Sensoren und Präzisionsteilen notwendig ist.

Schlagworte

Aktor

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Guo/Jiang, Nonlinear Control Techniques for Electro-Hydraulic Actuators in Robotic Engineering, 2017; Boldea/Nasar, Linear Electric Actuators and Generators, 2005.

Steer-by-Wire

[T128; X-by-Wire]

Kurzbeschreibung

Das Steer-by-Wire Konzept ersetzt die klassische mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und Rad durch ein elektrisches System. Hierfür übermitteln Sensoren am Lenkrad die Steuerbewegung an Aktuatoren an den Rädern.

Vorteile und Ziele der Technologie

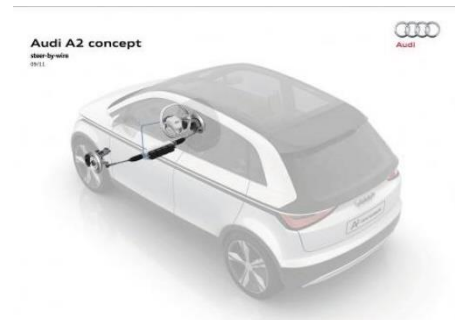
Die mechanische Verbindung zwischen Lenkrad und Rad entfällt, so dass dadurch Package- und Kostenvorteile entstehen können. Generell können Lenkbewegungen präziser und schneller als mit mechanischer Verbindung umgesetzt werden, zudem ist ein Herausfiltern unerwünschter Radbewegungen oder Erschütterungen an das Lenkrad möglich.

Hemmnisse der Einführung

Die elektrische Verbindung muss jederzeit ausfallsicher arbeiten können. Zudem fehlt bei diesem System eine mechanische Rückmeldung von Straßenzustand oder -ereignis und muss situativ durch permanente Regelung simuliert werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2019	2021	2025	2028



Bildquelle: © AUDI AG

Konkurrierende Technologien

"Konventionelle" mechanische Lenkung

Einsatzbereich

Für elektrifizierte und reine elektrische Steuersysteme, zur Realisierung von teil-/ automatisierten und voll-autonomen Fahrfunktionen. SAE Level 4-5.

Zuordnung zu Kompetenzen

Aktuatorik

Schlagworte

Aktor
automatisiertes Fahren

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Fankem, Steering Feel Generation in Steer-by-Wire Vehicles and Driving Simulators, 2017; Moller, Methodische Risikobetrachtung an einem Steer-by-Wire System, 2018.

Brake-by-Wire

[T129; X-by-Wire]

Kurzbeschreibung

Das Brake-by-Wire System kommt ohne mechanische Verbindung aus und steuert den Bremsvorgang über elektronisch geregelte Aktuatoren.

Vorteile und Ziele der Technologie

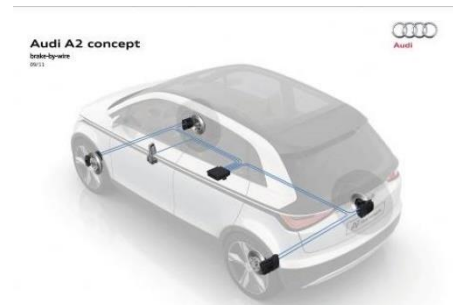
Die Bremsleistung an jedem einzelnen Rad kann optimal an die Straßenverhältnisse und die benötigte Bremsleistung angepasst werden, die mechanische Verbindung zu den Rädern entfällt. Das System ermöglicht eine effiziente, präzise und schnelle Regeldynamik.

Hemmnisse der Einführung

Die elektrische Verbindung muss jederzeit ausfallsicher arbeiten können. Zudem fehlt bei rein elektrischer Regelung eine mechanische Rückmeldung von Straßenzustand oder Bremsverhalten am Pedal und muss simuliert werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2019	2021	2025



Bildquelle: © AUDI AG

Konkurrierende Technologien

"Konventionelle" mechanische Bremsung

Einsatzbereich

Für elektrifizierte und reine elektrische Steuersysteme, zur Realisierung von teil-/ automatisierten und voll-autonomen Fahrfunktionen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Aktuatorik

Schlagworte

Aktor
automatisiertes Fahren
Elektrifizierung

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Denton, Automobile Electrical and Electronic Systems, 2017; Sjafrie, Introduction to Self-Driving Vehicle Technology, 2019.

EGNOS v3 für SBAS

[T130; Satellitenbasierte Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Zur Verbesserung der satellitengestützten Navigation (GNSS) werden zusätzliche ergänzende Systeme eingesetzt: EGNOS, WAAS, MSAS, GAGAN. Diese satellitenbasierte Erweiterungssysteme (Satellite based Augmentation System, SBAS) funktionieren durch eine Kombination aus geostationären Satelliten und Referenzstationen auf dem Boden. Die geostationären Satelliten fliegen niedriger als z.B. GPS- oder Galileo-Satelliten und liefern weitere Informationen für eine zuverlässigere und genauere Positionierung. EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) ist ein europäisches SBAS und stellt neben verbesserten Positionsdaten auch Informationen zur Integrität des GNSS zu Verfügung. Fehler im GNSS-Betrieb werden durch den EGNOS-eigenen Safety-of-Life-Dienst innerhalb von 6 Sekunden als Warnungen an den Nutzer übermittelt. Das Update EGNOS v3 wird bis 2025 ausgerollt.

Vorteile und Ziele der Technologie

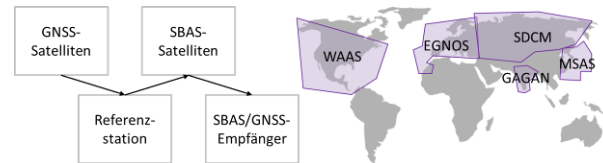
Die Positionsgenauigkeit mit SBAS beträgt aktuell <10 m statt 15-25 m bei reinem GNSS. SBAS ermöglicht größere Reichweiten als das bodengestützte stationäre dGNSS. Der Safety-of-Life Dienst und die Kompatibilität mit sowohl Galileo als auch GPS differenziert EGNOS v3 von anderen SBAS.

Hemmnisse der Einführung

Bodengestütztes dGNSS sind noch genauer (± 1 m) als SBAS. Allerdings soll sich die Genauigkeit mit EGNOS v3 auf ebenfalls ± 1 m verbessern. Die Antennenempfänger am Fahrzeug müssen mindestens die beiden Signale von GNSS und SBAS empfangen können (bspw. Galileo und EGNOS).

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019		2023	2025	2025



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

Bodengestütztes dGNSS (T131)
Real Time Kinematics (T132)
Verortung mittels Umfelderkennung und Abgleich in HD-Karten (T140)
WAAS, MSAS, GAGAN (allerdings sind die Systeme in der Regel geographisch begrenzt und daher eher komplementär zu sehen)

Einsatzbereich

Zur verbesserten Ortung von Luft- sowie Bodenfahrzeugen. V.a. in hoch automatisierten Fahrzeugen ist eine exakte Positionierung notwendig.

Leistungsparameter

Frequenzbänder: L1/E1 (1575 MHz) und L5/E5 (1176 MHz); Genauigkeit: <1 m (horizontal sowie vertikal)

Weiterführende Informationen

EGNOS v2 ist bereits seit 2011 im Einsatz. In 2023 werden als Vorstufe EGNOS v3-Systeme mit Ein-Frequenzempfang ausgerollt, in 2025 dann die endgültige Version mit Dual-Frequenzempfang. Airbus wurde von der ESA mit der Entwicklung und Einführung von EGNOS v3 betraut.

Zuordnung zu Kompetenzen

Antennendesign; Hochfrequenztechnik; Kommunikationstechnik; SBAS Geräte können von KMU hergestellt werden. V.a. beim Design der Antenne und der Software liegt Potential.

Schlagworte

Ortung
ADAS
Navigation

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Airbus, ESA wählt Airbus für das Programm EGNOS V3 aus, 2018; European GNSS Supervisory Authority, GNSS user technology report. Issue 2., 2018; GSA, What is SBAS?, 2019.

Bodengestütztes dGNSS

[T131; Satellitenbasierte Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Neben SBAS können bodengestützte stationäre Referenzstationen die Genauigkeit satellitengestützter Navigation (GNSS) verbessern: dGNSS basiert auf Signalen zwischen 1) einem Satelliten und einer bodengebundenen Referenz- bzw. Basisstation, 2) dem Satelliten und einem Empfänger sowie 3) der Basisstation und dem Empfänger. Dabei ist die Position der Referenzstation exakt bekannt. Diese errechnet aus dem Signal des Satelliten mögliche Ortungsfehler. Das Fahrzeug empfängt sowohl das Satellitensignal als auch das Korrektursignal der Referenzstation und berechnet anhand dieser Informationen seine korrigierte Position. Mobile GNSS-Empfänger sind heute bereits in der Lage mit dieser Technologie zu arbeiten.

Vorteile und Ziele der Technologie

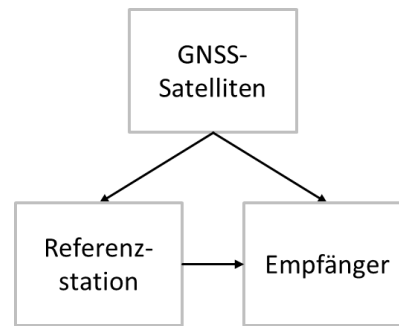
Im Vergleich zu heutigen SBAS ist die Genauigkeit deutlich besser (Faktor 15-25).

Hemmnisse der Einführung

Allerdings ist die Reichweite von bodengestützter dGNSS geringer. Die Reichweite kann jedoch durch Interpolation zwischen mehreren Basisstationen verbessert werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2019



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

SBAS (T130)

RTK (T132)

Verortung mittels Umfelderkennung und Abgleich in HD-Karten (T140)

Einsatzbereich

Zur verbesserten Ortung von Luft- sowie Bodenfahrzeugen. V.a. in hoch automatisierten Fahrzeugen ist eine exakte Positionierung notwendig.

Leistungsparameter

Die Ortungsgenauigkeit liegt bei ca. 1 m.

Zuordnung zu Kompetenzen

Antennendesign; Hochfrequenztechnik; Kommunikationstechnik; dGNSS fähige Geräte werden bereits heute von KMUs hergestellt.

Schlagworte

Ortung

ADAS

Navigation

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Novatel, GNSS Measurements, 2019.

Real Time Kinematics

[T132; Satellitenbasierte Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Mit der Real Time Kinematics (RTK)-Technologie kann eine sehr präzise Positionierung im mm-Bereich erreicht werden. RTK ist ähnlich wie dGNSS, verwendet aber nicht die von den Satelliten gesendeten Codes, sondern berechnet die Distanz auf Basis der empfangenen Carrier- bzw. Trägerzyklen und der Wellenlänge des Signal. Dabei berechnet eine exakt verortete Referenzstation das Korrektursignal und sendet dieses ebenfalls an den Nutzer. Dieser kann aus den beiden Signalen die Position bestimmen.

Vorteile und Ziele der Technologie

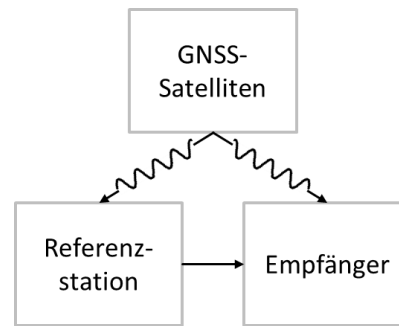
Die Ortungsgenauigkeit liegt im mm-Bereich und ist damit weitaus besser als bei SBAS oder bodengestütztem dGNSS.

