

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



© sdecret/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 u. a. Brennstoffzelle, Wasserstoffspeicher, Batteriesysteme, Leistungselektronik, E-Motoren und Thermomanagement. Der Fokus dieser Kurzstudie liegt auf Innovationstätigkeiten im Bereich „Brennstoffzelle für den elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“.

Die Brennstoffzelle ist ein elektrochemisches System, bei dem i.d.R. Wasserstoff und Luft zu elektrischer Energie und Wasser (als Nebenprodukt) reagieren. Der Wasserstoff wird in einem Drucktank direkt im Fahrzeug gespeichert und mitgeführt. Wird Wasserstoff in der Brennstoffzelle in elektrische Energie und anschließend mit einem E-Motor in Bewegungsenergie umgesetzt ist der Wirkungsgrad mit ca. 60 % deutlich höher als bei der thermischen Verbrennung von Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor. Der elektrochemische Prozess verläuft im Vergleich zur klassischen Erzeugung von Bewegungsenergie durch Verbrennung effizienter, sauberer und leiser. Größter Vorteil der Technologie im Vergleich zu einem heutigen, mit Lithium-Ionen-Batteriesystem betriebenen Fahrzeug ist die größere zu realisierende Reichweite, wobei dies hauptsächlich an der höheren Energiedichte des Wasserstoffs liegt: 1 kg Wasserstoff beinhaltet so viel Energie wie ca. 3 kg Benzin oder ca. 135 kg Li-Ionen Batteriezelle. Zudem kann eine vergleichsweise kurze Betankungszeit von ca. 5 Minuten realisiert werden.

Im Automobilbereich werden hauptsächlich sogenannte Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzellen (PEM) eingesetzt, die wassergekühlt bei ungefähr 80 °C betrieben werden und den derzeit höchsten Entwicklungsstand aufweisen. Die Herausforderungen für das Gesamtsystem im Fahrzeug bestehen insbesondere in der Realisierung von wettbewerbsfähigen Kosten, dem Thermo- und Energiemanagement sowie in der Verbesserung der Leistungsdynamik. Der Erfolg der Brennstoffzellentechnologie hängt entscheidend von der Kostenentwicklung und der Infrastrukturverfügbarkeit ab. Durch die bei Brennstoffzellenfahrzeugen hohen erzielbaren Reichweiten werden Anwendungspotenziale derzeit auch im Bereich des (Fern-) Güterverkehrs erwartet (emobil BW, 2023).

Die neuen Antriebskonzepte und -technologien und damit einhergehend die veränderten Wertschöpfungsstrukturen führen dazu, dass die deutsche Automobilwirtschaft vor 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 „Brennstoffzelle für den elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“ im internationalen Vergleich. Hierfür werden die Patentierungsaktivitäten über einen Zeitraum von ca. 12 Jahren (1. Januar 2013 bis 01. Oktober 2024) untersucht, analysiert und aufbereitet.

2. FuE-Aktivitäten im Bereich „Brennstoffzelle 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 „Brennstoffzelle 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 8 IPC-Klassen herangezogen (u. a. H01M, B60L, H02J, B60K, B60H, B60W) 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 „Brennstoffzelle 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 „Brennstoffzelle 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 01. Oktober 2024) konnten in den für den Benchmark relevanten Regionen Deutschland, China, Japan, Südkorea und USA fast 29.000 Patentfamilien identifiziert werden.

In Abbildung 1 ist rechts unten der zeitliche Verlauf der Patentanmeldungen dargestellt. Während bis zum Jahr 2020 eine im Verlauf der Jahre relativ konstante Zahl von Patentanmeldungen zwischen min. 1.341 (2015) und max. 2.102 (2020) mit einem Mittelwert von 1.683 pro Jahr zu erkennen ist, steigen die Anmeldungen im Folgejahr 2021 stark an (3.276) und verzeichnen einen absoluten Höchstwert von 4.688 im Jahr 2022 (+ ca. 122 % im Vergleich zu 2020). Im folgenden Jahr 2023 ist ein leichter Rückgang auf 4.549 zu erkennen, auf jedoch immer noch hohem Niveau. Bis zum 01. Oktober 2024 können vorläufig weitere 2.775 Patentanmeldungen identifiziert werden. Die Patentzahlen mindestens der Jahre 2023 und 2024 sind noch vorläufig und können sich durch weitere Patentveröffentlichungen in der Zukunft ändern. Generell kann von einem zeitlichen Verzug von Patent-einreichung bis -veröffentlichung von ca. 1,5 Jahren ausgegangen werden. Das Jahr 2024 ist aufgrund der steigenden Unschärfe der Analyse in den letzten Jahren nicht dargestellt.

