

TuWAs

TRENDRADAR 2026

Das Konsortium

Unter der Leitung des Fraunhofer IWU, Chemnitz adressieren fünf Forschungseinrichtungen die Herausforderungen des Strukturwandels in der Automobilindustrie für umformtechnische Betriebe. Als interdisziplinäres Team bündeln sie ihre Kompetenzen, um Unternehmen der Massivumformung über die gesamte Wertschöpfungskette mit Wissen und Vernetzungsangeboten zu unterstützen.

Fraunhofer IWU

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

fir an der RWTH Aachen

HEINZ NIXDORF INSTITUT
UNIVERSITÄT PADERBORN

Technische Universität München

Stand: 09/2023

Methodik, Recherche & Einordnung

Die Automobilindustrie befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel, der von den Megatrends Mobilitätswende, Nachhaltigkeitswende, Wandel der Arbeitswelt und Digitalisierung vorangetrieben wird. Das im Forschungsprojekt TuWAs entwickelte Trendradar unterstützt Unternehmen der Massivumformungsbranche dabei, relevante Entwicklungen frühzeitig zu erkennen und ihre Bedeutung für die eigene Transformation einzuschätzen. Es bietet Orientierung hinsichtlich der zeitlichen und inhaltlichen Relevanz einzelner Trends und zeigt damit verbundene Potenziale und Herausforderungen auf.

Im Rahmen der Aktualisierung wurden die bisherigen Trends anhand wissenschaftlicher Literatur, einschlägiger Branchen- und Industriefachzeitschriften sowie aktueller Veröffentlichungen seit 2023 überprüft. Bestehende Trends wurden überarbeitet, nicht mehr zutreffende Entwicklungen entfernt und zunehmend ausdifferenzierte Trends in eigenständige Subtrends untergliedert. Ergänzende Recherchen dienten der Identifikation neuer Trends. Darüber hinaus flossen Erkenntnisse aus der Zusammenarbeit mit Unternehmen im Forschungsprojekt TuWAs in die Weiterentwicklung ein.

Die grundlegende Einteilung in vier Megatrends sowie die Verortung der Trends anhand ihrer Relevanz und zeitlichen Einordnung sind unverändert geblieben. Die Trendsteckbriefe wurden hingegen neu strukturiert, um relevante Informationen zielgruppengerecht aufzubereiten. Sie umfassen nun Kurzbeschreibungen, aktuelle Entwicklungen, Key Facts, Potenziale, Herausforderungen, Key Player und Prognosen. Ergänzend erfolgt eine dreistufige Einordnung hinsichtlich des Entwicklungsstadiums, der Dringlichkeit (Time-to-Impact) und der Auswirkungen auf die Automobilindustrie (Impact). Dadurch ermöglicht das aktualisierte Trendradar eine kompakte und vergleichbare Einschätzung relevanter Entwicklungen.

Fragen zum Tendradar beantwortet Ihnen gerne:

TuWAs Hub Nord
Universität Paderborn
Heinz Nixdorf Institut
Julian Zerbin, M.A.
E-Mail: julian.zerbin@hni.uni-paderborn.de
Tel.: +49 52 51 - 60 64 18

TuWAs



Die Trendthemen

Mobilitätswende

Mit dem Wandel zur Elektromobilität verringern sich die im Vergleich zum Verbrennungsmotor benötigte Anzahl und Komplexität der Bauteile. Damit sinkt auch der erzielbare Ertrag pro Fahrzeug. Neue Modelle der Wertschöpfung sind erforderlich, um die dadurch entstehenden Einbußen aufzufangen und zukünftiges Wachstum zu gewährleisten. Ansätze ergeben sich in den Bereichen Wasserstoff und Brennstoffzellen.

Digitalisierung

Die Digitalisierung von Produkt und Produktion erfordert hohe Investitionen in Technologien, Lösungen sowie die Qualifikation von Beschäftigten. Im Wandel der Automobilindustrie öffnet sie vor allem Chancen für den effizienten Erwerb und Betrieb von Maschinen und Anlagen. Pay-per-X, Subscription- und Plattformmodelle sind Lösungen, die zu nachhaltigen Wertschöpfungsnetzwerken sowie einer Verstetigung der Kreislaufwirtschaft beitragen.

Nachhaltigkeitswende

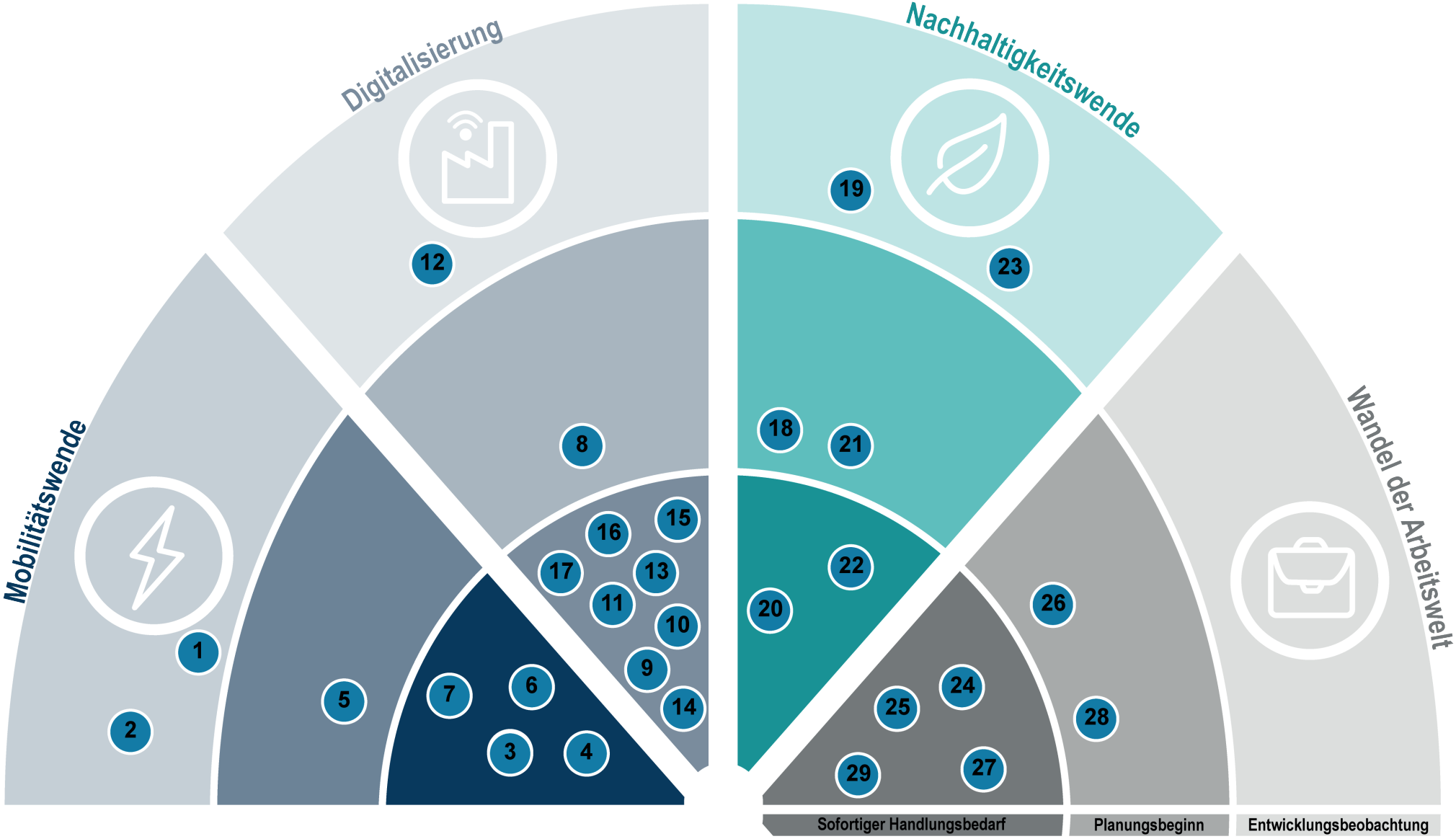
Fertigungsbetriebe aus der Umformtechnik tragen in Deutschland wesentlich zur Treibhausgasemission bei. Um mittelfristig CO_2-Neutralität zu erreichen, müssen sie ihre Ressourceneffizienz mit Kreislaufwirtschaftssystemen verbessern. Dazu gilt es, Potenziale in den Bereichen Materialherstellung & Emission, Materialeinsatz & Reduktion, Energieeinsatz & Prozesse sowie CO_2 konsumierende Maßnahmen zu erschließen.

Wandel der Arbeitswelt

Veränderte Prozesse, Verfahren und Technologien erfordern eine kontinuierliche Anpassung von Kompetenzen der Beschäftigten. Gleichzeitig sind Unternehmen gefordert, ihre Attraktivität als Arbeitgeber mit Blick auf den Fachkräftemangel zu steigern. Ansätze für eine erfolgreiche Gestaltung der neuen Arbeitswelt sind: neue Arbeitszeitmodelle, eine lernförderliche Arbeitsgestaltung und kompetenzorientierte Transformationskonzepte.

TuWAs

Die Kriterien des Trendradars im Überblick





1. Autonomes Fahren
2. Wasserstoffantrieb
3. Batterietechnologie
4. Elektromobilität
5. Leichtbaumaterialien
6. Mikromobilität
7. Lieferketten Resilienz



8. Advanced Robotics
9. Big Data & Analytics
10. Cyberresilienz
11. Digitale Produktpässe
12. Flexibilisierung der Produktion
13. Informationssicherheit
14. Künstliche Intelligenz – KI
15. Predictive Maintenance
16. Smarte Elektronik
17. Produktions-automatisierung



18. Circular Economy
19. Dekarbonisierung
20. Erneuerbare Energien
21. Externe Nachhaltigkeits-zertifizierung
22. Lifecycle Assessment - LCA
23. Net Zero



25. Agentic AI
26. Arbeit 4.0
27. Corporate Social Responsibility - CSR
28. Digital Workspace
29. Explainable AI -XAI
30. Fachkräftemangel

Sofortiger Handlungsbedarf
Dringlichkeit: 0-2 Jahre

Planungsbeginn
Dringlichkeit: 3-5 Jahre

Entwicklungsbeobachtung
Dringlichkeit: > 5 Jahre

TuWAs

Mobilitätswende

Digitalisierung

Nachhaltigkeitswende

Wandel
der Arbeitswelt



1

Autonomes Fahren

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Autonomes Fahren (automatisiertes Fahren, selbstfahrende Fahrzeuge, Automated Driving) bezeichnet Fahrzeugsysteme, die Teile oder die gesamte dynamische Fahraufgabe dauerhaft übernehmen; nach SAE J3016 gelten insbesondere die Level 3 bis 5 als automatisierte Fahrfunktionen, während Level 0 bis 2 Fahrerunterstützung darstellen. Technische Kernbereiche sind Kamera-, Radar- und LiDAR-Sensorik, Sensorfusion und KI-basierte Umfelderfassung sowie Lokalisierung, Fahrplanung, Fahrzeugregelung und leistungsfähige Fahrzeugrechner. Einsatzfelder reichen von hochautomatisierten Serienfahrzeugen über fahrerlose Robotaxis und Shuttles bis zu autonomen Lieferdiensten und automatisiertem Valet Parking. Eine Besonderheit ist die starke Bindung an eine definierte Operational Design Domain: Ein System kann beispielsweise auf bestimmten Straßen, Geschwindigkeiten oder Umweltbedingungen autonom fahren, ohne außerhalb dieses Bereichs dieselbe Funktionalität bereitzustellen.

Aktuelle Entwicklungen

- **Reasoning- und Vision-Language-Action-Modelle:** NVIDIA stellte 2026 mit Alpamayo 2 Super ein offenes Reasoning-VLA-Modell mit 34 Milliarden Parametern vor, das Wahrnehmung, Schlussfolgerung, Planung und Handlungsentscheidung stärker in einem KI-Modell zusammenführen soll.
- **Synthetische multimodale Sensordaten:** Fraunhofer FHR kombiniert in SCaRL synchronisierte Kamera-, LiDAR- und realitätsnahe Radardaten, um Sensorfusion und KI-Wahrnehmung gezielt unter veränderbaren Verkehrsszenarien zu trainieren und zu validieren.

Key Facts

- Die aktuelle SAE-J3016-Systematik vom September 2026 unterscheidet **sechs Stufen von Level 0 ohne Fahrautomatisierung bis Level 5 mit vollständiger Fahrautomatisierung** unter allen für Menschen befahrbaren Bedingungen.
- **Mercedes DRIVE PILOT ist als Level-3** in Deutschland für Geschwindigkeiten bis **95 km/h zugelassen** und kann unter definierten Bedingungen auf deutschen Autobahnen genutzt werden.
- **Waymo** hatte bis Ende Juni 2026 rund **271,3 Millionen Meilen** vollständig ohne menschlichen Fahrer zurückgelegt

© Heinz Nixdorf Institut



1

Autonomes Fahren

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Potenziale

- **Erhöhung der Verkehrssicherheit:** In einer peer-reviewten Vergleichsstudie mit rund 3,87 Millionen vollständig fahrerlosen Waymo-Meilen lag die Häufigkeit von Sachschaden-Haftpflichtfällen 76 % unter dem regional angepassten menschlichen Vergleichswert; im betrachteten Datensatz wurden keine Personenschaden-Haftpflichtfälle registriert.
- **Fahrerlose Mobilitätsdienste:** Level-4-Systeme ermöglichen Robotaxis, autonome Shuttles, Ride-Pooling, öffentlichen Verkehr und automatisierte Warenzustellung ohne dauerhaft eingesetzten Fahrer.

Herausforderungen

- **Long-Tail- und Grenzfälle:** Seltene Verkehrssituationen, ungewöhnliches Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer, temporäre Straßenführungen sowie komplexe urbane Situationen erfordern robuste Wahrnehmungs-, Prognose- und Entscheidungsmodelle.
- **Wetter- und Sensorabhängigkeit:** Kamera, Radar und LiDAR weisen unterschiedliche situationsabhängige Schwächen auf; Wetter, Straßenbeschaffenheit und konkrete Fahrsituationen können die Qualität der Umfelderfassung beeinflussen.

Key Player

- **Waymo:** Betreiber eines kommerziellen Level-4-Robotaxi-Systems mit mehr als 500.000 Fahrten pro Woche; seit August 2026 bereitet das Unternehmen zudem Tests in München
- **Mercedes-Benz:** Serienanbieter von SAE-Level-3-Technologie mit DRIVE PILOT
- **Baidu Apollo Go:** Einer der größten Robotaxi-Anbieter
- **Fraunhofer FHR:** Forschung an Radarwahrnehmung, multimodaler Sensorfusion und synthetischen Trainings- und Validierungsdaten für autonomes Fahren

Prognosen

- Für **autonome Pkw** einschließlich SAE-Level 1 bis 5 wird der **globale Markt 2026** auf **54,97 Mrd. US-Dollar** geschätzt. Bis 2034 werden für diesen breit abgegrenzten Markt 218,59 Mrd. US-Dollar prognostiziert.
- **Simulation, Daten und Validierung:** Die wachsende Komplexität autonomer Systeme erhöht den Bedarf an synthetischen Datensätzen.

© Heinz Nixdorf Institut



2

Wasserstoffantrieb

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Wasserstoffantrieb (H2-Antrieb, wasserstoffbasierter Antrieb, hydrogenbasierter Antrieb) bezeichnet Antriebssysteme, die Wasserstoff im Fahrzeug speichern und seine chemische Energie entweder elektrochemisch in einer Brennstoffzelle für einen elektrischen Antrieb oder durch Verbrennung in einem Wasserstoffmotor in mechanische Energie umwandeln. Zentrale Teiltechnologien sind PEM-Brennstoffzellen mit Traktionsbatterie und Elektromotor, Druck- oder Flüssigwasserstoffspeicher sowie Wasserstoff-Verbrennungsmotoren mit angepasster Einspritzung, Gemischbildung und Abgasnachbehandlung. Einsatzbereiche umfassen Pkw, Busse und schwere Nutzfahrzeuge sowie perspektivisch unter anderem Schienen-, Schiffs-, Off-Highway- und stationäre Anwendungen. Brennstoffzellenfahrzeuge verbinden elektrische Traktion mit einer Betankungszeit von typischerweise etwa fünf Minuten bei Pkw und Reichweiten von mehr als 300 Meilen, während Wasserstoffmotoren stärker auf bestehenden verbrennungsmotorischen Architekturen aufbauen können.

Aktuelle Entwicklungen

- **Verlagerung von Pkw auf schwere Nutzfahrzeuge:** Die aktuelle Dynamik des FCEV-Markts wird zunehmend durch Lkw getragen.
- **Aufbau regionaler Wasserstoff-Cluster:** Infrastruktur, Fahrzeugflotten und Wasserstoffversorgung werden zunehmend gemeinsam an Logistikachsen entwickelt.
- **Flüssigwasserstoff für Langstrecken-Lkw:** Daimler Truck setzt beim NextGenH2 Truck auf kryogenen Flüssigwasserstoff, um hohe Energiemengen bei schwerem Fernverkehr abzubilden und beginnt Ende 2026 mit dem realen Kundeneinsatz.

Key Facts

- Wasserstoff besitzt einen unteren Heizwert von 33,3 kWh/kg.
- Der weltweite Bestand an Brennstoffzellenfahrzeugen stieg 2025 um 20 % auf knapp 130.000 Fahrzeuge.
- Brennstoffzellen-Pkw können typischerweise in etwa 5 Minuten betankt werden und erreichen nach Angaben des U.S. Department of Energy mehr als 300 Meilen beziehungsweise rund 480 km Reichweite.

© Heinz Nixdorf Institut



2

Wasserstoffantrieb

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Potenziale

- **Kurze Betankungszeiten bei hoher Auslastung:** Brennstoffzellen-Pkw können in etwa fünf Minuten betankt werden.
- **Eignung für energieintensive Fahrprofile:** Brennstoffzellen-Lkw sind langen Reichweiten oder gewichtssensitiven Anwendungen Vorteile bieten.
- **Hohe gravimetrische Energie des Energieträgers:** Wasserstoff besitzt bezogen auf den unteren Heizwert rund 33,3 kWh/kg, wodurch trotz des zusätzlichen Gewichts von Tanks und Antriebssystem lange Reichweiten technisch realisierbar sind.

Herausforderungen

- **Begrenztes Angebot emissionsarmen Wasserstoffs:** 2025 wurden weltweit mehr als 100 Mio. t Wasserstoff nachgefragt, während die Produktion von emissionsarmem Wasserstoff erst knapp 1 Mio. t erreichte; die Klimawirkung eines Wasserstoffantriebs hängt daher wesentlich vom Produktionspfad des Kraftstoffs ab.
- **Hohe Energie- und Infrastrukturkosten:** Bei Brennstoffzellen-Lkw entfallen nach IEA-Berechnungen in Europa und den USA mehr als 15 % der Gesamtbetriebskosten auf die Wasserstoff-Betankungsinfrastruktur.

Key Player

- **Hyundai Motor Company:** Einer der sichtbarsten kommerziellen Anbieter im Schwerlastsegment mit der europäischen XCIENT-Fuel-Cell-Flotte.
- **Daimler Truck:** Entwickelt flüssigwasserstoffbasierte Brennstoffzellen-Lkw und führt den NextGenH2 Truck ab Ende 2026 in eine 100 Fahrzeuge umfassende Kleinserie über.
- **Volvo Group:** Entwickelt parallel Brennstoffzellen- und Wasserstoff-Verbrennungslösungen für schwere Nutzfahrzeuge und erprobt seit 2026 Wasserstoffmotor-Lkw auf öffentlichen Straßen.

