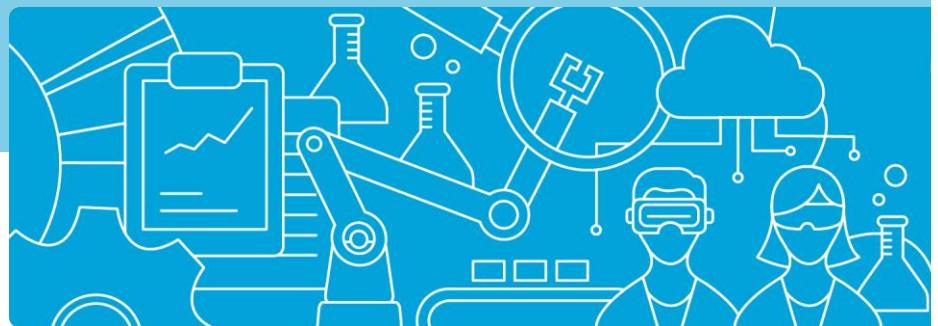


Studie zum deutschen Innovationssystem | Nr. 6-2026



Matthias Weber, Bernhard Dachs, Kristina Rozgonyi, Zoe Zweifler, Bernhard Beckert,
Sonia Gruber, Andreas Hummler, Henning Kroll, Peter Neuhäusler, Oliver Rothengatter,
Carsten Schwäbe, Peipei Yang

Wege zur Stärkung der Forschung und Anwendung von künstlicher Intelligenz in Europa



Diese Studie wurde im Auftrag der Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) erstellt. Die Ergebnisse und Interpretationen liegen in der alleinigen Verantwortung der durchführenden Institute. Die EFI hat auf die Abfassung des Berichts keinen Einfluss genommen.

Durchführende Institute

AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 4, 1210 Wien
www.ait.ac.at

Karlsruher Institut für Technologie
Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe
www.kit.edu

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe
www.isi.fraunhofer.de

Studien zum deutschen Innovationssystem

Nr. 6-2026
ISSN 1613-4338

Stand

Februar 2026

Herausgeberin

Expertkommission Forschung und Innovation (EFI)

Geschäftsstelle

Pariser Platz 6 | 10117 Berlin
www.e-fi.de

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht auf Vervielfältigung und Verbreitung sowie Übersetzung. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung der EFI oder der Institute reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Kontakt und weitere Informationen

Dr. Matthias Weber
AIT Austrian Institute of Technology GmbH
Giefinggasse 4, 1210 Wien
T +43 (0)50550 4561
M matthias.weber@ait.ac.at

Inhalt

Kapitel 1: Einleitung

1	Zum Hintergrund der Studie.....	6
2	Zielsetzungen.....	6
3	Konzeptioneller Rahmen.....	7
3.1	Was verstehen wir unter künstlicher Intelligenz?.....	7
3.2	Der erweiterte KI-Stack.....	7
3.3	Governance von KI im Mehr-Ebenensystem.....	8
4	Generelle Methodik und Aufbau der Studie.....	10
5	Literatur.....	11

Kapitel 2: Künstliche Intelligenz und komplementäre Technologien im Europäischen Forschungs- und Innovationsraum

1	Zielsetzung und Fragestellungen.....	14
2	Bibliometrie und Machine Learning Modelle	14
2.1	Bibliometrie	14
2.2	Identifikation und Leistungsfähigkeit von Machine Learning-Modellen.....	35
2.3	Integrierte Bewertung: Bibliometrie und ML-Modelle	40
3	Patentanalyse und Unternehmenslandschaft	41
3.1	Patentaktivitäten	41
3.2	Unternehmenslandschaft.....	65
3.3	Integrierte Bewertung: Patentanalyse und Unternehmenslandschaft	77
4	Literatur.....	77

Kapitel 3: Europäische F&I-Politik, Industriepolitik und Regulierung – ein Überblick

1	Zielsetzungen und leitende Fragestellungen	80
2	Europäische KI-Politik im geopolitischen und europapolitischen Kontext	80
2.1	Ökonomische, geopolitische und gesellschaftliche Konfliktlinien.....	80
2.2	KI im Kontext der europäischen Politik	82
3	Jüngere Entwicklungen in der Europäische F&I- und Industriepolitik für KI	83
3.1	Die EU-Rahmenprogramme für Forschung und Innovation	83
3.2	Aktuelle Maßnahmen in der Europäische F&I- und Industriepolitik für KI	88
3.3	Einordnung und Bewertung der europäischen KI-Förderpolitik	90
4	KI-bezogene Regulierungen der Europäischen Union	91
4.1	Hintergrund.....	91
4.2	Der AI Act	92

4.3	Andere einschlägige EU-Rechtsakte mit direkter oder indirekter Relevanz für KI	98
4.4	Bewertung.....	102
5	Übergreifende Bewertung der EU-Politik zu KI	103
6	Literatur	106

Kapitel 4: KI-bezogene F&I- und Industriepolitik in vergleichender Perspektive

1	Zielsetzungen, Fragestellungen und Analytischer Rahmen	109
1.1	Zielsetzungen und leitende Fragestellungen.....	109
1.2	Auswahl der Fallstudien	110
1.3	Analyseraster	112
2	Nationale KI-Strategien und Interventionskonzepte	112
2.1	Wesentliche Phasen der Entwicklung der KI-Politik.....	112
2.2	Anspruch und Ziele nationaler KI-Strategien.....	116
2.3	Strategische Ansatzpunkte/Zugang.....	118
3	F&I- und industriepolitische sowie regulative Instrumente	119
3.1	Ansatzpunkte und Instrumente der F&I- und Industriepolitik.....	119
3.2	Regulierung	122
4	Governance: horizontale, vertikale und Stakeholder-Koordination	124
4.1	Stakeholder Einbindung und horizontale Politikkoordination.....	124
4.2	Abstimmung zwischen nationaler und regionaler Ebene.....	125
4.3	Verknüpfung des europäischen mit dem nationalen Politikrahmen	125
5	Literatur	126

Kapitel 5: Implikationen für die europäische und die deutsche KI-Politik

1	Herausforderungen für die deutsche KI-Politik – eine SWOT-Analyse	128
1.1	Einordnung	128
1.2	Stärken	129
1.3	Schwächen	131
1.4	Chancen	133
1.5	Risiken	135
1.6	Zusammenfassende Bewertung und Perspektiven.....	137
2	Ansatzpunkte und Optionen für die deutsche und Europäische KI-Politik.....	138
2.1	Strategische Orientierungen.....	138
2.2	Forschungs-, innovations- und industriepolitische Ansatzpunkte	141
2.3	Ansatzpunkte für Regulierung und Governance.....	145
3	Literatur	150

Annex: Länderfallstudie

Kapitel 1: Einleitung

Matthias Weber

1 ZUM HINTERGRUND DER STUDIE

Die Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI) hat in ihrem Gutachten 2022 bei zahlreichen Schlüsseltechnologien einen Rückstand Europas und Deutschlands im Vergleich mit den weltweit führenden Ländern konstatiert und dokumentiert. Dieser Rückstand ist bei digitalen Schlüsseltechnologien besonders ausgeprägt. Im Jahr 2024 wurde die Analyse mit Blick auf die Entwicklung und Anwendung der künstlichen Intelligenz (KI) weiter vertieft (EFI 2024). Sie macht deutlich, dass Deutschland und die EU demnach nicht zur Spitzengruppe weltweit im Bereich KI zählen und Gefahr laufen, weiter zurückzufallen. Dabei gilt die Beherrschung von Technologien der künstlichen Intelligenz als der wichtigste und dynamischste Bereich innerhalb der Schlüsseltechnologien. KI wird dabei in einem breiten Sinne verstanden, also einschließlich komplementärer Technologien wie Mikroelektronik (z.B. Rechenkapazitäten und KI-Chips) und dem Handling extrem großer Datenmengen (“Big Data”). Neben den weithin anerkannten großen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Potenzialen, sowohl durch ihre Entwicklung als auch ihre Anwendung von KI, ist sie zugleich mit zahlreichen Unsicherheiten und Risiken verknüpft, beispielsweise im Hinblick auf ethische Aspekte ihrer Verwendung, mögliche Auswirkungen auf Arbeitsplätze und Qualifikationsbedarfe sowie ihre Effekte im Hinblick auf soziale und regionale Disparitäten.

Aus diesen Befunden ergeben sich eine Reihe von Herausforderungen für die Zukunft, und zwar im Hinblick auf

- mögliche Wege für die EU, um den wachsenden Rückstand aufzuhalten und umzukehren sowie im Zuge dessen bestehende Hemmnisse und Hürden für die Entwicklung und Anwendung von KI zu beseitigen;
- die Schaffung zuträglicher und verlässlicher Rahmenbedingungen für die Entwicklung und Anwendung von KI;
- die Verbesserung bestehender und Schaffung neuer Instrumente und ggf. Institutionen der Forschungs- und Innovationsförderung sowie der Transfer- und Diffusionsförderung;
- den erforderlichen Ausbau einer europäischen Industriepolitik für KI und ihre effektive Verzahnung mit der F&I-Politik, um die bestehenden Chancen und Risiken von KI durch eine entsprechende Abstimmungsmechanismen möglichst rasch und kohärent adressieren zu können;
- die Gestaltung einer einheitlichen europäischen KI-Regulierung und deren Umsetzung auf nationaler Ebene, um einen verlässlichen Handlungsrahmen zu schaffen, durch den etwaige Risiken des Einsatzes von KI mittels verantwortlicher Praktiken angemessene Berücksichtigung finde;
- die Etablierung von effektiven Schnittstellen zwischen europäischer und nationaler Politik, um eine effektive Mehr-Ebenen Governance der F&I-, Industrie- und Regulierungspolitik für KI zu gewährleisten, durch die sowohl den Größenvorteilen Europas als auch den Spezifika der Mitgliedsstaaten Rechnung getragen werden kann.

2 ZIELSETZUNGEN

Vor diesem Hintergrund verfolgt die vorliegende innovationsökonomisch ausgerichtete Studie die folgenden übergeordneten Zielsetzungen, die in den einzelnen Kapiteln in Form von leitenden Forschungsfragen weiter konkretisiert werden:

- Erfassung und Bewertung der **Leistungsfähigkeit der EU und ihrer Mitgliedsstaaten** im Bereich KI und komplementärer Technologien im Vergleich mit international führenden Ländern, unter Berücksichtigung der wesentlichen globalen und europäischen Unternehmen;

- Erfassung und Bewertung der **Institutionen, Fördermaßnahmen und Governance-Mechanismen** auf EU-Ebene und in ausgewählten Mitgliedsstaaten, die in Bezug auf KI wirksam werden;
- Analyse und Bewertung **der F&I-Politik, Industriepolitik und Regulierungsansätzen für KI in ausgewählten EU-Mitgliedsstaaten und Drittländern** im Vergleich;
- Identifikation von **europäischen und internationalen „good practice“-Beispielen** institutioneller Konfigurationen zur Unterstützung und Förderung von KI;
- **Identifikation von Handlungsbedarfen und Ansatzpunkten** in den betrachteten Politikfeldern zur Stärkung des KI-Standorts Europa und seiner Wettbewerbsfähigkeit sowie von Vorschlägen **zur Verbesserung** der Effektivität und Effizienz der Governance und Fördermaßnahmen auf europäischer und – komplementär hierzu – deutscher Ebene;

3 KONZEPTIONELLER RAHMEN

3.1 Was verstehen wir unter künstlicher Intelligenz?

Der Begriff „Künstliche Intelligenz“ ist nicht einheitlich definiert und weist zudem eine große Veränderungsdynamik auf. Dementsprechend bleiben Definitionen von KI in der Regel auf einer sehr allgemeinen Ebene. Die OECD definiert KI beispielsweise als „systems that display intelligent behavior by analyzing their environment and taking actions—with some degree of autonomy—to achieve specific goals“ (OECD 2019; p. 3).

Betrachtet man existierende Analysen und Ländervergleiche zur Leistungsfähigkeit im Bereich KI, so fällt auf, dass meist nur wenige Differenzierungen vorgenommen werden, während sich eigentlich dahinter eine Vielzahl von Forschungsrichtungen, Methoden, Forschungstraditionen und Anwendungsfelder verbergen. Hinzu kommt, dass sich KI sehr rasch weiterentwickelt, und etwaige Definitionen dementsprechend regelmäßig erweitert und ergänzt werden müssen. So haben Entwicklungen zu Stichworten wie „natural language processing“, „generative AI“ oder „large language models“ in der letzten drei Jahren massiv an Bedeutung für KI gewonnen.

Sinnvoll erscheint vor diesem Hintergrund allein die Nachverfolgung spezifischer Trends in Teilbereichen von KI, und dies vor dem Hintergrund konkreter Forschungsfragen. Während nämlich bei der Gesamtzahl der Publikationen in allen KI-Forschungsfeldern seit Jahren China alleiniger Spitzenreiter ist, führen beispielsweise hinsichtlich Anzahl und Relevanz der wissenschaftlichen Veröffentlichungen im Bereich „Natural Language Processing“ derzeit die USA das Feld unangefochten an.

Diese Vorgehensweise liegt der Methodik und Indikatorik von Kapitel 2 zugrunde, aufbauend auf den entsprechenden Vorarbeiten der Fraunhofer ISI im Jahr 2024, bei denen 18 KI-Forschungs- und Innovationsfelder unterschieden werden (vgl. Beckert und Kroll 2024). In diesem Spektrum sind sowohl symbolische KI, statistische KI und neue Formen von hybrider KI abgedeckt.

Generell liegen dem in diesem Bericht verwendeten Verständnis von KI aber auch die Berücksichtigung komplementärer Forschungs- und Innovationsfelder (z.B. Big Data, Graphikkarten) sowie wichtiger Anwendungsbereiche (z.B. Automatisierung, Robotik, etc.) zugrunde.

3.2 Der erweiterte KI-Stack

Auch wenn sich das Konzept des der **KI-Stack** ursprünglich auf technische Elemente bezieht, kann es auch um das entsprechende Innovationsökosystem, bzw. die einbettende Wertschöpfungskette von KI erweitert werden, wenn man zugleich die Akteure mitdenkt, die die entsprechenden technischen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekte tragen (Schwäbe et al. 2025).

Aus einer institutionellen Perspektive, wie sie häufig in der Innovationssystemforschung herangezogen wird, muss der „klassische“ KI-Stack dann durch weitere Elemente erweitert werden, die für das Funktionieren eines Innovationsökosystems wichtig sind, und hierbei insbesondere die Rahmenbedingungen und Anreize, die seitens der Politik für Kompetenzentwicklung, Forschung und Innovation, industriellen Wandel und verantwortlichen Umgang mit KI gesetzt werden. Im Hinblick auf die vorliegende Studie betrifft das vor allem Aspekte (Weiter-) Bildung, F&I-Politik, Industrie- und Wettbewerbspolitik und Regulierung (vgl. Abbildung 1.1)

Abbildung 1.1: Der erweiterte KI-Stack im Innovationsökosystem (aufbauend auf Schwäbe et al. 2025)

Core AI Stack	Enablers
<ul style="list-style-type: none"> • Hardware • Infrastructure • Data access & management • Machine learning algorithms • Model development & training • Deployment • Monitoring & management • User & application interfaces 	<ul style="list-style-type: none"> Education & skills Research & innovation Collaboration models Society & behaviour Reliable regulation

3.3 Governance von KI im Mehr-Ebenensystem

Für die Analyse von Governance-Strukturen und -prozesse sowie der Politikinstrumente zur Entwicklung und Anwendung von KI in Europa bedarf es eines breiten konzeptionellen und analytischen Rahmens, der sowohl F&I- und industriepolitische Aspekte umfasst als auch die regulativen und weitere nachfrageseitige Dimensionen von KI abdeckt. Die relevanten Politiken werden sowohl auf der Ebene der europäischen Institutionen als auch auf der Ebene der Mitgliedsstaaten gestaltet. Aufgrund der hohen Investitionskosten in die F&I zu KI und des bestehenden globalen Technologiewettbewerbs in diesem Bereich wächst hierbei die Bedeutung der europäische Ebene, und zwar sowohl bei der Förderung dieser Technologie als auch insbesondere bei der Regulierung, über die bestimmte Standards mit globaler Wirkung gesetzt werden können. Dieser konzeptionelle Rahmen für die Politik- und Governance-Analyse soll im Folgenden skizziert werden.

Das Konzept der **Innovationsökosysteme** wurde bereits mehrfach auf KI angewendet, (Radu 2022; Wirtz et al. 2022; Jacobides et al. 2021), auch im Zusammenspiel mit dem **KI-Stack**. Hierdurch wird eine breite Grundlage für die Einordnung und Analyse der bestehenden Fördermaßnahmen und politisch-regulativen Rahmenbedingungen im Hinblick auf KI bereitgestellt.

Allerdings wird die Komplexität der Fördermaßnahmen und Rahmenbedingungen durch das **Mehr-Ebenen-System** des Nebeneinanders von Maßnahmen auf europäischer und nationaler (sowie in einigen Ländern auch regionaler) Ebene deutlich erhöht. Dementsprechend stellen sich Fragen nach Überlappungen und Lücken zwischen beiden Ebenen und wie diese systematisch analysiert werden können.

Während bei der Regulierung die europäische Politikebene Vorrang besitzt, die in ihrer besonderen Rolle als Hüterin des Binnenmarkts begründet liegt, sind die Verantwortlichkeiten für die F&I-Politik zwischen europäischer, nationaler und u.U. regionaler Ebene verteilt. Argumente der Subsidiarität und des europäischen Mehrwerts werden zum Austarieren dieser Mehr-Ebenen Balance herangezogen. Konkret bedeutet dies, dass es bei **der Regulierung** zwar Unterschiede in der nationalen Umsetzung

geben mag, im Grundsatz müssen aber alle Mitgliedsstaaten der gleichen gemeinsamen Regulierungsrahmen umsetzen. Dies wurde in den letzten Jahren bei verschiedenen Regulierungen im Digitalbereich deutlich, z.B. bei der Datenschutzgrundverordnung oder aktuell dem AI Act.

In der **F&I Politik** besteht hingegen ein konkurrierendes Verhältnis zwischen nationaler und europäischer Politik, die – zumindest in der Theorie – über die “open method of coordination” zwischen nationaler und europäischer Politik aufgelöst werden soll (Kaiser und Prange 2004). Allerdings verursacht der Mehrebenen-Rahmen in der F&I-Politik auch mögliche Abstimmungsverluste zwischen den Ebenen wie etwa Doppelgleisigkeiten oder Lücken im Förderportfolio. Es scheint auch nicht sicher, dass nationale Förderungen aus einer europäischen Perspektive immer zur bestmöglichen Allokation der verfügbaren Mittel führen; ein Argument, das insbesondere bei KI aufgrund des hohen F&I-Aufwands von Bedeutung ist. Möglicherweise existieren in manchen Mitgliedsstaaten auch technologische Möglichkeiten oder Markt- und Systemversagen, die aus einem Mangel an nationalen Mitteln nicht genutzt bzw. abgeschwächt werden können.

In der **Industriepolitik** besitzt die EU-Kommission traditionell eine eher schwache Position, die sich vor allem aus der Verantwortung für die Überwachung des Wettbewerbsrechts und dem Ziel der Weiterentwicklung des Europäischen Binnenmarkts (u.a. mittels einheitlicher Regulierung) ableitet. Die Hauptverantwortung für die Gestaltung der Industriepolitik liegt jedoch bei den Mitgliedsstaaten, auch wenn die EU-Kommission im Laufe der Jahre eine Reihe flankierender industrie-politischer Maßnahmen gesetzt hat. Allerdings wird Innovationen basierend auf KI auf europäischer Ebene eine Schlüsselrolle für die zukünftige globale Positionierung der europäischen Industrie zugewiesen. Hier greift zum einen das Argument der kritischen Massen, aufgrund dessen viele (wenn nicht alle) Mitgliedsstaaten nicht über das Potenzial verfügen, die im Bereich KI erforderlichen Investitionen alleine, bzw. in Abstimmung mit den zentralen industriellen Akteuren, zu tätigen. Außerdem besitzt KI im Unterschied zu vielen anderen Schlüsseltechnologien sehr vielfältige Einsatzmöglichkeiten im Dienstleistungssektor besitzt (OECD 2024), was dementsprechend auf mehr Aufmerksamkeit für Dienstleistungsbranchen und ihre globalen Transaktionen erfordert. Dies bildet wiederum eine wichtige Schnittstelle zur Handelspolitik. Insgesamt kommt es dadurch zu einem Bedeutungsgewinn der europäischen Industriepolitik und einer wachsenden programmatischen Konvergenz mit der F&I-Politik, die wiederum einen erhöhten operativen Abstimmungsbedarf nach sich zieht (Wanzenböck und Weber 2025). Zugleich werden nach dem Vorbild der USA oder Chinas häufiger proaktivere, sektorale industrie-politische Ansätze verfolgt (Criscuolo, et al. 2022). Maßnahmen wie die Abschwächung der Regeln für Staatshilfen zur Finanzierung von Investitionen im Chips Act, den IPCEI (Important Projects of Common European Interest) oder im Green Deal Industrial Plan zeugen davon. Weiters beeinflusst auch die Regulierung des Wettbewerbs, des geistigen Eigentums, der Finanzmärkte inkl. der Verfügbarkeit von Venture Capital oder des Datenschutzes die Entwicklung und Diffusion von KI in Europa.

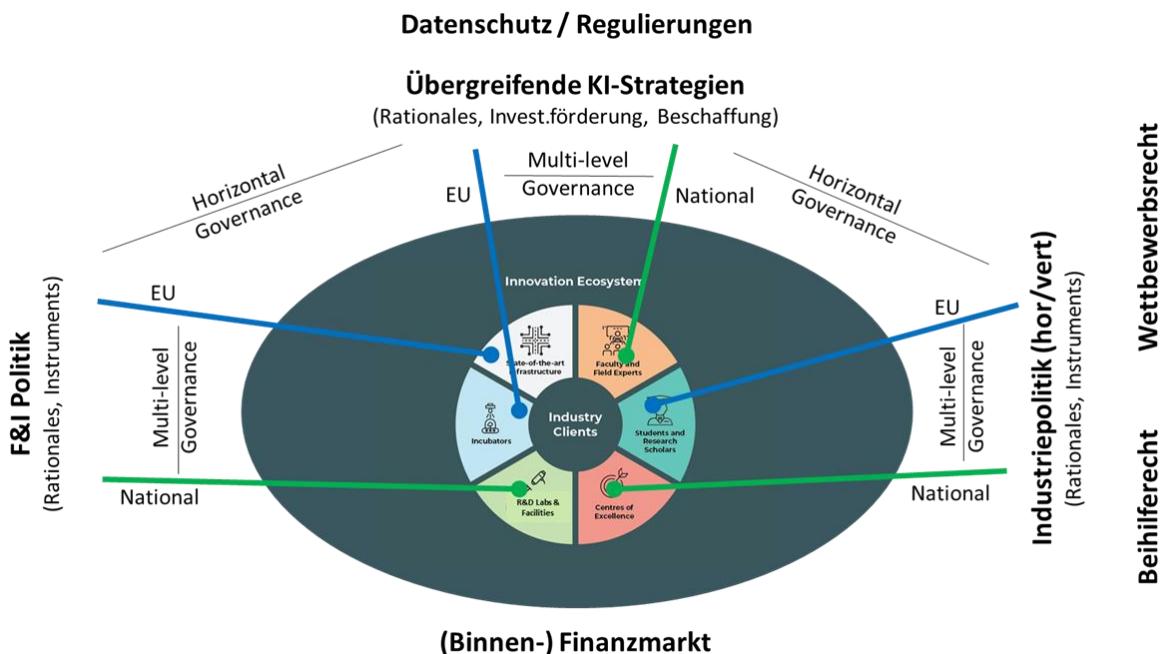
Das in Summe betrachtete Instrumentarium für die Förderung der Forschung, Entwicklung, Verbreitung und Anwendung von KI umfasst dabei im Sinne des **Policy Mix** (Flanagan et al. 2011) sowohl angebotsseitige (Förder-)maßnahmen als auch nachfrageseitige Instrumente. Neben Forschungs- und Innovationsförderungen, Unterstützung für Qualifizierung und Kompetenzentwicklung oder der Bereitstellung geeigneter KI-Infrastrukturen sind daher auch regulative Rahmenbedingungen und öffentliche Beschaffungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Hinzu kommen allgemeine regulative Maßnahmen, die auf Wettbewerbsstrukturen, Konsumentenschutz, Umweltaspekte oder – von zunehmender Bedeutung – Souveränitätsaspekte abzielen können.

Dieser Policy-Mix ist das Ergebnis **institutioneller Settings und Governance-Prozesse** auf europäischer und nationaler Ebene, denen in nationalen Fallstudien ausgewählter europäischer Länder nachgegangen werden soll, speziell im Hinblick auf Fragen horizontaler und Mehr-Ebenen Politikkoordination (Rogge und Song 2024). Hierzu zählt auch die vergleichende Analyse der Umsetzung und Ausgestaltung der EU-**rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen** auf

der nationalen Ebene, unter besonderer Berücksichtigung der 'Regulatory Agency' (de Almeida et. al. 2021) und der speziellen Anforderungen, die sich aus den nationalen Governance-Bedingungen für eine effektive KI-Politik ergeben.

Diese Instrumente und Prozesse sollen in den Fallstudien hinsichtlich ihrer Ziele, ihrer konkreten Umsetzung und ihrer intendierten Wirklogiken auf das Innovationsökosystem bzw. den gesamten KI-Stack untersucht werden. Im Sinne der Interventionstheorie von Kanger et al. (2020) können die wesentlichen **funktionalen und transformativen Herausforderungen für die KI-Politik** („transformation challenges“) an zentralen Interventionspunkten („intervention points“) im KI-Innovationsökosystem und letztlich an den Elementen des erweiterten KI-Stack festgemacht werden. Dabei sollen auch auf der Basis der existierender Literatur zu Legitimation von F&I- und industriepolitischen Interventionsstrategien („policy rationales“) die konkreten Argumentationsmuster zur Begründung politischer Interventionen in KI auf EU- und nationaler Ebene untersucht werden, und zwar im Hinblick auf für den Fall KI angepasste Formen des **Markt-, System- und Transformationsversagens** unter Berücksichtigung von Argumenten zu **Subsidiarität und europäischem Mehrwert** (Weber and Rohracher 2012; Wanzenböck und Frenken 2020).

Abbildung 1.2: Konzeptioneller Rahmen zur Rolle der F&I- und Industriepolitik für KI-Innovationsökosysteme



4 GENERELLE METHODIK UND AUFBAU DER STUDIE

In methodischer Hinsicht bringt die vorliegende Studie verschiedene Bausteine zusammen, die im Schlusskapitel im Hinblick auf mögliche Handlungsoptionen für die europäische und deutsche KI-Politik ausgewertet werden. Details zur Methodik werden jeweils in den einzelnen Kapiteln erläutert; im Groben lässt sich die Vorgehensweise wie folgt zusammenfassen:

- Die empirisch-analytischen Grundlage für den Bericht wird über eine international vergleichende Analyse von **Publikationsdaten** und ein **Mapping von Machine Learning Modellen** für die forschungsseitigen Aspekte der KI sowie eine **Patentdatenanalyse** und eine Analyse zur

Entwicklung der **Unternehmenslandschaft** im KI-Bereich unter Heranziehung von Crunchbase-Daten für die innovationsseitigen von KI gelegt.

- Die **institutionellen und instrumentellen Aspekte der KI-Politik und -Governance** werden auf der Basis von Länderfallstudien zu ausgewählten EU-Mitgliedsstaaten und internationalen Vergleichsländern behandelt. Die im Detail betrachteten Länder (Finnland, Österreich, Frankreich, Niederlande, Großbritannien, USA, China, Indien) werden durch ausgewählte Teilespekte aus weiteren Ländern ergänzt. Neben Sekundärquellen wurden hierfür auch ausgewählte Interviews durchgeführt.
- Die **europäische KI-Politik** in ihren F&I- und industriepolitischen sowie ihren regulativen Dimensionen wurde gesondert untersucht und bildet einen wichtigen Bezugsrahmen für die nationalen Fallstudien speziell der EU-Mitgliedsstaaten. Eine **Förderdatenanalyse** der EU-Rahmenprogramme unter Verwendung der Datenbanken EUPRO¹ ergänzt die qualitative Politikanalyse.
- Im Rahmen zweier **Online-Experteworkshops** wurden die Erkenntnisse zu den internationalen Vergleichsländern und zu Situation in Europa diskutiert und bewertet.
- Im Rahmen einer **SWOT-Analyse zu Deutschland** und mehrerer projektinterner Workshops wurden die Ergebnisse weiter verdichtet und Handlungsoptionen für die europäische und deutsche KI-Politik abgeleitet.

Der nachfolgende Bericht ist wie folgt aufgebaut:

- Kapitel 2 liefert die empirische Grundlage für die Bewertung der Leistungsfähigkeit und die Perspektiven der Europäischen und speziell auch der deutschen KI-Landschaft im internationalen Vergleich.
- Kapitel 3 untersucht und bewertet die Politikansätze, Governance-Strukturen, Fördermaßnahmen, Regulierungen und Rahmenbedingungen für KI auf EU-Ebene und nationaler Ebene.
- Kapitel 4 untersucht das Zusammenspiel von Industriepolitik, F&I-Politik und Regulierung in international vergleichender Perspektive auf der Grundlage von ausgewählten Fallstudien zu EU-Mitgliedsstaaten und internationalen Vergleichsländern. Für die Mitgliedsstaaten der EU wird dabei speziell auch auf das Zusammenspiel zwischen europäischer und nationaler Politikebene eingegangen.
- Kapitel 5 fokussiert auf Hinweise und Handlungsoptionen für die Politik, und zwar sowohl für die europäische als auch insbesondere für die deutsche KI-Politik. Dafür wird neben den Befunden und Ergebnissen der verschiedenen Kapitel auch eine SWOT-Analyse für Deutschland als Grundlage herangezogen.

Die einzelnen Länderfallstudien finden sich im Anhang zum Bericht.

5 LITERATUR

de Almeida, P.G.R., dos Santos, C.D. & Farias, J.S (2021): Artificial Intelligence Regulation: a framework for governance. Ethics Inf Technol 23, 505–525 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10676-021-09593-z>

Beckert, B., Kroll, H. (2024): Definition of the research and innovation field "Artificial Intelligence" and approaches to determining quality, Discussion Paper, Karlsruhe: Fraunhofer ISI

Criscuolo, C., N. Gonine, K. Kitazawa and G. Lalanne (2022): Are industrial policy instruments effective?, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 128, Paris: OECD

¹ Die EUPRO-Datenbank bildet die F&E-Kooperationen der wesentlichen von der EU finanzierten Forschungs- und Innovationsförderprogramme ab. <https://docs.risis.io/datasets/metadata/eupro>

EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (2024): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2024, Berlin: EFI

Flanagan, K., Uyarra, E., Laranja, M. (2011): The ‘policy mix’ for innovation: rethinking innovation policy in a multi-level, multi-actor context, *Research Policy*, 40(5), 702-713

Jacobides, M.G., Brusoni, S., and Candelon, F. (2021): Evolutionary Dynamics of the AI Ecosystem, *Strategy Science*, 6(4), 412–435

Kaiser, R., Prange, H. (2004): Managing diversity in a system of multi-level governance: the open method of co-ordination in innovation policy, *Journal of European Public Policy*, 11(2), 249-266

Kanger, L., Sovacool, B., Noorkoiv, N. (2020): Six policy intervention points for sustainability transitions: A conceptual framework and a systematic literature review, *Research Policy*, 49(7), 104072

OECD (2019): OECD Principles on Artificial Intelligence, OECD Publishing, Paris: OECD

OECD (2024): OECD-Bericht zu Künstlicher Intelligenz in Deutschland, OECD Publishing, Paris: OECD

Radu, R. (2022): Steering the governance of artificial intelligence: national strategies in perspective, *Policy and Society*, 40(2), 178-193

Rogge, K., Song, Q. (2024): Achilles’ heels of acceleration? Assessing critical capacity for transformative policy mixes, in: Edler, J., Matt, M., Polt, W., Weber, M. (eds.): *Transformative Mission-Oriented Innovation Policies*, Cheltenham: Edward Elgar, 283-301

Schwäbe, C., Hummler, A., Blind, K. (2025): Exploring an Innovation Policy for Public Artificial Intelligence – Examples, instruments, future perspectives, Fraunhofer ISI Working Paper, Karlsruhe

Wanzenböck, I., Frenken, K. (2020): The subsidiarity principle in innovation policy for societal challenges, *Global Transitions*, 2, 51-59

Wanzenböck, I., Weber, M. (2024): Mission-oriented innovation policy and industrial policy. Key developments, new narratives and policy perspectives, Austrian Mission Facility Policy Paper No. 2/2024, Vienna

Weber, K.M., Rohracher, H. (2012): Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change: Combining insights from innovation systems and multi-level perspective in a comprehensive ‘failures’ framework, *Research Policy*, 41(6), 1037-1047

Wirtz, B.W., Langer, P.F., Weyerer, J.C. (2022): An Ecosystem Framework of AI Governance, in: Bullock, J.B., Chen, Y.-C., Himmelreich, J., Hudson, V.M., Korinek, A., Young, M.M., Zhang, B. (eds.): *The Oxford Handbook of AI Governance*, Oxford University Press, 398-419

Kapitel 2: Künstliche Intelligenz und komplementäre Technologien im Europäischen Forschungs- und Innovationsraum

Bernd Beckert, Henning Kroll, Peter Neuhäusler, Oliver Rothengatter, Sonia Gruber,
Peipei Yang

1 ZIELSETZUNG UND FRAGESTELLUNGEN

Das nachfolgende Kapitel fokussiert auf die Erfassung und Bewertung der Leistungsfähigkeit der EU und ihrer Mitgliedsstaaten im Bereich KI und komplementärer Technologien im Vergleich mit international führenden Ländern unter Berücksichtigung der wesentlichen globalen und europäischen Unternehmen. Konkret werden dabei die folgenden Aspekte abgedeckt:

- Entwicklung von Vergleichsindikatoren auf Basis geeigneter Datenquellen (z.B. Publikationen, Patentanmeldungen, Anzahl/Leistungsfähigkeit von Machine-Learning-Modellen, Unternehmensdatenbanken).
- Darstellung und Bewertung der Leistungsfähigkeit der EU 27 (gesamt und auf Ebene der Mitgliedsstaaten) im Bereich KI und komplementärer Technologien (z.B. Big Data, Mikroelektronik) im Vergleich mit anderen führenden Ländern weltweit.
- Erstellung einer Übersicht der globalen und europäischen Unternehmenslandschaft im Bereich KI anhand aussagekräftiger Indikatoren (z.B. Unternehmensumsatz und/oder Anzahl Mitarbeitende).

