FluxLane-Studie

Industrielle KI und Robotik

Deutschlands Umsetzungschancen im Vergleich mit Singapur, Japan und Südkorea

Forschungsbericht · Für Geschäftsführung und Strategieverantwortliche im industriellen Mittelstand, Verbände, Wirtschaftsförderung und Politik

Recherche- und Rechtsstand: 26. Oktober 2026 · Deutschland, Singapur, Japan, Südkorea und Europäische Union

KI-gestütztes Manuskript auf Grundlage öffentlicher Primärquellen. Keine eigene empirische Datenerhebung. Keine Fallstudien, keine Wirtschaftlichkeitsmodelle, kein Länder-Ranking. Keine bereits erfolgte externe Begutachtung. Informationsstand vor den Ergebnissen der Kanzlerreise vom 26. bis 30. Oktober 2026.

Dieser Forschungsbericht dient der allgemeinen Information und ersetzt keine einzelfallbezogene Rechtsberatung.

Steckbrief

Merkmal	Wert
Dokumenttyp	Dokumenten- und Sekundärdatenanalyse mit Instrumentenvergleich nach Umsetzungsstufe
Zielgruppe	Geschäftsführung und Strategieverantwortliche im industriellen Mittelstand, Verbände, Wirtschaftsförderung, Politik
Recherche- und Rechtsstand	26. Oktober 2026
Umfang	47.738 Wörter, 92 Seiten
Belege	80 Literatureinträge, 78 Quellenadressen
Gliederung	23 nummerierte Abschnitte, 24 Tabellen

Inhalt

Zusammenfassung . . . 7

Entscheidungsrelevante Ergebnisse . . . 8

1 Einordnung: Was diese Studie ist und was sie nicht ist . . . 10

2 Anlass, Fragestellung und Begriffe . . . 11

2.1 Anlass: die Reise des Bundeskanzlers . . . 11

2.2 Ein Gastbeitrag als zweiter Anstoß . . . 12

2.3 Leitfrage und Teilfragen . . . 12

2.4 Begriffe . . . 12

3 Methode . . . 13

3.1 Design . . . 13

3.2 Quellenwahl und zwei Quellenwellen . . . 13

3.3 Abruf, Ablage und Prüfsumme . . . 14

3.4 Belegregister mit Wortlaut . . . 14

3.5 Status und Umsetzungsstufen . . . 14

3.6 Vergleichbarkeitsregeln . . . 15

3.7 Umgang mit Widersprüchen . . . 15

3.8 Prüfrollen . . . 15

3.9 Ausgangshypothesen und ihre Bilanz . . . 16

4 Kennzahlen: Was sich vergleichen lässt und was nicht . . . 17

4.1 Roboterdichte: drei Berichtsstände, keine Zeitreihe . . . 17

4.2 Bestand und Installationen . . . 18

4.3 KI-Nutzung in deutschen Unternehmen: drei Quellen, drei Grundgesamtheiten . . . 19

4.4 Singapur, Japan, Südkorea: was an Nutzungsquoten vorliegt . . . 21

4.5 Digitalisierung im Mittelstand . . . 22

4.6 Demografie und Arbeitsmarkt . . . 23

4.7 Vergleichbarkeitsregeln . . . 24

5 Deutschland: Ausgangslage und Instrumente . . . 24

5.1 Ausgangslage: viele Roboter, wenig KI in der Breite . . . 24

5.2 Hightech Agenda und KI-Roadmap: Ziele ohne festgelegten Maßstab . . . 25

5.3 KI-Robotikbooster: 100 Millionen Euro in zwei Strängen . . . 25

5.4 Robo-Hubs: Konzeptwettbewerb für die Forschung, späterer Zugang für Betriebe . . . 26

5.5 Die SPRIND-Challenge „Next Frontier Robotics“ . . . 27

5.6 Robotics Institute Germany . . . 27

5.7 Plattform Industrie 4.0 und die Absichtserklärung mit NVIDIA . . . 27

5.8 Manufacturing-X und Factory-X . . . 28

5.9 Mittelstand-Digital-Zentren . . . 28

5.10 KI-Marktüberwachungsgesetz, Bundesnetzagentur und Reallabor . . . 29

5.11 Die geplante deutsche KI-Gigafabrik . . . 30

5.12 Übersicht: Instrumente nach Umsetzungsstufe . . . 30

6 Singapur: Breite durch ein Unternehmensziel . . . 31
6.1 Der strategische Rahmen: NAIS 2.0 und das Update vom Mai 2026 . . . 32
6.2 Das National AI Impact Programme: 10.000 Unternehmen, 100.000 Beschäftigte . . . 32
6.3 Was die Adoptionsquote misst und was nicht . . . 32
6.4 Fertigung: von der Modellfabrik zum Kompetenzzentrum . . . 33
6.5 Rechenzugang und Fachkräfte . . . 34
6.6 Die Embodied AI Challenge for Manufacturing . . . 34
6.7 Was nicht belegt ist . . . 35
6.8 Übersicht der Instrumente . . . 35
7 Japan: Strategie gegen den Arbeitskräftemangel . . . 36
7.1 Ausgangslage: Arbeitsmarkt und Roboterbestand . . . 36
7.2 Die KI-Robotik-Strategie: Beschluss, Änderung, Vorstellung . . . 37
7.3 18 Felder, acht Aufgaben und die Fahrpläne . . . 38
7.4 Rechtsrahmen: KI-Förderungsgesetz und KI-Grundplan . . . 39
7.5 Wirtschaftssicherheit: Roboter, Magnete und Seltene Erden . . . 39
7.6 Was das Weißbuch zur Fertigungsindustrie hinzufügt . . . 40
7.7 Was nicht belegt ist . . . 40
7.8 Übersicht der Instrumente . . . 41
8 Südkorea: der Staat als Erstkunde . . . 41
8.1 Vier Ressorts, fünf Dokumente . . . 42
8.2 Die Wachstumsstrategie vom Juli 2026 . . . 42
8.3 Der Staat kauft: Humanoide und ein Demonstrationsprogramm . . . 43
8.4 Die K-Humanoid Alliance . . . 44
8.5 Der 4. Basisplan und eine ungeklärte Zahl . . . 44
8.6 Der Rechtsrahmen: das KI-Grundgesetz . . . 44
8.7 Die MSIT-Strategie: nur aus zweiter Hand . . . 45
8.8 Was offen ist . . . 45
8.9 Instrumente im Überblick . . . 46
9 Europäischer Rahmen . . . 47
9.1 Die KI-Verordnung in ihrer ursprünglichen Fassung . . . 47
9.2 Was die Digital-Omnibus-Verordnung geändert hat . . . 47
9.3 Maschinen: Wechsel von Anhang I Abschnitt A nach Abschnitt B . . . 48
9.4 Erwägungsgrund und verfügender Teil . . . 49
9.5 AI Continent Action Plan und Apply AI Strategy . . . 49
9.6 KI-Gigafabriken: Ausschreibung, Mittel, Zeitplan . . . 49
9.7 Maschinenverordnung ab 20. Januar 2027 . . . 50
9.8 Critical Raw Materials Act: Richtwerte für 2030 . . . 50
9.9 Fristen 2024 bis 2030 . . . 50
10 Querschnitt: Instrumente im Vergleich . . . 52
10.1 Aufbau der Matrix . . . 52
10.2 Die Vergleichsmatrix . . . 52

10.3 Muster: Recht in Kraft, Förderung angekündigt . . . 54
10.4 Unterschiede: welche Rolle der Staat einnimmt . . . 55
10.5 Zielzahlen und ihre Messgrößen . . . 55
10.6 Was nirgends evaluiert ist . . . 56
11 Randbedingungen: Energie, Rohstoffe, Fachkräfte . . . 57
11.1 Energie: eine Projektion für alle Rechenzentren . . . 57
11.2 Strommix in Deutschland: Last oder Erzeugung . . . 57
11.3 Rohstoffe: was der Critical Raw Materials Act für Robotik bedeutet . . . 58
11.4 Japan: Abhängigkeit und Gegenmaßnahme . . . 59
11.5 Fachkräfte und Demografie . . . 59
11.6 Der Engpass im Betrieb: Wissen und Rechtsfolgen . . . 60
11.7 Was offen bleibt . . . 60
12 Die nächste Zukunft: Termine und Signale 2026 bis 2028 . . . 61
12.1 Was als Zukunft zählt . . . 61
12.2 Belegte Termine in zeitlicher Folge . . . 61
12.3 Deutschland und der europäische Rahmen . . . 63
12.4 Singapur . . . 64
12.5 Japan und Südkorea . . . 64
12.6 Signale ab 2027 . . . 65
12.7 Was die Daten nicht vorhersagen lassen . . . 66
13 Chancen für Deutschland und den Mittelstand . . . 66
13.1 Eine Roboterdichte auf dem Niveau Japans . . . 66
13.2 Die mittlere Größenklasse als Ansatzpunkt . . . 67
13.3 Die verschobenen Fristen als Vorbereitungszeit . . . 68
13.4 Die Gigafabrik als Rechenzugang . . . 68
13.5 Europäische Programme für die Anwendung . . . 69
13.6 Übersicht . . . 69
14 Risiken . . . 70
14.1 Die Diffusionslücke . . . 70
14.2 Demografie . . . 70
14.3 Finanzierung aus internen Mitteln . . . 71
14.4 Abhängigkeit bei Seltenen Erden . . . 71
14.5 Umsetzungsrisiko der Instrumente . . . 72
14.6 Rechtsunsicherheit im Übergang . . . 72
14.7 Rückläufige Installationen 2025 . . . 72
14.8 Die Gegenposition: Branchenstruktur und Unternehmensgröße . . . 72
14.9 Übersicht . . . 73
15 Übertragbarkeit: Was sich für deutsche Betriebe und Politik daraus ableiten lässt . . . 73
15.1 Vorbemerkung: Ein Zugang deutscher Firmen ist nicht belegt . . . 74
15.2 Baustein 1: Erproben vor der Investition . . . 74
15.3 Baustein 2: Gemeinsame Modelle für viele Betriebe . . . 74

15.4 Baustein 3: Der Staat als Ankerkunde . . . 75
15.5 Baustein 4: Fahrpläne nach Aufgaben und ein Verzeichnis der Hindernisse . . . 75
15.6 Baustein 5: Breite über Anwendungskompetenz . . . 75
15.7 Baustein 6: Komponenten und Rohstoffe als Teil der Robotikpolitik . . . 76
15.8 Übersicht . . . 76
16 Grenzen, offene Fragen und Datenlücken . . . 76
16.1 Grenzen der Untersuchung . . . 77
16.2 Nicht abrufbare Quellen . . . 77
16.3 Offene Fragen und Datenlücken . . . 78
16.4 Forschungsagenda . . . 79
17 Die Studie in einfacher Sprache . . . 79
17.1 Worum es geht . . . 79
17.2 Wie die Studie arbeitet . . . 79
17.3 Was die Studie herausgefunden hat . . . 79
17.4 Neue Regeln . . . 80
17.5 Chancen und Risiken . . . 80
17.6 Was Deutschland lernen kann . . . 80
Anhang A: Rechercheprotokoll . . . 80
A.1 Ablauf und Zeitpunkte . . . 80
A.2 Werkzeuge . . . 80
A.3 Nicht abrufbare Quellen . . . 81
Anhang B: Quellen mit Prüfstatus . . . 82
Anhang C: Transparenz und Publikationsstatus . . . 85
Literatur und Primärquellen . . . 85

18 Rechtliche Hinweise **91**

18.1 Keine Beratung . . . 91
18.2 Keine Zusicherung, keine Konformitätsaussage . . . 91
18.3 Rechtsstand . . . 91
18.4 Haftung . . . 91
18.5 Verweise auf fremde Inhalte . . . 91
18.6 Marken und Produktbezeichnungen . . . 91
18.7 Urheberrecht und Nutzung . . . 91
18.8 Keine personenbezogenen Daten . . . 92
18.9 Unabhängigkeit . . . 92
18.10 Anwendbares Recht . . . 92

Impressum und Verantwortlichkeit

Die folgenden Angaben sind wörtlich dem Impressum von fluxlane.eu entnommen, abgerufen am 24. September 2026. Sie wurden nicht ergänzt und nicht umformuliert.

Angabe	Inhalt
Angaben gemäß § 5 DDG	WebTrades GmbH Am Ölberg 2 55459 Grolsheim Deutschland
Vertreten durch	Geschäftsführerin: Laurice Bussmer
Kontakt	Telefon: 0170 890 78 00 E-Mail: info@fluxlane.eu
Registereintrag	Eintragung im Handelsregister Registergericht: Amtsgericht Mainz Registernummer: HRB 54479
Umsatzsteuer-ID	Umsatzsteuer-Identifikationsnummer gemäß § 27 a Umsatzsteuergesetz: DE461650292
Redaktionell verantwortlich	Verantwortlich für den Inhalt nach § 18 Abs. 2 MStV: Laurice Bussmer, Am Ölberg 2, 55459 Grolsheim
Verbraucherstreitbeilegung	Wir sind nicht bereit oder verpflichtet, an Streitbeilegungsverfahren vor einer Verbraucherschlichtungsstelle teilzunehmen.

Redaktioneller Hinweis des Herausgebers (wörtlich)

„fluxlane ist ein unabhängiges, redaktionelles Fachportal für Robotik, autonome physische Systeme und verkörperte KI. Der redaktionelle Geltungsbereich umfasst Industrie und Produktion, Logistik, Medizin, Pflege und Rehabilitation, Service und Haushalt sowie Forschung, Hersteller, Markt und Regulierung; künstliche Intelligenz gehört dazu, auch ohne physischen Körper. Die Inhalte dienen der allgemeinen Information und stellen keine Rechts-, Kauf- oder Anlageberatung dar. Angaben zu Preisen, Verfügbarkeit und Terminen erfolgen ohne Gewähr und können sich jederzeit ändern.“

Zitierweise

FluxLane (2026): *Industrielle KI und Robotik — Deutschlands Umsetzungschancen im Vergleich mit Singapur, Japan und Südkorea.* Fassung 1.0, Stand 26. Oktober 2026. Herausgegeben von der WebTrades GmbH, Grolsheim, fluxlane.eu.

Herstellung dieses Dokuments

Das vorliegende PDF ist maschinell aus der Markdown-Fassung des Manuskripts gesetzt. Vor dem Satz prüft das Erzeugungsskript Belegziffern gegen das Literaturverzeichnis, die Anrede und benannte Datumsfallen; schlägt eine Prüfung fehl, entsteht kein Dokument. Das Erzeugungsskript und die Quelldatei liegen dem Herausgeber vor. Gesetzt wurde mit IBM Plex Sans und Sora.

Abbildungsnachweis

Dieses Dokument enthält keine Fotografien. Alle Abbildungen sind Diagramme, die beim Satz aus den im Text belegten Werten gezeichnet wurden; die jeweilige Fundstelle steht unter der Abbildung. Die Diagramme sind KI-gestützt erstellt.

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Bundesregierung will mit KI die Arbeitsproduktivität erhöhen [1]. Hinzu kommt der demografische Druck: Nach der Bevölkerungsvorausberechnung sinkt die Zahl der Menschen im Alter von 20 bis 66 Jahren bis 2035 um 3,2 bis 4,9 Millionen [2]. Bei der Ausstattung mit Industrierobotern liegt Deutschland auf dem Niveau Japans, aber deutlich hinter Südkorea und Singapur: Im Datenjahr 2024 kamen laut IFR-Mitteilung vom 8. April 2026 (World Robotics 2025) auf 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe in Deutschland 449 Industrieroboter, in Japan 446, in Singapur 818 und in Südkorea 1.220 [3]. Zugleich gingen die Installationen in Deutschland 2025 auf weniger als 25.000 Einheiten zurück, acht Prozent weniger als im Vorjahr [4]. Die KI-Anwendung, um die es bei Physical AI geht, ist im Mittelstand selten: Im Zeitraum 2022 bis 2024 setzte laut KfW ein Prozent der Mittelständler KI zur autonomen Bewegung von Maschinen ein [5]. Anlass der Studie ist die Reise des Bundeskanzlers vom 26. bis 30. Oktober 2026 nach Singapur, Japan und in die Republik Korea [6, 7].

Fragestellung. Die Studie fragt, mit welchen belegten Instrumenten Deutschland, Singapur, Japan und Südkorea industrielle KI und Robotik in die Breite ihrer Wirtschaft bringen wollen, auf welcher Umsetzungsstufe diese Instrumente zum 25. Oktober 2026 stehen und was sich daraus für deutsche Betriebe und für die Politik ableiten lässt. Im Mittelpunkt steht ein Betrieb mit 50 bis 500 Beschäftigten. Für ihn wird bei jedem Instrument gesondert benannt, was er heute nutzen kann und was erst angekündigt ist. Den europäischen Rahmen behandelt die Studie mit, weil er in Deutschland unmittelbar gilt.

Methode. Die Untersuchung ist eine Dokumenten- und Sekundärdatenanalyse ohne eigene Erhebung. Grundlage sind 96 Primär- und Sekundärtexte, davon 94 von Regierungen, Behörden, Statistikämtern, Verbänden und Gesetzgebern sowie eine Unternehmens- und eine Pressemitteilung, die am 25. und 26. Oktober 2026 abgerufen oder als datierte Archivkopie übernommen wurden; jede Datei trägt eine SHA-256-Prüfsumme. Die tragenden Zahlen, Daten und Zitate stehen mit wörtlichem Belegtext in einem Belegregister, das vor dem ersten Kapitel aus den Quellen angelegt und während der Kapitelarbeit um datierte, am Wortlaut geprüfte Zeilen ergänzt wurde; weitere Zahlen der Kapitel sind am abgelegten Volltext belegt. Instrumente sind nach sechs Umsetzungsstufen eingeordnet, von „angekündigt“ bis „evaluiert“, und Kennzahlen werden nur nach zehn Vergleichbarkeitsregeln nebeneinandergestellt. Geprüft wurden außerdem 21 Ausgangshypothesen aus einem vorbereitenden Rechercheschritt. Ein Länder-Ranking und eigene Prognosezahlen enthält die Studie nicht.

Ergebnisse. Die Kennzahlen tragen weniger, als ihre Verwendung in der Debatte nahelegt. Dichtewerte verschiedener IFR-Berichtsstände bilden keine Zeitreihe, weil die IFR den Nenner revidiert hat; der Weltwert fiel zwischen zwei Mitteilungen von 162 auf 132, obwohl der Bestand wuchs [8, 3, 9]. Die Dichte zählt Geräte und misst keine KI-Reife. Auch die drei deutschen KI-Nutzungsquoten von 20, 26 und 25,97 Prozent stammen aus Erhebungen mit verschiedener Abgrenzung; nur die beiden amtlichen Werte für 2025 decken sich weitgehend [5, 10, 11]. Für den Mittelstand im engeren Sinn ist die Lage klar umrissen: 2025 nutzten 36 Prozent der Unternehmen mit 50 bis 249 Beschäftigten KI [10]. Unter den Unternehmen, die KI erwogen, aber nicht eingeführt haben, nannten 72 Prozent fehlendes Wissen und 62 Prozent unklare rechtliche Folgen, zu hohe Kosten dagegen 32 Prozent [12]. Digitalisierungsvorhaben bezahlt der Mittelstand laut KfW zu 88 Prozent aus internen Mitteln [13].

In Deutschland sind vor allem Strukturen für Forschung und große Verbünde beschlossen. Für die Konzeptphase der Robo-Hubs sind nur Hochschulen und Forschungseinrichtungen antragsberechtigt, die Einbindung der Industrie in die Konzeptentwicklung ist aber ausdrücklich gefordert. Als Anwender in Transferprojekten sollen Betriebe die Hubs erst in der Aufbauphase nach der für Ende August 2027 angestrebten Siegerauswahl nutzen, bei selbst getragenem Aufwand und mit dem geistigen Eigentum beim Hub beziehungsweise den geförderten Forschungseinrichtungen [14]. Die Mitteilung der Bundesregierung zur Absichtserklärung mit NVIDIA vom 19. Oktober 2026 nennt weder Budget noch Laufzeit [15]. Unmittelbar nutzbar sind die Mittelstand-Digital-Zentren, nach IHK-Angaben kostenfrei für kleine und mittlere Unternehmen, in der laufenden Förderperiode bis 31. Dezember 2026 [16, 17]. In Kraft ist seit dem 29. Juli 2026 das KI-Marktüberwachungsgesetz mit der Bundesnetzagentur als grundsätzlich zuständiger Marktüberwachungsbehörde [18].

Die Vergleichsländer setzen verschiedene Schwerpunkte. Singapur will mit dem National AI Impact Programme 10.000 Unternehmen in drei Jahren erreichen [19]. Den Anstieg der KI-Nutzung unter KMU von 4,2 auf 14,5 Prozent

im Datenjahr 2024, also vor dem Programmstart, trugen laut IMDA vor allem Kleinst- und Kleinbetriebe mit fertigen generativen KI-Werkzeugen, während das Kompetenzzentrum für die Fertigung knapp 30 Unternehmen unterstützt hat [20, 21]. Japans KI-Robotik-Strategie nennt rund zehn Millionen Roboter bis 2040 in 18 Feldern; die Feldwerte sind jedoch unter der Annahme berechnet, dass die politischen Ressourcen ausreichend genutzt werden können, und einen Betrag für den Haushalt 2027 nennen weder das Sitzungsprotokoll noch das Hauptmaßnahmenpaket [22, 23, 24, 25]. Südkorea will als Staat selbst kaufen: 250 heimische Humanoide im Jahr 2027, insgesamt 1.080 bis 2030, unter anderem für Hochschulen und staatliche Forschungsinstitute [26, 27].

Auf europäischer Ebene hat die Verordnung (EU) 2026/1744 die Anforderungen und Pflichten aus Kapitel III Abschnitte 1 bis 3 der KI-Verordnung verschoben: für Anhang-III-Systeme auf den 2. Dezember 2027, für Hochrisiko-Systeme nach Artikel 6 Absatz 1 im Zusammenhang mit Produkten nach Anhang I Abschnitt A auf den 2. August 2028 [28]. Für Maschinen gilt ein eigener Weg. Schon ab dem 20. Januar 2027 stellt die Maschinenverordnung eigene Anforderungen an Maschinen und Sicherheitsbauteile mit lernendem Verhalten, bei sicherheitsrelevanten Bauteilen mit Beteiligung einer notifizierten Stelle [29]. Zusätzliche, aus der KI-Verordnung abgeleitete Anforderungen sollen über delegierte Rechtsakte zur Maschinenverordnung ab dem 2. August 2028 gelten; ob die Kommission sie bereits erlassen hat, hat diese Untersuchung nicht geprüft [28].

Quer über alle Länder zeigt sich ein gemeinsames Muster: Die Rechtsakte sind in Kraft, die Förderinstrumente überwiegend angekündigt oder ausgeschrieben, und keines der verglichenen Instrumente ist im Hinblick auf seine Wirkung auf die Nutzung von KI oder Robotik evaluiert. Die nächste Zukunft besteht aus datierten Entscheidungen: Die Ausschreibung für die KI-Gigafabriken schließt am 12. November 2026, die Robo-Hub-Vorlaufprojekte sollen am 1. Dezember 2026 starten, die Maschinenverordnung gilt im Wesentlichen ab dem 20. Januar 2027 [30, 14, 29]. Das nationale KI-Reallabor, das die Bundesnetzagentur nach dem KI-Marktüberwachungsgesetz errichten muss, hat nach der KI-Verordnung bis zum 2. August 2027 einsatzbereit zu sein [18, 28]. Als Chancen belegt die Studie eine Roboterdichte auf dem Niveau Japans, eine mittlere Größenklasse mit erkennbarem Ansatzpunkt, die verschobenen Fristen der KI-Verordnung als Vorbereitungszeit sowie europäische Rechen- und Anwendungsangebote. Als Risiken belegt sie die Diffusionslücke, die demografische Spanne von 3,2 bis 4,9 Millionen weniger Menschen im Erwerbsalter bis 2035, die Abhängigkeit von Innenfinanzierung, Rohstoffabhängigkeiten und das Umsetzungsrisiko der Instrumente [2, 13]. Hinzu kommt Rechtsunsicherheit im Übergang: Den Erlassstand der delegierten Rechtsakte zur Maschinenverordnung hat diese Untersuchung nicht geprüft, er ist offen, und die Behördenzuständigkeit für KI in Maschinen ist nach dem Wortlaut ungeklärt [28, 18]. Eine Gegenposition, die die Studie weder bestätigen noch widerlegen kann, erklärt einen Teil des Abstands zu Asien mit Branchenstruktur und Unternehmensgröße; die IFR begründet die Dichtewerte selbst mit Strukturmerkmalen [3, 10].

Schlussfolgerung. Nach Einschätzung der Redaktion liegt der Engpass für industrielle KI in Deutschland weniger bei Robotern als bei Wissen, Rechtsklarheit und Finanzierung im einzelnen Betrieb. Die deutschen Instrumente adressieren diese Punkte teilweise, erreichen einen Betrieb mit 50 bis 500 Beschäftigten aber heute vor allem als kostenfreie Orientierung für KMU, während geförderte Erprobung in den Robo-Hubs frühestens ab Herbst 2027 vorgesehen ist. Aus den Vergleichsländern übertragbar sind Mechanismen, keine Zielzahlen: Erproben vor der Investition, gemeinsame Modelle, staatliche Ankernachfrage, Fahrpläne nach Aufgaben, Anwendungskompetenz und die Verknüpfung von Robotik- und Rohstoffpolitik. Weil keines der Instrumente auf seine Wirkung für KI oder Robotik evaluiert ist, sind diese Bausteine begründete Hypothesen. Ab 2027 lässt sich an Teilnahmezahlen, Vergaben und ersten Käufen ablesen, ob einzelne Instrumente in Gang kommen; einen Gesamtvergleich der vier Länder tragen auch diese Signale nicht.

Schlüsselbegriffe: industrielle KI; Physical AI; Robotik; Diffusion; Umsetzungsstufe; Mittelstand; Roboterdichte; KI-Verordnung; Maschinenverordnung; Singapur; Japan; Südkorea.

Entscheidungsrelevante Ergebnisse

Die folgenden Kernaussagen fassen zusammen, was eine Geschäftsführung, ein Verband oder eine politische Stelle aus der Studie für eigene Entscheidungen mitnehmen kann. Jede Aussage verweist auf ihre Belege; Einordnungen der Redaktion sind als solche gekennzeichnet.

1. **Die Roboterbasis ist da, ein KI-Vorsprung folgt daraus nicht.** Deutschland liegt im Datenjahr 2024 mit 449 Industrierobotern je 10.000 Beschäftigte drei Einheiten vor Japan, aber deutlich hinter Südkorea und Singapur [3]. Die Dichte zählt Geräte, nicht KI, und ihr Nenner wird zwischen Berichtsständen revidiert [8, 3]. Bei der Herstellung liegt Japan nach eigener Angabe vorn: Japanische Hersteller hielten 2024 laut einer von der Strategie zitierten NEDO-Erhebung rund sieben Zehntel des Markts für Industrieroboter, vor allem in Automobil- und Halbleiterfertigung [31]; einen vergleichbaren Marktanteil deutscher Hersteller enthält der Quellenbestand nicht. Die Produktion in Deutschland sank 2025 um 24 Prozent, nach IFR auch wegen der Verlagerung in die Absatzmärkte [32].

1. **Die KI-Anwendung, um die es bei Physical AI geht, ist selten.** Ein Prozent des Mittelstands nutzte 2022 bis 2024 KI zur autonomen Bewegung von Maschinen; von den KI nutzenden Unternehmen ab zehn Beschäftigten waren es 2025 sechs Prozent [5, 10]. Beide Werte haben verschiedene Nenner, zeigen aber übereinstimmend, dass diese Form der KI selten ist; nach Einschätzung der Redaktion klafft zusammen mit der Roboterdichte gelesen eine Lücke zwischen Automatisierung und KI.

1. **Wissen und Rechtsklarheit fehlen häufiger als Geld, doch das Geld kommt aus eigener Kasse.** Unter den zögernden Unternehmen nennen 72 Prozent fehlendes Wissen und 62 Prozent unklare rechtliche Folgen, 32 Prozent zu hohe Kosten [12]. Zugleich finanziert der Mittelstand Digitalisierung zu 88 Prozent intern, über Bankkredite zu 8 Prozent [13]. Nach Einschätzung der Redaktion zählen deshalb Angebote, die das Risiko vor einer Investition senken, mindestens so viel wie Fördersummen.

1. **Aus den deutschen Instrumenten ist heute vor allem Orientierung verfügbar.** Die Mittelstand-Digital-Zentren unterstützen kleine und mittlere Unternehmen nach IHK-Angaben kostenfrei, die laufende Förderperiode endet am 31. Dezember 2026; ob Betriebe mit 250 bis 500 Beschäftigten das Angebot nutzen können, belegen die Quellen nicht [16, 17]. Geförderte Erprobung in Robo-Hubs ist für die Zeit nach der angestrebten Siegerauswahl Ende August 2027 vorgesehen [14]. Auf EU-Ebene beschrieb der Aktionsplan vom April 2025 Erprobungsangebote der European Digital Innovation Hubs („test before invest“) und Testing and Experimentation Facilities, unter anderem für die Fertigung; ihren aktuellen Stand in Deutschland hat die Studie nicht geprüft [33].

1. **Die Robo-Hubs haben eigene Bedingungen.** Im Konzeptwettbewerb sind Unternehmen von der Förderung ausgenommen, ihre Einbindung in die Konzeptentwicklung ist aber ausdrücklich gefordert. Für die Umsetzungsphase sieht die Richtlinie Verbundvorhaben vor, an denen neben Hochschulen und Forschungseinrichtungen auch Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft beteiligt sind. In den Transferprojekten der Aufbauphase finanzieren Unternehmen ihre eigenen Aufwände selbst, und das geistige Eigentum soll vollständig beim Hub beziehungsweise bei den geförderten Forschungseinrichtungen verbleiben [14]. Wer eine Lösung als eigenen Wettbewerbsvorteil entwickeln will, muss diese Regel vorab bewerten.

1. **Für Maschinen mit lernendem Verhalten gilt das neue Recht ab Januar 2027, ein zweiter Teil folgt 2028.** Ab dem 20. Januar 2027 stellt die Maschinenverordnung eigene Anforderungen an Maschinen und Sicherheitsbauteile mit lernendem Verhalten, bei sicherheitsrelevanten Bauteilen mit Beteiligung einer notifizierten Stelle [29]. Zusätzliche, aus der KI-Verordnung abgeleitete Anforderungen sollen über delegierte Rechtsakte ab dem 2. August 2028 gelten; für Hochrisiko-KI nach Artikel 6 Absatz 1 in Maschinen gilt von Kapitel III der KI-Verordnung nur noch Artikel 6 Absatz 1, ein eingebautes System kann über einen Anwendungsfall nach Anhang III aber weiter hochriskant sein [28]. Die Anforderungen und Pflichten aus Kapitel III Abschnitte 1 bis 3 gelten für Anhang-III-Systeme ab dem 2. Dezember 2027 [28]. Nach Einschätzung der Redaktion ist der Januar 2027 deshalb der Termin, auf den sich Maschinenhersteller zuerst einstellen müssen.

1. **Südkorea will kaufen, aber für die Forschung.** Die Regierung will 2027 zunächst 250 heimische Humanoide kaufen, bis 2030 insgesamt 1.080, und unter anderem an Hochschulen und staatliche Forschungsinstitute geben; ein beschlossener Haushalt 2027 ist nicht belegt [26, 27]. Davon zu trennen ist das Ziel von 1.000 KI-Robotern jährlich in Betrieben, für das weder Startjahr noch Budget genannt sind [34].

1. **Japan plant lang und sichert Rohstoffe staatlich.** Rund zehn Millionen Roboter bis 2040 sind ein Ziel, dessen Feldwerte unter der Annahme berechnet sind, dass die politischen Ressourcen ausreichend genutzt werden

können [22, 23]. Industrieroboter, Dauermagnete und Seltenerdmetalle stehen auf derselben Liste besonders wichtiger Güter der Wirtschaftssicherheit [35]. Importe schwerer Seltener Erden stammen nach dem Weißbuch 2026 vollständig aus China; über Beteiligungen der staatlichen JOGMEC an Projekten mit Lynas und Caremag sind alternative Bezugsquellen gesichert [36].

1. **Singapur setzt für die Breite auf Software und Qualifizierung.** Das Ziel von 10.000 Unternehmen steht, Teilnahmezahlen nennen die ausgewerteten Quellen nicht [19, 21]. Den Anstieg der KMU-Quote im Datenjahr 2024, vor dem National AI Impact Programme, trugen laut IMDA vor allem Kleinst- und Kleinbetriebe mit fertigen generativen KI-Werkzeugen; nach Einschätzung der Redaktion entsteht die industrielle Tiefe in wenigen forschungsgestützten Projekten [20, 21].

1. **Ein allgemeiner Zugang deutscher Firmen zu den asiatischen Programmen ist nicht belegt.** Singapurs Rechenprogramm beschreibt seine Zielgruppe als „Singapore-based companies“ und hat nach eigener Angabe mehr als 350 Unternehmen aufgenommen, Südkoreas Kaufplan richtet sich ausdrücklich auf heimische Technik, und für Japan ergab die Textsuche keinen Zugangsbezug [21, 26, 22]. Nur die singapurische Embodied AI Challenge sieht ausdrücklich Teams aus dem Ausland vor, die endgültigen Teilnahmebedingungen stehen aus [37, 38]. Übertragbar sind deshalb vor allem Mechanismen in deutsche oder europäische Instrumente, Teilnahmen nur im Einzelfall.

1. **Keines der verglichenen Instrumente ist auf seine Wirkung für die Nutzung von KI oder Robotik evaluiert.** Die vorliegende Evaluation von Mittelstand-Digital beruht auf Selbstauskünften und betrifft die Digitalisierung, und auch die übrigen nächstliegenden Wirkungsangaben beruhen auf Selbstauskünften der Geförderten [17, 20]. Für die Zielzahlen der vier Länder nennen die Quellen keinen Zwischenstand, etwa für das Ziel der deutschen KI-Roadmap, bis 2029 über 50 Prozent der KMU im produzierenden Gewerbe mit KI in den Kernprozessen zu erreichen [39]; Ist-Zahlen gibt es nur für einzelne Programme [21]. Messbar wird zuerst, ob Instrumente in Gang kommen: an den Vergabeentscheidungen zu den KI-Gigafabriken, die die Kommission „by early 2027“ erwartet, an der Robo-Hub-Siegerauswahl, an den ersten koreanischen Käufen 2027 und an den Teilnahmezahlen des singapurischen Programms [30, 14, 26, 19].

1 Einordnung: Was diese Studie ist und was sie nicht ist

Diese Studie vergleicht staatliche Instrumente für industrielle KI und Robotik in Deutschland, Singapur, Japan und Südkorea, ergänzt um den europäischen Rahmen. Sie ordnet jedes Instrument nach seiner Umsetzungsstufe ein, vom angekündigten Ziel bis zur evaluierten Maßnahme, und fragt bei jedem, was ein Betrieb mit 50 bis 500 Beschäftigten tatsächlich nutzen kann. Grundlage sind ausschließlich veröffentlichte Dokumente: Gesetze und Verordnungen, Strategien, Förderrichtlinien, amtliche Statistiken und Mitteilungen von Verbänden. Jede Zahl ist mit ihrer Quelle, ihrem Datum und ihrer Bezugsgröße wiedergegeben. Wo eine Quelle schweigt, steht in der Studie eine benannte Lücke und kein Schätzwert.

Die Studie richtet sich an Geschäftsführungen und Fachverantwortliche mittelständischer Industriebetriebe, an Verbände und an Stellen in Politik und Verwaltung, die über Förderung und Rahmenbedingungen entscheiden. Sie soll diesen Leserinnen und Lesern ermöglichen, Ankündigungen von umgesetzten Maßnahmen zu unterscheiden und Kennzahlen aus der öffentlichen Debatte richtig einzuordnen. Wofür sie sich nicht eignet, legen die folgenden Einschränkungen fest. Sie gelten für alle Kapitel und werden dort nicht in jedem Absatz wiederholt.

1. **Keine eigene Erhebung.** Die Studie ist eine Dokumenten- und Sekundärdatenanalyse. Es wurden keine Unternehmen befragt, keine Interviews geführt und keine Messungen vorgenommen. Alle Nutzungsquoten, Bestandszahlen und Finanzierungsanteile stammen aus den Erhebungen der genannten Statistikämter, Verbände und Forschungseinrichtungen, mit deren Grundgesamtheiten und Methodenbrüchen. Eigene Rohdaten liegen nicht vor.

1. **Keine Fallstudien.** Einzelne Unternehmen erscheinen nur, soweit eine Quelle sie als Beispiel nennt, etwa als Teilnehmer eines Programms oder als Sponsor eines Wettbewerbs. Ihre Angaben wurden nicht vor Ort geprüft. Herstellerangaben gelten in dieser Studie nicht als Beleg für die Wirkung eines Instruments oder einer Technik,

und Angaben von geförderten Unternehmen über den eigenen Nutzen sind als Selbstauskunft gekennzeichnet.

1. **Kein Ranking.** Die Studie vergibt keine Gesamtnote und stellt keine Rangfolge der Länder auf. Die verfügbaren Kennzahlen beziehen sich auf verschiedene Grundgesamtheiten, Zeiträume und Begriffe, und keines der verglichenen Instrumente ist im Hinblick auf seine Wirkung auf die Nutzung von KI oder Robotik evaluiert; die vorliegende Evaluation von Mittelstand-Digital beruht auf Selbstauskünften und betrifft die Digitalisierung [17]. Wo die IFR selbst Ränge nennt, etwa bei der Roboterdichte, gibt die Studie sie als Angabe der IFR mit Berichtsstand wieder. Eigene Prognosezahlen und Szenariorechnungen enthält die Studie ebenfalls nicht.

1. **Stand vor der Reise.** Der Informationsstand ist der 25. Oktober 2026, ergänzt um zwei Abrufe vom 26. Oktober 2026. Die Reise des Bundeskanzlers nach Singapur, Japan und Südkorea vom 26. bis 30. Oktober 2026 ist Anlass der Studie, ihre Ergebnisse sind nicht Gegenstand dieser Fassung. Vereinbarungen, die auf der Reise getroffen werden, kann eine Fassung 1.1 ergänzen. Für Termine nach dem 25. Oktober 2026 gibt die Studie wieder, was die Urheber zu diesem Stand angekündigt haben.

1. **KI-gestützt.** Recherche, Quellenablage, Belegregister, Kapitelentwürfe und Prüfungen wurden mit KI-Systemen erarbeitet und redaktionell gesteuert. Jede Zahl wurde gegen den abgelegten Wortlaut geprüft, doch Fehler können verbleiben, insbesondere bei dynamischen Webseiten, bei maschinell extrahierten PDF-Texten und bei Quellen auf Japanisch und Koreanisch, deren deutsche Wiedergabe eine eigene Übersetzung ist. Die Prüfrollen arbeiteten ebenfalls KI-gestützt und ersetzen keine unabhängige menschliche Doppelprüfung.

1. **Keine externe Begutachtung.** Die Studie hat kein externes fachwissenschaftliches oder juristisches Begutachtungsverfahren durchlaufen. Die internen Prüfungen auf Fakten, Recht, Sprache und Leserperspektive sind Teil des Erstellungsprozesses und keine Peer Review. Wer Ergebnisse für eine Entscheidung mit Bindungswirkung nutzt, sollte die tragenden Primärquellen selbst prüfen; das Quellenverzeichnis und Anhang B nennen sie mit Abrufdatum.

Die Rechtsangaben der Studie geben den Wortlaut der Rechtsakte zum genannten Stand wieder und legen ihn nur so weit aus, wie der Text es selbst trägt. Ob eine bestimmte Anlage, ein KI-System oder ein Unternehmen unter eine Pflicht fällt, hängt vom Einzelfall ab und wird hier nicht beurteilt. Diese Darstellung ersetzt keine einzelfallbezogene Rechtsberatung.

2 Anlass, Fragestellung und Begriffe

2.1 Anlass: die Reise des Bundeskanzlers

Am 23. Oktober 2026 kündigte die Bundesregierung an, dass Bundeskanzler Friedrich Merz vom 26. bis 30. Oktober 2026 Singapur, Japan und die Republik Korea besuchen wird [6]. Nach der Mitteilung sind am 27. Oktober Gespräche mit Premierminister Lawrence Wong und eine Rede im Rahmen der Singapore Lecture geplant, ab dem 28. Oktober in Japan unter anderem die Teilnahme am German-Japanese Business Summit und ab dem 29. Oktober der Besuch in Südkorea, wo der Kanzler am 30. Oktober die 19. Asien-Pazifik-Konferenz der Deutschen Wirtschaft in Seoul eröffnen soll [6]. Begleitet wird er von einer Wirtschaftsdelegation [6]. Ein späterer Abruf derselben Seite am 25. Oktober 2026 zeigte keine inhaltliche Änderung des Programms [7].

Als Zweck nennt die Mitteilung die Vertiefung der sicherheitspolitischen und wirtschaftlichen Zusammenarbeit; künstliche Intelligenz oder Robotik erwähnt sie nicht [6]. Die Verbindung zum Thema dieser Studie ergibt sich aus dem zeitlichen Umfeld. Eine Woche zuvor, am 19. Oktober 2026, hatten das Bundeswirtschafts- und das Bundesforschungsministerium eine Absichtserklärung mit NVIDIA zu KI-Modellen für Physical AI unterzeichnet, veröffentlicht unter der Überschrift, die Bundesregierung stärke industrielle KI über die Zusammenarbeit mit internationalen Partnern [15]. Nach Einordnung der Redaktion fällt die Reise damit in eine Phase, in der die Bundesregierung industrielle KI auch über internationale Partnerschaften voranbringen will [15].

Die Reise ist Anlass, nicht Beleg. Aus dem Programm geht hervor, wohin der Kanzler reist und welche Termine vorgesehen sind, nicht, was dort vereinbart wird. Diese Fassung gibt deshalb den Stand vor der Reise wieder und vergleicht die Instrumente, die die drei Gastländer bis zum 25. Oktober 2026 selbst veröffentlicht haben. Was auf der Reise beschlossen wird, kann eine spätere Fassung aufnehmen.

2.2 Ein Gastbeitrag als zweiter Anstoß

Den zweiten Anstoß gab nach der Wiedergabe, die der Redaktion vorlag, ein Gastbeitrag auf n-tv.de vom 25. Oktober 2026. Nach dieser Wiedergabe stammt er vom Leiter eines Regionalprogramms der Konrad-Adenauer-Stiftung in Singapur, beschreibt Singapur, Japan und Südkorea als Beispiele für industrielle Transformation und hält die Übertragbarkeit auf Deutschland wegen der mittelständischen Struktur für begrenzt. Der Text selbst ließ sich nicht abrufen, weil seine Adresse nicht ermittelt werden konnte; die Seitensuche von n-tv.de fand nur einen älteren Text (Anhang A). Medium, Datum und Inhalt sind deshalb nur aus der Wiedergabe bekannt, und die Studie übernimmt aus dem Beitrag keine Zahl und keine Tatsachenbehauptung.

Brauchbar war der Beitrag trotzdem, und zwar als Frage. Ob die drei Länder tatsächlich andere Instrumente einsetzen als Deutschland, und ob die Mittelstandsstruktur die Übertragbarkeit begrenzt, prüft die Studie an eigenen Quellen. Die zweite Frage greift Kapitel 14.8 als Gegenposition auf. Aus der Diskussion des Beitrags entstand außerdem ein vorbereitender Rechercheschritt mit 21 bezifferten Ausgangshypothesen, deren Prüfung Kapitel 3.9 darstellt.

2.3 Leitfrage und Teilfragen

Die Leitfrage der Studie lautet: Mit welchen belegten Instrumenten wollen Deutschland, Singapur, Japan und Südkorea industrielle KI und Robotik in die Breite ihrer Wirtschaft bringen, auf welcher Umsetzungsstufe stehen diese Instrumente zum 25. Oktober 2026, und was lässt sich daraus für deutsche Betriebe und für die Politik ableiten? Die Frage zielt auf Instrumente und ihren Stand, nicht auf die technische Leistungsfähigkeit einzelner Systeme. Sie beantwortet deshalb nicht, welche Roboter oder Modelle die besten sind, sondern wer was angekündigt, beschlossen, finanziert oder umgesetzt hat.

Tabelle 2.1 Teilfragen und Kapitel

Kennung	Teilfrage	Kapitel
F1	Welche Kennzahlen zu Robotern, KI-Nutzung und Demografie liegen vor, und was lässt sich mit ihnen vergleichen?	4
F2	Welche Instrumente setzen die vier Länder und die EU ein, und auf welcher Umsetzungsstufe stehen sie?	5 bis 9
F3	Welche Muster zeigen sich im Querschnitt, und welche Randbedingungen begrenzen die Instrumente?	10, 11
F4	Welche Termine, Fristen und Signale sind für 2026 bis 2028 datiert?	12
F5	Welche Chancen und Risiken ergeben sich für Deutschland, und welche Mechanismen sind übertragbar?	13 bis 15

Der Maßstab für alle Teilfragen ist ein Betrieb mit 50 bis 500 Beschäftigten in der Industrie. Für ihn wird jeweils gesondert benannt, ob er ein Angebot heute nutzen kann, ob er antragsberechtigt ist und welche Bedingungen daran hängen. Die Grenze von 500 Beschäftigten ist eine Festlegung der Redaktion und keine amtliche Definition; die amtlichen Statistiken ziehen ihre Grenzen anders.

Die Auswahl der Vergleichsländer folgt der Reise und hat einen zweiten Grund. Nach der IFR-Mitteilung vom 8. April 2026 standen im Datenjahr 2024 genau diese vier Länder bei der Roboterdichte an der Spitze: Südkorea mit 1.220, Singapur mit 818, Deutschland mit 449 und Japan mit 446 Industrierobotern je 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe [3]. Die Studie vergleicht damit Länder mit ähnlich hoher Ausstattung, aber verschiedenen Instrumenten. China erscheint nur als Kontext, bei Installationen, Dichterevision und Rohstoffen [4, 8, 36].

2.4 Begriffe

Industrielle KI. Die Studie versteht darunter KI-Anwendungen in Produktion, Logistik und produktionsnahen Prozessen, von der Datenanalyse über die Planung bis zur Steuerung von Maschinen. Das ist eine Arbeitsdefinition der Redaktion. Den Begriff verwendet auch die Bundesregierung, etwa wenn die Plattform Industrie 4.0 zum „zentralen Strategienetzwerk für Industrielle KI“ werden soll [15]. Eine amtliche Definition, an der sich Nutzung oder Marktanteil messen ließen, liegt im Quellenbestand nicht vor; die KI-Roadmap der Bundesregierung nennt den Marktanteil bei industrieller KI zwar als Indikator, aber kein Zahlenziel [39].

Physical AI. Gemeint ist KI, die in der physischen Welt wahrnimmt, entscheidet und handelt, also in Robotern, Fahrzeugen oder Anlagen. Japans KI-Grundplan spricht von „physischer“ KI, die im realen Raum Wert schafft [40], Südkoreas Wachstumsstrategie nennt sieben Schwerpunktbereiche von Fabriken bis Halbleitern [34]. In den Statistiken ist die Anwendung am ehesten über die Technologieart „autonome Bewegung von Maschinen“ erfasst, die Destatis, Eurostat und die KfW jeweils mit eigenem Nenner ausweisen [10, 11, 5]. Die Studie behandelt Physical AI als Teil der industriellen KI, nicht als eigenes Feld.

Robotik. Die Länder zählen verschiedene Geräte. Die IFR-Statistik erfasst Industrieroboter [3]. Japans Strategie richtet sich auf Mehrzweckroboter, die Fortbewegung und Handhabung verbinden [31], Südkorea spricht von „fortgeschrittenen“ Robotern und von Humanoiden [41, 26]. Wer Ziele verschiedener Länder nebeneinanderstellt, vergleicht deshalb oft verschiedene Gerätegruppen; Kapitel 10.5 zeigt das an den Zielzahlen.

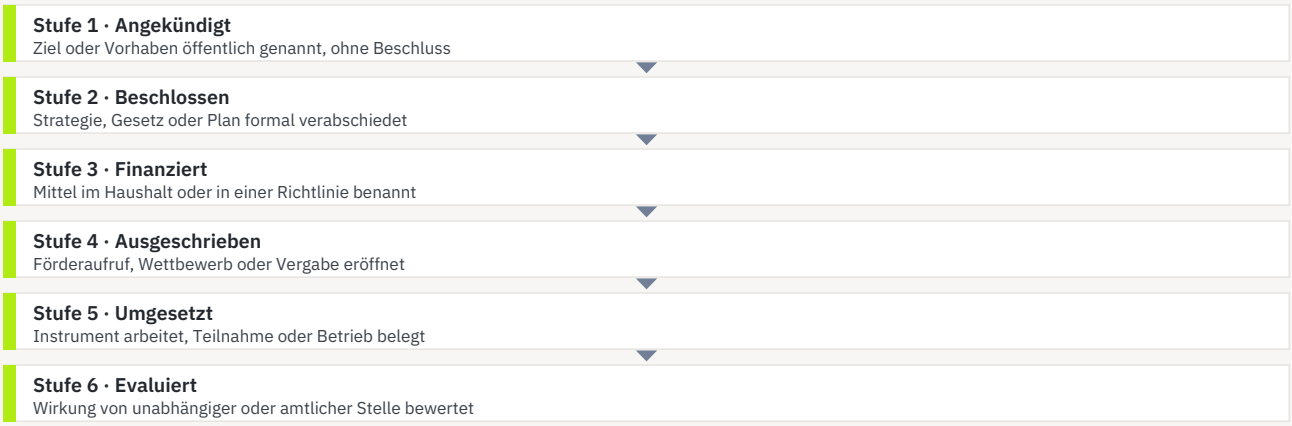
Diffusion. Unter Diffusion versteht die Studie die Verbreitung einer Technik in der Breite der Betriebe, gemessen als Anteil der Unternehmen, die sie nutzen. Davon zu unterscheiden ist die Tiefe, also wie weit KI in Kernprozesse wie Fertigung und Steuerung reicht. Eine hohe Quote kann auf breiter Nutzung einfacher Werkzeuge beruhen, wie das Beispiel Singapur zeigt (Kapitel 6.3) [20]. Wo diese Studie von einer Diffusionslücke spricht, meint sie den Abstand zwischen verbreiteter Automatisierung und seltener KI in Bewegung und Steuerung von Maschinen.

Mittelstand. Der Begriff hat in den Quellen verschiedene Grenzen. Die KfW zählt alle Unternehmen bis 500 Millionen Euro Jahresumsatz zum Mittelstand, Kleinstbetriebe eingeschlossen [42]. Destatis weist Größenklassen nach Beschäftigten aus, darunter 50 bis 249 [10]. Die Studie nennt bei jedem Wert die Abgrenzung der Quelle.

Umsetzungsstufe. Jedes Instrument wird einer von sechs Stufen zugeordnet: angekündigt, beschlossen, finanziert, ausgeschrieben, umgesetzt oder evaluiert. Die Stufen sind eine Einteilung der Redaktion und keine amtliche Klassifikation. Ihre Abgrenzung und die Regeln für die Zuordnung beschreibt Kapitel 3.5.

3 Methode

Abbildung 1 — Sechs Umsetzungsstufen, nach denen diese Studie Instrumente einordnet



Ordnungsschema der Redaktion nach Kapitel 3 dieser Studie. Die Stufen sind gleichrangig dargestellt; eine höhere Stufe ist kein Qualitätsurteil über das Instrument.

3.1 Design

Die Studie ist eine Dokumenten- und Sekundärdatenanalyse. Ausgewertet werden veröffentlichte Rechtsakte, Strategien, Förderrichtlinien, Mitteilungen von Regierungen und Behörden sowie amtliche und verbandliche Statistiken. Eigene Daten wurden nicht erhoben, Unternehmen nicht befragt und Programme nicht vor Ort besucht. Die Untersuchungseinheit ist das einzelne Instrument, also ein Ziel, ein Programm, ein Wettbewerb, ein Gesetz oder eine Förderrichtlinie, jeweils mit Urheber, Datum und Umsetzungsstufe. Die Synthese geschieht qualitativ nach Instrumenttyp und Stufe; eine gemeinsame Kennzahl oder eine Gewichtung der Länder wird nicht berechnet.

3.2 Quellenwahl und zwei Quellenwellen

Vorrang hatten Primärquellen: der Wortlaut eines Gesetzes, die Mitteilung des zuständigen Ministeriums, die Tabelle des Statistikamts. Sekundärquellen wurden nur verwendet, wo keine Primärquelle auffindbar war, und dann als solche gekennzeichnet. Das betrifft vor allem die Darstellung einer koreanischen Physical-AI-Strategie durch eine US-Behörde [43] und eine Agenturmeldung, die als Gegenprobe für die Zahlen des koreanischen Kaufplans dient [27]. Herstellerangaben gelten nicht als Wirkungsbeleg und erscheinen höchstens als gekennzeichnete Angabe des Unternehmens [44].

Die Beschaffung lief in zwei Wellen am 25. Oktober 2026. Die erste Welle prüfte die 21 Ausgangshypothesen aus Kapitel 3.9 an Primärtexten. Die zweite Welle erweiterte den Bestand um die Instrumente je Land, die Rechtsakte in ihrer geltenden Fassung und die Zugangsbedingungen für Betriebe mit 50 bis 500 Beschäftigten. Am 26. Oktober 2026 kamen zwei Dokumente hinzu: KfW Fokus Nr. 553, mit dem sich eine zunächst unbelegte Hypothese klären ließ [13], und das undatierte Hauptmaßnahmenpaket zur japanischen KI-Robotik-Strategie, das keinen Haushaltsbetrag nennt [25]. Insgesamt umfasst der Bestand 96 Dateien; Anhang B listet sie mit Herausgeber, Art und Prüfstatus.