Prognosen

- Eine Studie schätzt Brennstoffzellenfahrzeuge **2026 auf 13,75 Mrd. US-Dollar** und prognostiziert 28,23 Mrd. US-Dollar 2030. Andere Abgrenzungen liefern deutlich geringere Marktwerte.
- **Schwere Nutzfahrzeuge**: Der aktuell stärkste Wachstumsimpuls liegt bei Lkw und Bussen.
- **FCEV-Bestand**: Die IEA erwartet bis 2030 unter bestehender Politik etwa eine Verdreifachung.

© Heinz Nixdorf Institut



3

Batterietechnologie

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Batterietechnologie umfasst die Entwicklung und Herstellung von Batteriezellen und -systemen sowie deren Einsatz, Alterung und Verwertung. Sie beeinflusst zentrale Eigenschaften elektrischer Anwendungen, darunter Kosten, Reichweite, Ladeleistung, Sicherheit, Gewicht und Umweltbilanz. Derzeit zeichnet sich kein einzelner Nachfolger der Lithium-Ionen-Batterie ab. Stattdessen entwickeln sich verschiedene Zellchemien für unterschiedliche Anforderungen: LFP für kostensensible Anwendungen, nickelhaltige Chemie für hohe Energiedichte, Natrium-Ionen für bestimmte preisorientierte Einsatzbereiche und Festkörperbatterien als mögliche Option für die Zukunft. Zugleich verlagert sich der Wettbewerb auf die industrielle Fertigung, den sparsamen Einsatz von Materialien, regionale Wertschöpfung, Recycling und die Einbindung der Batterie in Produkte und Steuerungssysteme. Gute Laborwerte allein belegen noch nicht, dass sich eine Technologie wirtschaftlich in großen Stückzahlen herstellen lässt.

Aktuelle Entwicklungen

- Batterieentwicklung fokussiert zunehmend auf **Packintegration, schnellere Ladefähigkeit, Lebensdauer, geringeren Materialeinsatz, Rückverfolgbarkeit, Second-Life-Nutzung und Recycling**. Die EU-Batterieverordnung und der europäische Automotive Action Plan verstärken Anforderungen an nachhaltigere Wertschöpfung und regionale Fertigung.
- **Lithium-Ionen-Technik dominiert** weiterhin die Serienproduktion. **LFP-Zellen haben sich stark verbreitet**, weil sie kostengünstig sind und ohne Nickel und Kobalt auskommen; **nickelreiche Chemie** wird dort eingesetzt, wo **Reichweite** und **Energiedichte** stärker **gewichtet** werden.

Key Facts

- **Weltweit** wurden 2025 mehr als **20 Millionen Elektroautos** verkauft; Die Batterieproduktion und -nachfrage wachsen entsprechend mit regional stark unterschiedlicher Dynamik.
- 2024 entfiel laut IEA nahezu die **Hälfte** des globalen Marktes für **EV-Batterien** auf **LFP**; die Chemie ist damit vom Nischenprodukt zur wichtigen Serienoption geworden.
- **China stellt** den **überwiegenden Teil** der **globalen Batteriezellen** her und ist auch bei wichtigen Vorprodukten und Verarbeitungsschritten stark konzentriert. Das schafft Skalenvorteile, aber ein **strukturelles Lieferkettenrisiko** für andere Regionen.

© Heinz Nixdorf Institut



3

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

© Heinz Nixdorf Institut

Batterietechnologie

TuWAs

Potenziale

- **Bezahlbare Elektrofahrzeuge**: niedrigere Zell- und Packkosten, effizientere Fertigung und LFP/Natrium-Ionen können Kosten senken und neue Preisbereiche erschließen.
- **Reichweite und Nutzbarkeit**: höhere Energiedichte, bessere Thermik und schnellere Ladefähigkeit können Fahrzeugreichweite und Ladeerlebnis verbessern, sofern Zellalterung und Sicherheit beherrscht werden.
- **Kreislaufwirtschaft**: Batteriepass, Reparatur und Recycling können Materialkreisläufe schließen und Versorgung ergänzen. Wirtschaftlichkeit und Qualität der zurückgewonnenen Materialien bleiben entscheidend.

Herausforderungen

- **Serienreife und Skalierung**: Laborwerte und Pilotlinien bilden Ausbeute, Kosten, Qualität und Zuverlässigkeit einer hochvolumigen Fertigung nur begrenzt ab. (1)
- **Kosten- und Rohstoffvolatilität**: Lithium, Graphit, Nickel und weitere Materialien unterliegen Preis- und geopolitischen Schwankungen; neue Chemien verschieben Abhängigkeiten, statt sie vollständig aufzulösen. (1, 5)
- **Sicherheits- und Lebensdaueranforderungen**: hohe Energiedichte und schnelles Laden erhöhen Anforderungen an Zellkontrolle, Thermomanagement, BMS und Crashsicherheit.

Key Player

- **CATL**: global führender Zellhersteller mit Angeboten in LFP, Natrium-Ionen und fortgeschrittenen Zell- und Packarchitekturen; zugleich maßgeblich für Skalierungstrends in China. (1)
- **BYD**: integriert Batteriezellen, Packs und Fahrzeuge; Blade-Batterie und LFP-basierte Plattformen
- **LG Energy Solution, Samsung SDI**: koreanische Zellhersteller mit globalen OEM-Kunden und Aktivitäten in unterschiedlichen Lithium-Ionen-Chemie sowie Festkörperforschung.

Prognosen

- **LFP** bleibt in **kostensensitiven** Segmenten **relevant**
- **Nickelhaltige Zellen** behalten Vorteile, wenn **Energiedichte** und **Reichweite** im Vordergrund stehen.
- **Natrium-Ionen** dürfte zunächst **in ausgewählten Anwendungen** und Märkten eingesetzt werden.
- **Festkörperbatterien** können ab Ende der 2020er Jahre erste **begrenzte Serienanwendungen** erreichen.

fir an der RWTH Aachen · Fraunhofer IWU · Fachhochschule Südwestfalen University of Applied Sciences · HEINZ NIXDORF INSTITUT UNIVERSITÄT PADERBORN · Technische Universität München



4

Elektromobilität

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Elektromobilität (E-Mobilität, elektrische Mobilität, Electric Mobility) bezeichnet Mobilitätssysteme, bei denen Fahrzeuge vollständig oder teilweise elektrisch angetrieben werden und die dafür benötigte elektrische Energie fahrzeugseitig gespeichert oder über eine Energieinfrastruktur bereitgestellt wird. Das Technologiefeld umfasst insbesondere batterieelektrische und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge, elektrische Antriebe und Leistungselektronik, Batteriesysteme, Ladeinfrastruktur sowie intelligente und bidirektionale Ladekonzepte. Anwendungen reichen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen über Busse und schwere Lkw bis zur Elektrifizierung von Logistik- und Transportprozessen. Ein wesentliches technisches Merkmal batterieelektrischer Fahrzeuge ist der hohe Wirkungsgrad: Typische Elektrofahrzeuge erreichen unter Berücksichtigung der Rekuperation etwa 87–91 %, während konventionelle Benzinfahrzeuge bei rund 30 % liegen. Die Marktdurchdringung nimmt weiter zu: Elektroautos erreichten im ersten Halbjahr 2026 weltweit 24 % der Pkw-Neuverkäufe; für das Gesamtjahr 2026 erwartet die IEA einen Anteil von 29 %.

Aktuelle Entwicklungen

- **LFP als dominante Zellchemie:** Lithium-Eisenphosphat-Batterien erreichten 2025 bereits mehr als 55 % der weltweit in Elektrofahrzeugen eingesetzten Batteriekapazität und gewinnen aufgrund geringerer Materialkosten weiter an Bedeutung.
- **Skalierung von Natrium-Ionen-Batterien:** Die Technologie befindet sich im industriellen Hochlauf und bietet insbesondere Vorteile bei niedrigen Temperaturen; aktuelle Zellen erreichen bis zu etwa 175 Wh/kg.
- **Festkörperbatterien:** All-Solid-State-Zellen werden bereits im kleinen Maßstab produziert und getestet.

Key Facts

- >20 Mio. Elektroautos wurden 2025 weltweit verkauft; ihr Anteil an allen Pkw-Neuverkäufen betrug 25 %.
- Der weltweite Batterieeinsatz in Elektrofahrzeugen erreichte 2025 **1,2 TWh** und stieg damit gegenüber 2024 um knapp **30 %**.
- Ende 2025 existierten weltweit **mehr als 7 Mio. öffentliche Ladepunkte**; allein im Jahr 2025 kamen knapp **1,8 Mio.** hinzu, entsprechend einem Wachstum von mehr als **33 %**.

© Heinz Nixdorf Institut



4

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

© Heinz Nixdorf Institut

Elektromobilität

TuWAs

Potenziale

- **Hohe Energieeffizienz:** Typische batterieelektrische Fahrzeuge erreichen einschließlich Rekuperation einen Gesamtwirkungsgrad von etwa 87–91 % gegenüber rund 30 % bei konventionellen Benzinfahrzeugen.
- **Reduzierte Lebenszyklusemissionen:** Für 2025 in der EU verkaufte batterieelektrische Mittelklasse-Pkw ermittelt das ICCT bei Nutzung des erwarteten durchschnittlichen EU-Strommixes über den Lebenszyklus etwa 63 g CO_2e/km und damit 73 % weniger als für vergleichbare Benzinfahrzeuge mit 235 g CO_2e/km.

Herausforderungen

- **Geografisch konzentrierte Batterieproduktion:** Mehr als 80 % der weltweiten Batteriezell-Produktionskapazität lagen 2025 in China; Europa und die USA kamen jeweils lediglich auf etwa 6–7 %.
- **Hohe Investitionskosten bei schweren Nutzfahrzeugen:** Elektrische Lkw sind nach IEA-Angaben weiterhin etwa zwei- bis dreimal so teuer in der Anschaffung wie Diesel-Lkw.
- **Technologische Zielkonflikte bei Batterien:** Natrium-Ionen-Zellen erreichen aktuell bis zu etwa 175 Wh/kg gegenüber rund 205 Wh/kg bei modernen LFP- und 265 Wh/kg bei NMC-Zellen.

Key Player

- **BYD:** Der chinesische Fahrzeug- und Batteriehersteller setzte 2025 weltweit mehr als 4,6 Mio. New Energy Vehicles ab und gehört damit zu den volumenstärksten Akteuren der elektrifizierten Fahrzeugindustrie.
- **Tesla:** Tesla lieferte 2025 weltweit 1.636.129 Fahrzeuge aus und ist insbesondere bei batterieelektrischen Pkw sowie bei Lade- und Energiespeichertechnologien aktiv.
- **CATL:** Batteriezellen und Batteriesysteme für zahlreiche Fahrzeughersteller.

Prognosen

- Der globale Elektromobilitätsmarkt wird für 2026 auf 1.023,81 Mrd. US-Dollar geschätzt. Bis 2034 werden 2.190,37 Mrd. US-Dollar prognostiziert; Ladeinfrastruktur und Batteriesysteme sind wichtige Teilmärkte.
- **Batteriewertschöpfung**: 2025 wurden weltweit 1,2 TWh Batteriekapazität in Elektrofahrzeugen eingesetzt, knapp 30 % mehr als 2024.



5

Leichtbaumaterialien

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Leichtbaumaterialien (Leichtbauwerkstoffe, Leichtwerkstoffe) sind Werkstoffe mit einem hohen Verhältnis von mechanischer Leistungsfähigkeit zu Masse, die eingesetzt werden, um Bauteil- und Systemgewichte bei definierten Anforderungen an Festigkeit, Steifigkeit, Sicherheit und Lebensdauer zu reduzieren. Zu den zentralen Werkstoffklassen zählen Aluminium-, Magnesium- und Titanlegierungen, hoch- und höchstfeste Stähle sowie faserverstärkte Kunststoffe wie CFK und GFK; zunehmend werden diese Werkstoffe in hybriden Multi-Material-Strukturen kombiniert. Typische Anwendungen liegen im Automobil- und Nutzfahrzeugbau, in Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau, Windenergie und weiteren Bereichen, in denen bewegte Masse, Energieverbrauch oder strukturelle Effizienz relevant sind. Die Werkstoffwahl erfolgt dabei zunehmend funktions- und belastungsgerecht, sodass unterschiedliche Materialien entsprechend ihrer spezifischen Festigkeit, Steifigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Fertigbarkeit und Kosten innerhalb eines Systems eingesetzt werden.

Aktuelle Entwicklungen

- **Thermoplastische Faserverbundstrukturen:** Carbonfaserverstärkte Thermoplaste ermöglichen Schweißverfahren.
- **Recycelte Carbonfasern:** Pyrolyse, Solvolyse und die Weiterverarbeitung zurückgewonnener Fasern zu neuen Vliesen und Halbzeugen werden für höherwertige Sekundäranwendungen weiterentwickelt.
- **Additiv gefertigte Leichtbaustrukturen:** Laser Powder Bed Fusion und Laser Material Deposition ermöglichen topologieoptimierte metallische Bauteile mit komplexen Geometrien und lokal angepasster Materialverteilung.

Key Facts

- **10 % geringere Fahrzeugmasse können etwa 6–8 % höhere Kraftstoffeffizienz** ermöglichen.
- Typische **bauteilbezogene Gewichtsreduktionspotenziale** gegenüber konventionellen Lösungen liegen laut US Department of Energy **bei etwa 30–70 %** für **Magnesium**.
- Bei Boeing 787 und Airbus A350 bestehen mehr als **50 % der Airframe-Struktur aus Verbundwerkstoffen**.
- **Recyclingaluminium** benötigt etwa **95 % weniger Energie** als die Herstellung von Primäraluminium.

© Heinz Nixdorf Institut



5

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

© Heinz Nixdorf Institut

Leichtbaumaterialien

TuWAs

Potenziale

- **Gewichtsreduzierung im Fahrzeugbau:** Der Ersatz konventioneller Eisen- und Stahlkomponenten durch Leichtbaumaterialien kann das Gewicht von Karosserie- und Fahrwerkskomponenten deutlich reduzieren.
- **Kreislauffähige Leichtmetalle:** Das Recycling von Aluminium benötigt nach Angaben der Aluminum Association rund 95 % weniger Energie als die Herstellung von Primäraluminium.
- **Funktionsintegration:** Faserverbund- und Hybridwerkstoffe ermöglichen neben der Lastaufnahme die Integration zusätzlicher Funktionen wie Sensorik.

Herausforderungen

- **Werkstoff- und Fertigungskosten:** Insbesondere CFK-Strukturen weisen gegenüber etablierten metallischen Lösungen weiterhin hohe Material- und Prozesskosten auf; deshalb konzentriert sich die Forschung auf automatisierte, schnellere und materialeffizientere Produktionsprozesse.
- **Kreislauffähigkeit von Verbundwerkstoffen:** Für die kommenden drei Jahrzehnte werden weltweit etwa 2–3 Mio. t Faserverbundabfälle erwartet.
- **Materialverluste bei CFK:** Bei der Herstellung von CFK-Bauteilen können laut Fraunhofer IGCV bis zu 40 Masse-% Carbonfaserverschnitt entstehen.

Key Player

- **Toray Industries:** Führender Hersteller von Carbonfasern und Verbundwerkstoffen mit Aktivitäten entlang der Wertschöpfungskette von Carbonfasern über Prepregs und Textilien bis zu Composite-Produkten für Luftfahrt, Raumfahrt und Industrie.
- **Hexcel:** Bedeutender Anbieter von Carbonfasern, Prepregs, Geweben und weiteren Hochleistungsverbundwerkstoffen; Hexcel-Materialien werden unter anderem in den Primärstrukturen des Airbus A350 eingesetzt.

Prognosen

- Der **globale Markt** für Leichtbaumaterialien wird 2026 auf **235,5 Mrd. US-Dollar** geschätzt. Für 2030 werden 339,8 Mrd. US-Dollar prognostiziert.
- **Automobil- und Elektromobilität:** Leichtbau reduziert die für Beschleunigung erforderliche Energie und kann zusätzliche Masse von Batterien, Sicherheitssystemen und Elektronik teilweise kompensieren.



6

Mikromobilität

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Kurzbeschreibung

Mikromobilität (Micro-Mobility, Kleinstmobilität, Nahmobilität) bezeichnet die Nutzung kompakter und leichter Verkehrsmittel für überwiegend kurze Wege und umfasst insbesondere Fahrräder, E-Bikes und E-Scooter im privaten oder geteilten Betrieb. Zu den wesentlichen Teilbereichen zählen die Fahrzeug- und Antriebstechnik, Batteriesysteme, digitale Sharing- und Flottenplattformen, Ortungs- und Geofencing-Systeme sowie Lade-, Abstell- und Docking-Infrastrukturen. Typische Anwendungen sind kurze Pendelwege, die erste und letzte Meile im öffentlichen Verkehr, innerstädtische Sharing-Angebote sowie die Verknüpfung von Fahrrad- und E-Bike-Verkehr mit öffentlichen Verkehrsmitteln. Ein wesentliches Merkmal sind geringe Fahrzeugabmessungen und Geschwindigkeiten; Elektrokleinstfahrzeuge im Sinne der deutschen Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung dürfen beispielsweise eine bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit von mehr als 6 bis maximal 20 km/h und eine Fahrzeugmasse ohne Fahrer von höchstens 55 kg aufweisen.

Aktuelle Entwicklungen

- **KI-gestützte Umfeld- und Gehwegerkennung:** Neue E-Scooter-Plattformen nutzen Kameras und KI-basierte Wahrnehmung, um Fußgänger, Gehwege oder bestimmte Fahrbereiche zu erkennen und Fahrer zu warnen beziehungsweise das Fahrzeugverhalten anzupassen.
- **Digitale Park- und Zonenführung direkt am Fahrzeug:** Displays und vernetzte Fahrzeugsysteme zeigen zulässige Abstellbereiche, Geschwindigkeitszonen und Navigationsinformationen unmittelbar am Fahrzeug an und reduzieren damit die Abhängigkeit von der Smartphone-App während der Fahrt.

Key Facts

- **353 Mio. E-Scooter-Fahrten** und **136 Mio. E-Bike-Fahrten** wurden **2025** von den im Branchenverband Micromobility for Europe ausgewerteten großen Sharing-Anbietern in Europa erfasst.
- **+72,3 % E-Bike-Fahrten** gegenüber 2024 wurden in derselben europäischen Betreiberstatistik für 2025 ausgewiesen.
- Der **deutsche Markt** für E-Kick-Scooter wurde für 2025 mit rund **279,81 Mio. € Umsatz** und rund 601.470 verkauften Einheiten angegeben.

© Heinz Nixdorf Institut



6

Mikromobilität

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Potenziale

- **Ergänzung des öffentlichen Verkehrs:** Fahrräder, E-Bikes und andere Mikromobilitätsangebote können insbesondere die erste und letzte Meile zu Haltestellen und Mobilitätsknoten abdecken.
- **Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei geeigneter Verkehrsmittelverlagerung:** Eine Lebenszyklusanalyse des öffentlichen E-Bike-Systems BiciMAD in Madrid ermittelte rund 29 g CO_2-Äquivalente pro Personenkilometer und eine Nettoänderung von etwa −36 g CO_2-Äquivalenten pro Personenkilometer durch die Substitution anderer Verkehrsmittel.