Dabei wurden die folgenden forschungsleitenden Fragestellungen zugrunde gelegt:

- Wie lässt sich die Leistungsfähigkeit Deutschlands in der KI-Forschung und -Anwendung besser und detaillierter erfassen als in bisherigen Studien?
- Welche thematischen Gruppierungen von Forschungs- und Anwendungsfeldern sind notwendig, um das gesamte Feld der KI und nicht nur die aktuellen Hype-Themen abzudecken?
- Welche aktuellen Positionierungen ergeben sich durch die Verwendung der erweiterten ISI-Definition von KI bezogen auf die EU-27 Länder sowie auf die Vereinigten Staaten von Amerika, China, Japan, Südkorea und andere führende Länder?
- Forschungsprofil „Künstliche Intelligenz“ in Deutschland: In welchen Bereichen der KI-Forschung besitzt Deutschland besondere Stärken und wo verweist der Forschungsoutput international gesehen auf besondere Schwächen?
- KI-Anbieter: Wer sind die Top-10 KI-Anbieter in Deutschland und wie groß sind diese im europäischen und internationalen Vergleich (gemessen am Umsatz bzw. der Anzahl Mitarbeiter)?

2 BIBLIOMETRIE UND MACHINE LEARNING MODELLE

2.1 Bibliometrie

2.1.1 Methodik Bibliometrie

Die Publikationsdaten wurden durch eine stichwortbasierte Suche in der Literaturdatenbank Elsevier SCOPUS erhoben. Bis 2022 können die Daten dabei aus der von Elsevier im Rahmen des Kompetenzzentrums Bibliometrie zur Verfügung gestellten Datenbank recherchiert werden, aktuellere Veröffentlichungen wurden über die ‚advanced search‘ Funktion des Online-Portals www.scopus.com recherchiert.

In die Zählung mit einbezogen wurden, entsprechend dem Standard der in den vergangenen Jahren für die EFI durchgeführten Analysen, Forschungsartikel, Konferenzeinreichungen, Reviews, Letters und Notes. Eine ergänzende Auswertung hat gezeigt, dass es für die hier vorgelegten Analysen keinen Unterschied macht, ob Journal Articles oder Conference Proceedings betrachtet werden.

Tabelle 2.1: Keywordliste für das Forschungsfeld „Artificial Intelligence“

0 Artificial intelligence	*shot learning, self-attention generative, retrieval-augmented generat%, multimodal AND artificial intelligence
1 Machine Learning	
2 Deep learning	
3 Artificial Neural Network*	deep neural network*, convolutional neural network*, graph neural network*, recurrent neural network*, genetic algorithm*, evolutionary algorithm* evolving fuzzy clustering, classification algorithm*, predict* AND model* AND artificial intelligence, support vector machine, supervised learning, semi-supervised learning, random forest, inference learning, AutoML, protein AND artificial intelligence
4 Unsupervised learning	feature selection AND machine learning, feature engineering, autoencoder, q-learning, policy gradient method, federated learning, meta-learning
5 Reinforcement learning	
6 Transfer learning AND machine learning	domain adaptation AND machine learning, hybrid AI
7 Natural language processing	natural language understanding, machine translation, feature extraction AND artificial intelligence, speech-to-text, multimodal AND AI, multimodal AND LLM, chatbot*
8 Generative AI	large language models, foundation models, generative adversarial networks, synthetic data AND deep learning,
9 Computer vision	pattern recognition AND artificial intelligence, image recognition AND artificial intelligence, image classification, face* recognition, image processing AND deep learning, video analysis AND artificial intelligence, object recognition, AND artificial intelligence, action recognition AND artificial intelligence. Cyber\ attack AND artificial intelligence
10 Explainable AI	responsible AI, trustworthy AI, AI ethics, neurosymbolic
11 Big data analytics	
12 Knowledge Graph*	knowledge representation AND AI, ontology-based AND AI, problem solving AND AI, Uncertainty AND AI
13 Logical reasoning AI	fuzzy logic AND AI
14 Decision Support System*	expert systems AND information systems, case-based reasoning, recommender system*, automated decision making
15 Computational Neuroscience	
16 Artificial General Intelligence	general AI, human-level AI
17 AI for Robotics	developmental robotics, embodied AI, humanoid robot*, mobile robot*, imitation learning AND robot*, computational intelligence, automation AND AI
18 Quantum comput* AND AI	

Quelle: Beckert; Kroll 2024, S. 38

Die geographische Zuordnung der Publikationen erfolgte entsprechend der Anbindung an eine Organisation, die in der Publikation genannt wird (Affiliation) der beteiligten Autoren. Waren an einem Papier mehr als ein Autor beteiligt oder hatten Autoren Mehrfach-Affiliationen, wurden die entsprechenden Publikationen in jedem einzelnen der über die Affiliation identifizierten Länder als inhaltlicher Beitrag gezählt. Der zugrundeliegende Gedanke ist, dass sich das durch gemeinsame wissenschaftliche Arbeit von allen Autoren gemeinsam geschaffene Wissen nicht ex-post wieder anteilig auf diese verteilt.

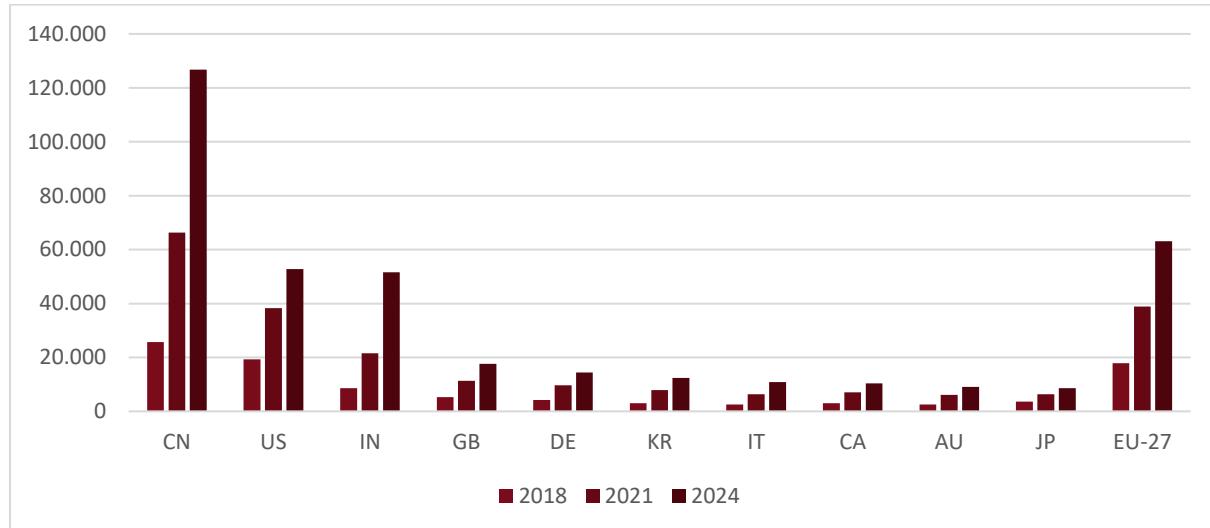
Zur Identifikation der einzelnen Themenfelder wurden stichwortbasierte Suchstrategien verwendet, die vor kurzem in einer ISI-internen Methodikarbeit (Beckert; Kroll 2024) erstellt wurden.

Tabelle 1 listet die zur Abgrenzung der einzelnen Themenfelder verwendeten Stichwörter auf.

2.1.2 Gesamtzahl der KI-Veröffentlichungen

Zunächst wurde die Gesamtzahl der KI-Veröffentlichungen, d.h. Artikeln in Fachzeitschriften sowie im Rahmen von Fachkonferenzen in Conference Proceedings veröffentlichten Beiträgen ermittelt. Abb. 1 zeigt die Entwicklung der KI-Veröffentlichungen im Abstand von je drei Jahren 2018, 2021 und 2024, differenziert nach Publikationsland.

Abbildung 2.1: KI-Veröffentlichungen der Top-10-Länder in den Jahren 2018, 2021 und 2024 (KI gesamt)



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Die Entwicklung zeigt einen starken Anstieg der KI-Veröffentlichungen und damit eine Ausweitung der KI-Forschung in allen Ländern. Mit Abstand die meisten KI-Artikel werden zzt. in China veröffentlicht, auf Platz zwei liegen die Vereinigten Staaten von Amerika. Indien folgt auf Platz drei und ist im Jahr 2024 beinahe gleichauf mit den USA. Der Forschungsoutput in Indien ist in den letzten Jahren stärker gestiegen als in den anderen Ländern.

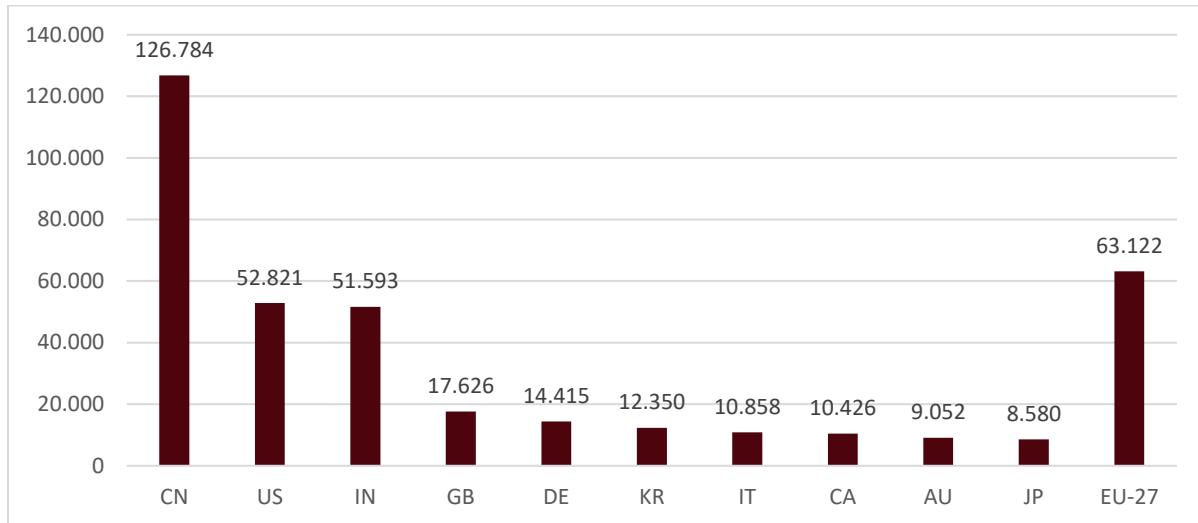
Die Gruppe nach den Top-3-Ländern wird angeführt von Großbritannien. Deutschland folgt, der Größe seiner Bevölkerung und seines Wissenschaftssystems entsprechend, auf Platz fünf. Auf ähnlichem Niveau folgen Südkorea, Italien, Kanada, Australien und Japan.

Die Publikationszahlen, welche in Abbildung 2 für das Jahr 2024 für die Top-10-Länder ausgewiesen sind, verdeutlichen den sich vergrößernden Vorsprung Chinas und zeigen den erst jüngst gestiegenen KI-Publikationsoutput Indiens. Als europäische Länder sind Großbritannien, Deutschland und Italien in der Top-10-Liste vertreten, allerdings mit großem Abstand zu den Top-3-Ländern.

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den Zahlen um die Anzahl von KI-Publikationen handelt. Über Qualität oder Relevanz der Forschungsbeiträge kann an dieser Stelle keine Aussage gemacht werden. Dadurch, dass die meisten KI-Veröffentlichungen erst in den letzten zwei bis drei Jahren erschienen sind und noch kaum zitiert werden konnten, lässt sich, anders als üblicherweise, keine eindeutige Bewertung ihrer Qualität über Zitationsmaße vornehmen. Zudem erfordern solche differenzierten Berechnungen die Verfügbarkeit einer vollständigen Datenbank, in der bislang aber sogar nur Daten bis 2022 vorliegen.

Abbildung 2 weist die Anzahl der KI-Publikationen der Top-10-Länder für das Jahr 2024 genauer aus.

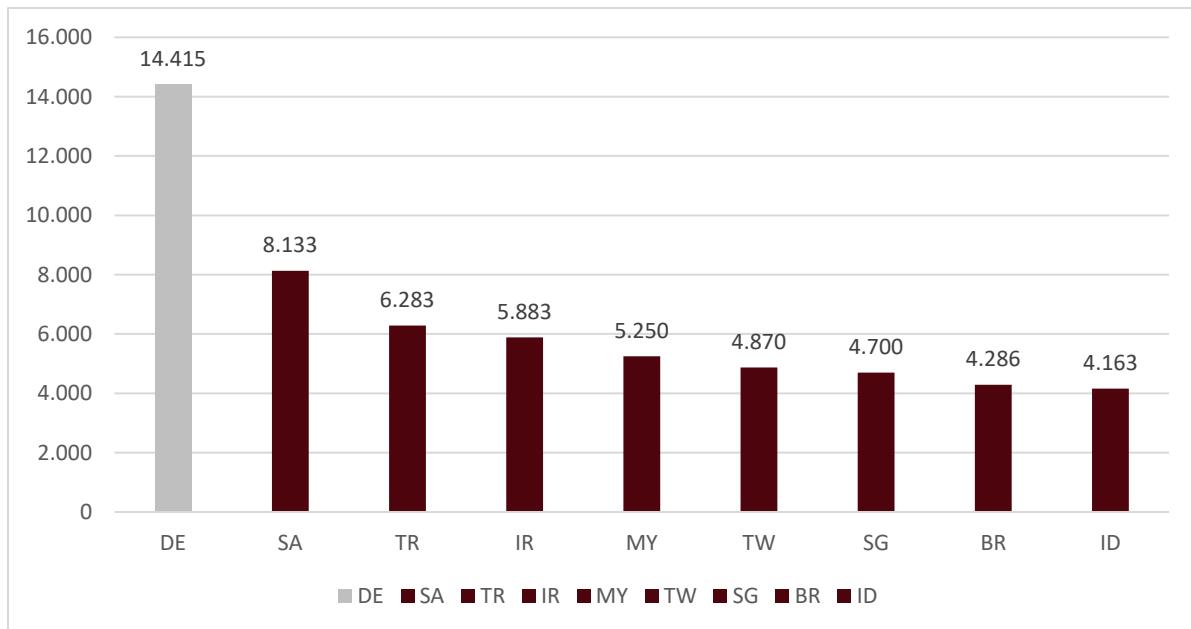
Abbildung 2.2: KI-Veröffentlichungen der Top-10-Länder im Jahr 2024 (KI gesamt) mit abs. Zahlen



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Abbildung 3 zeigt den Publikationsumfang jener nichteuropäischen Länder, die mit Blick auf den Umfang ihrer Aktivitäten hinter Japan, aber teils vor einigen Mitgliedern der EU-27 liegen. Zum Vergleich wurde die Anzahl aller KI-Publikationen aus Deutschland mit angegeben. Diese Länder werden hier vor allem aufgrund der erheblichen Presseresonanz dazu aufgeführt, dass dort KI-Forschung in den letzten Jahren teils massiv staatlich gefördert wird. Dies gilt insbesondere für Saudi-Arabien, das die Liste in Abbildung 3 anführt, gefolgt von der Türkei, Irland, Malaysia, Taiwan, Brasilien und Indonesien.

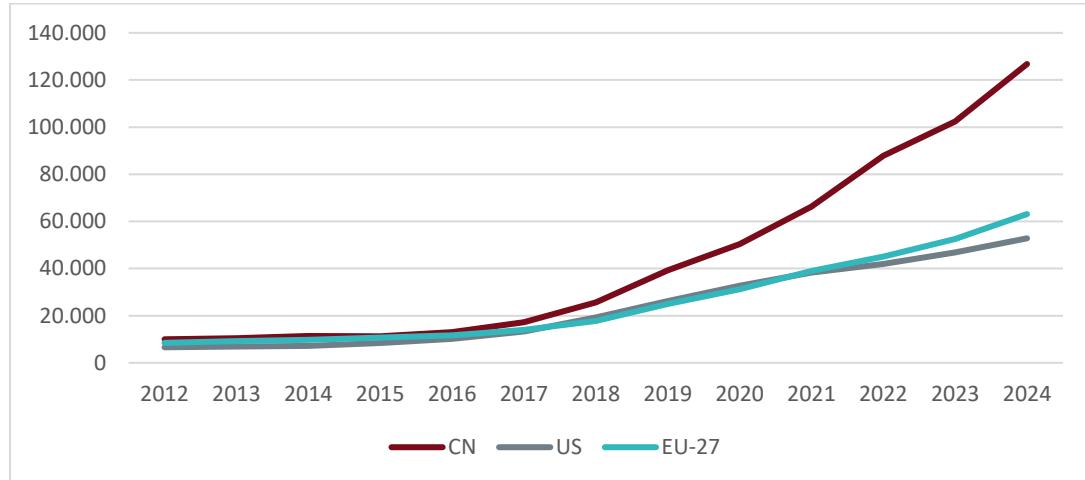
Abbildung 2.3: KI-Veröffentlichungen von Ländern, die 2024 nicht in der Top-10-Liste sind im Vergleich zu Deutschland (KI gesamt)



Hinweis: Die dargestellten Länder sind jene *nicht-europäischen Staaten*, die hinsichtlich ihres Publikationsumfangs nach direkt auf die Top-10 Länder folgen; bzgl. weiterer EU-27 Länder vgl. Abb.5
Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Im Zeitverlauf zeigt sich, dass China die USA im Jahr 2017 beim Output der KI-Forschung überholt hat (s. Abbildung 4). Die Vereinigten Staaten und die Länder der EU-27 tragen ungefähr gleich viel zur Gesamtzahl aller KI-Veröffentlichungen bei; seit 2022 gibt es sogar einen leichten Vorsprung der Europäer im Vergleich zu den USA.

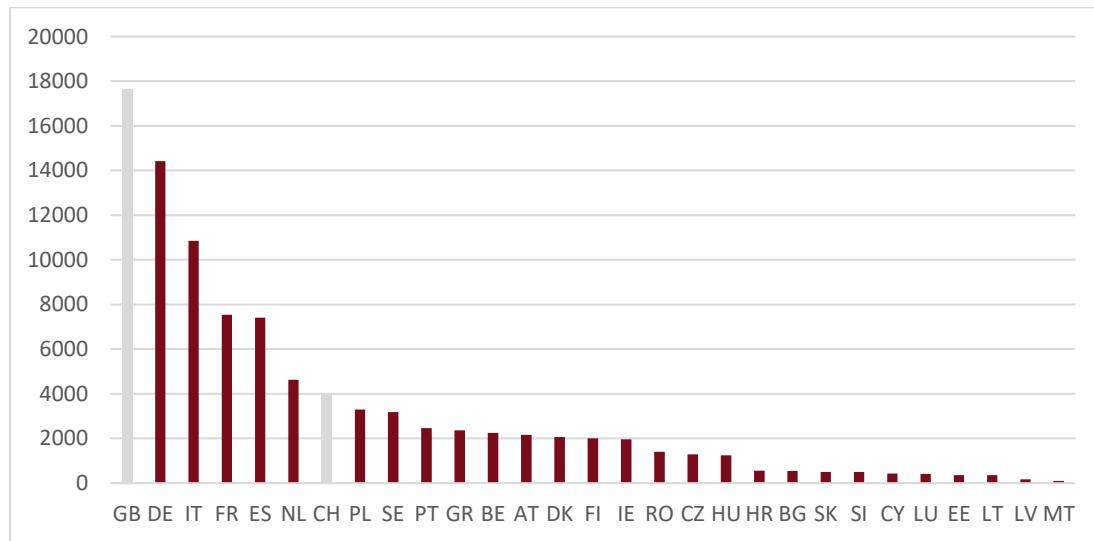
Abbildung 2.4: Entwicklung der absoluten Zahl aller KI-Veröffentlichungen in China, USA und der EU27 von 2012 bis 2024



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Betrachtet man die EU-27 Länder im Vergleich, zeigen sich drei Gruppen: zuerst die Spitzengruppe, die von Deutschland angeführt wird und zu der auch Italien, Frankreich, Spanien und die wesentlich kleineren Niederlande gehören. Die mittlere Gruppe, zu der die zehn Länder Polen, Schweden, Portugal, Griechenland, Belgien, Österreich, Dänemark, Finnland, Rumänien und Tschechien gehören. Und schließlich die Gruppe der kleinen Länder mit vergleichsweise wenig KI-Forschungsoutput (Kroatien, Slowakei, Slowenien, Zypern, Luxemburg, Estland, Litauen, Lettland und Malta).

Abbildung 2.5: KI-Veröffentlichungen der EU-27-Länder im Jahr 2024 (KI gesamt)



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

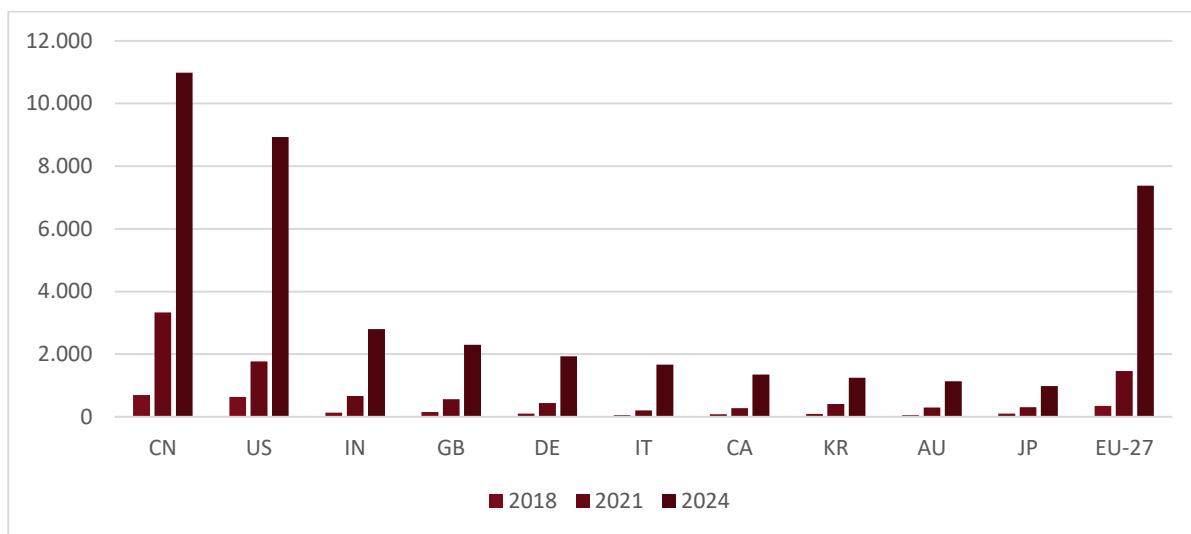
Auffällig an dieser Auswertung ist das starke Abschneiden von Italien: KI-Forschende in Italien veröffentlichten 2024 mehr KI-Artikel als z.B. Frankreich oder Spanien. Italien liegt damit bei den EU-27-Ländern auf Platz 2.

2.1.3 Generative KI

Generative KI wird für die autonome Generierung von neuen Inhalten oder Informationen verwendet. Text, Sprache oder Bilder werden auf der Basis von Deep Learning Modellen generiert. Chatbots, wie zum Beispiel ChatGPT von Open AI oder das Open Source Modell von Mistral basieren auf generativer KI. In unserem Keyword-Set beschreiben insgesamt 12 Stichwörter den KI-Forschungsbereich der generativen KI. Dazu zählen u.a. „Large Language Models“, „Foundation Models“ oder „Generative Adversarial Networks“ (siehe Anhang).

Abbildung 6 zeigt, dass China auch bei der generativen KI die meisten Veröffentlichungen vorzuweisen hat, gefolgt von den USA. Indien hat im Bereich der generativen KI weniger stark aufgeholt als bei den gesamten KI-Publikationen (s. Abb. 1 und 2) und folgt mit Abstand auf Platz drei. Großbritannien belegt wie bei der Auszählung der gesamten KI-Veröffentlichungen Platz vier. Auf den Plätzen 5 bis 10 folgen die gleichen Länder wie bei der Auszählung der gesamten KI-Veröffentlichungen, allerdings in leicht veränderter Reihenfolge. Erneut ist Italien bemerkenswert gut platziert.

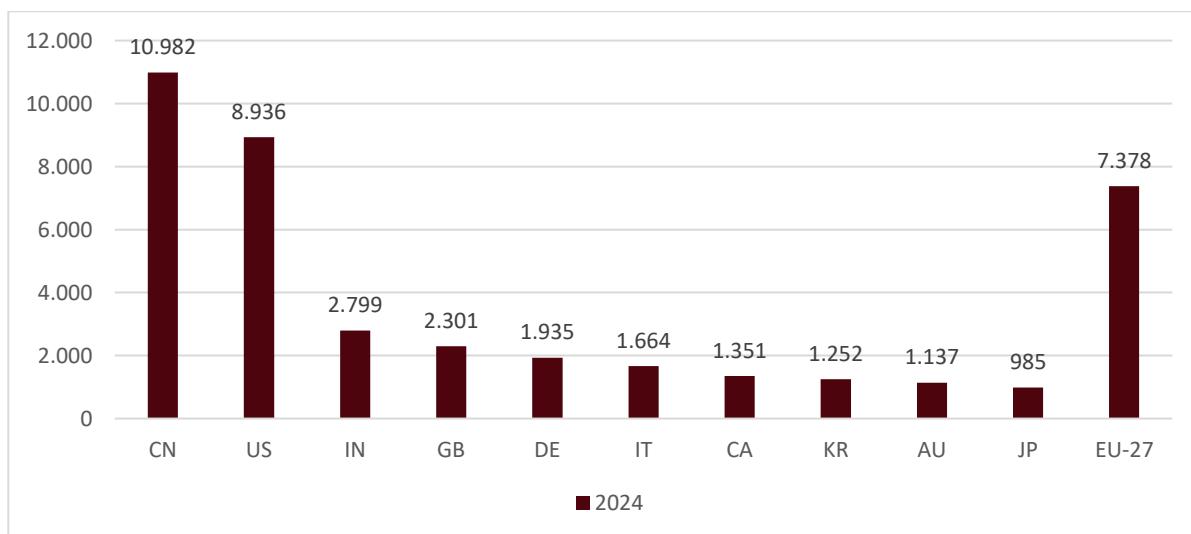
Abbildung 2.6: Generative KI: Anzahl Publikationen weltweit für 2018, 2021 und 2024: Top-10-Länder



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Abb. 7 zeigt die Anzahl der Veröffentlichungen im Bereich der generativen KI im Jahr 2024 in den Top-10-Ländern.

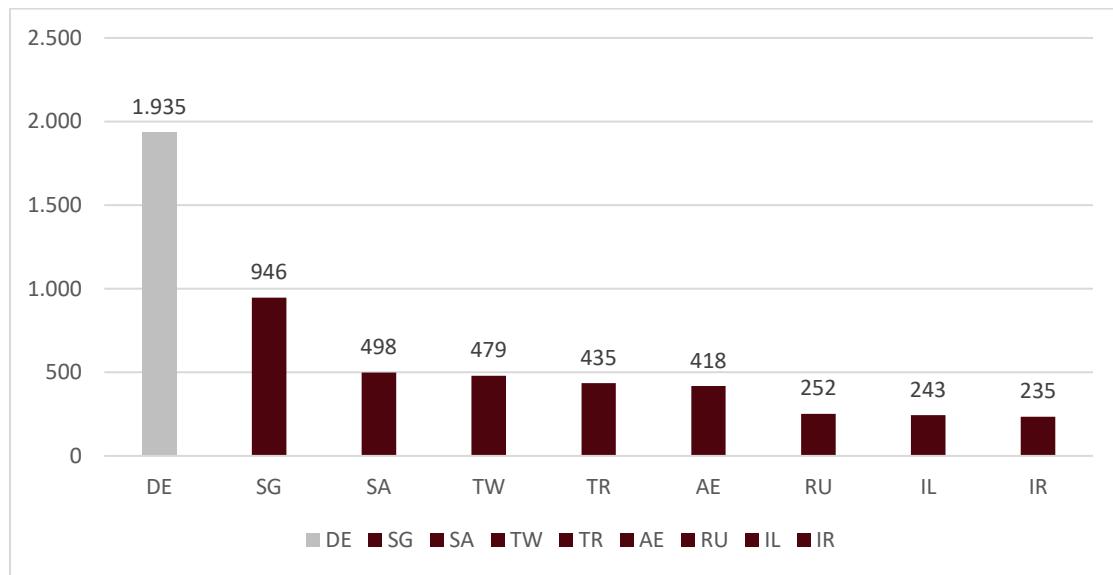
Abbildung 2.7: Generative KI: Veröffentlichungen der globalen Top-10-Länder im Jahr 2024



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Länder mit weniger Publikationen zu GenAI als die globalen Top-10-Länder zeigt Abbildung 8. Dazu wird erneut Deutschland als Vergleichsland abgebildet. Die Reihung zeigt, dass Singapur mit 946 noch das gleiche Niveau wie Japan (985 Veröffentlichungen) erreicht, die folgenden Länder aber deutlich weniger GenAI-Veröffentlichungen aufweisen. Länder unter 500 Veröffentlichungen sind: Singapur, Saudi-Arabien, Taiwan, Türkei und die Vereinten Arabischen Emirate. Weniger als 300 Veröffentlichungen weisen Russland, Israel und Irland auf.

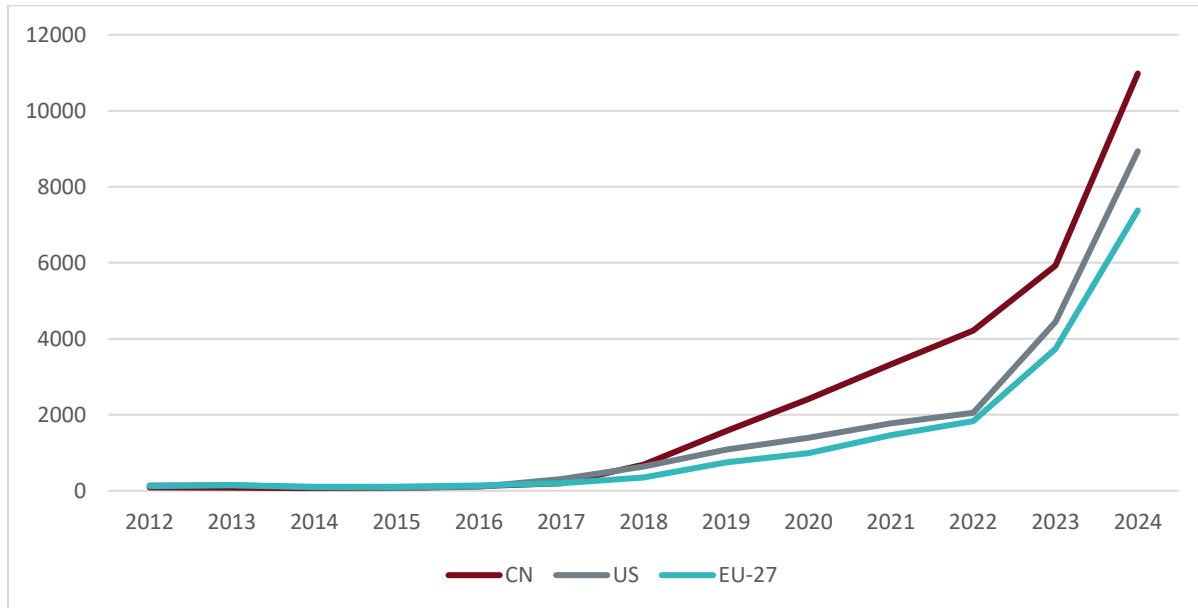
Abbildung 2.8: Generative KI: Veröffentlichungen von nichteuropäischen Ländern, die 2024 nicht in der Top-10-Liste im Vergleich zu Deutschland



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Der Vergleich der geographischen Regionen (USA, China und EU-27, d.h. ohne GB, siehe Abbildung 9 zeigt, dass China bei Generativer KI im Jahr 2024 vor den USA liegen und Platz 3 von den EU-27-Ländern belegt wird. Im Zeitverlauf zeigt sich, dass das rasante Wachstum der GenAI-Publikationen im Jahr 2022 beginnt. Davor gab es seit ca. 2018 eine Take-off-Phase, in der China im Hinblick auf die Zahl der Publikationen recht schnell vorne lag.

