

Monitoring von FuE-Aktivitäten im Technologiefeld „Halbleiter für den 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 „Halbleiter für den elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ und dem Monitoring von FuE-Aktivitäten der deutschen Automobilindustrie im internationalen Vergleich.



© sdecoret/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. Die Automobilhersteller und -zulieferer investieren intensiv in Forschungs- und Entwicklungsleistungen, die alle notwendigen Technologiebereiche abdecken. Hierzu gehören Batterie, Leistungselektronik, E-Motor und Thermomanagement. Der Fokus dieser Kurzstudie liegt auf Innovationstätigkeiten im Bereich „Halbleiter für den elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“.

Halbleiter sind zentraler Bestandteil eines jeden im Fahrzeug verbauten Mikroprozessors und somit grundlegendes Element für alle Steuergeräte und die Leistungselektronik im Fahrzeug. In Form von Dioden und Transistoren fungieren sie z. B. in elektronischen Steuerkreisen zur aktiven Schaltung der Stromflüsse, in Form von Kondensatoren passiv zur Regelung der elektrischen Widerstände. In einem konventionell verbrennungsmotorisch betriebenen Fahrzeug der Mittelklasse sind ca. 50 Halbleiter-Chips verbaut, in einem rein batterieelektrischen Fahrzeug können im Antriebsstrang und in Verbindung mit zusätzlichen Sensorsystemen zur Realisierung des automatisierten Fahrens über 1.000 Chips integriert sein. Die Wertanteile für Halbleiter-Komponenten steigen so alleine vor dem Hintergrund elektrifizierter Antriebskomponenten von ca. 330 EUR auf ca. 690 EUR Materialwert bei Plug-In Hybriden bzw. rein batterieelektrischen Fahrzeugen. Durch automatisierte und/oder autonome Fahrfunktionen werden weitere Halbleiterelemente mit einem reinen Materialwert von bis zu ca. 1.030 EUR benötigt (Infineon, 2020). Die Kosten der Halbleiter-Endprodukte am Gesamtfahrzeug betragen laut Roland Berger in einem Premiumfahrzeug mit Verbrennungsmotor heute sogar schon ca. 2.500 EUR und werden bis 2025 in einem Pkw mit halbautonomen Fahrfunktionen auf ca. 5.900 EUR steigen (Roland Berger, 2020). Der wachsende Markt für elektrifizierte und automatisierte Fahrzeuge steigert die Absatzmöglichkeiten für Halbleiter in der Zukunft weiter. Die Halbleiter-Hersteller reagieren auch darauf mit Investitionen in den Ausbau zusätzlicher Produktionskapazitäten. In der Regel ist davon auszugehen, dass die Bauphase für eine Halbleiter-Fabrik ca. 3 Jahre und Kosten von bis zu 20 Mrd. EUR (bei modernster Fertigung im 5 nm-Bereich) umfasst.

Die Fertigung von Halbleiter-Bauteilen unterliegt einem komplexen und langwierigen Produktionsprozess: Von der Bestellung bis zur Auslieferung der Komponente vergehen insgesamt ca. 5 bis 8 Monate. Die Herstellung des Wafers nimmt dabei mit ca. 3 Monaten die meiste Zeit in Anspruch: Das hierfür notwendige Rohmaterial Silizium wird bei hohen Temperaturen über eine chemische Reaktion aus dem Quarzgestein abgetrennt (sog. Rohsilizium) und von Fremdstoffen (wie Eisen, Aluminium, Phosphor) befreit. Anschließend wird die Anordnung der atomaren Gitterstruktur homogenisiert und ein sog. Einkristall aus dem Siliziumsubstrat erzeugt bzw. aus der Siliziumschmelze „gezogen“ (sog. Ingot). Aus diesen einkristallinen Stäben werden danach über unterschiedliche Prozessschritte Scheiben (sog. Wafer) gearbeitet, diese lackiert und zu ebenen Flächen poliert. In diese werden danach z. B. mit hoch energetischen Lasern die Schaltkreisstrukturen im Nanometerbereich auf unterschiedlichen Ebenen eingebrannt (sog. Lithografie). Abschließend erfolgt die Abtrennung der einzelnen Chips aus dem Wafer, z. B. durch Sägen. Wafer werden in unterschiedlichen Größen von 100 mm bis 300 mm hergestellt, wobei mit Erhöhung des Durchmessers ein größerer Produktionsdurchsatz und damit geringere Fertigungskosten erzielt werden können. Durch eine Erhöhung des Durchmessers von 200 mm auf 300 mm beispielsweise kann eine Verdopplung der Chip-Anzahl je Wafer realisiert werden. Bei weiterer Erhöhung des Durchmessers (auf z. B. 450 mm) ergeben sich derzeit noch Probleme durch aufwändigere Verarbeitungsschritte und mögliche Verformungen. In folgender Abbildung ist der Produktionsprozess von Angebotslegung bis zur Auslieferung schematisch dargestellt:

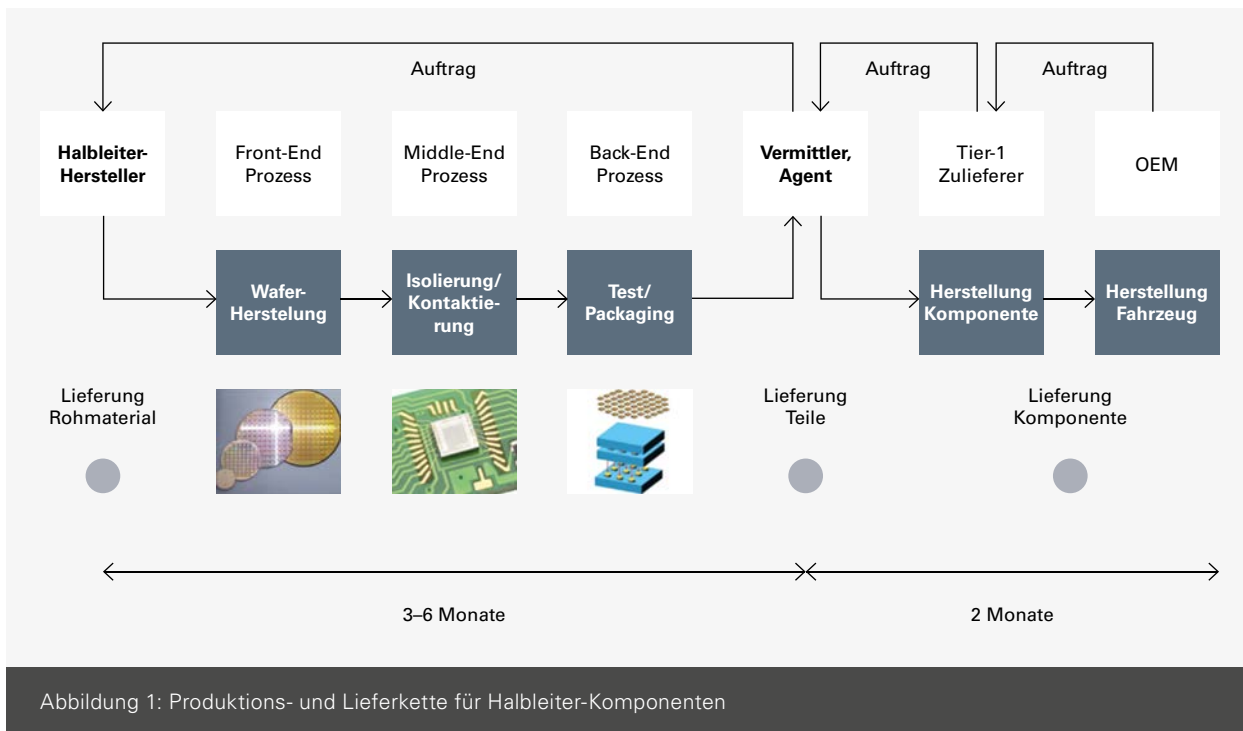


Abbildung 1: Produktions- und Lieferkette für Halbleiter-Komponenten

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 ggfs. 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 „Halbleiter für den 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 „Halbleiter für den 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 so insbesondere Ertragsindikatoren zur Messung des FuE-Outputs im Rahmen dieser Kurzstudie relevant. Im Bereich zwischen 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 „Halbleiter für den 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 Technologie-Datenbanken überführt, strukturiert und harmonisiert, um sowohl quantitative Analysen (Anzahl Patente/Publikationen) per statistischer Auswertung als auch qualitative Analysen (Inhalte Patente/Publikationen) 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 12 IPC-Klassen herangezogen (u. a. H05K, H01L, H02M, H02J, B60R, B60L) 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 „Halbleiter für den 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 „Halbleiter für den 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 **über 1.300 Patentfamilien** 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 und geringe Zahl von Patentanmeldungen zwischen max. 69 (2014) und min. 24 (2016) mit einem Mittelwert von 44 pro Jahr zu erkennen ist, steigen die Anmeldungen im Folgejahr 2023 stark an (911) und verzeichnen ein extremes, sprunghaftes Wachstum (+ ca. 1.260 %). Interessant dabei ist, dass diese Steigerung hauptsächlich auf Anmeldungen japanischer (ca. 46 % Anteil) und chinesischer Erfinder:innen (ca. 40 %) zurückzuführen ist. Die Patentzahlen der Jahre 2022 und 2023 sind noch vorläufig und können sich durch weitere 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 trotzdem dargestellt

