

## Monitoring von FuE-Aktivitäten im Technologiefeld „Traktions-Elektromotor im 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 „Traktions-Elektromotor im 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 „Traktions-Elektromotor im Fahrzeugantriebsstrang“.

Obwohl die elektrische Maschine seit Jahrzehnten in unterschiedlichen Varianten Anwendung findet, investieren Fahrzeughersteller (Original Equipment Manufacturer, OEM) und Zulieferer in die Weiterentwicklung der Technologie, um die speziellen Anforderungen an E-Motoren im Automotivebereich zu bedienen und sich durch überlegene Leistungseigenschaften Wettbewerbsvorteile zu sichern. Generell liegen diese Anforderungen – außer in den Leistungseigenschaften – in der Realisierung einer ausreichenden Dauerhaltbarkeit, Temperaturbeständigkeit und Wartungsfreiheit. FuE-Aktivitäten konzentrieren sich hauptsächlich auf das Ziel, den Wirkungsgrad und die Leistungsdichte des E-Motors weiter zu steigern. So können z. B. Größe und Masse der E-Maschine reduziert werden. Bei permanenterregten Synchronmaschinen wird derzeit eine Leistungsdichte von ca. 2–3 kW/kg erreicht. Mit neuen Motortechnologien können perspektivisch bis zu 20 kW/kg erzielt werden. Zudem sind die Weiterentwicklung geeigneter Produktionsprozesse (v. a. für Wicklung und Magnetisierung) sowie die Reduzierung des Materialeinsatzes bedeutsam, da diese für einen beträchtlichen Teil der Herstellkosten einer E-Maschine verantwortlich sind. Auch ist die Substitution kostenintensiver und teilweise schwer verfügbarer Seltenerdmetalle wie Neodym und Dysprosium wichtig, die z. B. in permanentmagnetisch erregten Synchronmaschinen verwendet werden (e-mobil 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 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 „Traktions-Elektromotor für die Fahrzeuganwendung“ im internationalen Vergleich. Hierfür werden die Patentierungsaktivitäten über einen Zeitraum von 12 Jahren (1. Januar 2010 bis 1. September 2022) untersucht, analysiert und aufbereitet.

## 2. FuE-Aktivitäten im Bereich „Traktions-Elektromotor für die Fahrzeuganwendung“ 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 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 „Traktions-Elektromotor im Fahrzeugantriebsstrang“ identifiziert und im Vergleich mit ausgewählten Weltregionen ab 2010 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/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 18 IPC-Klassen herangezogen (u. a. B60W, B60L, H02J, B60K, B62D, H01M, H02K) 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 „Traktions-Elektromotor im 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 „Traktions-Elektromotor im Fahrzeugantriebsstrang“ wurde eine weltweite Analyse von Patentanmeldungen ab dem Jahr 2010 beim Europäischen Patentamt durchgeführt. Über den gesamten Untersuchungszeitraum (1. Januar 2010 bis 1. September 2022) konnten in den für den Benchmark relevanten Regionen Deutschland, China, Japan, Südkorea und USA **über 62.000 Patentanmeldungen für Traktions-Elektromotoren im Antriebsstrang mit Bezug zur Fahrzeuganwendung** identifiziert werden.

In Abbildung 1 ist rechts unten der zeitliche Verlauf der Patentanmeldungen dargestellt. Während bis zum Jahr 2014 eine konstant steigende Zahl von Patentanmeldungen mit Wachstumsraten von im Durchschnitt +22 % pro Jahr zu erkennen ist (2011: 3.078 Patentanmeldungen; 2014: 5.443), steigen die Anmeldungen in den beiden Folgejahren sprunghaft an (2015: 10.976; 2016: 11.762). Ab dem Jahr 2017 stabilisieren sich die Zahlen dann wiederum auf einem relativ konstanten Niveau, mit jedoch leicht negativem Trend bis 2021. Das größte Wachstum ist im Jahr 2015 zu erkennen, mit einer Steigerung der Patentzahlen im Vergleich zum Vorjahr um ca. +102 %. Interessant dabei ist, dass diese Steigerung hauptsächlich auf Anmeldungen chinesischer Institutionen mit technologischem Fokus auf die Asynchronmaschine zurückzuführen ist.