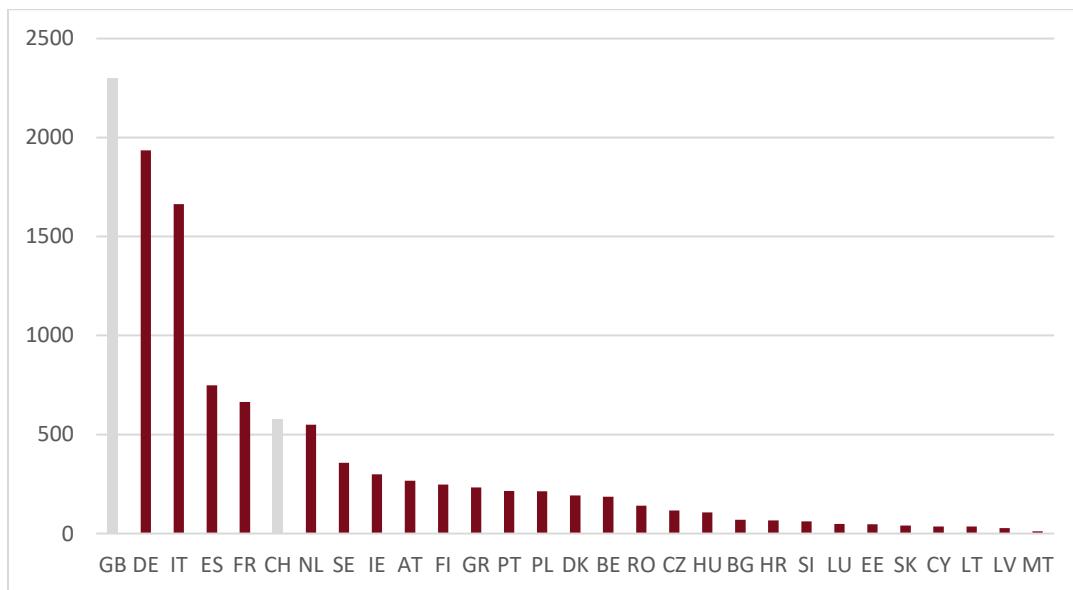
Abbildung 2.9: Entwicklung der GenAI-Forschung in China, USA und EU27 von 2012 bis 2024



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Betrachtet man die einzelnen EU-27-Länder sowie Großbritannien und die Schweiz, so ergibt sich folgendes Bild (Abb. 10):

Abbildung 2.10: Zahl der GenAI-Veröffentlichungen europäischer Länder im Jahr 2024



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Die beiden publikationsstärksten europäischen Länder im Bereich der generativen KI sind (nach Großbritannien) Deutschland und Italien mit jeweils über 1.500 Publikationen im Jahr 2024. Die Gruppe der Länder mit mehr als 500 Publikationen besteht aus Spanien, Frankreich und der Niederlande. Eine dritte Gruppe bilden die Länder Schweden, Österreich, Finnland, Griechenland, Portugal, Dänemark, Belgien, Rumänien und Tschechien, die zwischen 350 (Schweden) und 114 (Tschechien) Veröffentlichungen zu generativer KI vorweisen können. Die übrigen Länder kommen jeweils auf weniger als 100 Veröffentlichungen im Jahr 2024.

Um die Bedeutung der Forschung zu generativer KI, des aktuell wichtigsten KI-Forschungsbereiches, in einem bestimmten Land zu zeigen, wurde der Anteil von GenAI-Publikationen an der Gesamtzahl der KI-Veröffentlichungen des entsprechenden Landes berechnet (Abbildung 11).

Abbildung 2.11: Anteil GenAI-Publikationen an allen KI-Publikationen 2024 in Prozent (Top 35 Länder)



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Länder mit einem hohen Anteil an GenAI-Publikationen haben ihre KI-Forschung frühzeitig an diesem Trend ausgerichtet bzw. haben diesen Trend selbst mit verursacht. Länder mit einem geringeren GenAI-Anteil haben ihre Stärken in anderen KI-Bereichen oder sie haben den Trend zu Generativer KI zunächst verpasst.

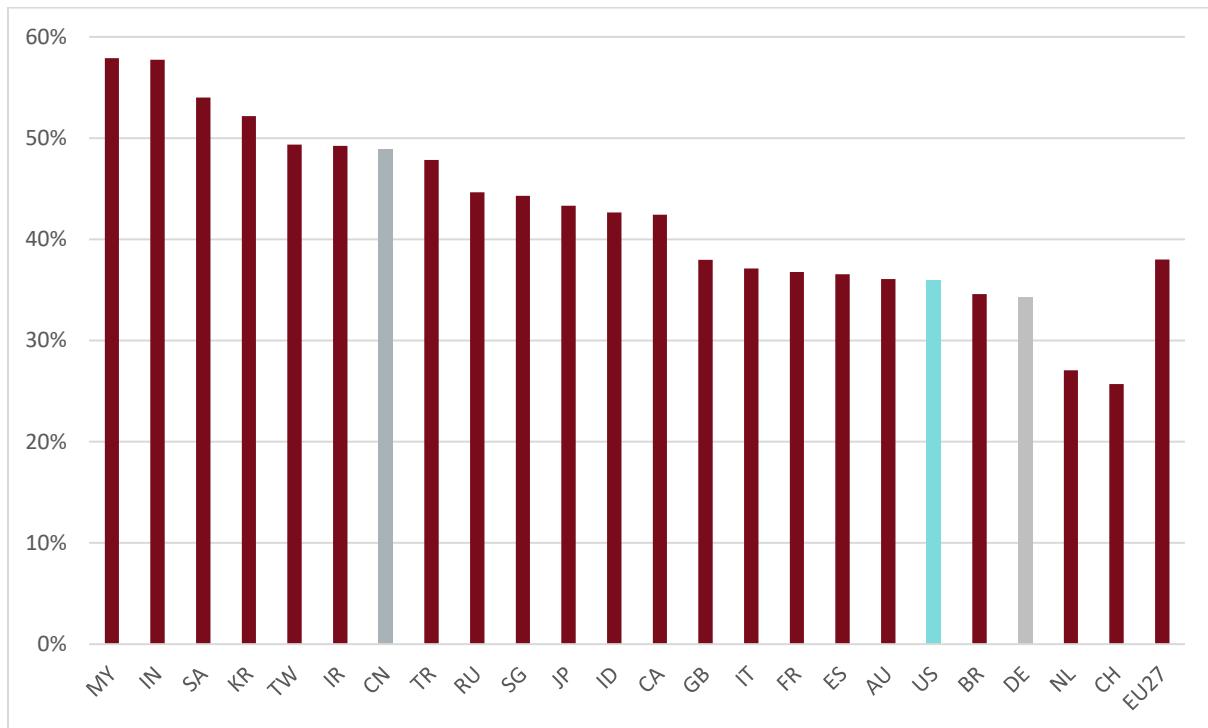
USA, China und Deutschland wurden farblich markiert. Es zeigt sich, dass Singapur mit 20% GenAI-Publikationen an den Gesamt-KI-Publikationen des Landes die höchste Spezialisierung auf GenAI aufweist. Es folgen die USA, Israel und die Schweiz. Deutschland folgt auf Platz 5 vor Österreich und Großbritannien. China belegt mit nur ca. 6% einen hinteren Platz bei der Spezialisierung auf GenAI. Es sei darauf hingewiesen, dass China dennoch ein Vielfaches an GenAI-Publikationen aufweist wie z.B. Singapur. Die hier ausgewiesenen GenAI-Anteile sagen erneut nichts über die Qualität, Relevanz oder auch nur den absoluten Umfang der Arbeiten aus, sondern lediglich über den Grad der Spezialisierung der jeweiligen KI-Forschungslandschaft auf das Thema „Generative KI“.

2.1.4 Anwendungsorientierte KI-Forschung

Das Spektrum der KI-Forschung ist breit, die verschiedenen Forschungsfelder unterscheiden sich u.a. im Hinblick auf ihre Anwendungsnähe.

Eine Methode, genuine KI-Grundlagenforschung von eher anwendungsorientierter Forschung zu unterscheiden, die sich primär mit der Implementierung von KI-Lösungen zu unterschiedlichen Zwecken befasst, besteht darin, Publikationen in den KI-Kerndisziplinen wie Computerwissenschaften von jenen in den Ingenieurwissenschaften zu trennen. Abbildung 12 zeigt den Anteil jener KI-Publikationen, die in ingenieurwissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht wurden.

Abbildung 2.12: Anteil von in den Ingenieurwissenschaften veröffentlichten KI-Publikationen im Verhältnis zur Gesamtzahl aller KI-Veröffentlichungen im Jahr 2023



Anmerkung: Ingenieurwissenschaften abgegrenzt über ASJC-Codes: 22XX, 15XX und 21XX.
Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Die obenstehende Graphik bestätigt einen besonders hohen Anteil eher anwendungsorientierter Forschung erwartungsgemäß in Ländern wie Malaysia, Indien, Saudi-Arabien, dem Iran und der Türkei, aber auch in Südkorea, Taiwan und China. Mindestens knapp die Hälfte aller KI-Veröffentlichungen in diesen Ländern wurden im Bereich der Ingenieurwissenschaften verfasst, in manchen Ländern sogar deutlich mehr. In Deutschland, den USA, den Niederlanden oder der Schweiz liegt der Anteil entsprechender Veröffentlichungen dagegen nur bei maximal einem guten Drittel, in Teilen deutlich darunter. Dies legt einen verstärkten Fokus auf KI-Grundlagenforschung nahe und unterstreicht damit den Eindruck, dass Deutschland nicht nur über die Kompetenzen verfügt, bestehende KI-Lösungen in traditionellen Anwendungszusammenhängen anzuwenden, sondern durchaus auch über die Fähigkeit, selbständig originäre Lösungen zu entwickeln.

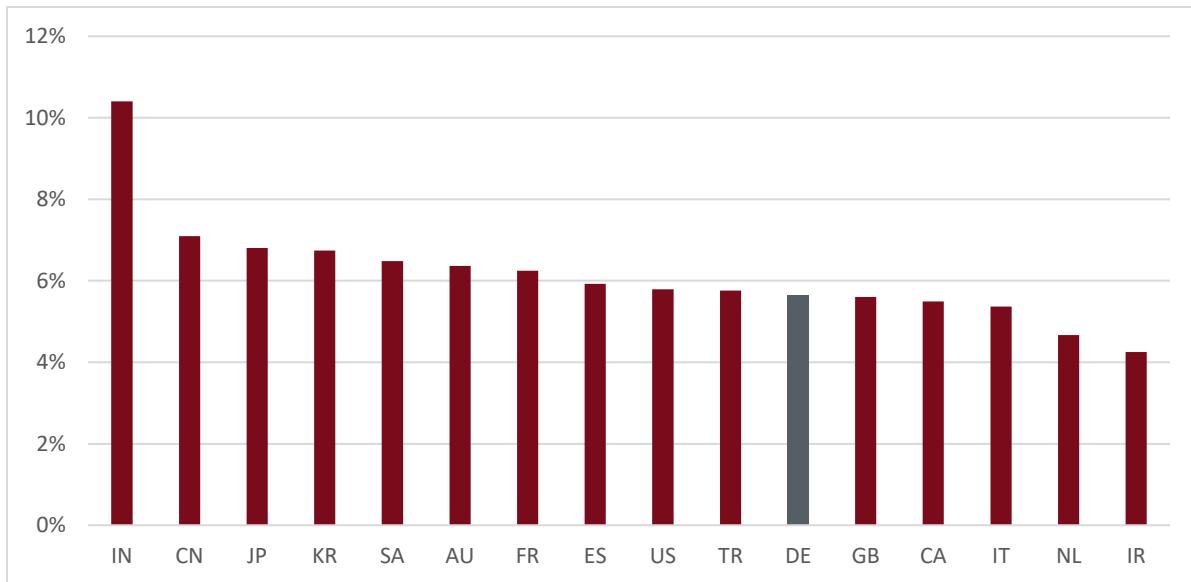
Zu berücksichtigen ist ergänzend zu dieser Strukturanalyse allerdings weiterhin die Gesamtzahl der Veröffentlichungen, auf die sich die Anteile beziehen. Ungeachtet der Tatsache, dass in der deutschen KI-Forschung ein geeignetes, dem US-amerikanischen ähnliches Verhältnis zwischen angewandter und Grundlagenforschung besteht, liegt die Gesamtzahl der chinesischen Publikationen im Bereich grundlagenorientierter KI-Forschung dennoch um Faktor zehn über jener aus Deutschland. Hauptsächlich ergibt sich somit aus dieser Analyse die Erkenntnis, dass die mitunter geäußerte Vermutung, dass Deutschland nur noch über geringe Fähigkeiten verfüge, zur Entwicklung innovativer KI-Lösungen beizutragen, zumindest wissenschaftsweitig und mit Blick auf die analytischen Kompetenzen seiner Forschenden nicht zutrifft.

Hinsichtlich einzelner Anwendungsbereiche kann sich die Spezialisierung einzelner Staaten allerdings ungeachtet ihrer globalen Anwendungsorientierung stark unterscheiden.

Hierbei ist grundsätzlich zu beachten, dass mittels solcher sehr spezifischen Analysen nur sehr geringe Anteile des Gesamtpublikationsaufkommen erfasst werden und die gewonnenen Erkenntnisse bestenfalls indikativen Charakter haben. Eine klare Aussage über Stärken und Schwächen ist auf diese Weise nicht eindeutig möglich. Trotzdem sind sie zur Nachzeichnung bestimmter, vermuteter Schwerpunkte illustrativ von Interesse.

Ein solches, spezifisches Anwendungsfelder ist die Bild- und Mustererkennung in der Produktion oder die Klassifizierung von MRT-Scans. Dieser Anwendungen profitieren von Fortschritten im Forschungsfeld „Computer Vision“ (s. Abbildung 13). Auf diese Anwendungen, deren Entwicklung keine spezifische industrielle Basis erfordern, erscheint vor allem Indien spezialisiert, wo sich mehr als 10% aller Veröffentlichungen mit diesem Thema befassen, in Deutschland spielen sie mit unter 6% eine im Ländervergleich eher nachgeordnete Rolle ein.

Abbildung 2.13: Anteil von Computer-Vision-Artikeln an gesamt KI-Artikeln 2024 (Top-15)

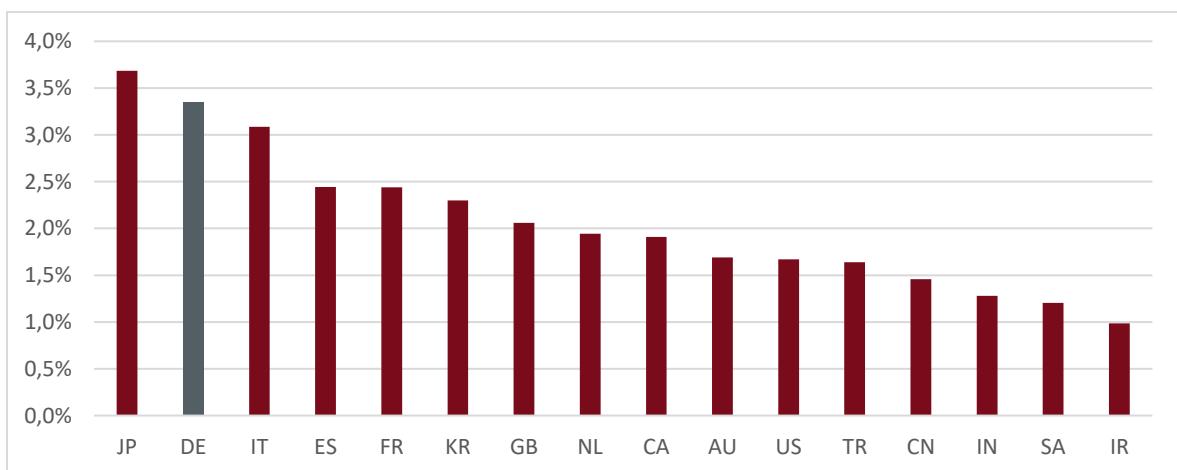


Anmerkung: Computer Vision eingegrenzt auf Basis einer Keywordliste im Anhang, basierend auf Schlagwörtern wie „Pattern Recognition“, „Image Classification“ oder „Object Recognition“.

Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Im spezifischen Anwendungsbereich „AI for Robotics“, in dem Entwicklungen kaum losgelöst von einer bereits bestehenden Spezialisierung auf relevante Anwendungsbereiche im Maschinenbau denkbar erscheinen, ist Deutschland erwartungsgemäß stark spezialisiert; immerhin mehr als 3% aller KI-Publikationen befassen sich mit diesem Thema (s. Abbildung 14). Auch in anderen Ländern mit einer starken Basis im Bereich Maschinenbau wie Japan und Italien werden Werte in der Größenordnung jener Deutschlands erreicht. In den USA sowie dem grundsätzlich durchaus anwendungsorientierten System Chinas sind die Anteile dagegen eher gering – wobei erneut zu berücksichtigen bleibt, dass die absolute Zahl US-amerikanischer und chinesischer Publikationen auch ungeachtet geringerer Anteile über jener deutscher Wissenschaftler liegt.

Abbildung 2.14: Anteil von „AI for Robotics“-Artikeln an gesamt KI-Artikeln 2024 (Top-15)



Anmerkung: AI for Robotics eingegrenzt auf Basis der Keywordliste aus Tabelle 1 („Mobile Robot“, „Image Learning AND Robots“, „Embodied Robotics“ u.a.)
Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Aufgrund der in vielen Ländern noch immer eher geringen absoluten Anzahl an KI-Publikationen ist eine vertiefte Analyse zu weiteren Themenschwerpunkten zur Zeit noch nicht, bzw. nicht über einfache Verschlagwortung möglich.

2.1.5 Kooperationsneigung

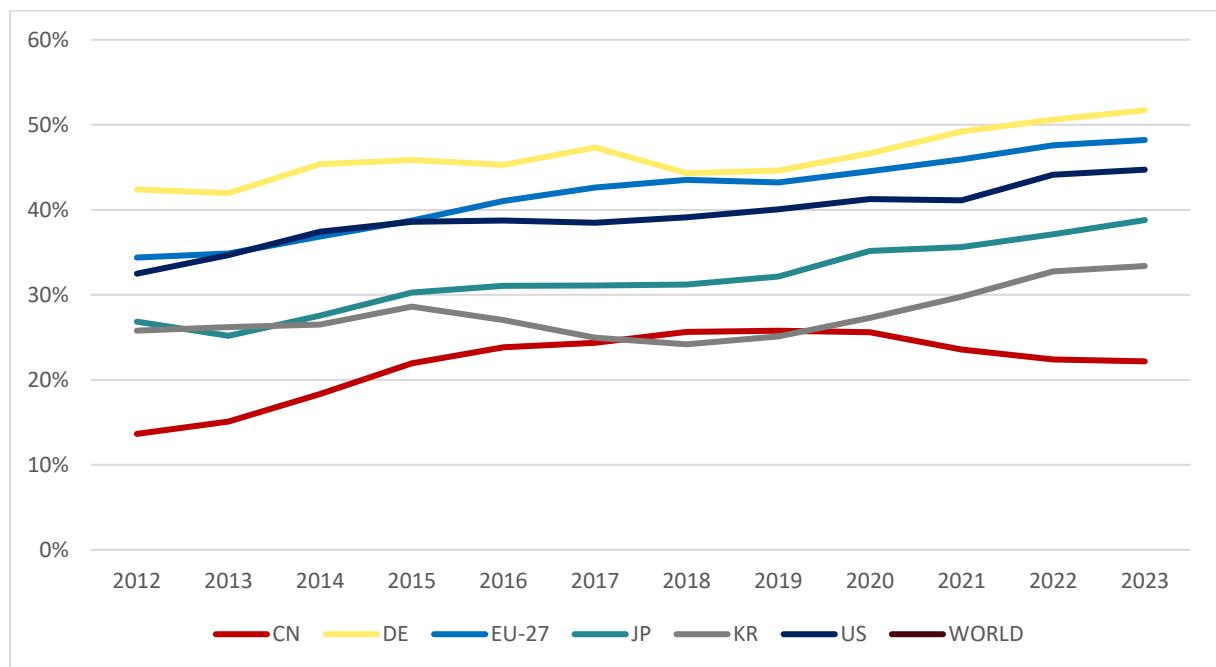
Wie aus Abbildung 15 ersichtlich, liegt Deutschland hinsichtlich des Anteils seiner KI-Publikationen, bei denen es sich um internationale Ko-Publikationen handelt, leicht über dem EU-27 Durchschnitt (52% vs. 48%) und über dem Wert der Vereinigten Staaten (45%). Andere Länder wie Japan (39%), Korea (33%), und China (22%) weisen deutlich geringere Kooperationsraten auf. Dies entspricht der auch themenübergreifend gegebenen stärkeren Geschlossenheit ihrer Wissenschaftssysteme.

Insgesamt unterscheiden sich diese Anteile nicht wesentlich von jenen, die sich auch für das akademische Publikationsgeschehen insgesamt identifizieren lassen. Lediglich die Kooperationsneigung der Vereinigten Staaten liegt im Bereich KI etwas fünf Prozentpunkte über ihrer allgemeinen Kooperationsneigung. Wissenschaftliche Erkenntnisse im Bereich künstliche Intelligenz werden somit in ähnlicher Weise wie in anderen Bereichen in internationaler Kooperation erzielt, aber nicht in deutlich überdurchschnittlicher Weise.

Beachtenswert erscheint der - im Gegensatz zum allgemeinen Trend stehende - aktuelle Rückgang der Kooperationsneigung Chinas, der bis 2020 auf ca. 27% anstieg, danach aber wieder um fünf Prozentpunkte zurückging. Auch dies entspricht allerdings in Teilen dem allgemeinen Trend und ist vermutlich eher der insgesamt sehr dynamischen Entwicklung des Publikationsgeschehens geschuldet als einer bewussten Wendung nach innen.

Die Gesamtzahl der internationalen Ko-Publikationen steigt auch in China noch immer erheblich an. Im Vergleich erscheint es allerdings vielleicht gerade deswegen bemerkenswert, dass in Korea, das ebenfalls ein deutliches absolutes Wachstum verzeichnet, seit 2020 eine gegenläufige, positive Entwicklung der Kooperationsneigung festzustellen ist.

Abbildung 2.15: Entwicklung der wissenschaftlichen Kooperationsneigung zentraler Länder im Bereich künstlicher Intelligenz 2012-23, Anteil internationaler Ko-Publikationen an allen Ko-Publikationen



Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

2.1.6 Kooperationspartner

Deutschlands wichtigster akademischer Kooperationspartner im Bereich der künstlichen Intelligenz sind mit einem Anteil von 28% an allen internationalen Ko-Publikationen die Vereinigten Staaten, gefolgt von Großbritannien mit 18%. Es folgen China mit 14%, die Schweiz mit 11%, Italien mit 10%, die Niederlande mit 10%, Frankreich mit 9%, Spanien mit 8% und Österreich mit 7%.

Insgesamt liegt der Anteil von Ko-Publikationen mit Partnern aus der EU-27 bei 47%, und damit deutlich über dem der Vereinigten Staaten. Zählt man Großbritannien hinzu, wird die Dominanz dieser europäischen Ausrichtung noch einmal deutlicher. Andere globale Partner wie Kanada (6%) oder Indien (4%) spielen demgegenüber eine stark nachgeordnete Rolle.

Dieses auf Basis von Zahlen der Jahre 2021-23 berechnete Bild hat sich seit dem Beginn der KI-Dynamik Mitte der 2010er Jahre geringfügig verändert. Strukturanalysen auf Basis von Zahlen aus den Jahren 2015-17 zeigen einerseits, dass bereits damals die Vereinigten Staaten mit einem Anteil von 26% und Großbritannien mit einem Anteil von 18% dominierende Partner Deutschlands waren. Auf China entfielen allerdings lediglich 8% und auch die Anteile anderer europäischer Länder lagen leicht unterhalb ihres aktuellen Niveaus (Schweiz mit 9%, Italien 8%, Niederlande 8%, Frankreich 9%, Spanien 6%, Österreich 6%).

Weltweit ist festzuhalten, dass die Vereinigten Staaten und China für sich gegenseitig (32% bzw. 30% Anteil) die bedeutendste Referenz darstellen, und sich alle anderen Länder entsprechend an diesen beiden Kompetenzzentren ausrichten. In vielen Ländern wie Indien, Deutschland, Korea, Italien, Frankreich, Spanien, Schweden und Israel ist dabei ein – teils deutlicher – Schwerpunkt auf die Vereinigten Staaten festzustellen.

In anderen Ländern, darunter erwartungsgemäß Japan aber auch Großbritannien, lässt sich bereits eine leichte Priorität auf der Kooperation mit China erkennen. Auch in Kanada und Finnland liegen die Anteile Chinas nur sehr geringfügig hinter jenen der Vereinigten Staaten. Auch diese Schwerpunktsetzung hat sich seit Beginn der dynamischen Entwicklungen im Bereich künstliche Intelligenz nicht fundamental verändert. Allerdings sind die Anteile Chinas fast durchgängig erkennbar angestiegen, vor allem in europäischen Ländern.

Dessen ungeachtet besteht insgesamt eine vergleichsweise starke Integration der Aktivitäten im europäischen Forschungsverbund, der Anteil von Partnerländern aus der EU-27 liegt in den meisten EU-Ländern bei über 40% (Deutschland 47%, Frankreich 41%, Italien 53%, Spanien 51%, Belgien 65%, Österreich 69%, Schweden 52%, Dänemark 53%, Polen 48%).

Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen die Kooperationen kumuliert für die Jahre 2021 bis 2023 und Tabellen 4 und 5 für den Zeitraum davor (2016-2018).

Tabelle 2.2: Anzahl der Ko-Publikationen und Anteile der Länder an allen Ko-Publikationen, KI, 2021-2023

	CN	US	IN	GB	DE	KR	IT	CA	FR	JP	ES	NL	BR	RU	CH	SE	PL	BE	AT	DK	FI	IL	EU-27		
CN		9,84 %	0,91 %	4,60 %	1,34 %	1,04 %	0,66 %	2,25 %	0,78 %	1,61 %	0,46 %	0,62 %	0,17 %	0,35 %	0,43 %	0,42 %	0,25 %	0,26 %	0,19 %	0,33 %	0,36 %	0,11 %	5,23 %		
US	17531		2,40 %	3,67 %	2,71 %	1,79 %	1,55 %	2,94 %	1,43 %	1,07 %	1,03 %	1,20 %	0,74 %	0,30 %	1,21 %	0,66 %	0,36 %	0,47 %	0,45 %	0,50 %	0,40 %	0,61 %	8,75 %		
IN	1624	4274		1,03 %	0,42 %	0,61 %	0,37 %	0,47 %	0,27 %	0,27 %	0,26 %	0,17 %	0,13 %	0,23 %	0,15 %	0,15 %	0,19 %	0,07 %	0,08 %	0,12 %	0,12 %	0,06 %	2,29 %		
GB	8190	6539	1827		1,76 %	0,38 %	1,19 %	0,94 %	0,91 %	0,44 %	0,92 %	1,25 %	0,37 %	0,23 %	0,76 %	0,45 %	0,24 %	0,41 %	0,34 %	0,36 %	0,29 %	0,17 %	6,19 %		
DE	2386	4831	753	3144		0,25 %	1,00 %	0,59 %	0,88 %	0,32 %	0,76 %	0,98 %	0,27 %	0,22 %	1,03 %	0,44 %	0,27 %	0,41 %	0,69 %	0,35 %	0,23 %	0,15 %	4,63 %		
KR	1853	3181	1083	672	446		0,15 %	0,27 %	0,13 %	0,19 %	0,13 %	0,08 %	0,07 %	0,07 %	0,10 %	0,07 %	0,08 %	0,07 %	0,05 %	0,05 %	0,07 %	0,02 %	0,84 %		
IT	1168	2753	663	2113	1776	260		0,35 %	0,82 %	0,20 %	0,76 %	0,57 %	0,23 %	0,14 %	0,66 %	0,29 %	0,21 %	0,32 %	0,30 %	0,18 %	0,17 %	0,10 %	3,38 %		
CA	4006	5245	845	1668	1059	483	621		0,49 %	0,24 %	0,26 %	0,29 %	0,26 %	0,07 %	0,26 %	0,21 %	0,14 %	0,12 %	0,12 %	0,14 %	0,11 %	0,10 %	2,07 %		
FR	1388	2540	473	1627	1573	228	1460	866		0,24 %	0,55 %	0,39 %	0,23 %	0,13 %	0,43 %	0,19 %	0,16 %	0,32 %	0,18 %	0,15 %	0,14 %	0,08 %	2,66 %		
JP	2865	1901	488	780	574	337	357	436	435		0,19 %	0,12 %	0,07 %	0,06 %	0,14 %	0,09 %	0,08 %	0,07 %	0,07 %	0,06 %	0,06 %	0,09 %	0,04 %	1,02 %	
ES	823	1837	466	1648	1352	237	1354	461	977	340		0,41 %	0,24 %	0,09 %	0,33 %	0,23 %	0,18 %	0,24 %	0,17 %	0,17 %	0,14 %	0,07 %	0,07 %	2,59 %	
NL	1101	2134	296	2219	1739	144	1010	515	703	209	728		0,12 %	0,07 %	0,43 %	0,23 %	0,11 %	0,38 %	0,19 %	0,24 %	0,13 %	0,08 %	0,08 %	0,245 %	
BR	305	1310	235	657	475	124	405	470	416	125	422	206		0,05 %	0,11 %	0,10 %	0,06 %	0,08 %	0,06 %	0,05 %	0,06 %	0,06 %	0,03 %	0,03 %	1,23 %

RU	618	537	409	416	389	124	245	128	224	114	160	116	84		0,07 %	0,04 %	0,07 %	0,05 %	0,05 %	0,03 %	0,05 %	0,04 %	0,67 %
CH	773	2151	271	1363	1837	180	1172	472	766	244	591	775	193	128		0,21 %	0,12 %	0,21 %	0,21 %	0,18 %	0,11 %	0,07 %	2,46 %
SE	745	1173	265	808	779	119	518	368	343	166	414	417	170	79	372		0,08 %	0,13 %	0,10 %	0,18 %	0,22 %	0,04 %	1,38 %
PL	454	648	331	433	481	151	380	252	285	141	329	200	109	120	209	141		0,07 %	0,08 %	0,06 %	0,06 %	0,04 %	0,86 %
BE	461	840	119	724	722	118	564	219	569	119	433	680	137	85	368	228	119		0,09 %	0,10 %	0,06 %	0,04 %	1,29 %
AT	332	809	146	603	1227	92	530	206	319	130	304	346	106	97	383	176	140	155		0,08 %	0,07 %	0,04 %	1,28 %
DK	594	886	211	633	623	96	328	246	261	101	298	429	84	62	322	327	103	172	141		0,10 %	0,03 %	1,01 %
FI	648	711	218	524	414	127	299	193	244	155	252	234	115	94	203	385	112	103	126	179		0,03 %	0,00 %
IL	191	1086	106	305	261	41	185	176	145	68	120	141	61	66	129	64	64	64	80	61	46		0,40 %
EU-27	9326	15589	4085	11022	8252	1489	6022	3683	4740	1822	4613	4363	2195	1198	4384	2464	1537	2292	2273	1794		714	
Total	57969	55196	18507	28418	17426	9063	11374	14797	11484	8014	9077	8022	4267	3130	6769	4727	3200	3524	3299	3407	3135	1934	67072

Notiz: EU-27 ergänzend, nicht Teil von Referenzsummenbildungen

Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Tabelle 2.3: Anteil der Ko-Publikationen nach Partnerland, KI, 2021-2023