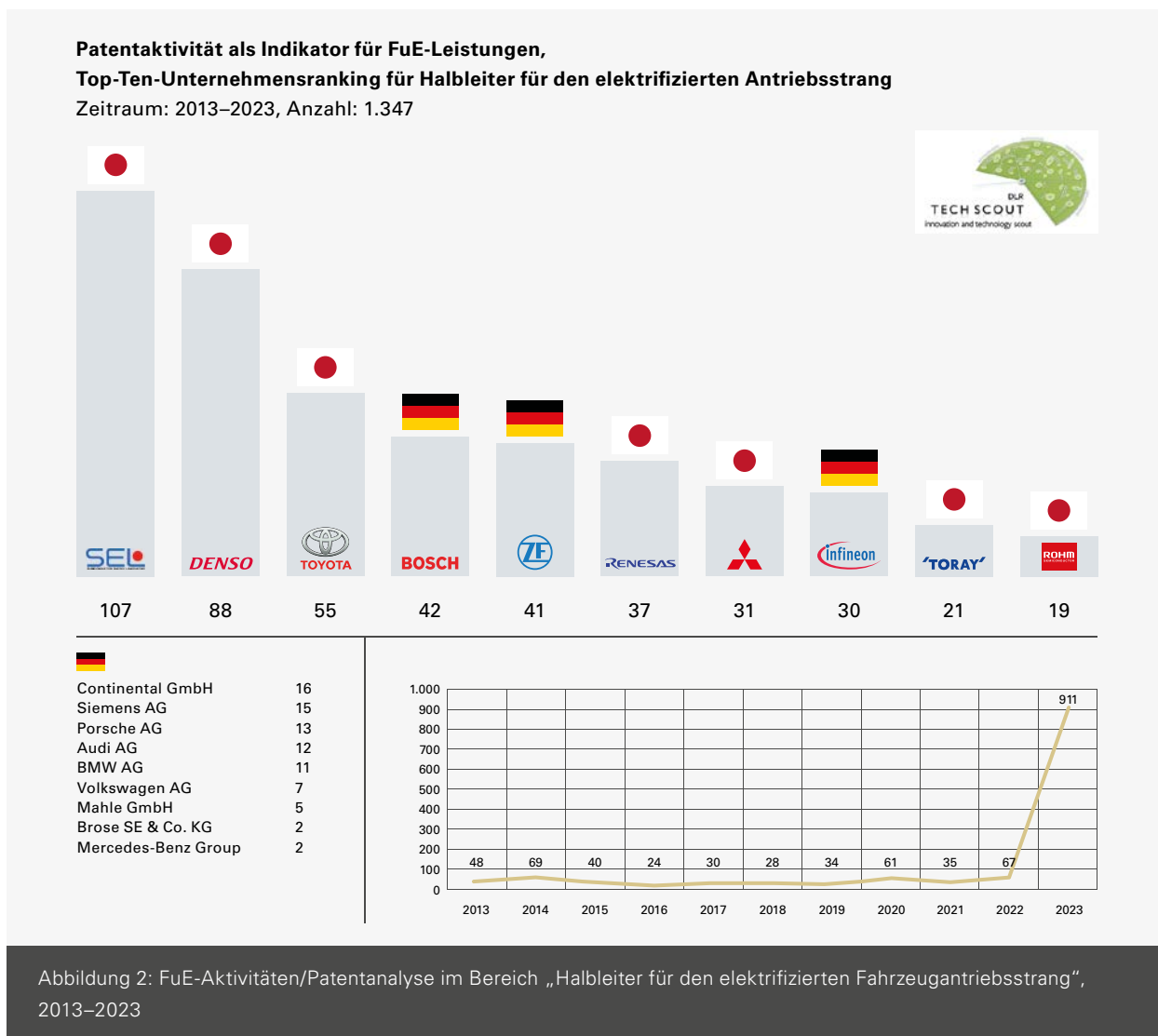


Abbildung 2: FuE-Aktivitäten/Patentanalyse im Bereich „Halbleiter für den elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“, 2013–2023

Im oberen Teil der Abbildung 1 sind die bei FuE-Aktivitäten weltweit führenden Institutionen dargestellt. Japanische Unternehmen belegen die ersten drei Plätze: Semiconductor Energy Lab (SEL) führt die Rangliste mit insgesamt 107 Patentfamilien im Patentportfolio an, gefolgt von Denso (88) und Toyota (55). Auf den Plätzen sechs, sieben und neun komplettieren die Unternehmen Renesas (37), Mitsubishi (31) und Rohm (19) die Top Ten aus japanischer Perspektive. Auch deutsche Institutionen sind in der Entwicklung und Patentierung neuer Lösungen im Bereich Halbleiter stark vertreten: Das bestplatzierte deutsche Unternehmen ist Bosch auf Rang vier mit 42 Patentfamilien, auf den Plätzen fünf und acht folgen mit ZF (41) und Infineon (30) zwei weitere Zulieferer. Sowohl südkoreanische als auch chinesische Unternehmen sind in dieser Bestenliste nicht vertreten.

Insgesamt zeigt sich, dass viele weitere deutsche Unternehmen – v. a. Systemlieferanten und OEM – in der Technologieentwicklung aktiv sind und Erfindungen im Bereich elektrischer Antriebe über Patente schützen (siehe Abbildung 1, links unten). Die weiteren Firmen mit den meisten Patentanmeldungen sind: Continental (16), Siemens (15), Porsche (13), Audi (12), BMW (11), Volkswagen (7), Mahle (5), Brose (2) und Mercedes-Benz (2).

2.2 Benchmark der deutschen FuE-Aktivitäten im internationalen Vergleich

Bei Gesamtbetrachtung der FuE-Aktivitäten einer gesamten 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 3 stellt die Anteile der Länder USA, Südkorea, Japan, Deutschland und China im Vergleich dar.

Insgesamt ist **nur eine leichte Verschiebung der geografischen Schwerpunkte bei technologischen Aktivitäten im Bereich „Halbleiter für den elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ über den Betrachtungszeitraum zu erkennen:**