3.3 Abruf, Ablage und Prüfsumme

Jede Quelle wurde als Text abgelegt, in zwei Fällen nur auszugsweise (Q11, Q19), mit einem Kopf aus Adresse, ausliefernder Domain, HTTP-Status, Abrufzeit und SHA-256-Prüfsumme der Rohdatei. Damit lässt sich später feststellen, ob eine Seite sich geändert hat. Für die Reisemitteilung der Bundesregierung ergab ein zweiter Abruf am selben Abend verschiedene Prüfsummen der Rohdateien, ein Textvergleich aber keine inhaltliche Änderung [6, 7]. Achtzehn Dateien sind Archivkopien aus früheren Recherchen derselben Redaktion; ihr Kopf nennt die Prüfsumme der Archivdatei und, soweit vorhanden, das ursprüngliche Abrufdatum. Wo eine Seite beim aktuellen Abruf nicht antwortete, wie die Zusammenfassung eines IEA-Berichts, stützt sich die Studie auf den archivierten Wortlaut und vermerkt, dass ein Abgleich mit dem aktuellen Stand aussteht [45]. Werkzeuge und Fehlschläge dokumentiert Anhang A.

3.4 Belegregister mit Wortlaut

Vor dem ersten Kapitel wurde ein Belegregister (Ledger) angelegt. Jede Zeile nennt Aussage, Datei und Fundstelle sowie einen Status. Die meisten Zeilen tragen den wörtlichen Belegtext; einige verweisen stattdessen auf eine tragende Zeile oder nennen nur die Fundstelle. Viele Zeilen enthalten zusätzlich eine zulässige und eine oder mehrere gesperrte Formulierungen. Eine gesperrte Formulierung richtet sich auf die Aussage, nicht auf den Gegenstand: Gesperrt ist etwa, eine Absichtserklärung als Vertrag oder als finanziert zu bezeichnen, nicht aber, sie zu erwähnen. Die Statuswerte lauten BELEGT, ANGEKÜNDIGT, BESCHLOSSEN, UMGESETZT und OFFEN, für die Ausgangshypothesen zusätzlich ABWEICHEND und UNBELEGT.

Das Register entstand aus den Quellen und nicht aus einem Text, der bereits geschrieben war. Diese Reihenfolge ist Absicht. Ein Register, das nachträglich aus einem fertigen Text gebildet wird, bestätigt diesen Text, statt ihn zu prüfen. Korrekturen wurden als eigene, datierte Zeilen ergänzt, die den älteren vorgehen; die ursprünglichen Zeilen blieben stehen, damit nachvollziehbar ist, was sich geändert hat.

3.5 Status und Umsetzungsstufen

Für Instrumente verwendet die Studie sechs Umsetzungsstufen. Sie sind eine Einteilung der Redaktion. Zugeordnet wird die höchste Stufe, die der Wortlaut einer Quelle trägt; Teile eines Instruments können verschiedene Stufen haben, und die Stufen bilden keine strenge Reihenfolge.

Tabelle 3.1 Umsetzungsstufen

Stufe	Bedeutung in dieser Studie	Beispiel	Quelle
angekündigt	Ziel, Plan oder Absicht mit Urheber und Datum, ohne verbindlichen Beschluss oder zugesagte Mittel	1.000 KI-Roboter jährlich in Betrieben (Südkorea, 14.07.2026)	[34]
beschlossen	vom zuständigen Organ verabschiedet: Gesetz, Verordnung, Kabinetts- oder Gremienbeschluss, veröffentlichte Förderrichtlinie	KI-Marktüberwachungsgesetz, in Kraft seit 29.07.2026	[18]
finanziert	Mittel im Wortlaut zugesagt oder bewilligt	nationaler KI-Forschungsplan Singapurs, mehr als 1 Mrd. S$ für 2025 bis 2030	[21]

Stufe	Bedeutung in dieser Studie	Beispiel	Quelle
ausgeschrieben	Verfahren mit Frist eröffnet, in dem sich Berechtigte bewerben können	Ausschreibung für bis zu sieben KI-Gigafabriken, Frist 12.11.2026	[30]
umgesetzt	im Wortlaut als erfolgt belegt: Programm läuft oder meldet Ist-Zahlen	KI-Kompetenzzentrum für die Fertigung, knapp 30 Unternehmen unterstützt	[21]
evaluiert	Wirkung auf die Nutzung von KI oder Robotik in einer Evaluation am Primärtext belegt	im Quellenbestand kein Fall	—

Zwei Regeln begrenzen die Zuordnung. Ein Ziel bleibt ein Ziel, auch wenn es in einem beschlossenen Dokument steht; es wird mit Urheber, Datum der Ankündigung und Zieljahr wiedergegeben. Selbstauskünfte geförderter Unternehmen über den eigenen Nutzen begründen die Stufe „evaluiert“ nicht, auch wenn sie aus einer Begleitbefragung stammen [17, 20].

3.6 Vergleichbarkeitsregeln

Kennzahlen werden nur nebeneinandergestellt, wenn sie dieselbe Größe messen. Kapitel 4.7 leitet dafür zehn Regeln ab, die in allen weiteren Kapiteln gelten. Die wichtigsten betreffen die Roboterdichte, deren Werte nur innerhalb eines IFR-Berichtsstands verglichen werden, weil die IFR den Nenner revidiert [8, 3], und die Nutzungsquoten, die nur bei gleicher Grundgesamtheit, gleichem Zeitbezug und offengelegtem KI-Begriff nebeneinanderstehen dürfen [5, 10, 11]. Vorausberechnungen erscheinen als Spanne über ihre Varianten [2]. Methodenbrüche werden benannt, nicht herausgerechnet, und fehlende Werte bleiben als Lücke stehen.

3.7 Umgang mit Widersprüchen

Widersprüche wurden nicht geglättet, sondern nach festen Regeln behandelt. Innerhalb eines Rechtsakts geht der verfügende Teil den Erwägungsgründen vor. Der erste Erwägungsgrund der Digital-Omnibus-Verordnung gibt den ursprünglichen Zeitplan der KI-Verordnung wieder; maßgeblich sind die Termine aus Artikel 113 in der geänderten Fassung [46, 28]. Hat derselbe Urheber einen Wert aktualisiert, gilt der jüngere Stand, und der ältere wird als Stand seines Datums genannt. So verhält es sich beim Anteil erneuerbarer Energien an der Last, den Fraunhofer ISE von 55,9 auf 55,5 Prozent aktualisiert hat, und beim Betriebsbeginn der geplanten deutschen KI-Gigafabrik, der sich von Mitte 2027 auf Anfang 2028 verschoben hat [47, 48, 1, 39].

Widersprechen sich verschiedene Quellen, ohne dass der Wortlaut den Widerspruch auflöst, nennt die Studie beide Werte mit Fundstelle und verrechnet sie nicht. Das gilt für die Zahl der Standorte des Robotics Institute Germany, für das Volumen des 4. koreanischen Basisplans für intelligente Roboter und für das Projektvolumen von Factory-X [49, 50, 41, 51, 52]. Ergeben Tabellenwerte einer Quelle zusammen mehr als 100 Prozent, obwohl sie sich nach der Beschriftung auf dieselbe Gesamtheit beziehen, werden sie nicht addiert [10, 12]. Primärquellen gehen Sekundärquellen vor; eine Sekundärquelle wird nur übernommen, wo keine Primärquelle auffindbar war, und dann mit dem Vermerk „nur sekundär belegt“.

3.8 Prüfrollen

Die Kapitel wurden von Prüfrollen gelesen, die nicht am Schreiben beteiligt waren. Die Faktenprüfung gleicht jede Zahl, jedes Datum und jedes Zitat mit dem Belegregister und dem abgelegten Volltext ab. Die Rechtsprüfung kontrolliert Normzitate, Geltungsbereiche und Fristen, die Sprachredaktion Verständlichkeit und Ton. Eine vierte Rolle liest den Text aus der Perspektive eines Betriebs mit 50 bis 500 Beschäftigten und fragt, ob er für dessen Entscheidungen etwas taugt. Alle Prüfrollen arbeiten KI-gestützt; ihre Befunde gelten als Behauptung und werden vor der Übernahme am Primärtext geprüft.

Zwei Ergebnisse dieser Prüfungen haben den Zuschnitt der Studie verändert. Die Leserperspektive führte zu einem Zusatzauftrag, der die Zugangsbedingungen für mittelständische Betriebe zu einem eigenen Prüfgegenstand machte; daraus stammen die Angaben zu Antragsberechtigung, Eigenanteil und geistigem Eigentum in den Kapiteln 5 und 13 [14, 53]. Die Faktenprüfung ergab am 26. Oktober 2026 mehrere Korrekturen am Register. Darunter waren die Lesart der koreanischen Humanoid-Beschaffung als 250 Stück im Jahr 2027 und 1.080 kumuliert bis 2030, die Beschränkung des belegten kostenfreien Zugangs zu Mittelstand-Digital auf kleine und mittlere Unternehmen und die Einordnung der A*STAR-Modellfabriken als Stand 2018 [26, 27, 16, 17, 54]. Eine weitere Korrektur betraf die

Stellung von Maschinen in der KI-Verordnung nach dem Omnibus [46, 28].

Die Prüfrollen haben keinen eigenen Zugriff auf Browser oder Kommandozeile. Meldet eine Rolle, eine Quelle sei nicht abrufbar, gilt das deshalb als Auftrag zur Beschaffung und nicht als Befund über die Quellenlage. Erst wenn auch der Abruf durch die Redaktion scheitert, wird daraus eine benannte Lücke, wie sie Kapitel 16 und Anhang A aufführen.

3.9 Ausgangshypothesen und ihre Bilanz

Die Recherche begann mit 21 bezifferten Behauptungen, die ein vorbereitender Rechercheschritt mit einem Sprachmodell aus dem Anlass der Studie abgeleitet hatte. Sie wurden als Hypothesen behandelt, nicht als Befunde, und einzeln an Primärtexten geprüft. Gezählt wird je Hypothese; besteht sie aus mehreren Teilen, entscheidet der schwächste Teil.

Tabelle 3.2 Ausgangshypothesen H1 bis H21 und Prüfergebnis

Nr.	Gegenstand	Ergebnis	Präzisierung	Quelle
H1	Roboterdichte 2024: KR 1.220, SG 818, DE 449, JP 446	belegt	Dichte-Mitteilung vom 08.04.2026, Bericht World Robotics 2025, Datenjahr 2024	[3, 9]
H2	weltweit rund 5 Mio. Industrieroboter Ende 2025; China 354.000 Installationen, 59 %	belegt	59 % der Neuinstallationen, nicht des Bestands	[4]
H3	Singapur: Programm ab März 2026, 10.000 Unternehmen in drei Jahren	belegt	Ziel, kein Ergebnis	[19]
H4	Japan: Strategie Mai 2026, Fahrpläne August 2026	belegt	Beschluss 26.03.2026, Teiländerung 27.05.2026; Fahrpläne bestanden seit Mai und wurden am 28.08.2026 geändert und ergänzt	[31, 23]
H5	Südkorea: sieben Physical-AI-Bereiche, 1.000 KI-Roboter jährlich	belegt	Ministry of Finance and Economy, 14.07.2026; Ziel ohne Startjahr	[34]
H6	Embodied AI Challenge, angekündigt 21.10.2026, Sponsoren	offen	Veranstalter und Sponsoren belegt, Infineon als einer von zwei Event-Sponsoren; Ankündigungsdatum nur sekundär	[37, 38]
H7	Mittelstand: 20 % KI, 3 % Datenanalytik, 1 % autonome Maschinenbewegung	belegt	Bezugszeitraum 2022 bis 2024	[5]
H8	30 % mit Digitalisierungsvorhaben; 88 % interne Mittel	zunächst unbelegt, jetzt belegt	30 % betrifft abgeschlossene Vorhaben; 88 % steht nicht im genannten Digitalisierungsbericht, sondern in KfW Fokus Nr. 553	[42, 13]
H9	Absichtserklärung mit NVIDIA; Plattform Industrie 4.0 als Strategienetzwerk	belegt	Stufe Absichtserklärung; Strategienetzwerk als Ziel („soll … werden“)	[15]
H10	Siemens: bis zu 85 % weniger Engineering-Aufwand, bis zu 20 % Planung	belegt	Herstellerangabe; 20 % sind Kosteneinsparung	[44]
H11	KI-Robotikbooster 100 Mio. €; RIG mit 16 Standorten	abweichend	100 Mio. € belegt; 16 Standorte nur laut Hightech Agenda, das RIG nennt 14 Partner und 36 Standorte	[49, 50]
H12	bis zu sieben KI-Gigafabriken; 10 Mrd. € öffentlich, 20 Mrd. € privat	belegt	private Mittel als Erwartung	[30]
H13	Rechenzentren 485 TWh (2025), 950 TWh (2030)	belegt	alle Rechenzentren, zentrale Projektion; Archivwortlaut, Live-Abgleich offen	[45]
H14	55,9 % Erneuerbare an der Nettostromerzeugung 2025; hohe Industriestrompreise	abweichend	Wert bezieht sich auf die Last, aktualisiert 55,5 %; Strompreisteil ohne Primärquelle	[47, 48]
H15	Seltene Erden: Verarbeitung und Magnete als Engpass außerhalb Chinas	offen	IEA-Text nicht abrufbar; Teilbefund Japan	[36, 55]
H16	Critical Raw Materials Act: Ziele bis 2030	belegt	Rechtsbegriff „Richtwerte“	[56]
H17	Erwerbsbevölkerung bis 2035 minus 3,2 Mio.	belegt	günstigste von drei Varianten; Altersgruppe 20 bis 66 Jahre	[2]

Nr.	Gegenstand	Ergebnis	Präzisierung	Quelle
H18	Manufacturing-X, Factory-X, Pay-per-Part	belegt	Pay-per-Part als Anwendungsfall, Stand März 2026	[52]
H19	Reiseplan 26. bis 30.10.2026	belegt	Stand vor der Reise	[6, 7]
H20	IWF-Wachstumswerte Oktober 2026	offen	IWF-Seiten nicht abrufbar	—
H21	Maschinenverordnung ab 20.01.2027	belegt	mit früheren Terminen für einzelne Artikel	[29, 57]

Die Bilanz lautet: 15 Hypothesen sind belegt, mehrere davon nur mit Präzisierung von Datum, Bezugsgröße oder Stufe. Zwei weichen vom Wortlaut ab, nämlich die Standortzahl des Robotics Institute Germany und der Erneuerbaren-Anteil, der sich auf die Last und nicht auf die Erzeugung bezieht. H8 war zunächst unbelegt, weil der Anteil von 88 Prozent nicht in der genannten Quelle stand; inzwischen ist er über KfW Fokus Nr. 553 belegt [13]. Drei Hypothesen bleiben offen, weil die Primärquelle nicht abrufbar war oder ein Datum nur sekundär vorliegt.

Nach Einschätzung der Redaktion zeigt die Bilanz weniger falsche Zahlen als verschobene Bezüge. Viele Werte stimmten, gehörten aber zu einem anderen Jahr, einer anderen Grundgesamtheit, einer anderen Quelle oder einer niedrigeren Umsetzungsstufe, als die verkürzte Fassung nahelegte. Genau diese Verschiebungen prüft die Studie in den folgenden Kapiteln bei jeder Kennzahl mit.

4 Kennzahlen: Was sich vergleichen lässt und was nicht

In der Debatte über industrielle KI müssen Kennzahlen mehr tragen, als sie hergeben. Eine hohe Roboterdichte gilt dann als Beleg für technologische Stärke, eine niedrige Nutzungsquote als Zeichen für Rückstand, und eine Bevölkerungsvorausberechnung als Begründung für Automatisierung. Jede dieser Zahlen ist für sich sorgfältig erhoben. Sie beantworten aber verschiedene Fragen, beziehen sich auf verschiedene Grundgesamtheiten und stammen aus verschiedenen Jahren. Im Folgenden stehen die Werte, die für Deutschland, Singapur, Japan und Südkorea im Wortlaut der Primärquellen vorliegen, jeweils mit dem, wofür sie taugen und wofür nicht. Eine Gesamtwertung der Länder ergibt sich daraus bewusst nicht.

4.1 Roboterdichte: drei Berichtsstände, keine Zeitreihe

Die International Federation of Robotics (IFR) definiert die Roboterdichte als Zahl der in Betrieb befindlichen Industrieroboter je 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe [3, 8]. Die Beschäftigtenzahl dient als Maß für die wirtschaftliche Größe, damit der Bestand verschiedener Länder auf einer einheitlichen Basis steht [3, 8]. Die Kennzahl erscheint einmal im Jahr und mit Verzögerung, und zwar in einer eigenen Mitteilung nach dem Jahresbericht. Der Bericht World Robotics 2025 erschien am 25. September 2025 [9]; die Dichtewerte für das Datenjahr 2024 folgten in der IFR-Mitteilung vom 8. April 2026 [3]. Die Pressefassung von World Robotics 2026 vom 24. September 2026 nennt Bestand und Installationen für 2025, aber keine Dichtewerte [4]. Der jüngste belegte Dichtestand bezieht sich deshalb auf das Jahr 2024.

Tabelle 4.1 Roboterdichte nach IFR-Berichtsstand (Industrieroboter je 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe)

Bericht	Datum der Dichte-Mitteilung	Datenjahr	Südkorea	Singapur	Deutschland	Japan	China	EU	Welt	Quelle
World Robotics 2023	10.01.2024	2022	1.012	730	415	397	392	208	151	[58]
World Robotics 2024	20.11.2024	2023	1.012	770	429	419	470	219	162	[8]
World Robotics 2025	08.04.2026	2024	1.220	818	449	446	166	231	132	[3]
World Robotics 2026	– (Pressemitteilung zum Bericht: 24.09.2026)	2025	–	–	–	–	–	–	–	[4]

Anmerkung: Die Datumsspalte nennt das Datum der jeweiligen IFR-Mitteilung zur Roboterdichte, nicht das Erscheinungsdatum des Jahresberichts. Die Zeile World Robotics 2026 ist leer, weil die Pressemitteilung zum Bericht

keine Dichtewerte enthält. Der EU-Wert heißt in der Mitteilung von 2026 „EU-27“, in den älteren Mitteilungen „European Union“ [3, 8, 58].

Es liegt nahe, die Tabelle von oben nach unten als Entwicklung zu lesen. Für Deutschland ergäbe das 415, 429 und 449, einen gleichmäßigen und plausibel wirkenden Anstieg [58, 8, 3]. Am Weltwert sieht man, warum diese Lesart nicht trägt: Er steigt von 151 auf 162 und fällt dann auf 132 [58, 8, 3], obwohl der weltweite Bestand von 3,9 Millionen (2022) auf 4.664.000 Einheiten (2024) gewachsen ist [58, 9]. Sinkt die Dichte trotz wachsendem Bestand, muss sich nach redaktioneller Einordnung der Nenner verändert haben, also die Zahl der Beschäftigten, auf die sich die Rechnung bezieht.

Die IFR nennt die Ursache selbst. In der Mitteilung vom 8. April 2026 stützt sie sich bei China auf aktualisierte Arbeitsmarktdaten des chinesischen Statistikamts; China steht danach weltweit auf Platz 22 mit 166 Robotern je 10.000 Beschäftigte [3]. In der Mitteilung vom 20. November 2024 hatte dieselbe Organisation für China 470 ausgewiesen und das Land auf den dritten Platz vor Deutschland und Japan gesetzt [8]. Zugleich beschreibt die IFR den Wert von 166 als Anstieg um 17 Prozent gegenüber dem Vorjahr [3]. Das setzt nach redaktioneller Einordnung voraus, dass auch der Vorjahreswert auf der neuen Beschäftigtenbasis neu berechnet wurde. Die veröffentlichten 470 sind damit kein Vorjahr im Sinne der neuen Reihe.

Diese Revision ist nicht die einzige. Für das Datenjahr 2022 nannte die Mitteilung vom 10. Januar 2024 bei China 392, die Mitteilung vom 20. November 2024 für dasselbe Datenjahr 402 [58, 8]. Für Asien gibt die IFR 168 (Datenjahr 2022), 182 (2023) und 131 (2024) an und bezeichnet den dritten Wert in derselben Mitteilung als Zuwachs um 11 Prozent [58, 8, 3]. Ein Durchschnitt, der zwischen zwei Berichtsständen von 182 auf 131 sinkt und dabei als Wachstum gilt, lässt sich nur innerhalb des jeweiligen Berichtsstands lesen. In Südkorea fällt etwas anderes auf: 1.012 für die Datenjahre 2022 und 2023, dann 1.220 für 2024, während die jüngste Mitteilung von durchschnittlich 7 Prozent Wachstum pro Jahr seit 2019 spricht [58, 8, 3]. Ob der Sprung auf Zubau, neue Beschäftigtenzahlen oder beides zurückgeht, erklärt die Pressefassung nicht.

Was die Dichte leistet, ist damit eng umrissen. Sie setzt einen Gerätebestand ins Verhältnis zur Industriebeschäftigung, nicht zur Wertschöpfung und nicht zur Branchenstruktur. Die hohe Dichte Singapurs erklärt die IFR ausdrücklich mit der geringen Zahl von Industriebeschäftigten, die einen hohen Wert schon mit einem vergleichsweise kleinen Bestand erlaubt [3]. Für Südkorea verweist sie auf die Elektronik- und die Automobilindustrie als größte Abnehmer [3]. Ob in diesen Robotern KI steckt, misst die Kennzahl nicht, denn gezählt werden Geräte.

Für Deutschland bleibt eine schmale, aber belastbare Aussage. Laut IFR-Mitteilung vom 8. April 2026 (World Robotics 2025, Datenjahr 2024) kamen auf 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe 449 Industrieroboter, bei einem Wachstum von 5 Prozent pro Jahr seit 2019 [3]. Japan lag mit 446 fast gleichauf [3]. Dass Deutschland vor Japan steht, beruht auf drei Einheiten Abstand in einer Kennzahl, deren Nenner zwischen den Berichtsständen revidiert wird. Ein Vorsprung bei Technologie oder bei industrieller KI lässt sich daraus nicht ableiten.

4.2 Bestand und Installationen

Zwei weitere IFR-Größen zählen Stückzahlen statt Verhältnisse: der Bestand an Industrierobotern im Betrieb und die jährlichen Neuinstallationen. Für 2024 nennt World Robotics 2025 weltweit 4.664.000 Industrieroboter im Betrieb, 9 Prozent mehr als im Vorjahr [9]. Für 2025 meldet World Robotics 2026 einen Rekordbestand von rund fünf Millionen, wieder ein Plus von 9 Prozent [4]. Auch diese Werte stammen aus verschiedenen Berichten. Weil sie nicht an einer externen Beschäftigtenstatistik hängen, sind sie nach redaktioneller Einordnung aber weniger von der Art Revision betroffen, die die Dichtewerte verschoben hat.

Nach Ländern weisen die vorliegenden Mitteilungen den Bestand nur für zwei Länder aus. China überschritt 2024 die Marke von zwei Millionen Robotern [9], nach IFR-Angabe etwa das 4,5-Fache des japanischen Bestands [3]; für Japan nennt die IFR 450.500 Einheiten im Jahr 2024 [9]. Für Deutschland, Südkorea und Singapur enthalten die Pressefassungen keine Bestandszahl. Der deutsche Bestand ließe sich nur dem Bericht selbst entnehmen, der für diese Studie nicht vorliegt.

Neu installiert wurden 2024 weltweit 542.000 Roboter, davon 74 Prozent in Asien, 16 Prozent in Europa und 9 Prozent in Amerika [9]. 2025 waren es mehr als 600.000, ein Plus von 11 Prozent [4]. China kam auf 295.000

Einheiten im Jahr 2024, 54 Prozent der weltweiten Installationen, und auf 354.000 im Jahr 2025, 59 Prozent [9, 4]. Diese 59 Prozent beziehen sich auf die Neuinstallationen eines Jahres, nicht auf den Bestand und nicht auf die Dichte.

Tabelle 4.2 Neuinstallationen von Industrierobotern nach IFR (Einheiten; Veränderung zum Vorjahr laut Quelle)

Land	2024 (World Robotics 2025, 25.09.2025)	2025 (World Robotics 2026, 24.09.2026)	Quelle
Deutschland	26.982 (−5 %)	unter 25.000 (−8 %); deutsche Fassung: 24.800	[9, 4, 32]
Japan	44.500 (−4 %)	36.219 (−19 %)	[9, 4]
Südkorea	30.600 (−3 %)	30.000 (−1 %)	[9, 4]
Singapur	nicht ausgewiesen	nicht ausgewiesen	[9, 4]
China (Kontext)	295.000 (Höchstwert)	354.000 (+20 %)	[9, 4]
USA (Kontext)	34.200 (−9 %)	knapp 38.500 (+12 %)	[9, 4]
Welt	542.000	mehr als 600.000 (+11 %)	[9, 4]

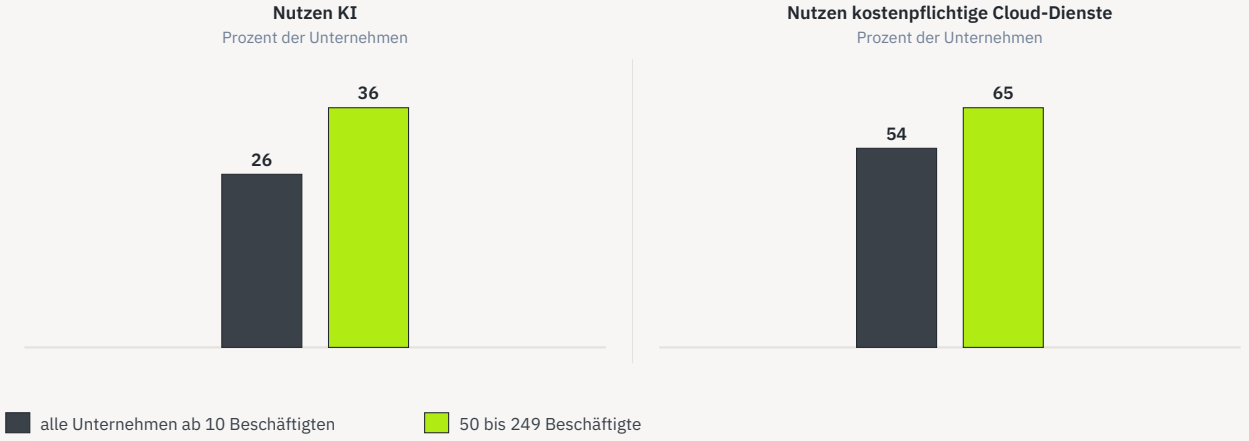
Anmerkung: Die Reihenfolge der Zeilen folgt dem Untersuchungsrahmen der Studie, nicht der Marktgröße. Der aktuelle Stand ist die Spalte 2025; die Werte für 2024 stehen nur als Vorjahr daneben. Die IFR rundet in ihren Mitteilungen unterschiedlich stark („fewer than“, „almost“).

Für die Fragestellung dieser Studie ist der Unterschied zwischen Bestand und Installationen wichtiger als jede Einzelzahl. Der Bestand beschreibt, was in den Fabriken steht; Installationen zeigen die Investitionsentscheidungen eines Jahres und folgen dem Konjunktur- und Branchenzyklus. 2025 wurden in Deutschland laut IFR weniger als 25.000 Industrieroboter installiert, acht Prozent weniger als im Vorjahr [4]. Den Rückgang führt die IFR hauptsächlich auf die sinkende Nachfrage aus dem verarbeitenden Gewerbe zurück [32]. Die Automobilindustrie installierte 5.800 Roboter und bleibt mit 23 Prozent die größte Abnehmerbranche, nachdem ihr Anteil 2020 noch 40 Prozent betragen hatte [32]. Auch die Herstellerseite schrumpfte: Die Produktion in Deutschland sank um 24 Prozent auf 23.700 Einheiten, die Exporte um 37 Prozent auf 15.100 [32].

Trotzdem bleibt Deutschland nach IFR der mit Abstand größte Markt in Europa und weltweit der fünftgrößte; 2025 entfielen auf Deutschland 41 Prozent aller Installationen in der EU [4, 32]. Die 26.982 Installationen des Jahres 2024 bezeichnet die IFR als zweitbestes Ergebnis nach dem Rekordjahr 2023 [9]. Ob 2025 einen Strukturbruch markiert, lässt sich aus zwei Jahreswerten nicht ablesen. Japan installierte 2025 noch 36.219 Einheiten und fiel als Markt hinter die USA auf Platz drei zurück [4]. Südkorea bewegt sich laut IFR seit 2019 seitwärts um rund 31.000 Einheiten pro Jahr [4]. Singapur erscheint in den vorliegenden IFR-Mitteilungen nur in der Dichte, mit einem Wert, der sich wesentlich aus dem kleinen Nenner ergibt [3, 4, 9].

4.3 KI-Nutzung in deutschen Unternehmen: drei Quellen, drei Grundgesamtheiten

Abbildung 2 — KI- und Cloud-Nutzung 2025: alle Unternehmen ab 10 Beschäftigten und 50–249 Beschäftigte



Werte aus Abschnitt 4.3 dieser Studie (Destatis, Stand 24.11.2025, Belege in Abschnitt 4.3). Gleiche Erhebung, gleiches Jahr; nach EU-Unternehmensbegriff ab dem Berichtsjahr 2025, deshalb kein Vorjahresvergleich. Jedes Paneel hat eine eigene Skala.

Für Deutschland liegen drei aktuelle Quoten zur KI-Nutzung in Unternehmen vor: 20, 26 und 25,97 Prozent. Nebeneinander gelesen sieht das nach einem Widerspruch oder nach einem Anstieg aus. Tatsächlich stammen die Werte aus Erhebungen mit verschiedener Abgrenzung; nur die beiden amtlichen Werte für 2025 decken sich weitgehend.

Tabelle 4.3 KI-Nutzung in Unternehmen in Deutschland nach Quelle

Quelle	veröffentlicht	Bezugszeit	Grundgesamtheit	Gemessen	Wert	Quelle
KfW Research, Fokus Nr. 554 (KfW-Mittelstandspanel 2025)	29.07.2026	2022–2024	Mittelstand nach KfW-Definition: alle Unternehmen bis 500 Mio. EUR Jahresumsatz, auch unter 5 Beschäftigte; hochgerechnet mit der Anzahl der Unternehmen	mindestens eine KI-Technologie	20 %	[5, 42]
Destatis, IKT in Unternehmen	Stand 24.11.2025	2025	Unternehmen ab 10 Beschäftigten; EU-Unternehmensbegriff ab Berichtsjahr 2025	Nutzungvon KI-Technologien	26 % (10–49: 23 %; 50–249: 36 %; mehr als 250: 57 %)	[10]
Eurostat, Statistics Explained	Datenabzug Dezember 2025	2025	Unternehmen ab 10 Beschäftigten und Selbstständigen in den erfassten NACE-Abschnitten	mindestens eine von acht KI-Technologien	Deutschland 25,97 %; EU 19,95 % (klein 17 %, mittel 30,36 %, groß 55,03 %)	[11]

Der KfW-Wert bezieht sich auf den gesamten Mittelstand nach KfW-Definition, rund 3,87 Millionen Unternehmen und damit 99,95 Prozent aller Unternehmen in Deutschland [42]. Dazu gehören Kleinstbetriebe; die KfW weist eigens aus, dass 13 Prozent der Unternehmen unter fünf Beschäftigten KI zur Erzeugung natürlicher Sprache einsetzen [5]. Weil die Werte mit der Zahl der Unternehmen hochgerechnet sind [5], zählt nach redaktioneller Einordnung jedes Unternehmen unabhängig von seiner Größe gleich viel. Destatis und Eurostat beginnen erst bei zehn Beschäftigten, und in beiden steigt die Nutzung mit der Größe [10, 11]. Der niedrigere KfW-Wert lässt sich deshalb schon durch die Abgrenzung erklären und spricht weder gegen die eine noch für die andere Erhebung.

Hinzu kommen als weitere Unterschiede Zeitbezug und Begriff. Die KfW fragt nach dem Zeitraum 2022 bis 2024 und vergleicht ihn mit 2016 bis 2018 [5], Destatis und Eurostat messen ein einzelnes Jahr [10, 11]. Die KfW hält ausdrücklich fest, dass es keine allgemein anerkannte KI-Definition für Unternehmensbefragungen gibt, und arbeitet mit einer eigenen Abfrage [5]. Eurostat legt eine feste Liste von acht Technologiearten zugrunde, von der Textanalyse bis zu Maschinen, die sich nach Beobachtung ihrer Umgebung autonom bewegen [11].

Destatis und Eurostat stimmen für Deutschland mit 26 und 25,97 Prozent nahezu überein [10, 11], was erwartbar ist, weil Eurostat seine Werte aus den Erhebungen der nationalen Statistikämter gewinnt [11]. Schwieriger ist der Vergleich mit dem Vorjahr. Eurostat nennt für Deutschland 19,75 Prozent im Jahr 2024 [11], Destatis vermerkt

jedoch, dass ab dem Berichtsjahr 2025 der EU-Unternehmensbegriff gilt [10]. Einen Bruch der Zeitreihe kennzeichnet Eurostat für 2025 nur bei den Niederlanden [11]. Wie weit die Differenz zum Vorjahr auf die Umstellung zurückgeht, lässt sich aus den vorliegenden Texten nicht bestimmen, und deshalb weist diese Studie sie nicht als Zuwachs in Prozentpunkten aus.

Für die Frage nach verkörperter KI ist eine Technologieart besonders aufschlussreich, die autonome Bewegung von Maschinen. Laut KfW nutzt sie 1 Prozent des Mittelstands [5]. Destatis nennt 6 Prozent, bei Unternehmen mit mehr als 250 Beschäftigten 12 Prozent, bezieht diese Anteile aber auf die Unternehmen, die KI überhaupt nutzen [10]. Eurostat weist 1,39 Prozent aller erfassten Unternehmen in der EU aus [11]. Übereinstimmend zeigen die drei Zahlen mit ihren drei Nennern, dass diese Form der KI selten ist; einen Anteil an Industrierobotern messen sie nicht.

Den Mittelstand im engeren Sinn, Betriebe mit 50 bis 249 Beschäftigten, beschreibt Destatis am genauesten. 2025 nutzten in dieser Größenklasse 36 Prozent der Unternehmen KI, weitere 32 Prozent hatten sie erwogen, nutzten sie aber nicht [10, 12]. Die KfW kommt zu dem Schluss, entscheidend für den KI-Einsatz sei weniger die Unternehmensgröße als der Digitalisierungsgrad, das vorhandene digitale Know-how und die Innovationstätigkeit [5]. Mit dem Größengefälle bei Destatis ist das vereinbar, denn größere Mittelständler schließen laut KfW auch deutlich häufiger Digitalisierungsvorhaben ab [42]. Größe und Digitalisierungsgrad treten in den Rohquoten nach redaktioneller Einordnung gemeinsam auf.

Tabelle 4.4 Gründe gegen die KI-Nutzung 2025 (Anteil in Prozent an Unternehmen, die KI erwogen, aber nicht genutzt haben)

Grund	Deutschland, insgesamt	Deutschland, 50–249 Beschäftigte	EU, insgesamt	Quelle
Fehlendes Wissen bzw. Fachkenntnis	72	72	70,89	[12, 11]
Unklarheit über rechtliche Folgen	62	56	52,52	[12, 11]
Bedenken zu Datenschutz und Privatsphäre	60	59	48,83	[12, 11]
Inkompatibilität mit vorhandenen Geräten, Software und Systemen	45	46	–	[12]
Verfügbarkeit oder Qualität der erforderlichen Daten	44	45	–	[12]
Zu hohe Kosten	32	32	–	[12]
Ethische Überlegungen	23	21	–	[12]
Nicht sinnvoll	18	14	20,68	[12, 11]

Anmerkung: Für die EU nennt die Eurostat-Seite im Fließtext nur vier Gründe; „–“ heißt nicht ausgewiesen, nicht null. Die Bezugsgruppe bei Eurostat lautet „enterprises who had ever considered using AI technologies“ [11].

Bei den vier Gründen, die beide Quellen ausweisen, ist die Reihenfolge in Deutschland und der EU dieselbe, an der Spitze steht fehlendes Wissen [12, 11]. Rechtliche Unklarheit und Datenschutzbedenken nennen deutsche Unternehmen häufiger als der EU-Durchschnitt, Kosten folgen in Deutschland mit 32 Prozent erst an sechster Stelle [12, 11]. Bei der Frage, wie viele Unternehmen KI erwogen haben, verwenden die Quellen allerdings verschiedene Nenner: Destatis bezieht seine 20 Prozent auf alle Unternehmen [12], Eurostat seine 14,21 Prozent auf die Unternehmen ohne KI-Nutzung [11]. Wenn Sie diese beiden Werte nebeneinanderstellen, vergleichen Sie Anteile an verschiedenen Gruppen.

4.4 Singapur, Japan, Südkorea: was an Nutzungsquoten vorliegt

Für Singapur gibt es eine amtliche Quote. Nach dem Singapore Digital Economy Report 2025 der Infocomm Media Development Authority (IMDA) stieg die KI-Nutzung unter kleinen und mittleren Unternehmen von 4,2 Prozent im Jahr 2023 auf 14,5 Prozent im Jahr 2024, bei größeren Unternehmen von 44,0 auf 62,5 Prozent [20]. Den Anstieg bei den KMU erklärt der Bericht vor allem mit der Nutzung fertiger generativer KI-Werkzeuge [20]. Das Digitalministerium MDDI hat die 14,5 Prozent am 2. März 2026 bei der Ankündigung des National AI Impact Programme zitiert [19].

Mit dem deutschen Mittelstand lässt sich dieser Wert nicht ohne Weiteres vergleichen. Der KI-Begriff ist weit gefasst und schließt KI-gestützte digitale Lösungen ein, bei denen KI in andere Software oder Plattformen eingebaut ist [20]. Eine Größengrenze nennt der Bericht nur für Teilgruppen, nämlich Kleinst-KMU mit bis zu zehn und kleine KMU mit 11 bis 100 Beschäftigten [20]; eine Obergrenze für KMU insgesamt steht nicht im vorliegenden Text. Der Wert gilt zudem für das Jahr 2024, der KfW-Wert für 2022 bis 2024 [20, 5]. Dass Singapur bei 14,5 und der deutsche Mittelstand bei 20 Prozent liegt, belegt deshalb keinen deutschen Vorsprung. Belegt ist nur, dass die Nutzung unter singapurischen KMU innerhalb eines Jahres stark gestiegen ist, überwiegend getragen von fertigen generativen KI-Werkzeugen [20]; zu industrieller KI macht der Bericht an dieser Stelle keine Angabe.

Für Japan enthalten die Primärtexte keine Quote zur KI-Nutzung in Unternehmen. Der KI-Grundplan, dessen überarbeitete Fassung das Kabinett am 14. Juli 2026 beschlossen hat, stellt aber selbst fest, dass sich der Abstand zwischen Japan und anderen wachsenden Ländern bei Nutzungsraten und privaten Investitionen bis 2025 vergrößert habe [40]. Als Aufgabe nennt der Plan, die KI-Nutzung auf mittelgroße und kleine Unternehmen und auf die Regionen auszuweiten [40]. Das ist eine Selbsteinschätzung der Regierung, keine Messgröße. Für Südkorea enthalten die Primärtexte ebenfalls keine Unternehmensquote; eine Zahl zum Smart-Factory-Programm der Mittelstandsbehörde ließ sich nicht aus einer Primärquelle belegen und steht deshalb hier nicht.

4.5 Digitalisierung im Mittelstand

KI im Betrieb setzt eine digitale Grundlage voraus, und im deutschen Mittelstand wurde an dieser Grundlage im Zeitraum 2022 bis 2024 weniger gearbeitet. Nach dem KfW-Digitalisierungsbericht Mittelstand 2025 (April 2026) hatten im Berichtszeitraum 2022 bis 2024 noch 30 Prozent der mittelständischen Unternehmen ein Digitalisierungsvorhaben abgeschlossen, 5 Prozentpunkte weniger als in der Vorerhebung [42]. Die Zahl dieser Unternehmen sank um rund 200.000 auf knapp 1,2 Millionen, die Digitalisierungsausgaben fielen gegenüber dem Vorjahr um rund 8 Milliarden auf knapp 24 Milliarden Euro [42]. Die KfW spricht von einem Einbruch „auf breiter Front“, der in allen Größenklassen zwischen 4 und 8 Prozentpunkten liegt [42].

Wie die KfW misst, bestimmt die Lesart. Sie fragt, ob ein Unternehmen in der zurückliegenden Dreijahresperiode mindestens ein Digitalisierungsprojekt abgeschlossen hat, etwa zur Erneuerung der IT, zur digitalen Anbindung von Kunden und Zulieferern oder zur Digitalisierung von Produkten [42]. Aufeinanderfolgende Erhebungen haben deshalb zwei gemeinsame Jahre. Ein Rückgang um fünf Punkte wiegt nach redaktioneller Einordnung umso schwerer, weil die Überlappung Ausschläge dämpft. Die 30 Prozent beschreiben außerdem den Anteil mit abgeschlossenen Vorhaben, nicht den Anteil digitalisierter Unternehmen.

Einen wichtigen Grund sieht die KfW in der Konjunktureintrübung, die im Verlauf des Jahres 2022 einsetzte und auch 2024 anhielt [42]. Daneben deutet die KfW an, dass mittelständische Unternehmen ihre freien Mittel in gewissem Umfang abwechselnd auf Innovation und Digitalisierung verteilt haben [42]. Große Mittelständler schlossen im jüngsten Erhebungszeitraum 2,3-mal so häufig Digitalisierungsvorhaben ab wie kleine, im Zeitraum 2014 bis 2016 war es das 1,9-Fache [42]. Zugleich geben 78 Prozent der großen, digitalisierungsaktiven Mittelständler mit 50 und mehr Beschäftigten weniger als 1 Prozent ihres Jahresumsatzes für Digitalisierung aus [42].

Warum die Konjunktur so stark durchschlägt, erklärt die Finanzierung. Mittelständler finanzieren Digitalisierungsvorhaben laut KfW zu 88 Prozent aus internen Mitteln wie laufendem Cashflow, Rücklagen oder Barreserven, Bankkredite machen 8 Prozent aus (KfW Fokus Nr. 553, Juli 2026) [13]. Selbst bei vergleichbaren Unternehmen und ähnlicher Projektgröße liegt der Anteil interner Mittel um 7 Prozentpunkte höher als bei Sachinvestitionen, der Anteil der Bankkredite um 7 Punkte niedriger [13]. Der Digitalisierungsbericht liefert dazu die Begründung: Nur 37 Prozent der Projektkosten entfallen auf materielle Investitionen, sodass kaum Vermögenswerte entstehen, die als Kreditsicherheit dienen könnten [42]. Anders als die Nutzungsquote aus Fokus Nr. 554 sind die Finanzierungsanteile mit der Zahl der Beschäftigten hochgerechnet [13, 5]. Beide KfW-Werte stammen also aus demselben Panel und folgen trotzdem verschiedenen Gewichtungen.

Als Infrastrukturkennzahl ergänzt Destatis die Cloud-Nutzung: 2025 nutzten 54 Prozent der Unternehmen ab zehn Beschäftigten kostenpflichtige Cloud-Dienste, in der Klasse 50 bis 249 Beschäftigte 65 Prozent [59]. Für die KI-Quoten aus Abschnitt 4.3 beschreibt dieser Abschnitt die Voraussetzung. Er zeigt keinen Stillstand, wohl aber

einen Mittelstand, der in den Jahren 2022 bis 2024 weniger Digitalisierungsvorhaben abgeschlossen hat als in den Jahren davor und diese Vorhaben überwiegend aus eigener Kasse bezahlt.

4.6 Demografie und Arbeitsmarkt

Die demografische Begründung für Automatisierung stützt sich in Deutschland auf die 16. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, die Destatis am 11. Dezember 2025 vorgestellt hat [60]. Im Jahr 2024 waren 51,2 Millionen Menschen zwischen 20 und 66 Jahre alt, und alle Varianten weisen für diese Altersgruppe künftig eine abnehmende Zahl aus [60]. Wie stark der Rückgang ausfällt, hängt vor allem von der angenommenen Zuwanderung ab.

Tabelle 4.5 Menschen im Erwerbsalter (20 bis 66 Jahre) nach Varianten der 16. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Ausgangswert 2024: 51,2 Mio.)

Variante	Annahme Wanderungssaldo pro Jahr	Veränderung bis 2035	Stand 2070	Quelle
Variante 1 (G2L2W1)	150.000	−4,9 Mio.	37,1 Mio.	[2]
Variante 2 (G2L2W2)	250.000	−4,0 Mio.	41,2 Mio.	[2, 60]
Variante 3 (G2L2W3)	350.000	−3,2 Mio.	45,3 Mio.	[2]
Modellrechnung G2L2W0	0	rund −6,2 Mio.	–	[2]

Anmerkung: Allen drei Varianten liegt eine moderate Entwicklung von Geburtenhäufigkeit und Lebenserwartung zugrunde [2]. Den Wert für 2070 in Variante 2 nennt die Pressemitteilung als Fall „moderater Nettozuwanderung“ [60].

Die Spanne bis 2035 reicht von 3,2 bis 4,9 Millionen weniger Menschen im Erwerbsalter [2]. Die 3,2 Millionen sind die günstigste der drei Hauptvarianten und setzen eine dauerhaft hohe Zuwanderung voraus. Ohne Nettozuwanderung würde die Zahl laut Destatis bis 2035 um rund 6,2 Millionen sinken; ausgleichen ließe sich das nur, wenn zwischen 2025 und 2035 per Saldo jährlich etwa 570.000 Menschen im Alter von 20 bis 66 Jahren zuwanderten [2]. Eine Vorausberechnung ist eine Wenn-dann-Rechnung und keine Vorhersage, welche Variante eintritt. Sie zählt Menschen in einer Altersgruppe, nicht Erwerbstätige und nicht offene Stellen.

Leicht verwechseln lassen sich dabei zwei Werte von 4,0 Millionen. In der Überschrift der Pressemitteilung heißt es, die Zahl der Menschen im Erwerbsalter sinke bis 2070 um mindestens 4,0 Millionen; gemeint ist der günstigste Fall mit deutlich steigender Geburtenrate und hoher Zuwanderung [60]. Die 4,0 Millionen der Variante 2 beziehen sich dagegen auf den Rückgang bis 2035 [2]. Es ist dieselbe Zahl für zwei verschiedene Fragen, und wer nur die Überschrift liest, kann sie vertauschen.

Für Japan enthalten die Primärtexte keine Bevölkerungsvorausberechnung, wohl aber einen Arbeitsmarktindikator. Nach der Monatsstatistik des Ministeriums für Gesundheit, Arbeit und Soziales (MHLW) vom 2. Oktober 2026 lag das Verhältnis offener Stellen zu Arbeitsuchenden im August 2026 saisonbereinigt bei 1,18, auf dem Niveau des Vormonats; bei den neu gemeldeten Stellen betrug es 2,06 [61]. Auf 100 Arbeitsuchende kamen also 118 offene Stellen. Die neu gemeldeten Stellen gingen gegenüber dem Vorjahresmonat insgesamt um 3,4 Prozent zurück, im verarbeitenden Gewerbe stiegen sie um 3,9 Prozent [61].

Dieser Indikator misst etwas anderes als die deutsche Vorausberechnung. Er beruht auf den Daten der öffentlichen Arbeitsvermittlung Hello Work [61], erfasst also nicht den ganzen Arbeitsmarkt, und er beziffert keine Fachkräftelücke. Die japanische KI-Robotik-Strategie nennt den strukturellen Arbeitskräftemangel infolge von Bevölkerungsrückgang und Alterung als Hintergrund, ohne im zitierten Abschnitt eine Zahl anzugeben [31]. Eine Bedarfsschätzung für einen einzelnen Sektor enthalten die zugehörigen Feldfahrpläne: Für die Pflege rechnen sie im Jahr 2040 mit 570.000 fehlenden Kräften [23]. Für Südkorea enthalten die Primärtexte keine demografische Kennzahl und keinen Knappheitsindikator; die Wachstumsstrategie vom 14. Juli 2026 nennt nur eine Beschäftigungsprognose, ein Plus von 150.000 Beschäftigten im Jahr 2026 [34]. Belegt ist damit für Deutschland eine Spanne für eine Altersgruppe, für Japan ein Knappheitsindikator für einen Monat und eine Bedarfsschätzung für

die Pflege, für Südkorea eine Beschäftigungsprognose; ein Demografievergleich der vier Länder lässt sich daraus nicht seriös anstellen.

4.7 Vergleichbarkeitsregeln

Aus den Abschnitten 4.1 bis 4.6 leitet die Redaktion zehn Regeln für die weiteren Kapitel ab. Sie sind eine eigene Einteilung und kein etablierter Standard.

1. **Dichte nur innerhalb eines Berichtsstands vergleichen.** Jeder Dichtewert trägt Bericht, Datum der Dichte-Mitteilung und Datenjahr; Werte verschiedener IFR-Berichtsstände bilden keine Zeitreihe, weil der Nenner revidiert wird [8, 3].
2. **Dichte ist kein Maß für KI-Reife.** Sie zählt Geräte je Industriebeschäftigten und bildet Größe und Branchenmix des Industriesektors mit ab [3].
3. **Bestand und Installationen trennen.** Ein Anteil an Neuinstallationen (China 2025: 59 Prozent) ist kein Anteil am Bestand [4].
4. **Nutzungsquoten nur bei gleicher Grundgesamtheit vergleichen.** Größenuntergrenze, erfasste Branchen und Unternehmensbegriff müssen übereinstimmen; der KfW-Mittelstand einschließlich der Kleinstbetriebe und die amtliche Statistik ab zehn Beschäftigten sind verschiedene Gruppen [5, 42, 10].
5. **Den Nenner und die Gewichtung jedes Anteils prüfen.** Anteile an allen Unternehmen, an KI-Nutzern oder an Nichtnutzern beantworten verschiedene Fragen, und auch innerhalb einer Erhebung kann nach Unternehmen oder nach Beschäftigten hochgerechnet sein [10, 12, 11, 5, 13].
6. **Zeitbezug angeben.** Ein Kalenderjahr und ein Dreijahresfenster lassen sich nicht gleichsetzen, und überlappende Fenster dämpfen Veränderungen [5, 42].
7. **KI-Begriff offenlegen.** Feste Technologieliste (Eurostat, Destatis), eigene Abfrage (KfW) und ein Begriff mit eingebetteten KI-Lösungen (IMDA) messen verschieden weit [11, 5, 20].
8. **Methodenbrüche benennen, nicht herausrechnen.** Der EU-Unternehmensbegriff ab Berichtsjahr 2025 und die neuen chinesischen Beschäftigtenzahlen werden genannt; einen bereinigten Wert berechnet diese Studie nicht [10, 3].
9. **Vorausberechnungen als Spanne wiedergeben.** Eine einzelne Variante wird nicht als Erwartung ausgegeben [2].
10. **Lücken als Lücken stehen lassen.** Fehlen Werte, etwa Unternehmensquoten für Japan und Südkorea oder Installationen für Singapur, werden sie nicht durch Ersatzgrößen gefüllt.

Für die Länderkapitel heißt das: Kennzahlen beschreiben dort den Rahmen, bewerten aber nicht die Instrumente. Eine Roboterdichte von 1.220 erklärt nicht, warum Südkorea Physical AI fördert, und eine Quote von 14,5 Prozent sagt nichts darüber, ob das singapurische Programm wirkt. Ob ein Instrument wirkt, lässt sich nach Einschätzung der Redaktion erst an seinem Umsetzungsstand und später an seiner Evaluation ablesen. Darum geht es in den Kapiteln 5 bis 10.

5 Deutschland: Ausgangslage und Instrumente

Wer in Deutschland nach Instrumenten für industrielle KI und Robotik sucht, findet kein einzelnes Programm, sondern ein Geflecht aus Zielen, Förderrichtlinien, Wettbewerben, Netzwerken und einem neuen Aufsichtsgesetz. Dieses Kapitel ordnet die wichtigsten Bausteine nach ihrer Umsetzungsstufe: angekündigt, beschlossen, finanziert, ausgeschrieben, umgesetzt oder evaluiert. Der Maßstab ist dabei der veröffentlichte Wortlaut zum Informationsstand vom 25. Oktober 2026. Was eine Regierung „anstrebt“, steht hier als Absicht; was ein Gesetz vorschreibt, als Pflicht; und was ein Betrieb heute tatsächlich nutzen kann, wird jeweils gesondert benannt. Gerade diese letzte Frage beantworten viele Programmtexte nur indirekt.

5.1 Ausgangslage: viele Roboter, wenig KI in der Breite

Deutschland beginnt nicht bei null. Im Datenjahr 2024 kamen laut IFR-Mitteilung vom 8. April 2026 (World Robotics 2025) 449 Industrieroboter auf 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe, das war Rang drei weltweit [3]. Installiert wurden 2024 nach dem im September 2025 veröffentlichten Bericht World Robotics 2025 26.982

Einheiten [9]. Für 2025 meldet die IFR weniger als 25.000 Installationen, acht Prozent weniger als im Vorjahr; Deutschland bleibt dennoch der fünftgrößte Robotermarkt der Welt und mit Abstand der größte in Europa [4]. Die Einzelheiten und die Grenzen der Vergleichbarkeit behandelt Kapitel 4.