Herausforderungen

- **Verkehrssicherheit:** In Deutschland registrierte die Polizei 2025 insgesamt 16.496 E-Scooter-Unfälle mit Personenschaden, 38 Todesfälle und 1.895 Schwerverletzte; die Zahl der Unfälle mit Personenschaden lag damit 38,1 % über dem Vorjahreswert.
- **Konflikte mit Fußgängern und anderen Verkehrsteilnehmern:** Fehlende oder nicht regelkonforme Nutzung geeigneter Verkehrsflächen und ungeordnetes Abstellen können Nutzungskonflikte erzeugen und machen geeignete Infrastruktur, Parkregeln und technische Kontrollmechanismen erforderlich.

Key Player

- **Lime:** Internationaler Betreiber von E-Bike- und E-Scooter-Sharing mit Aktivitäten in mehr als 230 Städten in annähernd 30 Ländern.
- **Dott:** Europäischer Sharing-Anbieter mit rund 250.000 E-Scootern und E-Bikes und Aktivitäten in mehr als 400 Städten in 21 Ländern.
- **Bolt:** Mobilitätsplattform mit E-Scooter-Angeboten sowie fahrzeugseitigen Funktionen für Navigation, Parkzonen, Geschwindigkeitsinformationen und KI-gestützte Erkennung unerwünschter Gehwegnutzung.

Prognosen

- **Digitale Flottenplattformen**: Sharing schafft Bedarf an Telemetrie, Abrechnung, Wartung, Parkmanagement und datenbasierter kommunaler Steuerung.
- **Fahrzeug- und Komponentenentwicklung:** Wachsende E-Bike-Bestände sowie der etablierte E-Scooter-Markt erzeugen Nachfrage nach Antrieben, Batteriesystemen, Sensorik, Sicherheitskomponenten und reparaturfreundlichen Fahrzeugarchitekturen.

© Heinz Nixdorf Institut



7

Lieferketten Resilienz

TuWAs

Kurzbeschreibung

Resiliente Lieferketten (Supply Chain Resilience) bezeichnen die Fähigkeit von Unternehmen, Störungen in Beschaffung, Produktion und Transport frühzeitig zu erkennen, ihre Folgen zu begrenzen und wichtige Lieferungen wiederherzustellen. Zu den wesentlichen Maßnahmen zählen mehr Transparenz über mehrstufige Zuliefernetzwerke, die breitere Aufstellung von Lieferanten und Regionen, strategische Lagerhaltung, flexible Produktionsplanung und langfristige Abnahmevereinbarungen. Auch die Verlagerung von Fertigung näher an Absatzmärkte kann Teil einer solchen Strategie sein. Unternehmen wägen dabei die Versorgungssicherheit gegen Kosten, Skaleneffekte, Marktzugang und Nachhaltigkeit ab. Eine regionale Endfertigung allein schafft jedoch keine Unabhängigkeit, wenn wichtige Rohstoffe oder Vorprodukte weiterhin aus wenigen Ländern oder von einzelnen Lieferanten stammen.

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Aktuelle Entwicklungen

- **Geopolitische Spannungen** und Exportkontrollen rücken **Abhängigkeiten von einzelnen Ländern** und Verarbeitungsstandorten stärker in den Fokus. **Kritische Materialien** und **Komponenten** werden zunehmend als strategische Versorgungsrisiken behandelt.
- **Nearshoring und lokale Fertigung** werden ausgebaut, oft durch neue Werke, Joint Ventures oder Partnerschaften mit regionalen Lieferanten. Die EU diskutiert parallel industriepolitische Maßnahmen zur Stärkung heimischer Batterie- und Fahrzeugwertschöpfung.

Key Facts

- Automotive **Lieferketten** sind **global** und **stark verflochten**. Eine Verlagerung der Endmontage in eine Region reduziert nicht automatisch die Abhängigkeit von importierten Rohstoffen, Vorprodukten oder Produktionsanlagen.
- Die EU stellte 2025 einen **Automotive Action Plan** vor, der unter anderem Batterietechnologie, Lieferketten und strategische Wettbewerbsfähigkeit adressiert
- **Catena-X** stellt einen branchenübergreifenden Ansatz für standardisierten Datenaustausch im Automotive-Ökosystem bereit.

© Heinz Nixdorf Institut



7

Lieferketten Resilienz

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Potenziale

- **Kontinuität der Produktion:** frühere Erkennung von Engpässen und abgestimmte Reaktionen können Stillstände und kurzfristige Produktionsausfälle begrenzen.
- **Risikostreuung:** alternative Lieferanten, Materialsubstitution und regionale Kapazitäten verringern die Abhängigkeit von einzelnen Knotenpunkten, sofern Alternativen tatsächlich qualifiziert und skalierbar sind.
- **Wettbewerbsvorteil durch Flexibilität**: Unternehmen, die Produkte und Prozesse für alternative Komponenten auslegen, können schneller auf Angebots- und Marktänderungen reagieren.

Herausforderungen

- **Effizienzverlust**: Mehrquellenstrategien, Sicherheitsbestände und regionale Werke erhöhen Stückkosten und mindern Skalenvorteile.
- **Alternativen**: Für bestimmte Chips, Magnete, Materialien oder Fertigungsprozesse gibt es kurzfristig keine austauschbaren Lieferanten. Qualifizierung beansprucht Zeit.
- **Geopolitik und Regulierung**: Zölle, lokale Inhaltsanforderungen und Förderbedingungen können Lieferketten kurzfristig verändern und neue Abhängigkeiten schaffen.

Key Player

- **Automobilhersteller und Tier-1-Zulieferer**: Volkswagen, BMW, Mercedes-Benz, Stellantis, Bosch, Continental, ZF und weitere gestalten Beschaffung, Standortnetzwerke und Lieferantenentwicklung.
- **Batterie- und Materialhersteller**: CATL, BYD, LG Energy Solution, Umicore
- **Halbleiteranbieter**: Infineon, NXP, STMicroelectronics, Renesas und globale Foundries
- **Politik und Forschung**: Europäische Kommission, nationale Regierungen, IEA, ACEA und Fraunhofer-Institute

Prognosen

- **Lieferketten Resilienz** wird **dauerhaft Teil** von **Beschaffungs-** und **Produktstrategie** bleiben. Unternehmen werden Risiken stärker auf Produkt-, Komponenten- und Länderebene modellieren, statt nur einzelne Krisen nachzuverfolgen.
- **Datenbasierte Transparenz** wird weiter wachsen, insbesondere über **branchenweite Standards** und **digitale Produkt-** beziehungsweise **Batterieinformationen**. Der praktische Nutzen hängt davon ab, ob Daten aktuell, vergleichbar und für operative Entscheidungen verfügbar sind.

© Heinz Nixdorf Institut

Mobilitätswende

Digitalisierung

Nachhaltigkeitswende

Wandel
der Arbeitswelt



8

Advanced Robotics

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Kurzbeschreibung

Advanced Robotics bezeichnet intelligente Robotersysteme, die mithilfe von Sensorik, künstlicher Intelligenz und autonomen Entscheidungsfunktionen komplexe physische Aufgaben ausführen und sich an veränderte Bedingungen anpassen. Zentrale Bausteine sind KI-basierte Wahrnehmung und Planung, kollaborative Roboter (Cobots), autonome mobile Roboter (AMR), mobile Manipulation, humanoide Robotik sowie Greif- und Sensortechnik. Vision-Language-Action- und Robot-Foundation-Modelle verbinden Sprache, visuelle Informationen und Roboteraktionen und sollen Fähigkeiten zwischen Aufgaben und Plattformen übertragbar machen. Einsatzfelder sind Fertigung und Montage, Intralogistik, Maschinenbeschickung, Qualitätsprüfung und Serviceaufgaben. Industrie-, kollaborative und mobile Robotik sind kommerziell etabliert. Generalistische humanoide und hochautonome KI-Systeme befinden sich dagegen vielfach noch in Demonstrations- und Pilotanwendungen.

Aktuelle Entwicklungen

- **Physical AI und Robot-Foundation-Modelle:** Multimodale KI verbindet Wahrnehmung, Sprache und Aktorik und erweitert die autonome Planung und Ausführung von Aufgaben.
- **Humanoide und mobile Robotik:** Mobile Manipulatoren und humanoide Systeme erschließen flexible Handling- und Montageaufgaben. Industrielle Zuverlässigkeit und Skalierung bleiben Prüfaufgaben.
- **Simulation und Sim-to-Real:** Digitale Zwillinge und synthetische Daten ermöglichen virtuelles Training und Tests vor dem Transfer auf reale Robotersysteme.

Key Facts

- 2025 waren weltweit ca. **5 Millionen Industrieroboter** im Einsatz. Der Bestand wuchs um **9 %**. Diese Zahlen betreffen die industrielle Robotik insgesamt.
- Mit **603.000 Neuinstallationen** stieg die Zahl 2025 um **11 %** gegenüber dem Vorjahr.
- Das Marktvolumen für Advanced Robotics wird 2026 auf **48,89 Mrd. US-Dollar** geschätzt.

© Heinz Nixdorf Institut



8

Advanced Robotics

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Potenziale

- **Flexible Automatisierung:** KI-basierte Wahrnehmung und Greifplanung reduzieren den Einrichtungsaufwand bei Varianten und kleinen Losgrößen.
- **Autonome Intralogistik:** AMR passen Transportwege dynamisch an und ermöglichen flexible Materialflüsse.
- **Mensch-Roboter-Kollaboration:** Cobots übernehmen repetitive und körperlich belastende Tätigkeiten in gemeinsamen Arbeitsbereichen.
- **Übertragbare Fähigkeiten:** Foundation-Modelle und virtuelles Training sollen Roboterfähigkeiten für neue Aufgaben wiederverwendbar machen.

Herausforderungen

- **Sicherheit und Cybersecurity:** Lernende Systeme erschweren Validierung und Zertifizierung. Vernetzung und Sensordaten erhöhen Anforderungen an Zugriffsschutz und Systemintegrität.
- **Robustheit und Sim-to-Real:** Unbekannte Objekte und wechselnde Umgebungen bleiben anspruchsvoll. Simulation bildet reale Physik und Sensorrauschen nur teilweise ab.
- **Integration und Wirtschaftlichkeit:** Schnittstellen zu Maschinen, MES/ERP und Flottenmanagement erfordern Aufwand. Humanoide müssen Zuverlässigkeit, Taktzeit und Kosten noch belegen.

Key Player

- **ABB, KUKA und FANUC:** Industrie- und kollaborative Robotik. ABB und KUKA bieten auch mobile Robotik.
- **Universal Robots:** Flexibel einsetzbare Cobots für industrielle Anwendungen.
- **NVIDIA und Google DeepMind:** Robot-Foundation- und Vision-Language-Action-Modelle, Simulation und KI-Steuerung.
- **Figure AI:** Humanoide Roboter und visuell gesteuerte Ganzkörpersteuerung.

Prognosen

- Bis 2030 soll der Markt auf **94,85 Mrd. US-Dollar** wachsen. Prognostiziert werden **18 % jährliches Wachstum** zwischen 2026 und 2030.
- Gartner erwartet bis 2028 **weniger als 20 produktive Humanoid-Einsätze** in Fertigung und Supply Chain. Kurzfristige Potenziale liegen vor allem in flexibler Produktion und Intralogistik.

© Heinz Nixdorf Institut



9

Big Data & Analytics

TuWAs

Kurzbeschreibung

Big Data & Analytics (Big-Data-Analyse, Massendatenanalyse, Advanced Analytics) bezeichnet Technologien und Methoden zur Speicherung, Verarbeitung und systematischen Analyse sehr großer, schnell entstehender und heterogener Datenbestände, um Muster, Zusammenhänge und entscheidungsrelevante Informationen abzuleiten. Zu den technologischen Kernbereichen gehören skalierbare Datenplattformen, verteilte Datenverarbeitung, Data Lakes und Lakehouses, Data Warehouses, Batch- und Stream-Processing sowie statistische Verfahren, Data Mining und Machine Learning. Anwendungen reichen von der Analyse industrieller Sensor- und Maschinendaten über Betrugs- und Risikoerkennung bis zu Kundenanalysen, Logistikoptimierung und Echtzeitüberwachung. Kennzeichnend sind die Fähigkeit, strukturierte, semi-strukturierte und unstrukturierte Daten gemeinsam zu verarbeiten. Offene Lakehouse- und Data-Fabric-Architekturen verbinden zunehmend Analytics, Echtzeitverarbeitung und KI auf einer gemeinsamen Datengrundlage.

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Aktuelle Entwicklungen

- **Lakehouse-Architekturen:** Data Lakes und Data Warehouses werden zunehmend in gemeinsamen Architekturen zusammengeführt.
- **Offene Tabellenformate und reduzierte Datenkopien:** Delta Lake, Apache Iceberg und Parquet gewinnen als offene Formate an Bedeutung, während Plattformen Daten zunehmend ohne physische Replikation zwischen unterschiedlichen Analyse-Engines verfügbar machen.
- **AI-ready Data:** Die Aufbereitung und Governance von Daten speziell für KI-Anwendungen entwickelt sich zu einem eigenständigen Architekturthema.

Key Facts

- 5 V: Big Data wird häufig durch Volume, Velocity, Variety, Veracity und Value charakterisiert.
- **Markt 2026:** Fortune Business Insights prognostiziert für Big Data Analytics 2026 ein weltweites Marktvolumen von **447,68 Mrd. US-Dollar**
- **Langfristige Marktentwicklung:** Für 2034 prognostiziert dieselbe Marktstudie **1.176,57 Mrd. US-Dollar**

© Heinz Nixdorf Institut



9

Big Data & Analytics

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Potenziale

- **Skalierbare Analyse sehr großer Datenmengen:** Verteilte Plattformen wie Apache Spark ermöglichen Analysen auf Petabyte-Datenbeständen und die Skalierung von lokalen Analysen auf große Cluster.
- **Echtzeitbasierte Entscheidungen:** Event-Streaming erlaubt die kontinuierliche Verarbeitung von Sensor-, Transaktions-, Logistik- oder Maschinendaten und damit eine unmittelbare Reaktion auf Ereignisse.
- **Integration heterogener Unternehmensdaten:** Moderne Plattformen verbinden strukturierte, semi-strukturierte und unstrukturierte Informationen und stellen diese für Analytics und KI bereit.

Herausforderungen

- **Datenqualität und Verlässlichkeit:** Hohe Datenmengen erzeugen nur dann belastbare Analyseergebnisse, wenn Datenqualität, Aktualität, Konsistenz und Herkunft ausreichend kontrolliert werden; Veracity ist deshalb ein wesentliches Big-Data-Merkmal.
- **Datenschutz und Informationssicherheit:** Große, verknüpfte Datenbestände erzeugen besondere Anforderungen an Zugriffskontrolle, Verschlüsselung, Datenschutz, Auditierbarkeit und Risikomanagement.
- **Semantische Konsistenz:** Technisch verfügbare Daten sind nicht automatisch fachlich eindeutig.

Key Player

- **Microsoft:** mit Microsoft Fabric, OneLake, Data Engineering, Data Science, Data Warehouse und Real-Time Intelligence als integrierter Daten- und Analytics-Plattform.
- **Amazon Web Services:** unter anderem mit Amazon Redshift, EMR, Kinesis, Glue, Athena und Lake Formation für Speicherung, Verarbeitung und Analyse großer Datenbestände.
- **Google Cloud:** insbesondere mit BigQuery als vollständig gemanagter Analytics- und Data-Warehouse-Plattform.

Prognosen

- **Datenbasis für unternehmensspezifische KI:** Harmonisierung verteilter Unternehmensdaten schafft eine belastbare Grundlage für Machine Learning, generative KI und KI-Agenten.
- **Industrial Analytics:** Maschinen- und Sensordaten unterstützen Predictive Maintenance, Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung.

© Heinz Nixdorf Institut

fir an der RWTH Aachen · Fraunhofer IWU · Fachhochschule Südwestfalen University of Applied Sciences · HEINZ NIXDORF INSTITUT UNIVERSITÄT PADERBORN · Technische Universität München



10

Cyberresilienz

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Cyberresilienz bezeichnet die Fähigkeit digitaler Systeme und Organisationen, cyberbedingte Störungen, Angriffe oder Kompromittierungen vorauszusehen, ihnen standzuhalten, sich davon zu erholen und sich anschließend an veränderte Bedrohungslagen anzupassen. Zu den wesentlichen Teilbereichen gehören präventive Cybersicherheit, Identitäts- und Zugriffsmanagement, Zero-Trust-Architekturen, Angriffserkennung und Incident Response, Business Continuity und Disaster Recovery, Daten- und Backup-Resilienz sowie kontinuierliches Cyber-Risikomanagement. Cyberresiliente Ansätze werden beispielsweise eingesetzt, um kritische Geschäftsprozesse während eines Cyberangriffs aufrechtzuerhalten, kompromittierte Netzbereiche zu isolieren, Angriffe zu erkennen und IT-, Cloud- oder OT-Systeme kontrolliert aus vertrauenswürdigen Zuständen wiederherzustellen. Im Unterschied zu einer primär präventiven Cybersicherheitsstrategie berücksichtigt Cyberresilienz ausdrücklich, dass Schutzmaßnahmen überwunden werden können, und fokussiert deshalb zusätzlich auf Widerstandsfähigkeit, Schadensbegrenzung, Wiederherstellung und Anpassung.

Aktuelle Entwicklungen

- **Agentische und KI-gestützte Security Operations:** Security-Plattformen entwickeln sich von KI-unterstützter Analyse zu Systemen weiter, die Risiken kontinuierlich erkennen, kontextualisieren und teilweise automatisiert auf Bedrohungen reagieren; zugleich nutzen Angreifer KI zunehmend zur Beschleunigung ihrer Angriffsketten.
- **Identity-first und Zero Trust in Multi-Cloud-Umgebungen:** Die Resilienzarchitektur verschiebt sich von statischen Netzwerkgrenzen zu kontinuierlich überprüften Benutzer-, Geräte-, Workload- und Serviceidentitäten.

Key Facts

- Die ENISA Threat Landscape 2026 weist 73 % der betrachteten angegriffenen Organisationen den nach **NIS2** als wesentlich oder wichtig definierten Einrichtungen zu; **öffentliche Verwaltungen machten 32 %, Business Services** und **Transport jeweils 8 %, Fertigung 7 %** und **Finanzwesen 6 %** der erfassten Ziele aus.
- Bei den von ENISA analysierten finanziell motivierten Aktivitäten des Jahres 2025 **entfielen 40 % auf Ransomware, 31 % auf Data Breaches** sowie **19 % auf Betrug und Identitätsmissbrauch**.

© Heinz Nixdorf Institut



10

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

© Heinz Nixdorf Institut

Cyberresilienz

TuWAs

Potenziale

- **Aufrechterhaltung kritischer Funktionen:** Systeme können so ausgelegt werden, dass Geschäfts- und Missionsziele auch bei Angriffen oder bereits erfolgter Kompromittierung möglichst lange erfüllt und anschließend kontrolliert wiederhergestellt werden können.
- **Beschleunigte Erkennung und Reaktion durch KI und Automatisierung:** In der IBM/Ponemon-Erhebung 2026 lagen die durchschnittlichen Kosten eines Data Breaches bei Organisationen mit umfassendem Einsatz von KI und Automatisierung in der Security um 1,93 Mio. USD niedriger als bei Organisationen ohne deren Einsatz.

