

Monitoring von FuE-Aktivitäten im Technologiefeld „Leistungselektronik im elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“

Innovationen im Bereich neuartiger Antriebstechnologien sind ein wesentlicher Treiber des aktuellen Strukturwandels und grundlegende Voraussetzung für den Erhalt der technologischen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie.

Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten (FuE) für elektrifizierte Antriebe haben in den vergangenen Jahren deutlich an Intensität und Dynamik gewonnen, was sich an stark gestiegenen Patentanmeldungen zeigt und auch in einem internationalen Benchmark messen lässt.

Dabei können immer stärkere Innovationsbeiträge von asiatischen, speziell chinesischen Unternehmen identifiziert werden.

Der Fokus dieser Kurzstudie liegt auf der Identifikation von Treibern der Technologieentwicklung im Bereich „Leistungselektronik im elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ und dem Monitoring von FuE-Aktivitäten der deutschen Automobilindustrie im internationalen Vergleich.



© sdecretet/AdobeStock

1. Internationales Monitoring von FuE-Aktivitäten

Technologische Entwicklungen im Antriebsstrang neuartiger Pkw und Lkw sind grundlegende Voraussetzung für den Erhalt der technologischen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie. Diese Entwicklungen haben mit dem Markthochlauf elektrifizierter Fahrzeuge in den letzten Jahren deutlich an Dynamik gewonnen. Die Antriebsstrangentwicklung war über Jahrzehnte von einer evolutionären Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors geprägt. Heute liegt der Fokus auf der Elektrifizierung. Automobilhersteller und -zulieferer investieren intensiv in Forschungs- und Entwicklungsleistungen, die alle notwendigen Technologiebereiche abdecken. Hierzu gehören Batterie, Leistungselektronik, E-Motor und Thermomanagement.

Die Leistungselektronik ist neben der Batterie und dem Elektromotor eine Schlüsseltechnologie der Elektrifizierung. Hauptaufgabe der Komponente ist es, die Energieflüsse im Fahrzeug zu steuern und in geeigneter Form den elektrischen Verbrauchern zur Verfügung zu stellen. Beispielsweise muss der von der Batterie bereitgestellte Gleichstrom für den Elektromotor in Wechselstrom gewandelt werden – beim Rekuperationsvorgang in umgekehrter Richtung.

In elektrifizierten Fahrzeugen kommen mehrere Leistungselektroniksysteme zum Einsatz, da mehrere Bordnetze mit unterschiedlichen Spannungen (z. B. 12/48 V) installiert sind. Zudem werden Anschlüsse an das Hochvoltnetz der Batterie und an externe Stromquellen für den Ladevorgang des Fahrzeugs benötigt. Aktuelle Systeme sind hocheffizient und erreichen Wirkungsgrade von mehr als 95 %, sie sind zudem relativ langlebig und wartungsfrei (Tille, 2016).

FuE-Anstrengungen konzentrieren sich derzeit wesentlich darauf, Volumen und Masse der Komponente zu verringern sowie Effizienz und Temperaturbeständigkeit für eine Anwendung im Automobil zu erhöhen. Ziel der Hersteller ist es, die Leistungselektronik in der Nähe zur E-Maschine wirkungsortnah zu integrieren oder gar eine Hochintegration im Fahrzeug zu realisieren. Das bedeutet, dass E-Maschine und Leistungselektronik in einer einzigen, kompakten Einheit vereint werden. So können Komplexität und Kosten, z. B. für Kabelstränge im Fahrzeug, verringert werden. Ein weiterer Trend besteht darin, die Spannungen im Fahrzeug weiter zu steigern, um Wirkungsgradverluste zu verringern und Kühlanforderungen zu vermindern. Spannungen von 800 bis 1.000 V sind denkbar. Zusätzlich ist die Entwicklung neuer Halbleitermaterialien für die Hersteller und Zulieferer von hoher Relevanz, um die Leistungselektronik kleiner, leichter und effizienter zu gestalten sowie ggf. ganz ohne aktive Kühlung betreiben zu können. Wichtigste Enabler sind sogenannte Wide-Bandgap-Materialien wie Siliziumkarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN), die mit höheren Frequenzen schneller arbeiten und die klassischen Silizium(Si)-Halbleiter ablösen könnten. Allerdings müssen die Herstellungskosten dieser Bauteile noch verringert werden, um mit den konventionellen Si-Modulen konkurrieren zu können (emobil BW, 2023).