Die Patentzahlen der Jahre 2021 und 2022 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 2022 ist deshalb im Zeitverlauf nicht dargestellt.

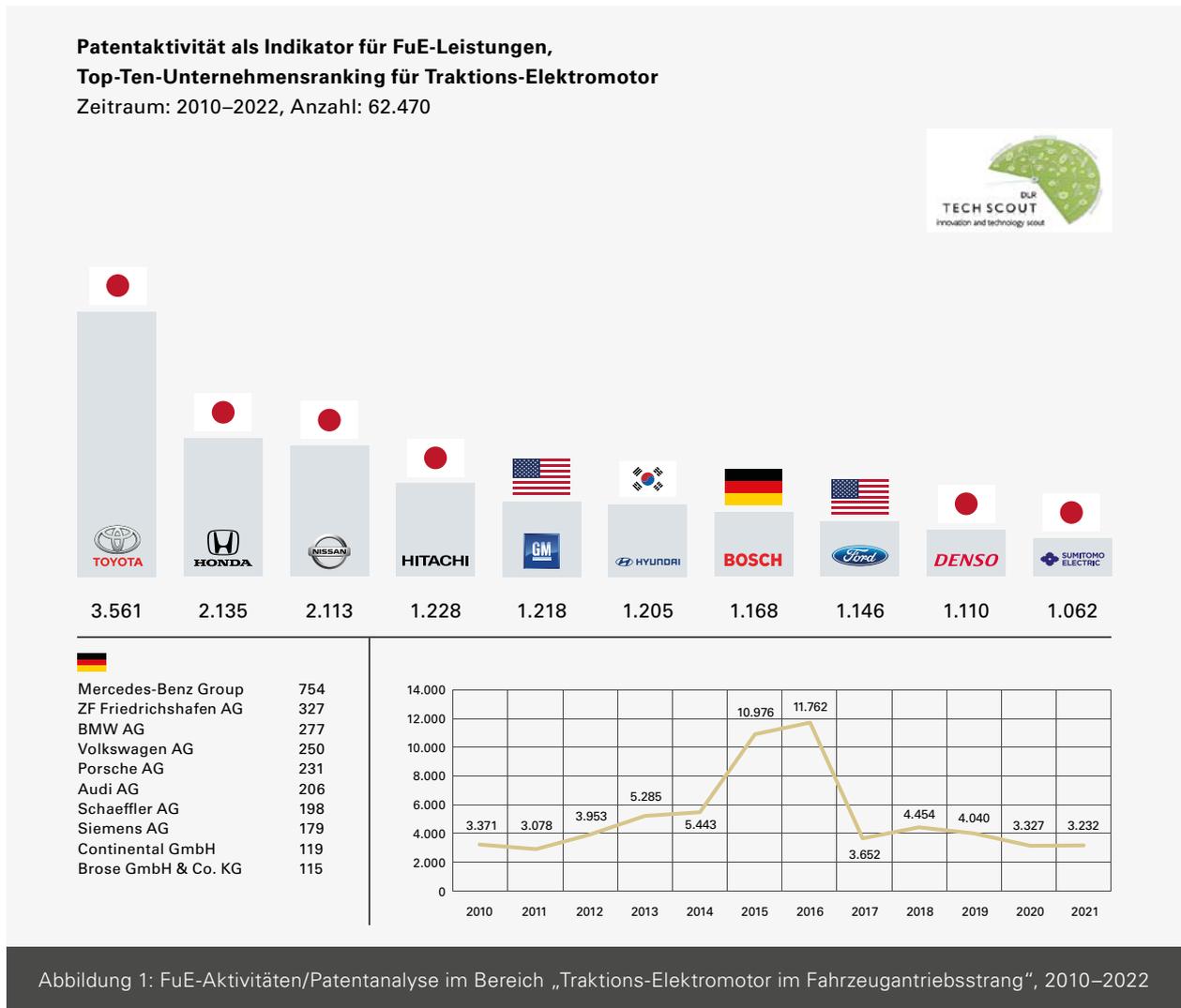


Abbildung 1: FuE-Aktivitäten/Patentanalyse im Bereich „Traktions-Elektromotor im Fahrzeugantriebsstrang“, 2010–2022