Hemmnisse der Einführung

Die Produktkosten sollten weiter reduziert werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2019



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

SBAS (T130)

Bodengestütztes dGNSS (T131)

Verortung mittels Umfelderkennung und Abgleich in HD-Karten (T140)

Einsatzbereich

Zur verbesserten Ortung von Luft- sowie Bodenfahrzeugen. V.a. in hoch automatisierten Fahrzeugen ist eine exakte Positionierung notwendig.

Leistungsparameter

Die Genauigkeit liegt im Millimeter- bis Zentimeterbereich.

Zuordnung zu Kompetenzen

Antennendesign; Hochfrequenztechnik; Kommunikationstechnik; RTK fähige Geräte werden bereits heute von KMUs hergestellt.

Schlagworte

Ortung

ADAS

Navigation

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Novatel, Real-Time Kinematic (RTK), 2019.

Multi-Konstellations- und - Frequenzantennen

[T133; Satellitenbasierte Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Zur Verbesserung der satellitengestützten Navigation (GNSS) werden zusätzliche komplementäre Systeme, die Satellite Based Augmentation Systems (SBAS), eingesetzt. Gängige SBAS sind EGNOS, WAAS, MSAS, GAGAN. Diese geostationären Satelliten fliegen niedriger als z.B. GPS- oder Galileo-Satelliten und liefern weitere Informationen für eine zuverlässigere und genauere Positionierung (<10m statt ca. 15-25m). Die verschiedenen Satelliten- und SBAS-Systeme arbeiten auf verschiedenen Frequenzbändern. Die gleichzeitige Nutzung von Signalen mehrerer Satelliten verbessert die Genauigkeit der Lokalisierung. Daher sind Multi-Konstellations- und -Frequenz-Antennenempfänger für eine höhere Präzision erforderlich. Triple-frequency-chips (L1, L2 und L5 Frequenzband) können gleichzeitig Satellitensignale auf drei verschiedenen Frequenzen empfangen.

Vorteile und Ziele der Technologie

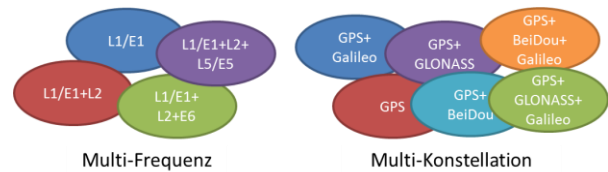
Höhere Präzision für die Positionierung während der automobilen Navigation.

Hemmnisse der Einführung

Triple-Band-Systeme sind teurer und verbrauchen mehr Strom als die Dual-Band-Technologie. Die Technologie muss noch für die Anforderungen des automobilen Bereichs qualifiziert werden, v.a. hinsichtlich der Temperaturbeständigkeit.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2018	2018	2021	2021	2025



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

SBAS mit dGNSS
Bodengebundenen dGNSS
Real Time Kinematics

Einsatzbereich

Optimierung von GNSS-Antennen

Zuordnung zu Kompetenzen

Antennendesign; Signalverarbeitung; Diese Antennen können von KMUs hergestellt werden.

Schlagworte

Satellit
Positionierung
Navigation

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; European GNSS Supervisory Authority, GNSS user technology report. Issue 2., 2018.

Software Defined Radio GNSS

[T134; Satellitenbasierte Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Zu Beginn der Satelliten-basierten Navigation, gab es nur die GPS Satelliten. Heute gibt es daneben auch noch GLONASS, Galileo, Beidou, sowie SBAS Systeme wie EGNOS. Um alle Signale auf den verschiedenen Frequenzen empfangen und verarbeiten zu können, kann zum einen die Hardwareleistung gesteigert werden. Die Entwicklung von Hardware zur Verarbeitung der unterschiedlichen Signale ist allerdings teuer und aufwändig. Inzwischen wird auf die Entwicklung von Software-basierten Lösungen (Software Defined Radio, SDR) fokussiert.

Vorteile und Ziele der Technologie

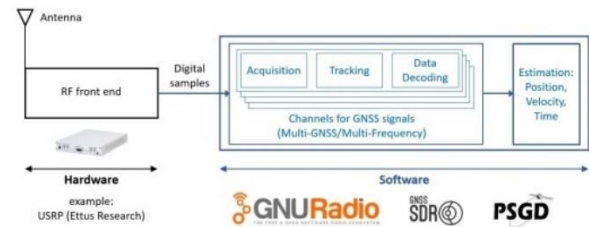
Die Entwicklung und Herstellung von Hardware-basierten Empfängern für unterschiedliche Signale ist aufwändig und teuer. Neue Signale können über Software-Updates ebenfalls empfangen werden. Eine zuverlässigere GNSS-Positionierung wird durch die Kombination aus Hard- und Software ermöglicht.

Hemmnisse der Einführung

Diese Ansätze müssen noch für die automobilen Anwendung optimiert und qualifiziert werden. Kosteneffektive Prozessoren sind erforderlich.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2018	2018	2021	2023	2025



Bildquelle: © Fachgebiet Physikalische Geodäsie und Satellitengeodäsie, Technische Universität Darmstadt

Konkurrierende Technologien

Hardware-basierte Lösungen

Einsatzbereich

Für den Empfang unterschiedlicher Satellitensignale zur Bestimmung der Position und Navigation.

Weiterführende Informationen

Es gibt bereits einige Open Source Ansätze, wie beispielsweise „GNU-Radio“ oder „GNSS-SDR“.

Zuordnung zu Kompetenzen

Softwareentwicklung; Antennendesign; Signalverarbeitung; Da keine Maschinen für die Herstellung von Hardware-Komponenten benötigt wird, können Firmen mit Software- und Signalverarbeitungs-Know-How an dieser Technologie partizipieren.

Schlagworte

Satellit
Positionierung
Navigation

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; TU Darmstadt, Multi-GNSS/Multi-Frequenz Software-GNSS-Empfänger, 2019.

WLAN-basierte Positionsbestimmung

[T135; Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Es ist möglich, einen Benutzer / ein Fahrzeug zu lokalisieren, indem man den Access Point von WLAN-Routern nutzt. Neben anderen Verfahren zur Lokalisierung wird dabei v.a. das RSSI-Verfahren (Received Signal Strength Indicator) eingesetzt. Bei diesem wird die Distanz zwischen einem Router und dem Empfänger über die empfangene Signalstärke geschlossen. Bei der Nutzung von zwei Routern deren Koordinaten bekannt sind, kann der Empfänger mittels Triangulation lokalisiert werden. Bisher wird das Verfahren aber v.a. für die Unterhaltungselektronik weiterentwickelt. Der automobiler Einsatz ist v.a. in Parkhäusern oder -plätzen denkbar.

Vorteile und Ziele der Technologie

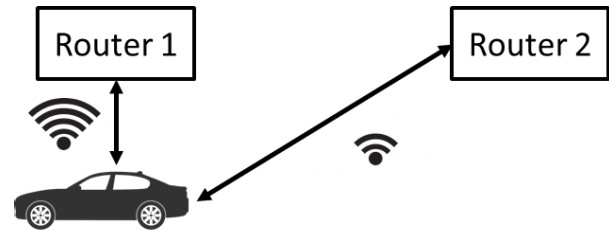
Die Technologie könnte nützliche Zusatzinformationen für die Navigation in Innenräumen liefern, in denen die Mobilfunk- und GNSS-Signale schwach sind. Die Hardware ist kostengünstig verfügbar.

Hemmnisse der Einführung

Aufgrund der Signaldämpfung durch Hindernisse wie Wände usw. ist das Verfahren hauptsächlich für die Innenraumlokalisierung (z.B. Parkhaus) anwendbar. Erhöhte Reichweite, Signalstabilität, Signal-Rausch-Verhältnis sowie eine gleichmäßig hohe Verteilung von öffentlichen Routern (Infrastrukturausbau) könnten dazu beitragen, dass die Technologie erfolgreich implementiert werden kann.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2021	2025	2027	2030



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

Positionsbestimmung via Mobilfunk
Satellitenbasierte Positionsbestimmung
Ultrabreitbandtechnologie

Einsatzbereich

In der Innenraumlokalisierung, bspw. für die Funktion des Valet-Parking (Parkhaus, -platz). Aber auch in Innenstädten denkbar.

Leistungsparameter

Reichweite, Signalstabilität und Signal-Rausch-Verhältnis sind relevante Parameter.

Zuordnung zu Kompetenzen

Signalverarbeitung; Hochfrequenztechnik; Als bisherige Nischentechnologie, können KMUs hier potentiell Anwendungen von Grund auf entwickeln und so Premiumdienste schaffen und neue Standards setzen.

Schlagworte

Ortung
ADAS

Valet-Parking
Navigation

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fahed Awad u. a., Collaborative Indoor Access Point Localization Using Autonomous Mobile Robot Swarm, 2018; Hernandez u. a., Applying low cost WiFi-based localization to in-campus autonomous vehicles, 2017; Sieck u. a., Wireless communication and information, 2009.

M/NEMS-basierte Navigationssensoren

[T136; Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Trägheitsmesseinheiten (Inertial Measurement Unit, IMU) verwenden Trägheitssensoren, die Informationen über Gier-, Neigungs- und Rollraten sowie Längs-, Quer- und Vertikalbeschleunigungen liefern. Diese Sensoren werden bereits in kleinen Größen und kostengünstig auf Basis der bewährten MEMS-Technologie hergestellt. Auch andere Sensoren für die Navigation, wie beispielsweise Magnetfeldsensoren, werden auf MEMS-Basis hergestellt. Eine weitere Miniaturisierung zu NEMS-basierten Sensoren bietet Vorteile, allerdings werden die Sensoren dadurch tendenziell ungenauer. Für kurze Zeit sind die Signale konstant exakt, aber mit der Zeit neigen sie dazu, zu "driften". Diese Drift muss kompensiert werden, z.B. durch Multisensorfusion, unter Einbezug von GNSS-Informationen.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die MEMS-Technologie ist bereits seit Langem erprobt. Aufgrund ihrer kompakten Größe und sehr geringen Kosten haben sich die MEMS-Navigationssensoren als zentraler Sensor für die relative Positionsbestimmung etabliert.

Hemmnisse der Einführung

Eine exakte und absolute Positionierung ist mit dieser Technologie nicht möglich. D.h. sie ist kein Ersatz für die satellitenbasierte Positionsbestimmung, sondern als ergänzende Rückfalllösung zu sehen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2019



Bildquelle: © ASC GmbH

Konkurrierende Technologien

Positionsbestimmung via Mobilfunk
Faseroptisches Gyroskop
Satellitenbasierte Positionsbestimmung
Halbleiterbasiertes Ring-Laser-Gyroskop (T137)

Einsatzbereich

Für die relative Positionsbestimmung, v.a. hilfreich in Tunneln wenn die Positionsbestimmung mittels Mobilfunk oder Satelliten nicht möglich ist.

Leistungsparameter

Zuverlässigkeit, Messgenauigkeit, Temperatur- und Vibrationsempfindlichkeit sind u.a. kritische Faktoren.

Weiterführende Informationen

Die Einschätzung der zeitlichen Entwicklung basiert auf MEMS-Systemen, die bereits erfolgreich im automobilen Massenmarkt eingesetzt werden. NEMS (T152) befinden sich dagegen noch im Entwicklungsstadium (TRL 2-4).

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Sensortechnik; Große Tier-1 Zulieferer produzieren die Geräte in Masse und dominieren den Markt. Ein Einstieg in die Technologie ist mit hohem Risiko und Investitionen verbunden.

Schlagworte

Ortung
ADAS
Navigation

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Berman, The Rodney Dangerfield of automated-driving sensors?, 2019; Goodall u. a., The Battle Between MEMS and FOGs for Precision Guidance, 2019.