Die neuen Antriebskonzepte und -technologien und damit einhergehend die veränderten Wertschöpfungsstrukturen führen dazu, dass die deutsche Automobilwirtschaft vor tiefgreifenden Veränderungen und besonderen Herausforderungen zur Erhaltung der technologischen und marktlichen Wettbewerbsfähigkeit steht. Durch ein Monitoring von FuE-Aktivitäten bei Schlüsseltechnologien können Informationen zu technologisch besonders aktiven Unternehmen und Technologieführern bereitgestellt und Veränderungen in FuE-Schwerpunkten bei OEM und Systemlieferanten (Tier 1) identifiziert werden. KMU sind so in der Lage, diese Informationen an eigenen strategischen Entwicklungspfaden zu spiegeln und ggf. Anpassungen in der Priorisierung von FuE-Projekten oder bei Kooperationspartnern vorzunehmen (Transformationswissen BW, 2021).

Der Fokus dieser Kurzstudie liegt auf dem Monitoring von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten der deutschen Automobilindustrie im Bereich „Leistungselektronik im elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ im internationalen Vergleich. Hierfür werden die Patentierungsaktivitäten über einen Zeitraum von 11 Jahren (1. Januar 2013 bis 31. Dezember 2023) untersucht, analysiert und aufbereitet.

2. FuE-Aktivitäten im Bereich „Leistungselektronik im elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ und Methodik dieser Kurzstudie

Bestandteil der Arbeiten einer Innovationsanalyse zu Fahrzeugtechnologien ist die Identifikation und Untersuchung von innovationsorientierter Forschung zu neuartigen technologischen Lösungen. Hierfür ist es notwendig, geeignete Indikatoren heranzuziehen, auf Basis derer eine vergleichende Bewertung von (monetären) Aufwendungen in FuE und deren Ertrag (FuE-Intensität) durchgeführt werden kann. Neben Ressourcenindikatoren zur Messung des FuE-Inputs sind insbesondere Ertragsindikatoren zur Messung des FuE-Outputs im Rahmen dieser Kurzstudie relevant. Im Bereich von Grundlagenforschung und angewandter Forschung können hierfür v. a. Patentanmeldungen und referierte wissenschaftliche Publikationen herangezogen werden.

Im Rahmen dieser Studie soll **im Sinne eines internationalen Benchmarks die technologische Position der deutschen Automobilindustrie für das Themenfeld „Leistungselektronik im elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ identifiziert und im Vergleich mit ausgewählten Weltregionen ab 2013 dargestellt** werden. Hierfür werden vorrangig Anmeldungen transnationaler Patente sowie die zur Verfügung stehenden Metainformationen in der Patentdatenbank Espacenet des Europäischen Patentamts herangezogen und ausgewertet. Je Themenfeld wird eine dezidierte Suchstrategie entwickelt, die über eine Kombination aus IPC-Klassen (International Patent Classification) und Suchbegriffen Ergebnisse mit Bezug zur Fahrzeuganwendung ermöglicht.

Die so gewonnenen Daten werden in dezidierte Technologiedatenbanken überführt, strukturiert und harmonisiert, um sowohl quantitative Analysen (Anzahl Patente/Publicationen) per statistischer Auswertung als auch qualitative Analysen (Inhalte Patente/Publicationen) über Text- und Data-Mining-Funktionen durchführen zu können. Relevant für die Auswertung ist dabei nur die im Patent geschützte, über den Stand der Technik hinausgehende Erfindung bzw. Invention. Sofern mehrere Einzelpatente dieselbe Erfindung (auf z. B. unterschiedlichen Märkten) schützen, werden diese in nur einer Patentfamilie zusammengefasst und nur einmal in der Auswertung berücksichtigt.



Zur Analyse wird das am DLR entwickelte Data Mining Tool DLR TechScout eingesetzt, das über Text- und Data-Mining-Algorithmen in der Lage ist, Analysen zu technologiespezifischen Innovationslandschaften auf Basis von Patentaktivitäten durchzuführen. Insgesamt wurden für die Analyse in o. g. Themenfeld 13 IPC-Klassen herangezogen (u. a. H02J, B60R, B60L, B60W, H01M, B62D, B60K) und mit relevanten Suchbegriffen kombiniert.