Die Roboterdichte sagt jedoch wenig darüber, wie verbreitet KI in den Betrieben ist. Nach der Erhebung des Statistischen Bundesamts nutzten 2025 insgesamt 26 Prozent der Unternehmen ab zehn Beschäftigten KI, in der Größenklasse 50 bis 249 Beschäftigte 36 Prozent [10]. Von den KI nutzenden Unternehmen setzten sechs Prozent KI zur autonomen Bewegung von Maschinen ein, also für die Anwendung, um die es in der Debatte über Physical AI geht [10]. Aufschlussreich für die Instrumentenfrage sind die Gründe der Zögernden: Unter den Unternehmen, die KI erwogen, aber nicht eingeführt haben, nannten insgesamt 72 Prozent fehlendes Wissen und 62 Prozent unklare rechtliche Folgen; in der Größenklasse 50 bis 249 Beschäftigte waren es 72 und 56 Prozent [12]. Zu hohe Kosten nannten insgesamt 32 Prozent [12].

Geld spielt trotzdem eine Rolle, nur auf andere Weise. Nach KfW Research finanzieren mittelständische Unternehmen ihre Digitalisierungsausgaben zu 88 Prozent aus internen Mitteln wie laufendem Cashflow, Rücklagen oder Barreserven; Bankkredite machen nur 8 Prozent aus (KfW Fokus Nr. 553 vom 22. Juli 2026, Grundlage KfW-Mittelstandspanel) [13]. Die Autoren führen das auf Merkmale von Digitalisierungsprojekten zurück, etwa unsicheren Erfolg und unzureichende Sicherheiten, und folgern, dass die Digitalisierung im Mittelstand stark von der Verfügbarkeit interner Mittel abhängt [13].

Nach Einschätzung der Redaktion verschieben beide Befunde zusammen den Blick auf die folgenden Instrumente. Wenn Wissen und Rechtsklarheit häufiger fehlen als Geld und Vorhaben zugleich überwiegend aus eigener Tasche bezahlt werden, zählen Beratungs-, Test- und Informationsangebote, die das Risiko vor einer Investition senken, mindestens so viel wie Fördersummen. Ob die Instrumente in diesem Kapitel genau dort ansetzen, lässt sich nur teilweise beantworten, denn evaluiert ist bisher keines von ihnen im Hinblick auf industrielle KI.

5.2 Hightech Agenda und KI-Roadmap: Ziele ohne festgelegten Maßstab

Den politischen Rahmen setzt die Hightech Agenda Deutschland, die das Forschungsministerium dem Bundestag am 30. Juli 2025 zugeleitet hat (Drucksache 21/1100 vom 4. August 2025) [1]. Ihr erstes KI-Ziel lautet, „bis 2030 zehn Prozent unserer Wirtschaftsleistung KI-basiert“ zu erwirtschaften [1]. Wie „KI-basiert“ gemessen werden soll, sagt der Text nicht. Das Ziel ist damit angekündigt, aber noch nicht überprüfbar, und es sollte bis zu einer Festlegung der Messgröße auch nicht als Erfolgsmaßstab gelesen werden.

Konkreter wird die Technologie-Roadmap KI, Version 1.0 mit Stand Mai 2026 [39]. Sie übersetzt die Ziele in Meilensteine mit Zeithorizont, Indikator und zuständigen Ressorts. Für den Mittelstand ist ein Meilenstein besonders folgenreich: Bis 2029 soll der Anteil der KMU im produzierenden Gewerbe, die KI in den Kernprozessen einsetzen, auf über 50 Prozent steigen [39]. Für 2030 nennt die Roadmap das Ziel, Deutschland „als Leitmarkt bei industriellen KI-Anwendungen und KI-basierter Robotik“ zu positionieren; als Indikatoren dienen der Marktanteil bei industrieller KI sowie Anzahl und Marktanteil deutscher Robotikunternehmen, ein Zahlenziel nennt die Roadmap dafür nicht [39]. Hinzu kommen eingerichtete Testzentren und Reallabore bis 2028 sowie mindestens 100 Transferbeispiele bis 2028 [39].

Zwei Einschränkungen stehen in der Roadmap selbst. Alle genannten Maßnahmen des Bundes stehen „unter dem Vorbehalt verfügbarer Haushaltsmittel“, und Wirkungsmessung sowie Akteursmobilisierung seien „in der weiteren Umsetzung fortlaufend auszugestalten“ [39]. Die Meilensteine sind demnach Ziele mit Urheber und Datum, keine finanzierten Zusagen. Für die Leserin, die einschätzen will, was davon bis 2028 greifbar wird, ist das die wichtigste Zeile des Dokuments.

5.3 KI-Robotikbooster: 100 Millionen Euro in zwei Strängen

Die Hightech Agenda kündigte für 2026 einen „KI-Robotikbooster“ an, mit Leitprojekten für Mehrzweckroboter, Schaufenstern für verkörperte KI, dem Ausbau der Forschungsinfrastruktur sowie Erprobungs- und Weiterbildungszentren [1]. Auf der Seite der Hightech Agenda ist der Booster inzwischen als Flaggschiffmaßnahme beschrieben: Die Bundesregierung stellt dafür 100 Millionen Euro bereit, aufgeteilt in zwei Förderstränge, nämlich die Förderrichtlinie für Robo-Hubs und eine Challenge zu KI-basierten Mehrzweckrobotern, durchgeführt von der

Bundesagentur für Sprunginnovationen SPRIND [49]. Die Roadmap ordnet den Booster den Meilensteinen zu Testzentren, Transferbeispielen, KI-Produkten und Leitmarkt zu [39].

Die Umsetzungsstufe ist je Strang verschieden. Für die Robo-Hubs liegt eine im Bundesanzeiger bekanntgemachte Förderrichtlinie vor; der Antragsschluss ist verstrichen. Für die Challenge hat SPRIND ein Verfahren mit Bewerbungsfrist und Jury eröffnet. Wie viel der 100 Millionen Euro bereits bewilligt oder abgeflossen ist, lässt sich keiner der vorliegenden Quellen entnehmen. Der Booster ist damit beschlossen und in Teilen ausgeschrieben, mehr belegt der Wortlaut derzeit nicht.

5.4 Robo-Hubs: Konzeptwettbewerb für die Forschung, späterer Zugang für Betriebe

Die Richtlinie zur Förderung eines Konzeptwettbewerbs „Innovationslabore für KI-basierte Robotik (Robo-Hubs)“ datiert vom 2. Juni 2026 und wurde am 11. Juni 2026 im Bundesanzeiger veröffentlicht [14]. Sie beschreibt Robo-Hubs als Innovationslabore mit jeweils einem domänenspezifischen Schwerpunkt, etwa Produktion, Logistik, Agrarwirtschaft, Bauwesen oder Gesundheit und Pflege [14, 49]. Insgesamt stellt das BMFTR für den Konzeptwettbewerb und die anschließende Umsetzungsphase bis zu 50 Millionen Euro bereit [14]. Diese 50 Millionen gelten für das gesamte Robo-Hub-Verfahren, nicht für einen einzelnen Hub.

Das Verfahren hat zwei Stufen. In der ersten wählt das BMFTR fünf, bei hohem Interesse höchstens sieben Vorlaufprojekte aus, die in neun Monaten mit jeweils bis zu 500.000 Euro ein Umsetzungskonzept erarbeiten [14]. In der zweiten sollen bis zu drei Sieger ausgewählt werden, deren Konzept als Forschungs- und Entwicklungsverbund umgesetzt werden kann; einen Rechtsanspruch darauf schließt die Richtlinie ausdrücklich aus [14]. Die Zeitplanung ist eng: Die Antragsfrist endete am 31. Juli 2026, die Auswahl der Vorlaufprojekte war bis Anfang Oktober 2026 vorgesehen, ein gemeinsamer Start aller Vorlaufprojekte wird zum 1. Dezember 2026 angestrebt [14]. Die Umsetzungskonzepte sollen bis Anfang Juli 2027 vorliegen, die Auswahl der Sieger wird für Ende August 2027 angestrebt [14]. Alle Termine ab Oktober 2026 sind damit Planungsangaben des Ministeriums.

Für einen mittelständischen Betrieb ist die wichtigste Festlegung die Antragsberechtigung. Anträge für die Konzeptphase können nur staatliche und nichtstaatliche Hochschulen sowie außeruniversitäre Forschungseinrichtungen mit Expertise in KI-basierter Robotik stellen [14]. Unternehmen sind im Konzeptwettbewerb „von einer Förderung ausgenommen“, ihre Einbindung in die Konzeptentwicklung wird zugleich „ausdrücklich gefordert“ [14]. Ein Betrieb kann sich in dieser Phase also als Unterstützer mit Interessensbekundung beteiligen, nicht als Zuwendungsempfänger.

Der eigentliche Nutzen für Unternehmen ist für die spätere Aufbauphase vorgesehen und deshalb heute noch eine Absicht. Die Richtlinie richtet ihn an „Unternehmen, insbesondere KMU und Start-ups“, eine Größengrenze nennt sie dafür nicht [14]. Über ein niederschwelliges Zugangskonzept mit „Transfer-Ingenieuren“ sollen Forschungseinrichtungen und Unternehmen Robotikanwendungen auf der Infrastruktur der Hubs testen und validieren können [14]. In geförderten Transferprojekten von etwa vier bis sechs Monaten sollen Unternehmen neue Technologien „mit geringem Risiko gemeinsam mit der Forschung“ erproben, nach dem Prinzip „test-before-invest“; als typische Beispiele nennt die Richtlinie Cobot-Zellen, autonome mobile Roboter und Sicherheitskonzepte für lernende Roboter [14].

Drei Bedingungen gehören zu diesem Angebot. Die Unternehmen „müssen eigene Aufwände selbst finanzieren“, gefördert werden die wissenschaftlichen Partner [14]. Das in diesen Projekten entstehende geistige Eigentum verbleibt nach der Richtlinie „vollständig bei dem entsprechenden Robo-Hub beziehungsweise den beteiligten und geförderten Forschungseinrichtungen“, und die Richtlinie nennt das ausdrücklich „ein wesentliches Kriterium“ [14]. Daneben sollen die Hubs dem Mittelstand nicht geförderte, marktnahe Transferprojekte anbieten, die sich „an Marktpreisen“ orientieren [14].

Diese Konstruktion hat eine Logik, die über das Programm hinausweist. Eine Grundfinanzierung des Betriebs über die Aufbauphase hinaus ist nicht vorgesehen; die Konzepte müssen die wirtschaftliche Tragfähigkeit nach Ende der Bundesförderung nachweisen, für den Aufbau ist eine Kofinanzierung aus Industrie und Ländern von 30 bis 50 Prozent anzustreben [14]. Nach Einschätzung der Redaktion hängt die Reichweite der Hubs für den Mittelstand damit weniger an der Fördersumme als an zwei Fragen: ob Betriebe die IP-Regel bei geförderten Pilotprojekten

akzeptieren, und ob es genug zahlende Kunden für die Marktpreis-Angebote gibt. Beides lässt sich erst ab der Aufbauphase beobachten, also frühestens nach der für August 2027 angestrebten Siegerauswahl.

5.5 Die SPRIND-Challenge „Next Frontier Robotics“

Den zweiten Strang des Boosters beschreibt die Hightech Agenda als Challenge zur Entwicklung KI-basierter Mehrzweckroboter, mit deren Entwicklung SPRIND „beauftragt“ wurde [49]. SPRIND führt unter dem Titel „Next Frontier Robotics“ eine Challenge zu Mehrzweckrobotik „made in Europe“ durch [53]. Ein Satz, der beide ausdrücklich gleichsetzt oder die Challenge dem Booster-Budget zuordnet, findet sich in den vorliegenden Seiten nicht. Die Zuordnung liegt nahe, ist im Wortlaut aber nicht belegt, und die Studie behandelt die Challenge deshalb als eigenes Instrument.

Inhaltlich ist die Challenge auf zwei Wege angelegt: Track 1 verlangt integrierte Plattformen, also vollständige Mehrzweckroboter für kommerzielle Anwendungsfälle, Track 2 neuartige Hardwarekomponenten wie Greifsysteme, Sensoren oder Gelenke [53]. Sie läuft über 36 Monate in vier aufeinanderfolgenden Stufen, vom Labor über reale Umgebungen bis zur Interoperabilität zwischen Systemen [53]. SPRIND bietet je Team bis zu 7,2 Millionen Euro, vergeben als vorkommerzielle Auftragsvergabe (Pre-Commercial Procurement) über einen Festpreisvertrag auf Basis der Kostenschätzung des Teams [53]. Es handelt sich also um einen Auftrag mit Stufenlogik, nicht um einen klassischen Zuschuss. In Track 1 steigen die Beträge von je bis zu einer Million Euro in den ersten beiden Stufen auf 2,2 und 3,0 Millionen Euro; in Track 2 ist die Verteilung umgekehrt, mit bis zu 2,4 Millionen Euro in der ersten Stufe [53].

Teilnehmen konnten Einzelpersonen, Teams, Hochschulen, Forschungseinrichtungen, etablierte Unternehmen und Start-ups mit Sitz in der EU, der EFTA oder Großbritannien; bei Unternehmen müssen zudem mindestens 50 Prozent des Eigenkapitals dort gehalten werden [53]. Die Arbeit an der Challenge darf nicht parallel aus anderen öffentlichen Quellen finanziert werden, und die Kernentwicklung und Integration müssen in den teilnahmeberechtigten Ländern bleiben [53]. Die Bewerbungsfrist endete am 22. Oktober; zum Abruf am 25. Oktober 2026 meldete die Seite die Bewerbungsphase als geschlossen. Pitches vor der Jury sind für den 11. und 12. November angesetzt, für den 13. November nennt der Zeitplan den Start der Teams („get started“) [53]. Eine Auswahl ist damit laut SPRIND für November 2026 vorgesehen. Für einen mittelständischen Betrieb war die Challenge eines der wenigen Instrumente dieses Kapitels mit direkter Antragsmöglichkeit, die Frist ist jedoch abgelaufen. Wer ausgewählt wurde, ist zum Informationsstand dieser Studie offen.

5.6 Robotics Institute Germany

Das Robotics Institute Germany (RIG) ist das Forschungsnetzwerk, an das die Robo-Hubs angeschlossen werden sollen. Nach eigener Darstellung wird es seit 2024 vom BMFTR mit 20 Millionen Euro über vier Jahre gefördert und umfasst 14 deutsche Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie mehr als 20 assoziierte Partner [62]. An anderer Stelle nennt das RIG 14 Partner, 20 assoziierte Partner und 36 Standorte [50]. Die Seite der Hightech Agenda spricht dagegen von einem Verbund, der „16 Standorte der Spitzenforschung“ vereine [49]. Die Angaben stammen aus verschiedenen Zählweisen und werden hier nebeneinander gestellt, nicht verrechnet.

Für die Instrumentenlogik ist die Rolle wichtiger als die Größe. Die Robo-Hub-Richtlinie verpflichtet die Konsortien, das RIG „angemessen“ einzubinden: bei der Ableitung der Missionen der Hub-Wettbewerbe aus der RIG-Forschungsroadmap, bei der Anschlussfähigkeit der Forschungsstrukturen und bei der Jury für die Transferprojekte [14]. Die Roadmap nennt das RIG als Umsetzungspartner für den Leitmarkt-Meilenstein [39]. Das RIG ist damit wissenschaftliche Klammer, kein Förderprogramm für Betriebe. Ein direkter Zugang für Unternehmen außerhalb der Partnerschaften ist in den vorliegenden Seiten nicht beschrieben.

5.7 Plattform Industrie 4.0 und die Absichtserklärung mit NVIDIA

Die Plattform Industrie 4.0 ist seit Jahren das Netzwerk aus Politik, Industrie, Forschung und Verbänden, über das sich Deutschland zu Fragen der vernetzten Produktion abstimmt. Am 6. Juli 2026 wurde sie nach eigener Darstellung in einer konstituierenden Sitzung einer neuen Leitungsrunde auf industrielle KI ausgerichtet, unter Leitung von Siemens und Trumpf, mit 17 Unternehmen sowie Forschungseinrichtungen wie acatech und der Fraunhofer-Gesellschaft [63]. Vier Schritte wurden damals festgelegt, darunter ein Arbeitsplan bis September 2026,

erste Maßnahmen bis Dezember 2026, die Öffnung für den Mittelstand und eine sofort zu gründende Arbeitsgruppe „Mittelstand und Transfer“ [63]. Ob der Arbeitsplan im September vorgestellt wurde, lässt sich aus den abgelegten Auszügen nicht ablesen; die News-Übersicht des neuen Auftritts führte am 21. Oktober 2026 als jüngsten Eintrag noch den 6. Juli [63].

Am 19. Oktober 2026 unterzeichneten das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt im Rahmen des „Invest in Germany Summit“ eine Absichtserklärung (Joint Declaration of Intent) mit NVIDIA [15]. Die Partner vereinbaren darin, „eine Initiative zur Entwicklung modernster KI-Modelle für Physical AI voranzutreiben“, mit besonderem Augenmerk auf spezialisierte, offene Modelle für industrielle KI auf Basis von NVIDIA Nemotron und NVIDIA Cosmos [15]. Die Plattform Industrie 4.0 sei „das Kernelement der Partnerschaft“; das Netzwerk werde derzeit vollständig auf industrielle KI ausgerichtet und „soll somit zum zentralen Strategienetzwerk für Industrielle KI“ werden [15]. Zum Mittelstand heißt es, durch die Einbeziehung von Forschung, Industrie und KMU werde sichergestellt, dass Innovationen breit gestreut würden [15].

Die Umsetzungsstufe ist eindeutig: Unterzeichnet ist eine Absichtserklärung. Ein Budget, eine Laufzeit oder konkrete Leistungen nennt die Pressemitteilung nicht. Wie der Mittelstand an der Initiative beteiligt werden soll, bleibt ebenfalls offen. Was am 19. Oktober unterschrieben wurde und was nicht im Text steht, hat FluxLane in einem eigenen Beitrag ausführlich dargestellt (fluxlane.eu/plattform-industrie-40-industrielle-ki/); die Studie übernimmt davon nur die Einordnung als Absichtserklärung.

5.8 Manufacturing-X und Factory-X

Manufacturing-X ist der Förderrahmen des BMWE für ein branchenübergreifendes Datenökosystem der Industrie. Die Broschüre des Ministeriums mit Stand März 2026 nennt die Zahlen: Von 89 Projektvorschlägen wurden elf Verbundprojekte ausgewählt, insgesamt 137 Teilprojekte mit einem Volumen von rund 308 Millionen Euro und einer staatlichen Förderung von etwa 153 Millionen Euro [52]. Das Leuchtturmprojekt Factory-X, in dem unter Führung von Siemens und SAP 46 Partner zusammenarbeiteten, startete laut Broschüre am 2. Februar 2024 als erstes Verbundprojekt [52]. Zu den Anwendungsfällen gehören digitale Lösungen für „As a Service“-Geschäftsmodelle, etwa Marktplätze mit Pay-per-Part-Ansätzen [52].

Die Broschüre widerspricht sich bei Factory-X an zwei Stellen. Im Text heißt es, Factory-X sei „mit einem Volumen von etwa 153 Millionen Euro“ gestartet, also mit derselben Zahl, die wenige Zeilen später als staatliche Förderung des gesamten Programms erscheint; der Projektsteckbrief nennt dagegen ein Projektvolumen von 149 Millionen Euro bei einem Förderanteil des BMWE von 47,9 Prozent [52]. Zudem nennt der Steckbrief als Laufzeit Mai 2024 bis Juli 2026, während der Text den Start auf den 2. Februar 2024 datiert [52]. Nach dem Steckbrief ist das Projekt zum Stand dieser Studie beendet. Die Studie gibt für Factory-X beide Werte mit Fundstelle an und verwendet für Vergleiche nur die Programmsumme. Die meisten Steckbriefe der Broschüre nennen Laufzeiten, die 2026 oder Anfang 2027 enden [52]. Ob und in welcher Form die Projekte weitergeführt werden, steht dort nicht.

Für kleinere Betriebe sah Manufacturing-X die Teilnahme ausdrücklich vor, und zwar über mehrere Bausteine. Das Projekt Robot-X sollte laut Steckbrief „insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) den Zugang zu maßgeschneiderten Robotern und Automatisierungslösungen erleichtern“, mithilfe von modellbasiertem Systems Engineering und KI; das Projektvolumen beträgt 9,9 Millionen Euro bei 46 Prozent Förderanteil, die Laufzeit endete nach dem Steckbrief im September 2026 [52]. Das Querschnittsprojekt DAVID sollte einen KMU-Adapter entwickeln, der KMU die Anbindung an das Industrie-4.0-Datenökosystem ermöglicht; auch DAVID lief nach Steckbrief bis September 2026 [52]. Die Transferinitiative SCALE-MX soll die Beteiligung von Unternehmen, insbesondere KMU, am Datenökosystem steigern; für sie nennt der Steckbrief keine Laufzeit [52]. Alle drei beschreiben Projektziele. Ob die Ergebnisse, etwa der KMU-Adapter, nach Laufzeitende nutzbar sind oder wie viele KMU angebunden sind, belegt die Broschüre nicht. Eine offene Förderausschreibung nennt sie ebenfalls nicht [52]. Laut einer Meldung der Plattform Industrie 4.0 vom 14. Oktober 2026 sind Manufacturing-X und das Programm KoPa35c inzwischen in der Plattform „vereint“ [63]. Was das für künftige Förderrunden bedeutet, geht aus dem Titel der Meldung nicht hervor.

5.9 Mittelstand-Digital-Zentren

Das niederschwelligste Angebot für Betriebe ist ein bestehendes Netzwerk. Die Mittelstand-Digital-Zentren des BMWE geben KMU, Handwerk und Start-ups Orientierung bei Digitalisierung und KI, und nach Angabe der IHK Lüneburg-Wolfsburg unterstützt das Netzwerk „kleine und mittlere Unternehmen kostenfrei“ [16]. Die IHK Cottbus, selbst Konsortialpartner eines Zentrums, beschreibt die Unterstützung als „kostenfrei und anbieterneutral“ [17]. Beide Angaben stammen von Industrie- und Handelskammern; ein Wortlaut des BMWE selbst liegt der Studie nicht vor, weil dessen Seiten nicht abrufbar waren. Belegt ist der kostenfreie Zugang damit für kleine und mittlere Unternehmen; ob größere Mittelständler mit 250 bis 500 Beschäftigten das Angebot nutzen können, geht aus den Quellen nicht hervor.

Was ein Zentrum konkret leistet, zeigt das Beispiel Spreeland. Nach Angaben der IHK Cottbus vom 2. März 2026 hat es seit dem Start im März 2023 mehr als 2.600 KMU erreicht, jeweils rund 100 Workshops und Unternehmensgespräche bestritten und 16 Umsetzungsprojekte mit Unternehmen realisiert [17]. In Modellfabriken in Cottbus und Wildau sowie mit einer mobilen Fabrik stehen Demonstratoren für Digitalisierungs- und Automatisierungslösungen bereit [17]. Das Projekt wurde um zehn Monate bis zum 31. Dezember 2026 verlängert, dem Ende der aktuellen Förderperiode [17]. Ein Zwischenbericht der Evaluation von November 2025 bescheinigt den Zentren laut IHK einen messbaren Beitrag; in einer Online-Befragung gab mindestens die Hälfte der unterstützten Unternehmen an, dass sich die digitalen Kompetenzen ihrer Mitarbeitenden verbessert hätten [17]. Das ist eine Selbstauskunft der Teilnehmenden, wiedergegeben durch einen Konsortialpartner, und kein unabhängig gemessener Wirkungsnachweis.

Das Netzwerk umfasst derzeit mehr als 20 Zentren [17]. Für die Zeit danach beabsichtigt das BMWE laut IHK Cottbus ein neues bundesweites Netzwerk mit regionalen sowie themen- und branchenspezifischen Zentren und breitenwirksamen Fokusprojekten zu Digitalisierung und KI; der Förderaufruf wurde veröffentlicht [17]. Die Roadmap KI sieht eine Weiterentwicklung des Netzwerks vor, die Digitalisierung, KI und Cybersicherheit verbindet [39]. Für einen Betrieb heißt das zweierlei: Bis Ende 2026 sind die bestehenden Angebote nutzbar, für 2027 ist ein Nachfolgenetzwerk angekündigt, dessen Zuschnitt und Standorte noch nicht feststehen. Eine vollständige Liste der Zentren mit KI- oder Robotikschwerpunkt konnte die Studie nicht erstellen.

5.10 KI-Marktüberwachungsgesetz, Bundesnetzagentur und Reallabor

Das einzige Instrument dieses Kapitels mit Gesetzesrang ist das KI-Marktüberwachungs- und Innovationsförderungsgesetz (KI-MIG) vom 22. Juli 2026, verkündet im Bundesgesetzblatt 2026 I Nr. 223 und seit dem 29. Juli 2026 in Kraft [18]. Es führt die europäische KI-Verordnung in Deutschland durch, regelt die zuständigen Behörden und enthält Maßnahmen zur Innovationsförderung sowie Bußgeldvorschriften [18]. Zuständige Marktüberwachungsbehörde ist die Bundesnetzagentur, „soweit in diesem Gesetz nichts anderes bestimmt ist“ [18]. Für KI-Systeme im Zusammenhang mit Produkten, auf die die in Anhang I Abschnitt A der KI-Verordnung genannten Harmonisierungsvorschriften anzuwenden sind, nehmen die dafür bestimmten Marktüberwachungsbehörden auch diese Aufgabe wahr; für bestimmte Finanzunternehmen ist die BaFin zuständig [18]. Die Bundesnetzagentur ist zudem zentrale Anlaufstelle im Sinne der Verordnung [18].

Ein Hinweis zur Zuordnung von Maschinen gehört hierher, ohne dass die Studie ihn rechtlich auflösen kann. Das KI-MIG knüpft in § 2 Abs. 2 an Anhang I Abschnitt A an [18]. Die Digital-Omnibus-Verordnung zur KI hat die Maschinenverordnung in der KI-Verordnung von Abschnitt A in Abschnitt B verschoben. Für KI-Systeme, die nach Artikel 6 Absatz 1 als hochriskant eingestuft sind und mit Produkten nach Abschnitt B in Zusammenhang stehen, gelten seitdem nur noch Artikel 6 Absatz 1, Artikel 60a und Artikel 102 bis 112 der KI-Verordnung; die Artikel 57, 58 und 59 über Reallabore gelten für sie nur, soweit die Anforderungen an Hochrisiko-KI-Systeme in die jeweiligen Produktvorschriften übernommen wurden [28]. Fällt ein in eine Maschine eingebautes KI-System dagegen unter einen Anwendungsfall nach Anhang III, kann es weiterhin nach Artikel 6 Absatz 2 hochriskant sein (Kapitel 9.3) [64, 28]. Welche Behörde damit für KI in Maschinen zuständig ist, beantwortet der Wortlaut des § 2 nicht ausdrücklich, und die Studie legt das nicht aus.

Für Betriebe sind zwei Aufgaben der Bundesnetzagentur greifbar. Sie stellt allgemeine Informationen und Anleitungen zur Anwendung der KI-Verordnung bereit, „insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen, Start-up-Unternehmen und öffentliche Stellen …“, und führt Sensibilisierungs- und Schulungsmaßnahmen durch

[18]. Eine Beratung zum Einzelfall, etwa zur Einstufung als Hochrisiko-KI-System, sieht § 12 dagegen nur auf Anfrage einer öffentlichen Stelle vor [18]. Außerdem verpflichtet § 13 die Bundesnetzagentur, mindestens ein KI-Reallabor nach den Artikeln 57 und 58 der KI-Verordnung zu errichten und zu betreiben [18]. Vorrangigen Zugang haben nach Art. 62 Abs. 1 Buchst. a KI-VO kleine und mittlere Unternehmen einschließlich Start-ups mit Sitz oder Zweigniederlassung in der EU; § 13 Abs. 3 KI-MIG erweitert den Vorrang „auch“ auf Forschungseinrichtungen, Hochschulen und deren Ausgründungen mit Sitz oder Zweigniederlassung in der EU, jeweils nur, soweit sie die Voraussetzungen und Auswahlkriterien der Durchführungsrechtsakte erfüllen [18, 64]. Andere Anbieter schließt das nicht aus: Nach Art. 58 KI-VO stehen Reallabore allen Anbietern offen, die einen Antrag stellen und die Voraussetzungen und Auswahlkriterien erfüllen [64]. Ob das Reallabor bereits arbeitet, belegen die vorliegenden Quellen nicht. Mit Blick auf die 62 Prozent der zögernden Unternehmen, die unklare rechtliche Folgen nennen [12], hat nach Einschätzung der Redaktion gerade der Informationsauftrag des Gesetzes für den Mittelstand größeres Gewicht als seine Aufsichtsbefugnisse. Für die Einordnung des eigenen Falls bleiben Unternehmen damit auf die allgemeinen Informationsangebote der Bundesnetzagentur nach § 12 Nr. 1 KI-MIG und auf anwaltliche Beratung verwiesen. Diese Darstellung ersetzt keine einzelfallbezogene Rechtsberatung.

5.11 Die geplante deutsche KI-Gigafabrik

Rechenkapazität ist eine Vorbedingung für eigene Modelle, auch für die in der NVIDIA-Absichtserklärung genannten. Die Hightech Agenda formulierte im Juli 2025: „Wir holen mindestens eine der europäischen AI Gigafactories nach Deutschland“, und plante die Betriebsaufnahme damals ab Mitte 2027 [1]. Die Roadmap KI vom Mai 2026 hält am Ziel fest, verschiebt den Termin aber: „Die Betriebsaufnahme ist ab Anfang 2028 geplant“ [39]. Als Meilenstein für 2028 steht dort die Inbetriebnahme einer EU-Gigafabrik in Deutschland, getragen von Konsortien [39].

Vergeben ist eine solche Fabrik noch nicht. Die europäische Ausschreibung läuft bis zum 12. November 2026, Vergabeentscheidungen erwartet die Kommission bis Anfang 2027 (Kapitel 9.6) [30]. Deutschland gehört zu den 18 Mitgliedstaaten, die mit dem EuroHPC Joint Undertaking eine Vereinbarung zur gemeinsamen Beschaffung unterzeichnet haben [30]. Die Kommission erwartet die Inbetriebnahme ausgewählter Gigafabriken innerhalb von höchstens 18 Monaten nach Vertragsunterzeichnung [30]. Der Termin der Roadmap hängt damit an zwei Voraussetzungen, die beide noch ausstehen: einem deutschen Zuschlag und einer Vertragsunterzeichnung, die früh genug erfolgt.

5.12 Übersicht: Instrumente nach Umsetzungsstufe

Wo eine Quelle zu einer Spalte schweigt, steht „nicht belegt“; die Spalte „Zugang für Mittelstand“ gibt nur wieder, was im Wortlaut steht.

Instrument	Träger	Umsetzungsstufe (Stand 25.10.2026)	Zugang für Mittelstand	Quelle
Hightech Agenda, KI-Ziel „10 % der Wirtschaftsleistung KI-basiert bis 2030“	Bundesregierung (BMFTR)	angekündigt; Messgröße nicht definiert	kein unmittelbarer Zugang	Q36
Technologie-Roadmap KI, u. a. „über 50 % der KMU im produzierenden Gewerbe mit KI in Kernprozessen bis 2029“	Bundesregierung	angekündigt; Haushaltsvorbehalt	kein unmittelbarer Zugang	Q36B
KI-Robotikbooster (100 Mio. €, zwei Stränge)	Bundesregierung (BMFTR)	beschlossen, in Teilen ausgeschrieben; Mittelabfluss nicht belegt	nur über die Stränge	Q20D, Q36
Robo-Hubs, Konzeptwettbewerb (bis 50 Mio. € inkl. Umsetzungsphase)	BMFTR, Projektträger VDI/VDE-IT	ausgeschrieben; Antragsfrist 31.07.2026 abgelaufen; Start Vorlaufprojekte 01.12.2026 angestrebt	nicht antragsberechtigt; Einbindung über Interessensbekundung	Q20B
Robo-Hubs, Transferprojekte „test-before-invest“ und Marktpreis-Angebote	künftige Robo-Hubs	angekündigt (Aufbauphase nach Siegerauswahl, angestrebt Ende August 2027)	„Unternehmen, insbesondere KMU und Start-ups“; Eigenaufwand selbst getragen; IP vollständig beim Hub bzw. den geförderten Forschungseinrichtungen	Q20B

Instrument	Träger	Umsetzungsstufe (Stand 25.10.2026)	Zugang für Mittelstand	Quelle
SPRIND-Challenge „Next Frontier Robotics“ (bis 7,2 Mio. € je Team, PCP)	SPRIND	ausgeschrieben; Bewerbungsfrist 22.10. abgelaufen; Auswahl laut SPRIND-Zeitplan für November 2026 vorgesehen	antragsberechtigt waren auch etablierte Unternehmen mit Sitz und mind. 50 % Eigenkapital in EU/EFTA/UK; keine parallele öffentliche Förderung	Q48
Robotics Institute Germany (20 Mio. € über vier Jahre seit 2024)	BMFTR-gefördertes Forschungsnetz	umgesetzt (Netzwerk besteht)	kein direkter Zugang beschrieben	Q21, Q21B, Q20D
Plattform Industrie 4.0, Neuausrichtung auf industrielle KI	BMWE mit Wirtschaft, Verbänden, Forschung	beschlossen (Neuausrichtung 06.07.2026); Stand des Arbeitsplans nicht belegt	Öffnung für Mittelstand angekündigt; AG „Mittelstand und Transfer“	Q19
Absichtserklärung mit NVIDIA zu Physical AI	BMWE, BMFTR, NVIDIA	Absichtserklärung unterzeichnet (19.10.2026); kein Budget genannt	KMU-Einbeziehung angekündigt, nicht ausgestaltet	Q18
Manufacturing-X / Factory-X (137 Teilprojekte, rund 308 Mio. € Volumen, rund 153 Mio. € Förderung)	BMWE, Projektträger VDI TZ	umgesetzt (Projekte bewilligt; Laufzeiten laut Broschüre meist bis 2026/27, Factory-X bis 07/2026); keine offene Ausschreibung belegt	KMU-Bausteine Robot-X und DAVID laut Broschüre bis 09/2026 befristet, Weiterführung nicht belegt; SCALE-MX ohne Laufzeitangabe	Q23B, Q19
Mittelstand-Digital-Zentren (mehr als 20)	BMWE	umgesetzt; Förderperiode bis 31.12.2026; Nachfolgenetz ab 2027 angekündigt	kostenfrei für KMU laut IHK-Angaben; 250–500 Beschäftigte nicht belegt	Q39, Q39B, Q36B
KI-MIG mit Bundesnetzagentur als Marktüberwachungsbehörde	Bund (Gesetz vom 22.07.2026)	beschlossen, in Kraft seit 29.07.2026	Informationen und Anleitungen insbesondere für KMU; Einzelfallberatung nach § 12 nur für öffentliche Stellen	Q33
KI-Reallabor der Bundesnetzagentur	Bundesnetzagentur	gesetzlich vorgeschrieben; Betrieb nicht belegt	vorrangig KMU und Start-ups (Art. 62 KI-VO) sowie Forschung, Hochschulen, Ausgründungen (§ 13 Abs. 3 KI-MIG); größere Unternehmen ohne Vorrang, aber nicht ausgeschlossen	Q33, Q32
Deutsche KI-Gigafabrik	Bund (Koordination), Konsortien, EU	angekündigt; EU-Vergabe offen; Betrieb ab Anfang 2028 geplant	nicht belegt	Q36, Q36B, Q22

Die Übersicht zeigt nach Einschätzung der Redaktion ein wiederkehrendes Muster. Bewilligt und umgesetzt sind vor allem Strukturen für Forschung und große Verbünde, während die Angebote, die kleine und mittlere Unternehmen direkt erreichen, entweder bereits bestehen, wie die Mittelstand-Digital-Zentren (laufende Förderperiode bis 31.12.2026), oder erst ab 2027 vorgesehen sind, wie die Transferprojekte der Robo-Hubs. Dazwischen liegt ein Zeitraum, in dem die zentrale Frage dieses Kapitels für viele Betriebe dieselbe Antwort hat: kostenfreie Orientierung ist für kleine und mittlere Unternehmen verfügbar, geförderte Erprobung mit Robotik und KI ist angekündigt.

6 Singapur: Breite durch ein Unternehmensziel

Singapur misst den Erfolg seines jüngsten KI-Programms nicht in Robotern, sondern in Unternehmen. Das National AI Impact Programme soll nach Angaben des Digitalministeriums in drei Jahren 10.000 Unternehmen bei der Einführung von KI unterstützen und 100.000 Beschäftigte zu „AI Bilingual“ machen, also zu Fachleuten, die KI in ihrem eigenen Arbeitsgebiet anwenden können [19]. Bei der Automatisierung der Industrie ist der Stadtstaat dabei kein Nachzügler: Im Datenjahr 2024 kamen laut IFR-Mitteilung vom 8. April 2026 (World Robotics 2025) in Singapur 818 Industrieroboter auf 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe, der zweithöchste Wert nach Südkorea [3]. Das Kapitel prüft, was die singapurischen Instrumente versprechen, auf welcher Umsetzungsstufe sie stehen und was die Kennzahlen tatsächlich messen, an denen sie sich messen lassen. Für deutsche Leserinnen und Leser ist dabei vor allem eine Unterscheidung wichtig: die zwischen der Breite der KI-Nutzung in vielen kleinen Betrieben und der Tiefe der KI-Anwendung in der Produktion.

6.1 Der strategische Rahmen: NAIS 2.0 und das Update vom Mai 2026

Die Grundlage bildet die Nationale KI-Strategie NAIS 2.0, die Singapur im Dezember 2023 vorgestellt hat [65]. Im Haushalt vom 16. Februar 2024 kündigte der damalige stellvertretende Premierminister Lawrence Wong an, über fünf Jahre mehr als eine Milliarde Singapur-Dollar in Rechenkapazität, Fachkräfte und Industrieentwicklung zu investieren [66]. Im Februar 2026 kam ein Nationaler KI-Rat unter Vorsitz des inzwischen amtierenden Premierministers Wong hinzu [65]. Am 20. Mai 2026 veröffentlichte die Regierung ein Update der Strategie mit zehn überarbeiteten Prioritäten [65, 21].

Bemerkenswert ist die Selbstdiagnose, mit der das Update beginnt. Zwar nutzten mehr Unternehmen und Beschäftigte KI, die meisten befänden sich aber noch in der Erprobungsphase, und nur relativ wenige erzielten Erträge auf Unternehmensebene; die Regierung stützt sich dabei auf eine Erhebung von McKinsey [21]. Sie benennt ausdrücklich das Risiko „K-förmiger“ Ergebnisse, bei denen eine kleine Gruppe von Unternehmen, Beschäftigten und Ländern davonzieht und ein langer Rest zurückbleibt [21]. Diese Formulierung stammt nicht von Kritikern, sondern aus dem Strategiedokument selbst. Nach Einschätzung der Redaktion erklärt sie, warum das Update neben Spitzenprojekten so stark auf die Breite der Wirtschaft zielt.

Für die Industrie sind zwei Ankündigungen maßgeblich. Im Haushalt 2026 hat der Premierminister nationale KI-Missionen in vier Sektoren angekündigt: fortgeschrittene Fertigung, Finanzdienstleistungen, Konnektivität und Gesundheit [21]. Diese vier Sektoren trugen nach Regierungsangaben 2025 rund 40 Prozent zum Bruttoinlandsprodukt bei [21]. Ein Budget für die Missionen nennt das Update nicht; die Stufe ist damit „angekündigt“. Im Januar 2026 wurde zudem der nationale KI-Forschungsplan erneuert, für den die Regierung von 2025 bis 2030 mehr als eine Milliarde Singapur-Dollar für öffentliche KI-Forschung und Nachwuchs zugesagt hat; geplante Forschungszentren sollen unter anderem an agentischer, verkörperter und physischer KI arbeiten [21].

6.2 Das National AI Impact Programme: 10.000 Unternehmen, 100.000 Beschäftigte

Das Digitalministerium MDDI kündigte das National AI Impact Programme (NAIIP) am 2. März 2026 in den Haushaltsberatungen des Parlaments an [19, 67]. Das Programm baut ausdrücklich auf NAIS 2.0 auf und verbindet zwei Ziele: 10.000 Unternehmen sollen in drei Jahren auf ihrem Weg zur KI-Einführung unterstützt werden, 100.000 Beschäftigte sollen KI in ihrem Fachgebiet anwenden lernen [19, 21]. Das Strategie-Update vom Mai präzisiert die Richtung: Kleine und mittlere Unternehmen sollen von der Erprobung zur Integration in den Betrieb gelangen [21]. Beide Zahlen sind Ziele der Regierung, keine Ergebnisse. Teilnahmezahlen nennen die ausgewerteten Quellen nicht, eine Evaluation liegt nicht vor.

Die Bausteine des Programms sind überwiegend Erweiterungen bestehender Instrumente. Die Medienbehörde IMDA ergänzt ihr Digital Leaders Programme um ein Bootcamp für Führungskräfte, zu dem Einzelheiten „in due course“ folgen sollen [19]. Bei den gemeinsam mit Enterprise Singapore vorab geprüften und über den Productivity Solutions Grant geförderten Softwarelösungen soll der Anteil KI-gestützter Angebote von derzeit 30 auf 50 Prozent steigen [19]. Das Weiterbildungsprogramm TechSkills Accelerator (TeSA) soll Beschäftigte ohne IT-Hintergrund befähigen, Arbeitsabläufe mit KI umzugestalten; den Anfang machen Buchhaltung und Rechtsberufe, deren Programme die IMDA im ersten Halbjahr 2026 starten wollte [19]. Ob sie gestartet sind, belegen die vorliegenden Texte nicht. Das Update nennt als nächste Felder Marketing und Personalwesen [21]. Ein eigenes Zahlenziel gilt dem TeSA-Angebot für IT-Fachkräfte: 40.000 von ihnen sollen in drei Jahren weitergebildet werden [21].

Die Wahl der ersten Berufsgruppen sagt viel über den Zuschnitt. Buchhaltung und Recht sind nach den Worten des Ministeriums „horizontale“ Berufe, die in vielen Branchen vorkommen und stark von KI betroffen sind [19]. Die Fertigung oder gar die Robotik steht nicht am Anfang des Programms. Nach Einschätzung der Redaktion ist das NAIIP deshalb weniger ein Industrie- als ein Diffusionsprogramm für die gesamte Wirtschaft. Das bestehende Fundament ist dabei erheblich: Über TeSA wurden seit 2016 nach Ministeriumsangaben mehr als 24.300 Personen in IT-Berufe vermittelt und mehr als 440.000 weitergebildet [19].

6.3 Was die Adoptionsquote misst und was nicht

Die Zahl, mit der Singapur seine Fortschritte belegt, stammt aus dem Singapore Digital Economy Report 2025 der IMDA, veröffentlicht am 6. Oktober 2025 [68]. Danach stieg der Anteil der kleinen und mittleren Unternehmen, die KI

nutzen, von 4,2 Prozent im Jahr 2023 auf 14,5 Prozent im Jahr 2024; bei den übrigen Unternehmen stieg er von 44,0 auf 62,5 Prozent [20]. Die Verdreifachung bei den kleinen und mittleren Unternehmen greifen sowohl die Programmankündigung als auch das Strategie-Update auf [19, 21].

Entscheidend ist die Definition. Der Bericht versteht unter KI eine Gruppe von Werkzeugen, mit denen Computer oder Maschinen Aufgaben erledigen, die üblicherweise menschliche Intelligenz erfordern; als Beispiele nennt er Inhaltserzeugung, Kundenkontakt, Analyse und Prozessautomatisierung [20]. Ausdrücklich eingeschlossen sind digitale Lösungen, in die KI als Funktion eingebaut ist, und die Quote bezeichnet schlicht den Anteil der Unternehmen, die KI in diesem Sinne genutzt haben [20]. Den Anstieg trugen laut Bericht vor allem Kleinst- und Kleinunternehmen, also Betriebe mit höchstens zehn beziehungsweise elf bis hundert Beschäftigten, und die Mehrheit von ihnen nutzte fertige generative KI-Werkzeuge wie ChatGPT, Gemini, Midjourney oder Copilot [20].

Eine ergänzende Befragung von rund 500 KI nutzenden Unternehmen aus Mai und Juni 2025 bestätigt das Bild. Dort gaben 84 Prozent an, fertige generative KI-Werkzeuge einzusetzen, 44 Prozent nutzten maßgeschneiderte oder selbst entwickelte Lösungen [20]. Die durchschnittliche Kostenersparnis von 52 Prozent bei geförderten KI-Lösungen beruht nach dem Bericht auf Selbstauskünften der Antragsteller [20]. Sie ist damit eine Angabe der Geförderten und kein gemessener Wirkungsnachweis.

Für den Vergleich mit Deutschland folgt daraus eine klare Grenze. Die KfW meldet, dass im Zeitraum 2022 bis 2024 20 Prozent der Mittelständler mindestens eine KI-Technologie nutzten [5]; Destatis meldet für 2025 einen Anteil von 26 Prozent unter Unternehmen ab zehn Beschäftigten [10]. Grundgesamtheit, Zeitraum und KI-Begriff unterscheiden sich in allen drei Fällen, und der singapurische Bericht nennt im ausgewerteten Text weder die Größengrenze für mittlere Unternehmen noch die Erhebungsgrundlage der Adoptionsquote. Wenn Sie die 14,5 Prozent neben deutsche Werte legen, vergleichen Sie deshalb unterschiedliche Messungen und keine unterschiedlichen Leistungen. Nach Einschätzung der Redaktion misst die singapurische Quote vor allem die Verbreitung von Software und Sprachmodellen in sehr kleinen Betrieben; über KI in Produktionsprozessen sagt sie wenig.

Eine Quote für die Fertigung allein enthält der Bericht zwar als Abbildung, die Werte lassen sich in der maschinenlesbaren Fassung aber nicht verlässlich den Branchen zuordnen [20]. Diese Studie verwendet sie deshalb nicht. Für die Frage, wie weit KI in der singapurischen Industrie verbreitet ist, fehlt damit eine belastbare Branchenzahl.

6.4 Fertigung: von der Modellfabrik zum Kompetenzzentrum

Die industrielle Seite der singapurischen Politik reicht weiter zurück als das NAIIP und ist deutlich kleiner im Maßstab. Im Juni 2018 beschrieb die Forschungsagentur A*STAR ihre „Model Factories“, nachgebildete Produktionsumgebungen, in denen kleine und mittlere Unternehmen neue Technologien mit Unterstützung öffentlicher Forscher erproben konnten, bevor sie sie in die eigene Fabrik übernahmen [54]. Als Beispiel nannte A*STAR eine Datenplattform, die das Institut SIMTech mit dem Präzisionsteilehersteller CKE Manufacturing erprobte, sowie ein Projekt des Zentrums ARTC, in dem ein lokaler Zulieferer gemeinsam mit Rolls-Royce das Abkleben von Flugzeugteilen vor dem Lackieren automatisierte [54]. Der Text stammt aus dem Jahr 2018; ob das Angebot heute besteht, ist nicht belegt.

Jüngeren Datums ist das KI-Kompetenzzentrum für die Fertigung (AIMfg). Es startete im September 2024 und ist beim A*STAR-Zentrum ARTC angesiedelt; nach Regierungsangaben hat es bislang knapp 30 Unternehmen unterstützt [21]. Zu seinen Ergebnissen zählen gemeinsame KI-Modelle für branchenübergreifende Aufgaben, etwa ein Modell zur vorausschauenden Wartung rotierender Komponenten, das Hersteller einsetzen können, ohne selbst bei null zu beginnen [21]. Ein Prüfsystem zur Fehlererkennung beim Kunststoffteilehersteller Sunningdale lässt nach frühen Versuchen jährliche Einsparungen von mehr als 150.000 Singapur-Dollar je Produkt erwarten; das ist eine Erwartung aus Versuchen, keine gemessene Bilanz [21]. Die Wirtschaftsförderung EDB stellt den Fall als Beleg dafür dar, dass ein mittelgroßer Hersteller auf diesem Weg Forschungskapazität nutzen kann, die er sonst selbst aufbauen müsste [69].

Die EDB benennt dabei drei Hürden, die Hersteller typischerweise an der KI-Einführung hindern: begrenzte eigene KI-Kompetenz, schlechte oder nicht standardisierte Fabrikdaten und die Ungewissheit, ob KI-Systeme im laufenden

Betrieb verlässlich arbeiten [69]. Das singapurische Angebot sei darauf ausgerichtet, Hersteller mit Forschungsinstituten oder Industriepartnern zusammenzubringen und Pilotprojekte in die Linienfertigung zu überführen [69]. Im Berichtszeitraum April bis Juni 2026 zählt die EDB außerdem eine Absichtserklärung von Microsoft und A*STAR zu agentischer KI in der Fertigung, ein zweites asiatisch-pazifisches Forschungslabor von NVIDIA mit Schwerpunkt auf verkörperter KI und einen Auftritt auf der Hannover Messe mit 13 singapurischen Unternehmen [69].

Hinzu kommen zwei angekündigte Vorhaben mit unmittelbarem Robotikbezug und ein bereits gestartetes Kompetenzzentrum, dessen Robotikziele angekündigt sind. Der Punggol Digital District soll als Testfeld für verkörperte und angewandte KI dienen, in dem Unternehmen Robotik- und KI-Systeme unter realen Bedingungen erproben; den Anfang macht laut EDB das Unternehmen Grab, das Robotik in Gastronomie und Logistik erkundet [69]. Über sogenannte Catalytic AI Projects will die Regierung einsatzfertige KI-Lösungen für Kernprozesse unter anderem in Logistik, Fertigung und Großhandel entwickeln [21]. Das im Februar 2026 gestartete Kompetenzzentrum für die gebaute Umwelt soll unter anderem KI-gestützte Robotik gegen den Personalmangel in Bau und Gebäudemanagement entwickeln [21].

Die Gegenüberstellung der Größenordnungen ist aufschlussreich. Das Breitenziel umfasst 10.000 Unternehmen, das sektorale Kompetenzzentrum für die Fertigung hat knapp 30 unterstützt [19, 21]. Nach Einschätzung der Redaktion arbeitet Singapur damit auf zwei Ebenen mit unterschiedlicher Logik: Die Breite entsteht über geförderte Standardsoftware und Qualifizierung, die industrielle Tiefe über wenige, forschungsgestützte Einzelprojekte. Das Modell der Erprobung vor der Investition, das A*STAR 2018 beschrieb, ähnelt dem Ansatz „test-before-invest“, den die deutschen Robo-Hubs für kleine und mittlere Unternehmen vorsehen; die Robo-Hubs sind allerdings erst ausgeschrieben [14, 54].

6.5 Rechenzugang und Fachkräfte

Rechenkapazität behandelt Singapur als Engpass, den der Staat aktiv verringert. In den Haushaltsberatungen vom 1. März 2024 kündigte das damalige Kommunikationsministerium bis zu 500 Millionen Singapur-Dollar für Hochleistungsrechner an, ergänzt um mehr als 20 Millionen Singapur-Dollar für Stipendien und Auslandspraktika in KI-Berufen [66]. Die Enterprise Compute Initiative (ECI) stellt 150 Millionen Singapur-Dollar für Zugang zu KI-Werkzeugen, Cloud-Rechenleistung, Schulung und technischer Unterstützung bereit [65]. Laut Strategie-Update wurde sie im Haushalt 2025 gestartet, arbeitet mit Google, Microsoft, AWS und Oracle zusammen und hat bislang mehr als 350 Unternehmen aufgenommen [21].

Das Update beschreibt die Zielgruppe der ECI als „Singapore-based companies“ [21]. Ob und unter welchen Bedingungen Niederlassungen ausländischer Unternehmen teilnehmen können, geht aus den vorliegenden Texten nicht hervor; die Merkblätter der zuständigen Stelle waren zum Abrufzeitpunkt nicht erreichbar. Für das Forschungsrechnen soll ab 2026 der Supercomputer ASPIRE 2B die nationale Kapazität erweitern [21]. Die Regierung räumt zugleich ein, dass sie Rechenkapazität nur innerhalb ihres Energierahmens, ihrer Flächenknappheit und ihrer Klimaziele ausbauen kann [21].

Bei den Fachkräften setzt Singapur seit 2024 ein ausdrückliches Zahlenziel. Die Zahl der KI-Praktiker, also Daten- und Machine-Learning-Fachleute, soll sich innerhalb von fünf Jahren auf 15.000 verdreifachen [66]; das Update von 2026 spricht hierzu von guter Dynamik, nennt aber keinen Zwischenstand [21]. Neu ist die Gewichtung: Der größte Wandel seit 2023 liege in der Erkenntnis, dass Fachleute ohne KI-Spezialisierung, die ihr Arbeitsgebiet beherrschen und ausreichend KI-Kompetenz erwerben, an Wert gewinnen [21]. Wer ausgewählte Kurse belegt, soll sechs Monate kostenlosen Zugang zu Premiumversionen ausgewählter KI-Werkzeuge erhalten, und zwei Arbeitsmarktbehörden werden zu einer gemeinsamen Agentur zusammengelegt [21].

6.6 Die Embodied AI Challenge for Manufacturing

Das sichtbarste Robotikvorhaben ist ein Wettbewerb, kein Förderprogramm. Die Singapore Embodied AI Challenge for Manufacturing lädt Teams ein, robotische Montagesysteme zu entwickeln, die Wahrnehmung, Schlussfolgern, Planung und physisches Handeln verbinden [37]. Ausgerichtet wird sie von der Nanyang Technological University mit ihrem PINE Lab, von A*STAR und vom National Robotics Programme [37]. Ein Ankündigungsdatum nennt die

Wettbewerbsseite nicht.