Halbleiterbasiertes Ring-Laser-Gyroskop

[T137; Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Ring-Laser-Gyroskope (RLG) bieten eine Alternative zu MEMS-basierten optischen Inertialsensoren. RLGs basieren auf dem Sagnac-Effekt, der besagt, dass sich die relative Phase eines optischen Strahls, der sich in einer Ringstruktur ausbreitet, beim Drehen des Rings ändert. Somit korreliert die Winkelgeschwindigkeit des Rings mit der Phasenänderung. Wenn sich das Fahrzeug dreht, werden die Phasen von zwei optischen Strahlen verschoben, ansonsten sind sie in Phase. RLGs sind sperrig und teuer. Mit der Einführung von "Photonic Integrated Circuits" werden RLGs auf Halbleiterbasis (Semiconductor RLG, SRLG) zu einer sinnvollen Alternative, da sie kostengünstig, stromsparend und kompakt sind. SRLGs verwenden einen kreisförmigen Resonanzhohlraum mit einem Halbleiterverstärkungsmedium. Das Verstärkungsmedium ist typischerweise AlGaAs oder InGaP mit Licht bei 1550 nm. SRLGs können monolithisch als integrierte Systeme auf einem Chip (integrierte SRLG) oder als Kombination aus einem optischen Halbleiterverstärker und einer Monomodefaser hergestellt werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

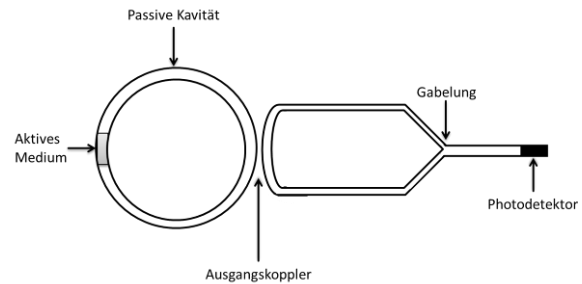
SRLGs zeichnen sich durch geringe Kosten und eine kompakte Bauform aus - typische Eigenschaften für Produkte, die in Halbleiterfabriken gefertigt werden. Außerdem verbrauchen sie wenig Strom.

Hemmnisse der Einführung

Im Vergleich zur MEMS-IMUs sind die Geräte immer noch teuer und die Technologie ist noch nicht ausgereift.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2021	2025	2028	2030



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

Positionsbestimmung via Mobilfunk
Faseroptisches Gyroskop
Satellitenbasierte Positionsbestimmung
M/NEMS (T136)

Einsatzbereich

SRLGs können für die relative Lokalisierung als Inertialsensoren eingesetzt werden.

Leistungsparameter

Zuverlässigkeit, Messgenauigkeit, Temperatur- und Vibrationsempfindlichkeit, Kosten und Größe sind u.a. kritische Faktoren.

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Sensortechnik; Für RLGs sind bereits einige große Hersteller am Markt, in der Entwicklung und dem Design von SRLGs liegt aber Potential für KMUs.

Schlagworte

Ortung
ADAS
Navigation

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Khandelwal, Semiconductor Ring Laser Gyroscopes - Modeling, Design and Critical Performance Limiting Parameters, 2017; Khandelwal u. a., Suppression of Lock-in in Integrated Semiconductor Ring Laser Gyroscopes Using Conservative Coupling, 2016; Passaro u. a., Gyroscope Technology and Applications, 2017.

Chip-skalierte Atomuhr

[T138; Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Genauere Uhren sind für die GNSS-basierte Navigation unerlässlich, da die Satellitensignale Zeit-kodiert sind. Heutige Satelliten haben große und teure Atomuhren, die die sehr konstante Elektronenübergangsfrequenz zur Zeitmessung nutzen. Auf der Empfängerseite wird die Zeit durch weniger stabile Systeme wie Quarzkristall- und MEMS-Oszillatoren bereitgestellt, die unter Frequenzdriften leiden. Fortschritte bei der Miniaturisierung von Atomuhren ermöglichen deren Einsatz in anderen Anwendungen und erhöhen so die GNSS-Zuverlässigkeit. Chip-skalierte Atomuhren (chip-scaled atomic clocks, CSAC) können in MEMS-Fabriken hergestellt werden und sind sehr kompakt und stromsparend.

Vorteile und Ziele der Technologie

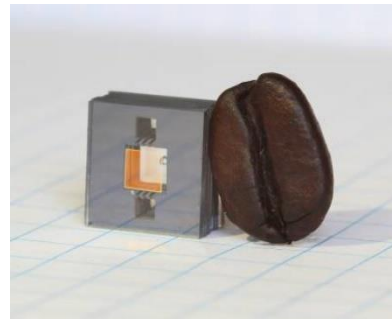
Die präzise Zeitbestimmung trägt zu einer exakteren satellitenbasierten Lokalisierung bei. Durch die Fertigung in MEMS-Fabriken, können die Uhren sehr kompakt hergestellt werden. Potentiell ist durch die Verwendung der ausgereiften MEMS-Technologie eine Kostenreduzierung zu erwarten. Die Technologie ist außerdem stromsparend.

Hemmnisse der Einführung

Die Technologie ist noch sehr teuer (>1000 EUR) und muss billiger werden, damit sich der Einsatz im Fahrzeug lohnt. Darüber hinaus sind sie noch nicht für den Einsatz im Automobilbereich qualifiziert.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019			



Bildquelle: © Hummon/NIST

Konkurrierende Technologien

Quarzkristall- Oszillatoren
MEMS-Oszillatoren
Molekulare Uhr (T139)

Einsatzbereich

Für die exakte Zeitmessung in der satellitenbasierten Positionsbestimmung.

Leistungsparameter

Die Technologie erreicht einen zeitlichen Versatz von einer Mikrosekunde pro Stunde. Die Fehlerrate ist damit ca. um den Faktor 10.000 besser als bei Quarzkristall-Uhren in heutigen Smartphones. Zuverlässigkeit, Messgenauigkeit, Temperatur- und Vibrationsempfindlichkeit, Kosten und Größe sind weitere wichtige Parameter.

Weiterführende Informationen

In der Verteidigungsindustrie wird die Technologie bereits eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Sensortechnik

Schlagworte

Ortung
ADAS
Navigation

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Matheson, Molecular clock could greatly improve smartphone navigation, 2019; Newman u. a., Architecture for the photonic integration of an optical atomic clock, 2019.

Molekulare Uhr

[T139; Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Im Gegensatz zu chipskalierten Atomuhren verwendet diese Technologie Moleküle und nicht Atome zur Zeitmessung. Indem Carbonylsulfidmoleküle einer bestimmten Frequenz elektromagnetischer Strahlung ausgesetzt werden, beginnen sich die Moleküle zu drehen. Dies kann gemessen und zur Ableitung der Zeit verwendet werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

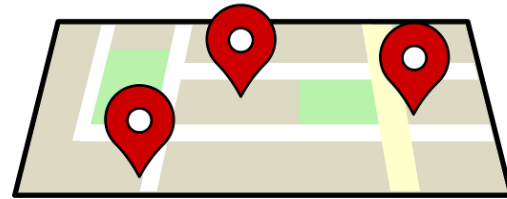
Dieses Verfahren ist fast so präzise wie Atomuhren und ebenso kompakt. Außerdem kann es kostengünstiger in Standard-CMOS-Gießereien hergestellt werden.

Hemmnisse der Einführung

Die Entwicklung der Technologie befindet sich noch am Anfang und ist daher noch nicht für den Einsatz im Fahrzeug qualifiziert.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019				



Bildquelle: © Tumisu [Pixabay Lizenz]

Konkurrierende Technologien

Quarkristall- Oszillatoren
MEMS-Oszillatoren
Chip-skalierte Atomuhr (T138)

Einsatzbereich

Für die exakte Zeitmessung in der satellitenbasierten Positionsbestimmung.

Leistungsparameter

Die Technologie erreicht ähnliche Leistungsparameter wie Chip-skalierte Atomuhren (T138). Zuverlässigkeit, Messgenauigkeit, Temperatur- und Vibrationsempfindlichkeit, Kosten und Größe sind weitere wichtige Parameter.

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Sensortechnik

Schlagworte

Ortung
ADAS
Navigation

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Matheson, Molecular clock could greatly improve smartphone navigation, 2019; Wang u. a., An on-chip fully electronic molecular clock based on sub-terahertz rotational spectroscopy, 2018.

HD-Karten

[T140; Positionsbestimmung]

Kurzbeschreibung

Hochauflösende (HD) Karten sind ein notwendiger Bestandteil für die Navigation autonomer Fahrzeuge. Das Grundprinzip ist, dass das Fahrzeug die Echtzeitbilder der Sensoren (LiDAR, Kamera, Radar) mit dem Bildmaterial der HD-Karten vergleicht und daraus die Position des Fahrzeugs ableitet. Durch die Identifizierung sogenannter Landmarken (Points of Interest, POI) kann eine submetergenaue Lokalisierung erreicht werden. Die HD-Karten werden von professionellen Anbietern (TomTom, Here etc.) erstellt, indem sie das Straßennetz abfahren und die Umgebung mit Sensoren erfassen. Ein komplementärer Ansatz zur Verortung der POIs basiert auf Satellitendaten, wodurch deren Position zentimetergenau bestimmt werden kann. Dies erhöht die Genauigkeit der HD-Karten und ist schneller als bodengebundene Messungen. Dem Crowdsourcing-Ansatz folgend, entfaltet die Technologie ihr volles Potenzial, wenn alle Fahrzeuge, die Umfoldsensoren besitzen, die erfassten Daten in einer Cloud teilen. Für einen schnellen Up- und Download müssen zum einen die Datensätze komprimiert (nur relevante Daten) und zum anderen die Kommunikationsbandbreiten verbessert werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

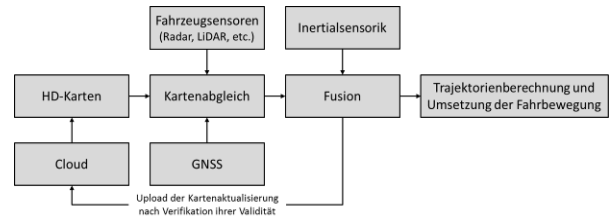
HD-Karten tragen durch im Rahmen der Sensorfusion dazu bei, dass keine Fehlinterpretationen autonomer Fahrzeuge stattfinden. Als redundanter Bestandteil der Navigation erlaubt die Kombination von Inertialsensorik und/oder Umfoldsensorik mit HD-Karten die kurzfristige Navigation als Notfalllösung wenn Kommunikations- und GNSS-Komponenten ausfallen.

Hemmnisse der Einführung

Die Karten müssen immer auf dem neuesten Stand gehalten werden, damit Baustellen, Umleitungen etc. genau erfasst und ständig aktualisiert werden. Die Technologie erfordert schnelle Kommunikationsstandards im Mobilfunk, so dass Daten in nahezu Echtzeit verfügbar sind.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2019	2020	2022	2023	2025



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

„Konventionelles“ Kartenmaterial für die Navigation
Karten auf Basis von Punktwolken

Einsatzbereich

Zentraler Bestandteil für die Navigation (Redundanz und Sensorfusion).

Weiterführende Informationen

Einige Teilfunktionen der HD-Karten sind bereits im Einsatz: z.B. die Echtzeitdarstellung von freien Parkplätzen. Im Projekt „Drivemarks“ lokalisiert das DLR POIs mittels Satelliten. Die SLAM-Technologie, bei der die Umgebung erfasst und gleichzeitig in dieser verortet wird, ist eng mit HD-Karten verbunden.