	CN	US	IN	GB	DE	KR	IT	CA	FR	JP	ES	NL	BR	RU	CH	SE	PL	BE	AT	DK	FI	IL	EU-27
CN	32%	9%	29%	14%	20%	10%	27%	12%	36%	9%	14%	7%	20%	11%	16%	14%	13%	10%	17%	21%	10%	14%	
US	30%		23%	23%	28%	35%	24%	35%	22%	24%	20%	27%	31%	17%	32%	25%	20%	24%	25%	26%	23%	56%	23%
IN	3%	8%		6%	4%	12%	6%	6%	4%	6%	5%	4%	6%	13%	4%	6%	10%	3%	4%	6%	7%	5%	6%
GB	14%	12%	10%		18%	7%	19%	11%	14%	10%	18%	28%	15%	13%	20%	17%	14%	21%	18%	19%	17%	16%	16%
DE	4%	9%	4%	11%	0%	5%	16%	7%	14%	7%	15%	22%	11%	12%	27%	16%	15%	20%	37%	18%	13%	13%	12%
KR	3%	6%	6%	2%	3%		2%	3%	2%	4%	3%	2%	3%	4%	3%	3%	5%	3%	3%	3%	4%	2%	2%
IT	2%	5%	4%	7%	10%	3%		4%	13%	4%	15%	13%	9%	8%	17%	11%	12%	16%	16%	10%	10%	10%	9%
CA	7%	10%	5%	6%	6%	5%	5%		8%	5%	5%	6%	11%	4%	7%	8%	8%	6%	6%	7%	6%	9%	5%
FR	2%	5%	3%	6%	9%	3%	13%	6%		5%	11%	9%	10%	7%	11%	7%	9%	16%	10%	8%	8%	7%	7%
JP	5%	3%	3%	3%	3%	4%	3%	3%	4%		4%	3%	3%	4%	4%	4%	4%	3%	4%	3%	5%	4%	3%
ES	1%	3%	3%	6%	8%	3%	12%	3%	9%	4%		9%	10%	5%	9%	9%	10%	12%	9%	9%	8%	6%	7%
NL	2%	4%	2%	8%	10%	2%	9%	3%	6%	3%	8%		5%	4%	11%	9%	6%	19%	10%	13%	7%	7%	7%
BR	1%	2%	1%	2%	3%	1%	4%	3%	4%	2%	5%	3%		3%	3%	4%	3%	4%	3%	2%	4%	3%	3%
RU	1%	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%	1%	2%		2%	2%	4%	2%	3%	2%	3%	3%	2%
CH	1%	4%	1%	5%	11%	2%	10%	3%	7%	3%	7%	10%	5%	4%		8%	7%	10%	12%	9%	6%	7%	7%
SE	1%	2%	1%	3%	4%	1%	5%	2%	3%	2%	5%	5%	4%	3%	5%		4%	6%	5%	10%	12%	3%	4%
PL	1%	1%	2%	2%	3%	2%	3%	2%	2%	2%	4%	2%	3%	4%	3%	3%		3%	4%	3%	4%	3%	2%
BE	1%	2%	1%	3%	4%	1%	5%	1%	5%	1%	5%	8%	3%	3%	5%	5%		5%	5%	3%	3%	3%	3%
AT	1%	1%	1%	2%	7%	1%	5%	1%	3%	2%	3%	4%	2%	3%	6%	4%	4%	4%		4%	4%	4%	3%
DK	1%	2%	1%	2%	4%	1%	3%	2%	2%	1%	3%	5%	2%	2%	5%	7%	3%	5%	4%		6%	3%	3%

FI	1%	1%	1%	2%	2%	1%	3%	1%	2%	2%	3%	3%	3%	3%	3%	8%	4%	3%	4%	5%		2%	
IL	0%	2%	1%	1%	1%	0%	2%	1%	1%	1%	1%	2%	1%	2%	2%	1%	2%	2%	2%	2%	1%		1%
EU-27	16%	28%	22%	39%	47%	16%	53%	25%	41%	23%	51%	54%	51%	38%	65%	52%	48%	65%	69%	53%		37%	

Notiz: EU-27 ergänzend, nicht Teil von Referenzsummenbildungen

Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Tabelle 2.4: Anzahl der Ko-Publikationen und Anteile der Länder an allen Ko-Publikationen, KI, 2016-2018

	CN	US	IN	GB	DE	KR	IT	CA	FR	JP	ES	NL	BR	RU	CH	SE	PL	BE	AT	DK	FI	IL	EU-27
CN		12,68	0,29	3,66	0,82	0,54	0,38	1,97	0,79	1,49	0,36	0,41	0,10	0,20	0,28	0,25	0,10	0,20	0,07	0,17	0,30	0,05	3,80
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
US	5803		1,79	3,65	2,64	1,48	1,51	2,61	1,60	1,20	1,24	1,17	0,77	0,46	1,26	0,46	0,38	0,49	0,37	0,34	0,36	0,72	9,63
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
IN	133	818		0,47	0,21	0,24	0,18	0,24	0,18	0,18	0,15	0,07	0,08	0,09	0,05	0,07	0,05	0,03	0,03	0,04	0,06	0,03	1,20
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
GB	1674	1669	217		1,77	0,21	1,25	0,54	0,99	0,57	1,13	1,00	0,42	0,27	0,59	0,38	0,19	0,42	0,27	0,26	0,23	0,15	6,83
				%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
DE	375	1208	98	808		0,21	0,78	0,54	0,92	0,37	0,64	0,79	0,30	0,22	0,87	0,33	0,22	0,38	0,58	0,23	0,18	0,12	4,50
					%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
KR	245	679	109	95	97		0,10	0,17	0,11	0,18	0,07	0,06	0,03	0,04	0,08	0,03	0,05	0,06	0,02	0,02	0,03	0,02	0,59
						%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
IT	172	690	83	572	359	44		0,31	0,78	0,19	0,75	0,50	0,16	0,10	0,50	0,23	0,14	0,20	0,27	0,12	0,12	0,09	3,37
							%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CA	899	1194	111	248	248	80	143		0,53	0,19	0,20	0,21	0,28	0,08	0,18	0,13	0,21	0,11	0,07	0,05	0,08	0,09	2,05
								%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
FR	362	734	83	454	421	51	356	243		0,40	0,63	0,36	0,31	0,17	0,43	0,15	0,12	0,30	0,15	0,09	0,11	0,07	3,12
									%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
JP	681	550	81	260	170	83	87	87	182		0,16	0,09	0,06	0,06	0,12	0,06	0,05	0,05	0,03	0,03	0,09	0,01	1,33
										%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
ES	164	566	68	517	291	33	341	93	286	71		0,32	0,30	0,09	0,24	0,20	0,13	0,17	0,16	0,10	0,13	0,08	3,04
											%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
NL	186	536	34	459	361	27	228	94	163	39	147		0,10	0,10	0,23	0,12	0,09	0,33	0,12	0,15	0,09	0,04	2,25
												%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
BR	45	351	38	192	135	16	75	128	142	29	138	48		0,06	0,05	0,07	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,02	1,50
													%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

RU	92	211	43	122	102	18	47	37	76	29	41	48	27		0,07 %	0,03 %	0,06 %	0,03 %	0,04 %	0,02 %	0,10 %	0,03 %	0,97 %	
CH	129	575	24	269	397	36	231	84	197	54	109	104	22	33		0,18 %	0,07 %	0,22 %	0,21 %	0,06 %	0,05 %	0,05 %	0,05 %	2,27 %
SE	116	211	32	172	150	16	103	59	67	26	91	56	32	14	83		0,05 %	0,08 %	0,10 %	0,08 %	0,19 %	0,02 %	0,02 %	1,22 %
PL	45	176	21	89	100	25	64	94	56	24	58	39	19	26	34	22		0,05 %	0,03 %	0,04 %	0,03 %	0,01 %	0,01 %	0,81 %
BE	92	225	14	191	174	29	92	50	135	22	77	149	24	13	100	37	22		0,09 %	0,06 %	0,05 %	0,02 %	1,29 %	
AT	31	170	12	125	264	10	124	32	67	14	72	54	22	18	95	47	15	39		0,04 %	0,05 %	0,03 %	1,20 %	
DK	78	155	17	118	104	7	57	25	39	14	46	69	17	11	29	37	18	27	18		0,08 %	0,02 %	0,76 %	
FI	137	164	28	107	84	12	55	38	51	43	59	41	16	44	25	87	13	22	25	38		0,01 %	0,00 %	
IL	22	329	14	67	55	7	43	39	33	5	35	20	11	12	25	8	6	10	14	10	4		0,35 %	
EU-27	1738	4407	549	3125	2060	268	1544	936	1427	607	1392	1028	688	443	1037	560	369	590	551	349		160		
Total	1388 3	16577	2349	7353	4566	1617	3006	3634	3919	2585	3065	1953	1335	876	1682	1042	787	1025	850	641	777	528	19055	

Notiz: EU-27 ergänzend, nicht Teil von Referenzsummenbildungen
Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

Tabelle 2.5: Anteil der Ko-Publikationen nach Partnerland, KI, 2016-2018

	CN	US	IN	GB	DE	KR	IT	CA	FR	JP	ES	NL	BR	RU	CH	SE	PL	BE	AT	DK	FI	IL	EU-27	
CN		35%	6%	23%	8%	15%	6%	25%	9%	26%	5%	10%	3%	11%	8%	11%	6%	9%	4%	12%	18%	4%	9%	
US	42%		35%	23%	26%	42%	23%	33%	19%	21%	18%	27%	26%	24%	34%	20%	22%	22%	20%	24%	21%	62%	23%	
IN	1%	5%		3%	2%	7%	3%	3%	2%	3%	2%	2%	3%	5%	1%	3%	3%	1%	1%	3%	4%	3%	3%	
GB	12%	10%	9%		18%	6%	19%	7%	12%	10%	17%	24%	14%	14%	16%	17%	11%	19%	15%	18%	14%	14%	13%	16%
DE	3%	7%	4%	11%		6%	12%	7%	11%	7%	9%	18%	10%	12%	24%	14%	13%	17%	31%	16%	11%	10%	11%	
KR	2%	4%	5%	1%	2%		1%	2%	1%	3%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	3%	3%	1%	1%	2%	1%	1%	
IT	1%	4%	4%	8%	8%	3%		4%	9%	3%	11%	12%	6%	5%	14%	10%	8%	9%	15%	9%	7%	8%	8%	
CA	6%	7%	5%	3%	5%	5%		6%	3%	3%	5%	10%	4%	5%	6%	12%	5%	4%	4%	5%	5%	7%	5%	
FR	3%	4%	4%	6%	9%	3%	12%	7%		7%	9%	8%	11%	9%	12%	6%	7%	13%	8%	6%	7%	6%	7%	
JP	5%	3%	3%	4%	4%	5%	3%	2%	5%		2%	2%	2%	3%	3%	2%	3%	2%	2%	2%	6%	1%	3%	
ES	1%	3%	3%	7%	6%	2%	11%	3%	7%	3%		8%	10%	5%	6%	9%	7%	8%	8%	7%	8%	7%	7%	
NL	1%	3%	1%	6%	8%	2%	8%	3%	4%	2%	5%		4%	5%	6%	5%	5%	15%	6%	11%	5%	4%	5%	
BR	0%	2%	2%	3%	3%	1%	2%	4%	4%	1%	5%	2%		3%	1%	3%	2%	2%	3%	3%	2%	2%	4%	
RU	1%	1%	2%	2%	2%	1%	2%	1%	2%	1%	1%	2%	2%		2%	1%	3%	1%	2%	2%	6%	2%	2%	
CH	1%	3%	1%	4%	9%	2%	8%	2%	5%	2%	4%	5%	2%	4%		8%	4%	10%	11%	5%	3%	5%	5%	
SE	1%	1%	1%	2%	3%	1%	3%	2%	2%	1%	3%	3%	2%	2%	5%		3%	4%	6%	6%	11%	2%	3%	
PL	0%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	3%	1%	1%	2%	2%	1%	3%	2%	2%		2%	2%	3%	2%	1%	2%	
BE	1%	1%	1%	3%	4%	2%	3%	1%	3%	1%	3%	8%	2%	1%	6%	4%	3%		5%	4%	3%	2%	3%	

AT	0%	1%	1%	2%	6%	1%	4%	1%	2%	1%	2%	3%	2%	2%	6%	5%	2%	4%		3%	3%	3%	3%	
DK	1%	1%	1%	2%	2%	0%	2%	1%	1%	1%	2%	4%	1%	1%	2%	4%	2%	3%	2%		5%	5%	2%	2%
FI	1%	1%	1%	1%	2%	1%	2%	1%	1%	2%	2%	2%	1%	5%	1%	8%	2%	2%	3%	6%		1%		
IL	0%	2%	1%	1%	1%	0%	1%	1%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	1%		1%	
EU-27	13%	27%	23%	42%	45%	17%	51%	26%	36%	23%	45%	53%	52%	51%	62%	54%	47%	58%	65%	54%		30%		

Notiz: EU-27 ergänzend, nicht Teil von Referenzsummenbildungen

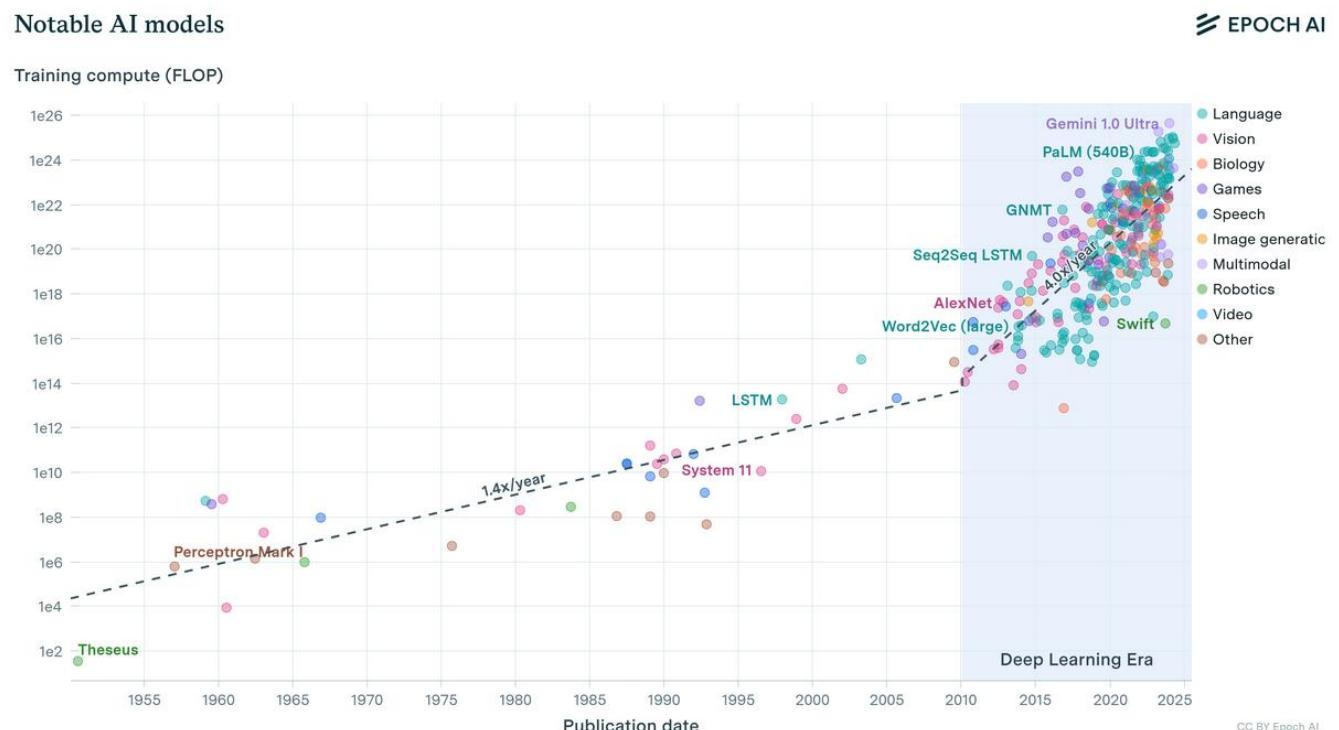
Quelle: Analysen des Fraunhofer ISI auf Basis von Elsevier SCOPUS

2.2 Identifikation und Leistungsfähigkeit von Machine Learning-Modellen

Machine Learning (ML)-Modelle sind Algorithmen, die aus Daten lernen, um in automatisierten Systemen Vorhersagen zu machen oder Entscheidungen zu treffen. Sie können für verschiedene Aufgaben eingesetzt werden, wie z.B. für die Bildklassifikation, für Produktempfehlungen oder für die Sprachverarbeitung. Neben der Analyse von Daten sind ML-Modelle auch die Grundlage für die Generierung von Texten, Bildern, Videos und Sprache. Die Begriffe Machine Learning-Modell, Deep Learning-Modell und KI-Modell werden oft synonym verwendet, wenngleich Deep Learning ein Unterbereich von Machine Learning ist und KI-Modelle im weiteren Sinne auch regelbasierte Systeme beinhalten können. Bei den hier analysierten KI-Modellen geht es jedoch nur um Machine Learning-Modelle, die heute den größten Bereich der KI-Forschung ausmachen.

An ML-Modellen wird seit vielen Jahren geforscht, eines der ersten war das Perceptron-Modell, das 1957 von Frank Rosenblatt vom Cornell Aeronautical Laboratory in Buffalo, New York veröffentlicht wurde. Aber erst seit ungefähr 2010, seit leistungsstarke Computer und Massendaten zum Training der Modelle zur Verfügung stehen, stehen ML-Modelle ins Zentrum der KI-Forschung. Die jüngste Phase der KI-Forschung wird deshalb auch als „Deep Learning Era“ bezeichnet (siehe Abb. 16).

Abbildung 2.16: Relevante KI-Modelle („notable AI models“) laut Epoch AI seit 1950



Quelle: <https://epochai.org/data/notable-ai-models>

Die Bewertung von ML-Modellen im Hinblick auf ihre Signifikanz („notable AI models“), die Zuordnung der Modelle zu bestimmten Anwendungsgebieten (Language, Vision, Biology usw. s. Abb. 15) und die Information über die Computerkapazität für das Training („Training compute (FLOP“ in Abb. 15) wird seit 2022 von der 13-köpfigen Epoch AI-Expertengruppe vorgenommen. Epoch AI wird vom Open Philanthropy Project und von Open AI finanziert und legt derzeit die besten Statistiken zu ML-Modellen vor (<https://epoch.ai/research>, siehe auch AI Index Report 2024, p. 21ff sowie AI Index Report 2025, S. 46ff).

Die Datenbank von Epoch AI umfasste im Mai 2025 insgesamt 954 „notable ML models“.² Um als notable ML model zu gelten, müssen die Modelle bestimmte Kriterien erfüllen, sie müssen z.B. eine

² <https://epoch.ai/data/notable-ai-models?view=table>

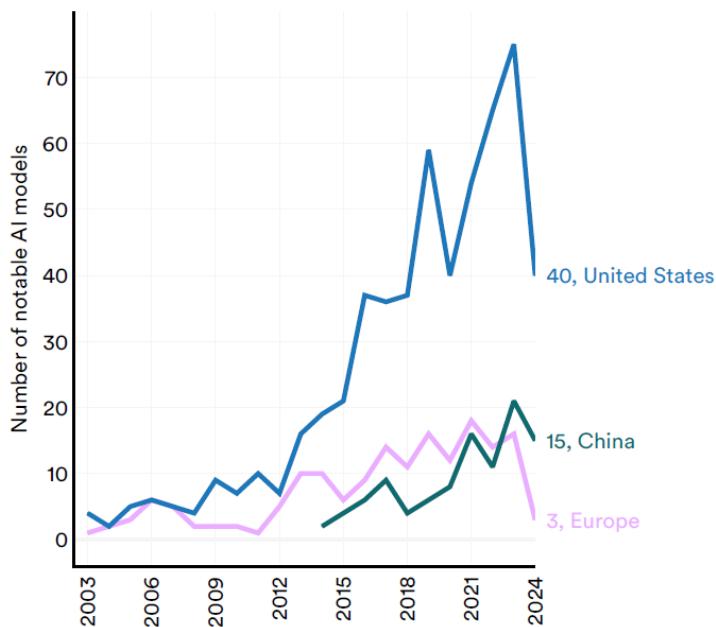
Zitationsrate von mindestens 1.000 aufweisen, das Training muss eine Kostenschwelle von 1 Mio. US-Dollar überstiegen haben und sie müssen eine aktive Nutzerschaft haben.³ Der Eintrag in der Epoch AI Datenbank ist damit gleichbedeutend mit einem hohen Niveau der entsprechenden Forschung.

Die Epoch AI-Datenbank weist auch das Land aus, in dem die Forschungseinrichtung oder das Unternehmen, in dem das Modell entwickelt wurde, ihren Sitz haben. Epoch AI selbst hat die Entwicklung der Anzahl der signifikanten KI-Modelle und die Länderverteilung für die Jahre 2003 bis 2024 für den AI Index 2025 ermittelt (Abb. 17).

Dabei zeigt sich, dass mit Abstand die meisten signifikanten KI-Modelle heute von Forschern und Forscherinnen entwickelt wurden, die in den Vereinigten Staaten von Amerika arbeiten. Im Jahr 2024 wurden dort alleine 40 neue signifikante ML-Modelle veröffentlicht. Mit Abstand folgen China (15 neue Modelle) und Europa (3 neue Modelle).

Die Entwicklung über die Jahre zeigt, dass Europa und USA bei der Entwicklung anspruchsvoller KI-Modelle bis ca. 2012 gleichauf waren und sich dann die Entwicklung in den USA extrem beschleunigt und von der Entwicklung anderer Länder abgekoppelt hat. Einen Meilenstein in dieser Entwicklung bildet die Veröffentlichung des Artikels "ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks" von Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever und Geoffrey Hinton im Jahr 2012. Mit dieser Veröffentlichung wurde das Deep-Learning-Zeitalter der KI-Forschung eingeläutet (siehe z.B. Boqiang & Henry 2024). Aus China kommen die ersten signifikanten ML-Modelle erst im Jahr 2014. Aber bereits 2022 überholt China Europa bei der Zahl der jährlich neu veröffentlichten signifikanten KI-Modelle.

Abbildung 2.17: Anzahl signifikanter KI-Modelle im Ländervergleich USA, China, Europa 2003 bis 2024



Quelle: AI Index Report 2025, S. 46 basierend auf Epoch AI Daten

Ein Grund für den Knick in der Entwicklung in allen Ländern ab ca. 2022 könnte laut Epoch AI sein, dass es inzwischen immer komplexer wird, neue Modelle zu entwickeln und dass das Training immer aufwändiger wird. Andererseits hält es Epoch AI für möglich, dass ihre Methode nicht alle neu entwickelten signifikanten Modelle erfasst und Modelle aus bestimmten Ländern übersehen werden (AI Index Report 2025, p. 46f).

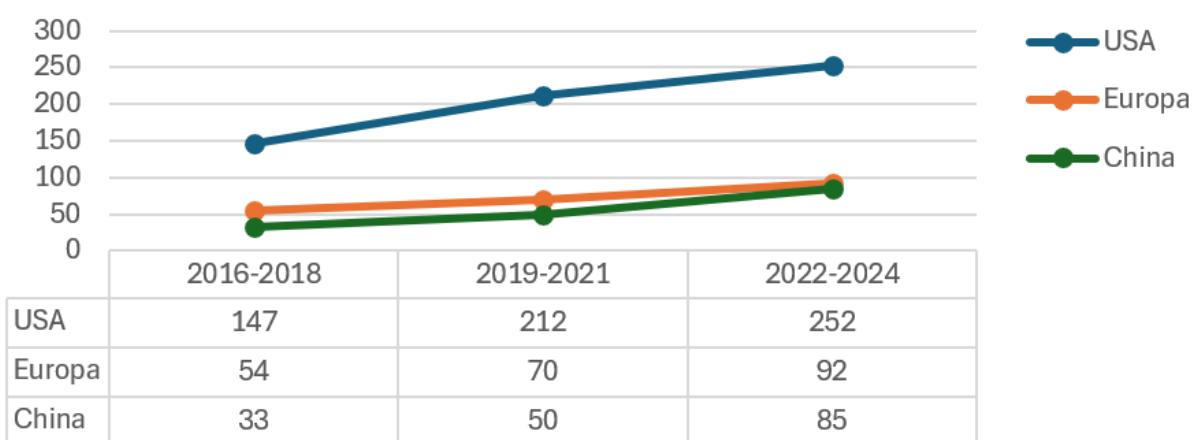
Epoch AI hat für Europa keine weiteren Analysen veröffentlicht. Deshalb wurde für diesen Bericht eine eigene Auszählung der Länderbeteiligungen bei der Entwicklung von signifikanten ML-Modellen

³ <https://epoch.ai/data/notable-ai-models-documentation#inclusion>

vorgenommen. Dazu wurden zunächst drei Zeitscheiben definiert: 2016-2018, 2019-2021 und 2022-2024. Anschließend wurden alle Länderbeteiligungen an den Modellen gezählt. Eine erste Auswertung zeigt Abb. 18, bei der alle europäischen Beteiligungen addiert und mit den US-amerikanischen und chinesischen verglichen werden.

ML-Modelle werden oft in Kooperationen entwickelt, die inländische sowie ausländische Forschungseinrichtungen umfassen können. Die Zahl der Länderbeteiligungen ist deshalb höher als die Gesamtzahl der signifikanten Modelle. Außerdem sorgt die Einteilung in 3-Jahres-Scheiben für eine Glättung der Kurven im Vergleich zu Abb. 17. Die Hauptaussage bleibt jedoch die gleiche: Die USA veröffentlichen in jeder Phase mehr als doppelt so viele signifikante KI-Modelle wie Europa oder China. Bei der Frage, wie stark China gegenüber Europa aufgeholt hat, kommt diese Art zu zählen zu einem anderen Ergebnis: Hier ist Europa noch leicht vor China, wenngleich auch hier der Aufholprozess Chinas deutlich wird.

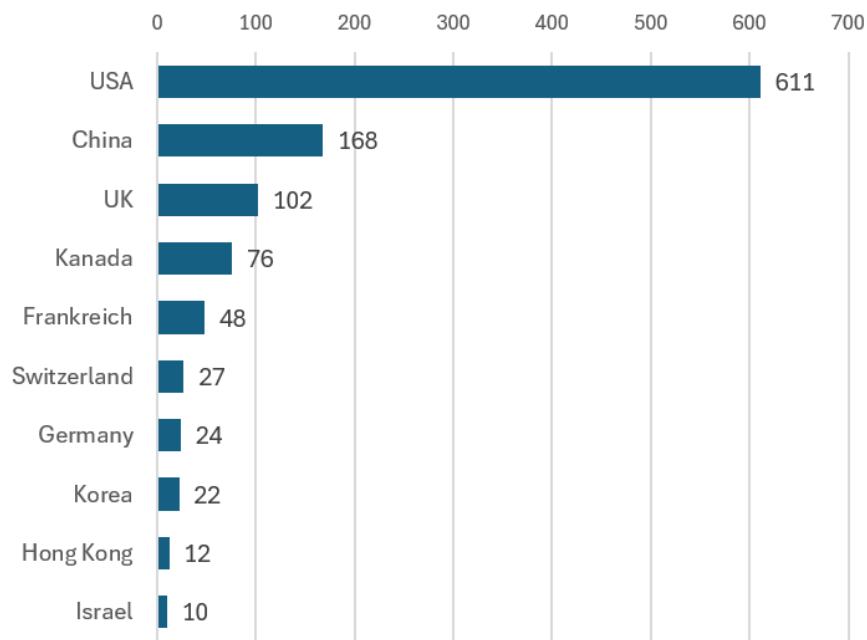
Abbildung 2.18: Länderbeteiligungen an relevanten KI-Modellen: USA, Europa, China



Quelle: Eigene Auswertung basierend auf Epoch AI

Wo steht Deutschland bei den relevanten ML-Modellen im internationalen Vergleich? Hierzu wurden die Beteiligungen aller Länder an der Entwicklung relevanter ML-Modelle seit 2016 ausgezählt. Abbildung 19 zeigt die entsprechende Reihenfolge der Länder. Deutschland liegt auf Platz 7, hinter der Schweiz und Frankreich.

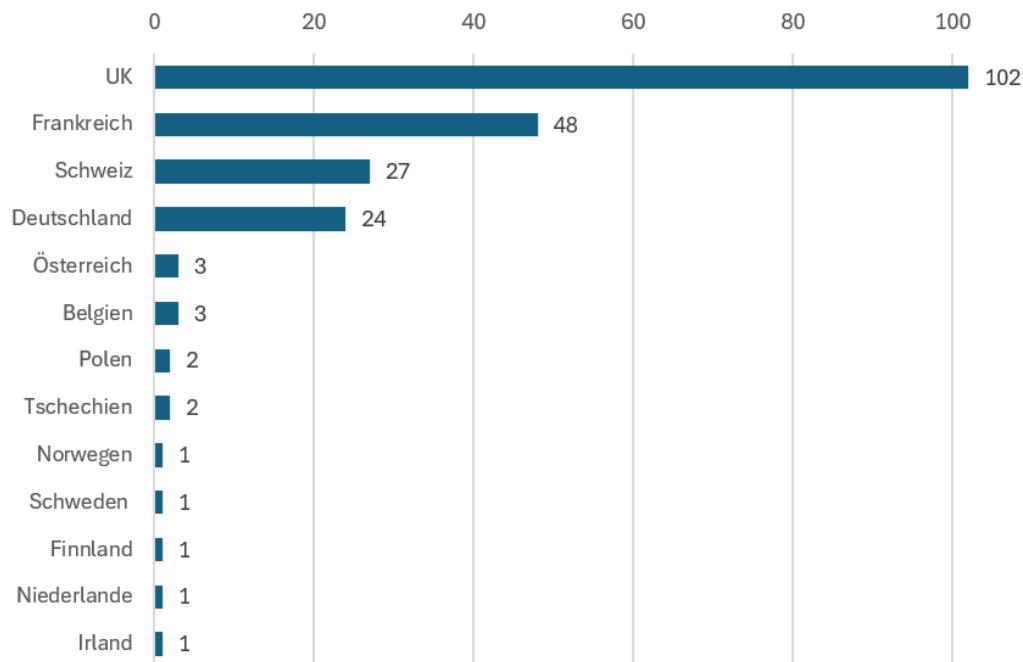
Abbildung 2.19: Top-10-Länderbeteiligungen an signifikanten KI-Modellen von 2016 bis 2024



Quelle: Eigene Auswertung basierend auf Epoch AI, Mai 2025

Betrachtet man nur die europäischen Länder, so zeigt sich, dass zwischen 2016 und 2024 insgesamt 13 Länder an der Entwicklung relevanter KI-Modelle beteiligt waren (Abb. 20). Hinter Großbritannien (mit 102 Beteiligungen) folgen Frankreich, die Schweiz und Deutschland. Interessanterweise findet sich kein einziges Modell, das mit italienischer Beteiligung entwickelt wurde. Dies steht im Widerspruch zum großen KI-Forschungs-Output Italiens, wie im bibliometrischen Teil gezeigt wurde.

Abbildung 2.20: Anzahl europäischer Beteiligungen an relevanten KI-Modellen 2016-2024



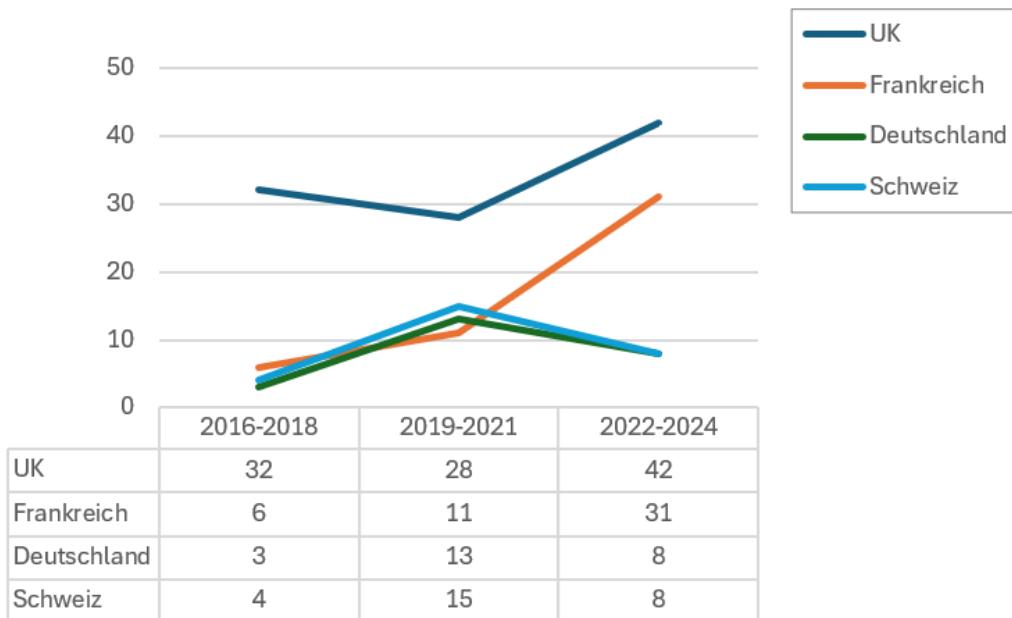
Quelle: Eigene Auswertung basierend auf Epoch AI, Mai 2025

Eine genauere Untersuchung wurde für die Top-4-Länder in Europa (UK, Frankreich, Schweiz und Deutschland) durchgeführt. Um die Entwicklung aufzuzeigen, wurden wieder 3-Jahreswerte verwendet

(Abb. 21). Großbritannien hat nicht nur insgesamt die meisten Beteiligungen an relevanten KI-Modellen, sondern führt auch in der aktuellen Zeitscheibe (2012-2024) mit 42 Beteiligungen. Danach folgen Frankreich mit 31 Beteiligungen und Deutschland und die Schweiz mit jeweils 8 Beteiligungen.