Aufgeführt werden im Folgenden

- die Top Ten der Patentanmelder weltweit in einer Säulendarstellung sowie ergänzend die weiteren deutschen Unternehmen (außerhalb der Top Ten), die im Technologiebereich „Leistungselektronik im elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ aktiv sind (Kapitel 2.1),
- die Veränderung von Intensität und Dynamik bei Patentanmeldungen im zeitlichen Verlauf zur Ableitung von Trendeinschätzungen (Trenddynamik, Kapitel 2.1) und
- die Anteile der deutschen Automobilindustrie an Patentanmeldungen im zeitlichen Verlauf und im Vergleich mit internationalen Wettbewerbern bzw. Weltregionen (Benchmark, Kapitel 2.2).

2.1 Aktive Institutionen/Treiber der Technologieentwicklung und Trenddynamik

Zur Identifikation von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten für Erfindungen im Bereich „Leistungselektronik im elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ wurde eine weltweite Analyse von Patentanmeldungen ab dem Jahr 2013 beim Europäischen Patentamt durchgeführt. Über den gesamten Untersuchungszeitraum (1. Januar 2013 bis 31. Dezember 2023) konnten in den für den Benchmark relevanten Regionen Deutschland, China, Japan, Südkorea und USA **rund 43.000** identifiziert werden.

In Abbildung 1 ist rechts unten der zeitliche Verlauf der Patentanmeldungen dargestellt. Während bis zum Jahr 2022 eine im Verlauf der Jahre relativ konstante Zahl von Patentanmeldungen mit sogar leicht negativen Wachstumsraten von im Mittel $-3,2\%$ pro Jahr zu erkennen ist (2013: 1.106 Patentanmeldungen; 2021: 755), steigen die Anmeldungen im Folgejahr 2022 stark an (2022: 1.856), um dann im Jahr 2023 ein extremes, sprunghaftes Wachstum zu verzeichnen (2023: 33.193). Das größte Wachstum ist demnach im Jahr 2023 zu erkennen, mit einer Steigerung der Patentzahlen im Vergleich zum Vorjahr um $+1.688\%$. Interessant dabei ist, dass diese Steigerung hauptsächlich auf Anmeldungen chinesischer Erfinder:innen (rd. 82%) zurückzuführen ist.

Die Patentzahlen der Jahre 2022 und 2023 sind noch vorläufig und können sich durch noch nicht erfasste Patentveröffentlichungen in der Zukunft ändern. Generell kann von einem zeitlichen Verzug von Patenteinreichung bis -veröffentlichung von ca. 1,5 Jahren ausgegangen werden. Das Jahr 2023 ist aufgrund der extremen Entwicklung im Zeitverlauf dennoch bereits dargestellt.