Zuordnung zu Kompetenzen

Softwareentwicklung; Datenmanagement

Schlagworte

Navigation
ADAS

SLAM
Sensorfusion

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Barsi u. a., Supporting autonomous vehicles by creating HD maps, 2017; Seif/Hu, Autonomous Driving in the iCity—HD Maps as a Key Challenge of the Automotive Industry, 2016.

M-MIMO für Mobilfunk und Positionsbestimmung

[T141; Positionsbestimmung und Langstreckenkommunikation]

Kurzbeschreibung

Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)-Systeme mit einer großen Anzahl von Basisstationsantennen (>100) werden als Massive MIMO (M-MIMO) bezeichnet. M-MIMO wird auch für den neuen Mobilfunkstandard 5G eingesetzt. Full-Dimension MIMO, ein 3GPP-Standard, ist ein erster Schritt zu M-MIMO, der Dutzende von Antennen nutzt (4G-Netze).

Vorteile und Ziele der Technologie

MIMO-basierte Netzwerke verbessern die Leistung von Mobilfunknetzen erheblich, insbesondere in Bezug auf Durchsatz, Latenz, Frequenz-, Spektral-, Energieeffizienz und Kapazitätssteigerung. Mit M-MIMO sind Durchsätze über 1Gbps möglich. Ein weiterer Vorteil von M-MIMO ist die Möglichkeit, Funksignale räumlich präzise zu identifizieren. Damit könnte ein Gerät / Fahrzeug im Netzwerk mit einer Genauigkeit von 1 m bestimmt werden - ohne GNSS-Tracking. Die 4G-Technologie ermöglicht mittels Identifikation der Netzzelle nur eine Genauigkeit von 50 m.

Hemmnisse der Einführung

Für die erfolgreiche Umsetzung müssen stromsparende und kostengünstige Basisstationen mit ausreichendem Antennenraum entwickelt werden. Außerdem werden verschiedene Antennengeometrien diskutiert, um den heterogenen Anforderungen des Mobilfunksystems gerecht zu werden, z.B. planare oder ringförmige Antennenanordnungen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019		



Bildquelle: © Telefonaktiebolaget LM Ericsson

Einsatzbereich

In der Mobilfunkkommunikation (V2X) sowie ggf. zur absoluten Positionsbestimmung von Fahrzeugen.

Leistungsparameter

Wichtige Parameter sind u.a. Durchsatz, Latenz, Kapazität, Frequenz-, Spektral- und Energieeffizienz.

Weiterführende Informationen

Die Grundlagenforschung für MIMO-Systeme reicht bis in die 70er Jahre zurück, erste Produktdemonstrationen folgten Ende der 90er Jahre. MRL10 für MIMO-Systeme wurde um 2005-2010 erreicht. M-MIMO-Systeme befinden sich jedoch überwiegend noch in der Entwicklung.

Zuordnung zu Kompetenzen

Antennendesign; Signalverarbeitung;
Kommunikationstechnik

Schlagworte

Ortung
ADAS

Mobilfunk
Navigation

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Fraunhofer HHI, Massive MIMO, 2019; Gandotra u. a., Green Communication in Next Generation Cellular Networks, 2017; Ji u. a., Overview of Full-Dimension MIMO in LTE-Advanced Pro, 2017.

URLLC

[T142; Langstreckenkommunikation]

Kurzbeschreibung

Mit der Einführung des Standards für den Mobilfunk der 5. Generation (5G NR; T144) hat die internationale Fernmeldeunion drei Servicekategorien festgelegt: „massive machine-type communications“ (mMTC), „ultra reliable low latency communications“ (URLLC), and „enhanced mobile broadband“ (eMBB). Für das hochautomatisierte Fahren ist vor allem URLLC wichtig, da hier sehr verlässliche Signale (Ausfallrate $< 10^{-5}$) mit möglichst geringer Latenz erforderlich sind. URLLC definiert die Latenzzeit auf max. 1ms. Die geringe Latenz kann mittels flexibler Numerologie, Mini-Slots, zulassungsfreier Sofort-Uplinks, und schneller Verarbeitung der Pakete erreicht werden. Technologien für möglichst hohe Verlässlichkeit sind: Multi-Konnektivität, Vielfalt und robustes PHY-Design.

Vorteile und Ziele der Technologie

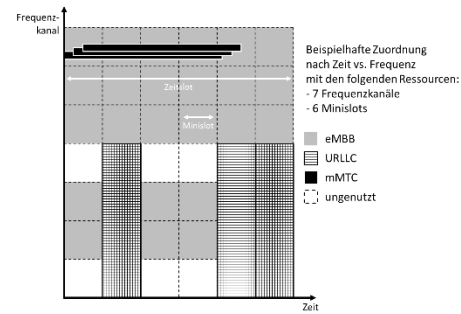
Zusammen mit der Einführung des Mobilfunkstandards 5G wird auch URLLC flächendeckend und international verfügbar werden.

Hemmnisse der Einführung

Der Kommunikationsstandard wird auf nationaler oder internationaler Ebene (bspw. EU) festgelegt. Der Erfolg der Technologie hängt daher davon ab, welcher Standard sich durchsetzen wird. In der EU ist die Entscheidung zwischen 802.11p, 5G oder einer hybriden Lösung aktuell noch offen (Stand Q3/2019).

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2020	2024	2025



Bildquelle: Eigene Darstellung (nach Popovski, 2018)

Konkurrierende Technologien

6G (T143)
 IEEE 802.11p
 IEEE 802.11bd (T147)

Einsatzbereich

Für die Kommunikation zwischen zwei oder mehreren Fahrzeugen oder mit der Infrastruktur. Bei V2V wird bspw. ein Bremssignal vom Fahrzeug am Stauende an die ankommenden Fahrzeuge übermittelt. Abseits der Automobilbranche wird die Technologie beim Internet der Dinge, v.a. in der Industrie 4.0 wichtig.

Leistungsparameter

URLLC definiert die Latenzzeit auf max. 1 ms und die Verlässlichkeit beträgt 10^{-5} .

Zuordnung zu Kompetenzen

Netzwerktechnik; Kommunikationstechnik

Schlagworte

Mobilfunk
 Latenz
 IoT

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Bennis u. a., Ultra-Reliable and Low-Latency Wireless Communication, 2018; Popovski u. a., 5G Wireless Network Slicing for eMBB, URLLC, and mMTC, 2018; Qualcomm, Expanding the 5G NR ecosystem, 2018.

THz Kommunikation mit 6G

[T143; Langstreckenkommunikation]

Kurzbeschreibung

Während in Deutschland noch keine 5G-Mobilfunknetze im Einsatz sind, ist die Entwicklung für 6G-Netze bereits im Gange. Die nächste Generation soll Durchsätze bis zu 400 Gbps bieten. 6G-Netze basieren auf Funkfrequenzen im THz-Bereich (0,1-10 THz). Wenn 4G, 5G und 6G Netze nebeneinander bestehen, ist es wichtig, dass ein reibungsloser Wechsel zwischen den Netzwerken gewährleistet wird. Geforscht wird außerdem an größeren Reichweiten und höheren Leistungen, auch wenn keine Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger besteht.

Vorteile und Ziele der Technologie

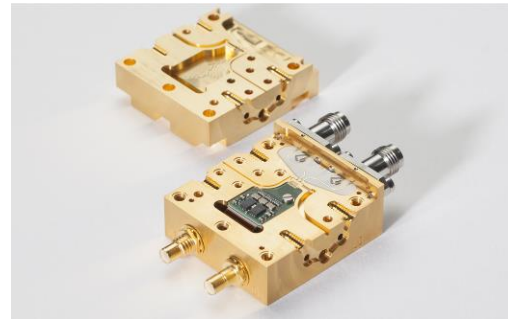
Während 4G eine Übertragungsrate von ca. 1 Gbps und 5G ca. 10 Gbps ermöglichen, soll 6G bis zu 400 Giga-byte pro Sekunde übertragen können. Theoretisch soll mit der THz-Kommunikation sogar 1 Tbps möglich sein. Im Vergleich zu mmWave 5G (T145) ermöglicht das THz-Band eine etwas höhere Reichweite.

Hemmnisse der Einführung

Die hohen Frequenzen im THz-Bereich reduzieren die Reichweite des Netzes und erfordern daher mehr Basisstationen als z.B. in 4G-Netzen. Es existieren mehrere Ansätze, um die Reichweite zu erhöhen: ein distanzorientiertes physikalisches Layerkonzept, ultra-massive MIMO, Reflektorarrays und intelligente Oberflächen. Bisherige Prototypen sind noch extrem komplex und teuer.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2019		2030	2030>	



Bildquelle: © Fraunhofer IAF

Konkurrierende Technologien

4G
5G (T144)
mmWave 5G (T145)

Einsatzbereich

6G kann neben dem Consumer-Markt auch in der Industrie 4.0 und im automobilen Bereich für V2X-Kommunikation eingesetzt werden.

Leistungsparameter

Durchsatz: 400 Gbps; Latenz: 0,1 ms; Ausfallrate: 10^{-9}

Weiterführende Informationen

Die chinesische Regierung hat 2030 als das Jahr der Einführung von 6G-Netzen (vergleichbar mit MRL8) definiert. Allerdings bezieht sich diese Definition auf die Telekommunikationsindustrie. Die Einführung in Fahrzeugen wird daher zeitlich versetzt beginnen. Im Projekt Terranova entwickelt das Fraunhofer IAF Funkmodule im THz-Bereich.

Zuordnung zu Kompetenzen

Netzwerktechnik; Kommunikationstechnik; Antennendesign; KMUs können auch den Ausbau und die Wartung des 6G-Netzes durchführen.

Schlagworte

Mobilfunk
Funkmodul
System-on-a-Chip

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Akyildiz u. a., Combating the Distance Problem in the Millimeter Wave and Terahertz Frequency Bands, 2018; Fraunhofer IAF, THz-Technologien für drahtlose Netze nach 5G, 2019; Giordani u. a., Towards 6G Networks, 2019; Strinati u. a., 6G, 2019.

5G NR für C-V2X

[T144; Lang- und Kurzstreckenkommunikation]

Kurzbeschreibung

Cellular vehicle-to-everything (C-V2X) ist ein Kommunikationsstandard, der von der 3GPP Vereinigung eingeführt wurde, um eine Mobilfunkbasierte Kommunikation für kurze und lange Strecken zwischen Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern zu ermöglichen. C-V2X besteht aus den Elementen "Direkte Kommunikation" (Betrieb im 5,9 GHz-Frequenzband) und "Netzwerkcommunication". Im Nahbereich (direkte Kommunikation) steht die Technologie im Wettbewerb mit der WLAN-Technologie 802.11p. C-V2x arbeitet bisher auf Basis von 4G LTE, jedoch wird die Einführung von 5G New Radio (5G NR) die Leistung von C-V2X deutlich verbessern. 5G NR ist der Standard für das Zugangsnetz in 5G-Systemen. Zusammen mit den Endgeräten, wie z.B. Fahrzeugen oder Smartphones, und der entsprechenden Netzwerkkonstruktion "5G Core" definiert es ein 5G-System. 5G NR basiert auf OFDM-basierten Wellenformen, mehreren Benutzern und massiven MIMO (T141).

Vorteile und Ziele der Technologie

Mit den Servicekategorien „massive machine-type communications“ (mMTC), „ultra reliable low latency communications“ (URLLC, T142), and „enhanced mobile broadband“ (eMBB) erlaubt 5G zahlreiche Vorteile, wie hoher Datendurchsatz, geringe Latenz und Zuverlässigkeit (sehr wichtig für automatisiertes Fahren) und die hohe Anzahl gleichzeitiger Netznutzer. Außerdem sind die Kosten für die Kommunikationsgeräte gering (<100 EUR).