Der Ablauf hat zwei Phasen. Die Online-Simulationsphase ist vom 1. Oktober bis 31. Dezember 2026 angesetzt, das Finale mit realen Robotern für den 20. März 2027 auf der Veranstaltung RoboSG! 2027 in Singapur [37, 38]. In der Simulation sollen Teams eine realitätsnahe Wartungsaufgabe an einer Halbleiterkammer lösen, gegliedert in sechs Teilaufgaben vom Öffnen der Kammer über Ausbau, Verpacken und Reinigen bis zum Einbau eines Ersatzteils und dem Verschließen [38]. Alle Teams werden mit identischen Simulatoreinstellungen bewertet. Gewertet wird nach den offiziellen Bewertungsergebnissen; die Ranglistenmethode soll vor der Bewertungsphase veröffentlicht werden. Ausgewiesen werden unter anderem die durchschnittliche Aufgabenbewertung und die Quote vollständig autonom erledigter Aufgaben [38].

Teilnehmen können nach der Seite Teams aus Hochschulen, Forschungslaboren, Unternehmen und unabhängige Gruppen, die zunächst ihr Interesse registrieren; die endgültigen Teilnahmebedingungen sollen mit dem offiziellen Regelwerk folgen [37]. Die Anmeldefrist war zum Abrufstand vom 25.10.2026 noch nicht bekanntgegeben [37]. Finalisten sollen am Austragungsort standardisierte Roboterplattformen und Rechenressourcen erhalten, ausgewählte Teams aus dem Ausland können einen Reisekostenzuschuss bekommen [37, 38]. Die sechs besten Teams sollen sich 88.000 Singapur-Dollar Preisgeld teilen, davon 50.000 für den Sieger [37, 38]. Titelsponsor ist Micron, Event-Sponsoren sind GalBot und Infineon [38].

6.7 Was nicht belegt ist

Mehrere Instrumente, die in der Diskussion über Singapur häufig genannt werden, ließen sich für diese Studie nicht am Primärtext prüfen. Für den Smart Industry Readiness Index der EDB lag keine abrufbare Primärquelle vor, weil die Seite der EDB beim Abruf am 25. Oktober 2026 mit einer Cookie-Schranke antwortete; Werte aus diesem Index verwendet die Studie deshalb nicht. Für die Branchenstrategie Manufacturing 2030 und für KI-spezifische SkillsFuture-Angebote hat die Recherche vom 25. Oktober 2026 keine Primäradresse gefunden; abgelegt sind nur Teilangaben im Strategie-Update und in der EDB-Übersicht [21, 69]. Gesucht wurde per Websuche ohne festgelegte Liste von Domänen, der Suchraum war also offen; das Ergebnis belegt deshalb nicht, dass es diese Dokumente nicht gibt. Die Zugangsbedingungen der ECI sind offen, ebenso die Teilnahmezahlen des NAIIP, die Frage, ob die 2018 beschriebenen Modellfabriken heute noch bestehen, und eine Budgetangabe für die KI-Missionen.

Ebenfalls offen ist das Ankündigungsdatum der Embodied AI Challenge, das nur in Sekundärquellen erscheint. Eine branchenspezifische KI-Quote für die singapurische Fertigung liegt in verwertbarer Form nicht vor. Für deutsche Unternehmen besonders relevant: Keiner der ausgewerteten Texte regelt ausdrücklich, ob ausländische Firmen an den Förderinstrumenten teilnehmen können. Belegt sind nur die Beschreibung der ECI-Zielgruppe als in Singapur ansässige Unternehmen und der Hinweis der Challenge auf Teams aus dem Ausland [21, 37].

6.8 Übersicht der Instrumente

Tabelle 6.1 Singapur: Instrumente nach Umsetzungsstufe (Stand 25.10.2026)

Instrument	Stufe	Zielgröße	Quelle
NAIS 2.0 (Dezember 2023) und Update (20.05.2026)	beschlossen; Prioritäten angekündigt	zehn Prioritäten; Zahlenziele in einzelnen Programmen (u. a. 10.000 Unternehmen, 100.000 Beschäftigte, 40.000 IT-Fachkräfte)	[65, 21]
Nationaler KI-Rat (Februar 2026)	umgesetzt (eingerichtet)	strategische Steuerung unter Vorsitz des Premierministers	[65]
Nationale KI-Missionen, u. a. fortgeschrittene Fertigung	angekündigt (Haushalt 2026)	kein Budget genannt	[21]
National AI Impact Programme	angekündigt am 02.03.2026; Teilnahmezahlen in den ausgewerteten Quellen nicht genannt	Ziel: 10.000 Unternehmen und 100.000 Beschäftigte in drei Jahren	[19, 21]
Vorab geprüfte Lösungen mit Productivity Solutions Grant	umgesetzt (laufend); Ausweitung angekündigt	Ziel: Anteil KI-gestützter Lösungen von 30 auf 50 Prozent	[19]

Instrument	Stufe	Zielgröße	Quelle
TeSA-Ausbau für KI	angekündigt; Programme für Buchhaltung und Recht laut MDDI für das erste Halbjahr 2026 vorgesehen, ob gestartet, nicht belegt	Ziel (TeSA-Angebot für IT-Fachkräfte): 40.000 IT-Fachkräfte in drei Jahren weiterbilden	[19, 21]
KI-Praktiker	angekündigt (März 2024)	Ziel: 15.000 in fünf Jahren	[66, 21]
Nationaler KI-Forschungsplan (Januar 2026)	finanziert (Mittel zugesagt)	mehr als 1 Mrd. S$ für 2025–2030	[21]
Enterprise Compute Initiative	umgesetzt (laufend)	150 Mio. S$; mehr als 350 Unternehmen aufgenommen (Ist)	[65, 21]
Hochleistungsrechnen (Haushaltsberatung 2024)	angekündigt	bis zu 500 Mio. S$	[66]
KI-Kompetenzzentrum Fertigung AIMfg	umgesetzt (seit September 2024)	knapp 30 Unternehmen unterstützt (Ist)	[21]
A*STAR Model Factories	2018 beschrieben; ob das Angebot heute besteht, ist nicht belegt	—	[54]
Punggol Digital District als Testfeld	angekündigt	—	[69]
Embodied AI Challenge for Manufacturing	angekündigt (Simulationsphase 01.10.–31.12.2026 angesetzt, Finale 20.03.2027)	Preisgeld 88.000 S$ für sechs Teams	[37, 38]

Keines der Instrumente ist im Sinne dieser Studie evaluiert. Die Stufe „umgesetzt“ bedeutet, dass ein Programm läuft oder Ist-Zahlen meldet, nicht, dass seine Wirkung nachgewiesen wäre. Ziele in der Spalte „Zielgröße“ sind Angaben der singapurischen Regierung mit dem in der Zeile genannten Datum.

7 Japan: Strategie gegen den Arbeitskräftemangel

Japans Regierung begründet ihre KI-Robotik-Politik mit einem einzigen Satz, und dieser Satz handelt nicht von Technik. Die Verbindungskonferenz der Ministerien zur KI-Robotik tritt zusammen, um in Branchen mit strukturellem Arbeitskräftemangel infolge sinkender Geburtenzahlen und alternder Bevölkerung das Arbeitsangebot zu ergänzen, die Produktivität zu steigern und die KI- und Roboterindustrie zu einer neuen Kernindustrie Japans zu machen [70]. Daraus ist eine Strategie mit konkreten Zahlen geworden: rund zehn Millionen KI-Roboter bis 2040, verteilt auf 18 Anwendungsfelder mit eigenen Fahrplänen [31, 22]. Die Feldziele beruhen allerdings auf der ausdrücklichen Annahme, dass die nötigen politischen Ressourcen ausreichend genutzt werden können [23]. Das Kapitel ordnet Strategie, Gesetz und Wirtschaftssicherheit nach Umsetzungsstufe und trennt dabei, was beschlossen ist, von dem, was erst als Ziel formuliert wurde.

7.1 Ausgangslage: Arbeitsmarkt und Roboterbestand

Wie angespannt der japanische Arbeitsmarkt ist, zeigt die monatliche Statistik des Gesundheits- und Arbeitsministeriums MHLW. Im August 2026 lag das Verhältnis offener Stellen zu Arbeitsuchenden saisonbereinigt bei 1,18, auf 100 Arbeitsuchende kamen also 118 offene Stellen; bei den neu gemeldeten Stellen lag das Verhältnis bei 2,06 [61]. Für Stellen mit regulärer Festanstellung betrug es 1,00 [61]. Die Werte schwanken regional erheblich: Nach Arbeitsort reichte die Spanne von 1,72 in der Präfektur Fukui bis 0,95 in Osaka [61]. Das Ministerium veröffentlichte die Zahlen am 2. Oktober 2026 [61].

Für die Einordnung sind zwei Eigenschaften dieser Kennzahl wichtig. Sie beruht auf den Stellen und Arbeitsuchenden, die bei den öffentlichen Arbeitsvermittlungen (Hello Work) einschließlich ihres Online-Angebots gemeldet sind [61]; Stellen und Bewerbungen außerhalb dieses Weges erfasst sie nicht. Sie ist zudem ein Maß für die Anspannung des Marktes und keine Zahl fehlender Arbeitskräfte. Aufschlussreich für die Industrie ist ein Detail: Während die neu gemeldeten Stellen insgesamt im Vorjahresvergleich um 3,4 Prozent zurückgingen, stiegen sie im verarbeitenden Gewerbe um 3,9 Prozent [61].

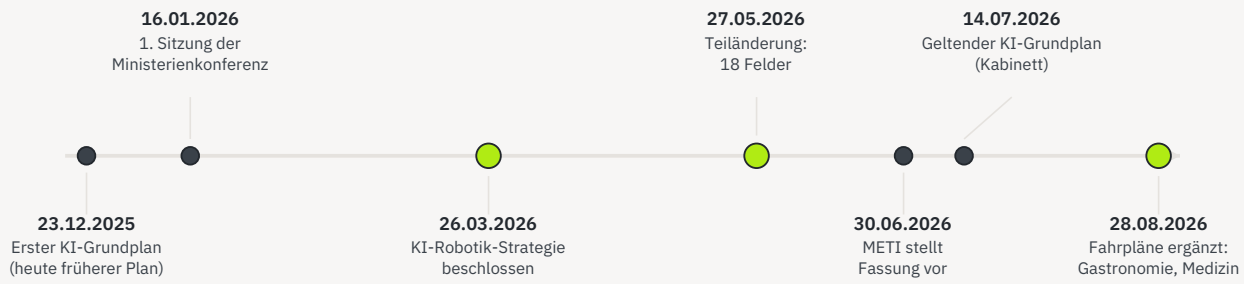
Beim Robotereinsatz liegt Japan nahe bei Deutschland. Im Datenjahr 2024 kamen laut IFR-Mitteilung vom 8. April 2026 (World Robotics 2025) 446 Industrieroboter auf 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe, gegenüber

449 in Deutschland [3]. Die Neuinstallationen gingen nach World Robotics 2026 im Jahr 2025 um 19 Prozent auf 36.219 Einheiten zurück, und Japan fiel als Absatzmarkt hinter die Vereinigten Staaten auf Rang drei [4]. Die IFR erwartet nur ein leichtes Wachstum und hält eine kräftige Erholung kurz- bis mittelfristig für unwahrscheinlich [4].

Die Strategie selbst beschreibt die Lage der eigenen Industrie nüchtern. Japanische Hersteller hielten 2024 nach einer Erhebung der Förderorganisation NEDO rund sieben Zehntel des Markts für Industrieroboter, vor allem in Automobil- und Halbleiterfertigung [31]. Bei Servicerobotern habe Japan dagegen an Präsenz verloren, und bei der gemeinsamen Entwicklung von KI und Roboter liege man zurück [31]. Auch frühere Strategien bewertet das Dokument kritisch: Die „Neue Roboterstrategie“ von 2015 und der Plan von 2019 hätten Erfolge bei Kooperation und Erprobung gebracht, die Verbreitung mit Serienfertigung und Dauerbetrieb sei aber hinter den Erwartungen geblieben, weil Systemintegratoren fehlten und die Nachfrage für eine stabile Fertigung nicht ausreichte [31].

7.2 Die KI-Robotik-Strategie: Beschluss, Änderung, Vorstellung

Abbildung 3 — Japan: Termine der KI-Robotik-Strategie und des KI-Grundplans 2025/2026



Termine aus Kapitel 7 dieser Studie (Belege dort: Kabinettssekretariat, METI). Die Achse zeigt Beschluss- und Vorstellungstermine, keine Wirkung.

Urheber der Strategie ist die Verbindungskonferenz der Ministerien zur KI-Robotik beim Kabinettssekretariat. Den Vorsitz führt der für Innenpolitik zuständige Assistant Chief Cabinet Secretary, als Ansprechstelle nennt die Konferenz das Referat für KI-Robotik im Wirtschaftsministerium METI [70, 71]. Die Konferenz tagte 2026 viermal: am 16. Januar, 26. März, 27. Mai und 28. August [70]. Am 26. März 2026 beschloss sie die Strategie, am 27. Mai 2026 änderte sie sie teilweise; in der Mai-Sitzung wurde der Änderungsentwurf gebilligt und die endgültige Fassung dem Vorsitzenden überlassen [31, 71].

Öffentlich vorgestellt hat die überarbeitete Fassung das METI am 30. Juni 2026. Der Minister erklärte, die Strategie halte am Ziel fest, bis 2040 rund zehn Millionen Roboter einzuführen und ihre gesellschaftliche Anwendung in 18 Feldern voranzubringen [22]. Die englische Mitschrift der Pressekonferenz trägt im Kopf die offensichtlich fehlerhafte Jahreszahl „3026“; der Aktualisierungsvermerk der Seite datiert sie auf den 30.06.2026 [22]. Formal handelt es sich um einen Beschluss der Ministerienkonferenz, nicht um einen Kabinettsbeschluss wie beim KI-Grundplan [31, 72].

Die Strategie nennt drei Ziele. Der Markt für Mehrzweckroboter wird sich nach ihrer Annahme bis 2040 auf rund 60 Billionen Yen ausweiten; Japan will davon als „dritter Pol“ neben den Vereinigten Staaten und China mehr als 30 Prozent Weltmarktanteil und damit rund 20 Billionen Yen gewinnen [31, 73]. Im Inland sollen auf Grundlage der Feldfahrpläne bis 2040 KI-Roboter in der Größenordnung von zehn Millionen Einheiten eingeführt werden [31]. Das dritte Ziel betrifft Wachstum trotz schrumpfender Bevölkerung, ausdrücklich auch die wirtschaftssicherheitliche Eigenständigkeit bei Software und Komponenten [31]. Das Marktvolumen von rund 60 Billionen Yen ist eine Annahme der Konferenz („□□□□□“), Weltmarktanteil, Marktgewinn und Stückzahl sind Ziele mit dem Zieljahr 2040; keiner dieser Werte ist eine Prognose dieser Studie.

Den Kern bildet eine Abkehr von der bisherigen Reihenfolge. Statt zuerst Technik zu entwickeln und danach die Einführung zu fördern, will die Strategie Angebot und Nachfrage gemeinsam gestalten [31]. Damit soll ein Teufelskreis durchbrochen werden, den das Dokument selbst beschreibt: Ohne absehbare Nachfrage investieren Hersteller nicht in Serienfertigung, und ohne Serienfertigung sinken die Kosten nicht so weit, dass Nachfrage entsteht [31]. Als Hebel nennt die Strategie gestufte Einführungshilfen, Risikominderung für Großabnehmer und öffentliche

Aufträge in Katastrophenschutz, Bau, Verteidigung und Forschung als verlässliche Ankernachfrage [31]. Förderung soll zudem an ein noch aufzubauendes Sicherheitszertifizierungssystem gekoppelt werden, etwa indem dessen Einhaltung zur Voraussetzung wird [31].

Gegenstand der Strategie sind Mehrzweckroboter, also mobile Roboter auf zwei oder vier Beinen oder Rädern und autonom gesteuerte Systeme, die Fortbewegung und Handhabung kombinieren [31]. Autonome Fahrzeuge und Drohnen zählt das Dokument zwar zur KI-Robotik im weiteren Sinn, behandelt sie aber nicht unmittelbar [31]. Für die Software ist ein Datum gesetzt: Um Juni 2027 soll eine Betaversion eines japanischen Roboter-Basismodells quelloffen veröffentlicht werden [31]. Am 30. Juni 2026 gab das METI bekannt, dass das Unternehmen Noetra und das Forschungsinstitut AIST als Projektleiter für die Entwicklung eines japanischen multimodalen Basismodells ausgewählt wurden [22].

Zur Finanzierung nennen die ausgewerteten Texte keinen Betrag. Auf der Sitzung vom 28. August 2026 stellte das METI den Gesamtrahmen der Haushaltsanmeldungen für die KI-Robotik im Fiskaljahr 2027 vor; einen Betrag nennt das Protokoll nicht [24]. Auch das „Paket zentraler Maßnahmen“, eine Sitzungsunterlage der 3. Sitzung vom 27. Mai 2026 ohne eigenes Datum, nennt keinen Haushaltsbetrag [25]. Es beschreibt Maßnahmen und wiederholt Ziele: rund zehn Millionen KI-Roboter im Inland bis 2040, einen Weltmarktanteil von mehr als 30 Prozent und einen Marktgewinn von 20 Billionen Yen bis 2040 sowie eine quelloffene Betaversion des Roboter-Basismodells um Juni 2027 [25]. Die Strategie ist damit beschlossen; wie viel Geld für sie bereitsteht, belegt keiner der ausgewerteten Texte.

7.3 18 Felder, acht Aufgaben und die Fahrpläne

Die Strategie in der Fassung vom 27. Mai 2026 führt 18 Felder auf: Fertigung mit hoher Variantenvielfalt und kleinen Losgrößen, Schiffbau, Logistik in Lager und Zustellung, Tief- und Ingenieurbau, Hochbau, Infrastrukturwartung, Einzelhandel, Beherbergung, Gastronomie und Lebensmittelherstellung, Medizin, Pflege, Sicherheitsdienste, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Abfallwirtschaft, Katastrophenschutz, Polizei und Verteidigung [31]. Zwei dieser Felder kamen in der Mai-Sitzung hinzu. Das Landwirtschaftsministerium nahm Gastronomie und Lebensmittelherstellung auf, das Gesundheitsministerium die Medizin mit Anwendungen wie innerklinischem Transport, Operationsunterstützung und Wirkstoffforschung [71]. Für die Medizin räumte das Ministerium zugleich ein, dass technische und regulatorische Hürden besonders hoch seien und man schrittweise vorgehen werde [71].

Die Felder kamen im Mai, ihre Fahrpläne im August. Am 28. August 2026 änderte die Konferenz die Anlage mit den Feldfahrplänen erneut und ergänzte die Fahrpläne für Gastronomie und Lebensmittelherstellung sowie für die Medizin [23, 24]. Die Fahrpläne selbst bestanden bereits als Anlage zur Fassung vom Mai [70]. Für jedes Zitat der Strategie kommt es deshalb auf drei Termine an: den Beschluss im März, die Erweiterung auf 18 Felder im Mai und die Ergänzung der Fahrpläne im August.

Die Fahrpläne ordnen die Arbeit nach Schwierigkeit. Kurzfristig, bis etwa 2030, sollen Roboter vor allem „kontrollieren“ und „Dinge bewegen“, also Aufgaben übernehmen, die ohne hohe Bewegungsgenauigkeit auskommen [23]. Ausgewählt wurden acht Aufgaben, die in vielen Märkten vorkommen: Inspektion im Freien und in Halbfreiräumen, Inspektion in Innenräumen, Transport außen und innen, Reinigung, Warenein- und -ausgang mit Palettieren, Handhabung sowie Schweißen, Lackieren und Bearbeiten [31, 23]. Mittel- bis langfristig, ab etwa 2030, rückt die „Fingerarbeit“ in den Blick: Greifen, Kneten und Montieren mit Geschick und dosierter Kraft [23].

Bemerkenswert offen ist die Bestandsaufnahme der Technik. Roboter mit autonomer KI-Steuerung würden derzeit nur für einfache Arbeiten eingesetzt, Genauigkeit und Geschwindigkeit seien noch Probleme; Laufroboter hätten selbst in einfachen Umgebungen Schwierigkeiten mit Wegplanung und stabilem Gang [23]. Daraus ergibt sich die Staffelung der Ziele, die für jedes Feld eigene Stückzahlen nennen. Für die Fertigung mit hoher Variantenvielfalt sieht der Fahrplan 160.000 Einheiten bis 2030 und 2,21 Millionen bis 2040 vor, für die Logistik 80.000 und 1,6 Millionen, für Tief- und Hochbau zusammen 30.000 und 620.000 [23]. Eine Fußnote stellt klar, dass diese Werte unter der Voraussetzung berechnet wurden, dass die nötigen politischen Ressourcen ausreichend genutzt werden können [23].

Die Fahrpläne benennen außerdem Hindernisse im eigenen Recht. Industrieroboter mit mehr als 80 Watt Nennleistung brauchen nach den geltenden Regeln Zäune oder Umhausungen, wenn sie für Beschäftigte eine Gefahr

verursachen können, und für autonom oder ferngesteuert arbeitende Maschinen einschließlich KI-Robotern seien Sicherheitsregeln und Standards erst noch zu ordnen [23]. Das autonome Laden mehrerer Roboter mit Lithium-Ionen-Akkus müsse mit dem Brandschutzrecht abgestimmt werden, und fahrerlose Transportsysteme, die mehrere Brandabschnitte durchqueren, berühren das Baurecht [23]. Für die Fertigung beschreibt der Fahrplan auch die Lage kleiner und mittlerer Zulieferer: Umbauten an Layout und Linien seien teuer, die Anbindung von Robotern komplex, und es fehle an Personal für Programmierung, Betrieb und Wartung [23]. Nach Einschätzung der Redaktion liest sich dieser Teil wie eine Bestandsaufnahme, die auch deutschen Mittelständlern bekannt vorkommen dürfte; ein Vergleich der Rechtslagen ist damit nicht verbunden.

7.4 Rechtsrahmen: KI-Förderungsgesetz und KI-Grundplan

Den rechtlichen Rahmen setzt das Gesetz Nr. 53 des Jahres 2025 zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Nutzung KI-bezogener Technologien [74]. Es verpflichtet die Regierung, einen KI-Grundplan aufzustellen (Art. 18), und richtet im Kabinett ein KI-Strategiehauptquartier ein (Art. 19), das der Premierminister leitet [74]. Unternehmen, die KI entwickeln, anbieten oder nutzen, sollen sich um aktiven KI-Einsatz bemühen und müssen an den Maßnahmen von Staat und Kommunen mitwirken (Art. 7) [74]. Der Staat sammelt nach Art. 16 Informationen über Fälle, in denen durch missbräuchliche oder unangemessene KI-Nutzung Rechte verletzt wurden, und reagiert darauf mit Anleitung, Beratung und Information [74].

Nach den Schlussbestimmungen tritt das Gesetz mit seiner Verkündung in Kraft, die Kapitel zum Grundplan und zum Strategiehauptquartier binnen drei Monaten zu einem per Kabinettsverordnung bestimmten Tag [74]. Eine Durchsuchung des Gesetzestextes nach Straf- und Bußgeldvorschriften ergab keinen Treffer. Nach Wortlaut ist es damit ein Förder- und Koordinierungsgesetz und keine Risikoregulierung mit Sanktionen.

Auf dieser Grundlage beschloss das Kabinett am 14. Juli 2026 den geltenden KI-Grundplan [72]. Den ersten Grundplan vom 23. Dezember 2025 führt das Kabinettsbüro seither als früheren Plan [75, 72]. Der geltende Plan enthält eine bemerkenswerte Selbstkritik: Der Abstand zu anderen wachsenden Volkswirtschaften bei Nutzungsquoten und privaten Investitionen habe sich bis 2025 sogar vergrößert [72, 40]. Als japanischen Weg setzt er auf „vertikale“ KI für einzelne Branchen und Verwaltungen und auf „physische“ KI, die im realen Raum Wert schafft [40]. Für die physische KI kündigt er eigene Basismodelle für Roboter, die Förderung japanischer Roboterhersteller und die Stärkung von Schlüsselkomponenten wie Motoren, Untersetzungsgetrieben, Sensoren und Akkus samt ihrer Lieferketten an [40].

Plan und Robotik-Strategie sind ausdrücklich verknüpft. Unter Federführung des METI soll die Einführung physischer KI in Unternehmen und Branchen auf Grundlage der KI-Robotik-Strategie vom 26. März 2026 unterstützt werden [72]. Für mittelgroße und kleine Unternehmen verweist der Plan auf bestehende Zuschussprogramme für große Wachstumsinvestitionen sowie für Digitalisierung und KI-Einführung und auf regionale Unterstützungsnetzwerke [72]. Der Grundplan ist beschlossen; die englische Fassung ist eine vorläufige Übersetzung mit dem Hinweis, für die Genauigkeit gelte das Original [40]. Über die Wirkung der Maßnahmen sagt er naturgemäß noch nichts.

7.5 Wirtschaftssicherheit: Roboter, Magnete und Seltene Erden

Die Robotik ist in Japan auch eine Frage der Versorgungssicherheit. Die Kabinettsverordnung Nr. 394 aus dem Jahr 2022 zum Gesetz über die Förderung der Wirtschaftssicherheit (Gesetz Nr. 43/2022) bestimmt in ihrer aktuellen Fassung 16 „besonders wichtige Güter“, deren stabile Versorgung gesichert werden soll [35]. Dazu gehören Dauermagnete, Werkzeugmaschinen und Industrieroboter, Akkus sowie metallische Rohstoffe einschließlich der Seltenerdmetalle [35]. Damit stehen der Roboter, sein Antrieb und der Rohstoff des Antriebs auf derselben Liste. Welche Fördermaßnahmen im Einzelnen daran hängen, lässt sich aus der Verordnung allein nicht ablesen.

Der Grund wird in der Rohstoffabhängigkeit sichtbar. Im Weißbuch zur Fertigungsindustrie 2026, das METI, MHLW und MEXT im Mai 2026 vorgelegt haben, stellt eine Abbildung nach einem METI-Ausschussdokument vom Februar 2026, ohne Angabe des Datenjahrs, fest, dass Japans Importe schwerer Seltener Erden vollständig von China abhängen; als Verwendung nennt dieselbe Abbildung unter anderem Dauermagnete und Motoren für Elektrofahrzeuge und Roboter [36]. Unmittelbar daneben verweist das METI auf Gegenmaßnahmen: Über Kapitalbeteiligungen der staatlichen Rohstoffgesellschaft JOGMEC an zwei Projekten mit Lynas (Australien und

Malaysia) und Caremag (Frankreich) seien alternative Bezugsquellen für schwere Seltene Erden gesichert worden [36]. Für Seltene Erden insgesamt nannte die Energie- und Rohstoffbehörde ANRE im Jahr 2020 einen China-Anteil von rund 60 Prozent mit Datenstand 2018 [55].

Die beiden Anteilswerte beschreiben verschiedene Mengen zu verschiedenen Zeitpunkten und ergeben deshalb keinen Verlauf. Die 100 Prozent beziehen sich auf schwere Seltene Erden in einer Abbildung des Weißbuchs von 2026, die auf einem METI-Dokument vom Februar 2026 beruht und kein Datenjahr nennt, die rund 60 Prozent auf alle Seltenen Erden nach Daten von 2018. Eine Aussage der Internationalen Energieagentur zur Konzentration von Verarbeitung und Magnetherstellung in China ließ sich nicht am Primärtext prüfen und wird hier nicht verwendet.

Wie konkret das Risiko ist, schilderte der Wirtschaftsminister am 30. Juni 2026. Die chinesischen Exportkontrollen vom Januar und Februar 2026, die sich ausschließlich gegen Japan richteten, seien völlig inakzeptabel, und auch gegen die am 29. Juni angekündigte Aufnahme mehrerer japanischer Unternehmen und Organisationen in die Kontrolllisten habe die Regierung scharf protestiert [22]. Japanische Unternehmen seien von den Kontrollen für kritische Mineralien einschließlich Seltener Erden betroffen, etwa durch verzögerte Genehmigungen und verlängerte Zollkontrollen [22]. Die KI-Robotik-Strategie zieht aus der Abhängigkeitslage die Folgerung, für Motoren, Untersetzungsgetriebe und Sensoren die nötige inländische Entwicklungs- und Fertigungskapazität zu sichern und eine übermäßige Abhängigkeit von einzelnen Ländern und Unternehmen zu vermeiden [31].

7.6 Was das Weißbuch zur Fertigungsindustrie hinzufügt

Das Weißbuch zur Fertigungsindustrie, japanisch „Monozukuri hakusho“, ist ein gesetzlich vorgeschriebener Bericht, den METI, MHLW und das Bildungsministerium MEXT seit 2001 jährlich dem Parlament vorlegen; die Fassung vom Mai 2026 ist die 26. Ausgabe [36]. Es ergänzt die Strategie um die Sicht der Betriebe. Danach ist die Optimierung des gesamten Fertigungsprozesses nicht ausreichend vorangekommen, und der Datenaustausch zwischen Unternehmen stagniert seit zwei Jahren [36]. Als zentrale Hürden beim Einsatz von KI und Digitaltechnik nennt es fehlendes Wissen, fehlendes Know-how und fehlendes Personal [36].

Auch bei der Wirtschaftssicherheit zeichnet das Weißbuch ein gemischtes Bild. Nach einer Unternehmensbefragung stieg der Anteil der Fertigungsbetriebe mit Maßnahmen zur Wirtschaftssicherheit von 40 auf 60 Prozent; die meisten beschränkten sich aber auf das Sammeln von Informationen, nur wenige analysierten ihre Risiken und leiteten daraus Maßnahmen ab [36]. Weniger profitable Unternehmen könnten Bezugsquellen seltener diversifizieren [36]. Daraus folgert die englische Zusammenfassung des Weißbuchs: „Economic security initiatives should be led by the government“ [36]. Dieselbe Seite verlangt in ihrer Überschrift allerdings „medium- to long-term management decisions“, und die anschließend genannten Mittel betreffen die Unternehmen selbst, von der Haltung der Geschäftsführung bis zum Dialog mit Geschäftspartnern [36]. Wie die Stelle im japanischen Original lautet, hat die Studie nicht geprüft; sie liest daraus deshalb keine Führungsrolle des Staates ab. Die Prüfung alternativer Materialien entlang der Lieferkette wird nach Angabe des Weißbuchs zu einem Drittel staatlich bezuschusst [36].

Als Antwort auf die Datenlücke treibt das METI eine virtuelle Plattform voran, den „manufacturing AX hub“, die Prozess- und Betriebsdaten aus japanischen Fabriken sammeln und Unternehmen bei der Entwicklung KI-gestützter Fertigungsplattformen unterstützen soll [36]. Der Wortlaut schwankt zwischen dem Vorantreiben der Prüfung und dem Vorantreiben des Aufbaus; ein beschlossenes Vorhaben mit Budget nennt das Weißbuch nicht, die Stufe ist damit „angekündigt“. Nach Einschätzung der Redaktion verschiebt das Weißbuch den Engpass von der Roboterhardware zu Daten und Personal, also zu genau den Punkten, die auch die Strategie als Voraussetzung ihres Datenkreislaufs nennt.

7.7 Was nicht belegt ist

Für keines der japanischen Ziele liegt ein Umsetzungsstand vor, an dem sich Fortschritt messen ließe. Wie viele KI-Roboter auf Grundlage der Strategie bereits eingeführt wurden, geht aus keinem ausgewerteten Text hervor. Der Betrag der Haushaltsanmeldung für das Fiskaljahr 2027 steht nicht im Protokoll [24], und auch das Maßnahmenpaket zur Strategie nennt keinen Betrag [25]; weitere Sitzungsunterlagen zur Haushaltsanmeldung hat die Studie nicht ausgewertet. Eine Projektion öffentlich-privater Investitionen bis zum Fiskaljahr 2040 im KI-Grundplan verwendet die Studie nicht, weil sich die drei genannten Beträge im japanischen wie im englischen

Wortlaut nicht eindeutig den Kategorien zuordnen lassen [72, 40].

Offen bleibt auch, ob und wie deutsche Unternehmen an japanischen Programmen teilnehmen können. Eine Suche in Strategie, Fahrplänen, Grundplan und Gesetz nach Bestimmungen zu ausländischen Teilnehmern ergab keinen Zugangsbezug; belegt ist nur, dass das Institut AIST für das Basismodell mit Forschungseinrichtungen unter anderem in den Vereinigten Staaten, Kanada, Frankreich und Großbritannien zusammenarbeiten soll [22]. Deutschland ist dort nicht genannt. Die Aussage der Internationalen Energieagentur zu Verarbeitung und Magneten bleibt offen, ebenso der japanische Wortlaut der Weißbuch-Folgerung zur Wirtschaftssicherheit, und das Leitbild „Society 5.0“ wurde für diese Studie nicht vertieft.

7.8 Übersicht der Instrumente

Tabelle 7.1 Japan: Instrumente nach Umsetzungsstufe (Stand 25.10.2026)

Instrument	Urheber und Datum	Stufe	Zielgröße oder Inhalt	Quelle
KI-Robotik-Strategie	Verbindungskonferenz der Ministerien; Beschluss 26.03.2026, Teiländerung 27.05.2026, Vorstellung durch METI 30.06.2026	beschlossen; Finanzierungsbetrag in Strategie, Maßnahmenpaket und Protokoll nicht genannt	Ziel: rund 10 Mio. KI-Roboter im Inland bis 2040; Weltmarktanteil über 30 Prozent, rund 20 Bio. Yen; Marktvolumen rund 60 Bio. Yen als Annahme	[31, 71, 22, 25]
Feldfahrpläne (18 Felder)	Verbindungskonferenz; Anlage seit Mai 2026, Teiländerung 28.08.2026	beschlossen	Ziel u. a.: Fertigung 160.000 (2030) und 2,21 Mio. (2040); Logistik 80.000 und 1,6 Mio.; Bau zusammen 30.000 und 620.000; berechnet unter der Annahme ausreichend nutzbarer Ressourcen	[23, 24]
Roboter-Basismodell	Strategie in der Fassung vom 27.05.2026	angekündigt	quelloffene Betaversion um Juni 2027	[31, 25]
Multimodales Basismodell	METI, 30.06.2026	beschlossen (Projektleitung ausgewählt)	—	[22]
Haushalt KI-Robotik Fiskaljahr 2027	METI, Sitzung 28.08.2026	angekündigt (Anmeldung vorgestellt); Betrag nicht belegt	—	[24, 25]
KI-Förderungsgesetz (Gesetz Nr. 53/2025)	Gesetz von 2025 (Reiwa 7)	beschlossen; in Kraft nach Schlussbestimmungen	Grundplan, Strategiehauptquartier, Mitwirkungspflicht der Unternehmen; keine Straf- oder Bußgeldvorschriften im Wortlaut	[74]
KI-Grundplan (geltende Fassung)	Kabinett, 14.07.2026; früherer Plan vom 23.12.2025	beschlossen	vertikale und physische KI; eigene Roboter-Basismodelle; Schlüsselkomponenten	[72, 75, 40]
Besonders wichtige Güter der Wirtschaftssicherheit	Kabinettsverordnung Nr. 394/2022, aktuelle Fassung	beschlossen, in Kraft	16 Güter, darunter Dauermagnete, Industrieroboter, Akkus, Seltenerdmetalle	[35]
Alternative Bezugsquellen schwerer Seltener Erden	JOGMEC, Darstellung im Weißbuch Mai 2026	umgesetzt (zwei Beteiligungsprojekte: Lynas, Caremag)	Ausgangslage laut Abbildung nach METI-Dokument vom Februar 2026 (Datenjahr nicht angegeben): Importe schwerer Seltener Erden zu 100 Prozent aus China	[36]
„manufacturing AX hub“	METI, Weißbuch Mai 2026	angekündigt	Datenbasis aus Fabriken für KI-Fertigungsplattformen	[36]

Keines der Instrumente ist evaluiert. Stückzahlen und Marktanteile sind Ziele der japanischen Regierung mit dem Zieljahr 2040, die Feldwerte zusätzlich an die Annahme ausreichend nutzbarer politischer Ressourcen gebunden. Die Tabelle beschreibt den Stand vor der Kanzlerreise; Ergebnisse des deutsch-japanischen Wirtschaftsgipfels sind darin nicht enthalten.

8 Südkorea: der Staat als Erstkunde

Nach der jüngsten Dichtezahl der IFR setzt kein Land mehr Industrieroboter je Beschäftigten ein als Südkorea. Laut IFR-Mitteilung vom 8. April 2026 (World Robotics 2025, Datenjahr 2024) kamen dort 1.220 Industrieroboter auf 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe [3]. Was dieser Wert misst und warum er sich nicht mit Werten früherer Berichtsstände zu einer Reihe verbinden lässt, behandelt Kapitel 4. Als Hintergrund genügt hier eine zweite Zahl: 2025 wurden in Südkorea rund 30.000 Industrieroboter neu installiert, ein Prozent weniger als im Vorjahr, und seit 2019 bewegen sich die jährlichen Installationen laut IFR seitwärts um etwa 31.000 Einheiten [4]. Ein Land mit diesem Bestand braucht keine Programme, die Roboter überhaupt erst in die Fabrik bringen.

Die Instrumente, die Seoul seit 2024 aufgelegt hat, zielen deshalb auf anderes: auf Humanoide, auf KI-gestützte Roboter für neue Einsatzfelder und auf eine heimische Lieferkette vom Bauteil bis zum Modell. Auffällig ist weniger die Höhe der Beträge als ein Mittel, das es in dieser Form unter den deutschen Instrumenten aus Kapitel 5 nicht gibt. Der Staat kündigt an, fertige heimische Geräte in Stückzahlen zu kaufen; im Regierungsportal heißt es im August 2026, die Regierung habe entschieden, „selbst der erste Kunde zu werden“ (eigene Übersetzung) [26]. Die SPRIND-Challenge vergibt zwar ebenfalls Aufträge, aber für Entwicklungsleistungen, nicht für Geräte [53]. Die Unternehmensebene, also koreanische Hersteller und ihre Produkte, behandelt der FluxLane-Beitrag unter fluxlane.eu/robotik-suedkorea-physical-ai/; hier geht es um die staatlichen Instrumente.

8.1 Vier Ressorts, fünf Dokumente

Bei Südkorea kommt es mehr als bei den anderen Vergleichsländern auf Urheber, Datum und Umsetzungsstufe jeder Zahl an, weil vier Ressorts binnen gut zweieinhalb Jahren Pläne mit eigenen Zielgrößen vorgelegt haben. Das Industrieministerium (MOTIE, die Mitteilungen liegen heute auf motir.go.kr) beschloss im Januar 2024 den 4. Basisplan für intelligente Roboter [41] und gründete im April 2025 die K-Humanoid Alliance [76]. Das Ministry of Finance and Economy veröffentlichte am 14.07.2026 die Wachstumsstrategie für das zweite Halbjahr 2026 [34]. Das Ministerium für Planung und Haushalt legte am 27.08.2026 einen Investitions- und Kaufplan für Humanoide und Physical AI fest [26]. Das Wissenschafts- und IKT-Ministerium (MSIT) hat nach einer US-Regierungsquelle am 01.07.2026 eine eigene Physical-AI-Strategie vorgestellt, deren Wortlaut im Quellenbestand fehlt [43].

Hinzu kommt das KI-Grundgesetz, das seit Januar 2026 gilt [77]. Kaufplan, Allianz und Basisplan liegen im koreanischen Original vor, die Wachstumsstrategie als englische Pressemitteilung des Ministeriums, das Gesetz als englische Übersetzung des Korea Legislation Research Institute, die keine amtliche Fassung ist. Alle deutschen Wiedergaben koreanischer Sätze sind eigene Übersetzungen. Als Gegenprobe für die Zahlen des Kaufplans dient eine Yonhap-Meldung in der Korea Times vom selben Tag [27].

8.2 Die Wachstumsstrategie vom Juli 2026

Die Wachstumsstrategie ist das breiteste der Dokumente und zugleich das am wenigsten konkrete. Unter der Säule „Boosting Potential Growth“ nennt sie drei Großprojekte, die Südkorea an die Weltspitze führen sollen: Halbleiter, KI-Rechenzentren und Physical AI [34]. Für Physical AI kündigt sie an, Demonstration und Kommerzialisierung in sieben Schwerpunktbereichen stärker zu unterstützen: Fabriken, Robotik, autonome Fahrzeuge, Schiffbau, Haushaltsgeräte, Drohnen und Halbleiter [34]. Unmittelbar darauf folgt das Ziel, das in der Berichterstattung am häufigsten zitiert wird. KI-Roboter sollen für zehn Schlüsselbranchen spezialisiert entwickelt und jährlich 1.000 Einheiten in Industriebetrieben eingesetzt werden [34].

Was die Pressemitteilung nicht enthält, wiegt für die Bewertung ebenso schwer. Für die 1.000 Roboter nennt sie weder ein Startjahr noch ein Budget, und sie sagt nicht, wer die Roboter kauft oder bezahlt. Für Einzelheiten verweist sie auf angehängte Dateien, die im Quellenbestand dieser Studie nicht vorliegen [34]. Nach dem Stufenschema aus Kapitel 3 ist das Ziel angekündigt, nicht finanziert und nicht umgesetzt.

Bemerkenswert ist, dass die Strategie den Robotikschwerpunkt neben Arbeitsmarktpolitik stellt. Sie kündigt einen Grundplan zur Beschäftigungssicherung im industriellen Wandel an, der die Arbeitsmarktfolgen der KI auffangen soll, und einen koreanischen Index der KI-Berufsexposition (K-AIOE) [34]. Zugleich ist für das zweite Halbjahr 2026 ein Fahrplan für die Beschäftigung ausländischer Arbeitskräfte angekündigt, und bis 2030 sollen über ein erweitertes Top-Tier-Visum 2.000 hochqualifizierte ausländische Fachkräfte gewonnen werden [34]. Nach Lesart der Redaktion behandelt die Strategie Automatisierung damit nicht als Ersatz für Zuwanderung, sondern führt beides

nebeneinander.

8.3 Der Staat kauft: Humanoide und ein Demonstrationsprogramm

Konkreter wird es sechs Wochen später. Am 27.08.2026 hielt das Ministerium für Planung und Haushalt in Seoul den zweiten Fiskalstrategierat ab, mit 13 nichtstaatlichen Mitgliedern und den Vizeministern mehrerer Ressorts, darunter Wissenschaft und IKT, Industrie sowie Mittelstand [26]. Der Rat beriet und legte vier Vorhaben fest, ausdrücklich im Vorfeld des Haushaltsentwurfs für 2027. Zwei davon betreffen die Robotik: ein Investitionsplan für ein heimisches Humanoid-Ökosystem und ein Programm zur Demonstration von Physical AI in acht Feldern [26].

Für das Humanoid-Ökosystem sind 2027 Haushaltsmittel von 600 Milliarden Won vorgesehen und bis 2030 insgesamt 2,3 Billionen Won, mit privater Gegenfinanzierung 2,7 Billionen Won [26]. Die Korea Times nennt die 600 Milliarden ein vorgeschlagenes Budget [27]; einen Beschluss des Haushalts 2027 enthält der Quellenbestand nicht. Bis 2030 soll eine Serienfertigung von Humanoiden entstehen, die auf zehn Branchen zugeschnitten sind, und der heimische Anteil an den Kernkomponenten soll von derzeit rund 45 auf 80 Prozent steigen [26]. Die Entwicklung soll in Fertigung und Logistik beginnen, wo die Arbeitsbedingungen gleichförmig sind, und sich dann auf Außenbereiche, unstrukturierte Umgebungen sowie Haushalt und Pflege ausweiten [26].

Den Kern bildet ein einzelner Satz des Plans. Die Regierung will 2027 zunächst 250 heimische Humanoide kaufen und bis 2030 insgesamt 1.080, sie an Hochschulen, staatliche Forschungsinstitute u. a. verteilen und mit Forschungsaufträgen verbinden, damit die Geräte tatsächlich genutzt werden [26, 27]. Industriebetriebe nennt der Plan als Empfänger nicht. Rechnet man nicht-humanoide Roboter wie Vierbeiner hinzu, steigt die staatliche Beschaffung auf etwa 1.700 Einheiten im Jahr 2027 und rund 5.000 bis 2030 [26]; wer diese zusätzlichen Geräte erhält, sagt der Text nicht. Nach Einschätzung der Redaktion schafft der Staat heimischen Herstellern damit eine erste, planbare Nachfrage, ohne die Geräte selbst im Produktivbetrieb einsetzen zu müssen.

Eingebettet ist diese Nachfrage in eine Lieferkettenpolitik. Zulieferer der Automobilindustrie, denen durch die Elektrifizierung Aufträge wegbrechen, sollen bei der Umstellung auf Roboterkomponenten unterstützt werden, und ein heimisches Betriebssystem für Humanoide soll bis 2031 die volle Wertschöpfungskette schließen [26]. Nach der Yonhap-Meldung gelten Aktoren, Roboterhände und Sensoren als die drei Kernkomponenten, bei denen Südkorea nicht wettbewerbsfähig ist [27]. Hinzu kommen eine ressortübergreifende Datenbibliothek, die heimischen Unternehmen Fertigungs- und Physical-AI-Daten im Reinraumverfahren zum Training bereitstellen soll, und das Ziel, bis 2030 rund 20.000 Fachkräfte für Fertigungs-KI und Physical AI auszubilden [26].

Das zweite Vorhaben ist größer und liegt näher an der Industrie. Für die Demonstration von Physical AI sind 2027 700 Milliarden Won und bis 2030 insgesamt 2,8 Billionen Won vorgesehen, mit privater und regionaler Gegenfinanzierung 4 Billionen Won [26]. Die acht Felder sind autonome Fertigung, Fertigung im Mittelstand, Landwirtschaft, Bau, Logistik, Häfen, Pflege und Verteidigung; allein 2027 sollen an mehr als 500 Einsatzorten Demonstrationen laufen [26]. Anwender sollen mit heimischen KI-, Roboter- und Komponentenherstellern Konsortien bilden, damit aus der Demonstration Umsatz und Referenzen werden. Produkte, deren Leistung sich bestätigt, sollen in Folgeprogramme für Verbreitung, Beschaffung und Zertifizierung übergehen [26].

Die Demonstrationen sollen dort beginnen, wo Arbeitskräfte fehlen [26]. In der Landwirtschaft sollen 15 kommunale Landmaschinen-Verleihstellen etwa autonome Traktoren verleihen und 210 KI-Agrarroboter an Vorreiterbetriebe gehen. In der Pflege sollen zehn Pflegeheime in Regionen mit Bevölkerungsrückgang und fünf Einrichtungen für Menschen mit Behinderung Roboter für Mobilität, Transfer und Rehabilitation erhalten, zusammen mit angepassten Arbeitsabläufen, Sicherheitsmanagement und Schulung des Personals [26]. Für die beiden Fertigungsfelder, die für einen Vergleich mit dem deutschen Mittelstand am aufschlussreichsten wären, nennt der Text dagegen keine Einzelheiten.

Beide Vorhaben stehen nach dem Stufenschema auf der Stufe „angekündigt“. Sie sind in einem Regierungsgremium festgelegt und für 2027 mit Beträgen versehen, ein beschlossener Haushalt ist jedoch nicht belegt. Dass bereits einer der 1.080 Humanoide gekauft wäre, belegt keine Quelle; nach dem Plan beginnen die Käufe ohnehin erst 2027.

Drei Zahlen, die nicht zusammengehören. In der Berichterstattung über Südkorea verschwimmen drei Größen, die verschiedene Dinge meinen. Die 1.000 KI-Roboter jährlich stammen aus der Wachstumsstrategie des Ministry of

Finance and Economy vom 14.07.2026; sie sollen in Industriebetrieben eingesetzt werden, Käufer und Budget bleiben offen [34]. Die 1.080 Humanoide stammen aus dem Plan des Ministeriums für Planung und Haushalt vom 27.08.2026, sind eine kumulierte staatliche Beschaffung bis 2030 und sollen an Hochschulen, staatliche Forschungsinstitute u. a. gehen [26]. Die rund 5.000 Roboter bis 2030 sind dieselbe Beschaffung einschließlich nicht-humanoider Geräte [26]. Beide Dokumente sprechen von zehn Branchen, aber keines sagt, ob es dieselben sind; deshalb lassen sich die Zahlen weder addieren noch gegeneinander aufrechnen.

8.4 Die K-Humanoid Alliance

Eine Struktur für die Humanoid-Förderung hatte das Industrieministerium schon gut ein Jahr zuvor geschaffen. Am 10.04.2025 gründete es die K-Humanoid Alliance; rund 40 Unternehmen, Hochschulen und weitere Einrichtungen unterzeichneten eine Kooperationsvereinbarung, und das Ministerium erwartete dadurch bis 2030 Investitionen von über einer Billion Won [76]. Ziel ist, Südkorea bis 2030 zur stärksten Humanoid-Nation der Welt zu machen. Begründet wird das mit einem Rückstand: Das Land habe technisches Potenzial, aber im Vergleich zu den USA und China zu wenig Investitionen und Personal, und für die vergangenen fünf Jahre zählt das Ministerium 368 Patente gegenüber 5.688 in China, 1.483 in den USA und 1.195 in Japan [76].

Erste Aufgabe der Allianz ist ein gemeinsames KI-Grundmodell für Roboter, das eine Gruppe um das KI-Institut der Seoul National University bis 2028 entwickeln soll und das alle beteiligten Hersteller nutzen können; die Hersteller liefern dafür Roboter, Bewegungsdaten und Rückmeldungen aus dem Betrieb [76]. Für die Hardware nennt das Ministerium Zielwerte bis 2028, darunter weniger als 60 Kilogramm Gewicht und mehr als 20 Kilogramm Traglast [76]. Weitere Aufgaben sind KI-Chips und Batterien für Humanoide, Start-up-Förderung mit einem Humanoid-Fonds und die Zusammenarbeit mit Anwenderunternehmen.

Das Robotikbudget des Ministeriums für 2025 beziffert die Mitteilung auf rund 200 Milliarden Won; Kooperationsprojekte von mindestens zwei Unternehmen der Allianz sollen bevorzugt gefördert werden [76]. Angekündigt sind zudem gemeinsame Testflächen und ein virtueller Simulator, ausdrücklich nach dem Vorbild der NVIDIA-Plattform Cosmos [76]. Der Kaufplan von 2026 erwähnt die Allianz nicht [26]. Ob seine Mittel über sie fließen, ist damit offen, und ob die erwarteten Investitionen geflossen sind, belegt keine Quelle dieser Studie.

8.5 Der 4. Basisplan und eine ungeklärte Zahl

Älter als Allianz und Kaufplan ist der 4. Basisplan für intelligente Roboter, den das Industrieministerium am 16.01.2024 im Rat für Robotikindustriepolitik beschlossen hat [41]. Er beruht auf dem Gesetz zur Förderung der Entwicklung und Verbreitung intelligenter Roboter, wird im Fünfjahresrhythmus aufgestellt und gilt für 2024 bis 2028. Seine Ziele reichen bis 2030: öffentlich-private Investitionen von über drei Billionen Won, ein heimischer Anteil von 80 Prozent bei den Roboterkernkomponenten, mehr als 15.000 Robotikfachkräfte und die Verbreitung von einer Million fortgeschrittener Roboter [41]. Dazu sollen 51 Regulierungen zügig angepasst und für rund 200 Milliarden Won ein nationales Robotertestfeld gebaut werden [41].

Für denselben Plan nennt die IFR eine ganz andere Größenordnung. In ihrer Mitteilung zur Publikation World Robotics R&D Programs 2025 heißt es, eine Investition von 128 Millionen US-Dollar oder 180 Milliarden Won unterstütze die Entwicklung der Robotikindustrie [51]. Der Ministeriumswert ist mehr als sechzehnmal so hoch, und keine der beiden Quellen erklärt ihre Abgrenzung gegenüber der anderen.

Nach Einschätzung der Redaktion beschreiben die Zahlen verschiedene Dinge: Der Ministeriumswert schließt private Mittel ein und reicht über die Laufzeit des Plans hinaus, der IFR-Wert spricht nur von einer Investition, die die Industrie unterstützt. Im Wortlaut belegen lässt sich diese Deutung nicht, deshalb führt diese Studie beide Werte nebeneinander und keinen als Gesamtvolumen. Auffällig ist eine Kontinuität: Das 80-Prozent-Ziel für heimische Kernkomponenten steht im Basisplan von 2024 und erneut im Humanoid-Plan von 2026, dort mit einem Ausgangswert von rund 45 Prozent [41, 26]. Ob beide dieselbe Komponentenabgrenzung meinen, sagen die Texte nicht.

8.6 Der Rechtsrahmen: das KI-Grundgesetz

Seit Januar 2026 gilt in Südkorea ein eigenes KI-Gesetz. Das „Framework Act on the Development of Artificial Intelligence and the Creation of a Foundation for Trust“ wurde als Gesetz Nr. 20676 am 21.01.2025 verkündet und trat ein Jahr danach in Kraft [77]. Das Änderungsgesetz Nr. 21311 vom 20.01.2026 gilt seit dem 22.01.2026; einzelne geänderte Vorschriften, darunter der zweite Teil von Artikel 35 Absatz 1, traten sechs Monate nach seiner Verkündung in Kraft, also im Juli 2026 (eigene Rechnung nach dem Wortlaut der KLRI-Übersetzung) [77]. Ein eigenes Gesetz für Physical AI gibt es nach Darstellung des US-Handelsministeriums nicht, maßgeblich seien daneben Fachgesetze, Robotikrecht, Produktsicherheit und Datenschutz [43].

Für Robotik ist vor allem der Begriff der „high-impact AI“ wichtig. Gemeint sind KI-Systeme mit erheblichem Einfluss auf Leben, körperliche Sicherheit und Grundrechte in aufgezählten Bereichen, etwa Energieversorgung, Trinkwasser, Medizin und Medizinprodukte, Verkehr, Biometrie in der Strafverfolgung sowie Entscheidungen über Einstellung oder Kredit [77]. Fertigung oder Industrieroboter nennt die Liste nicht als eigenen Bereich; weitere Bereiche kann ein Präsidialdekret bestimmen. Wer KI anbietet, muss vorab prüfen, ob sie hochwirksam ist, und kann dazu eine Feststellung des Wissenschaftsministers beantragen [77].