Herausforderungen

- **Dynamische und KI-beschleunigte Bedrohungslage:** IBM ermittelte 2026 einen Anstieg KI-gestützter Angriffe um 56 %, wodurch sich Angriffsabläufe beschleunigen und Reaktionsfenster für Security-Teams verkürzen.
- **Komplexität hybrider Infrastrukturen:** Multi-Cloud- und Hybridarchitekturen sowie die zunehmende Konvergenz von IT und OT erschweren eine konsistente Resilienzarchitektur, Überwachung und Wiederherstellungsplanung.
- **Ressourcen- und Kompetenzbedarf:** Insbesondere kleinere Unternehmen fehlt Zeit, Expertise und Implementierungskapazität.

Key Player

- **Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie SIT:** forscht an Cybersicherheit und resilienten digitalen Systemen und unterstützt Unternehmen unter anderem bei Cyber Resilience Act, Schwachstellenanalyse und Schutz von IT-Infrastrukturen.
- **European Union Agency for Cybersecurity – ENISA:** analysiert die europäische Cyberbedrohungslage und entwickelt unter anderem Reifegradmodelle und Umsetzungshilfen zur Cyberresilienz und zum Cyber Resilience Act.

Prognosen

- Ein spezifisch abgegrenzter Markt für **Cyber-Resilience-Technologie wird 2026 auf 28,4 Mrd. US-Dollar** geschätzt. Bis 2034 werden 48,6 Mrd. US-Dollar prognostiziert.
- **Regulatorische Nachfrage:** Der Cyber Resilience Act stärkt den Bedarf an sicherer Produktentwicklung, Schwachstellenmanagement und Security über den Lebenszyklus.



11

Digitale Produktpässe

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Digitale Produktpässe (Digital Product Passport, DPP, digitaler Produktpass) sind digitale Datensätze, die einem Produkt, einer Komponente oder einem Material eindeutig zugeordnet sind und strukturierte Informationen unter anderem zu Herkunft, Materialien, Nachhaltigkeit, Reparierbarkeit und Verwertung über den Lebenszyklus bereitstellen. Zu den technischen Grundlagen gehören persistente Produktidentifikatoren, maschinenlesbare Datenträger wie QR-Codes, Data Matrix, NFC oder RFID, interoperable Datenmodelle, APIs, dezentrale Datenspeicherung sowie Mechanismen für Zugriffsrechte, Authentifizierung und Datenintegrität. DPPs können beispielsweise für regulatorische Konformitätsnachweise, Lieferkettenrückverfolgung, Wartung und Reparatur, Wiederverwendung, Second-Life-Anwendungen, Recycling sowie die Bereitstellung produktspezifischer Informationen für Kunden und Behörden eingesetzt werden. Eine Besonderheit ist die dezentrale Architektur: Das EU-DPP-Register speichert primär Identifikatoren. Seit dem 20. Juli 2026 ist das europäische DPP-Register operativ.

Aktuelle Entwicklungen

- **Vom Pilotbetrieb zur regulatorischen Infrastruktur:** Mit dem seit Juli 2026 produktiven EU-DPP-Register verschiebt sich der Fokus von Konzepten und Demonstratoren auf operative Registrierung und Compliance-Prozesse.
- **Skalierung realer Cross-Company-Piloten:** CIRPASS-2 erprobt großskalige DPP-Nutzung einschließlich Cross-Pilot-Interoperabilität und kreislauforientierter Geschäftsprozesse.
- **DPP als Grundlage für zirkuläre Services:** Pilotprojekte untersuchen verstärkt, wie dieselben Produktdaten für Reparatur, Resale, Ersatzteilgewinnung, Recycling und weitere After-Sales-Prozesse genutzt werden können.

Key Facts

- 20. Juli 2026: Das **Digital Product Passport Registry** der Europäischen Kommission **ist operativ** gegangen.
- Normen im EU-Amtsblatt harmonisiert referenziert: EN 18216 bis EN 18223 mit den entsprechenden DPP-Themen.
- 18. Februar 2027: **DPP-Pflicht** für **Elektrofahrzeugbatterien**, LMT-Batterien und Industriebatterien über 2 kWh.
- 49 Partner und 36 Monate Projektlaufzeit umfasst CIRPASS-2.

© Heinz Nixdorf Institut



11

Digitale Produktpässe

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Potenziale

- **Automatisierbare Compliance:** Strukturierte und maschinenlesbare Produktinformationen können regulatorische Prüfungen.
- **Verbesserte Rückverfolgbarkeit:** Produktidentität, Materialien, Herkunft und relevante Lebenszyklusdaten können über Unternehmens- und Lieferkettenstufen hinweg eindeutig zugeordnet werden.
- **Unterstützung zirkulärer Prozesse:** Reparatur-, Wiederverwendungs-, Remanufacturing- und Recyclingakteure können gezielt auf Material-, Demontage-, Wartungs- und End-of-Life-Informationen zugreifen.

Herausforderungen

- **Datenverfügbarkeit und Datenqualität:** Benötigte Informationen liegen häufig über zahlreiche Lieferanten und IT-Systeme verteilt vor und müssen über den gesamten Produktlebenszyklus konsistent gehalten werden.
- **Interoperabilität:** Unterschiedliche Datenmodelle, Identifikationssysteme, Legacy-Systeme und Datenräume müssen über gemeinsame Standards und Schnittstellen verbunden werden.
- **Zugriffsrechte und Lebensdauer:** Geschäftsgeheimnisse müssen geschützt und Produktdaten über den gesamten Lebenszyklus verfügbar und aktualisierbar gehalten werden.

Key Player

- **CEN-CENELEC Joint Technical Committee 24:** Entwickelt die horizontalen europäischen technischen Normen für den Digital Product Passport.
- **CIRPASS-2 Consortium:** EU-gefördertes Konsortium zur Erprobung interoperabler DPPs in 13 realen Pilotanwendungen und vier Wertschöpfungsketten.
- **Siemens AG:** Bietet mit DPP4.0 eine kommerzielle DPP-Plattform mit Anbindung an unter anderem Catena-X.

Prognosen

- Der **globale DPP-Markt** wird für 2026 auf **398,57 Mio. US-Dollar** geschätzt. Bis 2034 werden 4,55 Mrd. US-Dollar prognostiziert. Die junge Marktabgrenzung bringt erhöhte Unsicherheit.
- **Systemintegration**: Konnektoren verbinden ERP-, PLM-, MES-, PIM- und Lieferkettendaten; Produktpass-Systeme benötigen langfristige Verfügbarkeit und Aktualisierung.

© Heinz Nixdorf Institut



12

Flexibilisierung der Produktion

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Kurzbeschreibung

Flexibilisierung der Produktion (flexible Fertigung, flexible Produktion, wandlungsfähige Produktion) bezeichnet die Fähigkeit eines Produktionssystems, Produkte, Mengen, Prozessfolgen und Ressourcennutzung an veränderte Anforderungen anzupassen, wobei Wandlungsfähigkeit zusätzlich strukturelle Veränderungen des Produktionssystems umfasst. Technologische Grundlagen sind modulare und rekonfigurierbare Produktionssysteme, flexible Automatisierung, Robotik und mobile Transportsysteme, softwaredefinierte Steuerungen, digitale Zwillinge, Manufacturing-Execution-Systeme sowie standardisierte Modulschnittstellen wie das Module Type Package. Anwendung findet die Flexibilisierung beispielsweise in Matrixproduktionen, variantenreichen Montage- und Fertigungssystemen sowie modularen Anlagen der Chemie-, Pharma-, Automobil- und Maschinenbauindustrie. Eine Besonderheit besteht darin, Produktionsressourcen stärker von einzelnen Produkten zu entkoppeln und Maschinen, Module und Transportwege entsprechend des jeweiligen Auftrags dynamisch zu orchestrieren.

Aktuelle Entwicklungen

- **Softwaredefinierte Automatisierung:** Steuerungsfunktionen werden stärker von spezifischer Hardware entkoppelt und über virtualisierte Steuerungen, Edge-Plattformen und zentral verwaltete Software bereitgestellt.
- **Industrial AI und autonome Optimierung:** KI wird für dynamisches Scheduling, Qualitätsprüfung, Predictive Maintenance und kontinuierliche Produktionsoptimierung eingesetzt.
- **Digitale Zwillinge im geschlossenen Regelkreis:** Produktionsänderungen können zunächst virtuell simuliert und validiert und anschließend in die reale Produktion übertragen werden.

Key Facts

- **Weltweit** waren 2025 **rund 5 Millionen Industrieroboter** in Fabriken im **Einsatz**; der Bestand stieg gegenüber 2024 um 9 %.
- Im Jahr 2025 wurden weltweit **mehr als 600.000 neue Industrieroboter** installiert; dies entsprach einem Wachstum von 11 % gegenüber dem Vorjahr.
- **Deutschland** erreichte 2024 eine Roboterdichte von **449 Industrierobotern je 10.000 Beschäftigte** im verarbeitenden Gewerbe und lag damit weltweit auf Rang drei.

© Heinz Nixdorf Institut



12

Flexibilisierung der Produktion

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Potenziale

- **Schnellere Reaktion auf Nachfrageänderungen:** Aufträge können abhängig von Produktvariante, Auslastung und verfügbaren Ressourcen unterschiedliche Produktionsmodule durchlaufen.
- **Wirtschaftlichere Variantenfertigung:** Flexible Systeme ermöglichen kleinere Losgrößen und eine höhere Variantenvielfalt, ohne für jede Variante eine vollständig separate Produktionslinie aufzubauen.
- **Rekonfiguration über Software:** Software Defined Manufacturing verlagert Produktionsfunktionen auf abstrahierte Software- und Serviceschichten, sodass Änderungen teilweise ohne physische Umbauten realisiert werden können.

Herausforderungen

- **Hohe Steuerungs- und Planungscomplexität:** Mit zunehmender Anzahl alternativer Prozesswege, Module und Transportmöglichkeiten steigt der Aufwand für dynamische Produktionsplanung, Scheduling und Orchestrierung.
- **Interoperabilität:** Maschinen, Software und Automatisierungskomponenten unterschiedlicher Hersteller benötigen einheitliche semantische Beschreibungen und standardisierte Schnittstellen.
- **Fortlaufende Standardisierung:** MTP ist bereits industriell implementiert, gleichzeitig befindet sich die zugrunde liegende Standardlandschaft weiterhin in Entwicklung und Überarbeitung.

Key Player

- **Siemens Digital Industries:** softwaredefinierte Automatisierung, virtuelle SPS, Industrial Edge, Industrial AI und adaptive Produktion.
- **ABB und B&R Industrial Automation:** adaptive Fertigungslinien, Robotik, intelligente Produkttransportsysteme und softwaregestützte Produktionsoptimierung.
- **KUKA:** Matrixproduktion, konfigurierbare Produktionszellen, Robotik und flexible fahrerlose Transportsysteme.

Prognosen

- Als Näherung wird der globale Markt für **Flexible Manufacturing Systems** 2025 auf **15,2 Mrd. US-Dollar** geschätzt. Für diesen Näherungsmarkt werden 2030 rund 22,2 Mrd. US-Dollar prognostiziert.
- **Flexible Automation:** Rekonfigurierbare Robotik, modulare Produktionszellen und mobile Intralogistik erschließen variantenreiche Prozesse.

© Heinz Nixdorf Institut



13

Informationssicherheit

TuWAs

Kurzbeschreibung

Informationssicherheit (Information Security, Informationsschutz; im digitalen Kontext häufig auch Cybersicherheit) umfasst den Schutz von Informationen vor unbefugter Offenlegung, Veränderung, Zerstörung oder Nichtverfügbarkeit und orientiert sich insbesondere an den Schutzzielen Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit. Zu den zentralen Teilbereichen gehören unter anderem Identitäts- und Zugriffsmanagement, Kryptografie, Netzwerk-, Cloud-, Endgeräte-, Anwendungs- und Datensicherheit sowie Sicherheitsüberwachung und Incident Response. Anwendungen reichen von der Absicherung von Unternehmensnetzwerken und Cloud-Diensten über den Schutz digitaler Identitäten und geschäftskritischer Daten bis zur Sicherung vernetzter Produkte und industrieller Systeme. Eine Besonderheit der Informationssicherheit ist ihr organisationsübergreifender Charakter: Technische Schutzmechanismen werden mit Risikomanagement, organisatorischen Prozessen, Sicherheitsrichtlinien und kontinuierlicher Überwachung verbunden.

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Aktuelle Entwicklungen

- **KI-gestützte Cyberabwehr:** KI wird zunehmend für Threat Detection, Priorisierung, Analyse und automatisierte Reaktion auf Sicherheitsereignisse eingesetzt; NIST entwickelt hierfür mit dem Cyber AI Profile einen eigenen risikobasierten Orientierungsrahmen.
- **Security for AI und agentische Systeme:** Mit zunehmender Einführung generativer und agentischer KI entstehen spezialisierte Lösungen für AI Application Security, AI Governance, Nutzungskontrolle und AI-Gateways; Gartner erwartet für diesen Teilmarkt einen Anstieg von 2,835 Mrd. USD 2026 auf 4,783 Mrd. USD 2027.

Key Facts

- Für **2026** prognostiziert Gartner weltweite **Endkundenausgaben** für Informationssicherheit von **244 Mrd. USD**.
- **Bis 2029** sollen diese Ausgaben auf **322 Mrd. USD** steigen; Gartner nennt für 2024 bis 2029 eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 10,0 % bei konstanten Wechselkursen.
- Die **durchschnittlichen** weltweiten **Kosten** eines **Data Breach** lagen **2025 bei 4,44 Mio. USD** und damit 9 % unter dem Vorjahreswert.

© Heinz Nixdorf Institut



13

Informationssicherheit

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Potenziale

- **Reduktion finanzieller Schäden durch schnellere Erkennung und Eindämmung:** Unternehmen mit umfangreichem Einsatz von KI und Automatisierung in der Sicherheit verzeichneten gegenüber Unternehmen ohne diese Technologien durchschnittlich 1,9 Mio. USD geringere Kosten.
- **Langfristige kryptografische Absicherung:** Die Migration zu Post-Quanten-Kryptografie ermöglicht es.
- **Automatisierung von Sicherheitsoperationen:** KI kann Anomalieerkennung, Threat Hunting, Phishing-Erkennung, und Incident Response unterstützen und dadurch die Bearbeitungszeiten von Sicherheitsteams reduzieren.

Herausforderungen

- **Beschleunigte Ausnutzung von Schwachstellen:** 31 % der im Verizon DBIR 2026 untersuchten Datenverletzungen begannen mit der Ausnutzung einer Software-Schwachstelle; dieser Zugangsweg lag erstmals vor gestohlenen Zugangsdaten.
- **Ransomware bleibt ein zentraler Risikofaktor:** Ransomware war 2026 bei 48 % der untersuchten Datenverletzungen beteiligt.
- **Steigende Abhängigkeit von Drittparteien:** Der Anteil der Datenverletzungen mit Beteiligung externer Anbieter oder anderer Drittparteien erreichte im DBIR 2026 ebenfalls 48 % und stieg gegenüber dem Vorjahresdatensatz um 60 %.

Key Player

- **European Union Agency for Cybersecurity – ENISA:** zentrale EU-Agentur für Cybersicherheit und Herausgeber der jährlichen europäischen Threat Landscape.
- **National Institute of Standards and Technology – NIST:** prägender Standardisierungsakteur unter anderem bei Zero Trust, Cybersecurity Frameworks und Post-Quanten-Kryptografie.
- **CrowdStrike:** bedeutender Anbieter insbesondere für Endpoint Protection, Extended Detection and Response sowie cloudbasierte Security Operations.

Prognosen

- **Software-Supply-Chain- und Third-Party-Security:** Starke Zunahme von Vorfällen mit Drittparteien-beteiligung erhöht den Bedarf an kontinuierlicher Lieferantenbewertung, Software-Komponenten-Transparenz und stärkerer Kontrolle ext. Abhängigkeiten.
- **Secure-by-Design und kontinuierliches Schwachstellenmanagement:** Der Cyber Resilience Act verlagert Cybersicherheit stärker in Entwicklung und Lebenszyklus digitaler Produkte und verpflichtet Hersteller zur Behandlung relevanter Schwachstellen und Sicherheitsvorfälle.

© Heinz Nixdorf Institut



14

Künstliche Intelligenz - KI

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Künstliche Intelligenz (KI, Artificial Intelligence, AI) bezeichnet maschinengestützte Systeme, die mit unterschiedlichen Autonomiegraden arbeiten und aus Eingaben ableiten, wie sie Vorhersagen, Inhalte, Empfehlungen oder Entscheidungen erzeugen, die physische oder virtuelle Umgebungen beeinflussen können. Zu den zentralen Teilbereichen zählen maschinelles Lernen, Deep Learning, generative KI, wissensbasierte und hybride KI, Computer Vision, Sprachverarbeitung, Reinforcement Learning und agentische KI. KI wird unter anderem für Prognosen, Qualitätskontrolle, Informationsanalyse, Automatisierung, Inhaltserzeugung, Entscheidungsunterstützung und autonome Systeme eingesetzt. Eine Besonderheit liegt in der Kombination datenbasierter Lernverfahren mit Schlussfolgerung, Generierung und zunehmend eigenständiger Planung und Werkzeugnutzung. Aktuelle Entwicklungen konzentrieren sich insbesondere auf agentische Systeme, leistungsfähigere Reasoning-Verfahren, multimodale Modelle, World Models, Physical AI sowie kleinere und effizientere Modelle für spezialisierte oder dezentrale Anwendungen.

Aktuelle Entwicklungen

- **Agentic AI und Multi-Agent-Systeme:** KI-Systeme entwickeln sich von reaktiven Assistenzsystemen zu Systemen, die Ziele verfolgen, Aufgaben planen, Werkzeuge einsetzen und Arbeitsschritte eigenständig ausführen; Gartner ordnet Agentic AI 2026 am „Peak of Inflated Expectations“ ein.
- **Multimodale KI:** Frontier-Modelle integrieren Text, Bilder, Sprache, Audio und Video zunehmend in gemeinsamen Modellarchitekturen, wodurch durchgängige multimodale Anwendungen entstehen.
- **Physical AI und Embodied AI:** KI wird stärker mit Robotik und physischen Aktoren kombiniert.

Key Facts

- **20,0 % der EU-Unternehmen** mit mindestens zehn Beschäftigten nutzten 2025 mindestens eine KI-Technologie; bei **großen Unternehmen waren es 55,0 %.**
- Die **privaten KI-Investitionen** in den **USA** erreichten **2025 285,9 Mrd. US-Dollar**, gegenüber **12,4 Mrd. US-Dollar in China**.
- Die Zahl **dokumentierter KI-Vorfälle stieg 2025 auf 362**, nach 233 im Jahr 2024.

© Heinz Nixdorf Institut



14

Künstliche Intelligenz - KI

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Potenziale

- **Messbare Produktivitätssteigerungen:** Studien zeigen Produktivitätsgewinne durch KI von etwa 14–15 % im Kundensupport, 26 % in der Softwareentwicklung und bis zu 50 % bei untersuchten Marketingaufgaben.
- **Automatisierte Datenanalyse und Entscheidungsunterstützung:** KI kann große Mengen heterogener Daten auswerten, Muster erkennen und daraus Prognosen, Empfehlungen oder Entscheidungen ableiten, beispielsweise für Qualitätskontrolle, Produktion, Finanzwesen oder Verwaltung.

Herausforderungen

- **Zuverlässigkeit und Halluzinationen:** Selbst leistungsfähige Modelle zeigen stark aufgabenabhängige Fähigkeiten.
- **Begrenzte Autonomie:** KI-Agenten erreichten 2025 auf OSWorld rund 66,3 % Erfolg und scheiterten damit weiterhin bei ungefähr jeder dritten strukturierten Computeraufgabe; der Abstand zwischen Benchmark-Erfolg und robustem Realbetrieb bleibt relevant.
- **Regulatorische Anforderungen:** Seit dem 2. August 2026 werden zentrale Vorschriften des EU AI Act durchgesetzt; unter anderem gelten Transparenzpflichten für bestimmte KI-Systeme.