Im oberen Teil der Abbildung 1 sind die bei FuE-Aktivitäten weltweit führenden Institutionen dargestellt. Japanische und südkoreanische Unternehmen belegen die ersten drei Plätze: Toyota führt die Rangliste mit insgesamt 5.735 Patentfamilien im Patentportfolio an, gefolgt von Hyundai (2.257) und Kia (1.717). Auf den Plätzen vier, acht und neun komplettieren die Unternehmen Honda (1.340), Nissan (648) und Denso (588) die Top Ten aus japanischer Perspektive. Auch deutsche Institutionen sind in der Entwicklung und Patentierung neuer Lösungen im Bereich Brennstoffzelle vertreten: Das bestplatzierte deutsche Unternehmen ist Bosch auf Rang sechs mit 895 Patentfamilien, auf den Plätzen sieben und zehn folgen mit Mercedes-Benz (inkl. Daimler Truck) (739) und Audi (512) zwei Automobilhersteller. Mit Ford (1.025) auf Platz 5 ist auch ein US-amerikanisches Unternehmen in der Rangliste vertreten. Chinesische Unternehmen sind in dieser Bestenliste bislang nicht vertreten.

Insgesamt zeigt sich, dass viele weitere Unternehmen mit Hauptsitz im deutschsprachigen Raum – v. a. Zulieferer 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: Volkswagen (339), BMW (264), Ekpo Fuel Cell Technologies (93), Mahle (92), AVL List (70), ZF Friedrichshafen (56), Schaeffler (55), Cellcentric (45), Vitesco Technologies (36) und Continental (18).