Für hochwirksame KI verlangt das Gesetz Risikomanagement, Erklärungsmaßnahmen, Nutzerschutz, menschliche Aufsicht und Dokumentation [77]. Eine Grundrechte-Folgenabschätzung sollen Anbieter dagegen nur anstreben; der Wortlaut lautet „shall endeavor“. Bemerkenswert ist eine Folgeregel: Öffentliche Stellen sollen beim Einsatz hochwirksamer KI Produkte bevorzugen, für die eine solche Abschätzung vorliegt [77]. Auch das Gesetz nutzt also staatliche Nachfrage als Hebel. Bei der Förderung sind kleine und mittlere Unternehmen vorrangig zu berücksichtigen [77].

Zwei Regeln können auch deutsche Anbieter treffen. Das Gesetz gilt für Handeln außerhalb Koreas, wenn es den koreanischen Markt oder koreanische Nutzer berührt [77]. Ausländische KI-Anbieter ohne Sitz in Korea, die per Dekret festgelegte Schwellen bei Nutzerzahl oder Umsatz erreichen, müssen einen Inlandsvertreter benennen; wer das unterlässt, riskiert ein Bußgeld bis 30 Millionen Won [77]. Die Schwellenwerte stehen nicht im Gesetz und liegen im Quellenbestand nicht vor. Diese Darstellung ersetzt keine einzelfallbezogene Rechtsberatung.

8.7 Die MSIT-Strategie: nur aus zweiter Hand

Ein weiteres Dokument ist für das Gesamtbild wichtig, lässt sich aber nur indirekt belegen. Nach einer Marktanalyse der International Trade Administration des US-Handelsministeriums, datiert „10/06/2026“, stellte das MSIT am 01.07.2026 eine ressortübergreifende „Strategy for Securing Core Competitiveness in Physical AI“ vor [43]. Sie verfolge zwei Ziele, weltweit führende Physical-AI-Technologie über die gesamte Wertschöpfungskette und eine breitere Anwendung in mehreren Industrien, und setze zunächst auf Präzisionsfertigung, Automobil, Logistik, Elektronik und Schiffbau. Zudem habe das MSIT fünfjährige Forschungsprogramme im Umfang von zusammen einer Milliarde US-Dollar angekündigt [43].

Den Primärtext hat die Recherche weder auf msit.go.kr noch auf korea.kr gefunden. Die Angaben sind daher die Wiedergabe einer ausländischen Behörde, die ausdrücklich für US-Exporteure schreibt, keine Regierungsquelle Südkoreas. Die Seite selbst mahnt zur Vorsicht, denn sie enthält einen stehengebliebenen Redaktionsvermerk und eine Umfragereihe, deren Zahlen nicht in der angegebenen Rangfolge stehen [43]. Diese Studie führt die Angaben aus ihr deshalb nur mit dem Vermerk „nur sekundär belegt“ und das Instrument als „angekündigt, nur sekundär belegt“.

8.8 Was offen ist

Drei Lücken wiegen für einen Vergleich mit Deutschland besonders schwer. Die erste betrifft die Breite der Fertigung. Nach der US-Quelle betreibt Südkorea rund 30.000 Smart Factories, und die Regierung will bis 2030 über 100 KI-gestützte Fertigungszonen schaffen; beides ist nur sekundär belegt [43]. Das Smart-Factory-Programm des Ministeriums für Mittelstand und Start-ups, nach Einschätzung der Redaktion das nächstliegende Gegenstück zu Mittelstand-Digital, ist jedoch in keiner Primärquelle erfasst. Zahlen dazu aus der Fachpresse übernimmt diese Studie nicht.

Die zweite Lücke betrifft den Zugang ausländischer Unternehmen. Das KI-Grundgesetz nennt unter den Fördermaßnahmen die Anwerbung ausländischer Investitionen [77], regelt aber nicht, ob ausländische Firmen an

Förderprogrammen teilnehmen können. Der Kaufplan vom August 2026 sieht für die Beschaffung ausdrücklich heimische Humanoide vor [26]. Für die Physical-AI-Demonstration in acht Feldern sollen heimische Basistechnologien in die Demonstrationen der Ressorts eingehen, damit koreanische Einsatzorte nicht zum Testfeld ausländischer Plattformen werden (eigene Übersetzung), und die Konsortien sind mit heimischen Herstellern beschrieben [26]. Ein ausdrücklicher Ausschluss ist beides nicht. Nach Einschätzung der Redaktion stünde ein deutscher Komponentenhersteller in diesen Programmen aber gegen ein erklärtes Ziel, den heimischen Anteil auf 80 Prozent zu heben [26, 41].

Die dritte Lücke betrifft die Wirkung. Für keines der Instrumente liegt eine Evaluation vor, und für die jüngsten fehlt der Nachweis, dass Geld geflossen ist. Offen sind außerdem die Anhänge der Wachstumsstrategie [34], der Beschluss des Haushalts 2027, das Verhältnis der jeweils zehn Branchen in den beiden Plänen und der koreanische KI-Aktionsplan 2026 bis 2028, zu dem nur Sekundärberichte gefunden wurden.

Nach Einschätzung der Redaktion unterscheidet sich Südkorea von den anderen Vergleichsländern weniger durch die Größe seiner Ziele als durch ihre Form. Der Staat kauft, verteilt an die Forschung und knüpft an den Kauf Forschungsaufträge, und im größeren Demonstrationsprogramm bindet er Anwender und heimische Hersteller in Konsortien. Das ist zunächst Forschungsbeschaffung und keine Verbreitung in Betrieben, denn als Empfänger der 1.080 Humanoide nennt der Plan Hochschulen und staatliche Forschungsinstitute, nicht Betriebe. Ob das Mittel wirkt, lässt sich frühestens an den Käufen des Jahres 2027 ablesen.

8.9 Instrumente im Überblick

Die Stufen folgen dem Schema aus Kapitel 3. Beträge sind Zielgrößen oder Planansätze, keine ausgezahlten Mittel.

Instrument	Stufe	Zielgröße	Quelle
Wachstumsstrategie H2 2026, Physical AI in sieben Schwerpunktbereichen (Ministry of Finance and Economy, 14.07.2026)	angekündigt	Unterstützung von Demonstration und Kommerzialisierung; kein Betrag genannt	[34]
KI-Roboter für zehn Schlüsselbranchen (Ministry of Finance and Economy, 14.07.2026)	angekündigt	1.000 Einheiten jährlich in Industriebetrieben; Startjahr, Käufer und Budget nicht genannt	[34]
Humanoid-Ökosystem (Ministerium für Planung und Haushalt, 27.08.2026)	angekündigt; im Fiskalstrategiera t festgelegt, Haushaltsbeschluss 2027 nicht belegt	2,3 Bio. Won bis 2030 (2,7 Bio. mit privater Gegenfinanzierung), davon 600 Mrd. Won 2027 vorgeschlagen; heimischer Komponentenanteil von rund 45 auf 80 % bis 2030	[26, 27]
Staatliche Beschaffung heimischer Humanoide (Ministerium für Planung und Haushalt, 27.08.2026)	angekündigt	250 Stück 2027, insgesamt 1.080 bis 2030, für Hochschulen, staatliche Forschungsinstitute u. a.; mit nicht-humanoiden Robotern etwa 1.700 (2027) und rund 5.000 (bis 2030)	[26, 27]
Physical-AI-Demonstration in acht Feldern (Ministerium für Planung und Haushalt, 27.08.2026)	angekündigt	2,8 Bio. Won bis 2030 (4 Bio. mit Gegenfinanzierung), davon 700 Mrd. Won 2027; mehr als 500 Einsatzorte 2027	[26]
K-Humanoid Alliance (Industrieministerium, 10.04.2025)	umgesetzt (Gründung); Investitionen angekündigt (Erwartung)	rund 40 Organisationen; über 1 Bio. Won bis 2030 erwartet; gemeinsames Roboter-Grundmodell bis 2028	[76]
4. Basisplan intelligente Roboter 2024–2028 (Industrieministerium, 16.01.2024)	beschlossen; Investitionen angekündigt	über 3 Bio. Won öffentlich-privat bis 2030 laut Ministerium, 180 Mrd. Won laut IFR (Abgrenzung ungeklärt); 1 Mio. fortgeschrittene Roboter, 80 % heimische Kernkomponenten, über 15.000 Fachkräfte bis 2030	[41, 51]
KI-Grundgesetz (Gesetz Nr. 20676, geändert durch Nr. 21311)	beschlossen, in Kraft seit 22.01.2026, einzelne Änderungen seit Juli 2026	keine Mengenziele; Pflichten für hochwirksame und generative KI; Inlandsvertreter nur für Anbieter ohne Sitz in Korea, die per Dekret festgelegte Schwellen erreichen, bei Verstoß Bußgeld bis 30 Mio. Won	[77]

Instrument	Stufe	Zielgröße	Quelle
Physical-AI-Strategie des MSIT (01.07.2026)	angekündigt, nur sekundär belegt	Forschungsprogramme über fünf Jahre, zusammen 1 Mrd. US-Dollar	[43]
KI-gestützte Fertigungszonen (Regierungsziel laut US-Quelle)	angekündigt, nur sekundär belegt	über 100 bis 2030	[43]
Smart-Factory-Programm (Ministerium für Mittelstand und Start-ups)	offen	keine Primärquelle	—

9 Europäischer Rahmen

Für einen deutschen Betrieb entscheidet sich ein großer Teil der Rahmenbedingungen für industrielle KI nicht in Berlin, sondern in Brüssel. Die KI-Verordnung, die Maschinenverordnung und der Critical Raw Materials Act gelten unmittelbar in allen Mitgliedstaaten; die KI-Gigafabriken und die Apply-AI-Strategie verteilen Mittel und Rechenzugang. Wiedergegeben wird hier der Wortlaut der Rechtsakte und Mitteilungen, ihre Termine stehen nebeneinander. Eine Auslegung über den Wortlaut hinaus nimmt die Studie nicht vor. Diese Darstellung ersetzt keine einzelfallbezogene Rechtsberatung.

9.1 Die KI-Verordnung in ihrer ursprünglichen Fassung

Die Verordnung (EU) 2024/1689, im Folgenden KI-Verordnung, wurde am 12. Juli 2024 im Amtsblatt veröffentlicht und ist am 1. August 2024 in Kraft getreten [64, 46]. Sie wird schrittweise anwendbar. Nach Artikel 113 in der ursprünglichen Fassung galt sie allgemein ab dem 2. August 2026, mit drei Ausnahmen: Die Kapitel I und II gelten seit dem 2. Februar 2025; Kapitel III Abschnitt 4, Kapitel V, Kapitel VII und Kapitel XII sowie Artikel 78 gelten seit dem 2. August 2025, mit Ausnahme von Artikel 101; Artikel 6 Absatz 1 und die entsprechenden Pflichten sollten ab August 2027 gelten [64].

Zwei dieser frühen Stufen betreffen Unternehmen schon heute. Zu Kapitel I gehört Artikel 4 über die KI-Kompetenz, der damit seit dem 2. Februar 2025 anwendbar ist; Kapitel II enthält die verbotenen Praktiken nach Artikel 5 [64]. Kapitel V regelt KI-Modelle mit allgemeinem Verwendungszweck, also die großen Basismodelle, auf denen viele industrielle Anwendungen aufsetzen; es gilt seit dem 2. August 2025 [64]. Welche Rolle ein Unternehmen, das ein solches Modell in eine eigene Anwendung einbindet, nach der Verordnung einnimmt, ist eine Frage des Einzelfalls, die diese Studie nicht beantwortet.

Artikel 4 verdient einen genaueren Blick, weil er in der öffentlichen Debatte oft als „KI-Führerschein“ erscheint. In der ursprünglichen Fassung mussten Anbieter und Betreiber Maßnahmen ergreifen, „um nach besten Kräften sicherzustellen“, dass ihr Personal über „ein ausreichendes Maß an KI-Kompetenz“ verfügt [64]. Die Digital-Omnibus-Verordnung hat den Artikel neu gefasst: Anbieter und Betreiber ergreifen nun Maßnahmen, „um die Entwicklung der KI-Kompetenz ihres Personals“ zu unterstützen, und die Pflicht verpflichtet sie ausdrücklich nicht, „für irgendeine Person ein bestimmtes Niveau an KI-Kompetenz zu garantieren“ [28]. Neu ist außerdem ein Absatz, nach dem Kommission und Mitgliedstaaten die Bemühungen insbesondere von KMU unterstützen und die Kommission dafür praktische Beispiele veröffentlicht [28]. Ein gesetzlich vorgeschriebenes Zertifikat ergibt sich aus keiner der beiden Fassungen.

9.2 Was die Digital-Omnibus-Verordnung geändert hat

Die Verordnung (EU) 2026/1744 vom 8. Juli 2026, im Amtsblatt veröffentlicht am 24. Juli 2026, ändert die KI-Verordnung, die Luftfahrtverordnung (EU) 2018/1139 und die Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 [28]. Sie trat am dritten Tag nach ihrer Veröffentlichung in Kraft [28]. Ihre Begründung ist bemerkenswert offen. Die verzögerte Verfügbarkeit von Normen, gemeinsamen Spezifikationen und Leitlinien sowie die verzögerte Einrichtung der nationalen Behörden gefährdeten das wirksame Inkrafttreten der Pflichten für Hochrisiko-KI-Systeme und bärgen das Risiko einer erheblichen Erhöhung der Umsetzungskosten, heißt es in den Erwägungsgründen; es sei deshalb „nicht gerechtfertigt“, den ursprünglichen Geltungsbeginn beizubehalten [28].

Der verfügende Teil setzt in Artikel 113 Absatz 3 neue Termine. Die Anforderungen und Pflichten aus Kapitel III Abschnitte 1, 2 und 3, mit Ausnahme von Artikel 6 Absatz 5, gelten ab dem 2. Dezember 2027 für KI-Systeme, die

nach Artikel 6 Absatz 2 und Anhang III als hochriskant eingestuft sind, und ab dem 2. August 2028 für KI-Systeme, die nach Artikel 6 Absatz 1 und Anhang I als hochriskant eingestuft sind [28]. Für Maschinen, die seit dem Omnibus in Anhang I Abschnitt B stehen, gilt ein eigener Weg (Kapitel 9.3). Die Verschiebung erfasst damit ausdrücklich nur diese drei Abschnitte, nicht das gesamte Kapitel III. Neue Verbote, die der Omnibus in Artikel 5 einfügt, gelten ab dem 2. Dezember 2026 [28]. Sie betreffen KI-Systeme, die ohne Zustimmung realistische intime Darstellungen bestimmbarer Personen erzeugen oder manipulieren, sowie Material im Sinne der Richtlinie 2011/93/EU [28]. Die Artikel 102 bis 110 gelten ab dem 27. Juli 2026 [28]. Für Anbieter generativer Systeme, die synthetische Inhalte erzeugen und vor dem 2. August 2026 in Verkehr gebracht wurden, läuft eine Übergangsfrist für die Kennzeichnungspflicht nach Artikel 50 Absatz 2 bis zum 2. Dezember 2026 [28].

Unverändert bleibt der allgemeine Geltungsbeginn. Die Erwägungsgründe halten ausdrücklich fest, dass „der allgemeine Geltungsbeginn der 2. August 2026 ist“ [28]. Seit dem 2. August 2026 gilt die KI-Verordnung im Allgemeinen; verschoben wurden die Anforderungen und Pflichten aus Kapitel III Abschnitte 1 bis 3. Fristenpläne, die vor Juli 2026 erstellt wurden, sind deshalb nur in diesem Punkt überholt, nicht für die Verordnung insgesamt. Die ursprünglichen Termine dieser Pflichten, der 2. August 2026 und für Artikel 6 Absatz 1 der August 2027, führt die Studie nur noch als ursprünglich vorgesehen.

Für Hersteller von Industrieanlagen ist eine weitere Ergänzung relevant, die hier nur im Wortlaut wiedergegeben wird. Der Omnibus fügt in Artikel 6 einen Absatz ein, nach dem KI-Systeme, die ausschließlich für nicht sicherheitsrelevante Aspekte der Nutzerunterstützung, Leistungsoptimierung, Leistungseffizienz, Automatisierung, Benutzerfreundlichkeit oder Qualitätskontrolle verwendet werden, nicht als Sicherheitsbauteile gelten [28]. Ein weiterer neuer Absatz bestimmt, dass KI-Systeme, deren Ausfall oder Fehlfunktion Gesundheit und Sicherheit gefährden würde, als Sicherheitsbauteile gelten [28]. Wie diese Abgrenzung auf ein bestimmtes Produkt anzuwenden ist, muss im Einzelfall geprüft werden.

9.3 Maschinen: Wechsel von Anhang I Abschnitt A nach Abschnitt B

Die Änderung mit der größten Tragweite für den deutschen Maschinenbau steht in einer unscheinbaren Nummer. Anhang I der KI-Verordnung listet in zwei Abschnitten, A und B, Harmonisierungsrechtsvorschriften der Union für Produkte. Der Omnibus streicht in Abschnitt A die Nummer 1 und fügt in Abschnitt B als neue Nummer 21 die Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 an [46, 28]. Der zugehörige Erwägungsgrund nennt das Ziel, für KI-gestützte Maschinen „zu einem sektorspezifischen Ansatz überzugehen“, indem die Maschinenverordnung „von Anhang I Abschnitt A in Abschnitt B“ der KI-Verordnung verschoben wird [46].

Was der Wechsel bedeutet, regelt der neu gefasste Artikel 2 Absatz 2 der KI-Verordnung. Für KI-Systeme, die nach Artikel 6 Absatz 1 als hochriskant eingestuft sind und mit Produkten nach Anhang I Abschnitt B in Zusammenhang stehen, „gelten nur Artikel 6 Absatz 1, Artikel 60a und Artikel 102 bis 112“; die Artikel 57 bis 59 gelten nur, soweit die Anforderungen in die jeweiligen Produktvorschriften übernommen wurden [28]. Für KI-Systeme, die als Sicherheitsbauteil einer Maschine oder selbst als Maschine nach Artikel 6 Absatz 1 hochriskant sind, gilt Kapitel III der KI-Verordnung damit nicht mehr unmittelbar; von Kapitel III bleibt für sie nur Artikel 6 Absatz 1 anwendbar [28]. Fällt ein in eine Maschine eingebautes KI-System dagegen unter einen Anwendungsfall nach Anhang III, etwa im Beschäftigungskontext oder bei Biometrie, kann es weiterhin nach Artikel 6 Absatz 2 als hochriskant eingestuft werden; ob das zutrifft, ist im Einzelfall zu prüfen [64, 28].

Zusätzliche, an der KI-Verordnung ausgerichtete Anforderungen sollen für diese Systeme über die Maschinenverordnung kommen, die schon eigene Anforderungen an lernendes Verhalten enthält (Kapitel 9.7). Die Kommission erlässt dazu delegierte Rechtsakte zur Änderung von Anhang III der Maschinenverordnung, die Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen für KI-Systeme hinzufügen, die als Sicherheitsbauteil einer Maschine oder selbst als Maschine nach Artikel 6 Absatz 1 der KI-Verordnung hochriskant sind [28]. Inhaltlich müssen diese Anforderungen den einschlägigen Vorgaben aus Kapitel III Abschnitt 2 sowie den Artikeln 17, 19, 72 und 73 der KI-Verordnung Rechnung tragen [28]. Gelten sollen die delegierten Rechtsakte ab dem 2. August 2028; die Befugnis dazu ist der Kommission für fünf Jahre ab dem 27. Juli 2026 übertragen [28]. In Kraft tritt ein solcher Rechtsakt nur, wenn weder das Europäische Parlament noch der Rat binnen zwei Monaten nach Übermittlung Einwände erhebt; die Frist kann um zwei Monate verlängert werden [28].

Ob die Kommission die delegierten Rechtsakte bereits erlassen hat, hat diese Studie nicht geprüft; nach dem Omnibus sollen sie ab dem 2. August 2028 gelten [28]. Bis harmonisierte Normen oder gemeinsame Spezifikationen für Hochrisiko-KI-Systeme nach der Maschinenverordnung vorliegen, knüpft ein neuer Absatz 10 in deren Artikel 20 an die nach der KI-Verordnung herangezogenen harmonisierten Normen und angenommenen gemeinsamen Spezifikationen an [28]. Nach Einschätzung der Redaktion verschiebt sich damit die Aufmerksamkeit der Maschinenhersteller: Neben den Anforderungen, die die Maschinenverordnung ab dem 20. Januar 2027 selbst stellt, wird entscheidend, was die Kommission zusätzlich in Anhang III der Maschinenverordnung ergänzt. Für die deutsche Behördenzuständigkeit wirft der Wechsel eine Frage auf, die Kapitel 5.10 benennt und die Studie nicht auflöst.

9.4 Erwägungsgrund und verfügender Teil

Erwägungsgrund 1 gibt noch den ursprünglichen Zeitplan wieder, nach dem alle Vorschriften ab August 2027 Anwendung finden sollten; maßgeblich sind die Termine im verfügenden Teil, Artikel 113 in der geänderten Fassung [28]. Dieser setzt für Hochrisiko-Systeme nach Artikel 6 Absatz 1 und Anhang I den 2. August 2028 als Geltungsbeginn der Abschnitte 1 bis 3 von Kapitel III [28]; wegen des neuen Artikels 2 Absatz 2 betrifft das in der Sache Produkte nach Anhang I Abschnitt A, für Maschinen gilt von Kapitel III nur Artikel 6 Absatz 1 (Kapitel 9.3). Ob darin ein Widerspruch liegt, ist eine Auslegungsfrage, die diese Studie nicht entscheidet.

Für die Leserin hat das eine praktische Konsequenz. Wer Termine aus dem Omnibus übernimmt, sollte sie aus Artikel 113 in der geänderten Fassung entnehmen, nicht aus den Erwägungsgründen. Die Studie zitiert Zeitangaben deshalb durchgehend aus dem verfügenden Teil.

9.5 AI Continent Action Plan und Apply AI Strategy

Die politische Linie der Kommission legte der AI Continent Action Plan vom 9. April 2025 fest, COM(2025) 165 [33]. Er nennt fünf Handlungsfelder: Recheninfrastruktur, Datenzugang, die Einführung von KI in strategischen Sektoren, Kompetenzen und den Binnenmarkt mit der Aufgabe, die Einhaltung der KI-Verordnung zu erleichtern, „particularly for smaller innovators“ [33]. Zum damaligen Stand zählte die Kommission 13 KI-Fabriken (AI Factories) in 17 Mitgliedstaaten und zwei weiteren EuroHPC-Teilnehmerstaaten; die Investitionen in Supercomputing und KI-Fabriken sollten im Zeitraum 2021 bis 2027 zehn Milliarden Euro erreichen [33]. Die Pressemitteilung der Kommission vom 30. Juli 2026 spricht inzwischen von einem Netz aus 19 KI-Fabriken [30]. Für KMU kündigte der Plan an, die European Digital Innovation Hubs auf die KI-Einführung in KMU auszurichten, außerdem einen AI Act Service Desk im KI-Büro der Kommission [33].

Die Apply AI Strategy vom 8. Oktober 2025 setzt diesen Plan für die Anwendungsseite fort [78]. Sie zielt auf die KI-Einführung in strategischen und öffentlichen Sektoren, darunter Gesundheit, Energie, Mobilität, Fertigung und Bau, und soll KMU bei ihren spezifischen Bedürfnissen unterstützen [78]. Zu den genannten Maßnahmen gehören KI-gestützte Screening-Zentren für das Gesundheitswesen und die Förderung von Frontier-Modellen und agentischer KI für Sektoren wie die Fertigung. Für die KI-Einführung und diese Maßnahmen insgesamt mobilisiert die Kommission nach eigener Angabe „around €1 billion“ [78]. Woher diese Mittel stammen, sagt die Pressemitteilung nicht. Die European Digital Innovation Hubs sollen zu „Experience Centres for AI“ umgebaut werden, und die Kommission hat parallel den AI Act Service Desk gestartet [78]. Beide Dokumente sind Mitteilungen und Strategien, also Ankündigungen der Kommission und keine Rechtsakte.

9.6 KI-Gigafabriken: Ausschreibung, Mittel, Zeitplan

Am 30. Juli 2026 eröffnete die EU die Ausschreibung für „up to seven AI Gigafactories“ [30]. Die Initiative wird von der Industrie getragen und mit bis zu zehn Milliarden Euro aus EU- und nationalen Mitteln unterstützt; die Kommission erwartet, dass sie mindestens 20 Milliarden Euro private Investitionen auslöst [30]. Die privaten Mittel sind eine Erwartung, keine Zusage. Bewerben können sich Konsortien oder Zweckgesellschaften aus Unternehmen, öffentlichen Stellen, Investoren und weiteren Partnern; eine Gigafabrik kann an einem oder mehreren Standorten eines Mitgliedstaats oder grenzüberschreitend entstehen [30].

Die Ausschreibung hat zwei Lose. Im ersten Los sind bis zu vier Projekte mit je bis zu 100 Millionen Euro EU-Mitteln in Phase eins und bis zu weiteren 400 Millionen Euro in Phase zwei vorgesehen, im zweiten Los bis zu drei Projekte mit je bis zu 200 Millionen und weiteren 800 Millionen Euro [30]. Die teilnehmenden Mitgliedstaaten ergänzen die

EU-Mittel in gleicher Höhe; 18 Staaten, darunter Deutschland, haben dafür eine Vereinbarung zur gemeinsamen Beschaffung mit dem EuroHPC Joint Undertaking unterzeichnet [30]. Die Ausschreibung schließt am 12. November 2026. Nach der Bewertung durch das EuroHPC JU erwartet die Kommission Vergabeentscheidungen „by early 2027“; danach sollen Verträge unterzeichnet werden, damit der Bau 2027 beginnen kann [30]. Ausgewählte Gigafabriken sollen innerhalb von höchstens 18 Monaten nach Unterzeichnung in Betrieb gehen [30].

Die Zahl der geplanten Anlagen hat sich verändert. Der Aktionsplan vom April 2025 sprach von der InvestAI Facility, die 20 Milliarden Euro für KI-Infrastruktur mobilisieren solle, „notably targeting up to 5 AI Gigafactories“ [33]. Die Pressemitteilung zur Apply-AI-Strategie vom Oktober 2025 nannte „at least 4 to 5 gigafactories“, an denen gearbeitet werde [78]. Die Ausschreibung vom Juli 2026 spricht von bis zu sieben [30]. Wer die Chancen eines deutschen Zuschlags einschätzt, sollte deshalb vom aktuellen Ausschreibungstext ausgehen und die älteren Zahlen als Stand ihres Datums lesen. Die 200 Milliarden Euro der InvestAI-Initiative bezeichnen ein Mobilisierungsziel für KI-Investitionen insgesamt, keine öffentlichen Haushaltsmittel [33].

9.7 Maschinenverordnung ab 20. Januar 2027

Die Verordnung (EU) 2023/1230 über Maschinen ersetzt die Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, die mit Wirkung vom 20. Januar 2027 aufgehoben wird [29]. Die Verordnung gilt nach Artikel 54 im Wesentlichen ab demselben Tag; einzelne Artikel gelten früher, so die Artikel 26 bis 42 bereits seit dem 20. Januar 2024 [29]. Die Stichtage gehen auf eine im Juli 2023 veröffentlichte Berichtigung zurück, die die ursprünglich gedruckten Daten korrigiert hat; maßgeblich ist der 20. Januar 2027 [57].

Für KI-gestützte Maschinen fallen damit zwei Termine auseinander, die oft in einem Atemzug genannt werden. Ab dem 20. Januar 2027 gilt die Maschinenverordnung, und mit ihr gelten bereits eigene Anforderungen an Maschinen und Sicherheitsbauteile mit ganz oder teilweise selbstentwickelndem Verhalten, etwa durch maschinelles Lernen [29]. Solche Sicherheitsbauteile und Maschinen mit entsprechenden eingebetteten Systemen stehen in Anhang I Teil A; für sie ist eine Konformitätsbewertung unter Beteiligung einer notifizierten Stelle vorgesehen [29]. Anhang III verlangt unter anderem, dass Steuerungen mit selbstentwickelndem Verhalten die Maschine keine Aktionen außerhalb ihres festgelegten Aufgaben- und Bewegungsraums ausführen lassen, dass Daten zu sicherheitsrelevanten Entscheidungen ein Jahr aufbewahrt werden und dass die Maschine jederzeit korrigiert werden kann [29]. Die zusätzlichen, aus der KI-Verordnung abgeleiteten Anforderungen, die der Omnibus über delegierte Rechtsakte zu Anhang III der Maschinenverordnung vorsieht, sollen erst ab dem 2. August 2028 gelten (Kapitel 9.3) [28]. Dazwischen liegen gut eineinhalb Jahre.

9.8 Critical Raw Materials Act: Richtwerte für 2030

Roboter brauchen Permanentmagnete, Antriebe und Sensoren, und damit Rohstoffe mit konzentrierten Lieferketten (Kapitel 11). Die Verordnung (EU) 2024/1252, der Critical Raw Materials Act, setzt in Artikel 5 dafür Richtwerte bis 2030 [56]. Die Kapazität der Union soll sich den folgenden Werten nähern oder sie erreichen: Gewinnung für mindestens 10 Prozent, Verarbeitung für mindestens 40 Prozent und Recycling für mindestens 25 Prozent des jährlichen Unionsverbrauchs an strategischen Rohstoffen [56]. Zudem soll bis 2030 auf kein einzelnes Drittland mehr als 65 Prozent des Jahresverbrauchs der Union eines strategischen Rohstoffs entfallen, und zwar auf jeder relevanten Verarbeitungsstufe [56].

Der Rechtsbegriff lautet „Richtwerte“. Adressaten des Artikels 5 sind die Kommission und die Mitgliedstaaten, die die Wertschöpfungskette mit den Maßnahmen des Kapitels stärken; einzelne Unternehmen nennt der Artikel nicht als Verpflichtete [56]. Unternehmenspflichten enthält die Verordnung an anderer Stelle: Artikel 24 verlangt von großen Unternehmen, die strategische Rohstoffe unter anderem für „Ausrüstung für Robotik“ verwenden, eine Risikobewertung ihrer Lieferkette, und Artikel 28 sieht für bestimmte Produkte, darunter Industrieroboter, ein Etikett zu enthaltenen Dauermagneten vor (Kapitel 11.3) [56]. Die Liste der kritischen Rohstoffe überprüft die Kommission bis zum 24. Mai 2027 und danach mindestens alle drei Jahre [56]. Wie weit die Union von den Werten entfernt ist, lässt sich mit den vorliegenden Quellen nicht beziffern.

9.9 Fristen 2024 bis 2030

Rechtsfristen und Planungsangaben stehen in der Übersicht getrennt gekennzeichnet nebeneinander, ergänzt um die deutschen Termine aus Kapitel 5, soweit sie an den europäischen Rahmen anschließen.

Datum	Ereignis	Art	Quelle
01.08.2024	KI-Verordnung (EU) 2024/1689 in Kraft	Rechtsakt	Q29
02.02.2025	KI-VO Kapitel I und II anwendbar, darunter Art. 4 KI-Kompetenz und Verbote nach Art. 5	Rechtsfrist	Q32
09.04.2025	AI Continent Action Plan, COM(2025) 165	Mitteilung	Q40
02.08.2025	KI-VO u. a. Kapitel V (KI-Modelle mit allgemeinem Verwendungszweck) anwendbar	Rechtsfrist	Q32
08.10.2025	Apply AI Strategy (rund 1 Mrd. € für KI-Einführung und die Maßnahmen insgesamt, Kommissionsangabe)	Mitteilung	Q41B
08.07.2026	Digital-Omnibus-Verordnung (EU) 2026/1744 erlassen; ABl. vom 24.07.2026	Rechtsakt	Q49
27.07.2026	KI-VO Art. 102 bis 110 anwendbar; Befugnis der Kommission zu delegierten Rechtsakten nach Art. 8 Abs. 3 MaschinenVO beginnt	Rechtsfrist	Q49
29.07.2026	KI-MIG in Kraft (Bundesnetzagentur als Marktüberwachungsbehörde)	Rechtsakt (DE)	Q33
30.07.2026	Ausschreibung für bis zu sieben KI-Gigafabriken eröffnet	Ausschreibung	Q22
02.08.2026	allgemeiner Geltungsbeginn der KI-VO, nach dem Omnibus unverändert	Rechtsfrist	Q32, Q49
12.11.2026	Ausschreibung KI-Gigafabriken schließt	Ausschreibungsfrist	Q22
02.12.2026	neue Verbote nach Art. 5 Abs. 1 UAbs. 1 Buchst. ba und bb sowie Abs. 1a und 1b anwendbar	Rechtsfrist	Q49
02.12.2026	Übergangsfrist Art. 50 Abs. 2 für vor dem 02.08.2026 in Verkehr gebrachte generative Systeme endet	Rechtsfrist	Q49
Anfang 2027	Vergabeentscheidungen KI-Gigafabriken erwartet	Planungsangabe (Kommission)	Q22
20.01.2027	Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 im Wesentlichen anwendbar, einschließlich eigener Anforderungen an Maschinen und Sicherheitsbauteile mit selbstentwickelndem Verhalten; Maschinenrichtlinie 2006/42/EG aufgehoben	Rechtsfrist	Q28, Q28B
24.05.2027	Überprüfung der Liste kritischer Rohstoffe (CRMA)	Rechtsfrist	Q27
02.12.2027	KI-VO Kap. III Abschn. 1–3 für Anhang-III-Systeme	Rechtsfrist	Q49
Anfang 2028	Betriebsaufnahme einer deutschen KI-Gigafabrik geplant	Planungsangabe (Bundesregierung)	Q36B
02.08.2028	KI-VO Kap. III Abschn. 1–3 für Hochrisiko-Systeme nach Art. 6 Abs. 1 im Zusammenhang mit Produkten nach Anhang I Abschnitt A	Rechtsfrist	Q49
02.08.2028	delegierte Rechtsakte mit zusätzlichen, aus der KI-VO abgeleiteten Anforderungen in Anhang III der Maschinenverordnung	Geltung ab 02.08.2028 vorgesehen; Erlassstand nicht geprüft	Q49
2030	CRMA-Richtwerte 10 / 40 / 25 / 65 Prozent	Richtwert	Q27

Zwei Termine sind für Betriebe in Deutschland besonders folgenreich, weil sie oft verwechselt werden. Der 20. Januar 2027 betrifft die Maschinenverordnung insgesamt, einschließlich ihrer eigenen Anforderungen an lernendes Verhalten. Am 2. August 2028 beginnen zwei getrennte Dinge. Für Hochrisiko-Systeme nach Artikel 6 Absatz 1 im

Zusammenhang mit Produkten nach Anhang I Abschnitt A gelten dann die Abschnitte 1 bis 3 von Kapitel III der KI-Verordnung. Auf eigenem Weg sollen am selben Tag die zusätzlichen, aus der KI-Verordnung abgeleiteten Anforderungen für Maschinen gelten, die über delegierte Rechtsakte in die Maschinenverordnung kommen. Wer heute eine KI-gestützte Anlage plant, die nach 2027 in Verkehr gebracht wird, hat es nach Einschätzung der Redaktion deshalb mit einem Rechtsrahmen zu tun, dessen aus der KI-Verordnung übertragene Anforderungen erst über delegierte Rechtsakte festgelegt werden, während die eigenen Anforderungen der Maschinenverordnung schon ab Januar 2027 gelten.

Diese Darstellung ersetzt keine einzelfallbezogene Rechtsberatung.

10 Querschnitt: Instrumente im Vergleich

Wer die vier Länderkapitel nebeneinanderlegt, findet keine gemeinsame Messlatte, wohl aber gemeinsame Bausteine. Alle vier Länder setzen sich Ziele, sprechen Unternehmen in der Breite an, schaffen Orte zum Testen, sorgen für Rechenleistung und schreiben Regeln; einige greifen zusätzlich als Käufer oder bei Rohstoffen ein. Reife, Adressat und Form dieser Instrumente unterscheiden sich jedoch so stark, dass ein Vergleich der Fördersummen wenig aussagt. Dieses Kapitel stellt die Instrumente deshalb nach ihrem Typ nebeneinander, mit der Europäischen Union als fünfter Spalte, weil ihr Rahmen in Deutschland unmittelbar gilt. Eine Rangfolge oder Gesamtnote ergibt sich daraus nicht und ist auch nicht beabsichtigt, denn für keines der Instrumente liegt eine Messung seiner Wirkung auf die Nutzung von KI oder Robotik vor, an der sich eine solche Note festmachen ließe.

10.1 Aufbau der Matrix

Die sieben Zeilen sind eine Einteilung der Redaktion, kein etabliertes Klassifikationsschema. Sie folgen der Frage, an welcher Stelle der Staat in die Verbreitung von KI und Robotik eingreift: über ein Ziel mit Zahl, über Angebote für viele Betriebe, als Käufer, über Orte für Test und Transfer, über Rechenleistung, über Recht oder über die Sicherung von Rohstoffen und Komponenten. Jede Zelle nennt das wichtigste belegte Instrument, seine Umsetzungsstufe nach dem Schema aus Kapitel 3 und die Quelle. Beträge, Fristen und Zugangsbedingungen stehen in den Kapiteln 5 bis 9 und werden hier nicht wiederholt. „Nicht belegt“ heißt, dass der Quellenbestand dieser Studie für das Land und den Typ kein am Primärtext prüfbares Instrument enthält; dass es keines gibt, folgt daraus nicht.

10.2 Die Vergleichsmatrix

Tabelle 10.1 Instrumente nach Typ und Umsetzungsstufe (Stand 25.10.2026)

Instrumenttyp	Deutschland	Singapur	Japan	Südkorea	EU	Quellen
Strategie mit Zielzahl	Hightech Agenda: 10 % der Wirtschaftsleistung KI-basiert bis 2030; Roadmap KI: über 50 % der KMU im produzierenden Gewerbe mit KI in Kernprozessen bis 2029 · angekündigt [1, 39]	National AI Impact Programme: 10.000 Unternehmen und 100.000 Beschäftigte in drei Jahren · angekündigt (02.03.2026) [19, 21]	KI-Robotik-Strategie: rund 10 Mio. KI-Roboter bis 2040 in 18 Feldern · beschlossen (26.03./27.05.2026), Finanzierung nicht belegt [31, 22]	Wachstumsstrategie: 1.000 KI-Roboter jährlich in Betrieben · angekündigt (14.07.2026); 4. Basisplan: 1 Mio. fortgeschrittene Roboter bis 2030 · beschlossen, Ziel angekündigt [34, 41]	AI Continent Action Plan mit InvestAI (Mobilisierungsziel 200 Mrd. €) · angekündigt (09.04.2025) [33]	Q36, Q36B, Q10, Q37B, Q14F, Q14, Q17, Q53, Q40

Instrumenttyp	Deutschland	Singapur	Japan	Südkorea	EU	Quellen
Breitenprogramm für Unternehmen	Mittelstand-Digital-Zentren (mehr als 20), für KMU kostenfrei laut IHK · umgesetzt bis 31.12.2026, Nachfolgenetz ab 2027 angekündigt [16, 17]	vorab geprüfte Lösungen mit Productivity Solutions Grant, KI-Anteil von 30 auf 50 % · umgesetzt, Ausweitung angekündigt [19]	KI-Grundplan: Verweis auf bestehende Zuschüsse und regionale Netzwerke für KMU · beschlossen (14.07.2026) [72]	Demonstrationsfeld „Fertigung im Mittelstand“ · angekündigt (27.08.2026) [26]; Smart-Factory-Programm nicht belegt	Apply AI Strategy, rund 1 Mrd. € für die KI-Einführung und die Maßnahmen der Strategie insgesamt, darunter Unterstützung von KMU · angekündigt (08.10.2025) [78]	Q39, Q39B, Q10, Q43, Q16, Q41B
Staatliche Beschaffung, Staat als Erstkunde	SPRIND „Next Frontier Robotics“: vorkommerzielle Auftragsvergabe für Entwicklungsleistungen · ausgeschrieben, Bewerbungsfrist 22.10. abgelaufen [53]	nicht belegt	öffentliche Aufträge als Ankernachfrage (Katastrophenschutz, Bau, Verteidigung, Forschung) · als Strategieinhalt beschlossen, Instrument mit Budget nicht belegt [31]	Kauf heimischer Humanoide: 250 im Jahr 2027, insgesamt 1.080 bis 2030, für Hochschulen und Forschungsinstitute · angekündigt (27.08.2026) [26, 27]	für Robotik nicht belegt	Q48, Q14F, Q16, Q16B
Test- und Transferinfrastruktur	Robo-Hubs mit „test-before-invest“ · Konzeptwettbewerb, Antragsfrist abgelaufen, Auswahl laut Richtlinie bis Anfang Oktober 2026 vorgesehen; Transfer für Betriebe angekündigt; KI-Reallabor der Bundesnetzagentur · gesetzlich vorgeschrieben, Betrieb nicht belegt [14, 18]	KI-Kompetenzzentrum Fertigung AIMfg, knapp 30 Unternehmen · umgesetzt; Punggol Digital District als Testfeld · angekündigt [21, 69]	„manufacturing AX hub“ als Datenplattform · angekündigt; Testfeld für KI-Roboter nicht belegt [36]	Nationales Robotertestfeld (rund 200 Mrd. Won) · angekündigt (2024); Physical-AI-Demonstration an mehr als 500 Orten im Jahr 2027 · angekündigt [41, 26]	European Digital Innovation Hubs als „Experience Centres for AI“ · angekündigt [33, 78]	Q20B, Q33, Q37B, Q54, Q26B, Q53, Q16, Q40, Q41B
Rechenzugang	deutsche KI-Gigafabrik, Betrieb ab Anfang 2028 geplant · angekündigt, EU-Vergabe offen [39, 30]	Enterprise Compute Initiative (150 Mio. S$), mehr als 350 Unternehmen · umgesetzt [65, 21]	als Rechenzugang nicht belegt; nächstliegend: Projektleitung für ein multimodales Basismodell · beschlossen (30.06.2026) [22]	Baubeginn Nationales KI-Rechenzentrum, Beschaffung von rund 50.000 GPUs; KI-Rechenzentren mit 8,4 GW ab 2029 · angekündigt (14.07.2026) [34]	bis zu sieben KI-Gigafabriken · ausgeschrieben bis 12.11.2026 [30]	Q36B, Q22, Q37, Q37B, Q14, Q17

Instrumenttyp	Deutschland	Singapur	Japan	Südkorea	EU	Quellen
Rechtsrahmen	KI-MIG, Bundesnetzagentur als Marktüberwachungsbehörde · beschlossen, in Kraft seit 29.07.2026 [18]	kein KI-Gesetz im Quellenbestand · nicht belegt	KI-Förderungsgesetz Nr. 53/2025, ohne Straf- oder Bußgeldvorschriften · beschlossen, in Kraft [74]	KI-Grundgesetz, Bußgeld bis 30 Mio. Won · beschlossen, in Kraft seit 22.01.2026, einzelne Änderungen seit Juli 2026 [77]	KI-Verordnung in der Fassung der VO (EU) 2026/1744 und Maschinenverordnung ab 20.01.2027 (mit eigenen Anforderungen an lernende Sicherheitsfunktionen) · beschlossen; Kap. III Abschn. 1–3 ab 02.12.2027 (Anhang III) bzw. 02.08.2028 (Anhang I Abschn. A); zusätzliche, aus der KI-Verordnung abgeleitete Anforderungen für Maschinen über delegierte Rechtsakte: Geltung ab 02.08.2028 vorgesehen; Erlassstand nicht geprüft [28, 46, 29]	Q33, Q45, Q46, Q49, Q29, Q28
Rohstoff- und Komponentensicherung	Hightech Agenda, Hebel 7: Versorgung mit kritischen Rohstoffen und Materialien sicherstellen, ohne Robotikbezug · angekündigt [1]; daneben gilt der Critical Raw Materials Act	nicht belegt	Kabinettsverordnung Nr. 394/2022: Industrieroboter, Dauermagnete, Seltenerdmetalle als „besonders wichtige Güter“ · beschlossen, in Kraft; JOGMEC-Beteiligungen · umgesetzt [35, 36]	Ziel für den heimischen Anteil der Roboterkernkomponenten: 80 % bis 2030 [41]; im Humanoid-Plan Kernkomponenten von rund 45 auf 80 % [26] · angekündigt	Critical Raw Materials Act: Richtwerte für 2030, Risikobewertung großer Unternehmen u. a. für Robotik-Ausrüstung · beschlossen [56]	Q36, Q55, Q26B, Q53, Q16, Q27

Anmerkung: Stufen nach dem Schema aus Kapitel 3. Keine Zelle erreicht die Stufe „evaluiert“ im Sinne dieser Studie, also mit einer am Primärtext belegten Wirkung auf die Nutzung von KI oder Robotik (Abschnitt 10.6). „Nicht belegt“ bezeichnet eine Lücke des Quellenbestands, keinen Befund über das Land.

10.3 Muster: Recht in Kraft, Förderung angekündigt

Liest man die Matrix nach Stufen statt nach Ländern, ergibt sich ein Gefälle, das in allen Spalten ähnlich verläuft. Die Rechtsakte stehen auf der Stufe „beschlossen“ und sind in Kraft: das KI-MIG in Deutschland, das KI-Förderungsgesetz in Japan, das KI-Grundgesetz in Südkorea und auf europäischer Ebene die KI-Verordnung, die Maschinenverordnung und der Critical Raw Materials Act [18, 74, 77, 28, 29, 56]. Die Zeilen für Ziele, Beschaffung, Test und Rechenzugang sind dagegen überwiegend mit „angekündigt“ oder „ausgeschrieben“ gefüllt. Nach Einschätzung der Redaktion ist der Staat in den Vergleichsländern damit als Regelsetzer weiter als als Förderer und Käufer.

Dieser Befund hat eine Grenze, die ihn relativiert. In Kraft heißt nicht in allen Teilen anwendbar: Die Anforderungen und Pflichten aus Kapitel III Abschnitte 1 bis 3 der KI-Verordnung gelten erst ab dem 2. Dezember 2027 (Anhang III) beziehungsweise dem 2. August 2028 (Anhang I Abschnitt A) [28]. Die Maschinenverordnung stellt ab dem 20. Januar 2027 eigene Anforderungen an Steuerungen und Sicherheitsbauteile mit lernendem Verhalten; die zusätzlichen, aus der KI-Verordnung abgeleiteten Anforderungen sollen über delegierte Rechtsakte zur Maschinenverordnung kommen, die ab dem 2. August 2028 gelten sollen. Ob die Kommission sie bereits erlassen hat, hat diese Studie nicht geprüft (Kapitel 9.2 und 9.3) [29, 46, 28]. Auch die Pflicht zum Inlandsvertreter im koreanischen Gesetz hängt an Schwellenwerten, die nicht im Gesetz, sondern in einem Präsidialdekret stehen, dessen Wortlaut im Quellenbestand nicht vorliegt [77]. Die hohe Stufe der Rechtszeile beschreibt also verkündete Rahmen, deren für die Industrie wichtige Teile zum Teil erst später anwendbar werden oder im Quellenbestand nicht

vorliegen.

Ein zweites Muster betrifft die Ist-Zahlen. Wo die Matrix „umgesetzt“ meldet und eine Zahl dazu, handelt es sich meist um kleinere oder ältere Instrumente: die Enterprise Compute Initiative in Singapur mit mehr als 350 aufgenommenen Unternehmen, das Fertigungs-Kompetenzzentrum AIMfg mit knapp 30, die JOGMEC-Beteiligungen an zwei Projekten und das Mittelstand-Digital-Zentrum Spreeland mit mehr als 2.600 erreichten KMU seit März 2023 [21, 36, 17]. Die großen Zielzahlen tragen dagegen keinen Zwischenstand. Ein drittes Muster liegt in den Zieljahren, die sich zwischen 2027 und 2030 drängen; nur Japan rechnet mit 2040 in einem deutlich längeren Horizont [31].

10.4 Unterschiede: welche Rolle der Staat einnimmt

Größer als die Unterschiede in der Reife sind die Unterschiede in der Rolle, die der Staat sich gibt. Südkorea ist das einzige der vier Länder, in dessen Quellen der Staat fertige heimische Geräte in Stückzahlen kaufen will, 250 Humanoide im Jahr 2027 und insgesamt 1.080 bis 2030 [26, 27]. Als Empfänger nennt der Plan Hochschulen und staatliche Forschungsinstitute, nicht Betriebe [26]. Deutschland vergibt mit der SPRIND-Challenge ebenfalls Aufträge, allerdings für Entwicklungsleistungen in Stufen und nicht für Geräte [53]. Japan nennt öffentliche Aufträge als verlässliche Ankernachfrage, ohne dass im Quellenbestand ein Instrument mit Budget dazu vorliegt [31].

Singapur wählt einen anderen Weg. Sein Breitenprogramm zielt auf 10.000 Unternehmen aller Branchen und setzt auf geförderte Standardsoftware und Qualifizierung, während die industrielle Tiefe in wenigen forschungsgestützten Projekten entsteht [19, 21]. Deutschland legt den Schwerpunkt seiner neuen Robotikinstrumente auf Forschungsstrukturen: Für die Konzeptphase der Robo-Hubs sind nur Hochschulen und Forschungseinrichtungen antragsberechtigt, Betriebe sollen erst in der Aufbauphase als Anwender hinzukommen [14]. Nach Einschätzung der Redaktion richten sich die deutschen Robo-Hubs und die koreanische Humanoid-Beschaffung damit beide zuerst an die Forschung, nur mit verschiedenen Mitteln, nämlich der Förderung von Konzepten hier und dem Kauf von Geräten dort.

Die deutlichste Lücke zeigt die letzte Zeile. Japan führt Industrieroboter, Dauermagnete und Seltenerdmetalle auf derselben Liste besonders wichtiger Güter seiner Wirtschaftssicherheitsgesetzgebung [35], und Südkorea setzt sich das Ziel, den heimischen Anteil bei Roboterkernkomponenten bis 2030 auf 80 Prozent zu heben [41]; im Humanoid-Plan steht dasselbe Ziel für Kernkomponenten mit einem Ausgangswert von rund 45 Prozent [26]. Für Deutschland enthält der Quellenbestand kein nationales Instrument, das Rohstoffe mit der Robotik verknüpft; die Hightech Agenda behandelt kritische Rohstoffe in einem eigenen Hebel ohne Robotikbezug [1]. Daneben gilt der europäische Critical Raw Materials Act, der Richtwerte für die Union setzt und große Unternehmen mit Robotikbezug zu einer Risikobewertung ihrer Lieferkette verpflichtet (Kapitel 11.3) [56]. Er adressiert damit Unternehmen, während Japan die Versorgung mit bestimmten Gütern als staatliche Aufgabe festschreibt.

10.5 Zielzahlen und ihre Messgrößen

Ein Ziel lässt sich nur prüfen, wenn feststeht, was gezählt wird und wer zählt. An dieser Stelle trennen sich die Zielzahlen der Matrix deutlicher, als ihre Höhe vermuten lässt. Tabelle 10.2 stellt deshalb jedem Ziel die Messgröße gegenüber, die im Wortlaut steht, und den belegten Stand.

Tabelle 10.2 Zielzahlen, Messgröße und belegter Stand (Stand 25.10.2026)

Ziel	Urheber, Datum	Zieljahr	Messgröße im Wortlaut	belegter Stand	Quelle
10 % der Wirtschaftsleistung KI-basiert	Bundesregierung, 30.07.2025	2030	nicht definiert	keiner	Q36
über 50 % der KMU im produzierenden Gewerbe mit KI in Kernprozessen	Roadmap KI, Mai 2026	2029	Indikator „Anteil KMU mit KI-Nutzung“	keine Reihe mit dieser Abgrenzung im Quellenbestand	Q36B
10.000 unterstützte Unternehmen	MDDI, 02.03.2026	drei Jahre	unterstützte Unternehmen	Teilnahmezahlen in den ausgewerteten Quellen nicht genannt	Q10

Ziel	Urheber, Datum	Zieljahr	Messgröße im Wortlaut	belegter Stand	Quelle
rund 10 Mio. KI-Roboter im Inland	Verbindungskonferenz, 26.03./27.05.2026	2040	eingeführte KI-Roboter; Feldwerte unter der Annahme, dass die Ressourcen ausreichend genutzt werden können	keiner	Q14F, Q14G
1.000 KI-Roboter jährlich in Betrieben	Ministry of Finance and Economy, 14.07.2026	kein Startjahr genannt	eingesetzte Einheiten	keiner	Q17
250 (2027), insgesamt 1.080 (bis 2030) heimische Humanoide	Ministerium für Planung und Haushalt, 27.08.2026	2027 / 2030	gekaufte Einheiten	Käufe beginnen laut Plan 2027	Q16, Q16B
1 Mio. fortgeschrittene Roboter	Industrieministerium, 16.01.2024	2030	verbreitete Roboter	keiner	Q53
Verarbeitung für mindestens 40 % des Unionsverbrauchs strategischer Rohstoffe	VO (EU) 2024/1252	2030	Kapazität im Verhältnis zum Jahresverbrauch	mit den vorliegenden Quellen nicht bezifferbar	Q27

Zwei Befunde ergeben sich daraus. Nur zwei Ziele haben eine Messgröße, die das Programm selbst erzeugt: die Zahl der unterstützten Unternehmen in Singapur und die Zahl der gekauften Humanoide in Südkorea; veröffentlicht ist keine von beiden [19, 26]. Die übrigen Robotikziele dagegen lassen sich mit der wichtigsten öffentlichen Statistik nicht ohne Weiteres prüfen. Die in Kapitel 4 verwendeten IFR-Zahlen erfassen Industrieroboter, während die japanische Strategie Mehrzweckroboter meint, die auch in Pflege, Einzelhandel oder Landwirtschaft arbeiten sollen, und Südkorea von „fortgeschrittenen“ Robotern spricht [31, 41]. Nach Einschätzung der Redaktion bräuchte jedes dieser Ziele einen eigenen Zähler, und keiner der ausgewerteten Texte sagt, wer ihn führt.