Key Player

- **OpenAI:** Bedeutender Entwickler von Frontier-Modellen und KI-Systemen mit Schwerpunkten auf Sprachmodellen, Reasoning, Multimodalität und agentischen Anwendungen.
- **Google DeepMind:** Forschung und Entwicklung unter anderem zu Gemini, multimodalen Modellen, World Models, wissenschaftlicher KI und Robotik.
- **Anthropic:** Entwickler von Frontier-Modellen mit Schwerpunkt auf leistungsfähigen und kontrollierbaren KI-Systemen; Anthropic gehörte im März 2026 zur Spitzengruppe aktueller Modelle.

Prognosen

- Eine Marktstudie schätzt **den globalen KI-Markt 2026 auf 539,5 Mrd. US-Dollar**. Andere Abgrenzungen liefern deutlich andere Werte. Wichtige Wachstumsmärkte sind KI-Software, Dienstleistungen und industrielle Anwendungen.
- **Industrie und Edge AI**: Qualitätskontrolle, Prozessoptimierung, Predictive Maintenance und lokale KI schaffen industrielle Anwendungsmärkte.

© Heinz Nixdorf Institut



15

Predictive Maintenance

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Kurzbeschreibung

Predictive Maintenance (vorausschauende Instandhaltung, prädiktive Instandhaltung, prädiktive Wartung) bezeichnet eine datenbasierte Instandhaltungsstrategie, bei der Betriebs- und Zustandsdaten von Anlagen kontinuierlich ausgewertet werden, um drohende Ausfälle oder Wartungsbedarfe vor ihrem Eintritt zu prognostizieren. Zu den Basistechnologien gehören Condition Monitoring mit Schwingungs-, Temperatur-, Druck-, Akustik- oder Stromsensorik, Industrial IoT, Zeitreihenanalyse, Anomalieerkennung sowie Machine-Learning-Modelle zur Fehler- und Restlebensdauerprognose. Typische Einsatzfelder sind Produktionsmaschinen, Motoren, Pumpen, Kompressoren, Robotik, Energieanlagen, Gebäudeinfrastruktur sowie Fahrzeug- und Transportflotten. Im Unterschied zur zeitbasierten präventiven Wartung wird ein Eingriff primär durch den tatsächlichen bzw. prognostizierten Anlagenzustand ausgelöst und kann über CMMS- oder EAM-Systeme direkt in Wartungsplanung und Arbeitsaufträge überführt werden.

Aktuelle Entwicklungen

- **Edge AI und lokale Echtzeitanalyse:** Zustands- und Anomalieanalysen werden zunehmend direkt an oder nahe der Maschine ausgeführt.
- **Digital Twins für Prognose und Diagnose:** Reale Zustandsdaten werden mit digitalen Anlagenmodellen kombiniert.
- **Von Predictive zu Prescriptive Maintenance:** Systeme beschränken sich zunehmend nicht auf die Aussage, dass ein Fehler wahrscheinlich ist, sondern schlagen geeignete Wartungsmaßnahmen und Prioritäten vor.
- **Generative KI für Wartungswissen:** Generative KI wird ergänzend zu Prognosemodellen eingesetzt.

Key Facts

- Der weltweite Predictive-Maintenance-Markt wird für **2026 auf 17,5 Mrd. US-Dollar geschätzt**.
- Grand View Research prognostiziert bis 2033 rund 98,1 Mrd. US-Dollar Marktvolumen und eine durchschnittliche **jährliche Wachstumsrate von 27,9 %** für 2026–2033.
- Der deutsche Markt wird für 2026 auf 831,2 Mio. US-Dollar geschätzt und soll 381 Mrd. US-Dollar wachsen.
- **Manufacturing** stellt in der Marktstudie den größten End-Use-Bereich dar; bei den Monitoringverfahren besitzt **Vibrationsüberwachung** den größten Marktanteil.

© Heinz Nixdorf Institut



15

Predictive Maintenance

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Potenziale

- **Reduzierung ungeplanter Stillstände:** Branchenanalysen berichten für geeignete Anwendungen Reduktionen der Maschinenstillstandszeiten von etwa 30–50 %.
- **Verlängerung der Anlagenlebensdauer:** McKinsey nennt in untersuchten Anwendungen eine Verlängerung der Maschinenlebensdauer von etwa 20–40 %.
- **Höhere Anlagenverfügbarkeit:** Zustandsabhängige Wartungsmaßnahmen können geplant werden, bevor ein Fehler zu einem ungeplanten Produktionsstopp führt.

Herausforderungen

- **Datenqualität und Datenabdeckung:** Fehlende, fehlerhafte oder uneinheitliche Sensordaten begrenzen die Aussagekraft von Prognosemodellen; insbesondere reale Fehlerfälle sind häufig selten und damit als Trainingsdaten nur begrenzt verfügbar.
- **Integration heterogener Datenquellen:** Maschinendaten, Historian-Daten, Wartungsprotokolle, CMMS/EAM-Systeme und Unternehmensdaten müssen technisch und semantisch zusammengeführt werden.
- **Fehlalarme:** Nicht relevante Warnungen können das Vertrauen der Anwender verringern.

Key Player

- **IBM:** IBM Maximo und die zugehörigen Analytics- und Asset-Management-Funktionen adressieren zustandsbasierte und KI-gestützte Instandhaltung.
- **SAP:** SAP Asset Performance Management verbindet IoT-Sensordaten.
- **GE Vernova:** Die APM-Plattform einschließlich SmartSignal nutzt Predictive Analytics und digitale Analysemodelle für mehr als 320 Equipment-Typen.
- **AVEVA:** AVEVA Predictive Analytics kombiniert Echtzeitüberwachung, Anomalieerkennung und Time-to-Failure-Prognosen für industrielle Anlagen.

Prognosen

- **Deutschland 2033:** Für Deutschland werden **4,381 Mrd. US-Dollar bzw. rund 3,856 Mrd. €** sowie eine CAGR von **26,8 %** für 2026–2033 prognostiziert.
- **Maschinenbauer**: Digitale Services betreuen die installierte Maschinenbasis.
- **Potenzial für datenbasierte Servicegeschäftsmodelle:** Prognosen zu Ausfallrisiken und Restlebensdauer schaffen eine technische Grundlage für Remote Services, zustandsabhängige Serviceverträge und stärker ergebnisorientierte Wartungsmodelle.

© Heinz Nixdorf Institut



16

Smarte Elektronik

TuWAs

Kurzbeschreibung

Smart Elektronik (intelligente Elektronik, Smart Devices, vernetzte Elektronik) bezeichnet elektronische Geräte und Systeme, die Sensorik, Rechenleistung und Kommunikationsfähigkeit kombinieren, um Daten zu erfassen, lokal oder verteilt zu verarbeiten und situationsabhängig zu reagieren. Zu den zentralen technologischen Teilbereichen gehören Embedded Systems und Mikrocontroller, MEMS- und intelligente Sensorik, drahtlose Kommunikation und IoT, Edge AI beziehungsweise TinyML sowie energieeffiziente Hardware- und Sicherheitsarchitekturen. Anwendungen reichen von Wearables und Smart-Home-Geräten über industrielle Zustandsüberwachung und intelligente Mensch-Maschine-Schnittstellen bis zu medizinischer Elektronik und autonomen Sensorsystemen. Eine Besonderheit ist die zunehmende Verlagerung von Datenverarbeitung und KI-Inferenz direkt auf Mikrocontroller, Sensoren und andere Endgeräte, wodurch Latenz, Kommunikationsbedarf und Abhängigkeit von Cloud-Diensten reduziert werden können.

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Aktuelle Entwicklungen

- **Edge AI und TinyML mit dedizierten NPUs:** KI-Beschleuniger wandern zunehmend direkt in Mikrocontroller und Sensorsysteme; aktuelle Bausteine erreichen bereits mehrere hundert GOPS innerhalb eingebetteter Plattformen.
- **Sensor-Edge-Integration:** Signalaufbereitung und KI-Auswertung werden näher an oder direkt in die Sensorhardware verlagert.
- **Neuromorphic Computing und In-Memory Computing:** Spiking Neural Networks und speichernahe Rechenarchitekturen werden untersucht.

Key Facts

- Der weltweite Halbleitermarkt als zentrale technologische Basis smarter Elektronik erreichte 2025 einen Umsatz von **791,7 Mrd. US-Dollar**.
- Der STM32N6 integriert eine NPU mit bis zu 600 GOPS und erreicht etwa 3 TOPS/W für Edge-AI-Anwendungen.
- Der NXP i.MX RT700 integriert bis zu fünf Rechenkerne, bis zu 7,5 MB SRAM und eine NPU mit bis zu 172-facher Beschleunigung von KI-Workloads.
- Der Bosch BHI360 misst nur 2,5 × 3 mm und erreicht laut Datenblatt einen Standby-Strom von 8 µA.

© Heinz Nixdorf Institut



16

Smarte Elektronik

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Potenziale

- **Lokale Echtzeitverarbeitung:** Edge-AI-Systeme können Sensordaten ohne den Umweg über zentrale Cloud-Infrastrukturen auswerten und dadurch netzwerkbedingte Latenzen sowie zu übertragende Rohdaten reduzieren.
- **Miniaturisierung und Funktionsintegration:** Der Bosch BHI360 integriert 6-Achs-IMU, programmierbaren Mikrocontroller, Sensorfusion und Algorithmen in einem Gehäuse von 2,5 × 3 mm.
- **Datenschutz und Systemautonomie:** Durch lokale Verarbeitung müssen sensible Sensor-, Audio- oder Bilddaten nicht zwingend an externe Server übertragen werden.

Herausforderungen

- **Begrenzte Rechen-, Speicher- und Energieressourcen:** Komplexe KI-Modelle müssen für Mikrocontroller und andere Edge-Geräte hinsichtlich Speicherbedarf, Rechenoperationen und Energieverbrauch optimiert oder quantisiert werden.
- **Steigende Melde- und Compliance-Anforderungen:** Seit dem 11. September 2026 gelten im Rahmen des Cyber Resilience Act Meldepflichten für aktiv ausgenutzte Schwachstellen und schwerwiegende Sicherheitsvorfälle, einschließlich einer ersten Meldung innerhalb von 24 Stunden.

Key Player

- **NXP Semiconductors:** Anbieter hochintegrierter Mikrocontroller und Edge-Prozessoren; der i.MX RT700 kombiniert CPUs, DSPs, NPU, GPU und umfangreiche Low-Power-Funktionen.
- **Bosch Sensortec:** Schwerpunkt auf MEMS- und intelligenten Sensorsystemen mit integrierter Signalverarbeitung, Sensorfusion und Edge-AI-Funktionen.
- **Qualcomm Technologies:** Entwickelt leistungsfähige Edge- und IoT-SoCs für industrielle Systeme.

Prognosen

- Eine breit abgegrenzte Studie schätzt Smart Elektronik **2025 auf 1.299,8 Mrd. US-Dollar** und prognostiziert für **2034 2.360,7 Mrd. US-Dollar**. Eine standardisierte Marktdefinition fehlt.
- **Industrie und Maschinenbau:** Intelligente Sensoren und lokale KI-Auswertung ermöglichen Condition Monitoring.
- **Secure-by-Design und Lifecycle Services:** Der Cyber Resilience Act schafft zusätzlichen Bedarf an sicherer Produktarchitektur, Update-Infrastruktur, Schwachstellenmanagement und langfristiger Softwarepflege für vernetzte Elektronik.

© Heinz Nixdorf Institut

fir an der RWTH Aachen · Fraunhofer IWU · Fachhochschule Südwestfalen University of Applied Sciences · HEINZ NIXDORF INSTITUT UNIVERSITÄT PADERBORN · Technische Universität München



17

Produktionsautomatisierung

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Kurzbeschreibung

Produktionsautomatisierung bezeichnet die automatisierte Steuerung, Ausführung und Überwachung industrieller Produktionsprozesse durch Maschinen, Steuerungssysteme und Software mit reduziertem Bedarf an manuellen Eingriffen. Zu den zentralen Teilbereichen gehören Sensorik und Aktorik, speicherprogrammierbare Steuerungen und Prozessleitsysteme, Antriebstechnik, CNC-Systeme, Industrie- und kollaborative Robotik, SCADA- und MES-Systeme sowie industrielle Kommunikation. Typische Anwendungen umfassen Materialhandhabung, Montage, Schweißen, Maschinenbeschickung, Verpackung, Qualitätsprüfung und automatisierte Intralogistik. Kennzeichnend ist die Integration der physischen Produktion mit Steuerungs-, Überwachungs- und Produktionsmanagement-systemen sowie zunehmend mit IT-Systemen, sodass Daten vom Sensor bis zu übergeordneten Unternehmens-systemen durchgängig verarbeitet werden können. Aktuelle Entwicklungen verschieben den Schwerpunkt von starr programmierten Anlagen hin zu stärker softwaredefinierten und adaptiven Produktionssystemen, in denen KI und ML, Digital Twins, IT/OT-Konvergenz und autonome Robotik eine wachsende Rolle spielen.

Aktuelle Entwicklungen

- **AI und Physical AI in der Robotik:** Analytische, generative und verkörperte KI erweitert Roboter um Wahrnehmung, Planung, Lernen und eine stärkere autonome Anpassung an wechselnde Produktionsbedingungen.
- **IT/OT-Konvergenz:** Produktionssteuerung, industrielle Datenplattformen, Edge Computing und Unternehmens-IT werden enger verbunden, um Daten und KI-Anwendungen über Anlagen- und Standortgrenzen hinweg nutzbar zu machen.
- **Autonome mobile und humanoide Robotik:** AMR und erste humanoide Systeme gewinnen für flexible Materialtransport-, Handling- und Montageaufgaben an Bedeutung

Key Facts

- Ende 2025 waren weltweit rund **5 Millionen Industrieroboter** im Einsatz; der Bestand stieg gegenüber dem Vorjahr um **9 %**.
- Deutschland war 2025 der **fünftgrößte Robotermarkt weltweit** und stand für **41 % der Roboterinstallationen innerhalb der EU**; die Neuinstallationen lagen bei knapp 25.000 Einheiten.
- Für 2024 weist die IFR für Deutschland eine Roboterdichte von **449 Industrierobotern je 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe** aus; Deutschland lag damit weltweit auf Rang drei.

© Heinz Nixdorf Institut

fir an der RWTH Aachen · Fraunhofer IWU · Fachhochschule Südwestfalen University of Applied Sciences · HEINZ NIXDORF INSTITUT UNIVERSITÄT PADERBORN · Technische Universität München



17

Produktionsautomatisierung

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Potenziale

- **Ressourcen- und Energieeffizienz:** Material-, Energie- und Anlagenperformance systematisch analysieren, um Produktionsprozesse zu optimieren
- **Qualität und Prozessstabilität:** automatisierte Qualitätsprüfungen und eine frühzeitige Erkennung von Abweichungen
- **Produktivität und Zykluszeit:** Steuerungs- und Robotik Systeme ermöglichen höhere Prozessgeschwindigkeiten und bessere Auslastung
- **Höhere Produktionsflexibilität:** Programmierbare Steuerungen und Roboter erleichtern Produktwechsel, Variantenfertigung und die Anpassung von Produktionsanlagen

Herausforderungen

- **Integration heterogener Bestandsanlagen:** Unterschiedliche Steuerungsgenerationen, proprietäre Schnittstellen und Datenmodelle erschweren eine durchgängige Vernetzung
- **Cybersecurity der vernetzten Produktion:** Mit zunehmender IT/OT-Vernetzung wächst die Angriffsfläche industrieller Steuerungssysteme; Angriffe können neben Daten auch Produktionsverfügbarkeit, Anlagen und Arbeitssicherheit beeinträchtigen.
- **Wirtschaftlichkeit bei variantenreichen Prozessen:** Nicht jeder manuelle Prozess lässt sich technisch und wirtschaftlich sinnvoll automatisieren

Key Player

- **Siemens Digital Industries:** Breites Portfolio aus Factory Automation, Industrial Edge, industrieller KI, SCADA
- **Rockwell Automation:** industrielle Automatisierungs- und Digitalisierungsplattformen mit Schwerpunkt auf Steuerungstechnik
- **Schneider Electric:** SPS, Motion Control, Robotik, Frequenzumrichtern, HMI, SCADA
- **Beckhoff Automation:** PC-basierter Automatisierung mit TwinCAT, EtherCAT, Industrie-PCs, I/O, Motion Control und Safety

Prognosen

- Bis 2034 soll das Marktvolumen auf **rund 554,35 Mrd. Euro** steigen; dies entspricht einer prognostizierten jährlichen Wachstumsrate von **9,8 % zwischen 2026 und 2034**.
- Wesentliche Handlungsfelder sind unter anderem: **Modernisierung bestehender Produktionsanlagen, industrielle KI, Flexible Robotik, Softwaredefinierte Automatisierung, Resilienz und Fachkräftemangel**

© Heinz Nixdorf Institut

fir an der RWTH Aachen · Fraunhofer IWU · Fachhochschule Südwestfalen University of Applied Sciences · HEINZ NIXDORF INSTITUT UNIVERSITÄT PADERBORN · Technische Universität München

Mobilitätswende

Digitalisierung

Nachhaltigkeitswende

Wandel
der Arbeitswelt



18

Circular Economy

TuWAs

Kurzbeschreibung

Circular Economy (Kreislaufwirtschaft, zirkuläre Wirtschaft, zirkuläres Wirtschaftssystem) bezeichnet einen systemischen Ansatz, bei dem Abfall und Umweltbelastungen möglichst vermieden, Produkte und Materialien auf möglichst hohem Wertniveau im Kreislauf geführt und natürliche Systeme regeneriert werden. Zu den zentralen Teilbereichen zählen kreislauffähiges Produkt- und Materialdesign, Wiederverwendung, Reparatur, Refurbishment und Remanufacturing, Recycling und Rohstoffrückgewinnung, Reverse Logistics sowie digitale Technologien zur Produkt- und Materialverfolgung. Einsatzmöglichkeiten bestehen beispielsweise in geschlossenen Materialkreisläufen der Automobil- und Batterieindustrie, im Verpackungs- und Kunststoffrecycling, in Rücknahmesystemen, der Aufarbeitung von Investitionsgütern und der industriellen Nutzung von Sekundärrohstoffen. Eine Besonderheit ist die Verbindung technischer Lösungen mit Produktgestaltung, Logistik, Datenmanagement und neuen Geschäftsmodellen, sodass Circular Economy nicht als einzelne Technologie, sondern als technologieübergreifendes Wertschöpfungssystem zu verstehen ist.

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Aktuelle Entwicklungen

- **Circular Economy Act:** Die Europäische Kommission bereitet 2026 einen neuen EU-Rechtsakt vor, der insbesondere einen Binnenmarkt für Sekundärrohstoffe schaffen, deren Angebot erhöhen und deren Nachfrage stärken soll
- **Circular Design und produktbezogene Ecodesign-Anforderungen:** Der ESPR-Arbeitsplan 2025–2030 priorisiert unter anderem Stahl und Aluminium, Textilien, Möbel, Reifen und Matratzen für weitere Nachhaltigkeits- und Kreislaufanforderungen.