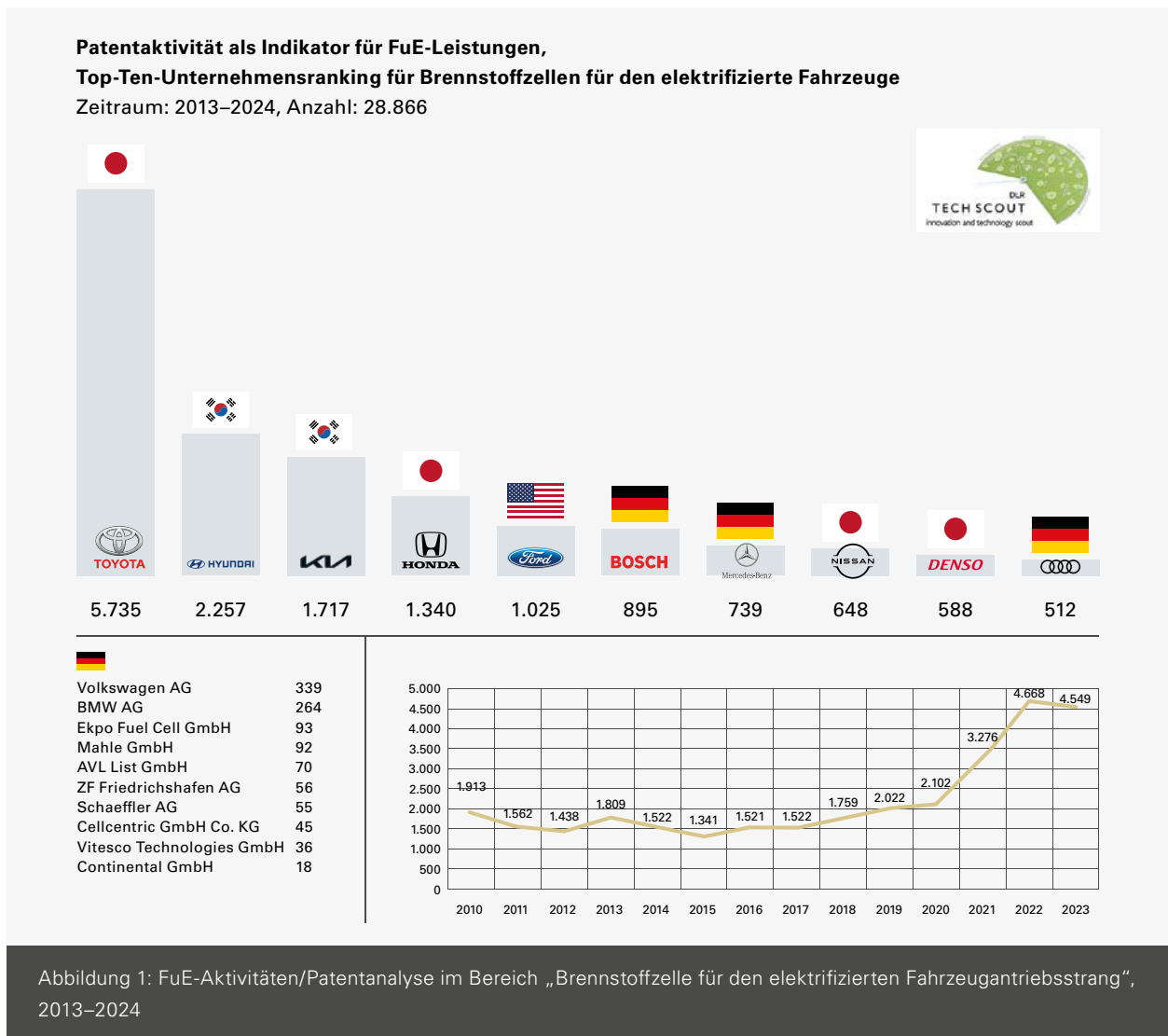


Abbildung 1: FuE-Aktivitäten/Patentanalyse im Bereich „Brennstoffzelle für den elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“, 2013–2024

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 2 stellt die Anteile der Länder USA, Südkorea, Japan, Deutschland und China im Vergleich dar.

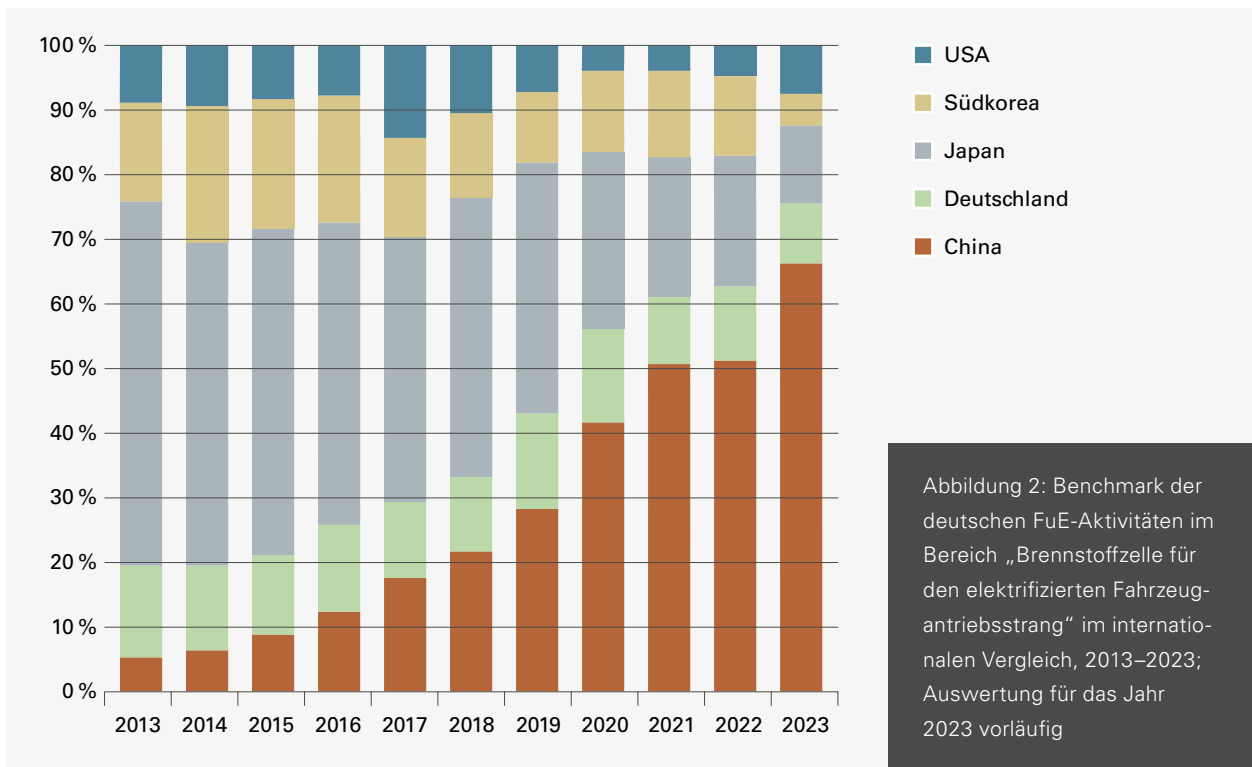
Insgesamt ist eine **Verschiebung der geografischen Schwerpunkte bei technologischen Aktivitäten im Bereich „Brennstoffzelle für den elektrifizierten Fahrzeugantriebsstrang“** über den Betrachtungszeitraum zu erkennen: Die Anteile der japanischen Automobilindustrie sind bei Betrachtung des gesamten Zeitraums 2013–2023 insgesamt im Mittel mit ca. 37 % dominierend. Bis zum Jahr 2019 lagen die Anteile im Mittel über 47 %, ab 2020 sinken diese auf nur noch ca. 24 %. In der vorläufigen Auswertung für das Jahr 2024 nehmen die japanischen FuE-Anteile weiter ab und erreichen noch ca. 7 %.