Im oberen Teil der Abbildung 1 sind die bei FuE-Aktivitäten weltweit führenden Institutionen dargestellt. Japanische Unternehmen belegen die ersten vier Plätze: Toyota führt die Rangliste mit insgesamt 3.561 Patenten an, gefolgt von Honda (2.135), Nissan (2.113) und Hitachi (1.228). Danach finden sich das bestplatzierte US-amerikanische Unternehmen GM (1.218), der südkoreanische Automobilhersteller Hyundai (1.205) und mit der Robert Bosch GmbH das bestplatzierte deutsche Unternehmen (1.168). Komplettiert wird die Top Ten Rangliste durch Ford (1.146, USA), Denso (1.110, Japan) und Sumitomo Electric (1.062, Japan). Chinesische Unternehmen sind in dieser Rangliste 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 zehn Firmen mit den meisten Patentanmeldungen sind: Mercedes-Benz (754), ZF Friedrichshafen (327), BMW (277), Volkswagen (250), Porsche (231), Audi (206), Schaeffler (198), Siemens (179), Continental (119) und Brose (115).

## 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.

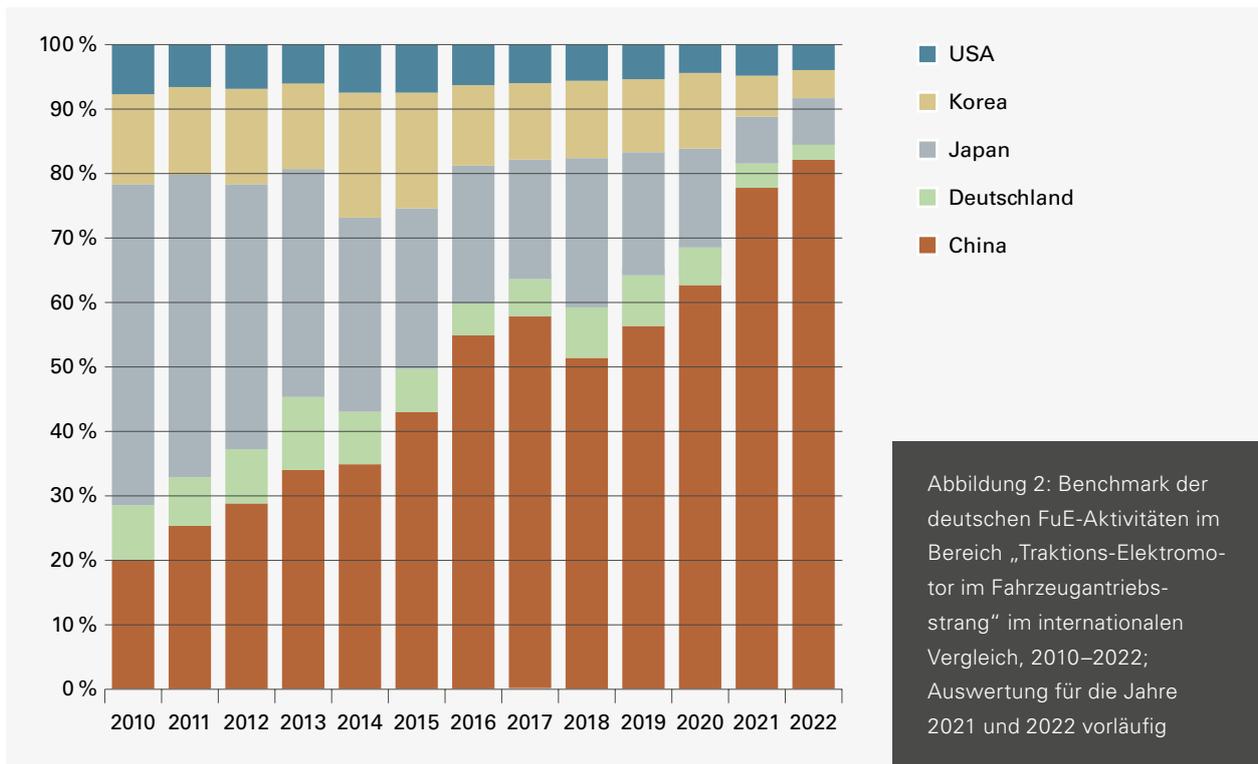
Insgesamt ist eine **Verschiebung der geografischen Schwerpunkte bei technologischen Aktivitäten im Bereich „Traktions-Elektromotor im Fahrzeugantriebsstrang“ über den Betrachtungszeitraum zu erkennen**: Während die Anteile der japanischen Automobilindustrie im Jahr 2010 mit ca. 56 % noch dominant waren, sinken sie bis 2021 auf nur noch 20 %. In der vorläufigen Auswertung für das Jahr 2022 nehmen die japanischen FuE-Anteile weiter ab und erreichen nur noch ca. 13 %.