Key Facts

- **12,2 %: Anteil zirkulär** genutzter **Materialien** am gesamten **Materialeinsatz** der EU im Jahr 2024;
- **24 % bis 2030**: Zielgröße des Clean Industrial Deal für den Anteil zirkulär genutzter Materialien in der EU.
- **25,4 Billionen €** ± 4,7 **Billionen € pro Jahr**: Vom Circularity Gap Report 2026 geschätzter globaler „Value Gap“ durch Ressourcenineffizienz, vorzeitige Entsorgung und unzureichend genutzte Vermögenswerte.

© Heinz Nixdorf Institut



18

Circular Economy

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Potenziale

- **Reduktion des Primärrohstoffbedarfs:** Ein höherer Anteil an Sekundärmaterialien kann Primärrohstoffe substituieren; in der EU lag die Circular Material Use Rate 2024 erst bei 12,2 %.
- **Neue Reparaturmärkte:** Die seit 31. Juli 2026 geltenden europäischen Right-to-Repair-Regeln sollen 8 Mrd. € Wachstum und Investitionen in der EU auslösen.
- **Datenbasierte Kreisläufe:** Digitale Produktpässe liefern Informationen zu verwendeten Materialien.
- **Industrielle Skalierbarkeit:** Die Renault Refactory kann beispielsweise bis zu 45.000 Gebrauchtfahrzeuge pro Jahr aufarbeiten.

Herausforderungen

- **Weiterhin geringe tatsächliche Zirkularität:** 2024 stammten lediglich 12,2 % der in der EU eingesetzten Materialien aus wiedergewonnenen Materialien; global lag der Anteil sekundärer Materialien 2025 nach dem Circularity Gap Report bei nur 6,9 %.
- **Skalierungs- und Wirtschaftlichkeitsprobleme:** Lineare Produktions- und Konsummuster dominieren weiterhin, während hohe Ressourcennutzung, Abfallmengen sowie teilweise unzureichende Märkte für hochwertige Sekundärrohstoffe die Transformation bremsen.

Key Player

- **Europäische Kommission – insbesondere DG ENV und DG GROW:** prägt mit ESPR, Digitalem Produktpass, PPWR, Batterieregulierung und dem geplanten Circular Economy Act wesentliche regulatorische Rahmenbedingungen der europäischen Circular Economy.
- **Ellen MacArthur Foundation:** international prägende Organisation für Konzepte, Methoden und Unternehmensnetzwerke rund um Circular Economy und die Prinzipien „Eliminate, Circulate, Regenerate“.

Prognosen

- Ein breit abgegrenzter **Markt** für zirkuläre Produkte und Dienste wird **2026 auf 578,09 Mrd. US-Dollar** geschätzt. Bis **2030 werden 888,22 Mrd. US-Dollar** erwartet. *Marktdefinitionen unterscheiden sich deutlich.*
- **Kreislaufservices gewinnen an Bedeutung:** Reparatur, Wiederaufarbeitung und Recycling schaffen Wertschöpfung; Produktdaten unterstützen die Rücknahme.

© Heinz Nixdorf Institut



19

Dekarbonisierung

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Dekarbonisierung (CO_2-Reduktion, Defossilisierung, Emissionsminderung) bezeichnet die systematische Verringerung und langfristige weitgehende Vermeidung von Treibhausgasemissionen durch technologische, energetische und prozessuale Veränderungen in Energieversorgung, Industrie, Verkehr und Gebäuden. Wesentliche technologische Teilbereiche sind erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Elektrifizierung, Stromnetze und Speicher, emissionsarmer Wasserstoff, CO_2-Abscheidung und -Speicherung sowie emissionsarme Produktionsverfahren und Kreislaufwirtschaft. Anwendungsfelder reichen von batterieelektrischen Fahrzeugen und Wärmepumpen über elektrifizierte Prozesswärme und wasserstoffbasierte Stahlherstellung bis zu CCUS-Verfahren für schwer vermeidbare Prozessemissionen. Charakteristisch ist, dass Dekarbonisierung kein einzelnes technisches System darstellt, sondern unterschiedliche Technologien entlang von Energie- und Wertschöpfungsketten kombiniert und verbleibende schwer vermeidbare Emissionen gegebenenfalls durch CO_2-Abscheidung oder -Entnahme adressiert.

Aktuelle Entwicklungen

- **Netzbildende Wechselrichter und neue Netztechnologien:** Grid-forming Inverter, Solid-State-Transformatoren und Langzeitspeicher entwickeln sich zu wichtigen Bausteinen für Stromsysteme mit hohen Anteilen fluktuierender erneuerbarer Energien.
- **Nahezu emissionsfreie Grundstoffe:** Wasserstoffbasierte Direktreduktion, elektrifizierte Hochtemperaturprozesse, CO_2-armer Zement sowie neuartige Verfahren wie Eisenerzelektrolyse werden für Stahl-, Zement- und Chemieindustrie weiterentwickelt.

Key Facts

- Die **globalen** energiebezogenen CO_2-Emissionen erreichten **2025** knapp **38,4 Gt CO_2**
- Die weltweiten Investitionen in erneuerbare Energien, Kernenergie, Netze, Speicher, emissionsarme Brennstoffe, Effizienz und Elektrifizierung werden 2026 auf rund **2,2 Billionen US-Dollar** geschätzt.
- 2025 wurden weltweit rund **800 GW erneuerbare Erzeugungskapazität** zugebaut
- Die EU hat verbindliche Netto-minderungsziele von mindestens **55 % bis 2030** und **90 % bis 2040** gegenüber 1990 sowie Klimaneutralität bis 2050 festgelegt.

© Heinz Nixdorf Institut



19

Dekarbonisierung

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Potenziale

- **Hohe kurzfristige Emissionswirkung:** Der seit 2019 erfolgte Ausbau von Photovoltaik, Windenergie, Kernenergie, Elektroautos und Wärmepumpen vermied 2025 nach IEA-Berechnungen bereits rund 3 Gt CO_2 pro Jahr, entsprechend etwa 8 % der energiebedingten globalen CO_2-Emissionen.
- **Sinkende Technologiekosten:** Die Batteriepreise sind innerhalb eines Jahrzehnts um rund 75 % gefallen.
- **Adressierung schwer vermeidbarer Emissionen:** CCUS und emissionsarmer Wasserstoff können Anwendungen ergänzen.

Herausforderungen

- **Netz- und Infrastrukturengpässe:** Weltweit befinden sich mehr als 2.500 GW an Erzeugungs-, Speicher- und großen Verbrauchsprojekten in Netzanschlusswarteschlangen; **bis 2030 müsste die jährliche Netzinvestition gegenüber heute um rund 50 % steigen.**
- **Uneinheitlicher Reifegrad:** Während Photovoltaik, Windenergie und Batterien bereits stark skaliert sind, befinden sich Wasserstoff, CCUS und nahezu emissionsfreie Grundstoffproduktion vielfach noch in frühen kommerziellen Phasen.
- **Kosten:** Emissionsarme Grundstoffe und Wasserstoff sind häufig noch teuer.

Key Player

- **Europäische Kommission:** Prägt über den European Green Deal, das EU-Klimagesetz und sektorale Regulierung wesentliche Rahmenbedingungen für Investitionen in europäische Dekarbonisierungstechnologien.
- **Siemens Energy:** Entwickelt und integriert Technologien für industrielle Elektrifizierung.
- **Vestas:** Einer der weltweit größten Windenergieanbieter; Ende 2025 hatte das Unternehmen insgesamt rund 201 GW Windleistung in 88 Ländern installiert.

Prognosen

- Für Dekarbonisierung existiert kein einheitlicher Markt. **Ausgewählte Clean-Energy-Technologien erreichten 2025 knapp 1,2 Billionen US-Dollar**. Im Current-Policies-Szenario erwartet die IEA bis 2035 rund 2 Billionen US-Dollar für diese Technologien.
- **Erneuerbare Stromerzeugung:** Der weitere Ausbau von Photovoltaik und Windenergie schafft Märkte für Erzeugungstechnik.

© Heinz Nixdorf Institut



20

Erneuerbare Energien

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Kurzbeschreibung

Erneuerbare Energien (regenerative Energien, erneuerbare Energiequellen) umfassen Energie aus sich natürlich erneuernden, nichtfossilen Quellen und schließen insbesondere Solarenergie, Windenergie, Wasserkraft, Geothermie, Bioenergie sowie Meeres- und Umgebungsenergie ein. Zu den wichtigsten technologischen Teilbereichen zählen Photovoltaik und Solarthermie, Onshore- und Offshore-Windenergie, Wasserkraft, Geothermie, Bioenergie sowie Wellen- und Gezeitenenergie. Die Technologien werden zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie zunehmend indirekt für elektrifizierte Industrieprozesse, Mobilität und die Produktion erneuerbarer Energieträger wie Wasserstoff eingesetzt. Charakteristisch ist das Zusammenspiel fluktuierender Quellen wie Solar- und Windenergie mit regelbaren Erzeugern, Stromnetzen, Speichern, Lastmanagement und Sektorkopplung. Der Ausbau erreicht neue Höchststände: Ende 2025 waren weltweit 5.149 GW erneuerbare Erzeugungsleistung installiert; allein 2025 kamen 692 GW hinzu, wobei Solarenergie mit rund 510 GW den Zubau dominierte.

Aktuelle Entwicklungen

- **Perowskit-Silizium-Tandem-Photovoltaik:** Durch eine zusätzliche Perowskitzelle steigt das theoretische Wirkungsgradlimit gegenüber reinen Siliziumzellen von 29,4 % auf 43,3 %; Fraunhofer ISE arbeitet 2026 gezielt an der Übertragung von Laborzellen auf industrienahe Formate bis 210 × 210 mm.
- **Floating Offshore Wind:** Schwimmende Fundamente erschließen tiefe Meeresgebiete, die für bodenfeste Offshore-Anlagen ungeeignet sind.
- **Höhere Material- und Energieeffizienz:** Kommerzielle Siliziummodule erreichen inzwischen knapp 25 % Wirkungsgrad.

Key Facts

- Ende 2025 waren **weltweit 5.149 GW erneuerbare Stromerzeugungsleistung** installiert; der Zuwachs gegenüber 2024 betrug 692 GW beziehungsweise 15,5 %.
- Erneuerbare Energien stellten 2025 **85,6 % des weltweiten Nettozubaus** an Stromerzeugungskapazität und rund 49 % der insgesamt installierten Stromerzeugungsleistung.
- Von den 2025 neu installierten Kapazitäten entfielen rund **510,3 GW auf Photovoltaik** und **158,7 GW auf Windenergie**.

© Heinz Nixdorf Institut



20

Erneuerbare Energien

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Potenziale

- **Niedrige Stromgestehungskosten:** 2025 lagen die globalen durchschnittlichen Stromgestehungskosten neuer Onshore-Windanlagen bei rund 33 USD/MWh und von Solar-PV bei rund 44 USD/MWh; mehr als 90 % der neu errichteten erneuerbaren Großprojekte unterboten neue fossile Alternativen.
- **Reduzierung fossiler Brennstoffabhängigkeit:** IRENA schätzt, dass erneuerbare Stromerzeugung 2025 fossile Brennstoffkosten von rund 480 Mrd. USD vermied und zugleich erhebliche CO_2-Emissionen substituierte.

Herausforderungen

- **Netzintegration und Flexibilität:** Der zunehmende Anteil wetterabhängiger Solar- und Windenergie erhöht den Bedarf an Netzausbau.
- **Netzanschluss und Abregelung:** Verzögerte Netzanschlüsse und begrenzte Netzkapazitäten entwickeln sich in verschiedenen Märkten zunehmend zum Engpass für neue Solar- und Windprojekte.
- **Genehmigungs- und Flächenprozesse:** Administrative Verfahren, räumliche Planung und lokale Akzeptanz können insbesondere Windenergie- und große Freiflächenprojekte erheblich verzögern.

Key Player

- **Vestas Wind Systems:** Weltweit tätiger Windenergieanlagenhersteller mit einer installierten Basis von mehr als 207 GW in 88 Ländern.
- **JinkoSolar:** Global tätiger PV- und Speicherhersteller; bis Ende des zweiten Quartals 2026 wurden kumuliert mehr als 420 GW Solarmodule ausgeliefert.
- **LONGi Green Energy:** Hersteller von Wafern, Solarzellen und PV-Modulen mit 86,58 GW Modulauslieferungen im Jahr 2025 und starkem Fokus auf hocheffiziente Zellarchitekturen.

Prognosen

- Die IEA erwartet 2026 **rund 665 Mrd. US-Dollar für erneuerbare Stromerzeugung**. IRENA beziffert den jährlichen Investitionsbedarf für eine Verdreifachung der Kapazität bis 2030 auf rund 1,5 Billionen US-Dollar.
- **Eigenversorgung**: Unternehmen kombinieren Photovoltaik, Speicher und flexible Verbraucher.

© Heinz Nixdorf Institut



21

Externe Nachhaltigkeitszertifizierung

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Kurzbeschreibung

Externe Nachhaltigkeitszertifizierung bezeichnet die unabhängige Prüfung und Bestätigung, dass Produkte, Prozesse, Managementsysteme oder Unternehmen definierte ökologische, soziale oder nachhaltigkeitsbezogene Anforderungen erfüllen. Zu den wesentlichen Teilbereichen zählen Managementsystemzertifizierungen, Produkt- und Umweltzeichen, Chain-of-Custody-Systeme, Nachhaltigkeits- und ESG-Verifizierungen sowie lebenszyklusbezogene Nachweise. Typische Anwendungen sind Zertifizierungen nach ISO 14001, EMAS, EU Ecolabel sowie branchen- und materialspezifische Systeme wie FSC oder PEFC. Kennzeichnend ist die Prüfung durch eine vom bewerteten Unternehmen unabhängige Stelle anhand definierter Kriterien, dokumentierter Nachweise und gegebenenfalls wiederkehrender Audits. Mit ISO 14001:2026 und ISO 14024:2026 wurden 2026 zwei zentrale Normen für Umweltmanagement beziehungsweise Umweltkennzeichnung aktualisiert. Parallel erhöhen neue EU-Vorgaben gegen irreführende Umweltangaben und die Einführung digitaler Produktpässe die Anforderungen an nachprüfbare, strukturierte und digital verfügbare Nachhaltigkeitsnachweise.

Aktuelle Entwicklungen

- **Aktualisierung etablierter Umweltstandards:** ISO 14001:2026 und ISO 14024:2026 ersetzen beziehungsweise aktualisieren zentrale Grundlagen für Umweltmanagement und Typ-I-Umweltkennzeichnung.
- **Digitalisierung der Verifizierung:** Digitale Measurement-, Reporting- und Verification-Systeme gewinnen insbesondere bei Emissions- und Carbon-Market-Nachweisen an Bedeutung.
- **Weiterentwicklung der Regulierung von Green Claims:** Der Vorschlag für eine eigenständige Green Claims Directive ist weiterhin anhängig und zielt auf besser substantiierte.

Key Facts

- Mehr als **670.000 Organisationen** weltweit waren gemäß ISO-Survey 2024 nach **ISO 14001 zertifiziert.**
- Im März 2026 waren 116.692 Produkte und Dienstleistungen mit dem EU Ecolabel ausgezeichnet; hierfür bestanden 3.541 Lizenzen.
- Rund **61 % der erfassten EU-Ecolabel-Lizenznehmer** sind **kleine** und **mittlere Unternehmen**.
- **EMAS:** Im Mai 2026 waren 4.450 Organisationen mit 20.458 Standorten registriert.

© Heinz Nixdorf Institut



21

Externe Nachhaltigkeitszertifizierung

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Potenziale

- **Glaubwürdige Nachhaltigkeitsnachweise:** Unabhängige Prüfungen können Umwelt- und Nachhaltigkeitsaussagen gegenüber Kunden, Geschäftspartnern und weiteren Stakeholdern nachvollziehbar belegen.
- **Reduktion von Greenwashing-Risiken:** Dokumentierte Kriterien, Auditnachweise und Drittprüfung unterstützen Unternehmen dabei, Umweltclaims belastbarer zu substantiieren.
- **Nachvollziehbarkeit in Lieferketten:** Chain-of-Custody-Systeme ermöglichen die Identifikation und Rückverfolgung zertifizierter Materialien über Verarbeitung und Distribution hinweg.

Herausforderungen

- **Hohe Vielfalt an Systemen und Labels:** Die Europäische Kommission verweist auf rund 230 Nachhaltigkeitslabels und 100 Green-Energy-Labels in der EU, deren Transparenz und Prüfqualität teilweise deutlich voneinander abweichen.
- **Hoher Daten- und Nachweisbedarf:** Zertifizierungen erfordern belastbare Informationen zu Materialien, Prozessen, Emissionen, Lieferketten oder Umweltleistungen; fehlende oder heterogene Daten erschweren die externe Prüfung.
- **Wiederkehrender Auditaufwand:** Zertifizierungen sind häufig keine einmalige Prüfung.

Key Player

- **SGS:** Internationaler Prüf-, Inspektions- und Zertifizierungsanbieter mit Dienstleistungen unter anderem zu ISO 14001, Product Carbon Footprints, Kreislaufwirtschaft, FSC, PEFC und ESG-Verifizierung.
- **TÜV SÜD:** Anbieter von Umwelt- und Nachhaltigkeitszertifizierungen, Managementsystemprüfungen sowie Validierungs- und Verifizierungsleistunge.
- **TÜV Rheinland, Bureau Veritas, Forest Stewardship Council**

Prognosen

- Der breit abgegrenzte globale **Zertifizierungsmarkt** wird 2026 auf **3,35 Mrd. US-Dollar** geschätzt. Für 2030 werden 4,49 Mrd. US-Dollar prognostiziert.
- **Regulatorisch getriebene Nachfrage:** Verschärfte Anforderungen an Umweltclaims und Nachhaltigkeitslabels erhöhen den Bedarf an überprüfbaren Nachweisen.

© Heinz Nixdorf Institut



22

Life Cycle Assessment - LCA

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Kurzbeschreibung

Life Cycle Assessment - LCA (Ökobilanz, Lebenszyklusanalyse) ist eine systematische Methode zur Bewertung potenzieller Umweltwirkungen eines Produkts, Prozesses oder einer Dienstleistung über den gesamten Lebenszyklus von der Rohstoffgewinnung über Herstellung und Nutzung bis zum End-of-Life. Die Methodik umfasst vier miteinander verknüpfte Phasen: Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen, Sachbilanz beziehungsweise Life Cycle Inventory, Wirkungsabschätzung beziehungsweise Life Cycle Impact Assessment und Interpretation der Ergebnisse. LCA wird unter anderem für Produktentwicklung, Variantenvergleiche, strategische Planung, Umweltproduktdeklarationen, Product Carbon Footprints und umweltpolitische Entscheidungen eingesetzt. Im Unterschied zu einer reinen CO_2-Bilanz kann eine LCA zahlreiche Umweltwirkungen gleichzeitig berücksichtigen; die Environmental-Footprint-Methode der EU umfasst beispielsweise 16 Wirkungskategorien von Klimawandel und Wasserverbrauch bis zu Landnutzung und Ressourcenverbrauch.

Aktuelle Entwicklungen

- **KI-gestützte und agentenbasierte LCA:** Aktuelle Forschungsarbeiten untersuchen, wie KI-Agenten und Machine Learning Datenerfassung, Modellierung, Wirkungsabschätzung und Interpretation über alle vier LCA-Phasen unterstützen beziehungsweise teilweise automatisieren können.
- **Portfolioweite LCA-Automatisierung:** LCA entwickelt sich von einzelnen Expertenstudien hin zu automatisierten Analysen umfangreicher Produktportfolios, häufig auf Basis von ERP-, PLM-, CAD- und Stücklistendaten.