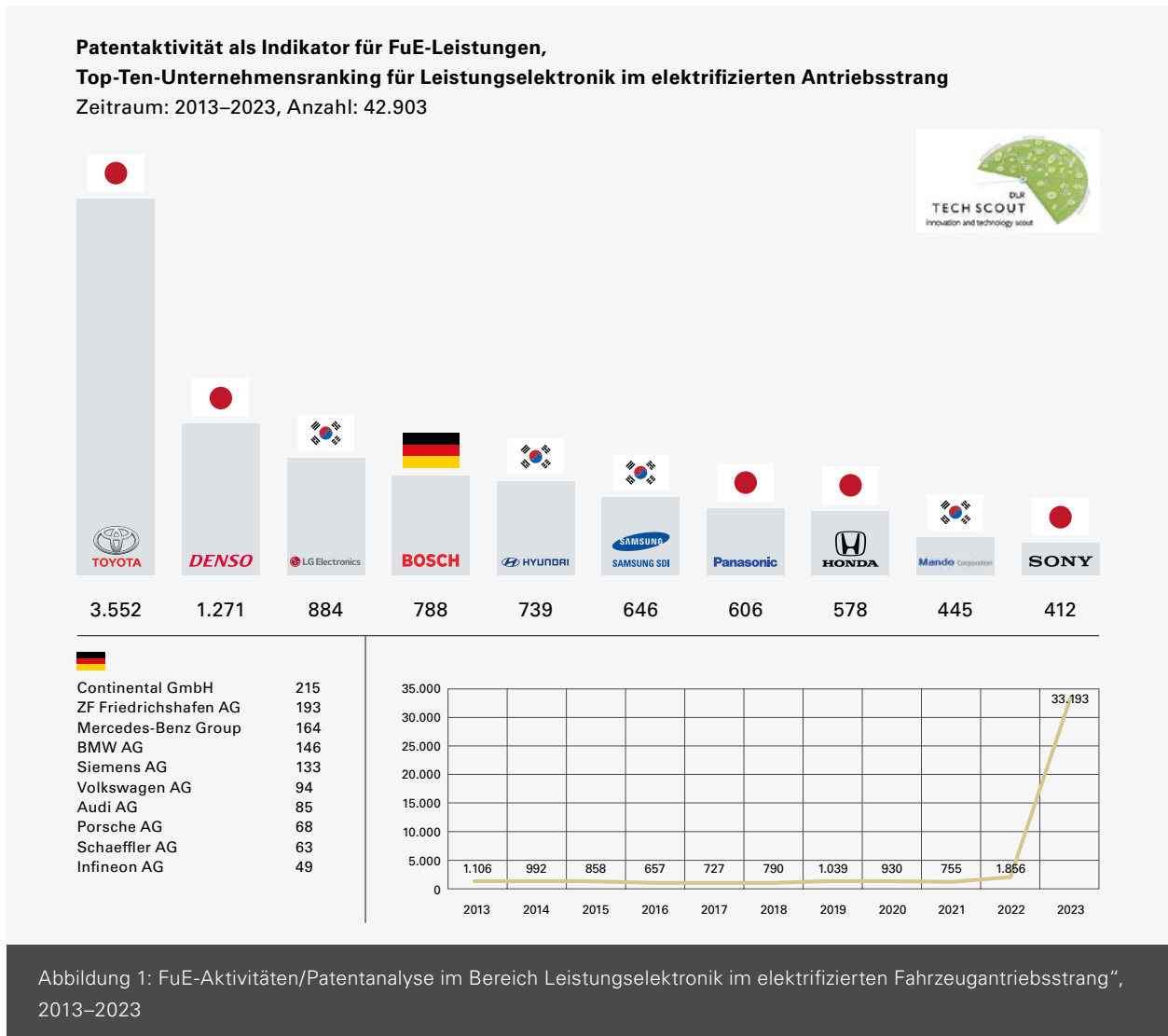


Abbildung 1: FuE-Aktivitäten/Patentanalyse im Bereich Leistungselektronik im elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“, 2013–2023

Im oberen Teil der Abbildung 1 sind die bei FuE-Aktivitäten weltweit führenden Institutionen dargestellt. Japanische Unternehmen belegen die ersten beiden Plätze: Toyota führt die Rangliste mit insgesamt 3.552 Patentfamilien im Patentportfolio an, gefolgt von Denso (1.271). Auf den Plätzen sieben, acht und zehn komplettieren die Unternehmen Panasonic (606), Honda (578) und Sony (412) die Top Ten aus japanischer Perspektive. Auch südkoreanische Institutionen sind in der Entwicklung und Patentierung neuer Lösungen im Bereich Leistungselektronik stark vertreten: Das bestplatzierte südkoreanische Unternehmen ist LG auf Rang drei mit 884 Patentfamilien, auf den Plätzen fünf und sechs folgen mit Hyundai (739) und Samsung zwei weitere südkoreanische Automobilhersteller bzw. Systemzulieferer. Die Mando Corporation (445) ist als Zulieferer auf Rang neun vertreten. Mit der Robert Bosch GmbH ist das in diesem Vergleich bestplatzierte deutsche Unternehmen mit 788 Patentfamilien im Portfolio auf Rang vier zu finden. Chinesische Unternehmen sind in dieser Bestenliste nicht vertreten.

Insgesamt zeigt sich, dass viele weitere deutsche Unternehmen – v. a. OEM und Systemlieferanten – in der Technologieentwicklung aktiv sind und Erfindungen im Bereich elektrischer Antriebe über Patente schützen (siehe Abbildung 1, links unten). Die nach der Robert Bosch GmbH platzierten weiteren Firmen mit den meisten Patentanmeldungen sind: Continental (215), ZF Friedrichshafen (193), Mercedes-Benz (164), BMW (146), Siemens (133), Volkswagen (94), Audi (85), Porsche (68), Schaeffler (63) und Infineon (49).