Für das deutsche KMU-Ziel liegt mit Destatis zwar eine amtliche Quote nahe: 2025 nutzten 23 Prozent der Unternehmen mit 10 bis 49 und 36 Prozent der Unternehmen mit 50 bis 249 Beschäftigten KI [10]. Diese Quoten gelten jedoch für alle erfassten Branchen und fragen nicht danach, ob KI in Kernprozessen eingesetzt wird. Ob die Bundesregierung ihr Ziel an dieser Reihe messen will, geht aus der Roadmap nicht hervor [39].

10.6 Was nirgends evaluiert ist

Von den 35 Zellen der Matrix erreicht keine die Stufe „evaluiert“ im Sinne dieser Studie. Am nächsten kommen zwei Angaben, die beide auf Auskünften der Geförderten beruhen. Für die Mittelstand-Digital-Zentren gibt die IHK Cottbus einen Zwischenbericht vom November 2025 wieder, den Ramboll Management Consulting mit zwei Kölner Instituten erstellt hat; in einer Online-Befragung gab danach mindestens die Hälfte der unterstützten Unternehmen an, die digitalen Kompetenzen ihrer Beschäftigten hätten sich verbessert [17]. Der Bericht selbst lag der Studie nicht vor, und die wiedergegebenen Ergebnisse betreffen Digitalisierung insgesamt, nicht KI oder Robotik. Für Singapur nennt der Digital Economy Report eine durchschnittliche Kostenersparnis von 52 Prozent bei geförderten KI-gestützten Lösungen, die nach einer Fußnote des Berichts auf Selbstauskünften der Antragsteller beruht [20].

Beides sind Hinweise auf den Nutzen aus Sicht der Teilnehmenden, keine gemessene Wirkung auf Produktivität oder Verbreitung. Fünf Zellen bleiben zudem ohne belegtes Instrument: Beschaffung in Singapur und in der EU, das Recht in Singapur, Rohstoffe in Singapur sowie der Rechenzugang in Japan. Hinzu kommt eine Lücke, die quer durch die asiatischen Spalten läuft und für deutsche Unternehmen besonders schwer wiegt. In keinem der drei Länder regelt ein ausgewerteter Text ausdrücklich, ob ausländische Firmen an den Förderinstrumenten teilnehmen können; belegt sind nur die Beschreibung der Enterprise Compute Initiative als Angebot für „Singapore-based companies“ und die ausdrücklich heimische Ausrichtung des koreanischen Kaufplans [21, 26].

Die Matrix beschreibt deshalb Absichten, Strukturen und Rechtslagen, keine Wirkungen. Wer aus ihr ablesen will, welches Instrument funktioniert, ist auf Zahlen angewiesen, die erst entstehen: die Teilnehmerzahlen des National AI Impact Programme, die ersten koreanischen Käufe im Jahr 2027, die für Ende August 2027 angestrebte Siegerauswahl der Robo-Hubs und die Vergabe der KI-Gigafabriken, die die Kommission für Anfang 2027 erwartet [19, 26, 14, 30]. Kapitel 12 ordnet diese Termine und benennt, an welchen Signalen sich eine Wirkung zuerst zeigen

könnte.

11 Randbedingungen: Energie, Rohstoffe, Fachkräfte

Ob die Instrumente aus Kapitel 10 greifen, hängt auch an Größen, die keine Förderrichtlinie steuert: an Strom für Rechenzentren und Fabriken, an Rohstoffen für Magnete und Antriebe und an Menschen, die Systeme einführen und betreiben. Die Studie behandelt diese drei Felder als Randbedingungen und nicht als eigene Themen. Für alle drei gilt dieselbe Vorsicht, denn die bekanntesten Zahlen beziehen sich jeweils auf etwas anderes, als ihre verkürzte Wiedergabe nahelegt. Jede Kennzahl steht deshalb mit ihrer Systemgrenze und ihrer Bezugsgröße. Ein Kapitel über den Strombedarf der KI ist das ausdrücklich nicht.

11.1 Energie: eine Projektion für alle Rechenzentren

Die meistzitierte Zahl zum Strombedarf der KI stammt aus dem Bericht „Key Questions on Energy and AI“ der Internationalen Energieagentur (IEA) mit Stand 16. April 2026. In ihrer zentralen Projektion verdoppelt sich der Stromverbrauch der Rechenzentren ungefähr, von 485 Terawattstunden im Jahr 2025 auf 950 Terawattstunden im Jahr 2030; das entspräche dann rund drei Prozent der weltweiten Stromnachfrage [45]. Die Systemgrenze ist dabei entscheidend. Beide Werte gelten für alle Rechenzentren weltweit, nicht nur für solche, die KI rechnen; den Verbrauch KI-fokussierter Rechenzentren beschreibt die IEA im selben Absatz nur als deutlich schneller wachsend, mit einer Verdreifachung im selben Zeitraum, aber ohne absolute Zahl [45]. Zugleich hält sie fest, dass Engpässe entlang der Wertschöpfungskette aggressivere Szenarien für die nahe Zukunft unwahrscheinlicher machen [45].

Zwei Vorbehalte gehören zu dieser Angabe. Es handelt sich um eine Projektion und nicht um eine Messung, und der Wortlaut liegt der Studie nur als Archivabruf vom 25. September 2026 vor, weil die Seite beim Abruf am 25. Oktober 2026 mit HTTP 403 antwortete; ein Abgleich mit dem aktuellen Stand der Seite steht aus. Eine in Sekundärquellen verbreitete Angabe von 945 Terawattstunden für 2030 ist am archivierten Wortlaut nicht bestätigt. Zur Einordnung der Größenordnung, ausdrücklich als redaktionelle Einordnung: Die gesamte Last in Deutschland lag 2025 nach Fraunhofer ISE bei 495 Terawattstunden [48]. Beide Werte sind unterschiedlich abgegrenzt, die deutsche Last schließt etwa Netzverluste ein, sie liegen aber in derselben Größenordnung.

Für Singapur und Südkorea ist Energie eine ausdrücklich benannte Grenze. Singapur schreibt im Update seiner KI-Strategie, es werde schwierig, ausreichend Rechenkapazität innerhalb seines Energierahmens, seiner Flächenknappheit und seiner Klimaverpflichtungen bereitzustellen; ein Gesetz zur digitalen Infrastruktur mit höheren Nachhaltigkeitsstandards für Rechenzentren soll ins Parlament eingebracht werden [21]. Südkorea plant KI-Rechenzentren mit 8,4 Gigawatt Kapazität und Investitionen von 550 Billionen Won einschließlich mobilisierter privater Mittel, mit Baubeginn im ersten Halbjahr 2028 und schrittweisem Betrieb ab 2029 [34]. Dieselbe Wachstumsstrategie kündigte für das dritte Quartal 2026 eine Strategie für die grüne Transformation an, die ausdrücklich die drei Großprojekte Halbleiter, KI-Rechenzentren und Physical AI stützen soll [34]; ob sie erschienen ist, hat die Studie nicht geprüft. Für die geplante deutsche KI-Gigafabrik enthält der Quellenbestand keine Angabe zum Strombedarf, für Japan wurde die Frage nicht ausgewertet.

Ob zusätzlicher Verbrauch durch Rechenzentren die Strompreise erhöht, beantwortet die IEA nicht pauschal. In Systemen mit knapper Versorgung könne Lastwachstum neue Investitionen auslösen und Preise steigen lassen, in Systemen mit Überschuss dagegen die Auslastung verbessern und Preise senken [45]. Eine Aussage zu deutschen Industriestrompreisen trifft die Studie nicht, weil dafür keine Primärquelle beschafft wurde.

11.2 Strommix in Deutschland: Last oder Erzeugung

Für Deutschland kursieren zwei Anteile erneuerbarer Energien für 2025, die sich auf verschiedene Größen beziehen. Nach der aktualisierten Auswertung von Fraunhofer ISE (Energy-Charts, Fassung vom 1. Januar 2026, Aktualisierung vom 27. August 2026) deckten in das öffentliche Netz eingespeiste Erneuerbare 2025 rund 55,5 Prozent der Last, also des Strommixes, „der tatsächlich aus der Steckdose kommt“ [48]. Bezogen auf die gesamte deutsche Nettostromerzeugung, einschließlich des solaren Selbstverbrauchs und der Kraftwerke von Industriebetrieben, lag der Anteil bei rund 57,1 Prozent, nach 56,1 Prozent im Jahr 2024 [48]. Die Last im öffentlichen Netz betrug 466 Terawattstunden, die gesamte Last 495 Terawattstunden; darin enthalten sind 19,8 Terawattstunden solarer

Selbstverbrauch und 29,8 Terawattstunden Eigenerzeugung der Industrie aus Erdgaskraftwerken [48]. Die Teilwerte gehen in der Quelle nicht auf, denn 466 plus 19,8 plus 29,8 ergeben 515,6 und nicht 495 Terawattstunden; der wiedergegebene Absatz erklärt die Differenz nicht.

Ein dritter Wert ist älter. Die deutsche Presseinformation des Instituts vom Januar 2026 nannte für denselben Strommix 55,9 Prozent [47], die englische Fassung bezog dieselbe Zahl auf die öffentliche Nettostromerzeugung [79]. Maßgeblich ist für diese Studie die Aktualisierung vom August 2026. Welcher der beiden aktuellen Werte für eine Frage passt, hängt nach Einschätzung der Redaktion am Betrieb: Eine Fabrik, die ihren Strom aus dem Netz bezieht, findet sich im Anteil an der Last wieder, ein Betrieb mit eigener Erzeugung eher in der gesamten Nettostromerzeugung.

Tabelle 11.1 Energiekennzahlen mit Systemgrenze

Kennzahl	Wert	Systemgrenze	Art und Stand	Quelle
Stromverbrauch der Rechenzentren 2025	485 TWh	alle Rechenzentren weltweit	IEA, Bericht vom 16.04.2026; Archivwortlaut vom 25.09.2026	Q24
Stromverbrauch der Rechenzentren 2030	rund 950 TWh, etwa 3 % der weltweiten Stromnachfrage	alle Rechenzentren weltweit, zentrale Projektion	Projektion; Live-Abgleich offen	Q24
Anteil Erneuerbarer an der Last, Deutschland 2025	55,5 %	eingespeiste Erneuerbare, Last im öffentlichen Netz	Fraunhofer ISE, Aktualisierung 27.08.2026	Q25
Anteil Erneuerbarer an der Nettostromerzeugung, Deutschland 2025	rund 57,1 % (2024: 56,1 %)	gesamte Nettostromerzeugung einschließlich Selbstverbrauch und Industriekraftwerke	Fraunhofer ISE, Aktualisierung 27.08.2026	Q25
Last, Deutschland 2025	466 TWh (öffentliches Netz), 495 TWh (gesamt)	Stromverbrauch aus dem Netz mit Netzverlusten; gesamt zusätzlich Selbstverbrauch und Eigenerzeugung	Fraunhofer ISE, Aktualisierung 27.08.2026; Teilwerte in der Quelle nicht additiv (466 + 19,8 + 29,8 = 515,6)	Q25
KI-Rechenzentren Südkorea	8,4 GW, Betrieb ab 2029	Kapazität in Gigawatt, kein Verbrauchswert	angekündigt (14.07.2026)	Q17

11.3 Rohstoffe: was der Critical Raw Materials Act für Robotik bedeutet

Roboter brauchen Antriebe, und viele Antriebe brauchen Dauermagnete. Der Critical Raw Materials Act, die Verordnung (EU) 2024/1252, führt „Seltenerdmetalle für Dauermagnete (Nd, Pr, Tb, Dy, Gd, Sm und Ce)“ in seiner Liste der strategischen Rohstoffe [56]. Für sie gelten damit die Richtwerte aus Artikel 5, die Kapitel 9.8 darstellt: bis 2030 Gewinnung für mindestens 10 Prozent, Verarbeitung für mindestens 40 Prozent und Recycling für mindestens 25 Prozent des jährlichen Unionsverbrauchs, und auf kein einzelnes Drittland sollen mehr als 65 Prozent entfallen [56]. Adressaten dieser Richtwerte sind Kommission und Mitgliedstaaten.

Zwei weitere Artikel nennen die Robotik ausdrücklich, und beide richten sich an Unternehmen. Nach Artikel 24 ermitteln die Mitgliedstaaten große Unternehmen, die strategische Rohstoffe unter anderem für „Ausrüstung für Robotik“ verwenden; diese Unternehmen bewerten mindestens alle drei Jahre die Risiken ihrer Rohstofflieferkette, mit einer Kartierung der Herkunftsorte, einer Analyse der Einflussfaktoren und einer Bewertung ihrer Anfälligkeit für Versorgungsunterbrechungen [56]. Groß ist dabei ein Unternehmen mit durchschnittlich mehr als 500 Beschäftigten und mehr als 150 Millionen Euro weltweitem Nettoumsatz [56]. Ein Betrieb mit 50 bis 500 Beschäftigten fällt also nicht unter die Pflicht. Nach Einschätzung der Redaktion begegnet sie ihm eher als Zulieferer, denn die Verordnung rechnet ausdrücklich damit, dass große Unternehmen ihre Lieferanten um Auskünfte ersuchen [56].

Artikel 28 betrifft das Produkt selbst. Wer Industrieroboter in Verkehr bringt, muss sie mit einem Etikett versehen, das angibt, ob sie Dauermagnete enthalten und welchen Typs diese sind, etwa Neodym-Eisen-Bor oder Samarium-Kobalt; hinzu kommt ein Datenträger mit Angaben zu Gewicht, Lage, Zusammensetzung und Ausbau der Magnete, der durch Angaben zu den Motoren ersetzt werden kann, wenn die Magnete ausschließlich in

Elektromotoren sitzen [56]. Beide Pflichten gelten ab zwei Jahren nach Inkrafttreten eines Durchführungsrechtsakts, den die Kommission bis zum 24. November 2026 annehmen soll [56]. Ob dieser Rechtsakt angenommen ist, belegt der Quellenbestand nicht, und der Stichtag für Hersteller steht deshalb noch nicht fest.

11.4 Japan: Abhängigkeit und Gegenmaßnahme

Japan zeigt, wie eng die Rohstofffrage an der Robotik hängt, und es zeigt beide Seiten (ausführlich in Kapitel 7.5). Nach dem Weißbuch zur Fertigungsindustrie vom Mai 2026 stammen Japans Importe schwerer Seltener Erden vollständig aus China, und eine Abbildung nennt als Verwendung unter anderem Dauermagnete und Motoren für Roboter [36]. Dasselbe Weißbuch berichtet, dass über Kapitalbeteiligungen der staatlichen Rohstoffgesellschaft JOGMEC an Projekten mit Lynas (Australien und Malaysia) und Caremag (Frankreich) alternative Bezugsquellen für schwere Seltene Erden gesichert wurden [36]. Rechtlich ist die Verknüpfung festgeschrieben, denn die Kabinettsverordnung Nr. 394 aus dem Jahr 2022 führt Dauermagnete, Industrieroboter und Seltenerdmetalle als besonders wichtige Güter der Wirtschaftssicherheit [35]. Dass das Risiko nicht abstrakt ist, zeigt die Lage des Jahres 2026: Am 30. Juni berichtete der Wirtschaftsminister, japanische Unternehmen seien von chinesischen Exportkontrollen für kritische Mineralien einschließlich Seltener Erden betroffen, etwa durch verzögerte Genehmigungen [22]. Was Chinas Exportkontrollen für die europäische Robotik bedeuten, behandelt der FluxLane-Beitrag unter fluxlane.eu/china-exportkontrollen-robotik-europa/.

Für Deutschland ergibt sich daraus nach Einschätzung der Redaktion vor allem ein Unterschied in der Zuständigkeit. Japan führt Magnete und Industrieroboter als besonders wichtige Güter und sichert Seltene Erden mit staatlichen Beteiligungen ab, die Europäische Union setzt sich Richtwerte und verpflichtet große Unternehmen zur Risikobewertung. Ob sich auch die Abhängigkeit unterscheidet, lässt sich nicht sagen, denn wie stark deutsche Roboterhersteller von chinesischen Magneten abhängen, beziffert keine der vorliegenden Quellen. Eine Aussage der IEA zur Konzentration von Verarbeitung und Magnetherstellung in China konnte nicht am Primärtext geprüft werden und wird nicht verwendet.

11.5 Fachkräfte und Demografie

Die demografische Begründung für Automatisierung tragen alle vier Länder vor, belegen lässt sie sich aber nur ungleich. Für Deutschland sinkt die Zahl der Menschen zwischen 20 und 66 Jahren nach den drei Hauptvarianten der 16. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung bis 2035 um 3,2 bis 4,9 Millionen, je nach angenommener Zuwanderung (Tabelle 4.5) [2]. Für Japan liegt ein Knappheitsindikator vor: Im August 2026 kamen saisonbereinigt 118 offene Stellen auf 100 Arbeitsuchende [61]. Beide Zahlen messen Verschiedenes, die eine eine Altersgruppe in einer Wenn-dann-Rechnung, die andere die bei der öffentlichen Arbeitsvermittlung gemeldeten Stellen eines Monats, und eine Fachkräftelücke beziffert keine von ihnen (Kapitel 4.6). Für Singapur und Südkorea enthält der Quellenbestand keine vergleichbare Kennzahl.

Aufschlussreicher als der Vergleich der Knappheit ist der Vergleich der Antworten. Japan begründet seine Robotikpolitik ausdrücklich damit, in Branchen mit strukturellem Arbeitskräftemangel das Arbeitsangebot zu ergänzen [70]. Südkorea führt in derselben Wachstumsstrategie Robotikziele und ein Zuwanderungsziel, nämlich bis 2030 über ein erweitertes Visum 2.000 hochqualifizierte ausländische Fachkräfte zu gewinnen, ohne beide ausdrücklich zu verknüpfen [34]. In Deutschland hängt schon die Spanne der Vorausberechnung vor allem an der angenommenen Zuwanderung [2]. Nach Einschätzung der Redaktion erscheinen Automatisierung und Zuwanderung damit nicht als Alternativen, sondern als zwei Hebel an derselben Größe; ausdrücklich verbindet sie keine der ausgewerteten Strategien.

Bei den Qualifizierungszielen unterscheiden sich die Länder deutlich. Singapur und Südkorea setzen sich Zahlenziele für Menschen, Japan und Deutschland im ausgewerteten Bestand nicht. In Japan benennen die Fahrpläne den Personalmangel immerhin als Hindernis, in Deutschland sehen die Instrumente Weiterbildung vor, ohne eine Zielgröße zu nennen.

Tabelle 11.2 Qualifizierungsziele im Umfeld von KI und Robotik

Land	Ziel	Urheber, Datum	Stufe	Quelle
Deutschland	kein Zahlenziel im Quellenbestand; Erprobungs- und Weiterbildungszentren im KI-Robotikbooster	Hightech Agenda, 30.07.2025	angekündigt	Q36
Deutschland / EU	Maßnahmen zur Entwicklung der KI-Kompetenz des Personals, ohne garantiertes Niveau (Art. 4 KI-Verordnung)	VO (EU) 2026/1744	beschlossen	Q49
Singapur	100.000 Beschäftigte als „AI Bilingual“ in drei Jahren	MDDI, 02.03.2026	angekündigt	Q10, Q37B
Singapur	15.000 KI-Praktiker in fünf Jahren	MDDI, 01.03.2024	angekündigt	Q38
Singapur	40.000 IT-Fachkräfte in drei Jahren weiterbilden	Update NAIS, 20.05.2026	angekündigt	Q37B
Japan	kein Zahlenziel belegt; Fahrpläne nennen fehlendes Personal für Programmierung, Betrieb und Wartung bei kleinen und mittleren Zulieferern	Verbindungskonferenz, Fahrpläne in der Fassung vom 28.08.2026	beschlossen (Fahrplan)	Q14G
Südkorea	mehr als 15.000 Robotikfachkräfte bis 2030	Industrieministerium, 16.01.2024	angekündigt	Q53
Südkorea	rund 20.000 Fachkräfte für Fertigungs-KI und Physical AI bis 2030, rund 3.000 Praxiskräfte jährlich	Ministerium für Planung und Haushalt, 27.08.2026	angekündigt	Q16

Alle Zahlen sind Ziele, keine Ist-Werte, und einen Zwischenstand meldet keine der Quellen. Nach Einschätzung der Redaktion ist der Unterschied dennoch bemerkenswert, weil die deutschen Instrumente aus Kapitel 5 Qualifizierung zwar vorsehen, sie aber an keiner Stelle des Quellenbestands mit einer Zielgröße verbinden. Wer die Wirkung deutscher Weiterbildungsangebote später prüfen will, hat damit keinen Maßstab, an dem sich ein Fortschritt ablesen ließe.

11.6 Der Engpass im Betrieb: Wissen und Rechtsfolgen

Ein Engpass, der sich messen lässt, liegt im Betrieb selbst. Unter den Unternehmen, die KI erwogen, aber nicht eingeführt haben, nannten 2025 nach Destatis 72 Prozent fehlendes Wissen, 62 Prozent unklare rechtliche Folgen und 60 Prozent Bedenken zum Datenschutz; zu hohe Kosten nannten 32 Prozent [12]. Die Bezugsgruppe ist begrenzt, aber nicht klein: Sie umfasst 20 Prozent aller Unternehmen ab zehn Beschäftigten und 32 Prozent in der Größenklasse 50 bis 249 [12]. Die vollständige Aufstellung steht in Tabelle 4.4. Für die Instrumentenfrage zählt vor allem die Rangfolge, denn Wissen und Rechtsklarheit werden weit häufiger als Hindernis genannt als die Kosten.

Japan und Singapur beschreiben ihre Hürden ähnlich, wenn auch ohne vergleichbare Prozentwerte. Das japanische Weißbuch zur Fertigungsindustrie nennt Schwierigkeiten, Wissen, Know-how und Personal zu sichern, als zentrale Herausforderung beim Einsatz von KI [36]. Die singapurische Wirtschaftsförderung EDB nennt begrenzte KI-Kompetenz im eigenen Haus, schlechte oder nicht standardisierte Fabrikdaten und die Ungewissheit, ob KI-Systeme im laufenden Betrieb verlässlich arbeiten [69]. Das eine ist eine Befragung, das andere sind Darstellungen von Behörden; vergleichen lässt sich die Benennung, nicht die Häufigkeit.

Auf den Wissensengpass zielen in Deutschland mehrere Instrumente der Matrix. Die Mittelstand-Digital-Zentren unterstützen KMU nach Angaben von IHKs kostenfrei, die Bundesnetzagentur muss nach dem KI-MIG Informationen und Anleitungen insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen bereitstellen, und nach der geänderten KI-Verordnung unterstützen Kommission und Mitgliedstaaten die Bemühungen von KMU um KI-Kompetenz [16, 18, 28]. Beim Rechtsengpass stoßen solche Angebote nach Einschätzung der Redaktion an eine Grenze, die sie nicht selbst verschieben können. Ein Teil der Unklarheit hängt an Regeln, deren Inhalt der Quellenbestand nicht enthält: Die zusätzlichen, aus der KI-Verordnung abgeleiteten Anforderungen für Maschinen sollen über delegierte Rechtsakte kommen, die ab dem 2. August 2028 gelten sollen; ob die Kommission sie bereits erlassen hat, hat diese Studie nicht geprüft (Kapitel 9.3) [28]. Eigene Anforderungen an Steuerungen und Sicherheitsbauteile mit lernendem Verhalten enthält die Maschinenverordnung dagegen schon ab dem 20. Januar 2027 [29]. Information kann erklären, was gilt, aber nicht festlegen, was gelten wird. Ein Instrument, das ausdrücklich an Datenschutzbedenken ansetzt, enthält der ausgewertete Bestand nicht.

11.7 Was offen bleibt

Mehrere Randbedingungen ließen sich nicht am Primärtext klären. Offen sind der Live-Abgleich des IEA-Wortlauts, jede belegte Angabe zu Industriestrompreisen, die Aussage der IEA zur Verarbeitung Seltener Erden und zur Magnetherstellung außerhalb Chinas sowie der Stand des Durchführungsrechtsakts zur Magnetkennzeichnung nach Artikel 28 des Critical Raw Materials Act. Für Singapur und Südkorea fehlen demografische Kennzahlen, und für keines der vier Länder liegt eine bezifferte Fachkräftelücke für KI und Robotik vor. Kapitel 16 führt diese Lücken in der Gesamtzählung.

12 Die nächste Zukunft: Termine und Signale 2026 bis 2028

Zwischen dem Ende der Kanzlerreise am 30. Oktober 2026 und dem 2. August 2028 liegen 21 Monate. In diese Spanne fallen fast alle Termine, die diese Studie für Deutschland belegen kann: das Ende zweier Wettbewerbsverfahren, der angestrebte Start der Robo-Hubs, der Geltungsbeginn der Maschinenverordnung und zwei Stufen der KI-Verordnung. Für Singapur, Japan und Südkorea liegen im selben Zeitraum vor allem Zieljahre und Programmhorizonte. Das Kapitel ordnet diese Termine, trennt Rechtsfristen von Planungsangaben und benennt, woran sich ab 2027 ablesen ließe, ob die Instrumente greifen.

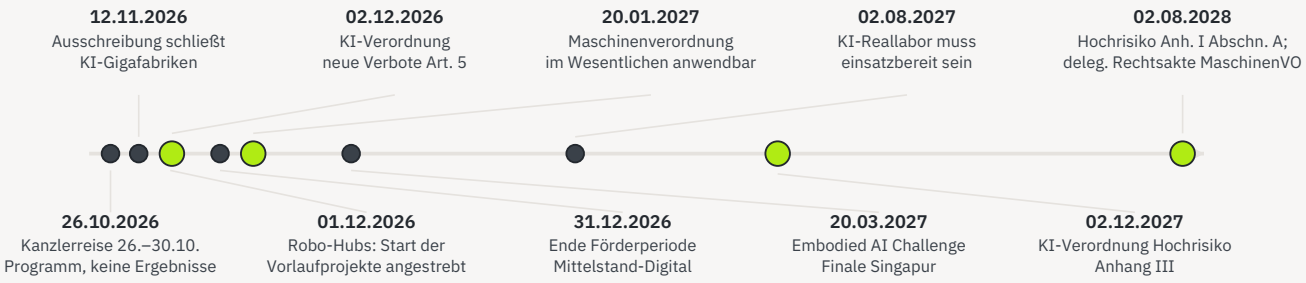
12.1 Was als Zukunft zählt

Als Zukunft gilt hier nur, was ein Gesetzgeber, eine Behörde oder ein Programmträger selbst datiert hat und was als Wortlaut in einer Primärquelle vorliegt. Darunter fallen drei Arten von Angaben mit unterschiedlichem Gewicht. Rechtsfristen sind in einem Rechtsakt verfügt und gelten, bis ein weiterer Rechtsakt sie ändert. Verfahrenstermine setzen Ausschreibungen, Wettbewerbe und Förderrichtlinien; sie binden das Verfahren, nicht dessen Ergebnis. Planungs- und Zielangaben schließlich tragen in ihren Quellen selbst Wörter wie „angestrebt“, „expected“ oder „geplant“, und diese Einschränkung gehört zur Angabe.

Eine eigene Prognose stellt die Studie nicht auf. Sie rechnet keine Szenarien, schätzt keine Zielerreichung und ergänzt kein Datum, wo die Quelle nur ein Jahr oder eine ungefähre Angabe nennt. Steht dort „by early 2027“ oder „ab Anfang 2028“, steht genau das in der Tabelle. Eine Ausnahme ist ausdrücklich gekennzeichnet: Für das singapurische NAIIP nennt die Quelle einen Zeitraum von drei Jahren ab der Ankündigung, aber kein Enddatum; der Eintrag „etwa März 2029“ ist deshalb eine Rechnung der Redaktion und kein Termin der Regierung [19]. Alle Angaben geben den Informationsstand vom 25. Oktober 2026 wieder, also vor der Kanzlerreise.

12.2 Belegte Termine in zeitlicher Folge

Abbildung 4 — Belegte Termine von Oktober 2026 bis August 2028



Termine aus Tabelle 12.1 dieser Studie, nur Angaben mit Tagesdatum; ungenaue Angaben („Anfang 2028“, „early 2027“) stehen nicht auf der Achse. Rechtsfristen hervorgehoben: Verordnung (EU) 2024/1689 in der durch Verordnung (EU) 2026/1744 geänderten Fassung, Verordnung (EU) 2023/1230 Art. 54.

Tabelle 12.1 Termine, Fristen und Zieljahre 2026 bis 2040 (Stand 25.10.2026)

Datum	Ereignis	Stufe	Urheber	Quelle
26.–30.10.2026	Reise des Bundeskanzlers: Singapur (27.10.), Japan (ab 28.10., u. a. German-Japanese Business Summit vorgesehen), Südkorea (ab 29.10., Eröffnung der 19. Asien-Pazifik-Konferenz der Deutschen Wirtschaft am 30.10.); nur Programm, Ergebnisse nicht Gegenstand der Studie	angekündigt (Programm)	Bundesregierung	[6, 7]
11./12.11.2026	SPRIND „Next Frontier Robotics“: Pitches vor der Jury; Entscheidung nach den Pitches im November 2026; laut Zeitplan „get started“ ab 13.11.	ausgeschrieben (Bewerbung seit 22.10. geschlossen)	SPRIND	[53]
12.11.2026	Ausschreibung für bis zu sieben KI-Gigafabriken schließt	ausgeschrieben	Europäische Kommission, EuroHPC JU	[30]
24.11.2026	Critical Raw Materials Act: Frist für den Durchführungsrechtsakt zum Format der Magnetkennzeichnung nach Art. 28 (u. a. Industrieroboter); die Kennzeichnungspflicht gilt ab zwei Jahren nach dessen Inkrafttreten	beschlossen (Rechtsfrist); ob angenommen: offen	EU, VO (EU) 2024/1252	[56]
01.12.2026	Robo-Hubs: Bewilligung und gemeinsamer Start aller Vorlaufprojekte angestrebt	angekündigt (Richtlinie beschlossen)	BMFTR	[14]
02.12.2026	KI-Verordnung: neue Verbote nach Art. 5 Abs. 1 UAbs. 1 Buchst. ba und bb sowie Abs. 1a und 1b anwendbar	beschlossen (Rechtsfrist)	EU, VO (EU) 2026/1744	[28]
31.12.2026	Embodied AI Challenge for Manufacturing: Ende der angesetzten Online-Simulationsphase	angekündigt	NTU, A*STAR, National Robotics Programme	[37]
31.12.2026	Mittelstand-Digital: Ende der aktuellen Förderperiode; neues Netzwerk ab 2027 beabsichtigt, Förderaufruf veröffentlicht	Periode umgesetzt; Nachfolge ausgeschrieben, Bewilligung nicht belegt	BMWE (laut IHK Cottbus)	[17]
Anfang 2027	KI-Gigafabriken: Vergabeentscheidungen „by early 2027“ erwartet, Baubeginn 2027	angekündigt	Europäische Kommission	[30]
20.01.2027	Maschinenverordnung (EU) 2023/1230 im Wesentlichen anwendbar, mit eigenen Anforderungen an Steuerungen und Sicherheitsbauteile mit lernendem Verhalten	beschlossen (Rechtsfrist)	EU	[29, 57]
20.03.2027	Embodied AI Challenge: Finale mit realen Robotern auf RoboSG! 2027	angekündigt	NTU, A*STAR, National Robotics Programme	[37]
24.05.2027	Critical Raw Materials Act: Überprüfung und erforderlichenfalls Aktualisierung der Listen strategischer und kritischer Rohstoffe (Art. 3 Abs. 3, Art. 4 Abs. 3)	beschlossen (Rechtsfrist)	EU, VO (EU) 2024/1252	[56]
um Juni 2027	Japan: quelloffene Betaversion eines japanischen Roboter-Basismodells	angekündigt	Verbindungskonferenz der Ministerien zur KI-Robotik	[31]
Anfang Juli 2027	Robo-Hubs: Umsetzungskonzepte der Vorlaufprojekte	angekündigt	BMFTR	[14]
02.08.2027	KI-Reallabor muss einsatzbereit sein (Art. 57 Abs. 1 KI-VO n. F.)	beschlossen (Rechtsfrist); Betrieb nicht belegt	EU, VO (EU) 2026/1744	[28]
Ende August 2027	Robo-Hubs: Auswahl von bis zu drei Siegern angestrebt	angekündigt	BMFTR	[14]

Datum	Ereignis	Stufe	Urheber	Quelle
2027	Südkorea: Kauf von 250 heimischen Humanoiden; mehr als 500 Demonstrationsorte für Physical AI	angekündigt; Haushaltsbeschluss nicht belegt	Ministry of Planning and Budget (27.08.2026)	[26, 27]
02.12.2027	KI-Verordnung: Kap. III Abschn. 1–3 für Hochrisiko-Systeme nach Anhang III	beschlossen (Rechtsfrist)	EU, VO (EU) 2026/1744	[28]
Anfang 2028	Betriebsaufnahme einer KI-Gigafabrik in Deutschland geplant; Vergabe offen	angekündigt	Bundesregierung (Roadmap KI, Mai 2026)	[39]
2028	Südkorea: gemeinsames Roboter-KI-Grundmodell der K-Humanoid Alliance; Ende der Laufzeit des 4. Basisplans	angekündigt bzw. beschlossen	Industrieministerium	[76, 41]
02.08.2028	KI-Verordnung: Kap. III Abschn. 1–3 für Hochrisiko-Systeme nach Art. 6 Abs. 1 im Zusammenhang mit Produkten nach Anhang I Abschn. A; delegierte Rechtsakte mit zusätzlichen, aus der KI-Verordnung abgeleiteten Anforderungen zu Anhang III der Maschinenverordnung: Geltung ab 02.08.2028 vorgesehen; Erlassstand nicht geprüft	beschlossen (Rechtsfrist)	EU, VO (EU) 2026/1744	[28]
etwa März 2029 (Rechnung der Redaktion)	Singapur: Ende des Dreijahreszeitraums des NAIIP, Ziel 10.000 Unternehmen	angekündigt	MDDI	[19]
bis 2030	Südkorea: insgesamt 1.080 heimische Humanoide gekauft	angekündigt	Ministry of Planning and Budget	[26, 27]
2040 (Fernziel)	Japan: rund zehn Millionen Roboter in 18 Feldern	beschlossen (Strategie), Ziel	Verbindungskonferenz; vorgestellt durch METI	[22, 31]

Drei Eigenschaften der Tabelle tragen eine Aussage. Erstens ballen sich die Termine: Sieben Einträge liegen zwischen dem 11. November und dem 31. Dezember 2026, also in sieben Wochen. Zweitens nimmt die Genauigkeit mit der Entfernung ab, denn über den Sommer 2027 hinaus tragen nur noch Rechtsfristen ein Tagesdatum, während die Programme in Monaten, Jahren oder ungefähren Angaben planen. Drittens unterscheiden sich die Länder in der Art ihrer Termine. Die deutschen und europäischen Einträge sind überwiegend Verfahrensschritte und Rechtsfristen, die asiatischen überwiegend Zieljahre mit Stückzahlen; nach Einschätzung der Redaktion lassen sich beide deshalb nicht als Wettlauf auf derselben Strecke lesen.

12.3 Deutschland und der europäische Rahmen

In Deutschland fallen bis Ende 2027 vor allem Auswahlentscheidungen. Bei den Robo-Hubs wählt das BMFTR fünf, bei hohem Interesse höchstens sieben Vorlaufprojekte aus, die nach dem angestrebten Start am 1. Dezember 2026 neun Monate Zeit für ein Umsetzungskonzept haben [14]. Die Siegerauswahl ist für Ende August 2027 angestrebt, und erst danach beginnt die Aufbauphase, in der Unternehmen die Hubs als Anwender nutzen sollen [14]. Nach Einschätzung der Redaktion liegt der praktische Nutzen für einen mittelständischen Betrieb damit frühestens im Herbst 2027 und nicht im Jahr 2026. Bei der SPRIND-Challenge entscheidet die Jury nach den Pitches im November 2026; ausgewählte Teams können je Team bis zu 7,2 Millionen Euro über 36 Monate in vier Stufen erhalten, vergeben als vorkommerzielle Auftragsvergabe [53].

Die zweite große Entscheidung fällt in Brüssel. Die Ausschreibung für die KI-Gigafabriken schließt am 12. November 2026, Vergabeentscheidungen erwartet die Kommission „by early 2027“ [30]. Ob eine der Anlagen nach Deutschland geht, ist offen, obwohl die Hightech Agenda das ausdrücklich anstrebt [1]. Die Roadmap KI plant die Betriebsaufnahme einer deutschen Gigafabrik ab Anfang 2028 [39]. Die Kommission nennt dafür eine Obergrenze, kein Zieldatum: Ausgewählte Gigafabriken sollen höchstens 18 Monate nach Vertragsunterzeichnung in Betrieb gehen [30]. Nach Einschätzung der Redaktion setzt der deutsche Termin damit voraus, dass Vergabe, Vertrag und

Bau die Obergrenze von 18 Monaten deutlich unterschreiten.

Für Mittelständler ist ein dritter Termin unscheinbar, aber praktisch folgenreich. Die aktuelle Förderperiode der Mittelstand-Digital-Zentren endet am 31. Dezember 2026; das BMWE beabsichtigt laut IHK Cottbus ein neues bundesweites Netzwerk und hat den Förderaufruf dazu veröffentlicht [17]. Ob die neuen Zentren ab dem 1. Januar 2027 ohne Lücke arbeiten, belegt keine der vorliegenden Quellen.

Im Recht sind die Termine fest, die Inhalte teilweise nicht. Ab dem 2. Dezember 2026 gelten die neuen Verbote nach Artikel 5 der KI-Verordnung, ab dem 20. Januar 2027 gilt die Maschinenverordnung im Wesentlichen, mit eigenen Anforderungen an Steuerungen und Sicherheitsbauteile mit lernendem Verhalten [28, 29]. Die Anforderungen und Pflichten aus Kapitel III Abschnitte 1 bis 3 der KI-Verordnung folgen am 2. Dezember 2027 für Hochrisiko-Systeme nach Anhang III und am 2. August 2028 für Hochrisiko-Systeme nach Artikel 6 Absatz 1 im Zusammenhang mit Produkten nach Anhang I Abschnitt A [28]. Für Maschinen führt der Weg über die Maschinenverordnung: Die zusätzlichen, an der KI-Verordnung ausgerichteten Anforderungen sollen über delegierte Rechtsakte zu deren Anhang III kommen, die ab dem 2. August 2028 gelten sollen; ob die Kommission sie bereits erlassen hat, hat diese Studie nicht geprüft (Kapitel 9.3) [28]. Die Befugnis dazu ist ihr für fünf Jahre ab dem 27. Juli 2026 übertragen, und ein solcher Rechtsakt tritt nur in Kraft, wenn weder Parlament noch Rat binnen zwei Monaten nach Übermittlung Einwände erheben; auf Initiative eines der beiden verlängert sich die Frist um zwei Monate [28]. Für den Maschinenbau hängt die Vorbereitungszeit damit am Zeitpunkt des Erlasses. Diese Darstellung ersetzt keine einzelfallbezogene Rechtsberatung.

Offen bleiben in Deutschland zwei Größen, die keine Quelle datiert. Wie viel der 100 Millionen Euro des KI-Robotikboosters bewilligt oder abgeflossen ist, lässt sich keiner Quelle entnehmen [49]. Und alle Maßnahmen des Bundes, die in der Roadmap KI genannt sind, stehen ausdrücklich unter dem Vorbehalt verfügbarer Haushaltsmittel, auch die zu den Meilensteinen für 2028 und 2029 [39]. Datiert ist dagegen das KI-Reallabor. Das KI-Marktüberwachungsgesetz verpflichtet die Bundesnetzagentur, mindestens ein KI-Reallabor zu errichten und zu betreiben [18]; nach Art. 57 Abs. 1 KI-VO in der Fassung der VO (EU) 2026/1744 muss mindestens ein nationales KI-Reallabor bis zum 2. August 2027 einsatzbereit sein [28]. Ob es bereits arbeitet, belegt keine Quelle.

12.4 Singapur

Für Singapur enthält der Zeitraum nur wenige feste Termine. Geplant ist, dass der Kanzler am 27. Oktober 2026 Gespräche mit Premierminister Lawrence Wong führt und im Rahmen der Singapore Lecture eine Rede hält [6]. Die Embodied AI Challenge for Manufacturing hat ihre Simulationsphase vom 1. Oktober bis 31. Dezember 2026 angesetzt und das Finale für den 20. März 2027 auf RoboSG! 2027 [37]. Anmeldefrist und genauer Austragungsort waren zum Abrufstand nicht bekanntgegeben [37]. Die Challenge ist ein Wettbewerb mit Preisgeld; über Industriepolitik entscheidet sie nichts.

Das größere Instrument hat einen Horizont, aber keinen Stichtag. Das NAIIP soll ab seiner Ankündigung am 2. März 2026 „over the next three years“ 10.000 Unternehmen bei der KI-Einführung unterstützen [19]. Teilnahmezahlen nennen die ausgewerteten Quellen nicht (Kapitel 6.2). Für die nationalen KI-Missionen, darunter eine für die fortgeschrittene Fertigung, nennt das Strategie-Update weder Termin noch Budget [21]. Offen bleibt für deutsche Unternehmen außerdem, ob und unter welchen Bedingungen sie an singapurischen Förderinstrumenten teilnehmen können; keiner der ausgewerteten Texte regelt das (Kapitel 6.7).

12.5 Japan und Südkorea

In Japan liegen zwei Termine im Untersuchungszeitraum, beide mit ungefährem Datum. Für das Fiskaljahr 2027 hat das METI am 28. August 2026 den Rahmen der Haushaltsanmeldungen für die KI-Robotik vorgestellt, einen Betrag nennt das Protokoll nicht [24]. Um Juni 2027 soll eine Betaversion eines japanischen Roboter-Basismodells quelloffen erscheinen [31]. Alle Stückzahlziele liegen dagegen jenseits von 2028: Die Feldfahrpläne nennen Werte für 2030 und 2040, die Strategie hält am Ziel von rund zehn Millionen Robotern bis 2040 fest [23, 22]. Bis 2028 lässt sich an Japan deshalb vor allem ablesen, ob Geld bewilligt und das Basismodell veröffentlicht wird, nicht, ob die Stückzahlen erreichbar sind.

Südkorea hat das Jahr 2027 als erstes Umsetzungsjahr seiner Humanoid-Pläne gesetzt. Nach Angaben des Ministry of Planning and Budget vom 27. August 2026 sollen 2027 die ersten 250 heimischen Humanoide gekauft und an Hochschulen und staatliche Forschungsinstitute gegeben werden, bis 2030 insgesamt 1.080 [26, 27]. Im selben Jahr sollen Physical-AI-Demonstrationen an mehr als 500 Einsatzorten stattfinden [26]. Für 2027 nennt die Regierung bereits Beträge; dass der Haushalt 2027 beschlossen ist, belegt keine der vorliegenden Quellen [26]. Für 2028 sind das gemeinsame Roboter-KI-Grundmodell der K-Humanoid Alliance und das Laufzeitende des 4. Basisplans für intelligente Roboter angesetzt [76, 41].

Ein koreanisches Ziel fehlt bewusst in der Tabelle. Die Wachstumsstrategie vom 14. Juli 2026 will jährlich 1.000 KI-Roboter in Betrieben einsetzen, nennt aber kein Startjahr [34]. Ihr ein Jahr zuzuordnen, hieße ein Datum zu erfinden. Mit den 1.080 Humanoiden ist die Zahl nicht zu verwechseln, denn sie stammt von einem anderen Ministerium und betrifft eine andere Gerätegruppe.

12.6 Signale ab 2027

Ob ein Instrument wirkt, zeigt kein Termin, sondern erst eine Zahl, die nach dem Termin erhoben wird. Die folgenden Signale sind nach Einschätzung der Redaktion die aussagekräftigsten, die sich ab 2027 beobachten lassen. Zu jedem ist vermerkt, ob eine Quelle belegt, dass sie diese Zahl künftig liefert, oder ob die Zuordnung eine redaktionelle Einordnung ist.

Tabelle 12.2 Beobachtbare Signale und ihre künftige Quelle

Signal	Was es anzeigen würde	Künftige Quelle	Beleglage
Zahl der geförderten Robo-Hub-Vorlaufprojekte (fünf oder bis zu sieben)	Mehr als fünf sieht die Richtlinie nur „bei hohem Interessensaufkommen“ vor	BMFTR	Kriterium belegt [14]; Veröffentlichung der Zahl redaktionelle Einordnung
Zahl der SPRIND-Teams nach den Pitches und je Stufe	ob die Challenge über vier Stufen genügend Teams trägt	SPRIND	Stufenmodell belegt [53]; Veröffentlichung redaktionelle Einordnung
Mittelabfluss des KI-Robotikboosters	ob aus den 100 Mio. € Bewilligungen werden	Bundesregierung	redaktionelle Einordnung; keine Quelle nennt einen Bericht [49]
Vergabe der KI-Gigafabriken und Vertragsdatum	ob die Roadmap-Angabe „ab Anfang 2028“ einhaltbar ist	Kommission, EuroHPC JU	Vergabe „by early 2027“ angekündigt [30]
Start des neuen Mittelstand-Digital-Netzwerks	ob das Beratungsangebot zum Jahreswechsel ohne Lücke weiterläuft	BMWE	Förderaufruf belegt [17]; Startdatum offen
Zahl der KI-Testzentren und Reallabore; Zahl der Transferbeispiele (Zielmarke 100, 2028)	ob die Roadmap-Meilensteine erreicht werden	Bundesregierung	Indikatoren in der Roadmap belegt [39]; Wirkungsmessung dort ausdrücklich noch „auszugestalten“
Anteil der KMU im produzierenden Gewerbe mit KI in den Kernprozessen (Zielmarke über 50 %, 2029)	ob KI in der Breite des Mittelstands ankommt	nicht festgelegt	Indikator belegt [39]; Datenquelle nicht genannt
KI-Nutzung im Mittelstand, Folgewelle des KfW-Mittelstandspanels	Verbreitung über 20 % (2022–2024) hinaus	KfW Research	Panel mit jährlich wiederkehrenden Angaben zur Digitalisierung belegt [42]; KI-Werte bisher als Dreijahreszeitraum [5]
KI-Nutzung nach Größenklassen, Folgejahr der IKT-Erhebung	Entwicklung von 36 % (50–249 Beschäftigte, 2025)	Destatis	jährliche Erhebung belegt [59]; Unternehmensbegriff ab Berichtsjahr 2025 geändert [10]
Roboterdichte Datenjahr 2025	ob Deutschland seinen Rang im neuen Berichtsstand hält	IFR	Termin nicht belegt; World Robotics 2026 enthält keine Dichtewerte [4]
Teilnahmezahlen des NAIIP	Fortschritt gegenüber dem Ziel von 10.000 Unternehmen	MDDI, IMDA	redaktionelle Einordnung; Singapur meldet für andere Programme bereits Ist-Zahlen [21]

Signal	Was es anzeigen würde	Künftige Quelle	Beleglage
Japans Haushalt Fiskaljahr 2027 für KI-Robotik; Betaversion des Basismodells	ob die Strategie finanziert und das Modell veröffentlicht wird	Regierung Japans	Anmeldung vorgestellt, Betrag offen [24]; Zieltermin belegt [31]
Koreanischer Haushalt 2027; Zahl der 2027 gekauften Humanoide	ob die Beschaffung finanziert und begonnen wird	Regierung Südkoreas	Plan belegt [26]; Veröffentlichung redaktionelle Einordnung
Erlass der delegierten Rechtsakte zu Anhang III der Maschinenverordnung	welche zusätzlichen, aus der KI-Verordnung abgeleiteten Anforderungen ab August 2028 für Maschinen gelten	Europäische Kommission	Pflicht und Befugnis belegt [28]; Erlassstand nicht geprüft

Zwei Signale verlangen beim Lesen besondere Vorsicht, weil sie wie Zeitreihen aussehen. Die nächste Destatis-Zahl zur KI-Nutzung trifft auf einen Vorjahreswert, der bereits nach dem EU-Unternehmensbegriff erhoben wurde [10]. Nach Einschätzung der Redaktion wäre ein Vergleich 2025 zu 2026 deshalb tragfähiger als einer über 2025 zurück, sofern sich die Methode nicht erneut ändert. Bei der IFR ist schon der Zeitpunkt offen: Die Dichtewerte erschienen am 10. Januar 2024, am 20. November 2024 und am 8. April 2026, also nicht in festem Abstand, und Werte verschiedener Berichtsstände bilden keine Reihe (Kapitel 4) [58, 8, 3, 4].

Beim Ziel der Roadmap für 2029 fehlt das Messinstrument, an dem es sich prüfen ließe. Die Roadmap nennt als Indikator den „Anteil KMU mit KI-Nutzung“ mit der Zielmarke 50 Prozent, formuliert den Meilenstein aber als KI „in den Kernprozessen“ [39]. Weder die KfW-Quote, die die Nutzung mindestens einer KI-Technologie zählt, noch die Destatis-Quote nach Größenklassen misst ausdrücklich die Kernprozesse [5, 10]. Ob das Ziel 2029 als erreicht gilt, wird deshalb davon abhängen, welche Erhebung die Bundesregierung heranzieht.

12.7 Was die Daten nicht vorhersagen lassen

Die Termine sagen, wann etwas entschieden werden soll, nicht wie. Keine Quelle lässt erkennen, ob eine KI-Gigafabrik nach Deutschland vergeben wird, welche Teams die SPRIND-Jury auswählt oder welche Schwerpunkte die Robo-Hub-Sieger haben werden. Auch die Ergebnisse der Kanzlerreise liegen außerhalb des Informationsstands; was dort vereinbart wird, kann Tabelle 12.1 ergänzen, aber nicht rückwirkend bestätigen.

Ebenso wenig lässt sich vorhersagen, ob die Termine halten. Die KI-Verordnung sah die Anforderungen und Pflichten aus Kapitel III Abschnitte 1 bis 3 ursprünglich ab dem 2. August 2026 vor, für Hochrisiko-Systeme nach Artikel 6 Absatz 1 ein Jahr später [64]; der Omnibus hat diese Termine im Juli 2026 auf den 2. Dezember 2027 und den 2. August 2028 verschoben [28]. Selbst verfügte Fristen können sich also binnen zwei Jahren nach Inkrafttreten ändern, und Planungsangaben wie „angestrebt“ oder „by early 2027“ binden ihre Urheber noch weniger. Für die Zieljahre in Asien gilt das in besonderem Maß, weil ihre Finanzierung für die betreffenden Jahre nicht beschlossen oder im Wortlaut nicht belegt ist (Kapitel 7 und 8).

Schließlich erlauben die Daten keine Aussage darüber, ob Deutschland im Vergleich aufholt oder zurückfällt. Die Signale aus Tabelle 12.2 messen Teilnahme, Mittel und Verbreitung je Instrument und Land mit jeweils eigener Methode. Nach Einschätzung der Redaktion werden sie ab 2027 zeigen können, ob einzelne Instrumente in Gang kommen. Einen Gesamtvergleich der vier Länder tragen sie nicht, und diese Studie stellt keinen an.

13 Chancen für Deutschland und den Mittelstand

Als Chance gilt in diesem Kapitel eine belegte Entwicklung, aus der ein Betrieb oder die Politik Nutzen ziehen kann, wenn bestimmte Bedingungen eintreten. Zu jeder Chance gehören deshalb drei Angaben: der Beleg, der Zugang für einen Betrieb mit 50 bis 500 Beschäftigten zum Informationsstand vom 25. Oktober 2026 und die Bedingung, unter der die Chance nicht eintritt. Die Auswahl und die Einteilung in fünf Chancen sind eine eigene Einteilung der Redaktion, keine Rangfolge und keine Förderempfehlung. Welche Angebote einen mittelständischen Betrieb nicht erreichen, wird ebenso ausdrücklich gesagt wie die, die ihn erreichen.

13.1 Eine Roboterdichte auf dem Niveau Japans

Bei der Ausstattung mit Industrierobotern beginnt Deutschland nicht im Rückstand. Im Datenjahr 2024 kamen laut IFR-Mitteilung vom 8. April 2026 (World Robotics 2025) in Deutschland 449 Industrieroboter auf 10.000 Beschäftigte im verarbeitenden Gewerbe, in Japan 446 [3]. Deutschland blieb 2025 nach IFR der mit Abstand größte Robotermarkt Europas und stellte 41 Prozent aller Installationen in der EU [4, 32]. Auch der Rückgang der Installationen 2025 ist kein deutscher Sonderfall: Japan verzeichnete minus 19 Prozent, Deutschland minus 8 Prozent [4]. Für einen Betrieb, der bereits Roboterzellen betreibt, liegen nach Einschätzung der Redaktion Voraussetzungen vor, an die KI-Funktionen anschließen können, nämlich Schnittstellen, Sicherheitskonzepte und Erfahrung im Betrieb automatisierter Anlagen.

Die Grenzen dieser Chance stehen in denselben Quellen. Die Dichte zählt Geräte und sagt nichts darüber, ob in ihnen KI arbeitet; der Abstand zu Japan beträgt drei Einheiten in einer Kennzahl, deren Nenner zwischen den Berichtsständen revidiert wird (Kapitel 4.1) [3]. Vergleichbar ist zudem nur die Dichte auf der Anwenderseite. Bei den jährlichen Installationen liegt Japan vorn, 2025 mit 36.219 Einheiten gegenüber weniger als 25.000 in Deutschland [4]. Japanische Hersteller hielten 2024 nach einer von der japanischen Strategie zitierten NEDO-Erhebung rund sieben Zehntel des Weltmarkts für Industrieroboter [31], während die Produktion von Industrierobotern in Deutschland 2025 um 24 Prozent auf 23.700 Einheiten sank [32]. Deutschland steht bei der Roboterdichte auf Augenhöhe mit Japan, bei der Herstellung nicht.