Frankreich hat im Unterschied zu Deutschland und der Schweiz seine Beteiligung an relevanten KI-Modellen in den letzten Jahren stark steigern können. Auch Großbritannien hat seinen Anteil an relevanten KI-Modellen aktuell steigern können, kam aber bereits von einem hohen Niveau, das in der Zwischenzeit nur geringfügig zurückgegangen war.

Abbildung 2.21: Länderbeteiligungen an relevanten KI-Modellen: Top-4 europäische Länder



Quelle: Eigene Auswertung basierend auf Epoch AI

Insgesamt ist die Beteiligung europäischer Forschungseinrichtungen und Unternehmen an der Entwicklung leistungsfähiger KI-Modelle jedoch weitaus geringer als die amerikanischer Einrichtungen.

Unklar ist in diesem Zusammenhang, welche Rolle in den oben gezeigten Unterschieden die verfügbare Rechenkapazität („compute“) dabei spielt. Vielfach wird eine relative Schwäche Europas in diesem Bereich konstatiert (Doan; Levy; Storchan 2025, European Commission 2025). Die fehlenden Rechenkapazitäten haben aber, wie oben gesehen, französische Forscher nicht daran gehindert, wichtige Beiträge zu vielen ML-Entwicklungen zu leisten. Und andererseits hat die relativ hohe Verfügbarkeit von Rechenkapazität in Italien (s.u.) nicht automatisch zur Entwicklung signifikanter KI-Modelle geführt.

Wie die Rechenkapazitäten derzeit auf der Welt verteilt sind, dokumentiert die Top500-Liste (top500.org). Die Top500-Liste wird von der Prometheus GmbH mit Sitz in Sinsheim gepflegt. Sie erscheint zweimal jährlich und weist die Rechenkapazitäten von Supercomputern weltweit nach.

Nach der Liste von November 2024 verfügen die Superrechner der USA zusammen über eine Kapazität knapp 6,5 Mio. TeraFlops (siehe Tabelle 6).

Tabelle 2.6: Rechenkapazitäten von Superrechnern nach Ländern (November 2024). Top-15 Länder

	Count	System Share (%)	Rmax (TFlops) ▾	Rpeak (TFlops)	Cores
1 United States	173	34.6	6,477,869	10,267,227	56,856,656
2 Japan	34	6.8	940,710	1,249,016	11,736,944
3 Italy	14	2.8	849,088	1,097,238	7,314,432
4 Switzerland	5	1	473,517	632,910	2,732,832
5 Germany	40	8	399,728	577,161	4,736,708
6 Finland	3	0.6	391,388	546,193	3,116,992
7 China	63	12.6	319,062	548,507	20,121,848
8 France	24	4.8	298,086	431,754	4,500,728
9 Spain	3	0.6	221,873	306,103	1,542,016
10 South Korea	13	2.6	213,091	286,332	2,438,772
11 Taiwan	7	1.4	103,541	151,124	712,336
12 Netherlands	10	2	98,364	169,511	899,488
13 Saudi Arabia	7	1.4	96,036	153,436	2,488,692
14 United Kingdom	14	2.8	84,814	142,257	1,970,096
15 Russia	6	1.2	71,457	98,726	721,488

Quelle: Top500-Liste vom November 2024, <https://top500.org/lists/top500/2024/11/highs/> Rmax ist die tatsächlich gemessene Höchstleistung eines Systems im realen Betrieb. Rpeak bezeichnet die theoretische Spitzenleistung eines Computersystems.

Auf Platz 2 folgt Japan mit 940.710 Tflops, gefolgt von Italien mit 849.088 Tflops. Deutschland verfügt über weniger als die Hälfte der Kapazitäten, die in Italien zur Verfügung stehen.

Addiert man die Kapazitäten der 18 EU-27-Länder, die in der Tabelle der Top500 auftauchen, so ergibt sich eine europäische Gesamtkapazität von ca. 2,5 Mio Flops. Dies entspricht in der Summe weniger als der Hälfte der Kapazitäten, die die USA zur Verfügung haben.

Die sehr geringe Zahl in China ist dabei mit Vorsicht zu betrachten. China macht aus strategischen Gründen nicht alle Kapazitäten im Bereich der Supercomputer öffentlich. Dies führt zu einer Unterrepräsentation in der Top500-Liste (vgl. Hiltzsch 2023).

2.3 Integrierte Bewertung: Bibliometrie und ML-Modelle

Bei der Anzahl der Forschungsartikel zu KI liegt Deutschland weltweit nach den aktuellen SCOPUS-Daten auf Platz 5 hinter China, den USA, Indien und Großbritannien. Auf etwas geringerem Niveau folgen Südkorea, Italien, Kanada, Australien und Japan.

Innerhalb Europas (EU-27) liegt Deutschland bei der Anzahl der KI-Publikationen im Jahr 2024 deutlich vor Italien, Frankreich und Spanien. Die Niederlande folgen mit Abstand und führen eine Gruppe von elf Ländern an die relevant zum KI-Output Europas beitragen (Niederlande, Polen, Schweden, Portugal, Griechenland, Belgien, Österreich, Dänemark, Finnland, Rumänien und Tschechien).

Im Teilgebiet der generativen KI zeigt sich das gleiche Bild: Deutschland erreicht weltweit Platz 5 und führt die EU-27 an. Interessant ist, dass Frankreich bei generativer KI erst hinter Italien und Spanien erst auf Platz 4 erscheint.

Die starke Position Deutschlands in der Forschung zu generativer KI zeigt sich auch beim Anteil von GenAI an den Gesamt-KI-Publikationen. Deutschland erreicht hier weltweit wieder Platz 5. Kein Land in Europa ist bei diesem Indikator stärker als Deutschland, was zeigt, dass deutsche Wissenschaftlerinnen den Trend zu GenAI nicht verschlafen haben, sondern in der Forschung vorne mitspielen. Die starke Orientierung der einheimischen KI-Forschung am derzeit dominanten Forschungsstrang der generativen KI zeigt sich dabei auch bei den Ländern Österreich, Großbritannien, Niederlande und Kanada, die auf den Plätzen nach Rang 5 folgen.

Auch insgesamt erscheint Deutschlands KI-Forschung in geeigneter Weise grundlagenorientiert, anders als z.B. in China oder verschiedenen Follower-Ländern liegt kein überdurchschnittlicher Schwerpunkt auf primär anwendungsorientierten Analysen im ingenieurwissenschaftlichen Bereich. Eine relativ betrachtet klaren, wenngleich absolut mit 3% Anteil wenig bedeutsamen Schwerpunkt besitzt

Deutschland zudem in der Robotik-Forschung, d.h. in der Anwendung von KI in Produktion und Logistik. Dieser ist weltweit nur in Japan stärker ausgeprägt.

Bei den wichtigen Deep-Learning-Modellen schneidet Deutschland weltweit auf Platz sieben ab, jedoch mit einem Abstand auf die oberen Plätze, die von USA, China, Großbritannien und Kanada belegt werden. Innerhalb Europas (EU-27) führt Frankreich das Feld an, Epoch AI ermittelte 48 französische Beteiligungen an „notable DL-models“ im Vergleich zu 24 deutschen Beteiligungen.

Im Hinblick auf die Rechenkapazitäten für die Entwicklung und das Training von KI-Modellen steht Deutschland im internationalen Vergleich wieder auf Platz 5. In innereuropäischen führt Italien: Dort verfügen die KI-Forscher über mehr als doppelt so viel „Compute“ wie deutsche Wissenschaftler. Die Reihenfolge der Länder mit den leistungsstärksten Computerinfrastrukturen lautet: USA, Japan, Italien, Schweiz, Deutschland, Finnland und China.

3 PATENTANALYSE UND UNTERNEHMENSLANDSCHAFT

3.1 Patentaktivitäten

3.1.1 Methodik Patente

Zur Analyse der Patente wurde die „EPO Worldwide Patent Statistical Database“ (PATSTAT), verwendet, die Informationen über veröffentlichte Patente von über 80 Patentbehörden weltweit enthält. Die Patente wurden nach dem Jahr der weltweiten Erstanmeldung, dem sogenannten Prioritätsjahr, gezählt. Dies ist das früheste registrierte Datum im Patentprozess und liegt daher dem Datum der Erfindung am nächsten. Zur Zählung der Patente wurde das Konzept der transnationalen Patentanmeldungen verwendet (s. Frietsch; Schmoch 2010). Hierbei werden alle PCT-Anmeldungen gezählt, unabhängig davon, ob sie an das EPA weitergeleitet wurden oder nicht, sowie alle direkten EPA-Anmeldungen ohne PCT-Vorläuferanmeldung. Eine Doppelzählung von übertragenen Euro-PCT-Anmeldungen ist damit ausgeschlossen.

Für Länderanalysen wurde das so genannte „Anmelderprinzip“ angewendet, das heißt, dass Patente nach dem Land der auf der Anmeldung benannten Patentanmeldern zugeordnet werden. Die Patente werden dabei nach dem whole-count Verfahren gezählt.

Im Januar 2025 wurden die neuesten PATSTAT-Daten veröffentlicht und in die Offline-Version der PATSTAT Datenbank am Fraunhofer ISI aufgespielt. Damit sind Auswertungen bis zum Ende des Jahres 2022 für transnationale Patentanmeldungen möglich.

Als Suchstrategie wurde das ISI KI-Keywordset verwendet (vgl. Beckert; Kroll 2024), das auf der Grundlage der OECD-Definition von KI (OECD 2020) unter Berücksichtigung neuerer KI-Technologien weiterentwickelt wurde.

Um den Bereich der generativen KI einzuschränken, wurden folgende Keywords verwendet:

generative AND (artificial\intelligence), large language model% OR llm, foundation model AND (artificial\intelligence), chatbot% AND (artificial\intelligence), multimodal AND (large language model% OR llm)

Um den Bereich der industriellen KI einzuschränken, wurden folgende Keywords verwendet:

computer vision AND (artificial\intelligence), object recognition AND (artificial\intelligence), ai and robotics, robotics AND (artificial\intelligence), mobile robot% AND (artificial\intelligence), automation AND (artificial\intelligence)

Prinzipiell sollte beachtet werden, dass Software und damit auch KI als solche am Europäischen Patentamt (EPA) nicht patentierbar ist. Es können nur so genannte computerimplementierte Erfindungen patentiert werden, nicht aber Computerprogramme „als solche“, was jedoch am U.S. Patent- und Markenamt (USPTO) möglich ist. Computerimplementierte Erfindungen am EPA müssen auf einem

technischen Gebiet liegen und ein konkretes technisches Problem mit technischen Mitteln lösen (DPMA 2025).

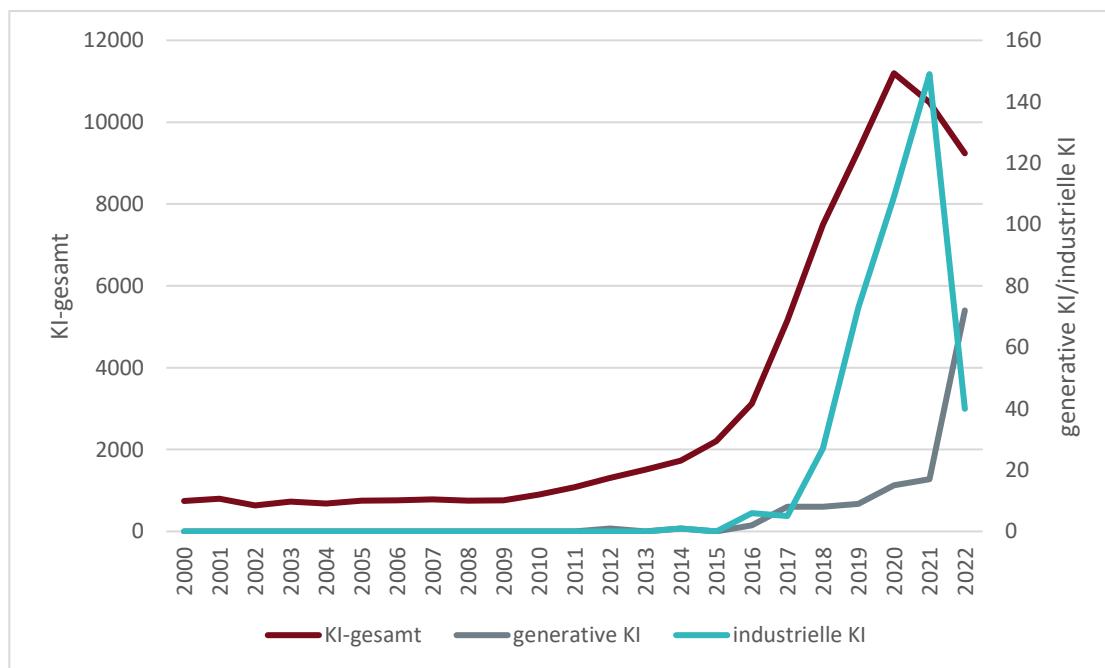
3.1.2 Patentanmeldungen und -anmelder

Abbildung 22a zeigt die Entwicklung der KI-Patentaktivitäten von 2000 bis 2022. Die Entwicklung zeigt einen interessanten Verlauf: Bei den „KI-gesamt“-Anmeldungen bleibt die Linie in den zehn Jahren zwischen 2000 und 2010 beinahe konstant, die Zahl der weltweiten Anmeldungen beträgt fast unverändert ca. 800 pro Jahr. Im Jahr 2011 setzt eine Wachstumsphase ein, während die Anmeldungen die 1.000er Marke pro Jahr überschreiten. Ab 2015 beginnt dann eine Phase extremen Wachstums, in der es jedes Jahr fast 2.000 mehr Patentanmeldungen als im Vorjahr gibt. Auf dem Höhepunkt dieses Wachstums im Jahr 2020 brach dieses Wachstum - vermutlich aufgrund der Corona-Krise - deutlich ein und es wurden weniger neue Patente angemeldet als in den Jahren davor.

Zeitverschoben zeigt sich das gleiche Entwicklungsmuster – aber mit noch stärkerem Einbruch während der Corona-Zeit - bei der industriellen KI. Der extrem starke Abfall bei den Patentanmeldungen im Bereich der industriellen KI hängt mit der starken Position Chinas in diesem Bereich zusammen. Die besonders drastischen Corona-Einschränkungen in China haben sich in diesem Bereich ab 2020 besonders deutlich ausgewirkt.

Die generative KI benötigte noch einen längeren Anlauf und entwickelte sich stetig zwischen 2016 und 2021, bevor die Patentanmeldungen in diesem Bereich ab 2021 in die Höhe schnellen. Bei generativer KI gibt es nicht den Corona-Einbruch wie bei den anderen Patentanmeldungen.

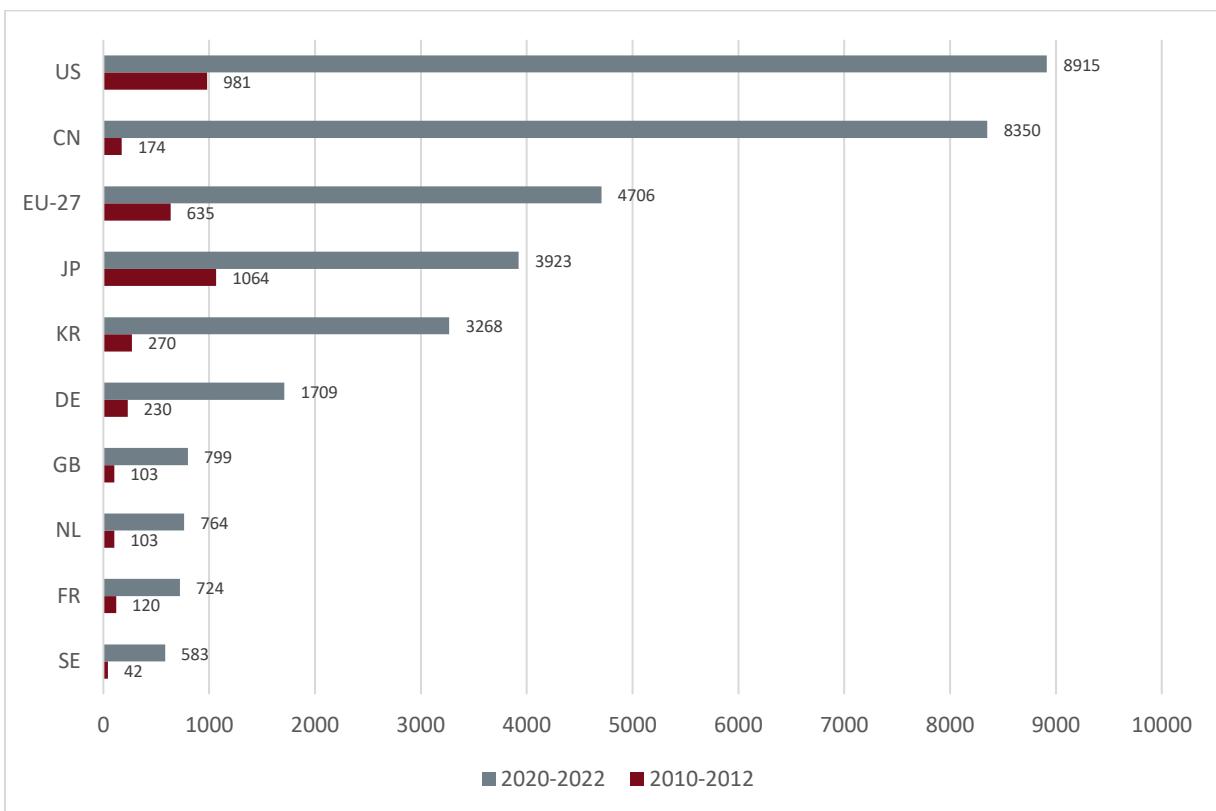
Abbildung 2.22: KI-Patentanmeldungen weltweit 2000-2022 (gesamt, GenAI und industrielle KI) in abs. Zahlen



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Betrachtet man die letzten drei Jahre, für die KI-Patentanmeldungszahlen Zahlen vorliegen (2020 bis 2022) nach Ländern, so zeigt sich, dass die Vereinigten Staaten von Amerika mit fast 9.000 Patentanmeldungen aktuell die stärkste Patentnation im Bereich KI sind, gefolgt von China mit 8.350 Anmeldungen (Abbildung 22a). Auf dem dritten Platz steht die EU-27 (als Ganzes) mit 4.706 Patentanmeldungen im Zeitraum 2020-2022. Auf den folgenden Plätzen liegen mit großem Abstand die Länder Japan und Südkorea. Dann folgt auf Platz 5 Deutschland mit 1.709 KI-Patentanmeldungen in den ausgewählten drei Jahren.

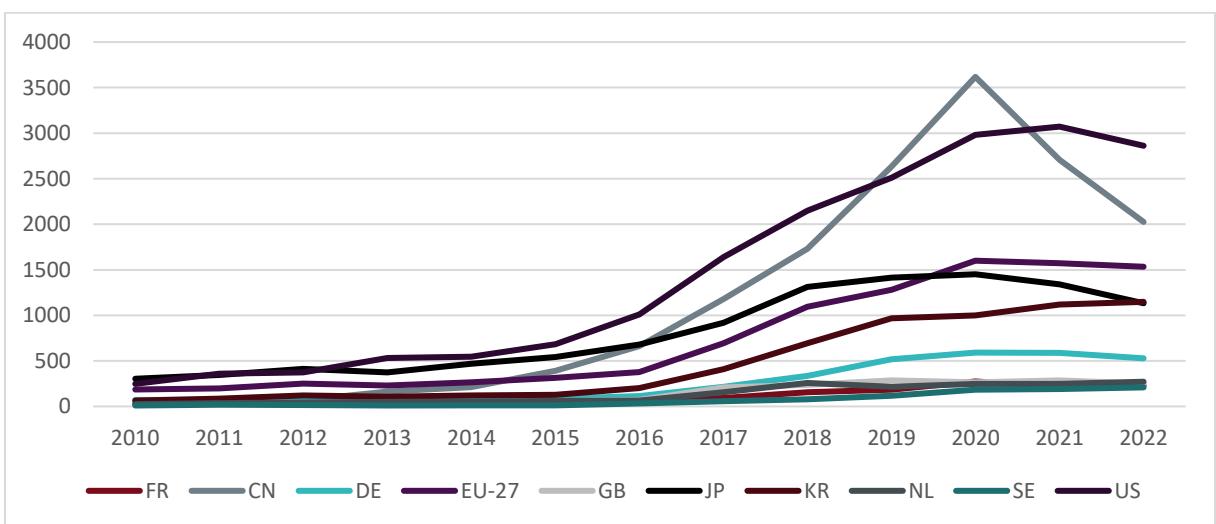
Abbildung 2.22a: Anzahl von KI-Patenten nach Ländern (Top-10-Länder) 2010-2012 und 2020-2022



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Im Zeitverlauf (2010 bis 2022) sieht man, wie stark China in den letzten Jahren bei den KI-Patenten aufgeholt hat. In den Jahren 2018 bis 2021 lag China sogar vor den USA (Abb. 22b). In den Corona-Jahren 2021 und 2022 sanken in allen Top-10-Ländern die KI-Patentzahlen (mit Ausnahme von GB, KR und SE). In China sind die Zahlen weitaus stärker zurückgegangen als in den USA, so dass aktuell wieder die USA bei den KI-Patenten vorne liegen. Deutschland taucht in der Top-10-Liste ebenfalls auf: Die Anzahl der KI-Patente aus Deutschland ist zwischen 2018 und 2019 stark gestiegen und hat seither Länder wie die Niederlande, Frankreich, Schweden und Großbritannien zahlenmäßig hinter sich gelassen.

Abbildung 2.22b: KI-Patentanmeldungen für die Top-10-Länder zwischen 2010 und 2022 in absoluten Zahlen



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Der Vergleich mit den Jahren 2010 bis 2012 (Abb. 22a) zeigt die große Dynamik der KI-Entwicklung in den letzten Jahren, ganz besonders in den USA und China, wo der Zuwachs bei den Patentanmeldungen enorm ist. Andere Länder wie z.B. Japan, Südkorea und Deutschland (auf Platz 5) haben große Steigerungen bei den KI-Patenten aufzuweisen. Bemerkenswert ist, dass Deutschland bei dieser Auswertung deutlich vor Großbritannien, einem der größten Akteure in Europa bei KI, platziert ist.

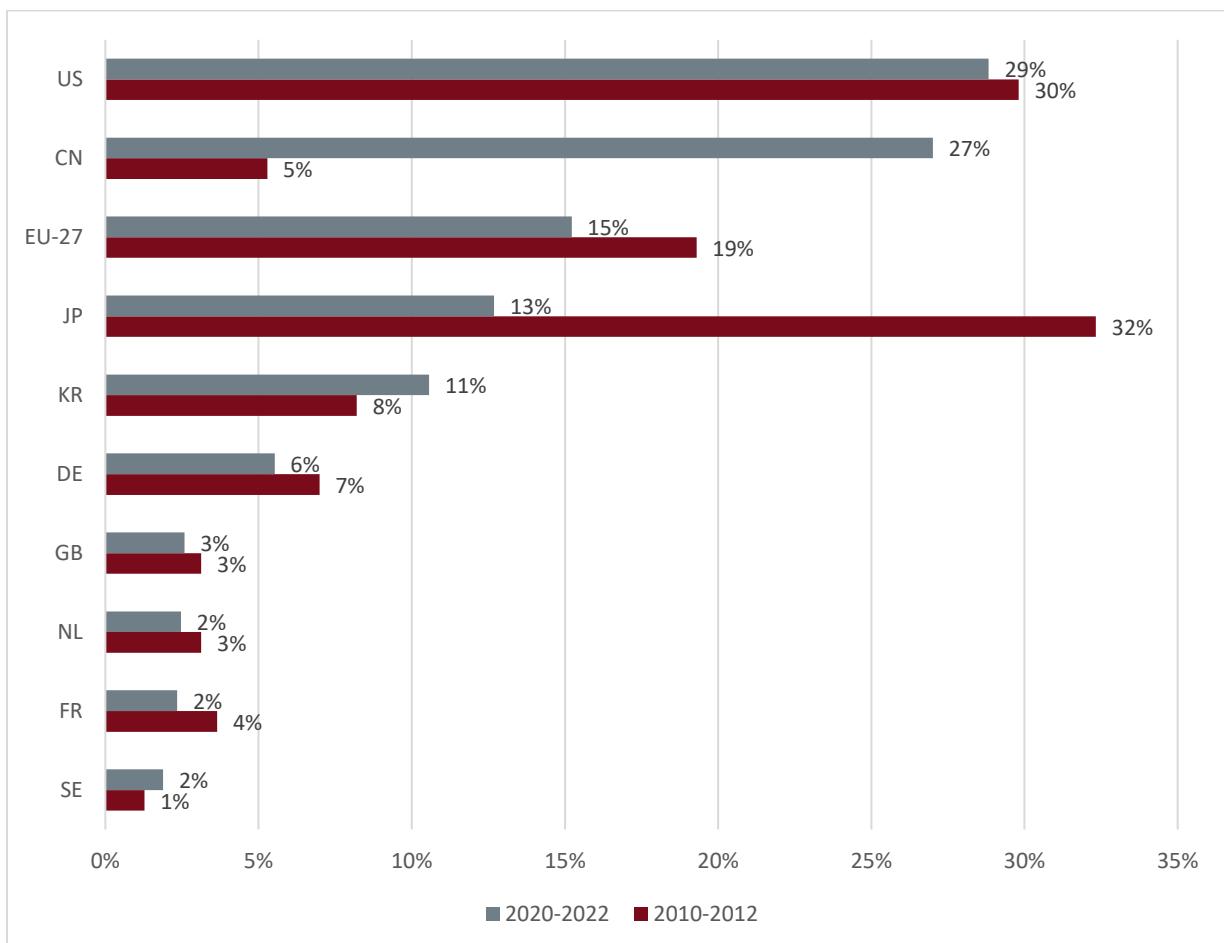
Die unteren (roten) Balken in Abbildung 22a zeigen die Basis, von der ausgehend das Wachstum gestartet ist. Schweden oder Singapur haben ebenfalls von einer schwachen Basis in den letzten Jahren stark aufgeholt, aber nicht so dramatisch wie China.

Prozentual gesehen hat sich der Anteil Chinas an der Gesamtzahl der Patentanmeldungen weltweit stark vergrößert, der anderer Länder ist entsprechend gesunken (Abbildung 23). Nur die USA konnten ihren hohen Anteil an den weltweiten KI-Patentanmeldungen über die Zeit halten und bleiben weiter weltweit an der Spitze - sowohl was die Anzahl als auch was den Anteil der KI-Anmeldungen angeht. Der Anteil der EU-27 ist zwischen den Zeiträumen 2010-2012 und 2020-2022 um ca. vier Prozentpunkte zurückgegangen.

Andere Länder, wie z.B. Japan, Deutschland, Großbritannien, Niederlande oder Frankreich haben relativ gesehen Anteile verloren. Dies trifft insbesondere auf Japan zu: Obwohl die Anzahl der KI-Patente auch dort gestiegen ist (Platz 3 hinter USA und China, siehe Abbildung 22a), konnte das Land beim rasanten Wachstum der KI-Anmeldungen von 2020 bis 2022 nicht mithalten. Auf insgesamt niedrigerem Niveau trifft dies auch auf Deutschland, Großbritannien, die Niederlande, Frankreich und Kanada zu.

Nur die Länder, die in Abbildung 23 einen größeren oberen (grauen) als unteren (roten) Balken aufweisen, konnten ihren Anteil im Vergleich zur früheren Zeitperiode steigern. Dabei handelt es sich um die Länder China, Südkorea, Schweden, Singapur und Türkei.

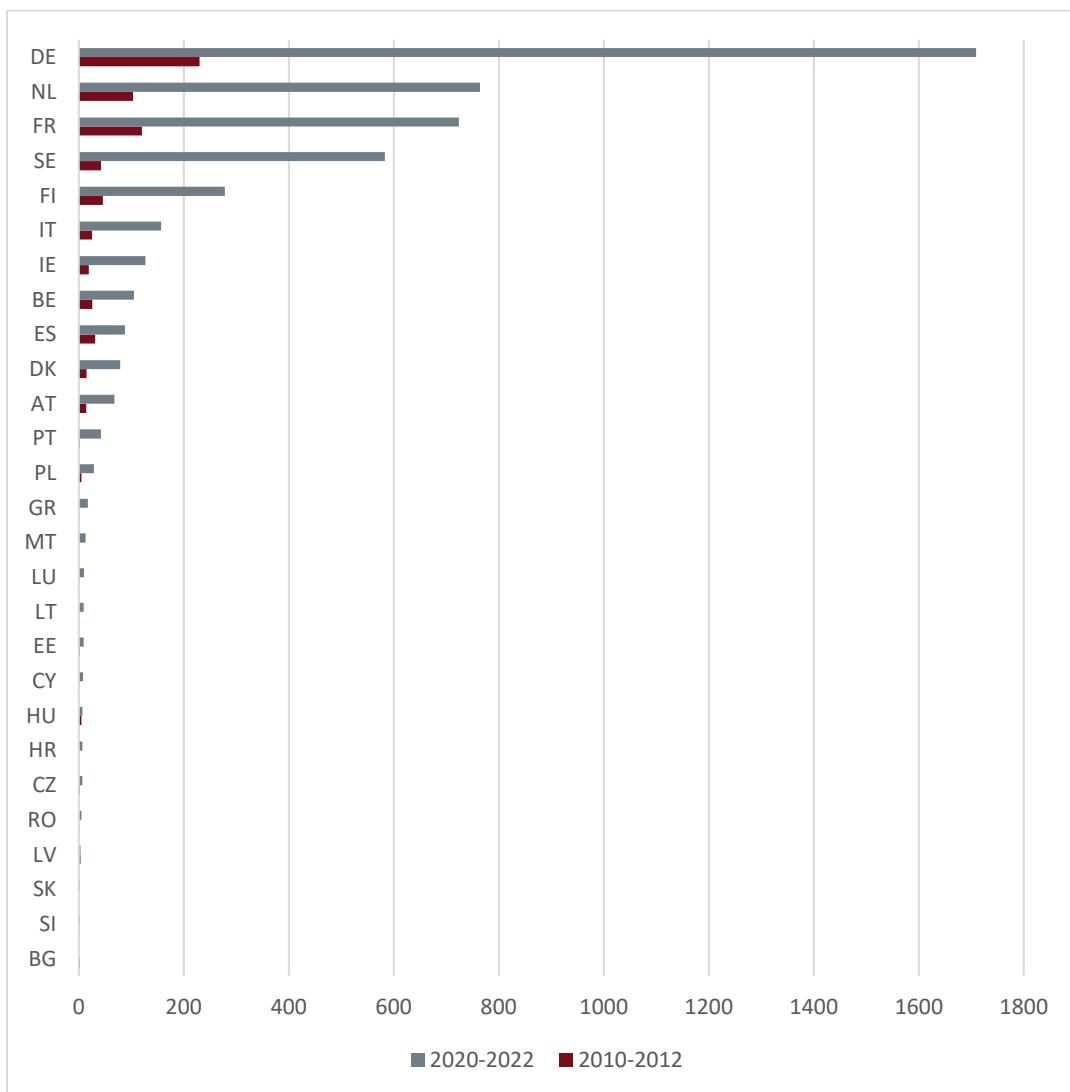
Abbildung 2.23: Länderanteile bei den gesamten KI-Patenten (Top-10-Länder) 2010-2012 und 2020-2022



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Betrachtet man die EU-27-Länder einzeln, so zeigt sich, dass Deutschland bei der Anzahl der KI-bezogenen Patentanmeldungen in der aktuellen Zeitperiode mit Abstand der wichtigste Player ist. Dahinter folgen die Niederlande, Frankreich, Schweden, Finnland und Italien (Abbildung 24).