2.2 Benchmark der deutschen FuE-Aktivitäten im internationalen Vergleich

Bei Gesamtbetrachtung der FuE-Aktivitäten einer Industrie, eines Landes und/oder einer Weltregion werden Patentanmeldungen anhand der verantwortlichen Institution strukturiert und über den geografischen Hauptsitz der Institution zugeordnet. So können die Anteile an Innovationsaktivitäten über Weltregionen hinweg im Vergleich sowie deren Veränderungen bei Betrachtung über einen definierten Zeitraum im Sinne eines Benchmarks identifiziert werden. Patentanmeldungen individueller Personen werden ausgeklammert. Die Auswertung in Abbildung 2 stellt die Anteile der Länder USA, Südkorea, Japan, Deutschland und China im Vergleich dar.

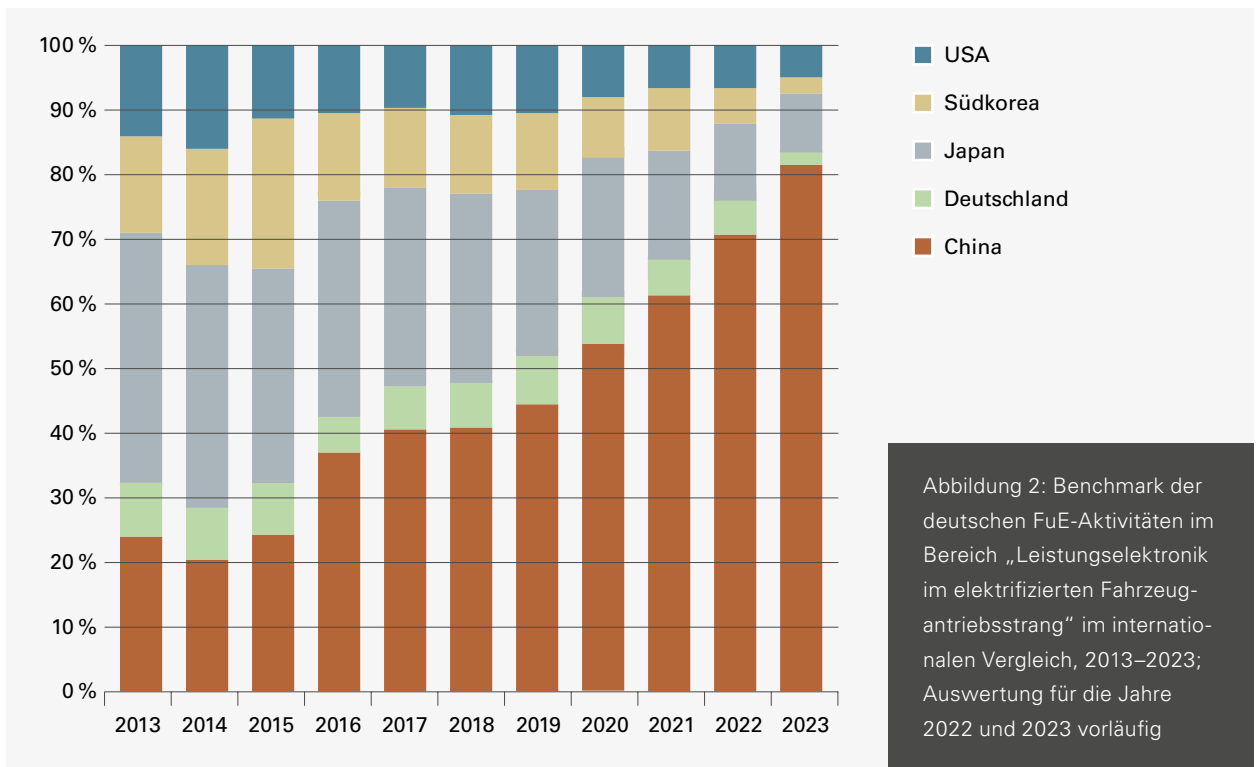
Insgesamt ist eine **Verschiebung der geografischen Schwerpunkte bei technologischen Aktivitäten im Bereich „Leistungselektronik im elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ über den Betrachtungszeitraum zu erkennen**: Während die Anteile der japanischen Automobilindustrie im Jahr 2013 mit ca. 38 % noch dominant waren, sinken sie bis 2022 kontinuierlich auf nur noch 12 % ab. In der vorläufigen Auswertung für das Jahr 2023 nehmen die japanischen FuE-Anteile weiter ab und erreichen nur noch ca. 9 %.