Hemmnisse der Einführung

Der Kommunikationsstandard wird auf nationaler oder internationaler Ebene (bspw. EU) festgelegt. Der Erfolg der Technologie hängt daher davon ab, auf welchen Standard die Wahl trifft. In der EU ist die Entscheidung zwischen 802.11p, 5G oder einer hybriden Lösung aktuell noch offen (Stand Q3/2019). Der Ausbau der Infrastruktur (inkl. Lizenzvergabe) ist teuer.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2022	2023	2024	2026



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

4G	802.11bd (T147)
6G (T143)	802.11p

Einsatzbereich

Die Technologie wird im Fahrzeugbereich für die V2X-Kommunikation eingesetzt, d.h. dem Informationsaustausch zwischen einem Fahrzeug und seiner Umgebung.

Leistungsparameter

Durchsatz: 1-10 Gbps; Latenz: ca. 1 ms; Reliabilität: 10^{-5}

Weiterführende Informationen

Bei V2I-Anwendungen, d.h. Kommunikation mit der Infrastruktur, sind Partnerschaften zwischen Industrie (Fahrzeug) und staatlichen Behörden (Infrastruktur) notwendig.

Zuordnung zu Kompetenzen

Netzwerktechnik; Kommunikationstechnik; KMUs können auch den Ausbau und die Wartung des 5G-Netzes durchführen.

Schlagworte

Mobilfunk

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Qualcomm, Expanding the 5G NR ecosystem, 2018; Strinati u. a., 6G, 2019.

mmWave 5G

[T145; Kurzstreckenkommunikation]

Kurzbeschreibung

Die mmWave-Technologie ist ein Element des gesamten 5G-Netzwerkspektrums: Mit Frequenzen zwischen ca. 30 und 300 GHz (kurze mm-Wellenlängen) arbeitet mmWave in einem noch wenig genutzten Spektralband. 5G arbeitet jedoch auch in niedrigeren Frequenzbändern (5,9 GHz), die bereits von TV, Radio und 4G LTE genutzt werden.

Vorteile und Ziele der Technologie

mmWave-basiertes 5G bietet den Vorteil, dass weniger mögliche Störungen mit anderen drahtlosen Kommunikationsnetzen auftreten. Ein weiterer Vorteil gegenüber niedrigeren Frequenzen ist ein höherer Datendurchsatz (bis zu 10 Gbps).

Hemmnisse der Einführung

Im Vergleich zu niedrigeren Frequenzbändern ist die Signalreichweite jedoch geringer (ca. 200m) und die Positionierung der Antennen bedarf intensiverer Überlegung, weil sich das Signal möglicherweise durch Wände, schlechtes Wetter oder Hände beeinträchtigen lässt. Es existieren mehrere Ansätze, um die Reichweite zu erhöhen: ein distanzorientiertes physikalisches Layerkonzept, ultra-massive MIMO, Reflektorarrays und intelligente Oberflächen. Für automobiler Anwendungen wird vor allem ein Antennendesign notwendig sein, das den Betrieb der mmWave 5G Technologie auf sich schnell bewegenden Fahrzeugen erlaubt.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
			<2019	2025	2027



Bildquelle: © Telefonaktiebolaget LM Ericsson

Konkurrierende Technologien

IEEE 802.11p
IEEE 802.11bd (T147)
6G (T145)

Einsatzbereich

Für die Kommunikation auf kurzen Distanzen.

Leistungsparameter

Reichweite: <200m; Durchsatz: ca. 10Gbps

Zuordnung zu Kompetenzen

Netzwerktechnik; Kommunikationstechnik;
Antennendesign

Schlagworte

Mobilfunk

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Akyildiz u. a., Combating the Distance Problem in the Millimeter Wave and Terahertz Frequency Bands, 2018; Qualcomm, Expanding the 5G NR ecosystem, 2018.

IEEE 802.11bd Standard für ITS-G5

[T147; Kurzstreckenkommunikation]

Kurzbeschreibung

Der 2010 eingeführte Netzwerkstandard IEEE 802.11p definiert das W-LAN in Fahrzeugumgebungen (wireless access in vehicular environments, WAVE) für die V2X-Kommunikation in Kurzstrecken Anwendungen. In den USA ist diese Norm in die Dedicated Short Range Communication (DSRC) Umgebung integriert, während sie in Europa für den ETSI ITS-G5 Standard für die Fahrzeugkommunikation verwendet wird. 802.11p arbeitet im 5,850-5,925 GHz-Band. 802.11p basiert auf Technologien des 1999 eingeführten 802.11a. Dieser wird derzeit aber überarbeitet und erlaubt mit 802.11ax (bzw. Wi-Fi 6) u.a. ca. 3x höhere Geschwindigkeiten und geringere Latenzzeiten auf Basis von u.a. OFDMA und Multi-User MIMO (vgl. T141). Daher wird auch der Standard für V2X-W-LAN unter der Bezeichnung IEEE 802.11bd überarbeitet. Der Standard befindet sich noch in der Entwurfsphase.

Vorteile und Ziele der Technologie

IEEE 802.11bd wird sich auf ein sehr effizientes Kommunikationsnetzwerk für V2X-Anwendungen konzentrieren. Im Detail bedeutet dies höhere Datenraten, verbesserte Linkzuverlässigkeit und größere Reichweite durch eine verbesserte MAC/PHY-Technologie. Außerdem ist er rückwärts mit 802.11p-Fahrzeugen kompatibel und ermöglicht die Lokalisierung auch ohne Sichtverbindung.

Hemmnisse der Einführung

Forschungsergebnisse zeigen, dass die Anzahl der Kommunikationsfehler zwischen zwei Fahrzeugen (V2V) auf Autobahnen im Vergleich zu städtischen Gebieten zunimmt (höhere Geschwindigkeit und größere Entfernung) und außerdem zunimmt, wenn sich Objekte zwischen den Fahrzeugen befinden. Künftige Entwicklungen im W-LAN Standard sollten sich auf eine niedrige Paketfehlerquote konzentrieren.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2021	2024	2025



Bildquelle: © Bosch

Konkurrierende Technologien

IEEE 802.11p	5G NR (T144)
URLLC (T142)	6G (T143)
Lichtbasierte Kommunikation (T175)	

Einsatzbereich

Für die Kurzstreckenkommunikation zwischen Fahrzeug und Umgebung, bspw. Infrastruktur oder andere Fahrzeuge.

Leistungsparameter

Mit 802.11bd sollen u.a. folgende Parameter erreicht werden: Max. Reichweite von 2 km und Relativgeschwindigkeiten bis 500 km/h. 802.11bd Geräte sollen auf den Frequenzbändern um 5,9 GHz sowie optional auf 60 GHz arbeiten.

Weiterführende Informationen

MRL8 wurde mit der Fertigstellung des Standards gleichgesetzt. Dieser soll 2021 eingeführt werden. Der Kommunikationsstandard wird auf nationaler oder internationaler Ebene (bspw. EU) festgelegt. Der Erfolg der Technologie hängt daher davon ab, auf welchen Standard die Wahl trifft. In der EU ist die Entscheidung zwischen 802.11p, 5G oder einer hybriden Lösung aktuell noch offen (Stand Q3/2019).

Zuordnung zu Kompetenzen

Hochfrequenztechnik

Schlagworte

DSRC
Wi-Fi 6
IEEE 802.11

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse ; IEEE, IEEE 802.11 Overview and Amendments under development, 2019; Naik u. a., IEEE 802.11bd & 5G NR V2X, 2019.

VANET

[T148; Kurzstreckenkommunikation]

Kurzbeschreibung

Ein VANET ist ein dezentrales mobiles Ad-hoc-Netzwerk in dem Fahrzeuge (On-Board Units, OBU) und Road-Side Units (RSU) die Knoten darstellen. Es umfasst die Kommunikation zwischen Fahrzeugen (V2V) und Fahrzeugen zu RSUs (V2I). VANETs können auf verschiedenen drahtlosen Kommunikationssignalen basieren; in der Regel nutzen sie IEEE 802.11p oder Mobilfunknetze. Als Übertragungsprotokoll hat sich Protokoll „Ad-Hoc on-Demand Distance Vector“ als besonders geeignet qualifiziert.

Vorteile und Ziele der Technologie

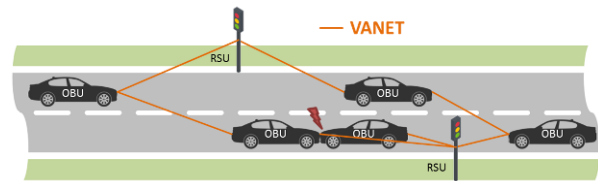
Der Netzaufbau und die Konfiguration erfolgen bei VANETs automatisch. Dadurch wird die Kommunikation zwischen einem „spontanen“ Netzwerk möglich.

Hemmnisse der Einführung

Im Gegensatz zu anderen mobilen Ad-hoc-Netzen ist die Geschwindigkeit der sich bewegenden Knoten deutlich höher, was zu sehr kurzen Verbindungszeiten führt. Eine weitere Herausforderung ist die sich verändernde Umgebung, die die Verbindungen durch Abschattungseffekte und Signalstörungen beeinflusst. Während bereits viel an Möglichkeiten der Authentifizierung geforscht wird, fehlen noch Lösungen für einen ununterbrochene Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2019	2019>		



Bildquelle: Eigene Darstellung

Einsatzbereich

Einer der wichtigsten Anwendungsfälle von VANET ist der Austausch von Informationen zwischen Fahrzeugen zur Reduzierung von Verkehrsunfällen („Kurve/Stauende voraus“, „Warnung nicht zu überholen“, „Kollisionswarnung“ etc.). „Komfort“-Anwendungen liefern bspw. Informationen über Shopping-Angebote in der Nähe oder die automatische Bezahlung bei der Maut oder Tankstelle.

Zuordnung zu Kompetenzen

Netzwerktechnik; Kommunikationstechnik;
Antennendesign

Schlagworte

Mobilfunk
Ad-hoc Netzwerk

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Eze u. a., Vehicular ad hoc networks (VANETs), 2014; Ghorri u. a., Vehicular ad-hoc network (VANET), 2018.

Lichtbasierte Kommunikation

[T175; Kurzstreckenkommunikation]

Kurzbeschreibung

Der rasante Fortschritt bei Leuchtdioden (LED) ermöglicht die Nutzung der LED-Technologie für die optische Drahtloskommunikation: die sichtbare Lichtkommunikation (visible light communication, VLC; auch Li-Fi genannt). Werden die Lichtintensitätsstufen von LEDs oberhalb von 200 Hz geschaltet, nimmt das menschliche Auge einen konstanten Lichtstrahl wahr, während über die Schaltfrequenz Informationen übertragen werden können. Somit kann VLC sowohl für die Beleuchtung als auch für die Kommunikation eingesetzt werden. Neben sichtbarem Licht kann auch ultraviolettes oder infrarotes Licht verwendet werden. Fotodioden oder Hochgeschwindigkeitskameras empfangen und verarbeiten das Licht.

Vorteile und Ziele der Technologie

Vorteile gegenüber der herkömmlichen Hochfrequenzkommunikation, z.B. Wi-Fi, sind: größere Bandbreite, keine elektromagnetischen Störungen und sicher vor „Abhörung“, da Licht leicht blockiert werden kann.