Abbildung 2.24: Anzahl von KI-Patenten in EU-27 Ländern 2010-2012 und 2020-2022

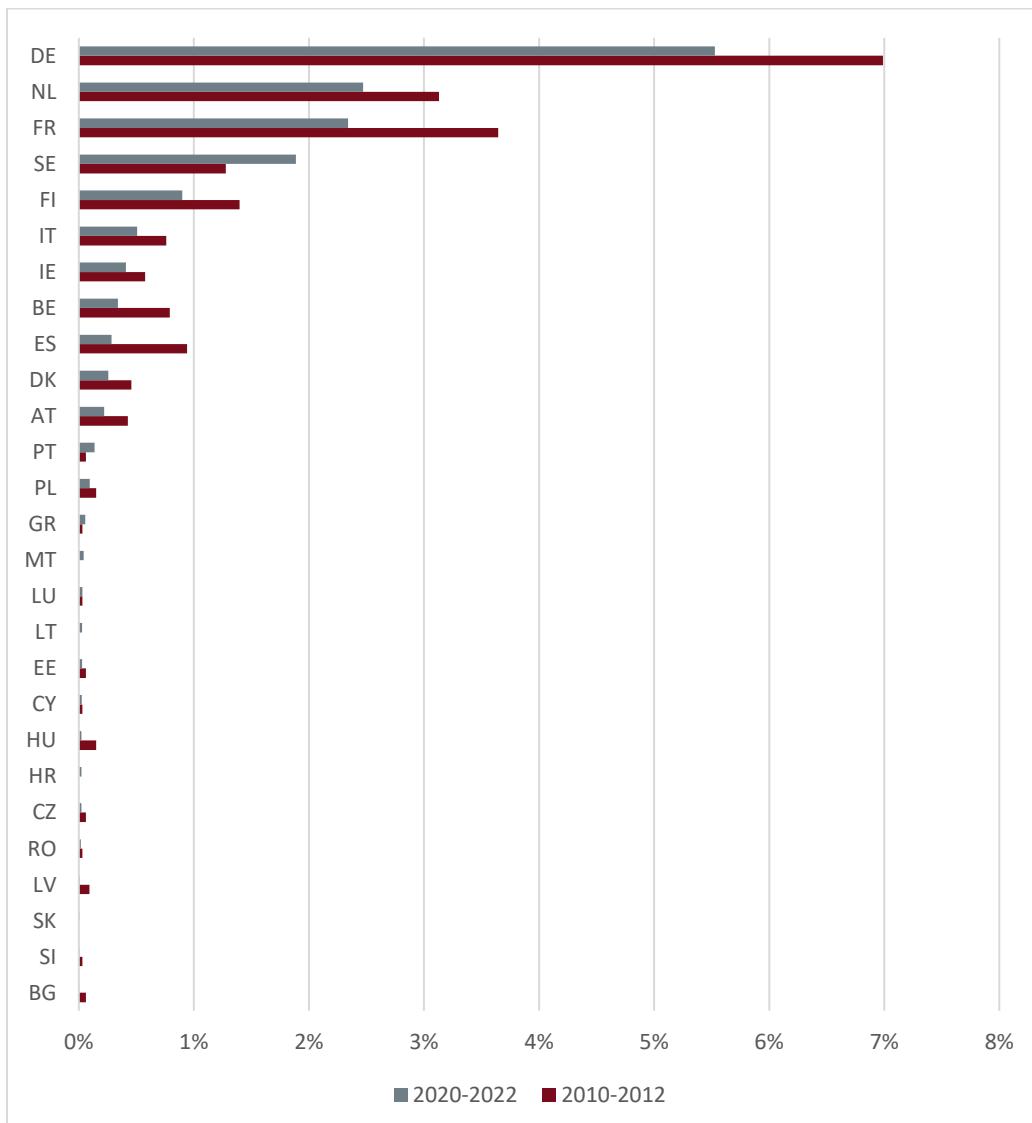


Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Prozentual gesehen (an der Welt-Gesamtzahl der KI-Patentanmeldungen, Abbildung 25) weist Deutschland aktuell einen Anteil von 5,5% auf, die Niederlande 2,5%, Frankreich 2,3% und Schweden 1,9%.

Nur die Länder Schweden und Portugal haben beim Vergleich der Zeitperioden ihren prozentualen Anteil steigern können, d.h. dort verlief die aktuelle Phase besonders dynamisch, es kamen überproportional viele neue KI-Patentanmeldungen hinzu.

Abbildung 2.25: EU-27-Länderanteile bei den gesamten, weltweiten KI-Patenten 2010-2012 und 2020-2022



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Betrachtet man die Situation in Deutschland, so zeigt sich, dass es die großen Unternehmen sind, die zahlenmäßig die meisten KI-Patente anmelden (Tabelle 6).

Tabelle 2.7: Top-10-KI-Patentanmelder nach Anzahl von KI-bezogenen Patente in Deutschland 2020-2022

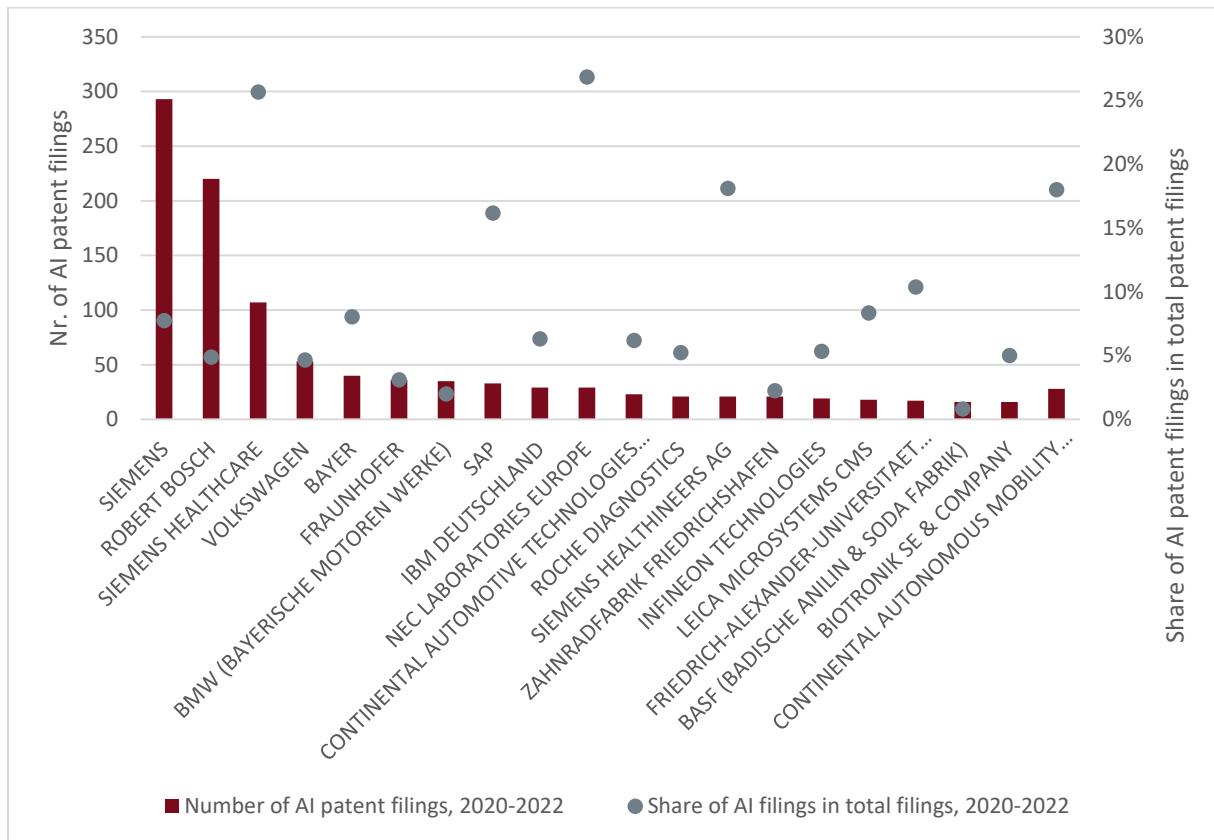
Land	Patentanmelder	Anzahl aller Patentanmeldungen 2020-2022	Anzahl KI-Patentanmeldungen, 2020-2022	Anteil von KI-an allen Patentanmeldungen, 2020-2022
DE	SIEMENS	3789	293	8%
DE	ROBERT BOSCH	4504	220	5%
DE	SIEMENS HEALTHCARE	417	107	26%
DE	VOLKSWAGEN	1137	53	5%
DE	BAYER	498	40	8%
DE	FRAUNHOFER	1162	36	3%
DE	BMW	1753	35	2%
DE	SAP	204	33	16%
DE	IBM DEUTSCHLAND	460	29	6%
DE	NEC LABORATORIES EUROPE	108	29	27%

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

In Tabelle 7 zeigen die beiden rechten Spalten zum einen die Gesamtzahl der Patentanmeldungen der Top-10-KI-Anmelder und zum anderen den Anteil, den diese KI-Anmeldungen an den jeweiligen Gesamtanmeldungen haben. Der Anteil zeigt die Bedeutung von KI im Patentportfolio der jeweiligen Unternehmen an. Bei einem hohen Anteil hat KI eine wichtige Bedeutung für das gesamte Unternehmen, ein niedriger Anteil sagt aus, dass das Unternehmen weitere und evtl. relevantere Technologie-Schwerpunkte hat. Innerhalb der absolut gesehen größten deutschen Patentanmelder bei KI-Technologien setzen Siemens Healthcare, NEC Europe und SAP am stärksten auf KI.

Abbildung 26 veranschaulicht die Zahlen aus Tabelle 7 in einem Balkendiagramm, in dem die KI-Anteile an den Gesamtpatenten zusätzlich als (graue) Punkte angegeben werden (Prozentwertachse rechts).

Abbildung 2.26: Die deutschen Top-20 KI-Patentanmelder 2020-2022 mit Anteil von KI-Anmeldungen an Gesamtanmeldungen



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Die Reihenfolge der deutschen KI-patentierenden Unternehmen ändert sich, wenn man nach der Bedeutung von KI für das Unternehmens-Portfolio sortiert. Hier finden sich auch kleinere Unternehmen unter den Top-10-Unternehmen (siehe Tabelle 8). In Tabelle 8 und Abbildung 27 wurden nur solche Unternehmen einbezogen, die mindestens 5 KI-bezogene Patente eingereicht haben.

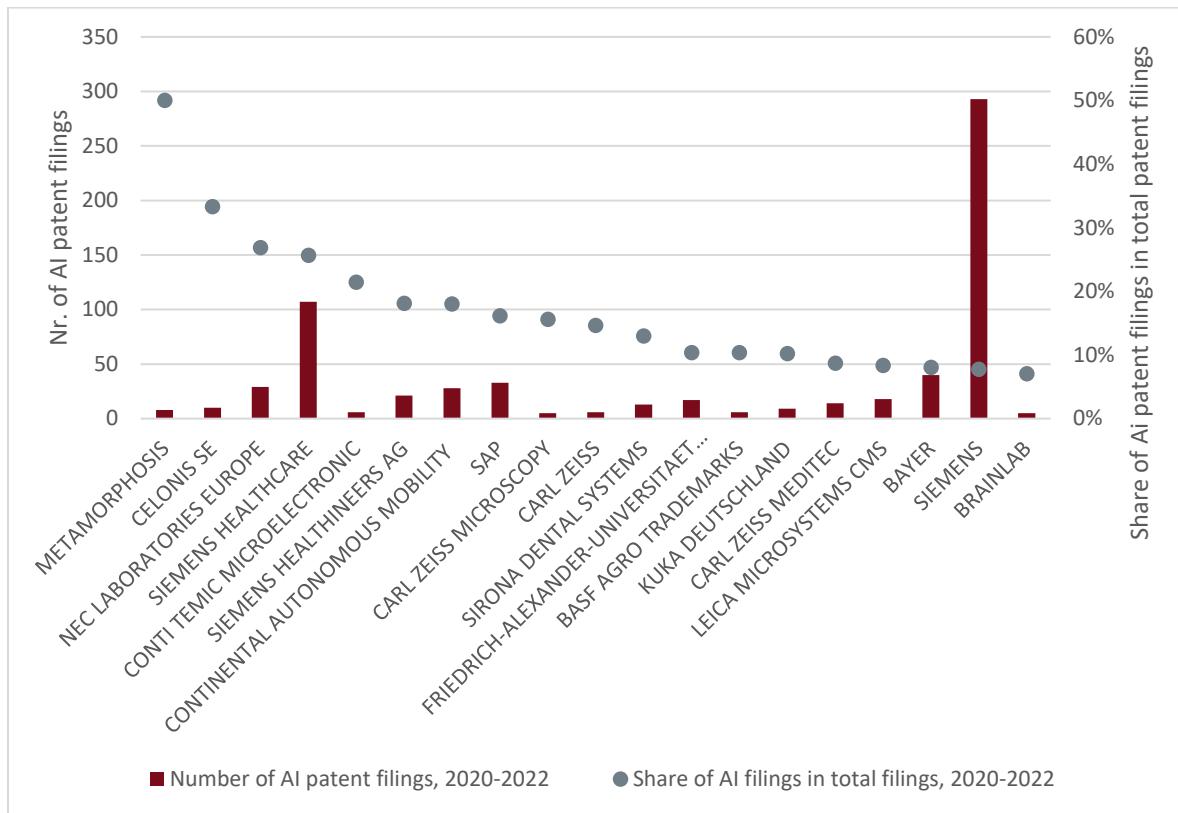
Tabelle 2.8: Die 10-KI-intensivsten Unternehmen in Deutschland 2020-2022 (Verhältnis KI-bezogener Patente im Vergleich zur Gesamtzahl der beantragten Patente)

Land	Patentanmelder	Anzahl aller Patentanmeldungen 2020-2022	Anzahl von KI-Patentanmeldungen, 2020-2022	Anteil von KI-an allen Patentanmeldungen, 2020-2022
DE	METAMORPHOSIS	16	8	50%
DE	CELONIS	30	10	33%
DE	NEC LABORATORIES EUROPE	108	29	27%
DE	SIEMENS HEALTHCARE CONTI TEMIC	417	107	26%
DE	MICROELECTRONIC	28	6	21%
DE	SIEMENS HEALTHINEERS	116	21	18%
DE	CONTINENTAL AUTON. MOBILITY	156	28	18%
DE	SAP	204	33	16%
DE	CARL ZEISS MICROSCOPY	32	5	16%
DE	CARL ZEISS	41	6	15%

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Abbildung 27 veranschaulicht diese Zahlen in einem Balkendiagramm, indem zusätzlich die KI-Anteile an den Gesamtpatenten als graue Punkte angegeben werden (Prozentwerteachse rechts).

Abbildung 2.27: Die deutschen Top-19 KI-Patentanmelder 2020-2022 sortiert nach dem Anteil von KI-Anmeldungen an Gesamtanmeldungen



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Obwohl die Liste der deutschen Top-10 Unternehmen in Tabelle 8 vom Medizintechnikhersteller Metamorphosis aus Paderborn mit 45 Mitarbeitern angeführt wird, zeigt die Aufstellung, dass die KI-Forschung in Deutschland ganz überwiegend von großen Unternehmen wie z.B. Siemens Healthcare, Celonia oder Zeiss vorangetrieben wird.

Interessant ist der Vergleich mit den anderen Technologienationen. In China, Japan, Korea und den USA finden sich in den jeweiligen Top-10-Listen (Tabelle 9) Unternehmen, deren Technologiefokus fast vollständig auf KI liegt (71-100% in den rechten Spalten). Und es finden sich in den USA und China viele kleinere und mittlere Unternehmen, wie z.B. Arize AI in den USA mit ca. 120 Mitarbeitern oder Infervision Medical Technology mit ca. 200 Mitarbeitern in China (siehe Tabelle 9). Hier kann man erkennen, dass der Technologietransfer in den USA und China anderes funktioniert als in Deutschland. Dabei ist erkennbar, dass das Medizintechnikprofil bei den KI-Anmeldungen in den beiden Vergleichsländern noch stärker ausgeprägt ist als in Deutschland. Um dies auch über die Jahre hinweg vergleichen zu können sind in Tabelle 10 die 10-KI-intensivsten Unternehmen der Jahre 2000-2002 in den Vergleichsländern sowie Deutschland dargestellt.

Tabelle 2.9: Die 10-KI-intensivsten Unternehmen im Ländervergleich 2020-2022 (Verhältnis KI-bezogener Patente im Vergleich zur Gesamtzahl der beantragten Patente)

Land	Patentanmelder	Anzahl von KI-Patentanmeldungen, 2020-2022	Anteil von KI- an allen Patentanmeldungen, 2020-2022
CN	INFERVISION MEDICAL TECHNOLOGY COMPANY	5	100%
CN	XIAOHE MEDICAL EQUIPMENT (HAINAN) CO., LTD.	5	100%
CN	HANGZHOU FUJIA GALLIUM TECHNOLOGY CO. LTD.	10	91%
CN	HANGZHOU ZOHO INFORMATION TECHNOLOGY COMPANY	6	86%
CN	BEIJING SHENRUI BOLIAN TECHNOLOGY CO., LTD	5	83%
CN	HANGZHOU SHENRUI BOLIAN TECHNOLOGY CO., LTD	5	83%
CN	SHENZHEN SIBRIGHT TECHNOLOGY COMPANY	5	83%
CN	PERCEPTION VISION MEDICAL TECHNOLOGY COMPANY	8	80%
CN	SHANGHAI UNIVERSITY OF MEDICINE & HEALTH SCIENCES	8	80%
CN	NANJING SILICON INTELLIGENCE TECHNOLOGY COMPANY	5	71%
JP	LEAPMIND	16	89%
JP	SAI CORPORATION	5	63%
JP	ANAUT INC.	6	60%
JP	AVATARIN INC.	6	40%
JP	RAKUTEN GROUP, INC.	17	34%
JP	CANON MEDICAL SYSTEMS CORPORATION	20	27%
JP	CHUBU UNIVERSITY EDUCATIONAL FOUNDATION	5	25%
JP	RAKUTEN	25	25%
JP	HITACHI KOKUSAI ELE	15	18%
JP	FUJITSU	232	17%
KR	CROWDWORKS	7	100%
KR	HEURON CO., LTD.	7	100%
KR	POLESTAR HEALTHCARE COMPANY	6	100%

KR	HIPPO T&C, INC.	5	100%
KR	INFINIQ CO., LTD.	5	100%
KR	MIRINAЕ TECHNOLOGIES INC.	5	100%
KR	JLK	11	92%
KR	AIDOT	8	89%
KR	NOTA	11	85%
KR	MOBILINT	5	83%
US	ARIZE AI, INC.	5	100%
US	EMBODYED INTELLIGENCE INC.	5	100%
US	PROSCIA INC.	5	100%
US	THEAI, INC.	20	91%
US	COVID COUGH, INC.	9	90%
US	PAIGE.AI	39	87%
US	VIANAI SYSTEMS	12	86%
US	DATAROBOT	11	85%
US	ELECTRONIC CAREGIVER	5	83%
US	NAYYA HEALTH, INC.	5	83%

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Tabelle 2.10: Die 10-KI-intensivsten Unternehmen im Ländervergleich 2000-2002

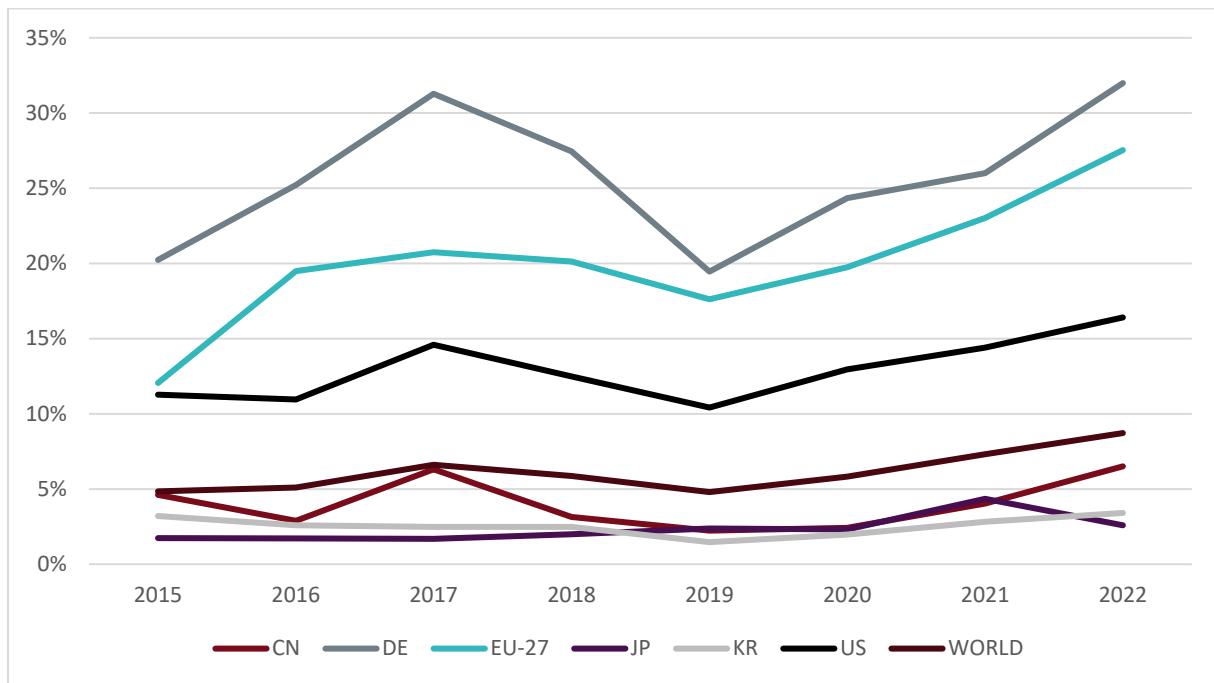
Land	Patentanmelder	Anzahl von KI-Patentanmeldungen , 2000-2002	Anteil von KI- an allen Patentanmeldungen , 2000-2002
CN	INTEL CHINA	8	57%
CN	BEIJING KEXIN TECHNOLOGY COMPANY BEIJING PDN XINREN INFORMATION	1	100%
CN	TECHNOLOGY COMPANY	1	100%
CN	CHINESE ACADEMY OF SCIENCES INTER CHINA NETWORK SOFTWARE	1	2%
CN	COMPANY	1	33%
CN	MTEL	1	25%
CN	WANG QIN	1	100%
DE	SIEMENS	39	1%
DE	PHILIPS INTELLECTUAL PROPERTY & STANDARDS	35	4%
DE	SONY INTERNATIONAL (EUROPE)	10	5%
DE	SAP	9	3%
DE	SONY DEUTSCHLAND	6	4%
DE	HONDA RESEARCH INSTITUTE EUROPE	5	71%
DE	BMW (BAYERISCHE MOTOREN WERKE)	4	1%
DE	DAIMLERCHRYSLER	4	0%
DE	FRAUNHOFER	4	1%
DE	INFINEON TECHNOLOGIES	4	0%
JP	SONY CORPORATION	108	3%
JP	PANASONIC CORPORATION	49	1%
JP	CANON	37	2%
JP	NEC CORPORATION	21	2%
JP	FUJITSU	18	1%
JP	MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION	18	1%
JP	PIONEER CORPORATION	14	1%
JP	SHARP CORPORATION	13	1%
JP	HITACHI	11	1%
JP	JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY	11	1%
KR	SAMSUNG ELECTRONICS COMPANY	16	1%

KR	LG ELECTRONICS	5	0%
KR	BL SYSTEMS	3	100%
KR	EVER MEDIA COMPANY	2	100%
KR	NITGEN COMPANY	2	18%
KR	ACENET	1	100%
KR	BFLY SOFT COMPANY	1	50%
KR	CCR	1	100%
KR	CHO, MI HWA	1	100%
KR	E'STAR LABORATORIES	1	100%
US	KODAK	34	2%
US	IBM (INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION)	24	2%
US	INTEL CORPORATION	24	2%
US	MOTOROLA	21	1%
US	HP (HEWLETT-PACKARD COMPANY)	17	1%
US	QUALCOMM	16	1%
US	MICROSOFT CORPORATION	15	2%
US	NCR CORPORATION	10	7%
US	XEROX CORPORATION	10	2%
US	SIEMENS MEDICAL SOLUTIONS USA	9	17%

3.1.3 Kooperationen bei den Patentanmeldungen

In diesem Abschnitt werden die internationalen Ko-Patentierungstrends – Ko-Patente zwischen Erfindern aus unterschiedlichen Ländern - bei den transnationalen KI Patentanmeldungen näher beleuchtet. Die Anteile der transnationalen Ko-Patente in den KI-Technologien an allen transnationalen Patentanmeldungen des jeweiligen Landes im KI-Bereich sind in Abbildung 28 dargestellt. Dies gibt uns einen Eindruck von der Kooperationsintensität der Länder, wobei hohe Anteile bedeuten, dass viele Erfinder des jeweiligen Landes international kooperieren. Insgesamt lässt sich seit 2019 eine steigende Ko-Patentierungsaktivität bei in den KI Technologien feststellen. Am aktuellen Rand zeigt Deutschland im Vergleich der dargestellten Länder die höchsten Ko-Patentierungsanteile. Am aktuellen Rand wurden mehr als 30% aller deutschen KI-Patente mit Erfindern aus anderen Ländern angemeldet. Das ist im Vergleich zu den durchschnittlichen Ko-Patentierungsräten ein hoher Wert, da im Schnitt nur etwa 15% aller deutschen Patente internationale Ko-Patente sind (siehe bspw. Neuhäusler/Rothengatter (2022)). Auch die EU-27 insgesamt weist vergleichsweise hohe Ko-Patentierungsanteile auf, die deutlich über dem weltweiten Durchschnitt liegen. China, und vor allem Japan und Korea zeigen niedrige Ko-Patentierungsanteile, was allerdings auch im Durchschnitt aller Patentanmeldungen der Fall ist (nicht gezeigt).

Abbildung 2.28: Anteile der KI Ko-Patenten an allen KI-Patenten des jeweiligen Landes



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Tabelle 11 ermöglicht eine Bewertung der wichtigsten Kooperationspartner für jedes der untersuchten Länder (2020-2022). Die Werte oberhalb der Diagonalen in der Tabelle geben den Anteil der Ko-Patente zwischen zwei Ländern an allen transnationalen Ko-Patenten in den KI-Technologien an. Im Bereich unterhalb der Diagonalen sind die absoluten Anzahlen der Ko-Patentanmeldungen zwischen den beiden jeweiligen Ländern dargestellt. In der letzten Spalte ist der Anteil eines Landes an allen transnationalen Ko-Patenten im KI-Bereich weltweit angegeben, wobei hier natürlich Größeneffekte zum Tragen kommen. Die USA haben mit einem Wert von 25,9 % den höchsten Anteil an allen transnationalen Ko-Patenten im KI-Bereich. Deutschland folgt auf dem zweiten Platz mit einem Anteil von 12 %. Indien liegt an dritter Stelle mit einem Anteil von 7 %. An vierter und fünfter Stelle liegen Großbritannien und China mit einem Anteil von 6,5 % bzw. 6,2 %. Die EU-27 als Ganzes kommt auf einen Anteil von 16,5%.

In Tabelle 12 ist die Bedeutung der Kooperationspartner für jedes der Länder in unserem Vergleich dargestellt (2020-2022). Sie wird als Anteil der Ko-Patente mit dem jeweiligen Partnerland gemessen. Die Farben zeigen die Bedeutung der Kooperationspartner (nach Spalten) für jedes Land von grün bis rot an. Der wichtigste Kooperationspartner für Deutschland in den KI-Technologien sind beispielsweise die USA, da 32 % aller deutschen KI-Ko-Patente im Zeitraum 2020 bis 2022 in Zusammenarbeit mit einem US-amerikanischen Erfinder angemeldet werden. Die nächstgrößeren Partner sind China (7,2%), die Schweiz (6,9%), Frankreich (6,3%), Indien (6,1%), Schweden (5,5%), Finnland (5,0%) und Österreich (4,4%). Die USA sind nahezu alle Länder in unserem Vergleich der wichtigste Kooperationspartner bei KI-Technologien. Die USA selbst kooperieren am stärksten mit Deutschland, Indien, China, Kanada und Großbritannien. Auch Deutschland ist für viele Länder ein wichtiger Partner, allen voran Österreich und Finnland, über die EU-Grenzen hinaus aber auch für die USA und China.

Tabelle 13 und Tabelle 14 zeigen die gleichen Werte wie Tabelle 11 und Tabelle 12, allerdings für den früheren Zeitraum 2015-2017, um Trends über die Zeit hinweg feststellen zu können.

Tabelle 2.11: Anzahl der Ko-Patente und Anteile der Länder an allen Ko-Patenten, KI, 2020-2022

	2	0	1	0	5	12	5	11	0	1	0	5		0.11	0.00	0.06	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00	0.90	0.00	
IL	2	0	1	0	5	12	5	11	0	1	0	5		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	1.94%
IN	13	1	2	4	9	12	11	39	3	4	9	19	6		0.11	0.09	0.32	0.11	0.08	0.04	0.68	3.16	2.09	
IT	9	3	6	0	1	13	0	20	0	12	0	6	0	0.02	0.00	0.00	0.00	0.11	0.34	0.38	0.00		2.28%	
JP	0	0	1	0	3	5	8	5	0	3	0	5	3	0.02	0.06	0.02	0.02	0.04	1.35	0.28			2.24%	
KR	0	3	0	0	1	0	14	0	0	0	0	4	0	0.00	0.02	0.02	0.02	0.68	0.11				1.49%	
NL	8	2	7	0	5	5	3	17	1	2	0	13	0	0.00	0.00	0.08	0.64	0.00					2.07%	
PL	6	0	1	1	11	15	0	17	0	1	1	3	2	0.00	0.04	0.36	0.00						1.60%	
RU	2	0	0	1	1	0	7	4	0	0	0	2	2	0.00	0.40	0.17								0.94%
SE	11	0	0	8	12	3	12	35	2	24	4	9	0	0.53	0.00	0.00								3.97%
US	79	7	15	18	150	86	166	203	15	33	21	136	48	168	20	72	36	34	19	21	28	8.68		25.88%
EU-27	0	0	0	15	75	114	71	0	0	0	0	0	0	111	0	15	6	0	0	9	0	461		16.50%
Total	29																							100.00%
	6	54	86	43	317	286	329	638	52	131	106	347	103	376	121	119	79	110	85	50	211	1375	877	%

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Tabelle 2.12: Anteile der Ko-Patente nach Partnerland, KI, 2020-2022

	FR	AT	BE	BR	CA	CH	CN	DE	DK	ES	FI	GB	IL	IN	IT	JP	KR	NL	PL	RU	SE	US	EU-27
	2%	8%	0%	5%	10%	2%	6%	17%	5%	19%	9%	2%	3%	7%	0%	0%	7%	7%	4%	5%	6%	n.a.	
FR																							
AT	0%		2%	0%	0%	1%	0%	4%	2%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	4%	2%	0%	0%	0%	1%	n.a.	
BE	2%	4%		0%	0%	5%	0%	2%	0%	0%	2%	3%	1%	1%	5%	1%	0%	6%	1%	0%	0%	1%	n.a.
BR	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%		2%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	4%	1%	2%
CA	5%	2%	1%	2%		5%	8%	3%	0%	3%	0%	10%	5%	2%	1%	3%	1%	5%	13%	2%	6%	11%	9%
CH	10%	7%	15%	0%	5%		2%	7%	0%	4%	1%	4%	12%	3%	11%	4%	0%	5%	18%	0%	1%	6%	13%
CN	2%	0%	1%	2%	8%	3%		7%	0%	0%	4%	3%	5%	3%	0%	7%	18%	3%	0%	14%	6%	12%	8%
DE	14%	52%	17%	5%	6%	15%	14%		17%	19%	30%	7%	11%	10%	17%	4%	0%	15%	20%	8%	17%	15%	n.a.
DK	3%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	1%		0%	9%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	1%	n.a.
ES	2%	0%	0%	5%	1%	2%	0%	4%	0%		1%	2%	1%	1%	10%	3%	0%	2%	1%	0%	11%	2%	n.a.
FI	7%	0%	2%	0%	0%	0%	1%	5%	19%	1%		0%	0%	2%	0%	0%	0%	1%	0%	2%	2%	2%	n.a.
GB	10%	2%	14%	12%	11%	5%	3%	4%	4%	6%	1%		5%	5%	5%	4%	5%	12%	4%	4%	4%	10%	n.a.
IL	1%	0%	1%	0%	2%	4%	2%	0%	1%	0%	1%		2%	0%	3%	0%	0%	2%	4%	0%	3%	n.a.	n.a.
IN	4%	2%	2%	9%	3%	4%	3%	6%	6%	3%	8%	5%	6%		5%	4%	22%	5%	5%	4%	17%	12%	13%
IT	3%	6%	7%	0%	0%	5%	0%	3%	0%	9%	0%	2%	0%	2%		1%	0%	0%	0%	12%	9%	1%	n.a.
JP	0%	0%	1%	0%	1%	2%	2%	1%	0%	2%	0%	1%	3%	1%	1%		1%	3%	1%	2%	1%	5%	2%
KR	0%	6%	0%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	5%	0%	1%		0%	1%	2%	0%	3%	1%
NL	3%	4%	8%	0%	2%	2%	1%	3%	2%	2%	0%	4%	0%	2%	0%	3%	0%		0%	0%	2%	2%	n.a.
PL	2%	0%	1%	2%	3%	5%	0%	3%	0%	1%	1%	1%	2%	1%	0%	1%	1%	0%		0%	1%	1%	n.a.
RU	1%	0%	0%	2%	0%	0%	2%	1%	0%	0%	0%	1%	2%	1%	5%	1%	1%	0%	0%		0%	2%	1%