Die chinesischen Innovationsanteile wiederum konnten im Zeitraum der Jahre 2013 bis 2022 stark gesteigert werden. Während 2013 noch ein FuE-Anteil von 24 % und 2018 ein Anteil von ca. 41 % identifiziert werden konnte, wurden im Jahr 2022 fast 71 % erreicht. In der vorläufigen Auswertung bis zum 31. Dezember 2023 steigt dieser Anteil weiter auf dann ca. 82 %. China wäre damit – sofern keine weiteren Patentschriften mehr in diesem Bereich veröffentlicht werden – dominant und mit Abstand führend. Allerdings sind die Zahlen der Jahre 2022 und 2023 aufgrund zeitlicher Verzögerungen zwischen Patenteinreichung und -veröffentlichung in vorläufiger Auswertung und können sich noch ändern. Eine wissenschaftlich valide Auswertung kann deshalb zwar nur bis 2021 erfolgen, eine Tendenz für die Folgejahre ist dennoch bereits erkennbar.

Die US-amerikanischen FuE-Anteile im Bereich "Leistungselektronik" liegen im Durchschnitt bei ca. 10 %. Ab dem Jahr 2020 sind aber konstant abnehmende Anteile zu erkennen: von ca. 8 % auf ca. 6,5 % im Jahr 2022. Für 2023 sinkt der Anteil laut der vorläufigen Auswertung weiter auf ca. 5 %.

Die deutschen Innovationsanteile bewegen sich im Betrachtungszeitraum insgesamt auf einem niedrigeren Niveau als die US-amerikanischen und auch die südkoreanischen: im Mittelwert bei ca. 7 %. Im Jahr 2013 lagen sie bei ca. 8 %, 2022 bei nur noch ca. 5 %. In der vorläufigen Auswertung bis Ende 2023 ist mit 2 % FuE-Anteil eine weiter negative Entwicklung zu erkennen.

Südkoreanische FuE-Aktivitäten haben über den gesamten Zeitraum hinweg im Mittel Anteile von ca. 11 %. Das Maximum wurde im Jahr 2015 mit 23 % erreicht. In vorläufiger Auswertung für 2023 sinken die südkoreanischen Anteile auf nur noch ca. 2,5 % ab.



Autoren

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. – Institut für Fahrzeugkonzepte
Dipl.-Kfm. Techn. Benjamin Frieske

Hintergrund: Landeslotsenstelle Transformationswissen BW

Im aktuellen Umbruch der Automobilwirtschaft stehen insbesondere mittelständische Unternehmen vor großen Herausforderungen, sei es im Bereich der zukünftigen Entwicklung des Geschäftsmodells, der Mitarbeiterqualifizierung oder der generellen Ausrichtung der Unternehmensstrategie. Die Landeslotsenstelle setzt hier an und bietet Vertreter:innen der Automobilwirtschaft, insbesondere Mittelständlern der Zuliefererindustrie und des Kfz-Gewerbes, Orientierung und Unterstützung in folgenden Themengebieten: zielgruppenspezifisch aufbereitetes Wissen zu Technologien, Prozessen und Trends; Übersicht über Weiterbildungs- und Qualifizierungsangebote; strukturierter Überblick zu Beratungsangeboten und Förderprogrammen des Landes; Informationen zu thematisch passenden Veranstaltungen.

Weitere Informationen unter www.transformationswissen-bw.de

Technologiekalender Automobilwirtschaft BW

Der Technologiekalender Strukturwandel Automobil Baden-Württemberg (TKBW) visualisiert den technologischen Wandel durch Elektrifizierung, Automatisierung und Vernetzung und stellt die Entwicklung von Schlüsseltechnologien der Mobilität dar. Das Ergebnis umfasst aktuell einen Modulkatalog mit 47 Technologie-Roadmaps, der die zeitliche Entwicklung relevanter Module und Komponenten beinhaltet, sowie über 190 Technologiesteckbriefe, inklusive der zeitlichen Einordnung anhand von Reifegraden. Die Ergebnisse sind unter www.transformationswissen-bw.de/wissensspeicher/technologiekalender aufrufbar.

Ebenso sind die einzelnen Technologiesteckbriefe als PDF aufrufbar unter <https://www.transformationswissen-bw.de/wissensspeicher/publikationsdatenbank>

Herausgeber



Gefördert von



Layout/Satz/Illustration

markentrieb – Die Kraft für Marketing und Vertrieb

Stand

Mai 2024