Zugang. Ein eigenes Förderprogramm für den Robotereinsatz im Mittelstand nennen die Quellen nicht. Im Rahmen von Manufacturing-X soll das Projekt Robot-X kleinen und mittleren Unternehmen den Zugang zu maßgeschneiderten Robotern und Automatisierungslösungen erleichtern, und in Factory-X sind Pay-per-Part-Modelle ein Anwendungsfall [52]. Beides sind Projektziele mit Stand März 2026; eine offene Förderausschreibung nennt die Broschüre nicht [52]. Die IFR verweist für den Mittelstand auf flexiblere Angebote der Hersteller, von Robotern mit geringerem Programmieraufwand bis zu „Robot-as-a-Service“-Modellen [32]. Das ist eine Markteinschätzung des Verbands und kein Förderangebot.

Bedingung, unter der die Chance nicht eintritt. Die Basis trägt nur, wenn KI tatsächlich in Bewegung und Steuerung der Anlagen ankommt. Solange nach KfW ein Prozent des Mittelstands KI zur autonomen Bewegung von Maschinen nutzt [5], bleibt die Roboterbasis eine Automatisierungsbasis ohne KI. Hinzu kommt der Investitionszyklus. Die IFR erwartet für Deutschland 2026 einen erneuten Rückgang der Nachfrage [32]; hält er länger an, wird nach Einschätzung der Redaktion weniger neue Technik installiert, an die KI-Funktionen anschließen könnten (Kapitel 14.7).

13.2 Die mittlere Größenklasse als Ansatzpunkt

Den Mittelstand im engeren Sinn beschreibt die amtliche Statistik am genauesten. 2025 nutzten 36 Prozent der Unternehmen mit 50 bis 249 Beschäftigten KI, gegenüber 23 Prozent bei 10 bis 49 und 57 Prozent bei mehr als 250 Beschäftigten [10]. Weitere 32 Prozent hatten KI in Betracht gezogen, nutzten sie aber nicht [12]. Wie sich beide Anteile zueinander verhalten, lässt sich aus den Tabellen nicht sicher ablesen: Destatis bezeichnet die Bezugsgröße als alle Unternehmen, in der Klasse über 250 Beschäftigte ergäben Nutzung (57 Prozent) und Erwägung (53 Prozent) zusammen jedoch mehr als 100 Prozent [10, 12]. Diese Studie addiert die Werte deshalb nicht.

Was die Gruppe der Erwägenden zurückhält, ist für die Chance entscheidend. In der Klasse 50 bis 249 nannten 72 Prozent fehlendes Wissen, 59 Prozent Datenschutzbedenken und 56 Prozent unklare rechtliche Folgen, zu hohe Kosten dagegen 32 Prozent [12]. Nach Einschätzung der Redaktion liegt der Ansatzpunkt damit bei Wissen und Orientierung, also bei Angeboten, die weniger Geld als Zeit und Fachkunde erfordern. Die KfW stützt diese Lesart von anderer Seite, denn sie hält Digitalisierungsgrad, digitales Know-how und Innovativität für wichtiger als die Unternehmensgröße [5].

Zugang. Die Mittelstand-Digital-Zentren unterstützen kleine und mittlere Unternehmen nach Angaben von IHKs kostenfrei; ob größere Mittelständler mit 250 bis 500 Beschäftigten das Angebot nutzen können, geht aus den Quellen nicht hervor [16, 17]. Die laufende Förderperiode endet am 31. Dezember 2026, ein Nachfolgenetz ab 2027 ist angekündigt [17]. Für die Erprobung von Robotik sollen später die Robo-Hubs Unternehmen, insbesondere KMU, Testinfrastruktur und geförderte Pilotprojekte nach dem Prinzip „test-before-invest“ bieten [14]. Antragsberechtigt

im Konzeptwettbewerb sind nur Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Unternehmen tragen in Transferprojekten ihren eigenen Aufwand selbst, und das dabei entstehende geistige Eigentum soll nach der Richtlinie vollständig beim Hub beziehungsweise bei den geförderten Forschungseinrichtungen verbleiben; daneben sind nicht geförderte Angebote zu Marktpreisen vorgesehen [14].

Bedingung, unter der die Chance nicht eintritt. Zwischen dem Ende der Förderperiode von Mittelstand-Digital und dem Beginn der Robo-Hub-Aufbauphase nach der für Ende August 2027 angestrebten Siegerauswahl liegt eine Spanne, in der die geförderte Erprobung nur angekündigt ist [17, 14]. Startet das Nachfolgenetz verspätet oder ohne Robotikbezug, fehlt der mittleren Größenklasse in dieser Zeit ein Erprobungsangebot. Akzeptieren Betriebe die IP-Regel der Transferprojekte nicht, bleibt ihnen nur das Angebot zu Marktpreisen.

13.3 Die verschobenen Fristen als Vorbereitungszeit

Die Digital-Omnibus-Verordnung (EU) 2026/1744 hat die Geltung der Anforderungen und Pflichten aus Kapitel III Abschnitte 1 bis 3 der KI-Verordnung verschoben: für Hochrisiko-Systeme nach Anhang III auf den 2. Dezember 2027, für Hochrisiko-Systeme nach Artikel 6 Absatz 1 im Zusammenhang mit Produkten nach Anhang I Abschnitt A auf den 2. August 2028 [28]. Für Maschinen führt der Weg künftig über die Maschinenverordnung. Sie gilt im Wesentlichen ab dem 20. Januar 2027 und stellt dann bereits eigene Anforderungen an Maschinen und Sicherheitsbauteile mit lernendem Verhalten, bei sicherheitsrelevanten Bauteilen mit Beteiligung einer notifizierten Stelle [29, 57]. Die zusätzlichen, an der KI-Verordnung ausgerichteten Anforderungen sollen über delegierte Rechtsakte zu Anhang III der Maschinenverordnung kommen und ab dem 2. August 2028 gelten; ob die Kommission sie bereits erlassen hat, hat diese Studie nicht geprüft [46, 28]. Fällt ein in eine Maschine eingebautes KI-System unter einen Anwendungsfall nach Anhang III, etwa im Beschäftigungskontext, kann es weiterhin nach Artikel 6 Absatz 2 als hochriskant gelten [28]. Der allgemeine Geltungsbeginn der KI-Verordnung am 2. August 2026 blieb unverändert [28].

Diese Verschiebung ist nach Einschätzung der Redaktion keine Chance im Sinne eines Vorteils, sondern Zeit. Sie kann einem Betrieb nützen, der sie für Kompetenzaufbau und Bestandsaufnahme verwendet, und sie nützt keinem, der sie als Aufschub liest. Begründet wird die Verschiebung in den Erwägungsgründen mit der verzögerten Verfügbarkeit von Normen, gemeinsamen Spezifikationen und Leitlinien sowie mit der verzögerten Einrichtung der zuständigen nationalen Behörden, die das Risiko deutlich höherer Umsetzungskosten bergen [28]. Die Zeit entsteht also gerade dadurch, dass die Maßstäbe, auf die sich ein Betrieb vorbereiten möchte, bei Erlass des Omnibus noch nicht vorlagen.

Zugang. Die Bundesnetzagentur stellt nach dem KI-MIG allgemeine Informationen und Anleitungen zur Anwendung der KI-Verordnung bereit, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen; eine Beratung zum Einzelfall sieht § 12 nur für öffentliche Stellen vor [18]. Ein KI-Reallabor muss sie errichten und betreiben, ob es bereits arbeitet, belegen die Quellen nicht [18]. Auf europäischer Ebene hat die Kommission einen AI Act Service Desk gestartet [78].

Bedingung, unter der die Chance nicht eintritt. Bleiben die delegierten Rechtsakte bis kurz vor dem 2. August 2028 aus, schrumpft die Vorbereitungszeit für Maschinenhersteller auf die Spanne zwischen Erlass und Geltung. Für Betriebe, die nach 2027 KI-gestützte Anlagen in Verkehr bringen, wird aus der Zeit dann eine Unsicherheit (Kapitel 14.6). Diese Darstellung ersetzt keine einzelfallbezogene Rechtsberatung.

13.4 Die Gigafabrik als Rechenzugang

Die europäische Ausschreibung für bis zu sieben KI-Gigafabriken läuft seit dem 30. Juli 2026 und schließt am 12. November 2026; Vergabeentscheidungen erwartet die Kommission „by early 2027“ [30]. Nach der Pressemitteilung sollen die Anlagen zusammen mit dem Netz aus 19 KI-Fabriken auch kleinen und mittleren Unternehmen Zugang zu Infrastruktur für Training, Inferenz und Feinabstimmung fortgeschrittener KI-Modelle geben [30]. Die Bundesregierung will mindestens eine Gigafabrik nach Deutschland holen und plant laut KI-Roadmap vom Mai 2026 die Betriebsaufnahme ab Anfang 2028 [1, 39]. Die Umsetzungsstufe ist damit für die EU „ausgeschrieben“, für den deutschen Standort „angekündigt“.

Zugang. In der Pressemitteilung ist ein Zugangsweg für einzelne Betriebe nicht ausgestaltet [30]. Bewerben können sich Konsortien oder Zweckgesellschaften, und Rechenzeit beschaffen das EuroHPC Joint Undertaking und die

teilnehmenden Mitgliedstaaten gemeinsam, darunter Deutschland [30]. Als Vermittler nennt der Aktionsplan von 2025 die European Digital Innovation Hubs, die Unternehmen den Zugang zu Rechen- und Datenressourcen der KI-Fabriken erleichtern sollen [33].

Bedingung, unter der die Chance nicht eintritt. Ohne deutschen Zuschlag entfällt der Standortbezug, und ob Betriebe dann über andere Standorte gleichwertig Rechenzeit erhalten, regelt die Pressemitteilung nicht [30]. Nach Einschätzung der Redaktion nützt Rechenzeit einem Industriebetrieb zudem erst, wenn er Daten und Personal hat, um ein Modell zu trainieren oder anzupassen. Unter den Unternehmen, die KI erwogen, aber nicht eingeführt haben, nannten 44 Prozent Schwierigkeiten mit Verfügbarkeit oder Qualität der Daten [12].

13.5 Europäische Programme für die Anwendung

Neben der Infrastruktur hat die Kommission Programme für die Anwendung angekündigt. Die Apply AI Strategy vom 8. Oktober 2025 zielt unter anderem auf die Fertigung und soll KMU bei ihren spezifischen Bedürfnissen unterstützen; für die KI-Einführung und die Maßnahmen der Strategie insgesamt mobilisiert die Kommission nach eigener Angabe rund eine Milliarde Euro, ohne die Herkunft der Mittel zu nennen [78]. Die European Digital Innovation Hubs sollen in ihrer zweiten Phase ab Dezember 2025 zu „Experience Centres for AI“ werden und die Einführung branchenspezifischer KI unterstützen [33, 78]. Testing and Experimentation Facilities bieten nach dem Aktionsplan reale Testumgebungen, unter anderem für die Fertigung; eine weitere sollte 2026 hinzukommen [33].

Zugang. Als Zielgruppe der Hubs nennt der Aktionsplan KMU, Mid-Caps und öffentliche Stellen und reicht damit ausdrücklich über die KMU-Grenze hinaus [33]. Allein steht er damit nicht: Auch die Robo-Hubs („Unternehmen, insbesondere KMU“) und die Gigafabriken („industry“) schließen größere Betriebe im Wortlaut nicht aus [14, 30]. Eine Definition der Mid-Caps enthält der ausgewertete Text nicht, und welche Hubs in Deutschland welche Leistungen anbieten, konnte die Studie nicht erheben.

Bedingung, unter der die Chance nicht eintritt. Beide Dokumente sind Mitteilungen und Strategien der Kommission, keine Rechtsakte und keine Förderzusagen. Ob der Umbau der Hubs vollzogen ist, belegen die Quellen nicht. Handelt es sich bei der Milliarde um bereits verplante Mittel, worüber der Wortlaut nichts sagt, entsteht kein zusätzliches Angebot.

13.6 Übersicht

Tabelle 13.1 Chancen mit Zugang und Gegenbedingung (Stand 25.10.2026)

Chance	Beleg	Zugang für Betriebe mit 50–500 Beschäftigten	Stufe des Zugangs	tritt nicht ein, wenn …	Quelle
Roboterdichte auf dem Niveau Japans	449 gegen 446 je 10.000 Beschäftigte, Datenjahr 2024	Manufacturing-X (Robot-X, Pay-per-Part in Factory-X); keine offene Ausschreibung belegt	Projektziele	KI bei autonomer Bewegung selten bleibt (1 %), Installationen weiter sinken	Q03, Q05, Q06, Q23B
Mittlere Größenklasse	36 % KI-Nutzung bei 50–249 Beschäftigten (2025)	Mittelstand-Digital kostenfrei für KMU; Robo-Hubs als Anwender, nicht antragsberechtigt	umgesetzt bis 31.12.2026; Robo-Hub-Transfer angekündigt	Nachfolgenetz verspätet, IP-Regel nicht akzeptiert	Q42B, Q42C, Q39, Q39B, Q20B
Fristen als Vorbereitungszeit	Kap. III Abschn. 1–3 KI-Verordnung ab 02.12.2027 (Anhang III) / 02.08.2028 (Art. 6 Abs. 1, Anhang I Abschn. A); Maschinenverordnung ab 20.01.2027; zusätzliche KI-Anforderungen für Maschinen über delegierte Rechtsakte: Geltung ab 02.08.2028 vorgesehen; Erlassstand nicht geprüft	Informationen der Bundesnetzagentur für KMU; AI Act Service Desk	beschlossen (Gesetz); gestartet (Service Desk)	delegierte Rechtsakte spät kommen	Q49, Q29, Q28, Q33, Q41B

Chance	Beleg	Zugang für Betriebe mit 50–500 Beschäftigten	Stufe des Zugangs	tritt nicht ein, wenn …	Quelle
Gigafabrik als Rechenzugang	Ausschreibung bis 12.11.2026; Betrieb in Deutschland ab Anfang 2028 geplant	in der Pressemitteilung kein Zugangsweg für Einzelbetriebe ausgestaltet; Vermittlung zu KI-Fabriken über EDIH angekündigt	ausgeschrieben / angekündigt	kein deutscher Zuschlag; Daten und Personal fehlen	Q22, Q36B, Q40, Q42C
Europäische Anwendungsprogramme	Apply AI (rund 1 Mrd. € für die Strategie insgesamt), EDIH als Experience Centres	EDIH für KMU und Mid-Caps	angekündigt	Umbau nicht vollzogen, Mittel nicht zusätzlich	Q40, Q41B

Nicht in der Tabelle steht die SPRIND-Challenge „Next Frontier Robotics“. Sie war eines der wenigen Instrumente mit direkter Antragsmöglichkeit für etablierte Unternehmen, die Bewerbungsfrist endete jedoch am 22. Oktober [53]. Ebenfalls fehlt die Absichtserklärung mit NVIDIA, weil sie weder Budget noch Leistungen für Betriebe nennt [15]. Nach Einschätzung der Redaktion zeigt die Übersicht ein gemeinsames Muster: Die Chancen sind belegt, die Zugänge überwiegend angekündigt, und wo ein Zugang heute besteht, ist er Orientierung und nicht Erprobung.

14 Risiken

Die Risiken in diesem Kapitel sind Entwicklungen, die eine breitere Nutzung industrieller KI in Deutschland bremsen oder verhindern können. Jedes trägt einen Beleg aus den Primärtexten; wo die Studie über den Beleg hinaus deutet, ist das als Einordnung der Redaktion gekennzeichnet. Eine Gewichtung der Risiken untereinander nimmt die Studie nicht vor, weil keine Quelle sie trägt. Am Ende steht eine Gegenposition, die einen Teil der Risiken anders erklärt: Branchenstruktur und Unternehmensgröße könnten den Abstand zu Asien auch ohne Politik verständlich machen.

14.1 Die Diffusionslücke

Das am besten belegte Risiko ist die geringe Verbreitung genau der KI-Anwendung, um die es bei Physical AI geht. Im Zeitraum 2022 bis 2024 nutzten laut KfW ein Prozent der Mittelständler KI zur autonomen Bewegung von Maschinen, drei Prozent KI zur Datenanalyse [5]. Destatis kommt mit anderem Nenner zum selben Befund: Von den Unternehmen ab zehn Beschäftigten, die 2025 KI nutzten, setzten sechs Prozent sie zur autonomen Bewegung von Maschinen ein, bei mehr als 250 Beschäftigten zwölf Prozent [10]. Die Werte messen verschiedene Gruppen (Kapitel 4.3), zeigen aber übereinstimmend, dass diese Form der KI selten ist.

Die Gründe der Zögernden deuten auf ein Risiko, das sich nicht mit Geld allein beheben lässt. Unter den Unternehmen, die KI erwogen, aber nicht eingeführt haben, nannten 72 Prozent fehlendes Wissen, 62 Prozent unklare rechtliche Folgen, 60 Prozent Datenschutzbedenken, 45 Prozent Inkompatibilität mit vorhandenen Systemen und 44 Prozent Probleme mit den erforderlichen Daten; zu hohe Kosten folgten mit 32 Prozent [12]. Japan beschreibt in seinem Weißbuch zur Fertigungsindustrie 2026 ähnliche Hürden, nämlich Schwierigkeiten, Wissen, Know-how und Personal zu sichern, und stellt fest, dass der Datenaustausch zwischen Unternehmen seit zwei Jahren stagniert [36]. Vergleichen lässt sich dabei die Benennung, nicht die Häufigkeit (Kapitel 11.6). Nach Einschätzung der Redaktion spricht das dafür, dass die Hürden kein deutsches Sonderproblem sind, sondern sich auch in einem Land mit eigener Robotikstrategie zeigen.

14.2 Demografie

Die Zahl der Menschen im Erwerbsalter von 20 bis 66 Jahren sinkt nach der 16. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung bis 2035 je nach Zuwanderung um 3,2 bis 4,9 Millionen, ausgehend von 51,2 Millionen im Jahr 2024 [60, 2]. Ohne Nettozuwanderung wären es rund 6,2 Millionen [2]. Die Spanne ist eine Wenn-dann-Rechnung und keine Vorhersage. Sie zählt eine Altersgruppe, keine Erwerbstätigen und keine offenen Stellen.

Häufig wird die Demografie als Argument für Automatisierung gelesen. Nach Einschätzung der Redaktion wirkt sie zugleich als Risiko für die Automatisierung selbst, weil Einführung, Programmierung und Wartung Personal binden, das ebenfalls knapper wird. Die japanischen Feldfahrpläne beschreiben genau diese Lage für kleine und mittlere Zulieferer: Umbauten an Layout und Linien seien teuer, und es fehle an Personal für Programmierung, Betrieb und

Wartung [23]. Südkorea führt in derselben Wachstumsstrategie den Robotikschwerpunkt und, in einem anderen Teil, einen Fahrplan für die Beschäftigung ausländischer Arbeitskräfte, ohne beide ausdrücklich zu verknüpfen [34]. Nach Einschätzung der Redaktion setzen beide Länder Roboter damit nicht an die Stelle des Personals, das sie einführen und betreiben soll.

14.3 Finanzierung aus internen Mitteln

Mittelständler finanzieren Digitalisierungsvorhaben laut KfW zu 88 Prozent aus internen Mitteln wie laufendem Cashflow, Rücklagen oder Barreserven; Bankkredite machen 8 Prozent aus, Fördermittel 3 Prozent (KfW Fokus Nr. 553, Juli 2026, Werte für 2024) [13]. 90 Prozent der Unternehmen mit Digitalisierungsvorhaben finanzieren diese vollständig intern, Fördermittel nutzen nur 4 Prozent [13]. Auch große Mittelständler sind davon nicht ausgenommen: Nach einer Modellrechnung der KfW liegt die Wahrscheinlichkeit einer ausschließlich internen Finanzierung von Digitalisierungsvorhaben bei einem Unternehmen mit 350 Beschäftigten noch bei 78 Prozent, bei Sachinvestitionen bei 45 Prozent [13].

Die KfW erklärt den Unterschied mit den Eigenschaften der Vorhaben. Digitalisierungsprojekte bestehen überwiegend aus immateriellen Investitionen, schaffen kaum verwertbare Kreditsicherheiten und lassen sich in ihrem Erfolg schwer abschätzen [13]. Ihre Folgerung lautet, dass Unternehmen mit begrenzten und schwankenden Cashflows ihre Digitalisierung zurückfahren und sich vermutlich auf kurzfristig umsetzbare Projekte verlegen [13]. Dazu passt, dass die Digitalisierungsausgaben des Mittelstands 2024 gegenüber dem Vorjahr in laufenden Preisen um 8,1 auf 23,8 Milliarden Euro fielen [42].

Für industrielle KI ergibt sich nach Einschätzung der Redaktion eine Zwischenlage, die die Quelle selbst nicht untersucht. Eine Roboterzelle ist eine Sachinvestition, und Sachinvestitionen finanziert der Mittelstand laut KfW zu 51 Prozent intern und zu 32 Prozent über Bankkredite [13]. Die KI-Anteile eines solchen Projekts, also Daten, Software, Integration und Qualifizierung, ähneln dagegen dem immateriellen Digitalisierungsprojekt. Gerade der Teil, der eine Anlage zur KI-Anlage macht, hinge dann an der Innenfinanzierung.

14.4 Abhängigkeit bei Seltenen Erden

Seltene Erden stecken nach einer Abbildung des japanischen Weißbuchs zur Fertigungsindustrie 2026 unter anderem in Dauermagneten und Motoren für Elektrofahrzeuge und Roboter [36]. Der Critical Raw Materials Act nennt Industrieroboter ausdrücklich unter den Produkten, für die Angaben zu enthaltenen Dauermagneten vorgesehen sind, ab zwei Jahren nach Inkrafttreten eines Durchführungsrechtsakts (Art. 28) [56]. Für 2030 setzt er Richtwerte, darunter höchstens 65 Prozent des Jahresverbrauchs eines strategischen Rohstoffs aus einem einzelnen Drittland [56]. Adressaten sind die Kommission und die Mitgliedstaaten; verbindliche Quoten für Unternehmen enthält Artikel 5 nicht [56].

Eine belegte Abhängigkeitsquote für Deutschland oder die EU enthält der Quellenbestand nicht, und eine Aussage der Internationalen Energieagentur zur Konzentration von Verarbeitung und Magnetherstellung ließ sich nicht am Primärtext prüfen. Wie das Risiko konkret wird, zeigt deshalb das Beispiel Japan. Nach dem Weißbuch stammen Japans Importe schwerer Seltener Erden vollständig aus China; über Beteiligungen der staatlichen Rohstoffgesellschaft JOGMEC an Projekten mit Lynas und Caremag seien alternative Bezugsquellen gesichert worden [36]. Am 30. Juni 2026 bezeichnete der Wirtschaftsminister die chinesischen Exportkontrollen vom Januar und Februar 2026, die sich nach seinen Worten ausschließlich gegen Japan richteten, als völlig inakzeptabel; japanische Unternehmen seien unter anderem durch verzögerte Genehmigungen betroffen [22].

Japan führt Industrieroboter, Dauermagnete und Seltenerdmetalle auf derselben Liste besonders wichtiger Güter seiner Wirtschaftssicherheitsgesetzgebung [35]. Südkorea will den heimischen Anteil an Kernkomponenten im Humanoid-Plan von rund 45 auf 80 Prozent bis 2030 heben [26]; 80 Prozent für Roboterkernkomponenten nennt auch der Basisplan 2024 [41]. Nach Einschätzung der Redaktion behandeln beide Länder Komponenten und Rohstoffe als Teil der Robotikpolitik, während keines der in Kapitel 5 behandelten deutschen Instrumente Robotik- und Rohstoffpolitik ausdrücklich verknüpft; die Hightech Agenda behandelt kritische Rohstoffe in einem eigenen Hebel ohne Robotikbezug [1]. Ob daraus für deutsche Betriebe ein höheres Risiko folgt, lässt sich ohne Abhängigkeitsdaten nicht beziffern.

14.5 Umsetzungsrisiko der Instrumente

Die meisten deutschen Instrumente stehen auf einer frühen Stufe. Die Absichtserklärung mit NVIDIA vom 19. Oktober 2026 nennt weder Budget noch Laufzeit [15]. Die Robo-Hubs befinden sich im Konzeptwettbewerb, die Siegerauswahl ist für Ende August 2027 angestrebt [14]. Alle Maßnahmen der KI-Roadmap stehen „unter dem Vorbehalt verfügbarer Haushaltsmittel“, darunter das Ziel, den Anteil der KMU im produzierenden Gewerbe mit KI in den Kernprozessen bis 2029 auf über 50 Prozent zu erhöhen [39]. Für die Plattform Industrie 4.0 war ein Arbeitsplan bis September 2026 angekündigt; ob er vorliegt, ist nicht belegt [63].

Termine haben sich bereits verschoben. Die Hightech Agenda plante im Juli 2025 die Betriebsaufnahme einer deutschen Gigafabrik ab Mitte 2027, die Roadmap vom Mai 2026 ab Anfang 2028 [1, 39]. Evaluiert ist keines der deutschen Instrumente im Hinblick auf industrielle KI. Dasselbe gilt für die Vergleichsländer: Japans Feldziele beruhen auf der Annahme, dass die politischen Ressourcen ausreichend genutzt werden können [23], und für Südkoreas Kaufplan ist ein beschlossener Haushalt 2027 nicht belegt [26, 27]. Nach Einschätzung der Redaktion liegt das Risiko deshalb weniger in einem Rückstand der Ankündigungen als darin, dass zwischen Ankündigung und Wirkung in allen vier Ländern noch keine Wirkungsmessung steht.

14.6 Rechtsunsicherheit im Übergang

Für KI in Maschinen steht ein Teil der Anforderungen noch aus. Ab dem 20. Januar 2027 gilt die Maschinenverordnung im Wesentlichen mit ihren eigenen Anforderungen, darunter solche an Steuerungen mit selbstlernendem Verhalten und, für Sicherheitsbauteile mit maschinellem Lernen, eine Konformitätsbewertung unter Beteiligung einer notifizierten Stelle [29]. Die zusätzlichen, an der KI-Verordnung ausgerichteten Anforderungen sollen über delegierte Rechtsakte zu Anhang III kommen und erst ab dem 2. August 2028 gelten; ob die Kommission sie bereits erlassen hat, hat diese Studie nicht geprüft [46, 28]. Zwischen beiden Terminen liegen gut eineinhalb Jahre, in denen ein Hersteller nach den Anforderungen der neuen Maschinenverordnung in Verkehr bringt, die lernendes Verhalten bereits erfassen, aber noch ohne die zusätzlichen Vorgaben aus den delegierten Rechtsakten (Kapitel 9.7).

Zwei weitere Unschärfen kommen hinzu. Der erste Erwägungsgrund des Omnibus gibt noch den ursprünglichen Stufenplan der KI-Verordnung wieder, mit einem früheren Termin, ab dem alle Vorschriften Anwendung finden sollten; maßgeblich sind die Termine im verfügenden Teil, also Artikel 113 in der geänderten Fassung [46, 28]. Und das KI-MIG knüpft die Zuständigkeit der Marktüberwachungsbehörden an Anhang I Abschnitt A, aus dem der Verweis auf das Maschinenrecht inzwischen gestrichen ist; welche Behörde für KI in Maschinen zuständig ist, beantwortet der Wortlaut nicht ausdrücklich [18, 46]. Dass 56 Prozent der zögernden Unternehmen mit 50 bis 249 Beschäftigten unklare rechtliche Folgen nennen [12], erhält vor diesem Hintergrund nach Einschätzung der Redaktion einen konkreten Gegenstand. Diese Darstellung ersetzt keine einzelfallbezogene Rechtsberatung.

14.7 Rückläufige Installationen 2025

2025 wurden in Deutschland laut IFR weniger als 25.000 Industrieroboter installiert, acht Prozent weniger als im Vorjahr; die deutsche Pressefassung nennt 24.800 Einheiten [4, 32]. Die IFR führt den Rückgang hauptsächlich auf die sinkende Nachfrage aus dem verarbeitenden Gewerbe zurück. Die Automobilindustrie installierte 5.800 Roboter und blieb mit 23 Prozent die größte Abnehmerbranche, nachdem ihr Anteil 2020 noch bei 40 Prozent gelegen hatte [32]. Die Produktion von Industrierobotern in Deutschland sank um 24 Prozent, die Exporte um 37 Prozent [32].

Für 2026 erwartet die IFR einen erneuten Rückgang der Nachfrage, ab 2027 rechnen nach ihrer Darstellung Experten wieder mit steigenden Installationen [32]. Das ist eine Einschätzung des Verbands, keine Rechnung dieser Studie. Ob 2025 einen Strukturbruch markiert, lässt sich aus zwei Jahreswerten nicht ablesen. Das Risiko liegt nach Einschätzung der Redaktion darin, dass die größte Abnehmerbranche zugleich die ist, die Projekte zurückstellt; die IFR nennt dafür hinter den Erwartungen gebliebene Absätze bei Elektrofahrzeugen und politische Unsicherheiten [32].

14.8 Die Gegenposition: Branchenstruktur und Unternehmensgröße

Eine ernsthafte Gegenposition lautet, dass der Abstand zu Asien sich weitgehend ohne Industriepolitik erklärt. Die IFR selbst begründet die Dichtewerte mit Strukturmerkmalen. Südkorea profitiere von seiner Elektronik- und

Automobilindustrie als den beiden größten Abnehmern von Industrierobotern; Singapur erreiche eine hohe Dichte schon mit kleinem Bestand, weil es wenige Industriebeschäftigte habe [3]. Japan beschreibt die IFR als vorherrschendes Herstellerland von Robotern [3]. Keiner dieser Begründungssätze handelt von Förderprogrammen.

Für die KI-Nutzung spricht die Größenverteilung in dieselbe Richtung. Die Nutzung steigt in Deutschland von 23 Prozent bei 10 bis 49 Beschäftigten auf 57 Prozent bei mehr als 250 [10], und auch die KfW findet in den Rohwerten eine mit der Größe zunehmende Nutzung aller KI-Technologien [5]. Ein Land mit vielen kleinen Betrieben hätte demnach niedrigere Quoten, ohne dass seine Politik schlechter wäre. Südkoreas Installationen bewegen sich seit 2019 seitwärts um rund 31.000 Einheiten pro Jahr, obwohl seit Januar 2024 ein Basisplan für intelligente Roboter gilt [4, 41]; das ist mit der Gegenposition vereinbar, belegt sie aber nicht.

Die Gegenposition hat eine Grenze in den eigenen Daten. Berücksichtigt die KfW Digitalisierungsgrad, Know-how, Innovationstätigkeit und Region, sinkt die Bedeutung von Unternehmensgröße und Wirtschaftszweig; für die meisten KI-Technologien zeigt sich dann kein klarer Zusammenhang mit der Größe [5]. Größe und Branche wirken also zum Teil über Faktoren, die Betriebe und Politik beeinflussen können. Vergleichbare Daten zur Branchenstruktur aller vier Länder enthält der Quellenbestand nicht, deshalb lässt sich die Gegenposition hier weder bestätigen noch widerlegen. Nach Einschätzung der Redaktion verschiebt sie die Frage: Nicht ob Politik den Abstand erklärt, sondern welcher Teil davon überhaupt politisch beeinflussbar ist.

14.9 Übersicht

Tabelle 14.1 Risiken mit Beleg oder Einordnung (Stand 25.10.2026)

Risiko	Beleg	Art	Quelle
Diffusionslücke	1 % des Mittelstands KI zur autonomen Bewegung (2022–2024); 72 % der Zögernden nennen fehlendes Wissen (2025)	Beleg	Q06, Q42B, Q42C
Demografie	20- bis 66-Jährige bis 2035 minus 3,2 bis 4,9 Mio. (Varianten)	Beleg; Wirkung auf Einführungspersonal als Einordnung	Q09, Q09B, Q14G
Innenfinanzierung	88 % der Digitalisierungsausgaben intern, 8 % Bankkredite, 3 % Fördermittel (2024)	Beleg; Übertragung auf KI-Projekte als Einordnung	Q58, Q07
Seltene Erden	Japan: schwere Seltene Erden zu 100 % aus China; alternative Bezugsquellen über JOGMEC; CRMA-Richtwert höchstens 65 % je Drittland	Beleg für Japan und EU-Rahmen; deutsche Quote nicht belegt	Q26B, Q14, Q27, Q55
Umsetzung der Instrumente	Absichtserklärung ohne Budget; Haushaltsvorbehalt der Roadmap; keine Evaluation der Wirkung auf KI- oder Robotiknutzung	Beleg	Q18, Q20B, Q36, Q36B
Rechtsunsicherheit im Übergang	Maschinenverordnung ab 20.01.2027 mit eigenen Anforderungen an lernende Sicherheitsfunktionen; Geltung delegierter Rechtsakte ab 02.08.2028; Erlassstand nicht geprüft	Beleg (Fristen); Erlassstand offen	Q29, Q49, Q28, Q33
Rückläufige Installationen	2025 unter 25.000 (minus 8 %), Automobilanteil 23 % nach 40 % (2020)	Beleg; Ausblick als IFR-Einschätzung	Q04, Q05
Gegenposition Branchenstruktur	IFR-Begründungen für KR und SG; Größengefälle der KI-Nutzung	Beleg; Gesamtbewertung offen	Q03, Q42B, Q06

15 Übertragbarkeit: Was sich für deutsche Betriebe und Politik daraus ableiten lässt

Übertragbar ist aus den Vergleichsländern kein Programm, sondern höchstens ein Mechanismus: eine Art, ein Problem anzugehen, das auch in Deutschland besteht. Dieses Kapitel beschreibt sechs solcher Bausteine, jeweils mit Herkunft, mit der Bedingung, unter der er in Deutschland tragen könnte, und mit der Gegenbedingung, unter der er nicht trägt. Die Auswahl ist eine eigene Einteilung der Redaktion. Weil keines der Instrumente in den vier Ländern

evaluiert ist, sind die Bausteine begründete Hypothesen und keine erprobten Rezepte. Mengen- und Budgetziele leitet die Studie bewusst nicht ab, auch nicht aus den Zielzahlen der Vergleichsländer.

15.1 Vorbemerkung: Ein Zugang deutscher Firmen ist nicht belegt

Ein Zugang deutscher Firmen zu den asiatischen Programmen ist in keinem der ausgewerteten Texte belegt. Für Singapur beschreibt das Strategie-Update die Zielgruppe der Enterprise Compute Initiative als „Singapore-based companies“; ob und unter welchen Bedingungen Niederlassungen ausländischer Unternehmen teilnehmen können, geht aus den vorliegenden Texten nicht hervor [21]. Für Japan ergab die Suche in Strategie, Fahrplänen, Grundplan und Gesetz keinen Zugangsbezug; belegt ist nur, dass das Forschungsinstitut AIST für ein Basismodell mit Einrichtungen in den Vereinigten Staaten, Kanada, Frankreich und Großbritannien zusammenarbeiten soll, Deutschland ist nicht genannt [22]. Südkoreas KI-Grundgesetz nennt die Anwerbung ausländischer Investitionen, enthält in der KLRI-Übersetzung aber keine Regel zur Teilnahme ausländischer Firmen an Förderprogrammen; die zugehörigen Präsidialdekrete hat die Studie nicht ausgewertet [77]. Der Kaufplan vom August 2026 richtet sich ausdrücklich auf heimische Technik [26].

Übertragbarkeit meint deshalb im Folgenden die Übernahme eines Mechanismus in deutsche oder europäische Instrumente, nicht die Teilnahme deutscher Betriebe an fremden Programmen. Was sich aus der Kanzlerreise vom 26. bis 30. Oktober 2026 an Vereinbarungen ergibt, ist nicht Gegenstand dieser Fassung [6].

15.2 Baustein 1: Erproben vor der Investition

Herkunft: Singapur. Bereits 2018 beschrieb A*STAR Modellfabriken, in denen kleine und mittlere Unternehmen Technologien mit öffentlichen Forschern erproben konnten, bevor sie sie in die eigene Fabrik übernahmen; ob das Angebot heute besteht, ist nicht belegt [54]. Das KI-Kompetenzzentrum für die Fertigung bei A*STAR ARTC hat seit September 2024 knapp 30 Unternehmen unterstützt [21]. Die Wirtschaftsförderung EDB benennt die Hürden, gegen die dieses Angebot gerichtet ist: begrenzte KI-Kompetenz, schlecht standardisierte Fabrikdaten und Ungewissheit über die Verlässlichkeit im laufenden Betrieb [69].

Bedingung. In Deutschland ist derselbe Gedanke als „test-before-invest“ in den Robo-Hubs angelegt, auf der Stufe „angekündigt“ [14]. Er trägt nach Einschätzung der Redaktion, wenn die Testumgebung den Bedingungen einer realen Linie nahekommt und Betriebe die Regel akzeptieren, dass geistiges Eigentum aus geförderten Transferprojekten beim Hub beziehungsweise den geförderten Forschungseinrichtungen verbleibt [14].

Gegenbedingung. Die singapurische Größenordnung ist klein, knapp 30 Unternehmen seit September 2024 [21]. Nach Einschätzung der Redaktion erzeugt der Baustein Tiefe in Einzelfällen und keine Breite. Betriebe, die eine Lösung als eigenen Wettbewerbsvorteil entwickeln wollen, werden die IP-Regel nach Einschätzung der Redaktion eher meiden. Hinzu kommt, dass Unternehmen in den Transferprojekten der Robo-Hubs ihren eigenen Aufwand selbst finanzieren [14]; bei einer Digitalisierung, die der Mittelstand zu 88 Prozent aus internen Mitteln bestreitet [13], hebt das nach Einschätzung der Redaktion die Schwelle zur Teilnahme.

15.3 Baustein 2: Gemeinsame Modelle für viele Betriebe

Herkunft: Singapur, Südkorea, Japan. Das singapurische Kompetenzzentrum hat gemeinsame KI-Modelle für branchenübergreifende Aufgaben entwickelt, etwa zur vorausschauenden Wartung rotierender Komponenten, die Hersteller einsetzen können, ohne bei null zu beginnen [21]. In Südkorea soll bis 2028 ein KI-Grundmodell für Roboter entstehen, das alle Hersteller der K-Humanoid Alliance nutzen können; die Hersteller liefern dafür Roboter, Bewegungsdaten und Rückmeldungen aus dem Betrieb [76]. Japan will um Juni 2027 eine quelloffene Betaversion eines Roboter-Basismodells veröffentlichen [31].

Bedingung. Der Mechanismus senkt die Einstiegskosten des einzelnen Betriebs, setzt aber voraus, dass viele Betriebe Daten beitragen. In Deutschland zielt die Absichtserklärung mit NVIDIA auf spezialisierte, offene Modelle für industrielle KI; sie ist eine Absichtserklärung ohne Budget [15]. Tragen könnte der Baustein nach Einschätzung der Redaktion dort, wo Verbünde wie Manufacturing-X bereits an einem Datenökosystem der Industrie arbeiten [52].

Gegenbedingung. Japan stellt fest, dass der Datenaustausch zwischen Unternehmen seit zwei Jahren stagniert [36]. In Deutschland nannten 44 Prozent der Unternehmen, die KI erwogen, aber nicht eingeführt haben, Probleme mit

Verfügbarkeit oder Qualität der Daten und 60 Prozent Datenschutzbedenken [12]. Ohne Datenbeiträge bleibt ein gemeinsames Modell ein Forschungsergebnis.

15.4 Baustein 3: Der Staat als Ankerkunde

Herkunft: Südkorea, Japan. Südkorea will 2027 zunächst 250 heimische Humanoide kaufen, bis 2030 insgesamt 1.080, sie an Hochschulen und staatliche Forschungsinstitute verteilen und mit Forschungsaufträgen verbinden (Planungsangabe, Haushaltsbeschluss 2027 nicht belegt) [26, 27]. Auch das koreanische KI-Grundgesetz nutzt staatliche Nachfrage als Hebel: Öffentliche Stellen sollen beim Einsatz hochwirksamer KI Produkte bevorzugen, für die eine Grundrechte-Folgenabschätzung vorliegt [77]. Japans Strategie nennt öffentliche Aufträge in Katastrophenschutz, Bau, Verteidigung und Forschung als verlässliche Ankernachfrage, um den Kreislauf aus fehlender Nachfrage und fehlender Serienfertigung zu durchbrechen [31]. In Deutschland vergibt SPRIND in der Challenge „Next Frontier Robotics“ Aufträge, allerdings für Entwicklungsleistungen und nicht für Geräte [53].

Bedingung. Der Mechanismus wirkt auf Hersteller, nicht unmittelbar auf Anwender. Er könnte nach Einschätzung der Redaktion dort tragen, wo die öffentliche Hand selbst Einsatzfelder hat, und wenn die Nachfrage über mehrere Jahre planbar ist.

Gegenbedingung. Forschungsbeschaffung ist keine Verbreitung in Betrieben, denn als Empfänger nennt der Plan Hochschulen und staatliche Forschungsinstitute, nicht Betriebe [26]. Die koreanische Fassung begründet die heimische Ausrichtung damit, dass Einsatzorte nicht zum Testfeld ausländischer Plattformen werden sollen [26]. Ob eine vergleichbare Ausrichtung mit dem europäischen Rechtsrahmen vereinbar wäre, untersucht diese Studie nicht.

15.5 Baustein 4: Fahrpläne nach Aufgaben und ein Verzeichnis der Hindernisse

Herkunft: Japan. Die japanischen Feldfahrpläne ordnen die Arbeit nach Aufgaben statt nach Branchen. Bis etwa 2030 stehen acht Aufgaben im Vordergrund, die in vielen Märkten vorkommen, darunter Inspektion, Transport, Reinigung, Palettieren, Handhabung sowie Schweißen und Lackieren; die feinmotorische Arbeit folgt später [31, 23]. Zugleich verzeichnen die Fahrpläne Hindernisse im eigenen Recht, etwa Schutzzäune für Industrieroboter über 80 Watt Nennleistung, Brandschutz beim Laden von Akkus und Baurecht bei fahrerlosen Transportsystemen [23]. Einführungshilfen sollen an ein noch aufzubauendes Sicherheitszertifizierungssystem gekoppelt werden [31].

Bedingung. Für Betriebe bietet die Aufgabenlogik nach Einschätzung der Redaktion einen Einstieg, der nicht an der eigenen Branche, sondern an wiederkehrenden Tätigkeiten ansetzt. Für die Politik wäre ein entsprechendes Verzeichnis der Hindernisse dort nützlich, wo die zusätzlichen, aus der KI-Verordnung abgeleiteten Anforderungen für Maschinen über delegierte Rechtsakte zur Maschinenverordnung erst ab dem 2. August 2028 gelten sollen [28].

Gegenbedingung. Die japanischen Stückzahlen je Feld sind unter der Annahme berechnet, dass die nötigen politischen Ressourcen ausreichend genutzt werden können [23]. Übertragbar ist die Ordnung, nicht die Zahl. Ein Verzeichnis nützt zudem nur, wenn Hindernisse danach behoben werden, und die Rechtslagen beider Länder vergleicht diese Studie nicht.

15.6 Baustein 5: Breite über Anwendungskompetenz

Herkunft: Singapur. Das National AI Impact Programme soll Beschäftigte befähigen, KI im eigenen Fachgebiet anzuwenden; das Weiterbildungsprogramm TeSA beginnt bei Beschäftigten ohne IT-Hintergrund in Berufen wie Buchhaltung und Recht, die in vielen Branchen vorkommen [19]. Das Strategie-Update hält fest, dass Fachleute ohne KI-Spezialisierung, die ihr Gebiet beherrschen und ausreichend KI-Kompetenz erwerben, an Wert gewinnen [21].

Bedingung. Der Baustein setzt am meistgenannten Hinderungsgrund an, dem fehlenden Wissen, das 72 Prozent der zögernden Unternehmen in Deutschland nennen [12]. Rechtlich besteht für Anbieter und Betreiber von KI-Systemen nach Artikel 4 der KI-Verordnung grundsätzlich bereits eine Pflicht, die Entwicklung der KI-Kompetenz des Personals zu unterstützen; ob sie auch für Hochrisiko-KI in Maschinen gilt, hängt an der Lesart des neuen Artikels 2 Absatz 2, der für diese Systeme nur einzelne Artikel nennt [28]. Die Bundesnetzagentur soll nach dem KI-MIG Sensibilisierungs- und Schulungsmaßnahmen zur KI-Verordnung durchführen [18]. Tragen würde der Baustein nach Einschätzung der Redaktion, wenn Qualifizierung an Produktionsaufgaben ausgerichtet wird.

Gegenbedingung. Den singapurischen Anstieg der KI-Nutzung unter KMU trugen im Datenjahr 2024, also vor dem NAIIP, vor allem Kleinst- und Kleinunternehmen mit fertigen generativen KI-Werkzeugen [20]. Wer diesen Ansatz überträgt, gewinnt nach Einschätzung der Redaktion Breite im Büro, nicht Tiefe in der Fertigung.

15.7 Baustein 6: Komponenten und Rohstoffe als Teil der Robotikpolitik

Herkunft: Japan, Südkorea. Japan führt Industrieroboter, Dauermagnete und Seltenerdmetalle auf derselben Liste besonders wichtiger Güter [35], und seine Strategie will für Motoren, Untersetzungsgetriebe und Sensoren inländische Entwicklungs- und Fertigungskapazität sichern und übermäßige Abhängigkeit von einzelnen Ländern vermeiden [31]. Über Beteiligungen der Rohstoffgesellschaft JOGMEC wurden alternative Bezugsquellen für schwere Seltene Erden gesichert [36]. Südkorea will den heimischen Anteil an Kernkomponenten im Humanoid-Plan von rund 45 auf 80 Prozent heben [26]; 80 Prozent für Roboterkernkomponenten nennt auch der Basisplan 2024 [41].

Bedingung. Auf europäischer Ebene setzt der Critical Raw Materials Act Richtwerte für Gewinnung, Verarbeitung, Recycling und die Begrenzung auf ein einzelnes Drittland [56]. Der Baustein trägt nach Einschätzung der Redaktion, wenn Robotik- und Rohstoffpolitik in Deutschland ausdrücklich verknüpft werden, was in den Instrumenten aus Kapitel 5 nicht geschieht.

Gegenbedingung. Ein Ziel für den heimischen Anteil nach koreanischem Muster würde ein Exportland treffen. Deutschland exportierte 2025 laut IFR 15.100 Industrieroboter [32], und ein deutscher Komponentenhersteller stünde in koreanischen Programmen gegen ein erklärtes Ziel (Kapitel 8.8). Übertragbar ist nach Einschätzung der Redaktion die Verknüpfung, nicht das Anteilsziel.

15.8 Übersicht

Tabelle 15.1 Bausteine mit Herkunft, Bedingung und Gegenbedingung

Baustein	Herkunft	richtet sich an	trägt, wenn …	trägt nicht, wenn …	Quelle
Erproben vor der Investition	Singapur	Betriebe und Politik	Testumgebung realitätsnah, IP-Regel akzeptiert	Breite erwartet wird; Lösung als Wettbewerbsvorteil gedacht; Eigenaufwand nicht tragbar	Q57, Q37B, Q54, Q20B, Q58
Gemeinsame Modelle	Singapur, Südkorea, Japan	Politik, Branchenverbünde	viele Betriebe Daten beitragen	Datenaustausch stagniert, Datenschutzbedenken überwiegen	Q37B, Q51, Q14F, Q18, Q42C, Q26B
Staat als Ankerkunde	Südkorea, Japan	Politik	eigene öffentliche Einsatzfelder, planbare Nachfrage	Ziel die Verbreitung in Betrieben ist	Q16, Q16B, Q46, Q14F, Q48
Fahrpläne nach Aufgaben, Verzeichnis der Hindernisse	Japan	Betriebe und Politik	Hindernisse anschließend behoben werden	Stückzahlen statt Ordnung übernommen werden	Q14F, Q14G, Q49
Anwendungskompetenz	Singapur	Betriebe und Politik	Qualifizierung an Produktionsaufgaben ausgerichtet	nur generative Bürowerkzeuge verbreitet werden	Q10, Q37B, Q42C, Q12
Komponenten und Rohstoffe	Japan, Südkorea	Politik	Robotik- und Rohstoffpolitik verknüpft	Ziele für den heimischen Anteil Exportinteressen treffen	Q55, Q14F, Q26B, Q16, Q53, Q27, Q05

Nicht abgeleitet hat die Studie Zielzahlen wie zehn Millionen Roboter, 1.000 Einheiten im Jahr oder 10.000 unterstützte Unternehmen. Sie beziehen sich auf andere Nenner, andere Zeiträume und Instrumente ohne Evaluation, und eine deutsche Entsprechung ließe sich aus ihnen nicht begründen. Nach Einschätzung der Redaktion ist der gemeinsame Kern der sechs Bausteine schlichter: Die Vergleichsländer verbinden Angebot und Nachfrage, Technik und Anwendung ausdrücklich miteinander, während die deutschen Instrumente diese Verbindung bisher vor allem ankündigen.

16 Grenzen, offene Fragen und Datenlücken

Dieses Kapitel führt zusammen, was die Studie nicht leisten kann und was sie nicht klären konnte. Es unterscheidet drei Arten von Lücken: Grenzen der Untersuchung selbst, Quellen, die sich nicht abrufen ließen, und Fragen, für die im Quellenbestand kein Beleg vorliegt. Jede Lücke ist einzeln benannt und gezählt. Aus einer Lücke folgt keine Aussage darüber, dass es das Fehlende nicht gibt; sie beschreibt den Stand dieser Untersuchung zum 25. Oktober 2026.

16.1 Grenzen der Untersuchung

Die Studie hat acht Grenzen, die über die Einschränkungen aus Kapitel 1 hinaus die Lesart der Ergebnisse bestimmen.

1. **Auswahl der Instrumente.** Aufgenommen wurden Instrumente, die in Primärtexten auffindbar waren. Programme, die nur in Landessprache und ohne auffindbare Adresse veröffentlicht sind, können fehlen; ein vollständiges Verzeichnis aller Förderinstrumente der vier Länder ist die Studie nicht.

1. **Pressefassungen statt Berichte.** Die IFR-Werte stammen aus Mitteilungen und Pressefassungen, nicht aus den kostenpflichtigen Jahresberichten. Bestandszahlen für Deutschland, Südkorea und Singapur fehlen deshalb, und Rundungen wie „fewer than“ wurden übernommen [9, 4].

1. **Übersetzungen.** Japanische und koreanische Primärtexte sind in eigener Übersetzung wiedergegeben; das koreanische KI-Grundgesetz liegt nur in einer englischen Übersetzung vor, die keine amtliche Fassung ist [77]. Die englische Fassung des japanischen KI-Grundplans ist eine vorläufige Übersetzung [40].

1. **Maschinelle Textextraktion.** PDF-Texte wurden maschinell in Text umgewandelt. Abbildungen und Tabellen ließen sich nicht immer verlässlich zuordnen; eine Branchenquote für die singapurische Fertigung wurde deshalb nicht verwendet [20].

1. **Archivstände.** Achtzehn Quellen liegen als Archivkopie vor. Bei zwei davon war der aktuelle Stand nicht abrufbar: Die IEA-Zusammenfassung antwortete mit HTTP 403, der Abgleich steht aus [45]; bei der Plattform Industrie 4.0 scheiterte der Skriptabruf laut Dateikopf an einer Bot-Schranke, abgelegt sind nur wörtliche Auszüge [63]. Die Mitteilungen der Bundesregierung und von Siemens vom 19. Oktober 2026 wurden nicht erneut abgerufen [15, 44].

1. **Wortlaut statt Auslegung.** Rechtsangaben folgen dem Wortlaut. Fragen, die er nicht beantwortet, etwa die Behördenzuständigkeit für KI in Maschinen nach der Verschiebung in Anhang I Abschnitt B, legt die Studie nicht aus [18, 28].

1. **Keine Wirkungsdaten.** Für keines der Instrumente liegt eine Evaluation seiner Wirkung auf KI- oder Robotiknutzung vor. Die nächstliegenden Angaben sind Selbstauskünfte von Geförderten, bei Mittelstand-Digital aus einer Begleitevaluation [17, 20].

1. **Zeitpunkt.** Der Informationsstand liegt vor der Reise des Bundeskanzlers und vor mehreren Entscheidungen, die in den Wochen danach fallen sollen [6, 30, 53].

16.2 Nicht abrufbare Quellen

Elf Quellen oder Quellengruppen, auf die sich eine tragende Aussage hätte stützen sollen und für die kein gleichwertiger Ersatz vorliegt, ließen sich nicht abrufen oder nicht auffinden. Für keine von ihnen wurden Ersatzwerte eingesetzt. Anhang A führt darüber hinaus sechs Fälle, in denen ein gleichwertiger Ersatz vorlag. Laut Rechercheprotokoll wurde für beide Quellenwellen kein Browser eingesetzt; die Nachbeschaffung über einen Browser ist für die folgenden Fälle offen.

1. Gastbeitrag auf n-tv.de vom 25.10.2026: Adresse nicht ermittelbar.
2. IEA, aktuelle Fassung der Zusammenfassung „Key Questions on Energy and AI“: HTTP 403; Archivstand vom 25.09.2026 verwendet [45].
3. IEA, Global Critical Minerals Outlook 2025: HTTP 403; Aussage zu Verarbeitung und Magnetherstellung nicht verwendet.