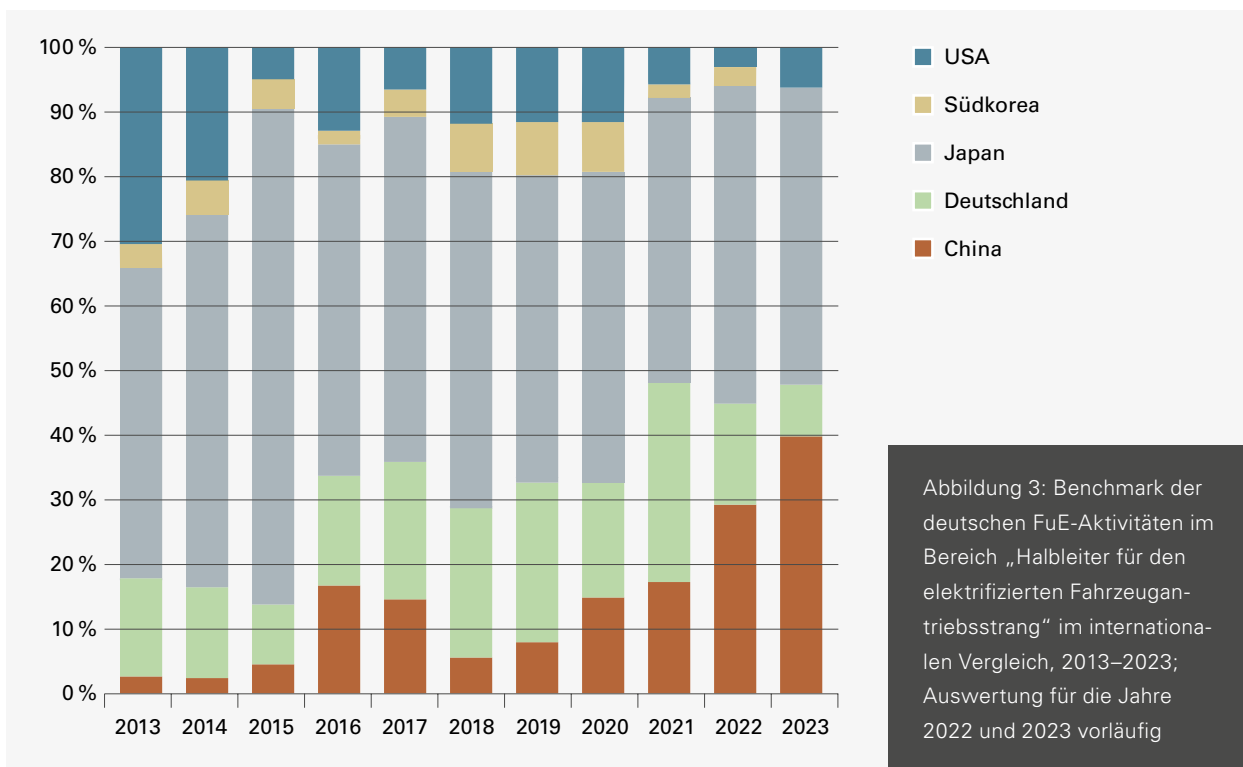
Die Anteile der japanischen Automobilindustrie sind bei Betrachtung des gesamten Zeitraums 2013–2023 insgesamt im Mittel mit ca. 52 % dominierend. Bis zum Jahr 2019 lagen die Anteile konstant über 50 %, ab 2020 leicht darunter. In der vorläufigen Auswertung für das Jahr 2023 nehmen die japanischen FuE-Anteile leicht ab und erreichen noch ca. 46 %.

Die chinesischen Innovationsanteile wiederum konnten im Zeitraum der Jahre 2013 bis 2023 stark gesteigert werden, im Mittel liegen sie bei ca. 14 %. Während 2013 noch ein FuE-Anteil von nur ca. 3 % und 2021 ein Anteil von ca. 18 % identifiziert werden konnte, wurden im Jahr 2022 fast 30 % erreicht. In der vorläufigen Auswertung bis zum 31. Dezember 2023 steigt dieser Anteil weiter auf dann ca. 40 %. China wäre damit im aktuell abgelaufenen Jahr – sofern keine weiteren Patentschriften mehr in diesem Bereich veröffentlicht werden – nach Japan auf dem zweiten Platz. 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 nur bis 2021 erfolgen; eine Tendenz für die Folgejahre ist dennoch bereits erkennbar.

Die US-amerikanischen FuE-Anteile im Bereich „Halbleiter“ liegen im Durchschnitt bei ca. 11 %, mit einem Maximum im Jahr 2013 in Höhe von über 30 % Anteil an den weltweiten Patentanmeldungen. Ab dem Jahr 2021 sind aber abnehmende Anteile zu erkennen auf dann ca. 5 % im Mittel bis 2023.

Die deutschen Innovationsanteile bewegen sich im Betrachtungszeitraum insgesamt auf einem stärkeren Niveau als die US-amerikanischen und v. a. auch die südkoreanischen: im Mittelwert bei ca. 18 %. Im Jahr 2013 lagen sie bei ca. 15 %, 2021 bei ca. 31 %. In der vorläufigen Auswertung für die Jahre 2022 und 2023 ist mit 16 % bzw. nur noch 8 % FuE-Anteil eine negative Entwicklung zu erkennen.

Südkoreanische FuE-Aktivitäten haben über den gesamten Zeitraum hinweg relativ geringe Anteile zwischen 2 % und 8 %, im Mittel werden im Betrachtungszeitraum 4,4 % erreicht. In vorläufiger Auswertung für 2022 sinken die südkoreanischen Anteile auf nur noch ca. 2,9 % ab.



Autor

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 Strukturwandel Automobil Baden-Württemberg

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 197 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

Juni 2024