Die chinesischen Innovationsanteile wiederum konnten im Zeitraum der Jahre 2013 bis 2023 stark gesteigert werden, im Mittel liegen sie bei ca. 28 %. Während 2013 noch ein FuE-Anteil von nur ca. 5 % und 2018 ein Anteil von ca. 22 % identifiziert werden konnte, wurden im Jahr 2023 über 66 % erreicht. In der vorläufigen Auswertung im Folgejahr bis zum 01. Oktober 2024 steigt dieser Anteil weiter auf dann über 82 %. China wäre damit im aktuellen Jahr – sofern keine weiteren Patentschriften mehr in diesem Bereich veröffentlicht werden – mit Abstand führend. Allerdings sind insbesondere die Zahlen der Jahre 2023 und 2024 aufgrund zeitlicher Verzögerungen zwischen Patenteinreichung und -veröffentlichung in vorläufiger Auswertung und können sich noch ändern. Eine wissenschaftlich valide Auswertung kann deshalb nur bis 2022 erfolgen; eine Tendenz für die Folgejahre ist dennoch bereits erkennbar.

Die US-amerikanischen FuE-Anteile im Bereich „Brennstoffzelle“ liegen im Durchschnitt im Betrachtungszeitraum bei ca. 8 %, mit einem Maximum im Jahr 2017 in Höhe von über 14 % Anteil an den weltweiten Patentanmeldungen. Ab dem Jahr 2018 sind aber abnehmende Anteile zu erkennen auf dann nur noch ca. 6,5 % im Mittel bis 2023.

Die deutschen Innovationsanteile bewegen sich im Betrachtungszeitraum insgesamt auf einem stärkeren Niveau als die US-amerikanischen, jedoch leicht unter den südkoreanischen: im Mittel bei ca. 12 % und nur leichten Verschiebungen über die Jahre hinweg. Die höchsten Anteile mit 14,9 % bzw. 14,6 % wurden in den Jahren 2019 bzw. 2020 erreicht. In der vorläufigen Auswertung für die Jahre 2023 und 2024 ist mit 9,3 % bzw. nur noch 4,9 % FuE-Anteil eine negative Entwicklung zu erkennen. Auch absolut konnten die Patentzahlen im Betrachtungszeitraum gesteigert werden: von 208 Patentfamilien im Jahr 2013 auf das vorläufige Maximum von 578 im Jahr 2022.

Südkoreanische FuE-Aktivitäten haben über den gesamten Zeitraum hinweg ebenfalls relativ konstante Anteile zwischen 10,9 % (Minimum, im Jahr 2019) und 20,9 % (Maximum, im Jahr 2014), im Mittel werden über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg 14 % erreicht. In vorläufiger Auswertung für 2023 sinken die südkoreanischen Anteile auf nur noch ca. 4,9 %, bis zum ersten Oktober 2024 auf 1,6 % ab.



Autor

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

WebApp: H2 TechGuide

Weltweit steigt die Wasserstoffnachfrage stark an. Demnach ist auch der Bedarf an Komponenten und Systeme für Elektrolyse und Brennstoffzelle groß. Welche Fertigungstechnologien für welches Bauteil benötigt werden, zeigt der H2 TechGuide. Dabei werden die gängigsten Technologien „Proton Exchange Membran“ (PEM) und alkalisch betrachtet. So erhalten gerade kleine und mittlere Unternehmen Unterstützung, um in der aufstrebenden Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie erfolgreich zu sein. Weitere Informationen unter www.h2techguide.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

e-mobil ^{BW}
Landesagentur für neue Mobilitätslösungen
und Automotive Baden-Württemberg

transformations | Automotive in
wissen BW | Bewegung

Gefördert von


Baden-Württemberg
MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS

strategiedialog |
automobilwirtschaft BW

Layout/Satz/Illustration

markentrieb – Die Kraft für Marketing und Vertrieb

Stand

Dezember 2024