Hemmnisse der Einführung

Die Blockade des Lichts ist jedoch ein Nachteil, ebenso wie die Technologie in erster Linie von der Sichtlinie abhängt (die Forschung versucht, reflektiertes und gestreutes Licht zu nutzen). Darüber hinaus kann Sonnenlicht zu Störungen führen. Bisher ist die Leistung geringer als die von z.B. Wi-Fi

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2017	2017	2017>			



Bildquelle: © Бумбаяр [CC BY-SA 4.0, Wikipedia]

Konkurrierende Technologien

URLLC (T142) IEEE 802.11p/bd (T147)
6G (T143) 5G NR (T144)

Einsatzbereich

Eine mögliche Automobilanwendung könnte V2V mit den bereits in den Scheinwerfern eingebauten LEDs oder V2I mit Licht der Ampelanlagen sein.

Leistungsparameter

Die VLC soll 1 Gbps erreicht haben, allerdings nur innerhalb weniger Meter Reichweite. Zielwerte für den Einsatz im Fahrzeug liegen bei ca. 400 Mbps.

Weiterführende Informationen

Es gibt einen IEEE-Arbeitskreis der VLC unter der Bezeichnung 802.11bb standardisieren soll.

Zuordnung zu Kompetenzen

Optikdesign; Kommunikationstechnik;
Hochfrequenztechnik

Schlagworte

Licht Scheinwerfer
Li-Fi LED
IEEE 802.11

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse ; IEEE, IEEE 802.11 Overview and Amendments under development, 2019; Kim u. a., Outdoor Visible Light Communication for inter- vehicle communication using Controller Area Network, 2012; Kruse u. a., Design of an Automotive Visible Light Communications Link using an Off-The-Shelf LED Headlight, 2018; Luo u. a., Fundamental analysis of a car to car visible light communication system, 2014.

CAN FD

[T149; Fahrzeuginterne Kommunikation]

Kurzbeschreibung

CAN, mit Bandbreiten bis 1 Mbps, ist derzeit das Rückgrat der Kommunikation innerhalb des Fahrzeuges. Das Update zu der CAN Technologie „CAN FD“ (Flexible Data-Rate), das in 2012 von Bosch eingeführt wurde, ermöglicht einen Datendurchsatz bis 5 Mbps und geringerer Latenz als das Standard-CAN. Daher ist zu erwarten, dass CAN von CAN-FD abgelöst wird. Eine Entwicklung jenseits 5 Mbps scheint jedoch unrealistisch, da Ethernet mit deutlich höheren Bandbreiten CAN als Rückgrat ablösen wird. CAN-FD und Ethernet werden aber vermutlich (zusammen mit anderen wie FlexRay und LIN) nebeneinander bestehen und sich ergänzen.

Vorteile und Ziele der Technologie

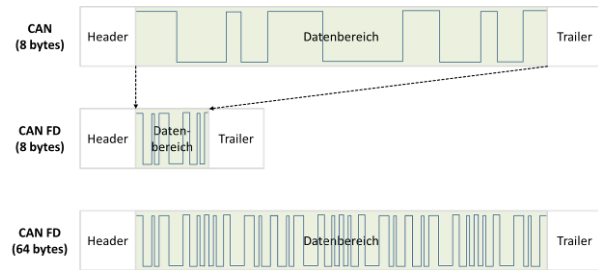
Die fünf Mal höhere Bandbreite und geringere Latenz als bei CAN qualifiziert CAN FD den Vorgänger abzulösen. Zudem ist das CAN-Protokoll weit verbreitet.

Hemmnisse der Einführung

Ein hochautomatisiertes Fahrzeug sammelt sehr viele Daten. Daher reicht eine Bandbreite von 5 Mbps nicht aus. CAN FD wird daher eher eine Transit-Lösung sein, bzw. in hochautomatisierten / autonomen Fahrzeugen nur für untergeordnete/spezifische Funktionen eingesetzt werden. Die konkurrierende Ethernet-Technologie ist v.a. für HMI- und ADAS-Funktionen besser geeignet, da sie weitaus höhere Bandbreiten erlaubt.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2020	2021	2022



Bildquelle: Eigene Darstellung (nach Daigmorte, 2017)

Konkurrierende Technologien

CAN

Automotive-Ethernet (T150 & T174)

Andere Bussysteme, wie FlexRay, MOST, LVDS oder LIN

Einsatzbereich

CAN FD wird für die Datenkommunikation zwischen den verschiedenen Steuergeräten in einem Fahrzeug eingesetzt. V.a. für Funktionen die geringe Bandbreiten benötigen aber dafür hohe Anforderungen an die Latenz haben, ist der Einsatz von CAN-FD auch in Zukunft denkbar/ sinnvoll.

Leistungsparameter

Die Bandbreite beträgt ca. 5 Mbps.

Weiterführende Informationen

CAN FD ist in der Norm ISO 11898-1:2015 spezifiziert.

Zuordnung zu Kompetenzen

Datenmanagement; Kommunikationstechnik;
Netzwerktechnik

Schlagworte

Bussystem
Bordnetz

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Daigmorte u. a., Reducing CAN latencies by use of weak synchronization between stations, 2017; Schreiner u. a., Introduction of CAN FD into the next generation of vehicle E/E architectures, 2017; Zeng u. a., In-Vehicle Networks Outlook, 2016.

Optisches Automotive-Ethernet

[T150; Fahrzeuginterne Kommunikation]

Kurzbeschreibung

Aktuelle Technologien für Fahrzeugnetze sind nicht in der Lage, hohe Bandbreiten bereitzustellen: So ist beispielsweise CAN auf eine Bitrate von 1 Mbit/s beschränkt. Die höchste Bitrate bietet LVDS mit 655 Mbps. Mit der Einführung der ADAS-Funktionen erzeugen die benötigten Sensoren jedoch deutlich höhere Durchsätze (z.B. würde eine 1280x960pixel RGB-Kamera bei 30fps fast 900 Mbit/s erzeugen). Die Ethernet-Technologie kann wesentlich höhere Bitraten liefern, wodurch eine Anwendung im Automobilbereich besonders attraktiv wird. Ethernet mit kupferbasierten Fasern ist bereits in verschiedenen Fahrzeugen implementiert. Eine andere Technologie, das „optische Ethernet“, basiert auf Glasfasern statt Kupferkabeln und wird in Branchen wie der IT oder Telekommunikation bereits angewendet.

Vorteile und Ziele der Technologie

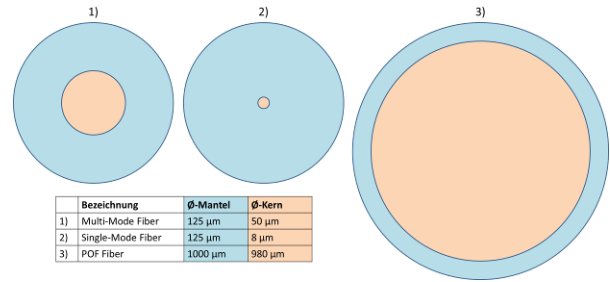
Glasfaserbasiertes Ethernet bietet im Vergleich zu kupferbasiertem Ethernet bessere Leistung für Bitraten über 1 Gbps in Bezug auf Kosten, Gewicht, Dicke und elektromagnetische Störungen. Der Standard mit 10 Gb befindet sich derzeit in der Entwicklung, Überlegungen für bis zu 400 Gb Ethernet existieren aber bereits für andere Branchen.

Hemmnisse der Einführung

Die Forschung muss sich v.a. noch mit den Herausforderungen bei der Lichtquelle (Green LED, IR VCSEL), der Glasfaser (1mm Polymer-LWL vs. 125 µm Glasfaser) und dem Detektormaterial (Si, GaAs) beschäftigen. Außerdem haben Glasfaserkabel einen vergleichsweise hohen Biegeradius, wodurch die Kabelverlegung im Fahrzeug erschwert wird. Glasfaserverbindungen in Fahrzeugen haben sich sehr oft als problematisch erwiesen (z.B. MOST). Die Hersteller bewegen sich daher weg von der Glasfaser hin zu Kupfer. Eine Alternative zur Glasfaser ist die „Plastic Optical Fiber“ (POF).

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2021	2023	2025	2026	2028



Bildquelle: Eigene Darstellung

Konkurrierende Technologien

Kupferbasiertes Automotive-Ethernet (T150)
CAN FD (T149)
Andere Bussysteme wie CAN, FlexRay, MOST, LVDS oder LIN

Einsatzbereich

Als Backbone für das Fahrzeugbordnetz. V.a. für den Informationsaustausch mit hohen Datenraten, d.h. bspw. Übertragung von Sensordaten oder für HMI-Funktionen (bspw. Anzeige auf einem 8k Display).

Weiterführende Informationen

100 Mbps und 1 Gbps kupferbasierte Ethernet-Systeme haben bereits MRL10 für automobiler Anwendungen erreicht. 1 Gbps optisches Ethernet hat 2017 MRL10 erreicht. 10 Gbps auf Basis von Glasfasern sind jedoch noch in der Entwicklung – die Einschätzung links bezieht sich auf deren zeitliche Entwicklung.

Zuordnung zu Kompetenzen

Datenmanagement; Kommunikationstechnik; Netzwerktechnik; Optikdesign

Schlagworte

Bussystem
Bordnetz

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; IEEE 802.3 Panel, Tutorial: Gigabit Ethernet Over Plastic Optical Fiber (GEPOF), 2014; Mart: The Fundamentals of Automotive Ethernet, 2017; Zeng u. a., In-Vehicle Networks Outlook, 2016.

Kupferbasiertes Automotive-Ethernet

[T174; Fahrzeuginterne Kommunikation]

Kurzbeschreibung

Aktuelle Technologien für Fahrzeugnetze sind nicht in der Lage, hohe Bandbreiten bereitzustellen: So ist beispielsweise CAN auf eine Bitrate von 1 Mbit/s beschränkt. Die höchste Bitrate bietet LVDS mit 655 Mbps. Mit der Einführung der ADAS-Funktionen erzeugen die benötigten Sensoren jedoch deutlich höhere Durchsätze (z.B. würde eine 1280x960pixel RGB-Kamera bei 30fps fast 900 Mbit/s erzeugen). Die Ethernet-Technologie kann wesentlich höhere Bitraten liefern, wodurch eine Anwendung im Automobilbereich besonders attraktiv wird. Ethernet mit kupferbasierten Fasern ist bereits in verschiedenen Fahrzeugen implementiert. Die wichtigsten Standards sind hierbei in BroadR-Reach und 1000Base-T1 festgelegt. Diese sind sich sehr ähnlich, wobei BroadR-Reach von der Firma Broadcom initiiert wurde, während 1000Base-T1 von der IEEE 802.3 Arbeitsgruppe definiert wurde.

Vorteile und Ziele der Technologie

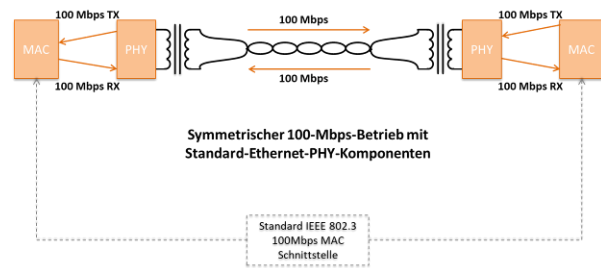
Neben den ähnlich guten Leistungsparametern wie bei optischem Ethernet, bietet die kupferbasierte Lösung zudem die Möglichkeit zur „Power over Ethernet“, sodass Geräte mit geringem Stromverbrauch direkt über die Ethernet-Verkabelung versorgt werden können. Dies spart zusätzliche Stromkabel. Außerdem ist der Biegeradius bei Kupferkabeln kleiner als bei optischen Lösungen.