4. IWF, World Economic Outlook Oktober 2026 (drei Seiten): HTTP 403.
5. Fachpressemeldung zum Ankündigungsdatum der Embodied AI Challenge: HTTP 403.
6. Seiten des BMWE und von mittelstand-digital.de zu Mittelstand-Digital: Bot-Schranke; Angaben stattdessen von IHKs [16, 17].
7. Smart Industry Readiness Index der EDB Singapur: Cookie-Schranke.
8. Merkblätter zur Enterprise Compute Initiative: HTTP 404.
9. IHK-Einladung zur Wirtschaftsdelegation: HTTP 404 beziehungsweise Scan ohne Textebene.
10. Primärtext der Physical-AI-Strategie des koreanischen Wissenschaftsministeriums vom 01.07.2026: keine Adresse gefunden; nur sekundär belegt [43].
11. Smart-Factory-Programm des koreanischen Mittelstandsministeriums, koreanischer KI-Aktionsplan 2026 bis 2028 sowie Branchenstrategie Manufacturing 2030 und KI-Angebote von SkillsFuture in Singapur: keine Primärquelle gefunden.

16.3 Offene Fragen und Datenlücken

Vierzehn Fragen bleiben nach dem Quellenbestand offen. Sie sind nach Ländern geordnet und nennen jeweils, wo die Lücke in der Studie wirksam wird.

1. Wie viel der 100 Millionen Euro des KI-Robotikboosters ist bewilligt oder abgeflossen (Kapitel 5.3) [49]?
2. Arbeitet das KI-Reallabor der Bundesnetzagentur bereits, das nach Artikel 57 Absatz 1 der KI-Verordnung in der Fassung der Verordnung (EU) 2026/1744 bis zum 2. August 2027 einsatzbereit sein muss (Kapitel 5.10) [18, 28]?
3. Können Betriebe mit 250 bis 500 Beschäftigten die Mittelstand-Digital-Zentren nutzen, und welche Zentren haben einen KI- oder Robotikschwerpunkt (Kapitel 5.9) [16, 17]?
4. Liegt der Arbeitsplan der neu ausgerichteten Plattform Industrie 4.0 vor (Kapitel 5.7) [63]?
5. Mit welcher Erhebung wird das Ziel gemessen, bis 2029 über 50 Prozent der KMU im produzierenden Gewerbe mit KI in den Kernprozessen zu erreichen (Kapitel 10.5, 12.6) [39]?
6. Wie viele Unternehmen hat das singapurische National AI Impact Programme bisher erreicht, und unter welchen Bedingungen können ausländische Unternehmen an der Enterprise Compute Initiative teilnehmen (Kapitel 6) [19, 21]?
7. Welcher Betrag steht in Japans Haushaltsanmeldung 2027 für KI-Robotik (Kapitel 7.2) [24, 25]?
8. Ist der koreanische Haushalt 2027 mit den Mitteln für Humanoide und Physical-AI-Demonstration beschlossen (Kapitel 8.3) [26]?
9. Wie lassen sich die Werte von drei Billionen und 180 Milliarden Won für den 4. koreanischen Basisplan gegeneinander abgrenzen (Kapitel 8.5) [41, 51]?
10. Können deutsche Unternehmen über die singapurische Embodied AI Challenge hinaus an Förderprogrammen in Singapur, Japan und Südkorea teilnehmen (Kapitel 15.1) [37]?
11. Hat die Kommission die delegierten Rechtsakte zu Anhang III der Maschinenverordnung und den Durchführungsrechtsakt zur Magnetkennzeichnung nach Artikel 28 des Critical Raw Materials Act erlassen? Beides hat diese Untersuchung nicht geprüft (Kapitel 9.3, 11.3) [28, 56].
12. Wie hoch ist die Abhängigkeit deutscher Roboterhersteller von Magneten und Seltenen Erden aus China (Kapitel 11.4, 14.4)?
13. Wie hoch sind die Industriestrompreise in Deutschland im Vergleich, und wie viel Strom wird eine deutsche KI-Gigafabrik benötigen (Kapitel 11.1)?
14. Wie groß ist die Fachkräftelücke für KI und Robotik in einem der vier Länder, und welche Branchenstruktur hätten vergleichbare Daten für die Gegenposition aus Kapitel 14.8 (Kapitel 11.5)?

Für die Lesart der Ergebnisse wiegen nach Einschätzung der Redaktion drei dieser Lücken am schwersten: der fehlende Mittelabfluss in Deutschland, weil er den Abstand zwischen Ankündigung und Umsetzung beziffern würde;

der ungeklärte Zugang deutscher Firmen, weil er die Übertragbarkeit begrenzt; und der Erlassstand der delegierten Rechtsakte, weil von ihm der Inhalt der zusätzlichen KI-Anforderungen für Maschinen abhängt.

16.4 Forschungsagenda

Aus den Lücken ergeben sich vier Aufgaben für weitere Untersuchungen. Erstrangig wäre eine Wirkungsmessung: Ob ein Instrument die Nutzung von KI oder Robotik in Betrieben verändert, lässt sich nur mit Daten beantworten, die vor und nach der Teilnahme erhoben werden und eine Vergleichsgruppe kennen. Die Robo-Hubs, das singapurische Programm und die koreanischen Demonstrationen beginnen alle zwischen 2026 und 2027, und eine Messung, die früh ansetzt, wäre nach Einschätzung der Redaktion einfacher als eine nachträgliche.

Die zweite Aufgabe betrifft gemeinsame Zähler. Die Ziele der vier Länder zählen Industrieroboter, Mehrzweckroboter, fortgeschrittene Roboter, Humanoide oder unterstützte Unternehmen (Kapitel 10.5). Eine Untersuchung, die diese Größen auf vergleichbare Einheiten zurückführt, würde Ländervergleiche erst möglich machen. Für Deutschland gehört dazu eine Messgröße für KI in Kernprozessen, an der das Ziel der Roadmap geprüft werden kann [39].

Die dritte Aufgabe ist eine Erhebung in Betrieben mit 50 bis 500 Beschäftigten. Sie sollte fragen, warum Betriebe, die bereits Roboter einsetzen, KI selten für Bewegung und Steuerung nutzen, und wie sie Regeln wie den Eigenanteil und das geistige Eigentum in Transferprojekten bewerten [14]. Die amtliche Statistik nennt Hinderungsgründe nur für Unternehmen, die KI erwogen haben [12].

Die vierte Aufgabe ist die Fortschreibung dieser Studie selbst. Eine Fassung 1.1 sollte die Ergebnisse der Kanzlerreise, die Entscheidungen zu SPRIND-Challenge und KI-Gigafabriken sowie die Nachbeschaffung der in Abschnitt 16.2 genannten Quellen aufnehmen. Ab 2027 kommen die in Kapitel 12.6 genannten Signale hinzu, an denen sich ablesen lässt, ob einzelne Instrumente in Gang kommen.

17 Die Studie in einfacher Sprache

17.1 Worum es geht

Ende Oktober 2026 reist der Bundeskanzler nach Asien. Er besucht Singapur, Japan und Südkorea [6]. Diese drei Länder und Deutschland haben viele Roboter in ihren Fabriken. Die Studie fragt: Was tun diese Länder, damit Betriebe künstliche Intelligenz und Roboter nutzen? Und was kann Deutschland davon lernen?

Künstliche Intelligenz heißt kurz KI. Gemeint sind Programme, die lernen und Entscheidungen vorbereiten. In einer Fabrik kann KI zum Beispiel einen Roboter steuern. Die Studie schaut vor allem auf Betriebe mit 50 bis 500 Beschäftigten.

17.2 Wie die Studie arbeitet

Die Redaktion hat keine Firmen befragt. Sie hat Gesetze, Pläne und Statistiken gelesen. Jede Zahl steht mit ihrer Quelle im Text. Die Studie sagt auch, wie weit ein Plan schon ist. Manches ist nur angekündigt. Manches ist beschlossen. Manches läuft schon. Ob die Programme bei KI und Robotern wirken, hat noch niemand genau gemessen.

Die Studie macht keine Rangliste der Länder. Die Zahlen der Länder messen oft verschiedene Dinge. Deshalb kann man sie nicht einfach vergleichen.

17.3 Was die Studie herausgefunden hat

Deutschland hat viele Roboter. Gemessen an der Zahl der Beschäftigten hat es etwa so viele Roboter wie Japan [3]. Südkorea und Singapur haben deutlich mehr. Aber nur wenige Betriebe nutzen KI, um Maschinen zu bewegen [5]. Viele Betriebe sagen: Uns fehlt das Wissen. Viele sagen auch: Wir wissen nicht, welche Regeln gelten [12]. Geld nennen weniger Betriebe als Grund. Ihre Digitalisierung bezahlen Betriebe meist selbst [13].

Deutschland plant Orte zum Ausprobieren. Sie heißen Robo-Hubs. Dort sollen Betriebe Roboter testen können. Das soll aber erst nach dem Sommer 2027 möglich sein [14]. Kostenlose Beratung gibt es schon heute für kleine und mittlere Unternehmen [16].

Singapur will 10.000 Firmen helfen, KI zu nutzen [19]. Dort nutzen viele kleine Firmen vor allem fertige Programme, die Texte oder Bilder erzeugen [20]. Japan will bis 2040 rund zehn Millionen Roboter einsetzen [22]. Südkorea will als Staat selbst Roboter kaufen, die wie Menschen gebaut sind. Diese Roboter sollen zum Beispiel an Hochschulen und Forschungsinstitute gehen [26].

17.4 Neue Regeln

Für KI gibt es neue Regeln in Europa. Einige Pflichten gelten später als zuerst geplant [28]. Ab Januar 2027 gelten neue Regeln für Maschinen. Sie betreffen auch Maschinen, die selbst dazulernen [29]. Weitere Regeln für KI in Maschinen sollen ab August 2028 gelten [28]. Diese Studie ist keine Rechtsberatung.

17.5 Chancen und Risiken

Eine Chance ist: Deutschland hat schon viele Roboter. Darauf kann KI aufbauen. Eine zweite Chance ist: Betriebe haben noch Zeit, sich vorzubereiten. Ein Risiko ist: Es wird weniger Menschen im Arbeitsalter geben [2]. Ein zweites Risiko ist: Viele Pläne sind noch nicht umgesetzt. Ein drittes Risiko ist: Für Roboter braucht man seltene Rohstoffe. Japan zum Beispiel bekommt einen Teil davon nur aus China. Über eine staatliche Stelle beteiligt sich Japan deshalb an Projekten in anderen Ländern, die diese Rohstoffe liefern sollen [36].

17.6 Was Deutschland lernen kann

Deutschland kann Ideen übernehmen, aber keine fertigen Programme. Eine Idee ist: erst testen, dann kaufen. Eine andere Idee ist: Viele Betriebe nutzen gemeinsam ein KI-Programm. Eine dritte Idee ist: Der Staat kauft neue Technik als erster Kunde. Ob diese Ideen in Deutschland funktionieren, ist noch offen.

Die Studie zeigt den Stand vom 25. Oktober 2026. Was auf der Reise beschlossen wird, steht noch nicht darin.

Anhang A: Rechercheprotokoll

A.1 Ablauf und Zeitpunkte

Am 25. Oktober 2026 wurde die Recherche vorbereitet. Ausgangspunkt waren die Reisemitteilung der Bundesregierung vom 23. Oktober 2026 [6] und ein vorbereitender Rechercheschritt mit einem Sprachmodell, aus dem 21 bezifferte Ausgangshypothesen hervorgingen (Kapitel 3.9). Die Hypothesen galten von Beginn an als ungeprüft, keine von ihnen wurde ohne Primärtext übernommen.

Die erste Quellenwelle lief am Abend des 25. Oktober 2026, mit Abrufen zwischen 20:09 und 20:20 Uhr. Sie zielte auf die Primärquellen der Hypothesen: IFR-Mitteilungen, KfW- und Destatis-Veröffentlichungen, die Strategiedokumente Singapurs, Japans und Südkoreas sowie die europäischen Rechtsakte. Am selben Abend wurden 18 Archivkopien aus früheren Recherchen der Redaktion übernommen und mit eigenem Kopf versehen, unter anderem die Mitteilungen der Bundesregierung und von Siemens vom 19. Oktober 2026 [15, 44].

Die zweite Welle folgte unmittelbar danach, mit Abrufen zwischen 20:27 und 20:42 Uhr. Sie ergänzte die Instrumente je Land, die geltenden Fassungen von KI-Verordnung und Omnibus, das KI-Marktüberwachungsgesetz und die Zugangsbedingungen für mittelständische Betriebe [64, 28, 18, 14, 53]. Ein zweiter Abruf der Reisemitteilung um 20:39 Uhr diente dem Abgleich mit dem Stand vom 23. Oktober [7]. Am 26. Oktober 2026 um 07:05 Uhr kam KfW Fokus Nr. 553 hinzu, mit dem sich die Herkunft des Finanzierungsanteils von 88 Prozent klären ließ [13]. Um 07:59 Uhr folgte das Hauptmaßnahmenpaket zur japanischen KI-Robotik-Strategie, ein undatiertes Referenzmaterial des Kabinettssekretariats, das keinen Haushaltsbetrag enthält [25].

Danach wurden die Quellen in einem Belegregister mit wörtlichem Belegtext erfasst. Korrekturen aus der Faktenprüfung und der Rechtsprüfung vom 26. Oktober 2026 kamen als eigene, datierte Zeilen hinzu, die den älteren vorgehen (Kapitel 3.4 und 3.8).

A.2 Werkzeuge

Webseiten und PDF-Dateien wurden mit curl und einer Browser-Kennung abgerufen. Den Text aus PDF-Dateien gewann ein projekteigenes Abrufwerkzeug mit der Bibliothek PyMuPDF. Bei Fehlern der TLS-Zertifikatskette, etwa bei der Seite der US-Handelsbehörde, wurde der Abruf mit Python und einem gepflegten Zertifikatsbündel

wiederholt [43]. Für beide Wellen wurde laut Protokoll kein Browser eingesetzt.

Drei Quellenarten verlangten einen eigenen Weg. Die EU-Rechtsakte lieferte der Publikationsserver der EU nur mit einer Anfrage nach XHTML in deutscher Sprache aus, die Seite von EUR-Lex antwortete mit einer leeren Hülle [56, 64, 28]. Japanische Gesetzestexte kamen über die Programmierschnittstelle der amtlichen Gesetzesdatenbank e-Gov als XML, weil die HTML-Seite nur ein Skriptgerüst enthielt [74, 35]. Bei der SPRIND-Challenge waren die Antworten auf häufige Fragen eingeklappt; sie wurden aus dem eingebetteten Datenblock derselben Rohdatei übernommen und als Anhang der Datei kenntlich gemacht [53].

Jede Datei trägt im Kopf Adresse, ausliefernde Domain, HTTP-Status, Abrufzeit und SHA-256-Prüfsumme. Archivkopien nennen den Archivpfad, das Kopierdatum, die Prüfsumme der Archivdatei und, soweit vorhanden, den unveränderten Originalkopf.

A.3 Nicht abrufbare Quellen

Die folgende Tabelle nennt die Quellen, die sich nicht oder nicht vollständig abrufen ließen, mit Grund und Ersatz. Ein Fehlschlag gilt als Auftrag zur Nachbeschaffung, nicht als Befund über die Quellenlage. Ersatzwerte wurden in keinem Fall eingesetzt. Elf Zeilen betreffen Fälle ohne gleichwertigen Ersatz (Kapitel 16.2); in sechs Fällen lag ein gleichwertiger Ersatz vor, nämlich bei den häufigen Fragen zu den KI-Gigafabriken, dem Dossier Manufacturing-X, dem Critical Raw Materials Act auf EUR-Lex, dem IMDA-Merkblatt, der Mitteilung COM(2025) 165 und der Destatis-Pressemitteilung.

Tabelle A.1 Nicht oder nicht vollständig abrufbare Quellen

Quelle	Grund	Ersatz oder Folge
Gastbeitrag n-tv.de, 25.10.2026	Adresse nicht ermittelbar; Seitensuche fand nur einen älteren Text	keiner; nur als Anlass erwähnt
IEA, Key Questions on Energy and AI, aktuelle Fassung	HTTP 403 (Bot-Schranke)	Archivstand vom 25.09.2026 [45]
IEA, Global Critical Minerals Outlook 2025	HTTP 403	keiner; Teilbefund aus METI und ANRE [36, 55]
IWF, World Economic Outlook Oktober 2026 (drei Adressen)	HTTP 403	keiner; Hypothese H20 offen
Fachpressemeldung zur Embodied AI Challenge	HTTP 403	Primärseiten des National Robotics Programme [37, 38]; Ankündigungsdatum offen
EuroHPC, häufige Fragen zu KI-Gigafabriken	HTTP 403	Pressemitteilung der Kommission und Mitteilung des EuroHPC JU [30, 80]
BMWE, Dossier Manufacturing-X (englisch)	Seite praktisch leer	Broschüre des BMWE, Stand März 2026 [52]
EUR-Lex, Critical Raw Materials Act	leere Hülle	Abruf über den Publikationsserver der EU [56]
IMDA, Merkblatt National AI Impact Programme	Inhalt per Skript nachgeladen, nur Titel und Datum erhalten	Merkblatt des Digitalministeriums [19, 67]
BMWE und mittelstand-digital.de, Seiten zu Mittelstand-Digital	Bot-Schranke	Angaben von IHK Lüneburg-Wolfsburg und IHK Cottbus [16, 17]
EDB, Smart Industry Readiness Index	Cookie-Schranke	keiner
Merkblätter zur Enterprise Compute Initiative	HTTP 404	Programmbeschreibung der Regierung [65]
IHK-Einladung zur Wirtschaftsdelegation	HTTP 404 bzw. Scan ohne Textebene	Reisemitteilung der Bundesregierung [7]
Kommission, COM(2025) 165 auf dem Publikationsserver	HTTP 404	Ratsdokument mit derselben Mitteilung [33]
Physical-AI-Strategie des koreanischen Wissenschaftsministeriums	keine Adresse gefunden	Darstellung der US-Handelsbehörde, nur sekundär [43]
Smart-Factory-Programm (Korea), KI-Aktionsplan 2026–2028 (Korea), Manufacturing 2030 und SkillsFuture-KI (Singapur)	keine Primärquelle gefunden	keiner

Quelle	Grund	Ersatz oder Folge
Destatis-Pressemitteilung zur KI-Nutzung 2025	nicht gefunden	Destatis-Tabellen, Stand 24.11.2025 [10, 12]

Bewusst nicht gesucht wurden Angaben zu Industriestrompreisen und Zahlen des Branchenverbands VDMA zu Roboterinstallationen; für Letztere lagen die IFR-Werte für 2025 bereits vor [4, 32]. Nicht gesondert geholt wurden außerdem Unterlagen zur Robotikförderung des japanischen Wirtschaftsministeriums und zu den Seltenerdmaßnahmen der JOGMEC; Material des Ministeriums lag aus der ersten Welle vor [22, 55, 36], die Durchführungsverordnung zur Wirtschaftssicherheit als eigene Datei [35]. Das Leitbild „Society 5.0“ in Japan wurde nicht vertieft.

Anhang B: Quellen mit Prüfstatus

Der Quellenbestand umfasst 96 Dateien. Davon sind 46 Quellen von Regierungen und Behörden, eine davon (Q15) für Südkorea nur sekundär, 29 Veröffentlichungen von Verbänden und Instituten, 10 Rechtstexte, 9 Veröffentlichungen von Statistikämtern, eine Pressemeldung und eine Unternehmensmitteilung. 76 Dateien wurden am 25. Oktober 2026 aktuell abgerufen, zwei am 26. Oktober 2026 (Q58 und Q14I); 18 sind Archivkopien aus früheren Recherchen der Redaktion mit dem ursprünglichen Abrufdatum, soweit der Originalkopf es nennt (bei Q18 und Q31 nicht). Alle aktuellen Abrufe antworteten mit HTTP 200. Vollständige Titel, Adressen und Vermerke stehen im Literaturverzeichnis.

Die Spalte „Prüfstatus“ nennt, wie die Datei beschafft wurde und welche Einschränkung für ihre Verwendung gilt. „Aktuell“ bedeutet einen Abruf am 25. Oktober 2026, sofern kein anderes Datum steht. Die Kennungen der Spalte „Kennung“ entsprechen den Belegverweisen im Text.

Tabelle B.1 Quellen nach Kennung

Kennung	Herausgeber	Art	Prüfstatus
Q01	Bundesregierung	Regierung/Behörde	aktuell
Q03	International Federation of Robotics (IFR)	Verband/Institut	aktuell
Q03B	IFR	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 13.09.2026; inhaltsgleich mit Q03
Q03C	IFR	Verband/Institut	aktuell
Q03D	IFR	Verband/Institut	aktuell; deutsche Pressefassung (PDF)
Q03E	IFR	Verband/Institut	aktuell
Q04	IFR	Verband/Institut	aktuell
Q04B	IFR	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 24.10.2026; gleiche Seite wie Q04
Q04C	IFR	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 24.10.2026; Foliensatz der Pressekonferenz
Q05	IFR	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 24.10.2026
Q06	KfW Research	Verband/Institut	aktuell
Q07	KfW Research	Verband/Institut	aktuell
Q08	Eurostat	Statistikamt	aktuell; Datenabzug Dezember 2025
Q08B	Eurostat	Statistikamt	Archivkopie, Abruf 13.09.2026; älterer Stand
Q09	Destatis	Statistikamt	aktuell
Q09B	Destatis	Statistikamt	aktuell; Korrekturvermerk vom 02.02.2026
Q09C	Destatis	Statistikamt	aktuell
Q10	Digitalministerium MDDI, Singapur	Regierung/Behörde	aktuell
Q11	IMDA, Singapur	Regierung/Behörde	aktuell; nur Titel und Datum erhalten

Kennung	Herausgeber	Art	Prüfstatus
Q12	IMDA, Singapur	Regierung/Behörde	aktuell; ohne Tagesdatum
Q12B	IMDA, Singapur	Regierung/Behörde	aktuell
Q13	National Robotics Programme, Singapur	Regierung/Behörde	aktuell; ohne Dokumentdatum
Q13B	National Robotics Programme, Singapur	Regierung/Behörde	aktuell; ohne Dokumentdatum
Q14	METI, Japan	Regierung/Behörde	aktuell; Datumsfehler „3026“ der Quelle
Q14B	METI, Japan	Regierung/Behörde	aktuell; japanisch
Q14C	Kabinettssekretariat, Japan	Regierung/Behörde	aktuell; Kurzfassung
Q14D	Kabinettssekretariat, Japan	Regierung/Behörde	aktuell; Übersichtsseite ohne Datum
Q14E	Kabinettssekretariat, Japan	Regierung/Behörde	aktuell
Q14F	Kabinettssekretariat, Japan	Regierung/Behörde	aktuell
Q14G	Kabinettssekretariat, Japan	Regierung/Behörde	aktuell
Q14H	Kabinettssekretariat, Japan	Regierung/Behörde	aktuell
Q14I	Kabinettssekretariat, Japan	Regierung/Behörde	aktuell, Abruf 26.10.2026; Hauptmaßnahmenpaket, undatiertes Referenzmaterial, ohne Haushaltsbetrag
Q15	International Trade Administration, USA	Regierung/Behörde	aktuell; für Südkorea Sekundärquelle
Q16	Ministerium für Planung und Haushalt, Südkorea	Regierung/Behörde	aktuell
Q16B	The Korea Times (Yonhap)	Presse	aktuell; Gegenprobe zu Q16
Q17	Ministry of Finance and Economy, Südkorea	Regierung/Behörde	aktuell
Q18	Bundesregierung	Regierung/Behörde	Archivkopie ohne Originalkopf
Q19	Plattform Industrie 4.0	Verband/Institut	Archivkopie, nur Auszüge; Abruf 20./21.10.2026 im Browser
Q20	BMFTR, Hightech Agenda	Regierung/Behörde	aktuell; englische Fassung
Q20B	BMFTR	Regierung/Behörde	aktuell
Q20D	BMFTR, Hightech Agenda	Regierung/Behörde	aktuell
Q21A	Robotics Institute Germany	Verband/Institut	aktuell; Datei Q21_RIG_ABOUT_US
Q21B	Robotics Institute Germany	Verband/Institut	aktuell
Q21C	Robotics Institute Germany	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 25.09.2026
Q21D	Robotics Institute Germany	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 25.09.2026
Q21E	Robotics Institute Germany	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 25.09.2026
Q21F	Robotics Institute Germany	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 25.09.2026
Q21G	Robotics Institute Germany	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 25.09.2026
Q21H	Robotics Institute Germany	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 25.09.2026
Q22	Europäische Kommission	Regierung/Behörde	aktuell
Q22B	EuroHPC Joint Undertaking	Regierung/Behörde	aktuell
Q23B	BMWE	Regierung/Behörde	aktuell
Q24	Internationale Energieagentur (IEA)	Verband/Institut	Archivkopie, Abruf 25.09.2026; aktuell HTTP 403
Q25	Fraunhofer ISE (Energy-Charts)	Verband/Institut	aktuell
Q25B	Fraunhofer ISE	Verband/Institut	aktuell; ohne Datum
Q25C	Fraunhofer ISE	Verband/Institut	aktuell

Kennung	Herausgeber	Art	Prüfstatus
Q26	Energie- und Rohstoffbehörde ANRE, Japan	Regierung/Behörde	aktuell
Q26B	METI, MHLW, MEXT, Japan	Regierung/Behörde	aktuell
Q27	EU, Amtsblatt	Rechtstext	aktuell
Q28	EU, Amt für Veröffentlichungen	Rechtstext	Archivkopie, Abruf 24.10.2026; konsolidierte Fassung ohne Rechtswirkung
Q28B	EU, Amtsblatt	Rechtstext	Archivkopie, Abruf 24.10.2026
Q29	EU, Amtsblatt	Rechtstext	Archivkopie, Abruf 25.09.2026; aktueller Abruf siehe Q49
Q31	Siemens AG	Unternehmen	Archivkopie ohne Originalkopf; Herstellerangabe
Q32	EU, Amtsblatt	Rechtstext	aktuell
Q33	Gesetze im Internet (BMJV, Bundesamt für Justiz)	Rechtstext	aktuell
Q35	IFR	Verband/Institut	aktuell
Q36	Deutscher Bundestag	Regierung/Behörde	aktuell
Q36B	BMFTR, Hightech Agenda	Regierung/Behörde	aktuell
Q37	Smart Nation Singapore	Regierung/Behörde	aktuell
Q37B	Regierung Singapur	Regierung/Behörde	aktuell; Titel nach Dateiname
Q38	Digitalministerium MDDI, Singapur	Regierung/Behörde	aktuell
Q39	IHK Lüneburg-Wolfsburg	Verband/Institut	aktuell; ohne Datum
Q39B	IHK Cottbus	Verband/Institut	aktuell
Q40	Rat der EU (Mitteilung der Kommission)	Regierung/Behörde	aktuell
Q41	Europäische Kommission	Regierung/Behörde	aktuell
Q41B	Europäische Kommission	Regierung/Behörde	aktuell
Q42	Destatis	Statistikamt	aktuell
Q42B	Destatis	Statistikamt	aktuell
Q42C	Destatis	Statistikamt	aktuell
Q43	Kabinettsbüro, Japan	Regierung/Behörde	aktuell
Q43B	Kabinettsbüro, Japan	Regierung/Behörde	aktuell; ohne Seitendatum
Q43C	Kabinettsbüro, Japan	Regierung/Behörde	aktuell; vorläufige Übersetzung
Q45	e-Gov, Japan	Rechtstext	aktuell; über Programmierschnittstelle
Q46	Korea Legislation Research Institute	Rechtstext	aktuell; englische Übersetzung, keine amtliche Fassung
Q47	IFR	Verband/Institut	aktuell; ohne Datum
Q48	SPRIND	Regierung/Behörde	aktuell; englisch, mit Anhang aus eingebettetem Datenblock
Q48B	SPRIND	Regierung/Behörde	aktuell; deutsche Fassung
Q49	EU, Amtsblatt	Rechtstext	aktuell
Q50	MHLW, Japan	Statistikamt	aktuell
Q51	Industrieministerium, Südkorea	Regierung/Behörde	aktuell
Q53	Industrieministerium, Südkorea	Regierung/Behörde	aktuell
Q54	EDB, Singapur	Regierung/Behörde	aktuell
Q55	e-Gov, Japan	Rechtstext	aktuell; über Programmierschnittstelle

Kennung	Herausgeber	Art	Prüfstatus
Q56	Bundesregierung	Regierung/Behörde	aktuell; zweiter Abruf von Q01, inhaltlich unverändert
Q57	A*STAR, Singapur	Regierung/Behörde	aktuell; Text von 2018
Q58	KfW Research	Verband/Institut	aktuell, Abruf 26.10.2026

Drei Einordnungen sind Einschätzungen der Redaktion und keine Angaben der Quellen: Die IEA ist als zwischenstaatliche Organisation unter „Verband/Institut“ geführt, die Plattform Industrie 4.0 ebenfalls, obwohl das BMWE beteiligt ist, und die Statistik des japanischen Arbeitsministeriums unter „Statistikamt“. Die Kennungen Q02, Q13C, Q23, Q30 bis Q30C, Q38B, Q44 und Q52 bezeichnen nicht abrufbare Quellen und stehen deshalb nicht in der Tabelle (Anhang A). Die Kennung Q34 ist nicht vergeben, die Kennung Q14J bewusst nicht belegt.

Anhang C: Transparenz und Publikationsstatus

Herausgeber. Herausgeberin ist die WebTrades GmbH, die das Fachportal fluxlane.eu betreibt. Herausgeberin und Redaktion von fluxlane sind damit identisch. Die Studie erscheint als Veröffentlichung der Redaktion, zusammen mit einem Begleitbeitrag auf fluxlane.eu.

Auftrag und Finanzierung. Die Studie hat keinen Auftraggeber. Sie wurde ohne Finanzierung durch Dritte erstellt; weder Unternehmen noch Verbände noch öffentliche Stellen haben Mittel für sie bereitgestellt. Unternehmen und Organisationen, die in der Studie vorkommen, erscheinen ausschließlich als Gegenstand öffentlich zugänglicher Quellen. Ein Abschnitt des vorbereitenden Recherchеschritts, der sich mit dem Herausgeber selbst befasste, ist nicht in die Studie eingegangen.

Erstellung. Recherche, Quellenablage, Belegregister, Kapitelentwürfe und Prüfungen wurden KI-gestützt erarbeitet und von der Redaktion gesteuert. Die Ausgangshypothesen stammen aus einem vorbereitenden Rechercheschritt mit einem Sprachmodell. Sie wurden ausnahmslos als ungeprüft behandelt und einzeln an Primärtexten geprüft; drei blieben offen, weil die Primärquelle nicht abrufbar war oder ein Datum nur sekundär vorliegt (Kapitel 3.9). Die Prüfrollen für Fakten, Recht, Sprache und Leserperspektive arbeiteten ebenfalls KI-gestützt und getrennt von den schreibenden Rollen. Eine unabhängige menschliche Doppelprüfung ersetzen sie nicht.

Begutachtung. Die Studie hat keine externe fachwissenschaftliche oder juristische Begutachtung durchlaufen. Die internen Prüfungen sind Teil des Erstellungsprozesses. Die Studie ist kein Gutachten, kein Konformitätsnachweis und keine Rechtsberatung.

Daten und Materialien. Alle Zahlen stammen aus den benannten Quellen; eigene Rohdaten liegen nicht vor. Die 96 Quelldateien sind mit Abrufdatum oder Kopierdatum und Prüfsumme abgelegt (Anhang B). Diagramme enthalten nur Werte, die in den Kapiteln belegt sind, und sind im Abbildungsnachweis gekennzeichnet.

Fassung und Aktualisierung. Diese Fassung 1.0 vom 26. Oktober 2026 gibt den Informationsstand vom 25. Oktober 2026 wieder, ergänzt um zwei Abrufe vom 26. Oktober 2026, und damit den Stand vor der Reise des Bundeskanzlers nach Singapur, Japan und Südkorea. Eine Fassung 1.1 ist vorgesehen, die die Ergebnisse der Reise aufnimmt und die in Kapitel 16 genannten offenen Quellen nachträgt, soweit sie sich beschaffen lassen. Neue Rechtsakte, Haushaltsbeschlüsse und Statistiken können einzelne Aussagen verändern; vor einer verbindlichen Verwendung sollten die tragenden Primärquellen erneut geprüft werden.

Literatur und Primärquellen

Die Nummern folgen der ersten Nennung im Text. Alle Quellen wurden zwischen dem 25. und 26. Oktober 2026 abgerufen oder als Archivkopie mit Prüfsumme übernommen; Abrufweg und Prüfstatus je Quelle stehen in Anhang B.

[1] Deutscher Bundestag (Unterrichtung durch die Bundesregierung). *Hightech Agenda Deutschland (Drucksache 21/1100).* 4. August 2025. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:28.

[2] Statistisches Bundesamt (Destatis). *16. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung.* 11. Dezember 2025 (Stand). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:13.

[3] International Federation of Robotics. *Robot Density Surges in Europe, Asia, and Americas.* 8. April 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:09.

[4] International Federation of Robotics. *Five Million Robots now Operate in Factories Globally.* 24. September 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:09.

[5] KfW Research (KfW Bankengruppe). *Künstliche Intelligenz im Mittelstand: einfach zu handhabende Technologien mit breiten Einsatzgebieten überwiegen (Fokus Volkswirtschaft Nr. 554).* 29. Juli 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:10.

[6] Bundesregierung. *Bundeskanzler Merz reist nach Singapur, Japan und in die Republik Korea.* 23. Oktober 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:09.

[7] Bundesregierung. *Bundeskanzler Merz reist nach Singapur, Japan und in die Republik Korea.* 23. Oktober 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:39.

[8] International Federation of Robotics. *Global Robot Density in Factories Doubled in Seven Years.* 20. November 2024. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:13.

[9] International Federation of Robotics. *Global Robot Demand in Factories Doubles Over 10 Years (HTML-Titel: World Robotics 2025 report – INDUSTRIAL ROBOTS – released by IFR).* 25. September 2025. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:27.

[10] Statistisches Bundesamt (Destatis). *Unternehmen mit Nutzung von Technologien der künstlichen Intelligenz nach Beschäftigtengrößenklassen.* 24. November 2025 (Stand). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:29.

[11] Eurostat (Europäische Kommission). *Use of artificial intelligence in enterprises (Statistics Explained).* 23. Oktober 2026 (letzte Bearbeitung der Seite). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:09.

[12] Statistisches Bundesamt (Destatis). *Gründe gegen die Nutzung von Technologien der künstlichen Intelligenz nach Beschäftigtengrößenklassen.* 24. November 2025 (Stand). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:29.

[13] KfW Research (KfW Bankengruppe). *Finanzierung von Digitalisierungsvorhaben: starke Abhängigkeit von der Verfügbarkeit interner Mittel (Fokus Volkswirtschaft Nr. 553).* 22. Juli 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-26 07:05.

[14] Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR). *Richtlinie zur Förderung eines Konzeptwettbewerbs „Innovationslabore für KI-basierte Robotik (Robo-Hubs)“.* 2. Juni 2026 (Bundesanzeiger vom 11. Juni 2026). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[15] Bundesregierung. *Bundesregierung stärkt Entwicklung und Anwendung Industrieller KI über Zusammenarbeit mit internationalen Partnern.* 19. Oktober 2026. Quelle. Abgerufen nicht im Kopf.

[16] IHK Lüneburg-Wolfsburg. *Kostenfreie Unterstützung bei der Einführung von KI.* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:32.

[17] IHK Cottbus. *Mittelstand-Digital Zentrum Spreeland geht in die Verlängerung.* 2. März 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:32.

[18] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz / Bundesamt für Justiz (gesetze-im-internet.de). *Gesetz zur Marktüberwachung und Innovationsförderung von künstlicher Intelligenz (KI-Marktüberwachungs-und-Innovationsförderungs-Gesetz – KI-MIG).* 22. Juli 2026 (Ausfertigung; BGBl. 2026 I Nr. 223). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:27.

[19] Ministry of Digital Development and Information (Singapur). *National AI Impact Programme: Empowering Enterprises and Workers to Transform with AI (Factsheet).* 2. März 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:09.

[20] Infocomm Media Development Authority, IMDA (Singapur). *Singapore Digital Economy Report 2024/2025.* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[21] Government of the Republic of Singapore. *Update to NAIS (Update der National AI Strategy).* 20. Mai 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:42.

[22] Ministry of Economy, Trade and Industry, METI (Japan). *Press Conference by Minister Akazawa (Excerpt).* 30. Juni 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:10.

[23] □□□□ (Cabinet Secretariat, Japan), AI□□□□□□□□□□□□□□□(□)□□□□. □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ *(Umsetzungs-Roadmaps für KI-Robotik nach Sektoren).* 26. März 2026, geändert 27. Mai und 28. August 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:20.

[24] □□□□ (Cabinet Secretariat, Japan), AI□□□□□□□□□□□□□□□(□)□□□□. □□□□□□□□□*AI* □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ *(Ergebnisprotokoll der 4. Sitzung der Verbindungskonferenz zur KI-Robotik).* 28. August 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:20.

[25] □□□□ (Cabinet Secretariat, Japan), AI□□□□□□□□□□□□□□□(□)□□□□. *AI*□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ *(Hauptmaßnahmenpaket auf Grundlage der KI-Robotik-Strategie), Referenzmaterial.* undatiert (Referenzmaterial zur Strategie vom 26. März 2026). Quelle. Abgerufen 2026-10-26 07:59.

[26] □□□□□ (Ministerium für Planung und Haushalt, Republik Korea), veröffentlicht über □□□□ □□□□□ (korea.kr). *2030*□□□ □□□□□□ *2.3*□ □□...□□□□ □□□□ *80%*□↑ *(Bis 2030 2,3 Billionen Won für Humanoide, Lokalisierungsquote der Kernkomponenten auf 80 Prozent).* 27. August 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[27] The Korea Times (Meldung von Yonhap). *Korea to spend $1.66 bil. won through 2030 on full-stack humanoid development.* 27. August 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[28] Europäische Union, Amtsblatt. *Verordnung (EU) 2026/1744 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juli 2026 zur Änderung der Verordnungen (EU) 2024/1689, (EU) 2018/1139 und (EU) 2023/1230 … (Digital-Omnibus-Verordnung zur KI).* 8. Juli 2026 (ABl. L vom 24.7.2026). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:34.

[29] Europäische Union, Amt für Veröffentlichungen (konsolidierte Fassung). *Regulation (EU) 2023/1230 of the European Parliament and of the Council of 14 June 2023 on machinery and repealing Directive 2006/42/EC … and Council Directive 73/361/EEC; Consolidated text 02023R1230 — EN — 27.07.2026.* 27. Juli 2026 (Stand der konsolidierten Fassung; Rechtsakt vom 14. Juni 2023). Quelle. Abgerufen 2026-10-24.

[30] Europäische Kommission. *EU launches AI Gigafactories call to boost Europe's computing capacity and unlock more than €30 billion in investment (Pressemitteilung).* 30. Juli 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[31] □□□□ (Cabinet Secretariat, Japan), AI□□□□□□□□□□□□□□□(□)□□□□. □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ *(KI-Robotik-Strategie, Volltext).* 26. März 2026 (□□8□3□26□), geändert 27. Mai 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:20.

[32] International Federation of Robotics. *Deutschland installiert 41 Prozent aller Industrie-Roboter in der EU.* 24. September 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-24.

[33] Rat der Europäischen Union (Übermittlung der Mitteilung COM(2025) 165 final der Europäischen Kommission). *AI Continent Action Plan (Communication from the Commission, COM(2025) 165 final; Ratsdokument 7955/25).* 10. April 2025 (Ratsdokument; Kommissionsdokument vom 9.4.2025). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:29.

[34] Ministry of Finance and Economy (Republik Korea). *Economic Growth Strategy for the Second Half of 2026.* 14. Juli 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[35] e-Gov□□□□ (amtliche Gesetzesdatenbank Japans). □□ *(Durchführungsverordnung zum Gesetz über die Förderung der Sicherheit durch integrierte Wirtschaftsmaßnahmen),* □□□□□□□□□□□□□. undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:38.

[36] Ministry of Economy, Trade and Industry; Ministry of Health, Labour and Welfare; Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (Japan). *White Paper on Manufacturing Industries 2026 (FY2025 Measures to Promote Core Manufacturing Technologies).* Mai 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[37] National Robotics Programme (Singapur); Mitveranstalter Nanyang Technological University und A*STAR. *Singapore Embodied AI Challenge for Manufacturing | RoboSG! 2027.* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:15.

[38] National Robotics Programme (Singapur); Mitveranstalter Nanyang Technological University und A*STAR. *Competition Format & Awards | Singapore Embodied AI Challenge.* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:15.

[39] Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), Hightech Agenda Deutschland. *Künstliche Intelligenz – Technologie-Roadmap, Version 1.0.* Mai 2026 (Stand). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:28.

[40] Cabinet Office (Japan). *Japan's Second Artificial Intelligence Basic Plan — Japan AI Transformation; A Stronger Nation. Greater Prosperity. — (Provisional translation).* 14. Juli 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:30.

[41] □□□□□ (Republik Korea, Industrie- und Handelsministerium). *2024~2028□ □□□□ □□□ □□ □□□ □□□ (Blaupause zur Förderung der Robotikindustrie 2024 bis 2028 vorgelegt).* 16. Januar 2024 (Registrierungsdatum □□□). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:38.

[42] KfW Research (KfW Bankengruppe). *KfW-Digitalisierungsbericht Mittelstand 2025: Digitalisierungsaktivitäten verlieren deutlich an Schwung.* April 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:10.

[43] International Trade Administration, U.S. Department of Commerce. *South Korea Physical Artificial Intelligence.* 10/06/2026 (Schreibweise der Seite). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:14.

[44] Siemens AG. *Siemens partners with NVIDIA to advance AI-driven, autonomous factories.* 19. Oktober 2026. Quelle. Abgerufen nicht im Kopf.

[45] International Energy Agency (IEA). *Executive summary – Key Questions on Energy and AI.* 16. April 2026 (nur laut Originalkopf). Quelle. Abgerufen 2026-09-25.

[46] Europäische Union, Amtsblatt. *Verordnung (EU) 2026/1744 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juli 2026 zur Änderung der Verordnungen (EU) 2024/1689, (EU) 2018/1139 und (EU) 2023/1230 im Hinblick auf die Vereinfachung der Umsetzung harmonisierter Vorschriften für künstliche Intelligenz (Digital-Omnibus-Verordnung zur KI).* 8. Juli 2026 (ABl. L vom 24.7.2026). Quelle. Abgerufen 2026-09-25.

[47] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. *Öffentliche Stromerzeugung 2025: Wind und Solar erstmals als Doppelspitze (Presseinformation).* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:19.

[48] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Energy-Charts). *Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2025.* 1. Januar 2026, Aktualisierung 27. August 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:10.

[49] Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), Hightech Agenda Deutschland. *Hightech Agenda Deutschland: KI-Robotikbooster.* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:15.

[50] Robotics Institute Germany (RIG). *Robotic Monitoring - RIG.* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[51] International Federation of Robotics. *Robotics Research: How Asia, Europe and America Invest.* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:31.

[52] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE). *Manufacturing-X – Datenökosysteme für eine wettbewerbsfähige, resiliente und nachhaltige Industrie.* März 2026 (Stand). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[53] SPRIND – Bundesagentur für Sprunginnovationen. *SPRIND | Next Frontier Robotics.* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:32.

[54] Agency for Science, Technology and Research (A*STAR, Singapur). *Embracing transformation: Factories of the Future.* 21. Juni 2018. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:39.

[55] Agency for Natural Resources and Energy (METI, Japan). *Japan's new international resource strategy to secure rare metals.* 31. Juli 2020 (englische Fassung 30. September 2020). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[56] Europäische Union, Amtsblatt. *Verordnung (EU) 2024/1252 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. April 2024 zur Schaffung eines Rahmens zur Gewährleistung einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen und zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 und (EU) 2019/1020.* 11. April 2024 (ABl. L vom 3.5.2024). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:14.

[57] Europäische Union, Amtsblatt. *Berichtigung der Verordnung (EU) 2023/1230 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Juni 2023 über Maschinen und zur Aufhebung der Richtlinie 2006/42/EG … (ABl. L 165 vom 29. Juni 2023).* 4. Juli 2023 (ABl. L 169, S. 35). Quelle. Abgerufen 2026-10-24.

[58] International Federation of Robotics. *Global Robotics Race: Korea, Singapore and Germany in the Lead.* 10. Januar 2024. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:13.

[59] Statistisches Bundesamt (Destatis). *Jedes zweite Unternehmen nutzt kostenpflichtige Cloud-Services (Pressemitteilung Nr. 416).* 24. November 2025. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:29.

[60] Statistisches Bundesamt (Destatis). *Bereits 2035 wird in Deutschland ein Viertel der Bevölkerung 67 Jahre und älter sein (Pressemitteilung Nr. 446).* 11. Dezember 2025. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:13.

[61] □□□□□ (Ministry of Health, Labour and Welfare, Japan). □□□□□□□□(□□8□8□□)□□□□ *(Lage der allgemeinen Arbeitsvermittlung, August 2026).* 2. Oktober 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:37.

[62] Robotics Institute Germany (RIG). *About Us - RIG Robotics Institute Germany.* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[63] Plattform Industrie 4.0 (empowering-industrial-ai.de, plattform-i40.de). *Wörtliche Auszüge zur Neuausrichtung der Plattform Industrie 4.0; Startseite: „Startseite Next Level Industrie 4.0 - Hannover Messe 2026“.* undatiert. Abgerufen 20. und 21.10.2026 (angemeldetes Chrome).

[64] Europäische Union, Amtsblatt. *Verordnung (EU) 2024/1689 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für künstliche Intelligenz … (Verordnung über künstliche Intelligenz).* 13. Juni 2024 (ABl. L vom 12.7.2024). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:27.

[65] Smart Nation Singapore (Regierung Singapur). *National AI Strategy.* 10. September 2026 (letzte Aktualisierung der Seite). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:28.

[66] Ministry of Digital Development and Information (Singapur). *Artificial Intelligence (AI) initiatives launched to uplift Singapore’s economic potential.* 1. März 2024. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:28.

[67] Infocomm Media Development Authority, IMDA (Singapur). *National AI Impact Programme.* 2. März 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:10.

[68] Infocomm Media Development Authority, IMDA (Singapur). *Annual Report & Singapore Digital Economy Report 2025.* 6. Oktober 2025. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[69] Singapore Economic Development Board (EDB). *The latest in Singapore’s AI scene that businesses should know – a round-up from April to June 2026.* 27. Juli 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:38.

[70] □□□□ (Cabinet Secretariat, Japan), AI□□□□□□□□□□□□□□□(□)□□□□. *AI□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ (Verbindungskonferenz der Ministerien und Behörden zur KI-Robotik, Übersichtsseite).* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[71] □□□□ (Cabinet Secretariat, Japan), AI□□□□□□□□□□□□□□□(□)□□□□. □□□□□□□□□*AI* □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ *(Ergebnisprotokoll der 3. Sitzung der Verbindungskonferenz zur KI-Robotik).* 27. Mai 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[72] □□□ (Cabinet Office, Japan). □□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□ *(KI-Grundplan: Japan AX, stärker und wohlhabender).* 14. Juli 2026 (Kabinettsbeschluss). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:30.

[73] □□□□ (Cabinet Secretariat, Japan), AI□□□□□□□□□□□□□□□(□)□□□□. □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ *(KI-Robotik-Strategie: gesellschaftliche Umsetzung beschleunigen, einen riesigen Markt erschließen).* 26. März 2026 (□□8□3□26□), geändert 27. Mai 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

[74] e-Gov□□□□ (amtliche Gesetzesdatenbank Japans). □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ *(Gesetz zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Nutzung KI-bezogener Technologien),* □□□□□□□□□□□. undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:31.

[75] □□□ (Cabinet Office, Japan). □□□□□□□□ - □□□□□□□□□□□□ - □□□ *(KI-Grundplan, Übersichtsseite des Kabinettsamts).* undatiert. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:30.

[76] □□□□□ (Republik Korea, Industrie- und Handelsministerium). *K-□□□□□ □□ □□ (Start der K-Humanoid-Allianz).* 10. April 2025 (Registrierungsdatum □□□). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:37.

[77] Korea Legislation Research Institute (KLRI), englische Fassung der Gesetze der Republik Korea. *Framework Act on the Development of Artificial Intelligence and the Creation of a Foundation for Trust.* 20. Januar 2026 (Änderung durch Act No. 21311; Stammfassung Act No. 20676 vom 21. Januar 2025). Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:31.

[78] Europäische Kommission. *Commission launches two strategies to speed up AI uptake in European industry and science (Pressemitteilung).* 8. Oktober 2025. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:29.

[79] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. *German Public Electricity Generation in 2025: Wind and Solar Power Take the Lead For the First Time.* 1. Januar 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:19.

[80] European High Performance Computing Joint Undertaking (EuroHPC JU). *The EuroHPC Joint Undertaking launches the AI Gigafactories Call.* 30. Juli 2026. Quelle. Abgerufen 2026-10-25 20:12.

18 Rechtliche Hinweise

18.1 Keine Beratung

Diese Veröffentlichung ist ein redaktionelles Erzeugnis. Sie stellt keine Rechtsberatung, keine medizinische, pflegerische, arbeitsrechtliche oder datenschutzrechtliche Beratung und keine Beschaffungs- oder Vergabeberatung dar. Sie ersetzt insbesondere nicht die Prüfung durch Rechtsanwaltschaft, Datenschutzaufsicht, Medizinprodukteberatung, Vergabestelle, Ethikkommission nach Medizinprodukterecht oder Arbeitnehmervertretung. Wer auf Grundlage dieses Dokuments entscheidet, entscheidet auf eigene Verantwortung und hat den Sachverhalt vorher eigenständig fachlich prüfen zu lassen.

18.2 Keine Zusicherung, keine Konformitätsaussage

Die beschriebenen Verfahren, Prüfstufen und Checklisten sind redaktionelle Vorschläge. Sie sind keine Zusicherung einer Eigenschaft, kein garantiertes Ergebnis und kein Nachweis der Einhaltung einer Rechtsvorschrift. Wer ein Verfahren aus diesem Dokument anwendet, erfüllt damit keine gesetzliche Anforderung; ob eine Anforderung erfüllt ist, entscheidet die zuständige Stelle am Einzelfall.

18.3 Rechtsstand

Rechtsstände, Fristen und Fundstellen beziehen sich auf den im Dokumentkopf genannten Tag. Der KI-Rechtsrahmen wird laufend geändert; ein älterer Fristenplan darf nicht unverändert weiterverwendet werden. Genannte Gesetze und Verordnungen sind in ihrer jeweils geltenden Fassung heranzuziehen.

18.4 Haftung

Die Inhalte wurden mit Sorgfalt erstellt und, soweit im Methodenteil beschrieben, gegengeprüft. Für Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität wird gleichwohl keine Gewähr übernommen. Eine Haftung des Herausgebers ist auf Vorsatz und grobe Fahrlässigkeit beschränkt; dies gilt nicht bei der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit sowie bei zwingender gesetzlicher Haftung.

18.5 Verweise auf fremde Inhalte

Dieses Dokument verweist auf Inhalte Dritter, insbesondere auf Behörden-, Fachgesellschafts-, Normen- und Fachverlagsseiten. Auf deren Gestaltung und Inhalt hat der Herausgeber keinen Einfluss; für sie ist jeweils der dortige Anbieter verantwortlich. Die Adressen waren zum im Literaturverzeichnis genannten Prüfzeitpunkt erreichbar. Die Nennung eines Produkts, Herstellers oder Dienstes ist weder eine Empfehlung noch eine Bewertung seiner Eignung.

18.6 Marken und Produktbezeichnungen

Genannte Produkt-, Marken- und Unternehmensbezeichnungen sind Kennzeichen ihrer jeweiligen Inhaber und werden ausschließlich zur Beschreibung des Sachverhalts verwendet. Aus der Nennung folgt keine Verbindung zwischen dem Herausgeber und dem jeweiligen Unternehmen und keine Aussage über Zulassungs-, Konformitäts- oder Zertifizierungsstatus.

18.7 Urheberrecht und Nutzung

Dieses Dokument, sein Text, seine Tabellen und seine Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Rechteinhaberin ist die WebTrades GmbH. Zulässig sind das Lesen, das Speichern und der Ausdruck für den eigenen Gebrauch sowie das Zitieren einzelner Stellen mit vollständiger Quellenangabe nach der im Impressum genannten Zitierweise. Die Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung, öffentliche Zugänglichmachung oder kommerzielle Verwertung des Dokuments oder wesentlicher Teile daraus bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung der Rechteinhaberin. Das gilt ausdrücklich auch für die Übernahme von Tabellen und Abbildungen.

18.8 Keine personenbezogenen Daten

Für dieses Dokument wurden keine personenbezogenen Daten verarbeitet. Es beruht auf veröffentlichter Literatur, amtlichen Rechtsquellen und Veröffentlichungen von Fachgesellschaften; es wurden weder Beschäftigte befragt noch Patientendaten verwendet. Wer die hier beschriebenen Verfahren auf eine reale Einrichtung anwendet, verlässt diesen Rahmen: Die Auswertung von Tätigkeits-, Alarm- oder Quittierungsdaten unterliegt der Datenschutz-Grundverordnung und in der Regel der Mitbestimmung.

18.9 Unabhängigkeit

Dieses Dokument ist ohne Auftrag, ohne Finanzierung und ohne inhaltliche Beteiligung eines Herstellers, Krankenhausträgers, Kostenträgers, Verbands oder Beratungsunternehmens entstanden. Es besteht kein Vergütungs- oder Beteiligungsverhältnis zu einem der genannten Unternehmen oder Institutionen. Genannt werden Systeme, Anbieter und Dokumente, weil sie in den beschriebenen Gegenstand fallen, nicht weil sie beworben werden sollen.

18.10 Anwendbares Recht

Es gilt das Recht der Bundesrepublik Deutschland unter Ausschluss des UN-Kaufrechts. Gesetzliche Verbraucherschutzvorschriften bleiben unberührt.