SE	4%	0%	0%	19%	4%	1%	4%	5%	4%	18%	4%	3%	0%	10%	15%	2%	1%	4%	2%	0%	2%	n.a.
US	27%	13%	17%	42%	47%	30%	50%	32%	29%	25%	20%	39%	47%	45%	17%	61%	46%	31%	22%	42%	13%	
EU-27	n.a.	n.a.	n.a.	35%	24%	40%	22%	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	30%	n.a.	13%	8%	n.a.	n.a.	18%	n.a.	34%	

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Tabelle 2.13: Anzahl der Ko-Patente und Anteile der Länder an allen Ko-Patenten, KI, 2015-2017

		Anteil an allen transnat. . KI Ko- Patente n																							
	F R	AT	BE	BR	CA	CH	CN	DE	DK	ES	FI	GB	IL	IN	IT	JP	KR	NL	PL	RU	SE	US	EU- 27		
FR	0.17 %	0.25 %	0.08 %	0.50 %	0.25 %	0.17 %	1.42 %	0.00 %	0.25 %	0.00 %	0.58 %	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.17 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	1.67 %	0.00 %	5.59%		
AT	2	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.08 %	0.83 %	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.00 %	0.50 %	0.00 %	1.67%											
BE	3	0	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.08 %	0.42 %	0.00 %	0.00 %	0.33 %	0.00 %	0.00 %	0.17 %	0.00 %	0.08 %	0.00 %	1.42%								
BR	1	0	0	0	0	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.17 %	0.17	0.50%									
CA	6	0	1	0	0	0.08 %	0.08 %	0.08 %	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.17 %	0.08 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.08 %	3.09 %	0.83 %	4.42%	
CH	3	0	0	1	1	0.00 %	0.25 %	0.00 %	0.00 %	0.08 %	0.25 %	0.00 %	0.08 %	0.25 %	0.00 %	0.17 %	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.00 %	0.08 %	0.00 %	1.17 %	1.00 %	2.84%
CN	2	1	1	0	1	0	0.50 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.42 %	0.00 %	0.08 %	0.17 %	0.33 %	0.08 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.00 %	0.33 %	7.18 %	1.17 %	9.52%	
DE	17	10	5	1	1	3	6	0.08 %	0.08 %	0.00 %	0.92 %	0.08 %	0.25 %	0.67 %	0.08 %	0.00 %	0.00 %	0.42 %	0.00 %	0.67 %	4.26 %	0.00 %	11.10%		
DK	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00 %	0.08 %	0.00 %	0.17%													
ES	3	0	0	0	1	0	0	1	0	0.00 %	0.25 %	0.08 %	0.00 %	0.17 %	0.00 %	1.42%									
FI	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.25 %	0.08 %	0.00 %	0.17 %	0.00 %	0.58%										
GB	7	0	4	1	1	3	5	11	0	3	3	0.00 %	0.17 %	0.25 %	0.25 %	0.00 %	0.17 %	0.00 %	0.08 %	0.17 %	4.84 %	0.00 %	9.10%		

	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.08	0.00	1.25	0.00	1.67%	
IL	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
IN	1	0	0	0	2	1	1	3	0	0	0	2	0	0.08	0.08	0.33	0.00	0.00	0.08	0.17	3.42	0.75	5.01%	
IT	0	0	2	0	1	3	2	8	0	0	0	3	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.42	0.08	0.00	2.17%		
JP	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	3	0	1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.17	0.17	2.92%	
KR	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0.00	0.08	0.25	0.00	0.58	0.08	1.50%	
NL	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0.00	0.08	0.00	0.33	0.00	0.83%		
PL	0	1	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.00	0.08	0.25	0.00	1.00%		
RU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3	1	0	0.00	0.67	0.08	1.25%		
SE	0	0	0	0	1	1	4	8	0	0	0	2	0	2	5	0	0	0	1	0	0.33	0.00	2.34%	
US	20	6	1	2	37	14	86	51	1	8	2	58	15	41	1	26	7	4	3	8	4	9.35%	32.97%	
EU-27	0	0	0	2	10	12	14	0	0	0	0	0	0	9	0	2	1	0	0	1	0	112	13.61%	
Total	67	20	17	6	53	34	114	133	2	17	7	109	20	60	26	35	18	10	12	15	28	395	163	100.00%

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

Tabelle 2.14: Anteile der Ko-Patente nach Partnerland, KI, 2015-2017

	FR	AT	BE	BR	CA	CH	CN	DE	DK	ES	FI	GB	IL	IN	IT	JP	KR	NL	PL	RU	SE	US	EU-27
FR		10%	18%	17%	11%	9%	2%	13%	0%	18%	0%	6%	0%	2%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	0%	5%	n.a.
AT	3%		0%	0%	0%	0%	1%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	2%	n.a.
BE	4%	0%		0%	2%	0%	1%	4%	0%	0%	0%	4%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	n.a.
BR	1%	0%	0%		0%	3%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
CA	9%	0%	6%	0%		3%	1%	1%	0%	6%	0%	1%	0%	3%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	9%	6%
CH	4%	0%	0%	17%	2%		0%	2%	0%	0%	14%	3%	0%	2%	12%	0%	11%	0%	8%	0%	4%	4%	7%
CN	3%	5%	6%	0%	2%	0%		5%	0%	0%	0%	5%	0%	2%	8%	11%	6%	0%	0%	0%	14%	22%	9%
DE	25%	50%	29%	17%	2%	9%	5%		50%	6%	0%	10%	5%	5%	31%	3%	0%	0%	42%	0%	29%	13%	n.a.
DK	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	n.a.
ES	4%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	1%	0%		0%	3%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	n.a.
FI	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%		3%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	n.a.
GB	10%	0%	24%	17%	2%	9%	4%	8%	0%	18%	43%		0%	3%	12%	9%	0%	20%	0%	7%	7%	15%	n.a.
IL	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	6%	14%	0%		0%	0%	0%	0%	10%	0%	7%	0%	4%	n.a.
IN	1%	0%	0%	0%	4%	3%	1%	2%	0%	0%	0%	2%	0%		4%	3%	22%	0%	0%	7%	7%	10%	6%
IT	0%	0%	12%	0%	2%	9%	2%	6%	0%	0%	0%	3%	0%	2%		0%	0%	0%	0%	0%	18%	0%	n.a.
JP	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	1%	0%	0%	0%	3%	0%	2%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	7%	1%
KR	0%	0%	0%	0%	0%	6%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	0%	0%		0%	8%	20%	0%	2%	1%	n.a.
NL	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	5%	0%	0%	0%		0%	7%	0%	1%	n.a.	
PL	0%	5%	0%	0%	0%	3%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	0%		0%	4%	1%	n.a.
RU	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	5%	2%	0%	0%	17%	10%	0%		0%	2%	1%

SE	0%	0%	0%	0%	2%	3%	4%	6%	0%	0%	0%	2%	0%	3%	19%	0%	0%	0%	8%	0%	1%	n.a.
US	30%	30%	6%	33%	70%	41%	75%	38%	50%	47%	29%	53%	75%	68%	4%	74%	39%	40%	25%	53%	14%	
EU-27	n.a.	n.a.	n.a.	33%	19%	35%	12%	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	15%	n.a.	6%	6%	n.a.	n.a.	7%	n.a.	28%

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von EPO PATSTAT

3.2 Unternehmenslandschaft

3.2.1 Methodik Unternehmenslandschaft

Ursprünglich war geplant, die beiden Unternehmensdatenbanken Orbis und Crunchbase zu nutzen, um die jeweiligen Top-10-KI-Unternehmen pro Land zu bestimmen. Bei einem Methodentest stellte sich jedoch heraus, dass es ausreicht, Crunchbase zu nutzen. Orbis würde keine zusätzlichen Erkenntnisse liefern.

Crunchbase ist eine Firma, die 2007 in San Francisco gegründet wurde, um Daten zu Start-ups für Investoren zu sammeln. Über die Jahre wurde eine umfangreiche Unternehmensdatenbank aufgebaut, die Daten von Unternehmen in vielen Ländern sammelt, einpflegt und über ein Webtool kommerziell zur Verfügung stellt. In der Crunchbase-Datenbank lassen sich Sektoren, Unternehmensgrößenklassen, Finanzierungsdetails usw. selektieren.

Für die vorliegende Analyse wurden in Crunchbase Unternehmen identifiziert, die laut der Crunchbase eigenen Industrieklassifikation zur Industry Group „Artificial Intelligence“ gehören. Es wurde weiterhin stichprobenartig überprüft, ob sich diese Unternehmen laut Geschäftsbeschreibung („Field description“) mit KI beschäftigen. Laut dieser Abgrenzung muss es sich also um Unternehmen handeln, die KI entwickeln oder bei denen Produkten oder Dienstleistungen KI eine Rolle spielt. Dabei kann es sich um ein Start-up handeln, das z.B. einen Chatbot für den Gesundheitsbereich entwickelt hat, der auf einem allgemeinen großen Sprachmodell basiert. Es können aber auch etablierte Unternehmen wie SAP sein, die KI in ihre Softwareprodukte integrieren oder Unternehmen, die eigene Language Models entwickeln wie z.B. Mistral AI in Frankreich.⁴

Crunchbase gilt inzwischen als eine der verlässlichsten Unternehmensdatenbanken und die Selektionsmöglichkeiten sind sehr umfangreich. Allerdings gibt es Einschränkungen bei der Transparenz, d.h. es liegen nur wenige Informationen darüber vor, wie die Daten erhoben, sortiert und gewertet werden. Eine wichtige Quelle sind Webseiten der Unternehmen, die von Crunchbase systematisch ausgewertet werden. Je nachdem, welche Themen das Unternehmen in den Vordergrund stellt, kann es hier zu Verzerrungen bei der Zuordnung zu bestimmten Themen oder Sektoren geben. Auch ist unklar, in welchen Abständen die Datenbank aktualisiert wird. Recherchen in der Vergangenheit und Nachfragen beim Betreiber haben ergeben, dass es durchaus Datenlücken geben kann.

3.2.2 KI-Unternehmen

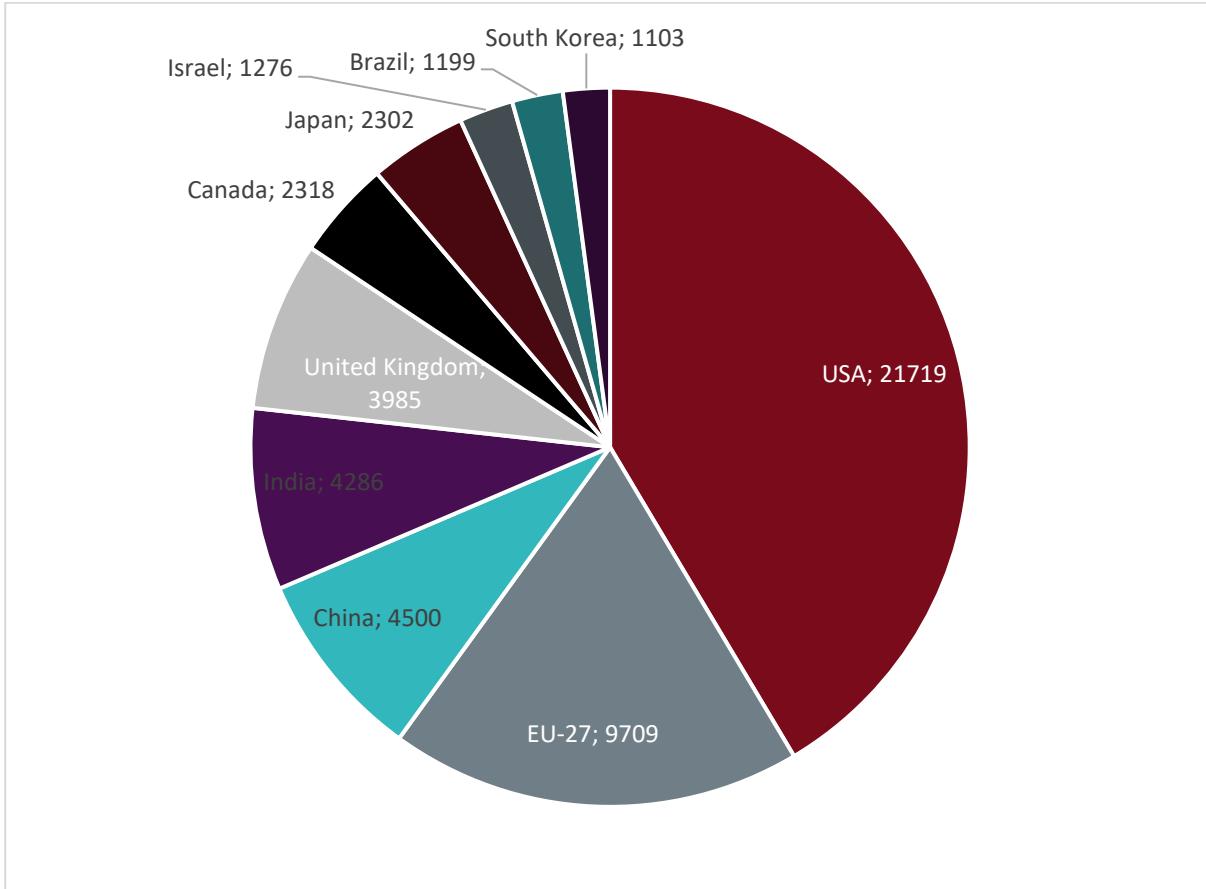
In welchen Ländern gibt es laut Crunchbase die meisten KI-Unternehmen und welches sind die bedeutendsten KI Unternehmen in den jeweiligen Ländern?

Zunächst soll es um die Anzahl von KI-Unternehmen in einem Land gehen. Dies kann als Indikator dafür angesehen werden, wie gut der Transfer von der KI-Forschung in die Anwendung funktioniert und auch, wie stark die jeweilige Volkswirtschaft bereits vom Thema KI geprägt wird.

In der Auswertung vom Februar 2025 weist Crunchbase weltweit 47.723 KI-Unternehmen aus. Die Länderverteilung der KI-Unternehmen zeigt Abbildung 29.

⁴ Es sei darauf hingewiesen, dass es bei der vorliegenden Analyse nicht um die *Nutzung* von KI-Technologien in Unternehmen geht. Hierzu gibt es eigene Analysen, wie z.B. die Eurostat-Erhebung mit eigenem Auswertung-Webtool unter https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/isoc_eb_ai__custom_15031699/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=ecce0645-b741-474f-90e5-30e9c224e547

Abbildung 2.29: Anzahl KI Unternehmen (KI-gesamt) weltweit (Top 10)



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase. Wert für China aus Forbes China 2024. In EU-27 enthalten: Deutschland mit 1.980 KI-Unternehmen. Gesamt: 52.397

Die Abbildung zeigt, dass die meisten Unternehmen, die in der Crunchbase-Datenbank als KI-Unternehmen geführt werden, aus den Vereinigten Staaten von Amerika stammen. Auf Platz zwei folgen die EU-27-Länder, die anschließend näher betrachtet werden. Platz 3 belegt China mit 4.500 KI-Unternehmen. Der Wert für China wurde dabei nicht aus der Crunchbase-Datenbank übernommen⁵, sondern vom chinesischen Ministry of Industry and Information Technology (MIIT). Dabei handelt es sich um eine Zahl vom April 2024 (Forbes China 2024).

Es folgen Indien auf Platz 4 mit 4.286 KI-Unternehmen und Großbritannien auf Platz 5 mit 3.985 KI-Unternehmen.

Deutschland würde als Land mit 1.980 KI-Unternehmen in dieser Aufstellung Platz 8 belegen, der Wert ist aber im EU-25-Anteil enthalten.

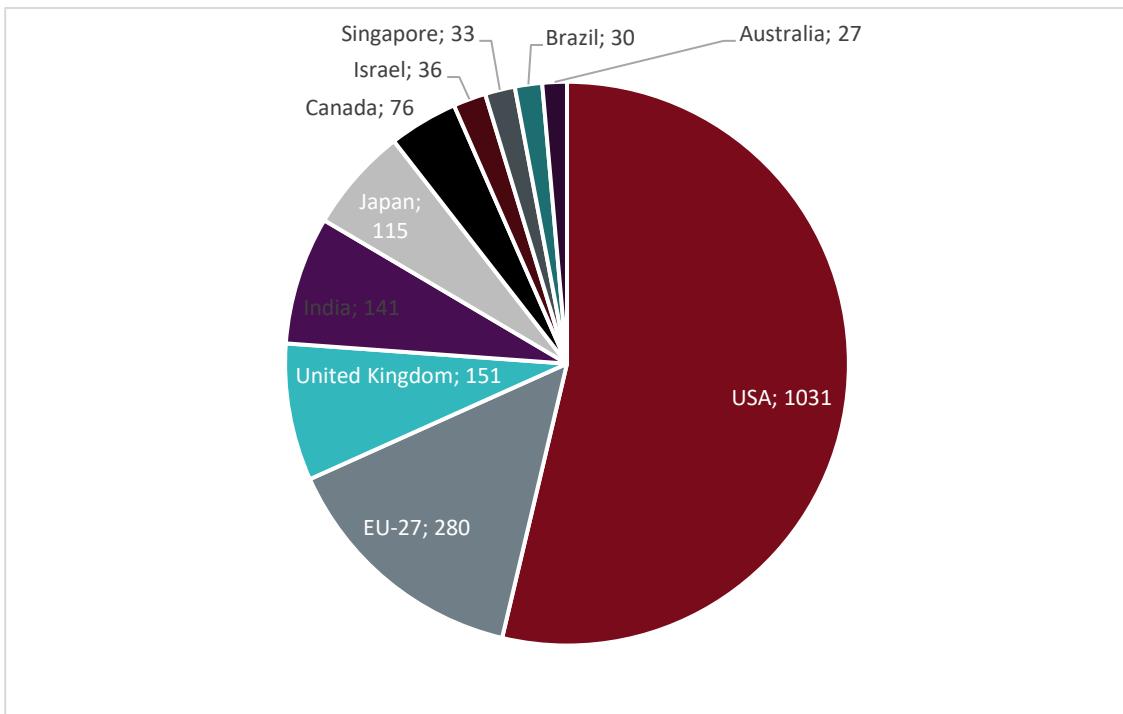
Crunchbase ermöglicht die Selektion von Unternehmen, die sich explizit mit generativer KI (GenAI) beschäftigen (s. Abbildung 30). Die Gesamtzahl der GenAI-Unternehmen ist mit 1.863 relativ gering und es fehlen Daten für China. Interessant ist die Länderverteilung dennoch. Die Reihenfolge entspricht ungefähr derjenigen in Abbildung 29, in der KI gesamt ausgewiesen wird, allerdings mit noch stärkerem Übergewicht der Vereinigten Staaten von Amerika, die mit 1031 Unternehmen mehr als die Hälfte der insgesamt 1.920 GenAI-Unternehmen stellt.

In Japan gibt es vergleichsweise viele GenAI-Unternehmen, das Land kommt in dieser Kategorie auf Platz 5 während es bei KI-Unternehmen ohne diese Spezialisierung (Abbildung 29) nur auf Platz 7 rangiert.

⁵ In Crunchbase betrug die Anzahl chinesischer KI-Unternehmen lediglich 2.128, ein erwartbar zu geringer Wert, da Crunchbase den chinesischen Markt nicht in vollem Umfang abdeckt. Außerdem kann von einem gewissen Überrepräsentation amerikanischer Unternehmen ausgegangen werden, da Crunchbase als US-amerikanische Datenbank ihren Heimatmarkt sehr detailliert abbildet.

Unter den EU-27-Ländern ist Deutschland mit 62 GenAI-Unternehmen das stärkste Land, gefolgt von Frankreich mit 53 GenAI-Unternehmen (siehe im Detail weiter unten). Als eigenes Land würde Deutschland Platz 7 hinter Kanada mit 76 GenAI-Unternehmen belegen.

Abbildung 2.30: Anzahl GenAI-Unternehmen weltweit (Top 10)

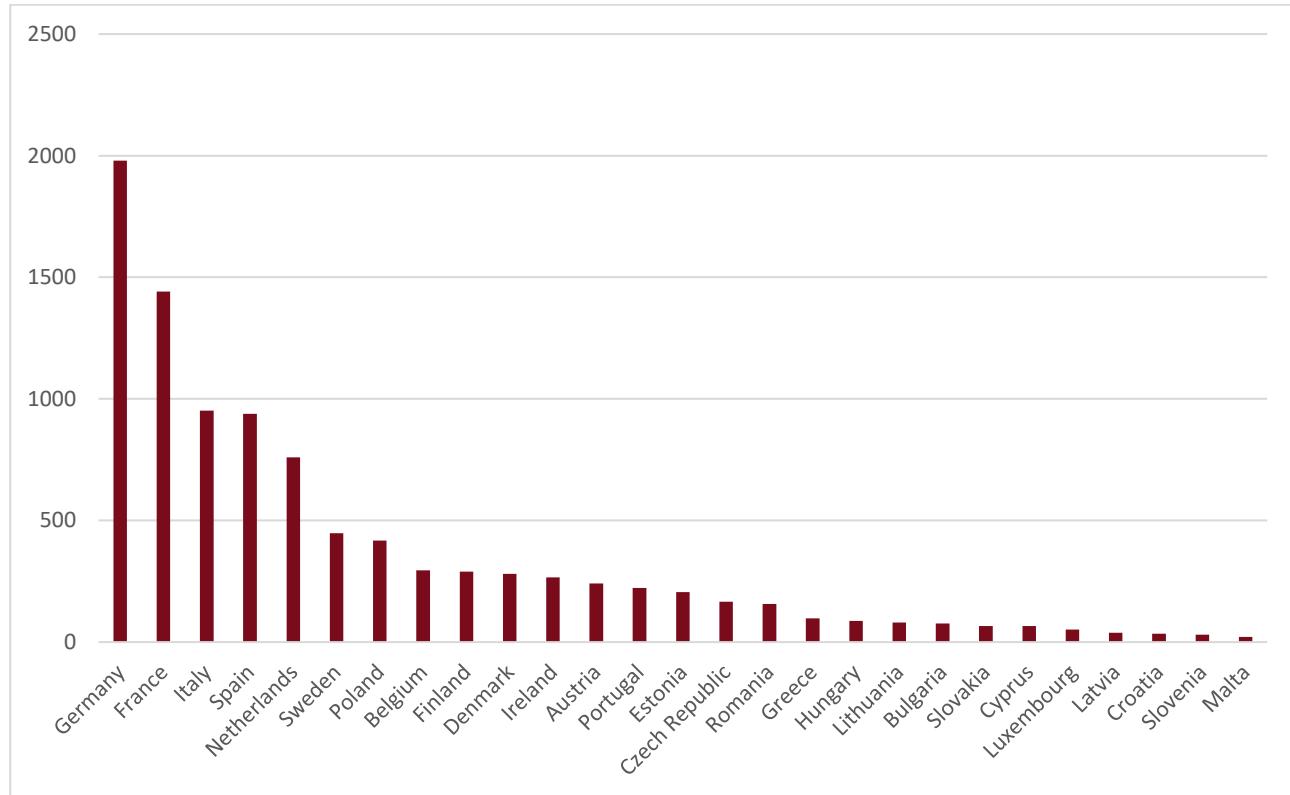


Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase. Wert für Deutschland: 62. Gesamt: 1.290

Betrachtet man erneut alle Unternehmen im Bereich künstliche Intelligenz, zeigt sich für die EU-27-Länder folgende Verteilung (Abbildung 31): Deutschland weist die meisten KI-Unternehmen in der EU auf, gefolgt von Frankreich. Dahinter bilden die Länder Italien, Spanien und die Niederlande eine Gruppe mit relativ vielen KI-Unternehmen (zwischen 700 und 1.000).

Alle anderen EU-27-Länder haben jeweils weniger als 500 KI-Unternehmen (Schweden: 448, Polen: 418, Belgien: 295). Kleinere Länder wie z.B. Bulgarien, die Slowakei oder Zypern kommen auf jeweils weniger als 80. Das Schlusslicht Malta verfügt – auch entsprechend der insgesamt geringen Größe seiner Volkswirtschaft - laut Crunchbase über lediglich 21 KI-Unternehmen.

Abbildung 2.31: Anzahl KI Unternehmen (KI-gesamt) EU-27



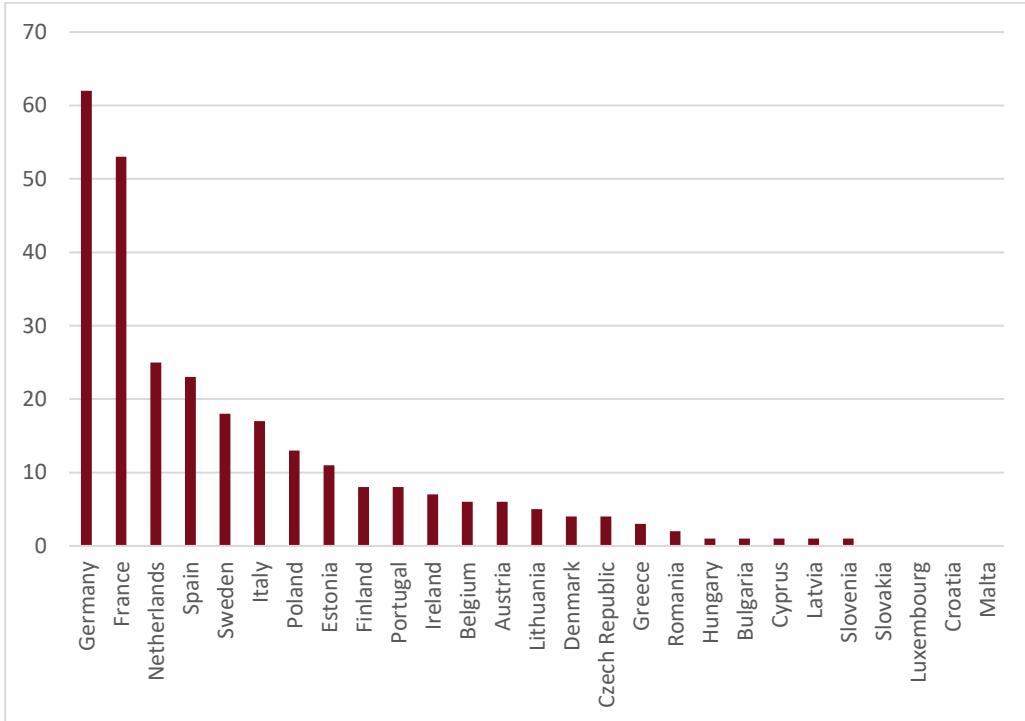
Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Die Verteilung spiegelt die Größe der jeweiligen Volkswirtschaften, lediglich die Niederlande fallen aus diesem Rahmen. Für ein kleines Land wie die Niederlande ist die Zahl von 759 KI-Unternehmen (Platz 5 unter den EU-27-Ländern) bemerkenswert.

Die EU-27-Länderverteilung bei GenAI fällt sehr ähnlich aus (Abbildung 32), wobei erneut zu bedenken ist, dass die Gesamtzahl europäischer GenAI-Unternehmen mit 280 relativ gering ist. Auffällig ist, dass es in Italien relativ wenige GenAI-Firmen gibt, obwohl die Gesamtzahl der KI-Unternehmen dort vergleichsweise hoch ist. Umgekehrt verhält es sich in den Niederlanden, die in diesem Sinne zu den Hotsports der europäischen GenAI-Szene gerechnet werden können.

Für die Slowakei, Luxemburg, Kroatien und Malta listet Crunchbase keine GenAI-Unternehmen auf.

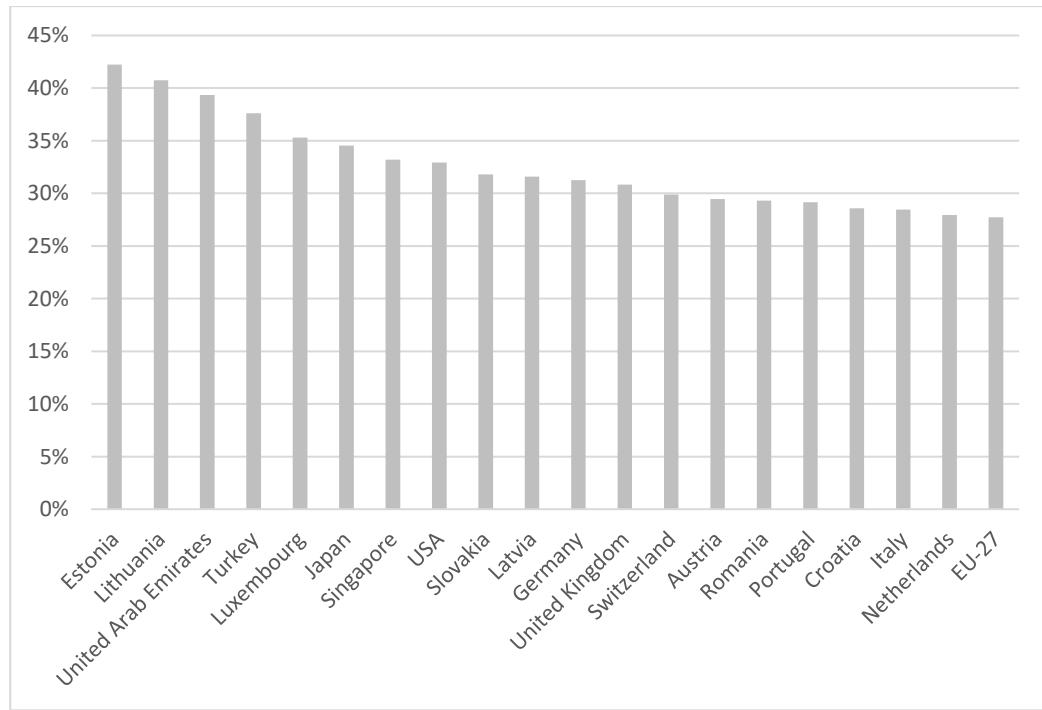
Abbildung 2.32: Anzahl GenAI- Unternehmen EU-27



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Crunchbase weist u.a. das Gründungsjahr der Unternehmen aus, wodurch sich eine Start-up-Quote (Anteil junger Unternehmen an allen Unternehmen) ermitteln lässt. Abbildung 33 zeigt für ausgewählte Länder den Anteil von KI-Firmen, die nicht älter als fünf Jahre sind an allen Unternehmen.

Abbildung 2.33: KI-Start-ups weltweit (Top 20) Anteil von KI-Start-ups an KI-Unternehmen gesamt



Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Zwei baltische Länder, Estland und Lettland führen die Liste der Länder mit dem höchsten Anteil junger Unternehmen im KI-Bereich an, gefolgt von den Vereinigten Arabischen Emiraten. Von den deutschen KI-Unternehmen sind 31% Start-ups, etwas über dem EU-27 Schnitt von 28%.

Nach der Analyse der Länderverteilung geht es im Folgenden um die Frage, welches die führenden Unternehmen in Deutschland und den Vergleichsländern sind. Laut Crunchbase sind die wichtigsten KI-Unternehmen in Deutschland Heling, DeepL und Siemens (Tabelle 15). Die Unternehmen sind nach dem „Crunchbase Rank“ aufgelistet, einem Bewertungssystem, das nützlich, aber nicht vollständig transparent ist. Crunchbase erläutert das Zustandekommen des Wertes folgendermaßen: „The Crunchbase rank uses Crunchbase's intelligent algorithms to score and rank entities (e.g. Company, People, Investors, etc.) so you can quickly see what matters most in real time. The algorithms take into account many different variables, ranging from Total Funding Amount, that entity's strength of relationships with other entities in the Crunchbase ecosystem, and how many times the entity has been viewed recently.“ (Quelle: About Crunchbase Data <https://support.crunchbase.com/hc/en-us/articles/115010477187-Crunchbase-Rank-CB-Rank>).

Die Helsing GmbH mit Sitz in München ist ein 2021 gegründetes deutsches Softwareunternehmen, das sich auf den Einsatz der Künstlichen Intelligenz im Rüstungssektor spezialisiert hat. Das Start-up beschäftigt 220 Mitarbeiter (2023). DeepL wurde 2017 in Köln gegründet und beschäftigt inzwischen 900 Mitarbeiter (2024). Siemens wird bei Crunchbase vermutlich wegen seiner vielfältigen KI-Aktivitäten im Gesundheitsbereich und im Produktionssektor auf Platz 3 der wichtigsten deutschen KI-Unternehmen geführt.