Key Facts

- Die internationalen Kernnormen sind **ISO 14040** für Prinzipien und Rahmenwerk sowie **ISO 14044** für Anforderungen und Leitlinien.
- Das ISO-Rahmenwerk strukturiert LCA in vier Phasen: **Ziel & Untersuchungsrahmen**, **Sachbilanz**, **Wirkungsabschätzung** und **Interpretation**.
- Die aktuelle **EU-Environmental-Footprint-Systematik** berücksichtigt 16 Umweltwirkungskategorien.

© Heinz Nixdorf Institut



22

Life Cycle Assessment - LCA

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Potenziale

- **Ganzheitliche Umweltbewertung:** Betrachtung des vollständigen Lebenszyklus und mehrerer Umweltwirkungskategorien ermöglicht die Identifikation von Belastungsverlagerungen zwischen Lebenszyklusphasen oder Umweltindikatoren.
- **Hotspot-Analyse:** Material-, Energie- und Emissionsströme können systematisch analysiert werden, um besonders umweltrelevante Prozesse, Materialien oder Lebenszyklusphasen zu identifizieren.
- **Produktentwicklung:** LCA vergleicht Materialien, Prozesse und End-of-Life-Optionen.

Herausforderungen

- **Datenverfügbarkeit und Datenqualität:** Fehlende, veraltete oder wenig repräsentative Primär- und Sekundärdaten können die Aussagekraft einer LCA erheblich beeinflussen.
- **Interoperabilität:** Unterschiedliche Datenformate, Nomenklaturen und Identifikatoren erschweren den Austausch von LCA-Daten zwischen Datenbanken und Softwarelösungen.
- **Vergleichbarkeit:** Unterschiedliche Systemgrenzen, funktionelle Einheiten, Allokationsentscheidungen und Wirkungsabschätzungsmethoden können zu abweichenden Ergebnissen führen.

Key Player

- **Sphera:** Anbieter industrieller LCA-Software, automatisierter LCA-Lösungen und umfangreicher Lebenszyklusdatenbanken.
- **One Click LCA:** Plattform für LCA und Environmental Product Declarations mit Schwerpunkt auf Bauwirtschaft, Infrastruktur und produzierender Industrie.
- **SimaPro:** seit 1990 entwickelte LCA-Software für wissenschaftliche und industrielle Anwendungen; seit 2025 Teil der One-Click-LCA-Gruppe.

Prognosen

- Der globale LCA-Markt für Software und Dienstleistungen **wird 2026 auf 967,9 Mio. US-Dollar** geschätzt. Bis 2030 werden für diesen breit definierten Markt 1.686,1 Mio. US-Dollar prognostiziert.
- **Portfolioanalyse**: LCA wächst von Einzelstudien zu automatisierten Produktportfolios. ERP-, PLM-, CAD- und Stücklistendaten verbinden die Bewertung mit Produktentwicklung und Unternehmenssystemen.

© Heinz Nixdorf Institut



23

Net Zero

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Kurzbeschreibung

Net Zero (Netto-Null-Emissionen, Net-Zero-Emissionen, Netto-Null-Treibhausgasemissionen) bezeichnet einen Zustand, in dem anthropogene Treibhausgasemissionen durch anthropogene Entnahmen so ausgeglichen werden, dass die Nettoemissionen über einen definierten Zeitraum null betragen. Zentrale technologische Teilbereiche sind erneuerbare Stromerzeugung, Energieeffizienz, Elektrifizierung, Stromnetze und Energiespeicher, emissionsarmer Wasserstoff und synthetische Energieträger, Carbon Capture, Utilisation and Storage sowie Carbon Dioxide Removal. Einsatzfelder reichen von Energieversorgung und Gebäuden über Mobilität und industrielle Prozesse bis zur Dekarbonisierung unternehmensweiter Wertschöpfungsketten. Kennzeichnend ist die Priorisierung tiefgreifender Emissionsminderungen; CO_2-Entnahmen sollen insbesondere verbleibende, schwer vermeidbare Restemissionen ausgleichen. Aktuell prägen der schnelle Ausbau erneuerbarer Energien, die Skalierung von CO_2-Abscheidung und -Entnahme sowie die stärkere Standardisierung unternehmerischer Net-Zero-Ziele das Technologiefeld; 2025 wurden weltweit 692 GW erneuerbare Leistung neu installiert.

Aktuelle Entwicklungen

- **Von Net-Zero-Versprechen zu überprüfbaren Transformationspfaden:** Der SBTi Corporate Net-Zero Standard 2.0 wurde 2026 veröffentlicht; ab 2027 beginnt die Nutzung des neuen Standards für Zielsetzungen und ab Februar 2028 sollen neue Einreichungen vollständig auf Version 2.0 basieren.
- **Skalierung dauerhafter CO_2-Entnahme:** Neuartige CDR-Verfahren liegen 2026 noch bei rund 0,002 Gt CO_2 pro Jahr.
- **CO_2-Infrastruktur statt isolierter Einzelanlagen:** CCS entwickelt sich zunehmend in Richtung gemeinsamer Transport- und Speicherinfrastrukturen.

Key Facts

- **38,4 Gt CO_2**: weltweite energiebedingte CO_2-Emissionen im Jahr 2025, ein neuer Höchststand.
- **5.149 GW**: weltweit installierte erneuerbare Stromerzeugungskapazität Ende 2025; allein 2025 kamen 692 GW hinzu.
- **510,3 GW Photovoltaik**: Anteil der Photovoltaik an den 511,2 GW neu installierter Solarleistung im Jahr 2025.
- **158,7 GW Windenergie**: weltweiter Zubau im Jahr 2025.

© Heinz Nixdorf Institut



23

Net Zero

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	**In Entwicklung**	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	**> 5 Jahre**

Impact für die Automobilindustrie

1	**2**	3

Potenziale

- **Großer Hebel bereits verfügbarer Technologien:** Erneuerbare Energien, Energieeffizienz, Methanreduktion und Elektrifizierung können gemäß IEA mehr als 80 % der bis 2030 im Net-Zero-Pfad erforderlichen zusätzlichen Emissionsminderungen bereitstellen.
- **Messbare Vermeidung fossiler Energien:** Der seit 2019 erfolgte Ausbau von Solarenergie, Windkraft, Kernenergie, Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen vermied 2025 rund 3 Gt CO_2 beziehungsweise etwa 8 % der weltweiten energiebedingten CO_2-Emissionen.

Herausforderungen

- **Weiterhin steigende globale Emissionen:** Die energiebedingten CO_2-Emissionen erreichten 2025 trotz stark wachsender sauberer Technologien mit knapp 38,4 Gt einen neuen Höchststand.
- **Hoher zusätzlicher Kapitalbedarf:** Die weltweiten Investitionen in saubere Energietechnologien liegen 2026 bei etwa 2,2 Billionen US-Dollar jährlich, während der IEA-Net-Zero-Pfad Anfang der 2030er Jahre rund 4,5 Billionen US-Dollar jährlich erfordert.
- **Netz- und Infrastrukturengpässe:** Im Net-Zero-Szenario müssten Stromübertragungs- und Verteilnetze bis 2030 weltweit um rund 2 Millionen Kilometer pro Jahr erweitert werden.

Key Player

- **International Energy Agency – IEA:** entwickelt mit dem Net Zero Emissions by 2050 Scenario einen international genutzten Referenzpfad für Energie-, Technologie- und Investitionsentscheidungen.
- **International Renewable Energy Agency – IRENA:** zentraler internationaler Akteur für Daten, Analysen und Politikberatung zum weltweiten Ausbau erneuerbarer Energien.
- **Global CCS-Institute:** internationaler Fachakteur für die Analyse und Unterstützung der weltweiten Entwicklung von Carbon Capture and Storage.

Prognosen

- Für 2026 werden **weltweit rund 2,2 Billionen US-Dollar Investitionen** in saubere Energietechnologien erwartet.
- **Stromnetze:** Die weltweiten Investitionen sollen 2026 knapp 550 Mrd. US-Dollar beziehungsweise rund 484,4 Mrd. Euro erreichen und bilden damit einen der größten Einzelmärkte der Net-Zero-Infrastruktur.
- **CO_2-Abscheidung und Speicherung:** 77 operative CCS-Projekte und 47 Anlagen im Bau zeigen einen wachsenden Infrastrukturmarkt;

© Heinz Nixdorf Institut

Mobilitätswende

Digitalisierung

Nachhaltigkeitswende

Wandel
der Arbeitswelt



24

Agentic AI

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Agentic AI (agentische KI, KI-Agentensysteme, autonome KI-Agenten) bezeichnet KI-Systeme, die vorgegebene Ziele interpretieren, Aufgaben selbstständig planen, Entscheidungen über nächste Handlungsschritte treffen, Werkzeuge einsetzen und mehrstufige Aktionen mit einem definierten Grad an Autonomie ausführen können. Zu den zentralen technologischen Bausteinen gehören leistungsfähige Sprach- und multimodale Modelle, Reasoning und Planung, Tool- und API-Nutzung, Kontext- und Gedächtnismechanismen, Orchestrierung sowie Single- und Multi-Agent-Architekturen. Einsatzfelder reichen von Kundenservice, IT-Betrieb und Softwareentwicklung über Recherche und Datenanalyse bis zu Finanz-, Vertriebs- und Backoffice-Prozessen. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal gegenüber klassischen KI-Assistenten oder fest programmierten Workflows ist, dass Agenten den Ablauf und die Auswahl ihrer Werkzeuge innerhalb vorgegebener Grenzen dynamisch selbst bestimmen können.

Aktuelle Entwicklungen

- **Long-Horizon Agents:** Agenten werden zunehmend für Aufgaben entwickelt, die nicht innerhalb einer einzelnen Interaktion abgeschlossen werden, sondern Ziele über Stunden, Tage oder Wochen verfolgen und zwischenzeitlich Kontext und Zustand speichern.
- **Multi-Agent-Orchestrierung:** Anstelle eines universellen Agenten entstehen Architekturen aus spezialisierten Agenten, zwischen denen ein Orchestrator Aufgaben verteilt und Kontext übergibt.
- **Evaluation und Observability:** Neben der Modellqualität gewinnen Ende-zu-Ende-Messgrößen wie Task Completion an Bedeutung.

Key Facts

- **17 %** der von Gartner betrachteten **Organisationen hatten 2026 bereits AI Agents** eingesetzt; mehr als 60 % erwarten einen Einsatz innerhalb der folgenden zwei Jahre.
- Gartner prognostiziert für **2028, dass 33 % der Enterprise-Softwareanwendungen Agentic-AI-Fähigkeiten enthalten** werden, gegenüber weniger als 1 % im Jahr 2024, und mindestens 15 % der täglichen Arbeitsentscheidungen autonom durch Agentic AI getroffen werden.

© Heinz Nixdorf Institut



Agentic AI

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Potenziale

- **End-to-End-Automatisierung mehrstufiger Prozesse:** Agenten können Informationen abrufen, Entscheidungen vorbereiten, APIs oder Softwarewerkzeuge aufrufen und anschließend weitere Prozessschritte ohne erneute manuelle Eingabe ausführen.
- **Arbeitsteilung durch Multi-Agent-Systeme:** Spezialisierte Agenten können Aufgaben untereinander verteilen.
- **Systemübergreifende Integration:** Standards wie MCP und A2A ermöglichen eine zunehmend standardisierte Verbindung von Agenten mit Werkzeugen.

Herausforderungen

- **Noch begrenzte Zuverlässigkeit:** Auf dem OSWorld-Benchmark für reale Computeraufgaben erreichten führende Agentensysteme Anfang 2026 etwa 66,3 % Aufgabenerfolg und scheiterten damit weiterhin bei ungefähr jedem dritten Versuch.
- **Fehlerfortpflanzung bei langen Aufgabenketten:** Da Agenten mehrere nichtdeterministische Modell- und Werkzeugaufrufe hintereinander ausführen, können sich einzelne Fehlentscheidungen über längere Prozessketten akkumulieren.
- **Angriffsflächen und Governance:** Prompt Injection, Rechte und autonome Aktionen erfordern Schutz und klare Verantwortlichkeiten.

Key Player

- **OpenAI:** Entwickelt mit Responses API, integrierten Werkzeugen und Agents SDK zentrale Entwicklungsbausteine für toolfähige, mehrstufig arbeitende KI-Agenten.
- **Anthropic:** Entwickelt agentische Claude-Systeme und prägte mit dem ursprünglich veröffentlichten Model Context Protocol einen zentralen offenen Standard für die Verbindung von Modellen mit Daten und Werkzeugen.
- **Microsoft:** Entwickelt mit Copilot Studio eine Enterprise-Plattform für autonome Agenten.

Prognosen

- **2026** wird der globale **Agentic-AI-Markt auf 19,33 Mrd.** US-Dollar geschätzt. Bis **2033 werden 205,88 Mrd. US-Dollar** prognostiziert. Die Marktschätzungen variieren je nach Abgrenzung.
- **IT-Betrieb und Softwareentwicklung:** Agenten können Fehlersuche, Entwicklungsaufgaben, Systemabfragen und operative Folgeaktionen über mehrere Werkzeuge hinweg koordinieren.

© Heinz Nixdorf Institut



25

Arbeit 4.0

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Kurzbeschreibung

Arbeit 4.0 (Arbeiten 4.0, Future of Work, digitale Arbeitswelt) bezeichnet die sozio-technische Transformation der Arbeitswelt durch Digitalisierung, Vernetzung und Automatisierung sowie durch damit verbundene Veränderungen von Arbeitsorganisation, Qualifikation und Zusammenarbeit. Zu den wesentlichen technologischen Teilbereichen zählen Künstliche Intelligenz und intelligente Assistenzsysteme, Cloud- und Kollaborationsplattformen, Robotik, digitale Arbeitsplätze, Datenanalyse, algorithmisches Arbeitsmanagement sowie Augmented- und Virtual-Reality-Anwendungen. Anwendungen reichen von hybridem Arbeiten und KI-gestützter Wissensarbeit über automatisierte HR- und Verwaltungsprozesse bis zu digital assistierter Montage, kollaborativer Robotik und KI-gestütztem Engineering. Eine Besonderheit liegt in der engen Verbindung technischer Lösungen mit Arbeitsgestaltung, Qualifizierung, Datenschutz, Mitbestimmung und Arbeits- und Gesundheitsschutz. Aktuell gewinnen generative und agentische KI an Bedeutung: KI-Assistenten und autonome Agenten übernehmen zunehmend einzelne Arbeitsschritte oder mehrstufige Prozesse.

Aktuelle Entwicklungen

- **Agentische KI und Human-Agent-Teams:** Der Schwerpunkt verschiebt sich von KI als Assistenzwerkzeug hin zu Agenten, die mehrstufige Aufgaben ausführen und unter menschlicher Steuerung mit Mitarbeitern zusammenarbeiten
- **Autonome Unternehmensworkflows:** HR-, IT-, Finanz- und Verwaltungsplattformen entwickeln sich von Informations- und Self-Service-Systemen zu KI-Systemen, die Genehmigungen koordinieren, Datensätze ändern und komplette Prozessketten ausführen können.

Key Facts

- **25 % der Erwerbstätigen** in Deutschland **arbeiteten** 2025 zumindest **gelegentlich** im **Homeoffice**; 2019 waren es 13 %.
- 26 % der deutschen Unternehmen mit mindestens zehn Beschäftigten nutzten 2025 **KI**; bei **Unternehmen mit mindestens 250 Beschäftigten** waren es **57 %.**
- **54 %** der Unternehmen in Deutschland nutzten 2025 **kostenpflichtige Cloud-Services**; bei Großunternehmen betrug der Anteil **86 %**.

© Heinz Nixdorf Institut



25

Arbeit 4.0

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Potenziale

- **Automatisierung repetitiver Wissensarbeit:** KI-Assistenten und Agenten können Recherche-, Analyse-, Dokumentations-, Kommunikations- und administrative Aufgaben übernehmen und dadurch Kapazität für komplexere Tätigkeiten freisetzen.
- **Produktivitätsunterstützung durch KI:** In einer Microsoft-Befragung von 20.000 KI-Nutzern aus zehn Ländern gaben 66 % an, durch KI mehr Zeit für höherwertige Tätigkeiten zu haben; 58 % berichteten, Arbeit erledigen zu können, die ihnen ein Jahr zuvor nicht möglich gewesen wäre.
- **Hybride Arbeit:** Digitale Plattformen ermöglichen zeit- und ortsflexible Zusammenarbeit.

Herausforderungen

- **Hoher Qualifizierungsbedarf:** Arbeitgeber erwarten laut World Economic Forum, dass sich bis 2030 durchschnittlich 39 % der heute relevanten Kernkompetenzen von Beschäftigten verändern oder an Bedeutung verlieren.
- **Arbeitsintensivierung und Kontrollverlust:** KI-gestützte Arbeit kann mit höheren Handlungsspielräumen verbunden sein.
- **Ungleiche technologische Nutzbarkeit:** Arbeit 4.0 lässt sich nicht für alle Tätigkeiten gleichermaßen umsetzen; 2025 lag der Homeoffice-Anteil beispielsweise bei IT-Dienstleistungen bei 74 %, in der Gastronomie dagegen bei 6 %.

Key Player

- **Bundesministerium für Arbeit und Soziales BMAS:** Initiator des Dialogprozesses „Arbeiten 4.0“ und wichtiger Akteur bei der arbeitsmarkt- und sozialpolitischen Gestaltung der digitalen Arbeitswelt in Deutschland.
- **Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO:** Forschung und Transfer zu menschzentrierter Arbeitsgestaltung, Industrie 4.0 und digitaler Arbeit; das Future Work Lab demonstriert über 60 Anwendungsfälle der digitalisierten Arbeitswelt.

Prognosen

- Für Arbeit 4.0 existiert kein einheitlicher Markt. Der **deutsche Digital-Workplace-Markt** dient als Näherung: **4,48 Mrd. US-Dollar** 2025. Bis 2030 werden für diesen deutschen Näherungsmarkt 11,02 Mrd. US-Dollar prognostiziert.
- **Qualifizierung und Learning-in-the-Flow-of-Work:** Der erwartete Wandel von Kompetenzanforderungen schafft Bedarf für digitale Lernplattformen.

© Heinz Nixdorf Institut



26

Corporate Social Responsibility - CSR

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Kurzbeschreibung

Corporate Social Responsibility (Unternehmensverantwortung, gesellschaftliche Unternehmensverantwortung, Responsible Business Conduct) bezeichnet die Verantwortung von Unternehmen für ihre Auswirkungen auf Gesellschaft und Umwelt und umfasst die systematische Integration sozialer, ökologischer, ethischer, menschenrechtlicher und verbraucherbezogener Aspekte in Geschäftstätigkeit und Unternehmensstrategie. Zentrale Teilbereiche sind insbesondere Menschenrechte, Arbeitsbedingungen, Umweltverantwortung, Korruptionsprävention, verantwortungsvolle Unternehmensführung, Stakeholder-Einbindung und nachhaltige Lieferketten. Typische Anwendungen umfassen menschenrechtliche und ökologische Sorgfaltsprozesse, Lieferantenanforderungen, Nachhaltigkeitsberichterstattung, Stakeholder-Dialoge sowie Programme zur Verbesserung gesellschaftlicher und ökologischer Auswirkungen. Eine Besonderheit von CSR ist die Verbindung freiwilliger Unternehmensmaßnahmen mit zunehmend verbindlichen regulatorischen Anforderungen an Transparenz und Sorgfaltspflichten.