Hemmnisse der Einführung

Kupferbasiertes Ethernet hat sich bereits in großen Teilen gegenüber anderen Lösungen durchgesetzt. Zudem wird sich die Bandbreite der Technologie auch für den automobilen Bereich weiter vergrößern. Die Technologie scheint damit für die nächsten Jahre zentraler Bestandteil des Fahrzeugbordnetzes zu sein. Wichtig ist aber, dass Ethernet-Standards verschiedener Bandbreite nebeneinander bestehen werden und daher abwärtskompatibel sein müssen.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2019



Bildquelle: Eigene Darstellung (nach OPEN Alliance SIG, 2020)

Konkurrierende Technologien

Optisches Automotive-Ethernet (T150)
CAN FD (T149)
Andere Bussysteme, wie CAN, FlexRay, MOST, LVDS oder LIN

Einsatzbereich

Als Backbone für das Fahrzeugbordnetz. V.a. für den Informationsaustausch mit hohen Datenraten, d.h. bspw. Übertragung von Sensordaten oder für HMI-Funktionen (bspw. Anzeige auf einem 8k Display).

Weiterführende Informationen

100 Mbps und 1 Gbps kupferbasierte Ethernet-Systeme haben bereits MRL10 für automobiler Anwendungen erreicht. Die Einschätzung der zeitlichen Entwicklung bezieht sich darauf. Allerdings wird auch hier an höheren Datenraten gearbeitet. Diese werden aber bisher noch nicht in Serienfahrzeugen eingesetzt.

Zuordnung zu Kompetenzen

Datenmanagement; Kommunikationstechnik

Schlagworte

Bussystem
Bordnetz

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Mart: The Fundamentals of Automotive Ethernet, 2017; Zeng u. a., In-Vehicle Networks Outlook, 2016.

MEMS

[T151; Mikrosystemtechnik]

Kurzbeschreibung

MEMS kombinieren mikromechanische und elektrische (sowie optische) Strukturen in Systemen im Bereich von wenigen μm . Sie werden in der Regel in CMOS-Fabriken auf Silizium hergestellt. Die Kombination der integrierten Schaltung und der MEMS kann als hybride Struktur (MEMS und CMOS auf verschiedenen Substraten) oder monolithisch (auf dem gleichen Substrat, System-on-a-Chip) gestaltet werden. Der hybride Ansatz bietet mehr Flexibilität und ist weniger komplex, während die monolithische Lösung eine dichtere Verpackung aufweist und kleiner ist.

Vorteile und Ziele der Technologie

Die Technologie ist bereits sehr ausgereift und aufgrund der guten Serienfertigung sehr kosteneffizient. Zudem bieten MEMS sehr gute mechanische und thermische Eigenschaften, die Möglichkeit zu „energy harvesting“ sowie eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer. Durch die Kompatibilität mit anderen Halbleitertechnologien (IC, PIC) wird die Technologie weiter vorangetrieben. Auf Basis der MEMS Technologie kann eine große Anzahl verschiedener Sensoren, Schalter und Aktuatoren entwickelt werden (Diversität).

Hemmnisse der Einführung

Die aktuelle Forschung verfolgt eine höhere Integration von CMOS und MEMS als hochgradig 3D-integrierte SOCs (System-on-a-Chip). Das Packaging wird in Zukunft durch die Vielfalt der verschiedenen Schnittstellen zu einer Herausforderung. Je kleiner die Systeme werden, desto problematischer wird das Signal-Rausch-Verhältnis.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
					<2019



Bildquelle: © Bosch

Konkurrierende Technologien

NEMS (T152)
Quarz-Resonatoren
„Herkömmliche“ Technologien auf Makroebene

Einsatzbereich

MEMS werden bereits in vielen Anwendungen in verschiedenen Branchen (einschließlich der Automobilindustrie) eingesetzt: Inertialsensoren, optische Aktuatoren, Temperatursensoren, Drucksensoren, Aktuatoren für die Kraftstoffeinspritzung usw. V.a. durch den langjährigen Einsatz der Technologie im Automobil- und Smartphone-Bereich in hohen Stückzahlen, wurde bis heute eine hohe Reife erreicht.

Leistungsparameter

Je nach Einsatzzweck des MEMS-Sensors oder -Aktors gelten andere Indikatoren. Generell ist ein geringes Signal-Rausch-Verhältnis für Sensoren wichtig und bei Aktuatoren ist oft die Frequenz ein bedeutender Parameter.

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Halbleitertechnik; Fabless- und Foundry-basierte Systeme machen MEMS auch für kleinere Unternehmen zugänglich (v.a. für sehr spezifische dafür hochqualitative MEMS). MEMS werden aber vor allem von großen OEMs und Tier-1 Unternehmen produziert, da die Produktionsanlagen hohe Investitionen bedürfen.

Schlagworte

CMOS
Chipdesign

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Fischer u. a., Integrating MEMS and ICs, 2015; Mahalik u. a., Principles of MEMS and MOEMS, 2006; Pustan/Rymuza, Comparative Studies of Advantages of Integrated Monolithic versus Hybrid Microsystems, 2007; STMicroelectronics, MEMS Micro-actuators enabling new and unforeseen applications, 2017.

NEMS

[T152; Mikrosystemtechnik]

Kurzbeschreibung

Nanoelektromechanische Systeme (NEMS) sind die konsequente Weiterentwicklung von MEMS (T151). Basierend auf dem Fortschritt der Halbleiterfertigung in Richtung nm-Bereiche (T153) werden MEMS in Zukunft noch kleiner hergestellt: Im Bereich von <100 nm werden die Systeme NEMS genannt. Die NEMS können entweder in „klassischen“ IC-Fabriken oder unter Verwendung selbstorganisierender Monoschichten hergestellt werden. Im zweiten Fall ordnen sich die einzelnen Moleküle selbstständig an. Dies führt zu kleineren Strukturen, aber auch zu geringerer Kontrolle über die resultierenden Strukturen.

Vorteile und Ziele der Technologie

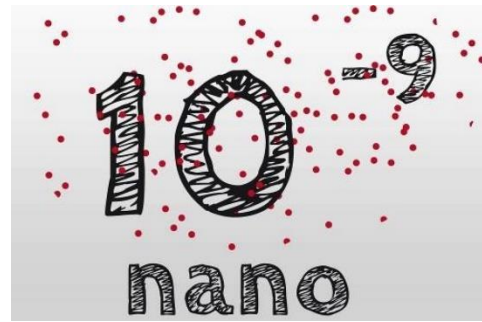
Die Vorteile sind ihre geringe Größe, ihr geringes Gewicht und die Möglichkeit, durch zukünftig bestehende Fertigungsprozesse mehr Elemente auf einem Wafer zu fertigen. Die Fortschritte in der Lithographie werden auch die Herstellung von NEMS fördern.

Hemmnisse der Einführung

Auf Nanoebene ändern sich die mechanischen Eigenschaften dramatisch, sodass die Steuerbarkeit der Strukturen eine Herausforderung darstellt. Je kleiner die Systeme werden, desto problematischer wird das Signal-Rausch-Verhältnis. In dieser Größenordnung werden (mechanische) Umweltwechselwirkungen zunehmend erschwert.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
<2019	2023	2026	2028	2029	2031



Bildquelle: © Designeon [Pixabay Lizenz]; Änderung: Bildzuschnitt

Konkurrierende Technologien

MEMS (T151)
„Herkömmliche“ Technologien auf Makroebene

Einsatzbereich

Für NEMS bieten sich ähnliche Einsatzzwecke an wie für MEMS (siehe Hemmnisse). V.a. als miniaturisierte Sensoren und Aktuatoren. Denkbar wäre bspw. eine molekülsensitive Anwendung als künstliche „Nase“ zu Detektion von Schadstoffen.

Leistungsparameter

Herstellungskosten, Stabilität bzw. Fehlerrate und das Signal-Rausch-Verhältnis sind wichtige Kenngrößen.

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Halbleitertechnik; Große Tier-1 Zulieferer produzieren die Geräte in Masse und dominieren den Markt. Ein Einstieg in die Technologie ist mit hohem Risiko und Investitionen verbunden. Für kleine und mittlere Unternehmen liegen potenzielle Beiträge im Systemdesign und den möglichen Signalverarbeitungsschaltungen.

Schlagworte

Chipdesign

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Gotszalk, From MEMS to NEMS, 2020; Huang u. a., NEMS actuator driven by electrostatic and optical force with nano-scale resolution, 2015; Nan u. a., Self-Biased 215MHz Magnetoelectric NEMS Resonator for Ultra-Sensitive DC Magnetic Field Detection, 2013.

EUV-Lithographie

[T153; Mikrosystemtechnik]

Kurzbeschreibung

Die Technologie zur Herstellung von Halbleiterchips wird immer komplexer, um mehr Transistoren pro Fläche herzustellen. Dies erhöht die Leistung der Chips bzw. reduziert die Chipgröße. Einer der anspruchsvollsten Fertigungsschritte ist die Lithographie, bei der im Wesentlichen die Schaltelemente auf den Siliziumwafer gedruckt werden. In den letzten Jahren haben die Chiphersteller vor allem die Immersionslithographie mit einer Belichtungswellenlänge von 193 nm eingesetzt. Chipstrukturen unterhalb von 10 nm können aber mit einer neuen Art Lithographieprozess weitaus kosteneffizienter erreicht werden als mit der Immersionslithographie: die EUV-Lithographie (EUVL), die durch Laserpulseexposition erzeugte Plasmastrahlung mit einer Wellenlänge von 13,5 nm als Strahlungsquelle nutzt. Die nächsten Technologieknoten sind 7 nm und 5 nm.

Vorteile und Ziele der Technologie

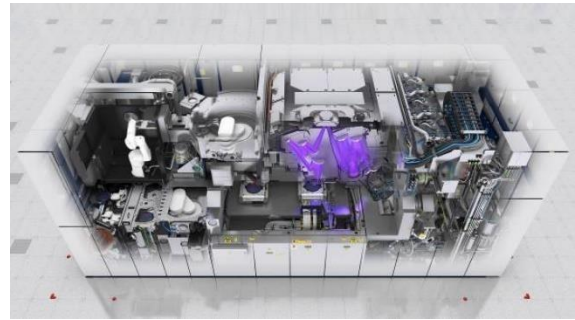
Die kürzere Wellenlänge von 13,5 nm hat gemäß der Abbe'schen Auflösungsformel ($d = \lambda / NA^2$) den inhärenten Vorteil, kleinere bzw. leistungsstärkere Halbleiterchips herstellen zu können. Bei der EUVL werden weniger Fertigungsschritte als bei der Immersionslithographie benötigt. Durch neue Transistoren (ebenfalls mit EUVL produzierbar) können Technologieknoten bis 1,5 nm erreicht werden (heutige Transistoren sind auf 3 nm begrenzt, da ab dieser Gatelänge das direkte Tunneln von Elektronen zwischen Quelle und Ableiter beginnt).

Hemmnisse der Einführung

Die EUVL steht vor einigen großen Herausforderungen: 13,5 nm Licht werden von den Medien Glas und Luft stark absorbiert, weshalb Spiegel mit Multilayer-Beschichtung anstelle von Linsen verwendet werden müssen. Außerdem sind die Produktionsanlagen noch sehr teuer. Weiterhin muss der Herstellungsprozess im Vakuum durchgeführt werden und benötigt eine komplexe Plasma-Lichtquelle. Die zukünftige Forschung wird sich auf EUVL mit hoher numerischer Apertur (NA) konzentrieren, was die Auflösung und Positioniergenauigkeit im Vergleich zu den heutigen EUV-Systemen erhöht.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2019	2022	2025	2025



Bildquelle: © ASML

Konkurrierende Technologien

Immersionlithographie in Verbindung mit aufwändigem Double-/ Multipatterning und fortgeschrittenem 3D-Chipdesign

Einsatzbereich

Als Enabler ist die EUV-Lithographie ein wesentlicher Bestandteil für die Herstellung leistungsstärkerer Chips, die bspw. für die Sensorauswertung (maschinelles Sehen, KI) benötigt werden.