Die chinesischen Innovationsanteile wiederum konnten im Zeitraum der Jahre 2010 bis 2021 stark gesteigert werden. Während 2010 noch ein FuE-Anteil von 11 % und 2011 ein Anteil von ca. 20 % (ähnlich Deutschland) identifiziert werden konnte, wurden im Jahr 2021 fast 42 % erreicht. In der vorläufigen Auswertung bis 2022 steigt dieser Anteil weiter auf dann über 56 %. China wäre damit – sofern keine weiteren Patentschriften mehr in diesem Bereich veröffentlicht werden – dominant und mit Abstand führend. Allerdings sind die Zahlen der Jahre 2021 und 2022 aufgrund zeitlicher Verzögerungen zwischen Patenteinreichung und -veröffentlichung in vorläufiger Auswertung und können sich noch ändern. Eine wissenschaftlich valide Auswertung kann deshalb nur bis 2020 erfolgen; eine Tendenz für die Folgejahre ist dennoch bereits erkennbar.

Die deutschen Innovationsanteile bewegen sich im Betrachtungszeitraum auf einem höheren Niveau als die US-amerikanischen und die südkoreanischen: im Mittelwert bei ca. 17 %. Im Jahr 2010 lagen sie bei ca. 23 %, 2021 bei ca. 25 %. In der vorläufigen Auswertung bis 2022 ist mit 18 % FuE-Anteil eine negative Entwicklung zu erkennen.

Die US-amerikanischen FuE-Anteile im Bereich „Traktions-Elektromotor“ liegen im Durchschnitt bei ca. 8 %. Ab dem Jahr 2018 ist eine konstante Steigerung zu erkennen: von ca. 8 % auf ca. 11 % im Jahr 2021. Für 2022 steigt der Anteil laut der vorläufigen Auswertung weiter auf ca. 12,5 %.

Südkoreanische FuE-Aktivitäten haben über den gesamten Zeitraum hinweg relativ geringe Anteile zwischen 1 % und 4 %, im Mittel werden im Betrachtungszeitraum 2,5 % erreicht. In vorläufiger Auswertung für 2022 sinken die südkoreanischen Anteile auf nur noch ca. 1,3 % ab.



## Autoren

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. – Institut für Fahrzeugkonzepte  
Dipl.-Kfm. Techn. Benjamin Frieske, Christian Ulrich, M. Sc.

### 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](http://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 44 Technologie-Roadmaps, der die zeitliche Entwicklung relevanter Module und Komponenten beinhaltet, sowie über 160 Technologiesteckbriefe, inklusive der zeitlichen Einordnung anhand von Reifegraden. Die Ergebnisse sind unter [www.transformationswissen-bw.de/wissensspeicher/technologiekalender](http://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

November 2023