Aktuelle Entwicklungen

- **Vereinfachung und Fokussierung der EU-Nachhaltigkeitsregulierung:** Die Omnibus-I-Reform von 2026 begrenzt den Kreis verpflichtend berichtender Unternehmen stärker und reduziert den Umfang der ESRS.
- **Freiwillige standardisierte Berichterstattung außerhalb der CSRD:** Mit der Delegierten Verordnung EU 2026/1560 wurde ein freiwilliger Nachhaltigkeitsberichtsstandard für Unternehmen außerhalb bestimmter verpflichtender Berichtsanforderungen geschaffen, um Informationsanforderungen innerhalb von Wertschöpfungsketten zu vereinheitlichen.

Key Facts

- Der **UN Global Compact** umfasst mehr als **20.000 Unternehmen** und **3.800 nichtwirtschaftliche Teilnehmer** in über 160 Ländern.
- Der EcoVadis Sustainability Ratings Index 2026 basiert auf Bewertungen von **mehr als 100.000 Unternehmen** und rund **200.000 Scorecards** aus dem Zeitraum 2021 bis 2025; 2025 erreichten **29 %** der erfassten Unternehmen die Kategorie „Advanced+“.

© Heinz Nixdorf Institut



26

Corporate Social Responsibility - CSR

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Potenziale

- **Verbessertes Risikomanagement:** Die strukturierte Berücksichtigung sozialer, ökologischer und menschenrechtlicher Auswirkungen unterstützt Unternehmen bei der frühzeitigen Identifikation von Risiken in eigenen Tätigkeiten und globalen Wertschöpfungsketten.
- **Reputation und Innovationsfähigkeit:** Eine weitere Metaanalyse von 98 unabhängigen empirischen Studien identifiziert Unternehmensreputation und Innovationsfähigkeit als relevante Vermittlungsmechanismen zwischen CSR und Unternehmensperformance.

Herausforderungen

- **Datenverfügbarkeit in komplexen Lieferketten:** Die Europäische Kommission weist darauf hin, dass die globale und komplexe Struktur von Wertschöpfungsketten die Beschaffung verlässlicher Informationen über Geschäftspartner erschwert.
- **Hoher organisatorischer Integrationsaufwand:** CSR betrifft zahlreiche Funktionen von Einkauf und Personal über Compliance und Risikomanagement bis zur Unternehmensstrategie und muss daher über organisatorische Silos hinweg gesteuert werden.

Key Player

- **Europäische Kommission und EFRAG:** Zentrale Akteure für die Regulierung und fachliche Weiterentwicklung der europäischen Nachhaltigkeitsberichterstattung einschließlich CSRD und ESRS.
- **International Organization for Standardization - ISO:** Herausgeber von ISO 26000 als internationalem Leitfaden für gesellschaftliche Verantwortung von Organisationen.
- **EcoVadis:** Anbieter technologiegestützter Nachhaltigkeitsratings mit einem Netzwerk von mehr als 150.000 bewerteten Unternehmen

Prognosen

- CSR ist kein einheitlicher Markt. Als enger Näherungswert gelten 3,56 Mrd. US-Dollar für CSR-Beratung 2026. Für CSR-Beratungsdienstleistungen werden 2032 rund 7,15 Mrd. US-Dollar prognostiziert.
- **Prognose 2032:** Für 2032 werden 7,15 Mrd. US-Dollar beziehungsweise rund 6,297 Mrd. € prognostiziert.

© Heinz Nixdorf Institut



27

Digital Workspace

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Kurzbeschreibung

Digital Workspace bezeichnet eine integrierte digitale Arbeitsumgebung, auch als Digital Workplace oder moderner digitaler Arbeitsplatz bezeichnet, die den Mitarbeitern orts- und geräteunabhängigen Zugriff auf Anwendungen, Informationen, Kommunikation und Geschäftsprozesse ermöglicht. Zu den zentralen Teilbereichen zählen Cloud-basierte Office- und Produktivitätsanwendungen, Unified Communication and Collaboration, End-User-Computing und virtuelle Desktops, Enterprise Search und Wissensmanagement, Workflow- und Employee-Experience-Plattformen sowie Identity-, Endpoint- und Zero-Trust-Sicherheitsmechanismen. Typische Anwendungen sind die gemeinsame Bearbeitung von Dokumenten, Videokonferenzen und Messaging, unternehmensweite Informationssuche, digitale Serviceportale, Workflow-Automatisierung sowie der sichere Zugriff auf Unternehmensanwendungen aus Büro, Homeoffice oder mobilen Arbeitssituationen. Charakteristisch ist dabei die Integration bislang getrennter Anwendungen, Datenquellen, Identitäten und Kommunikationskanäle zu einer möglichst durchgängigen digitalen Arbeitsumgebung.

Aktuelle Entwicklungen

- **Agentic Digital Workspace:** Der Schwerpunkt verschiebt sich von KI-Assistenten, die einzelne Antworten erzeugen, zu AI Agents, welche mehrstufige Aufgaben planen, Anwendungen verwenden und unter definierten Berechtigungen Aktionen ausführen.
- **Human-Agent-Arbeitsmodelle:** Gartner beschreibt für 2026 die Vorbereitung auf Arbeitsmodelle, in denen Menschen und Agenten gemeinsam arbeiten, als eine zentrale Veränderung der Digital-Workplace-Prioritäten.
- **Enterprise Search:** KI-gestützte Suche verknüpft Unternehmenswissen mit dem Arbeitskontext.

Key Facts

- Von den europäischen Unternehmen mit kostenpflichtigen Cloud-Diensten nutzten 2025 85,2 % E-Mail-Dienste, 71,7 % Office-Software und 71,5 % Dateispeicher aus der Cloud.
- Microsoft meldete im Juli 2026 mehr als 30 Millionen bezahlte **Microsoft-365-Copilot-Lizenzen**; der **Nettozuwachs** hatte sich gegenüber dem **vorherigen Quartal** mehr als **verdoppelt**.
- Fortune Business Insights grenzt den Markt breiter ab und beziffert ihn auf **74,55 Mrd. US-Dollar 2026** sowie prognostizierte **388,68 Mrd. US-Dollar 2034**

© Heinz Nixdorf Institut



27

Digital Workspace

TuWAs

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	3

Potenziale

- **Orts- und geräteunabhängiger Zugriff:** Cloud- und Virtualisierungsplattformen können Anwendungen.
- **Reduzierung von Medien- und Systembrüchen:** Integrierte Plattformen verbinden Kommunikation, Dokumente, Wissen, Aufgaben und Geschäftsprozesse und reduzieren dadurch den Wechsel zwischen isolierten Anwendungen.
- **KI-gestützte Wissensarbeit:** Generative KI kann E-Mails und Dokumente zusammenfassen.
- **Automatisierung mehrstufiger Abläufe:** Aktuelle Agentenplattformen können Inhalte generieren, Anwendungen aufrufen und Unternehmensinformationen verwenden.

Herausforderungen

- **Integrationskomplexität:** Ein Digital Workspace muss häufig zahlreiche SaaS-Anwendungen, Legacy-Systeme, Datenquellen, Identitätsdienste und Kommunikationsplattformen verbinden; fehlende Integration kann zu neuen Datensilos und zusätzlichen Kontextwechseln führen.
- **Identity- und Access-Management:** Ortsunabhängiger Zugriff sowie BYOD-, Cloud- und Hybrid-Szenarien lösen klassische Netzwerkgrenzen auf und erhöhen die Anforderungen an kontinuierliche Authentifizierung, Autorisierung und Gerätekontrolle.

Key Player

- **Microsoft:** Microsoft 365, Teams, SharePoint und Microsoft 365 Copilot verbinden Produktivitätsanwendungen, Kommunikation, Unternehmenswissen und zunehmend ausführende AI Agents.
- **Google:** Google Workspace integriert Gmail, Docs, Sheets, Drive, Meet und Chat sowie Gemini-basierte KI-Funktionen in Business- und Enterprise-Umgebungen.
- **Salesforce – Slack** – Slack entwickelt sich von einer Kommunikationsplattform zu einem agentenorientierten Workspace.

Prognosen

- **Digital Employee Experience:** Unternehmen können zentrale Portale und KI-basierte Einstiegspunkte für IT-, HR-, Workplace-, Legal- und Procurement-Services aufbauen beziehungsweise bestehende Lösungen konsolidieren.
- **Plattformintegration:** Cloud-Office-, Kommunikations- und Sicherheitsdienste schaffen Bedarf an Migration und Administration; KI erweitert Wissensarbeit und Workflows.

© Heinz Nixdorf Institut



28

Explainable AI - XAI

TuWAs

Kurzbeschreibung

Explainable AI (erklärbare Künstliche Intelligenz, Explainable Artificial Intelligence) bezeichnet Methoden und Systeme, die Funktionsweisen, Entscheidungen oder Ausgaben von KI-Modellen für Menschen nachvollziehbar und interpretierbar machen. Zu den wesentlichen Ansätzen gehören inhärent interpretierbare Modelle sowie Post-hoc-Verfahren für Black-Box-Modelle, darunter lokale und globale Erklärungen, Merkmalsattributionen, Surrogatmodelle, kontrafaktische Erklärungen und zunehmend mechanistische Interpretierbarkeit. XAI wird beispielsweise zur Analyse von Kreditentscheidungen, medizinischen KI-Systemen, industriellen Prognosemodellen sowie zur Fehleranalyse und Validierung neuronaler Netze eingesetzt. Eine Besonderheit besteht darin, dass die Qualität einer Erklärung nicht allein von ihrer Verständlichkeit abhängt: Sie muss das tatsächliche Verhalten des Modells möglichst korrekt abbilden und auf die Informationsbedürfnisse des jeweiligen Nutzers zugeschnitten sein.

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Aktuelle Entwicklungen

- **Mechanische Interpretierbarkeit von Foundation Models:** Statt lediglich Ein- und Ausgangsdaten zu vergleichen, wird zunehmend untersucht, welche internen Aktivierungen, Repräsentationen und Berechnungsschaltkreise für bestimmte Verhaltensweisen großer Modelle verantwortlich sind.
- **Automatisierte Interpretation interner Modellzustände:** Aktuelle Arbeiten untersuchen Verfahren, die interne Aktivierungen großer Sprachmodelle automatisch in verständliche Beschreibungen oder Konzepte übersetzen.

Key Facts

- NIST formuliert vier grundlegende Prinzipien erklärbarer KI: **Explanation, Meaningful, Explanation Accuracy und Knowledge Limits**.
- Artikel 13 des **EU AI Act fordert** für Hochrisiko-KI **ein ausreichendes Maß an Transparenz**, damit Betreiber Systemausgaben interpretieren und angemessen verwenden können.
- Der **globale XAI-Markt wurde für 2025 auf 9,19 Mrd.** US-Dollar geschätzt und soll auf 21,06 Mrd. US-Dollar steigen; dies entspricht einer prognostizierten CAGR von 18,0 %.

© Heinz Nixdorf Institut



28

Charakteristika

Entwicklungsstadium

In Forschung	In Entwicklung	**Verfügbar**

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	**3-5 Jahre**	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

© Heinz Nixdorf Institut

Explainable AI - XAI

TuWAs

Potenziale

- **Nachvollziehbare Einzelentscheidungen:** Lokale XAI-Verfahren können sichtbar machen, welche Eingangsmerkmale wesentlich zu einer konkreten Modellentscheidung beigetragen haben.
- **Unterstützung von Audit und Governance:** Erklärbare und interpretierbare Systeme lassen sich leichter dokumentieren, überwachen und prüfen und unterstützen dadurch das technische Risikomanagement von KI-Systemen.
- **Interpretation in Hochrisikoanwendungen:** Bei Hochrisiko-KI kann XAI dazu beitragen, Modellausgaben für Betreiber nachvollziehbar zu machen.

Herausforderungen

- **Erklärungstreue:** Eine plausible oder für Menschen überzeugende Erklärung muss nicht zwingend den tatsächlichen internen Entscheidungsprozess eines komplexen Modells korrekt wiedergeben.
- **Abweichungen zwischen Erklärverfahren:** Unterschiedliche XAI-Methoden können für dasselbe Modell unterschiedliche Erklärungen liefern.
- **Skalierbarkeit:** Die Analyse großer neuronaler Netze und umfangreicher Datensätze kann erheblichen zusätzlichen Rechen- und Analyseaufwand verursachen.

Key Player

- **Fraunhofer-IAIS:** Forschung zu vertrauenswürdiger KI, Transparenz, KI-Prüfung und technischer Operationalisierung regulatorischer Anforderungen.
- **Fraunhofer-HHI –:** Entwicklung und Anwendung von XAI-Verfahren wie Layer-wise Relevance Propagation, Concept Relevance Propagation und weiteren Verfahren zur Modellanalyse.
- **IBM Research, Microsoft, Google, Anthropic, OpenAI, Fiddler AI**

Prognosen

- **AI Governance und Model Risk Management:** XAI kann als Bestandteil von Prüf-, Monitoring- und Governance-Pipelines eingesetzt werden, insbesondere zusammen mit Fairness-, Robustheits- und Sicherheitsprüfungen.
- **Regulierte KI-Anwendungen**: Bedarf an Verfahren zur Interpretation, Dokumentation und Prüfung von Hochrisiko-KI nimmt durch technische und regulatorische Transparenzanforderungen zu.

29



Fachkräftemangel

Charakteristika

Entwicklungsstadium: n. a.

In Forschung	In Entwicklung	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Kurzbeschreibung

Fachkräftemangel (Fachkräfteengpass, Qualifikationsengpass, Skilled Labour Shortage) bezeichnet eine Arbeitsmarktsituation, in der die Nachfrage nach qualifizierten Arbeitskräften in bestimmten Berufen, Qualifikationsbereichen oder Regionen das verfügbare passend qualifizierte Arbeitskräfteangebot übersteigt. Wesentliche Teilbereiche und Einflussfaktoren sind der demografisch bedingte Rückgang des Arbeitskräfteangebots, berufliche und regionale Passungsprobleme, Aus- und Weiterbildung, Erwerbsbeteiligung sowie die Gewinnung und Integration internationaler Fachkräfte. Für Unternehmen zeigt sich der Fachkräftemangel insbesondere durch Schwierigkeiten bei der Stellenbesetzung, steigende Arbeitskosten, eine höhere Belastung vorhandener Belegschaften, eingeschränkte Leistungsangebote und drohenden Verlust betriebsspezifischen Wissens. Der Trend ist dabei nicht als allgemeiner Arbeitskräftemangel zu verstehen: Die Bundesagentur für Arbeit identifizierte für 2025 Fachkräfteengpässe in 157 Berufsgattungen, stellte zugleich jedoch keinen flächendeckenden Arbeitskräftemangel fest.

Aktuelle Entwicklungen

- **KI als Produktivitätshebel gegen Personalengpässe:** Unternehmen setzen KI zunehmend zur Automatisierung von Routineaufgaben und zur Unterstützung qualifizierter Beschäftigter ein; gleichzeitig entsteht zusätzlicher Bedarf an Fachkräften mit KI-Kompetenzen.
- **Von Stellen- zu Kompetenzprofilen:** Quereinstieg, Teilqualifikationen, Höherqualifizierung und stärker kompetenzorientierte Personalentscheidungen gewinnen an Bedeutung, wenn exakt passende Berufsprofile am Arbeitsmarkt nicht verfügbar sind.
- **Reskilling:** Kontinuierliche Weiterbildung ergänzt neue Kompetenzprofile.

Key Facts

- **157 Berufsgattungen** wiesen in Deutschland im Jahr 2025 einen **Fachkräfteengpass** auf
- Die rechnerische **Fachkräftelücke** betrug 2025 **369.516 Stellen** und lag bei 24,1 %.
- **33,3 % der offenen Stellen** für qualifizierte Arbeitskräfte konnten 2025 rechnerisch **nicht mit passend qualifizierten** Arbeitslosen besetzt werden.
- Auf **Expertenniveau** bestanden 2025 noch **68.883** rechnerisch **nicht besetzbare Stellen**.

© Heinz Nixdorf Institut



29

Fachkräftemangel

Charakteristika

Entwicklungsstadium: n. a.

In Forschung	In Entwicklung	Verfügbar

Dringlichkeit (Time-to-Impact)

0-2 Jahre	3-5 Jahre	> 5 Jahre

Impact für die Automobilindustrie

1	2	**3**

Potenziale

- **Produktivitätssteigerung durch Automatisierung und KI:** Digitale Werkzeuge und KI können insbesondere standardisierbare Tätigkeiten übernehmen, Fachkräfte bei Routineaufgaben entlasten und vorhandene Arbeitskapazitäten stärker auf komplexe Aufgaben konzentrieren.
- **Qualifizierung vorhandener Beschäftigter:** Systematisches Upskilling und Reskilling erschließt interne Fachkräftepotenziale und unterstützt die Anpassung an digitale und ökologische Transformationsprozesse.
- **Zuwanderung:** Internationale Rekrutierung erweitert das Fachkräfteangebot.

Herausforderungen

- **Berufs- und qualifikationsspezifischer Mismatch:** Trotz verfügbarer Arbeitsloser können Stellen unbesetzt bleiben.
- **Steigende Personalkosten:** 63 % der im DIHK-Fachkräftereport betrachteten Unternehmen erwarten infolge von Arbeits- und Fachkräfteengpässen steigende Arbeitskosten.
- **Einschränkungen von Leistung und Wachstum:** 36 % der Unternehmen erwarten Einschränkungen ihres Angebots; Engpässe können zusätzlich Investitionen, Wachstum sowie die Umsetzung von Digitalisierungs-, Infrastruktur- und Transformationsprojekten begrenzen.

Key Player

- **Bundesagentur für Arbeit:** Zentrale öffentliche Institution für Arbeitsmarktstatistik, Engpassanalyse, Vermittlung und Beobachtung berufsspezifischer Fachkräfteengpässe in Deutschland.
- **Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung – IAB:** Forschungsinstitut der Bundesagentur für Arbeit mit Analysen und langfristigen Projektionen zu Arbeitskräfteangebot, Migration, Erwerbsbeteiligung und demografischem Wandel.
- **BIBB:** Forschung zur beruflichen Bildung und Qualifizierung.

Prognosen

- Das IW bezifferte das **hypothetische** zusätzliche **Produktionspotenzial** bei geschlossener Fachkräftelücke 2024 auf **49 Mrd. Euro**. Unter damaligen Modellannahmen projizierte das IW für 2027 einen Effekt von 74 Mrd. Euro.

© Heinz Nixdorf Institut

Partner werden

Sie wollen die Transformation Ihres Unternehmens vorantreiben, haben Fragen oder einfach Interesse an Themen zur erfolgreichen Gestaltung von Transformationsprozessen?

Als TuWAs-Partner
- erhalten Sie regelmäßige Informationen zu unseren Transferangeboten,
- ermitteln Sie den Reifegrad Ihres Unternehmens und kennen Ihren Status-quo,
- erfassen wir Ihren Transformationsbedarf,
- teilen Sie Ihre Erfahrungen und erhalten Impulse im TuWAs-Hub,
- entwickeln Sie mit uns innovative Ideen, Lösungen und Handlungsoptionen für die erfolgreiche Transformation.

Gerne sprechen wir mit Ihnen über die Möglichkeiten, Ihr Unternehmen aktiv in das Projekt einzubinden.
Vereinbaren Sie mit uns einen persönlichen Termin zur Projektvorstellung online oder bei Ihnen vor Ort:

tuwas@iwu.fraunhofer.de

Fraunhofer IWU

Fachhochschule Südwestfalen
University of Applied Sciences

fir an der RWTH Aachen

HEINZ NIXDORF INSTITUT
UNIVERSITÄT PADERBORN

Technische Universität München