Weiterführende Informationen

Die holländische Firma ASML ist der derzeit einzige Anbieter für EUV-Maschinen. Der 5 nm-Technologieknoten wird vermutlich in ca. 2 Jahren erreicht.

Zuordnung zu Kompetenzen

Vakuumtechnik; Mess- und Steuerungstechnik; Halbleitertechnik; Lasertechnik; EUV-Lithographie Anlagen sind riesige und teure Fabriken. KMUs könnten durch die Bereitstellung der Komponenten und Module der benötigten Produktionsanlagen an der Technologie partizipieren.

Schlagworte

Chipdesign
Plasmatechnologie

More (than) Moore: SoC und SiP

[T154; Mikrosystemtechnik]

Kurzbeschreibung

Die Begriffe sind eine Anspielung auf das Moore'sche Gesetz. More-Moore folgt der Miniaturisierung von Chips und geht damit Hand in Hand mit dem Moore'schen Gesetz, das besagt, dass sich die Anzahl der Transistoren pro Fläche regelmäßig (alle 1-2 Jahre) verdoppelt. Damit verbunden sind die Entwicklungen in der CMOS-Technologie zur Halbleiterproduktion im unteren nm-Bereich (T153) und die Integration verschiedener informationstechnischer Funktionen auf einem einzigen Chip (System-on-a-Chip, SoC). More-than-Moore stellt dagegen die Diversifikation anstelle der Miniaturisierung in den Vordergrund. Nicht digitale Elemente bzw. Funktionen (Sensoren und Aktuatoren) werden Teil des Pakets (System-in-a-Package, SiP). MEMS / MOEMS sind Beispiele: Neben der digitalen Informationsverarbeitung sind mechanische (T151) und optische Elemente Teil eines einzigen Chips (SoC+SiP). Die Kombination mehrerer ICs in einem Stapel (Multi-layer) wird ebenfalls als SiP bezeichnet.

Vorteile und Ziele der Technologie

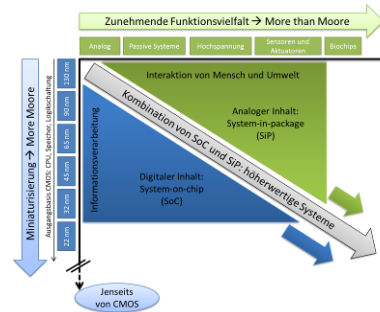
Die Kombination und Weiterentwicklung der beiden Trends „More-than-Moore“ und „More Moore/ Moore's Law“ führt zu Systemen, die einerseits kleiner oder leistungsfähiger sind und andererseits nicht-digitale Funktionen integrieren. Die Kombination verschiedener halbleiterbasierter Disziplinen ermöglicht speziellere Chips.

Hemmnisse der Einführung

Unterschiedliche Disziplinen wie CMOS, MEMS oder PICs (T155) erfordern unterschiedliche Verarbeitungsbedingungen. Daher muss für die Kombination meist ein Kompromiss für die optimale Verarbeitung gefunden werden.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2020	2022	2024	2025



Bildquelle: Eigene Darstellung (nach Arden, 2010)

Einsatzbereich

Der Trend ermöglicht hochintegrierte und leistungsfähige Systeme auf Halbleiterbasis. Somit ist er wichtiger Bestandteil vieler anderer Technologien (v.a. für die Automatisierung von Fahrzeugen).

Weiterführende Informationen

Mit MEMS sind die ersten Systeme dieses Technologietrends seit Jahren auf dem Massenmarkt verfügbar. Fortschritte in der Halbleiterproduktion und die Integration neuer Funktionen auf Halbleiterebene ermöglichen jedoch immer wieder neue Systeme, die sowohl More Moore als auch More than Moore optimal nutzen. Während einige Chip-Hersteller, wie bspw TSMC, auf Miniaturisierung (EUVL, T153) setzen, verfolgen andere den SiP-Ansatz um höhere Leistungen zu erzielen (z.B. Globalfoundries).

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Halbleitertechnik; Unternehmen, die sich auf fortschrittliche Packaging-Lösungen spezialisieren, könnten in den Markt einsteigen.

Schlagworte

Chipdesign
Packaging

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; Arden u. a., More-than-More, 2010; Topaloglu, More than Moore Technologies for Next Generation Computer Design, 2015; Waldrop, More than Moore, 2016.

Photonic Integrated Circuit

[T155; Mikrosystemtechnik]

Kurzbeschreibung

Photonisch integrierte Schaltkreise (Photonic Integrated Circuits, PICs) verbinden mehrere Subkomponenten auf einem einzigen Chip: Neben der Elektronik (Schalter, Transistoren etc.) können Laserquellen, Filter, Detektoren, Modulatoren, Strahlteiler und/oder Verstärker integriert werden. Die Entwicklung von PICs wird durch einige andere Technologien unterstützt: mikrooptoelektromechanische Systeme (MOEMS), integrierte Optik, intelligente Materialien, „Photonic band gap crystals“ und Quantenphotonik. PIC werden in 2,5- oder 3D-Architektur auf Wafern hergestellt und profitieren so von Fortschritten in der Halbleiterproduktion (z.B. Nanolithographie, T153).

Vorteile und Ziele der Technologie

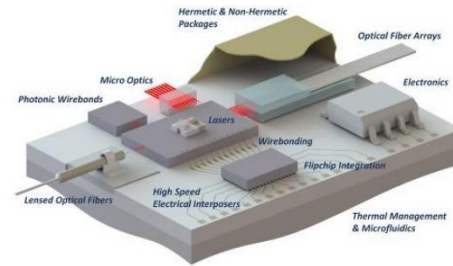
Vorteile gegenüber herkömmlichen Systemen, die aus photonischen und elektronischen Systemen bestehen, sind ein höherer Wirkungsgrad, eine höhere Kompaktheit und niedrigere Kosten. Die Integration von CMOS-basierten Schaltungen auf einem photonisch-elektronischen ASIC ist ein weiterer entscheidender Vorteil.

Hemmnisse der Einführung

Intelligente Packaging-Ansätze sind entscheidend für den Erfolg dieser Technologie. Derzeit konkurrieren noch verschiedene Materialien um den Einsatz in PICs: Silizium, Indiumphosphid (In-P) und Siliziumnitrit mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen. Bspw. ist Silizium etabliert und kostengünstig, kann aber kein Licht emittieren. In-P ist dagegen teurer, kann aber selbst für die Lichterzeugung eingesetzt werden und qualifiziert sich daher für PICs.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
		<2019	2020	2022	2024



Bildquelle: © Advanced Photonics Packaging Technologies in PIXAPP Pilot Line

Einsatzbereich

PICs werden in verschiedenen Anwendungen wie LiDAR, photonischen Sensoren oder Kommunikationstechnologien eingesetzt.

Weiterführende Informationen

Auf EU-Ebene helfen die Konsortien PIXAPP und PIX4LIFE KMUs an der Technologie zu partizipieren. U.a. baut PIXAPP die erste Open-Access PIC Assembly und Packaging Pilotlinie auf. Während sich PIXAPP v.a. auf das Packaging konzentriert, beschäftigt sich PIX4LIFE mit der Herstellung von PICs. In Deutschland beschäftigen sich v. a. das KIT und die Uni Stuttgart mit PICs. Auf EU-Ebene sind außerdem die Universitäten Gent, Eindhoven und Southampton zu nennen. Heutige Stückzahlen von PICs liegen bisher noch unter 1 Mio. weltweit. Die jährliche Wachstumsrate des Markts liegt allerdings bei 20-30%.

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Halbleitertechnik; Auf Packaging spezialisierte Unternehmen und fabless PIC-Anbieter können potentiell an der Technologie partizipieren. Die Wertschöpfungsanteile für das Packaging sind bei PICs mit ca. 50-60% im Vergleich zu anderen Halbleitertechnologien extrem hoch.

Schlagworte

Chipdesign
MEMS
CMOS
NEMS

Quellen: Die Informationen sind durch Fachexperten verifiziert; AIM Photonics, IPSR 2016 Rodamap, 2016; PIXAPP, Technology, 2019.

Kühlsysteme für High-Performance Computing

[T157; Mikrosystemtechnik]

Kurzbeschreibung

Aktuelle Kühlsysteme für Steuergeräte können für Systeme mit max. 100 W Leistung verwendet werden. Diese Kühlung erfolgt in der Regel mit Luft, während höhere Leistungen andere Kühltechniken (z. B. Flüssigkeit) erfordern. Mit dem Aufkommen der ADAS-Funktionen steigt die notwendige Rechenleistung bis hin zu SAE5-Fahrzeugen, die mehrere GPUs mit jeweils etwa 300 W (insgesamt etwa 1 kW) einsetzen. Kühlkonzepte für andere Bereiche, wie z.B. die Kühlung von Rechenzentren, können auf die Kühlung von Automobilelektronik übertragen werden. Es scheint, dass gerade die Flüssigkeitskühlung, die sich in direkte oder indirekte Kühlsysteme unterscheiden lässt, die geforderten Leistungen bieten kann. Mögliche Ansätze sind u.a. Mikrokanalkühlung, mikrokanalähnliche Kühlplatten, Mikrostrahlkühlung, Sprühkühlung. Einige Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass der Einsatz von Mikrokanalkühlung am besten geeignet ist.

Vorteile und Ziele der Technologie

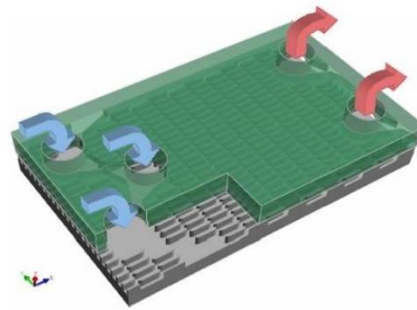
Neue effiziente Kühlkonzepte sind notwendig für den Erfolg von hochautomatisierten bzw. autonomen Fahrzeugen, da in diesen Rechensystemen viel Abwärme entsteht. Ein effizientes Thermomanagement ermöglicht nicht nur die stabile Funktionsweise der Recheneinheiten, sondern kann so auch zur besseren Leistung von (v. a.) Elektrofahrzeugen beitragen.

Hemmnisse der Einführung

Bisherige Lösungen mit Mikrokanälen und Nanofluiden sind bisher nicht stabil und preiswert genug. Eine besondere Herausforderung an die Systeme ist, dass die Energie in einem sehr kleinen Bauvolumen freigesetzt wird und daher effizient abtransportiert werden muss.

Zeitliche Entwicklung

TRL1	TRL2-4	TRL5-8	MRL8	MRL9	MRL10
	<2019	2019	2019>		



Bildquelle: © NC State University

Einsatzbereich

Kühlung von Systemen mit hoher Abwärme

Zuordnung zu Kompetenzen

Mikrosystemtechnik; Kühltechnik; Thermomanagement

Schlagworte

Rechenleistung
Computing

Quellen: Die Informationen stammen aus eigener Analyse; Hager u. a., Affordable and Safe High Performance Vehicle Computers with Ultra-Fast On-Board Ethernet for Automated Driving, 2019; Lasance, Advances In High-Performance Cooling For Electronics, 2005.