Tabelle 2.15: Top-20 KI-Unternehmen (KI gesamt) in Deutschland

Top-20 KI-Unternehmen in Deutschland	Gegründet	CB-Rang
Helsing	2021	179
DeepL	2017	320
Siemens	1847	605
Aleph Alpha	2019	857
Black Forest Labs	2024	878
Cognigy	2016	1.173
NEURA Robotics	2019	1.359
bitsCrunch	2021	1.392
Parloa	2017	1.721
bliro	2022	1.943
muffintech	2021	1.976
Celonis	2011	2.062
Circus Group	2021	2.171
Meshcapade	2018	2.755
Agile Robots AG	2018	2.774
LiveEO	2018	3.218
ACCURE Battery Intelligence	2020	3.474
Sereact	2021	3.597
SynthFlow AI	2023	3.604

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

In den folgenden Tabellen werden die wichtigsten 10 KI-Unternehmen in ausgewählten Ländern aufgeführt. Als Länder wurden die weltweit ersten 5 und die europaweit (EU-27) die ersten 5 (nach Deutschland) ausgewählt.

Tabelle 2.16: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in den USA

Top 10-KI-Unternehmen in den USA	CB Rank	Gegründet
OpenAI	1	2015
Anthropic	2	2021
Perplexity	3	2022
xAI	6	2023
SandboxAQ	14	2016
Polymarket	23	2020
CoreWeave	25	2017
Hippocratic AI	30	2023
SoundHound	32	2005
Fundraise Up	52	2017

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Tabelle 2.17: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in China

Top 10-KI-Unternehmen in China	CB Rang	Gegründet
Zhipu AI	195	2019
Moonshot AI	249	2023
Unitree Robotics	306	2016
WeRide	579	2017
DeepSeek	923	2023
UBTech Robotics	1416	2012
Shengshu Technology	1976	2023
Cambricon Technologies	2322	2016
Timekettle	2407	2016
Momenta	3019	2016

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Crunchbase listet v.a. Unternehmen, bei denen KI im Zentrum der Geschäftsaktivitäten steht, oft sind es junge Unternehmen. Forbes Chinas (2024) weist andere Top-10 KI-Unternehmen aus, nämlich Alibaba Cloud, AISphere Technology, Axera, Beijing Baichuan Intelligent Technology, Baidu AI Cloud, IceKredit, Mobvoi Information Technology, AInnovation Technology, DataGrand und Dataaa Robotics. Bei diesen Unternehmen handelt es sich um Unternehmen, die zwar auch KI entwickeln und selbst für Geschäftsprozesse einsetzen. Die KI-Technologien stehen dort aber nicht im Zentrum der Aktivitäten.

Tabelle 2.18: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in Indien

Top 10-KI-Unternehmen in Indien	CB Rang	Gegründet
Dozee	218	2015
Krutrim	985	2023
VuNet Systems	1002	2014
Qure AI	1405	2016
Fasal	1591	2018
Wysa	1665	2015
Glance	1896	2019
GoKwik	1941	2020
SatSure	2121	2017
CloudSEK	2384	2015

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Tabelle 2.19: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in Großbritannien

Top 10-KI-Unternehmen in Großbritannien	CB Rang	Gegründet
Nscale	27	2023
Wayve	81	2017
Darktrace	104	2013
Cera	142	2016
Flo Health	149	2015
VitVio	407	2023
Featurespace	418	2008
11x	539	2022
Stability AI	572	2019
FLock.io	702	2022

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Tabelle 2.20: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in Japan

Top 10-KI-Unternehmen in Japan	CB Rang	Gegründet
Mujin	85	2011
Sakana AI	454	2023
Preferred Networks	791	2014
Ubie	2015	2017
SmartNews	5193	2012
Tier IV	5661	2015
CADDi	5824	2017
Starley	8264	2023
Queue	9264	2016
RevComm	9726	2017

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Tabelle 2.21: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in Frankreich

Top 10-KI-Unternehmen in Frankreich	CB Rang	Gegründet
Mistral AI	36	2023
Bioptimus	90	2024
Akur8	946	2019
AQEMIA	1536	2019
H Company	1985	2023
Enchanted Tools	2285	2021
LightOn	2847	2016
Cosmo Tech	3552	2010
Armis	3708	2015

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Tabelle 2.22: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in Italien

Top 10-KI-Unternehmen in Italien	CB Rang	Gegründet
iGenius	865	2016
Cardo AI	5377	2018
Translated	5586	1999
Axyon AI	10247	2016
Musixmatch	16431	2010
Vedrai	16592	2020
Skillvue	16801	2021
Contents	17549	2021
Volta	19645	2024
Kaspersky	19699	1997

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Tabelle 2.23: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in Spanien

Top 10-KI-Unternehmen in Spanien	CB Rang	Gegründet
INBRAIN Neuroelectronics	32	2020
Multiverse Computing	376	2019
Seedtag	3577	2014
RavenPack	3745	2003
Veridas	4489	2017
Koa Health	6645	2016
Crescenta	7977	2023
Luzia	9442	2023
HEMAV	11419	2012

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Tabelle 2.24: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in den Niederlanden

Top 10-KI-Unternehmen in den Niederlanden	CB Rang	Gegründet
Weaviate	667	2019
DataSnipper	913	2017
Bynder	1524	2013
Axelera AI	1679	2021
SingularityNET	2072	2017
Source.ag	3547	2020
ScreenPoint Medical	4003	2014
Innatera	4257	2018
Next Sense	4267	2014
Pyramid Analytics	5897	2008

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

Tabelle 2.25: Top-10 KI-Unternehmen (KI gesamt) in Schweden

Top 10-KI-Unternehmen in Schweden	CB Rang	Gegründet
IFS	888	1983
Mavenoid	1156	2017
Greater Than	2038	2014
Leya	3081	2023
Flower	5254	2020
Lightbringer	6264	2023
Voyado	7034	2005
Gilion	10209	2021
Kognic	10608	2018
Arkion	10714	2019

Quelle: Eigene Analyse auf der Basis von Crunchbase.

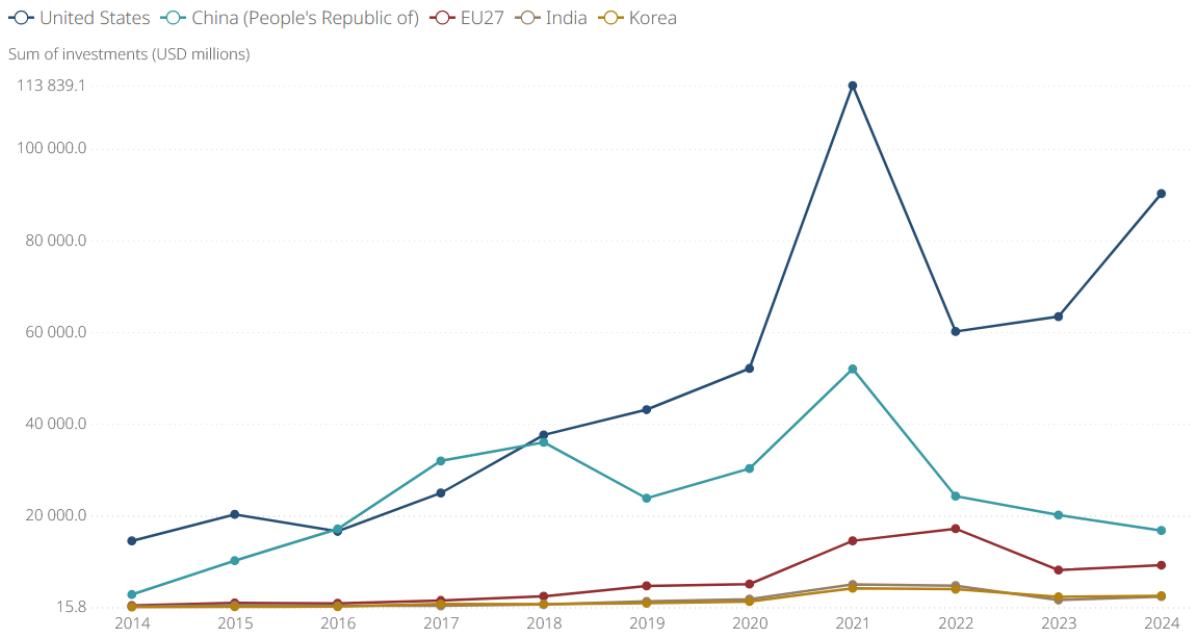
3.2.3 KI-Venture Capital-Investitionen im internationalen Vergleich

Zur Charakterisierung der Start-up-Dynamik im Bereich KI werden im Folgenden Auswertungen wiedergegeben, die über das „Live Data“-Portal der OECD zugänglich sind. Die Daten für die OECD-Auswertungen stammen von Prequin, einer Ausgründung des slowenischen Jožef Stefan Instituts. Prequin sammelt seit 2003 Daten über Venture Capital Investitionen in verschiedenen Branchen. Laut Prequin durchsucht ein Team von Spezialisten kontinuierlich unterschiedliche Quellen (genannt werden Behördeninformationen, Pressemitteilungen, Nachrichten und Websites <https://www.preqin.com/data/venture-capital>) und stellt die Daten über auf einer eigenen Plattform zur Verfügung. 2025 wurde Prequin von BlackRock übernommen.

Venture Capital Investitionen im Bereich KI sind in der OECD-Analyse gleichbedeutend mit KI-Start-up-Investitionen. Eine Definition von KI-Start-ups und die Liste der verwendeten Keywords findet sich im Methodenhinweis der OECD unter <https://oecd.ai/en/preqin>.

Abbildung 34 zeigt einen Screenshot des Verlaufs der VC-Investitionen zwischen 2014 und 2024 in den Ländern USA, China, der EU-27 sowie Indiens und Südkoreas. Die Abbildung zeigt, dass die meisten VC-Investitionen in den USA getätigt wurden und dass diese von 2014 bis 2021 stark angestiegen sind. Der anschließende Einbruch zeigt vermutlich den Corona-Knick. Dieser macht sich auch in den anderen Ländern bemerkbar, wenngleich nicht in gleichem Maße bzw. leicht zeitversetzt. Deutlich wird, dass die USA das Land sind, in dem mit Abstand die meisten KI-Investitionen in Start-ups getätigt werden.

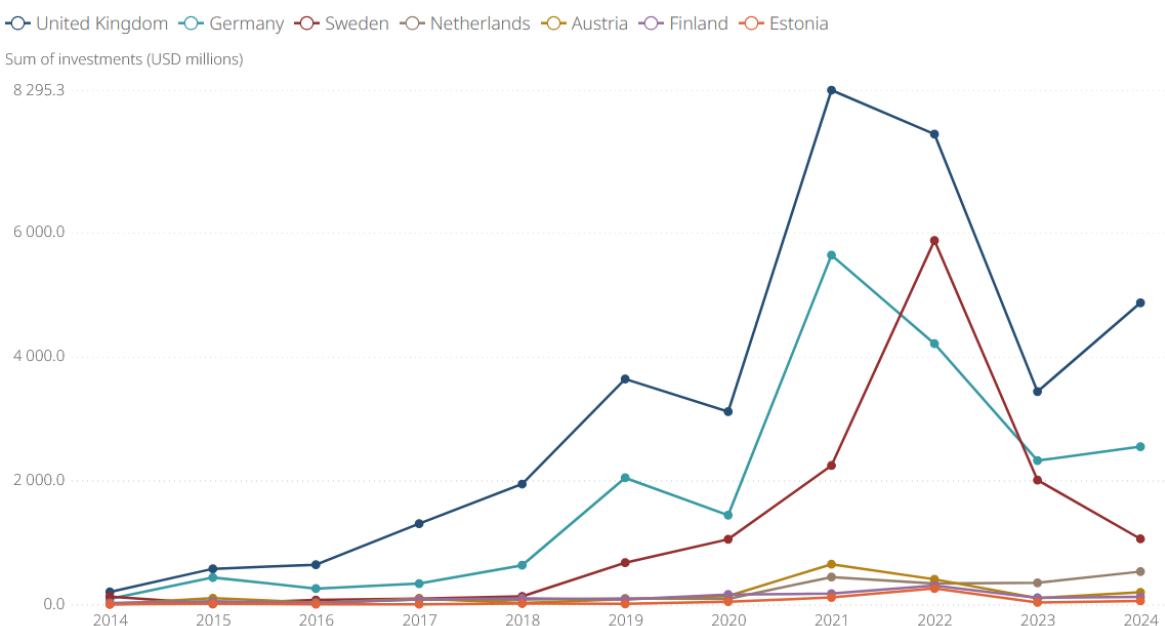
Abb. 2.34: Venture Capital Investitionen in KI-Unternehmen in ausgewählten Ländern (2014-2024)



Quelle: OECD.AI Live Data basierend auf Zahlen von Preqin, Stand: Anfang 2025, abgerufen am 14. Mai 2025, <https://oecd.ai>.

Auf weit geringerem Niveau befinden sich die KI-VC-Investitionen laut OECD in Europa. Abbildung 35 zeigt ausgewählte europäische Länder. Im Jahr 2024 wurden die größten Summen in KI-Start-ups in Großbritannien investiert, danach folgen Deutschland und Schweden. Auf recht niedrigem Niveau befinden sich die VC-Investitionen in den Niederlanden, Österreich, Finnland und Estland.

Abb. 2.35: Venture Capital Investitionen in KI-Unternehmen in ausgewählten europäischen Ländern (2014-2024)



Quelle: OECD.AI Live Data basierend auf Zahlen von Preqin, Stand: Anfang 2025, abgerufen am 14. Mai 2025, <https://oecd.ai>.

Das „Live Data“-Portal der OECD ermöglicht weitere Auswertungen z.B. von Investitionen nach Branchen, ebenfalls auf der Basis der Prequin-Daten. Auch hier zeigt sich der enorme Abstand zwischen den USA und dem Rest der Welt bei den KI-Investitionen.

3.3 Integrierte Bewertung: Patentanalyse und Unternehmenslandschaft

Mit Blick auf die Anmeldung von KI-Patenten liegt Deutschland international auf Platz 5 bei den KI-Patenten hinter den Vereinigten Staaten von Amerika, China, Japan und Südkorea, aber noch vor wichtigen KI-Ländern wie Großbritannien oder Frankreich.

Innerhalb der EU-27 Länder liegt Deutschland bei den KI-Patentanmeldungen mit Abstand auf Platz 1, gefolgt von den Niederlanden, Frankreich, Schweden und Finnland. Mit weiterem Abstand folgen Italien, Irland, Belgien, Spanien, Dänemark und Österreich. Insgesamt gibt es bei den EU-27-Ländern nur 14 Länder mit relevanten KI-Patentaktivitäten.

Die größten Patentanmelder in den KI-Technologien sind in Deutschland erwartungsgemäß die großen Unternehmen aus etablierten Branchen wie Siemens, Bosch oder Volkswagen. Diese Aussage bezieht sich auf die Anzahl der KI-bezogenen Patente. Betrachtet man dagegen den Anteil, den die KI-bezogenen Patentanmeldungen an den Gesamtanmeldungen einzelner Unternehmen haben, zeigt sich ein differenzierteres Bild: Weiterhin sind es große Unternehmen wie Siemens Healthcare, Continental Autonomous Mobility oder Zeiss. Es gibt aber auch kleine und mittlere Unternehmen wie Metamorphosis und Unternehmen, die nicht aus traditionellen Branchen, sondern aus der Softwarebranche stammen, wie z.B. Celonis oder SAP.

Der Vergleich mit den USA und China hat gezeigt, dass der KI-Technologietransfer dort stärker über Start-ups oder Spin-offs aus großen Unternehmen oder Universitäten erfolgt.

Bei der Anzahl der KI-Unternehmen, die wir in dieser Analyse auf der Basis von Crunchbase-Daten ermittelt haben, liegt Deutschland auf Platz 8, hinter den USA, den EU-27-Ländern (ohne D), China, Indien, Großbritannien, Kanada, Japan und Israel. Auch bei der generativen KI, der derzeit wichtigsten KI-Technologie liegt Deutschland mit Blick auf die Anzahl der hierauf spezialisierten Unternehmen auf den hinteren Plätzen (Platz 7).

Innerhalb Europas (EU-27) sieht es anders aus, hier führt Deutschland deutlich bei der Anzahl der Unternehmen, sowohl im Bereich der gesamten KI als auch im Spezialgebiet der generativen KI. Auf den folgenden Plätzen finden sich Frankreich, Italien, Spanien und die Niederlande.

4 LITERATUR

AI Index Report (2024): Annual AI Index Report 2024 published by the AI Index Steering Committee of the Institute for Human-Centered AI. Stanford University, CA. Authors: Nestor Maslej, Loredana Fattorini, Raymond Perrault et al., Stanford, CA, April.

Beckert, Bernd; Kroll, Henning (2024): Definition of the research and innovation field "Artificial Intelligence" and approaches to determining quality. Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 88. Karlsruhe: Fraunhofer ISI, November 2024, ISSN 1612-1430, 10.24406/publica-3792.

Boqiang & Henry (2024): The Future of Deep Learning and AI: Ilya Sutskever and Geoffrey Hinton. In: The Medium Jun 29, <https://medium.com/@lbq999/the-future-of-deep-learning-and-ai-ilya-sutskever-and-geoffrey-hinton-f17cbc87b86f>.

Doan, Raphaël; Levy, Antoine; Storchan, Victor (2025): Financing Infrastructure for a Competitive European AI. Authors, Groupe d'Etudes Géopolitiques, Feb 10, 2025, <https://geopolitique.eu/en/2025/02/10/financing-infrastructure-for-a-competitive-european-ai/>

DPMA (2025): Computerimplementierte Erfindungen; www.dpma.de/patente/patentschutz/schutzvoraussetzungen/schutz_computerprogramme/index.html, letzter Aufruf, 26.03.2025

European Commission (2025): EU launches InvestAI initiative to mobilise €200 billion of investment in artificial intelligence. Press release of 11 February 2025, Paris, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_25_467/IP_25_467_EN.pdf

Forbes China (2024): The Forbes 2024 China Artificial Intelligence Technology Enterprises Awards Re-sults. Officially Released, In: Forbes China, April 28, 2024, <https://www.forbeschina.com/innovation/67725>

Frietsch, Rainer; Schmoch, Ulrich (2010): Transnational patents and international markets. In: Scientometrics 82, pp. 185–200.

Hiltscher, Johannes (2023): Die Supercomputer-CPU mit Desktop-Speicher. Blogpost auf golem.de vom 27. November, www.golem.de/news/sunway-sw26010-pro-die-supercomputer-cpu-mit-desktop-speicher-2311-179784.html

OECD (2020): Identifying and measuring developments in artificial intelligence: Making the impossible possible. Authors: Stefano Baruffaldii, Brigitte van Beuzekom, Hélène Dernis, Dietmar Harhoff, Nandan Rao, David Rosenfeld and Mariagrazia Squicciarini. OECD Science, Tech-nology and Industry Working Papers, No. 2020/05, Paris: OECD Publishing, May, <https://doi.org/10.1787/5f65ff7e-en>.

Kapitel 3: Europäische F&I-Politik, Industriepolitik und Regulierung – ein Überblick

Bernhard Dachs, Krisztina Rozgonyi, Carsten Schwäbe, Matthias Weber

1 ZIELSETZUNGEN UND LEITENDE FRAGESTELLUNGEN

Dieses Kapitel knüpft an zwei der in der Einleitung genannten Projektziele an, nämlich erstens der Erfassung und Bewertung der Institutionen, Fördermaßnahmen und Governance-Mechanismen auf EU-Ebene, die in Bezug auf KI wirksam werden, und zweitens die Analyse und Bewertung des Verhältnisses von europäischer F&I- und Industriepolitik. Konkret sollen dabei folgende Fragestellungen adressiert werden:

- Welche F&I- und industrielpolitischen Maßnahmen und Förderungen gibt es mit Bezug zu KI, wie haben sich diese entwickelt und wie werden sie begründet?
- Welche Rolle spielen andere Politiken, insbesondere regulativen Rahmenbedingungen, für Forschung, Innovation, Transfer und Anwendung von KI? Wie kann deren Eignung im Hinblick auf übergeordnete EU-Politikziele und die Schaffung verlässlicher, anpassungsfähiger und effizient umsetzbarer Rahmenbedingungen für KI bewertet werden?
- Wie werden Maßnahmen der F&I- und Industriepolitik sowie der KI-bezogenen Regulierung organisatorisch-institutionell umgesetzt?
- Welche Synergien und Widersprüche lassen sich zwischen F&I-politischen, industrielpolitischen und regulativen Instrumenten identifizieren?

Nachfolgend wird zunächst in knapper Form eine Positionierung der KI-politischen Ansatzpunkte der EU vor dem Hintergrund geopolitischer Entwicklungen und aktueller europapolitischer Debatten vorgenommen. Im Anschluss werden zunächst die für KI wesentlichen F&I- und industrielpolitischen Entwicklungen auf EU-Ebene nachgezeichnet. Dies umfasst auch ausgewählte Daten zur Förderung von KI, insbesondere durch das europäische Rahmenprogramm für Forschung und Innovation (Horizon Europe). Aufgrund der vielfältigen und wachsenden Überlappungen von F&I-politischen und industrielpolitischen Maßnahmen der EU werden beide Politikfelder im gleichen Abschnitt behandelt. Separat wird in der Folge auf die für KI relevanten Regulierungen eingegangen, bei denen die EU in den letzten Jahren global betrachtet eine Vorreiterrolle eingenommen hat. Eine übergreifende Bewertung beschließt das Kapitel.

2 EUROPÄISCHE KI-POLITIK IM GEOPOLITISCHEN UND EUROPAPOLITISCHEN KONTEXT

2.1 Ökonomische, geopolitische und gesellschaftliche Konfliktlinien

Künstliche Intelligenz ist mehr als nur eine klassische Schlüsseltechnologie. Ähnlich wie die Dampfmaschine oder die Elektrifizierung, aber möglicherweise mit noch größeren Auswirkungen, hat Künstliche Intelligenz das Potenzial, Wirtschaft und Gesellschaft fundamental zu verändern und eine neue große und paradigmatische Transformation einzuleiten. Doch auch wenn ihr dieses Potenzial innenwohnt, wissen wir derzeit nicht, wie groß die Leistungsfähigkeit von Künstlicher Intelligenz wirklich sein wird und welche Kosten und Risiken mit ihr verbunden sind.

Aufgrund dieser fundamentalen Bedeutung von Künstlicher Intelligenz zeichnen sich nicht nur ökonomische, sondern auch geopolitische und gesellschaftliche Konfliktlinien ab, die eine KI-Politik der Europäischen Union nicht nur begründen, sondern die sie auch laufend mitdenken und bearbeiten muss.

Künstliche Intelligenz hat nicht nur das Potenzial zu massiven Effizienzsteigerungen, sondern auch großen Einfluss auf die Art und Weise, wie ganz grundsätzlich Wissen ausgetauscht wird und wir alle miteinander kommunizieren. Hier liegen gesellschaftliche Risiken für Verzerrungen Missbrauch. Diese Risiken werden auch dadurch verstärkt, dass ähnlich wie bei sozialen Plattformen auch generative KI-Modelle von großen Tech-Firmen dominiert werden. Der KI-Markt wird zunehmend von wenigen großen Unternehmen wie Alphabet, Amazon, OpenAI, Meta oder ByteDance bestimmt. Aufgrund von Skaleneffekten, Netzwerkeffekten und datenbasiertem Lernen entstehen strukturelle Vorteile für diese großen Konzerne, die kleinere Anbieter und gesellschaftlich orientierte Innovationen behindern und durch fehlenden Wettbewerb

große Abhängigkeiten für die Nachfrager herbeiführen. Das gilt zum Beispiel bei der Transparenz in Bezug auf Funktionsweise und Werteannahmen von KI (Schwäbe et al., 2024).

Ökonomisch ergeben sich hier mehrere Konfliktlinien: Auf unterschiedlichen Ebenen muss die Rolle des Staates geklärt werden: Innovationspolitisch sollte die Entwicklung und Nutzung von KI in Richtungen gelenkt werden, die Offenheit und Transparenz bei der Nutzung erhöhen, weil nur so auch fairer Wettbewerb und geringere Abhängigkeiten zwischen Anbieter und Nachfrager möglich sind. Außerdem braucht es einen wettbewerbsrechtlichen Umgang mit den großen KI-Plattformen ebenso wie die Exploration unterschiedlicher Formen der Organisation von KI, sei es unter Beteiligung des Staates, sei es in Form alternativer, kooperativer, öffentlicher, nicht-staatlicher KI-Infrastrukturen (Public AI).

Darüber hinaus gibt es geopolitische Konfliktlinien, die mit der ökonomischen Konfliktlinie verschränkt sind. Denn das Verständnis über die richtige Entwicklung und Nutzung von KI unterscheidet sich fundamental zwischen den USA, China und der EU. Schon zu Zeiten der Biden-Administration hat sich die überragende Rolle der privaten Big-Tech Unternehmen bei KI angedeutet, da fundamentale Regulierungen eher ausblieben. Mit Donald Trumps AI Action Plan hat sich inzwischen jedoch gezeigt, dass die USA eine Regulierung von KI und den zugehörigen privaten Firmen weitgehend ablehnen, um ihre technologischen, infrastrukturellen und finanzielle Ressourcen maximal zu entfesseln und die bestmöglichen KI-Modelle zu entwickeln – explizit mit dem Ziel der globalen Dominanz im KI-Bereich. Ob dieses auf Finanzkraft basierende Kalkül aufgehen wird, erscheint allerdings nach wie vor offen; das Risiko massiver Fehlallokationen von Investitionen ist gegeben. Zumindest hat China gezeigt, dass zum einen der “More is better”-Ansatz der USA mit der KI “Deepseek” konterkariert werden kann und zum anderen eine stärker staatlich getriebene KI-Industriepolitik auch den effizienten Einsatz finanzieller Ressourcen zu berücksichtigen vermag. Statt diesen Wettkampf um Rechenleistung um jeden Preis weiter anzuheizen, kann Europa den Deepseek-Moment als strategische Gelegenheit nutzen – etwa durch offene Innovation, Kooperation und robuste Regulierung, aber auch mit Blick auf die nächste oder gar übernächste Generation von KI-Technologien. Besonders für Europa erscheint es daher wichtig, sich nicht in einem ressourcenintensiven Wettkampf mit China und den USA zu erschöpfen, sondern eigene, gemeinwohlorientierte Pfade im globalen KI-Feld zu entwickeln und hierfür andere internationale Partner zu gewinnen (Pajot 2025).

Interessant ist, dass sowohl die USA als auch China die Entwicklung von KI ideologisch verknüpfen: In China geht es darum, dass KI auch die Werte und Staatsdoktrin verinnerlicht und verbreitet. Doch auch in den USA gibt es eine ideologische Komponente in der KI-Entwicklung: KI soll dem aktuellen Regierungsverständnis von “Free Speech” folgen, also der maximalen Meinungsfreiheit, selbst wenn es sich um falsche Tatsachenbehauptungen handelt. Darüber hinaus sieht der AI Action Plan von Donald Trump auch die Bekämpfung von “Diversity Equity” oder der Debatte über den Klimawandel vor.

Was bedeutet das für die geopolitische Situation, insbesondere für die Europäische Union? Die USA und China verfolgen mit ihrer KI-Industriepolitik nicht nur eine Politik, die auf internationale Wettbewerbsfähigkeit abzielt, sondern auch globale Dominanz, die auch eine ideologische Komponente besitzt. Beide Länder sehen sich in einem Wettkampf um KI der auch eine machtpolitische Komponente beinhaltet und haben bereits gezeigt, dass sie mögliche Abhängigkeiten von ihren KI-Systemen auch dazu nutzen, geopolitische Interessen durchzusetzen. Selbst wenn derzeit die besten KI-Modelle aus den USA kommen, ist damit zu rechnen, dass Zugänge eingeschränkt werden können oder auch kritische Daten aus Europa abgezogen werden könnten, weil die USA mit KI einen dezidierten geopolitischen Anspruch verfolgen.

Für Europa stellt sich daher die Frage, ob man diese Abhängigkeiten akzeptiert und versucht, in vereinzelten Teilen der KI-Wertschöpfungskette so erfolgreich und alternativlos zu sein, dass die USA und China es sich nicht leisten können, europäischen Interessen zu widerzulaufen. Das Beispiel Taiwan zeigt auf, wie das geschickt gelingen kann. Denn bisher werden die wichtigsten Hochleistungsships für KI durch Wertschöpfungsschritte in Taiwan von TSMC hergestellt. Zwar sind diese bisher nicht ersetzbar, doch wird bereits in China und den USA daran gearbeitet, auch hier größere Autarkie zu erreichen. Dementsprechend muss sich auch die EU mit der Frage befassen, inwiefern sie eine KI-Industriepolitik mit dem Ziel einer

größeren Unabhängigkeit verfolgen möchte. Die Eurostack-Initiative formuliert diesen Anspruch. Wichtig zu erwähnen ist hier jedoch, dass durch den Bedarf an großen Trainingsdatensätzen und Interaktionen für KI große Märkte notwendig sind. Deswegen ist ein Deutschland-Stack aufgrund der begrenzten Größe nur schwer zu erreichen. Vielmehr bedarf es auch aus EU-Sicht der Mobilisierung von wohlgesonnen Partnern wie UK, Japan, Südkorea oder Australien mit ähnlichen Werten, um eigene KI-Infrastrukturen gemeinsam aufzubauen. Jenseits von GenAI wird außerdem diskutiert, dass Deutschland und Europa bei der Entwicklung von KI für bestimmte Anwendungen international Vorreiter werden könnten, zum Beispiel bei Large Industry Models im Bereich der industriellen Fertigung (BCG und BDI, 2025)

Wie wichtig Unabhängigkeit bei KI aus geopolitischer Sicht werden kann, zeigt ihre immer größere Bedeutung in militärischen Konflikten: Drohnen und Raketenabwehrsysteme genauso wie Satellitenüberwachungssysteme benutzen KI, sodass hier auch ein neuer Kern militärischer Verteidigungsfähigkeit liegen wird. Abhängigkeiten von ausländischen KI-Infrastrukturen kann damit die eigene Verteidigungsfähigkeit fundamental unterminieren. Vor diesem Hintergrund erhält der Ruf nach technologischer Souveränität im KI-Bereich noch zusätzliches Gewicht.

Schließlich zeigen sowohl die ökonomischen als auch die geopolitischen Konfliktlinien eine eigene gesellschaftliche Konfliktlinie über den Nutzen von KI auf. Eine Vielzahl von ethischen und wertepolitischen Fragestellungen über Demokratie und Meinungsfreiheit sind mit der Entwicklung und Nutzung von KI verbunden, bis hin zur Befürchtung des Verlusts an gesellschaftlicher Selbstbestimmung durch die Abgaben von Kontrollfunktionen an KI-basierte Entscheidungssysteme. Mit welchen Daten soll KI trainiert werden? Welche Nutzungen von KI sollen priorisiert werden, wenn der Energiehunger von KI bei der Entwicklung und Nutzung ökologischen Zielen zuwiderläuft? Hierin liegt ebenso eine Chance für eine europäische Innovations- und Industriepolitik, da sich Menschen, Unternehmen und Gesellschaften auf der ganzen Welt auch diese ethischen Fragen stellen, selbst wenn sie für die USA und China derzeit im Hintergrund stehen. Wettbewerbsfähigkeit über eine ressourceneffiziente und ethisch verantwortungsvolle KI herzustellen, kann für Europa sehr wohl eine Chance sein, jedoch nur, wenn man sich aktiv auf eine Vorstellung darüber einigt und diese verfolgt.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass sich KI-Politik nicht auf F&I- und Industriepolitik sowie die Regulierung von Märkten reduzieren lässt, sondern dass diese in der vorliegenden Studie im Fokus stehenden Politikfelder vor dem Hintergrund der hier nur knapp skizzierten gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und sicherheits- sowie geopolitischen Konfliktlinien einzuordnen sind.

2.2 KI im Kontext der europäischen Politik

Innerhalb Europas ist KI ein Beispiel für zunehmende Zielkonflikte zwischen Politikfeldern und gesellschaftlichen Interessen. Während es zu einer zunehmenden Konvergenz von innovations- und industrie-politischen Zielsetzungen in Bezug auf Wettbewerbsfähigkeit zu kommen scheint, nicht zuletzt mit Blick auf die der KI innewohnenden Souveränitätsproblematiken, stehen gesellschaftliche Bedenken in Bezug auf Datenschutz, Datensicherheit und Vertrauenswürdigkeit von KI im Vordergrund der wesentlichen regulativen Bestimmungen. Damit ist nicht gesagt, dass Regulierung und Wettbewerbsfähigkeit zwangsläufig im Widerspruch zueinanderstehen müssen. Gelungene Regulierung kann durchaus eine verlässliche Grundlage für Investitionen in einem ungewissen Terrain bilden. Gute Regulierung kann auch Vorbildcharakter für andere Länder haben. Ihre Implementierung in einem nach wie vor zersplitterten Binnenmarkt, aufwändige Verwaltungsabläufe und langsame Anpassungsprozesse an sich rasch ändernde technologische Realitäten können die positiven Effekte intelligenter Regulierung jedoch auch deutlich schmälern.

An der Binnenmarktproblematik, der Wettbewerbspolitik oder dem Konsumentenschutz zeigt sich auch ein weiteres Spannungsfeld europäischer KI-Politik. Wie in vielen anderen Bereichen der EU-Politik stehen nationale Egoismen der Notwendigkeit eines europäischen Handelns entgegen. Ohne die Bündelung und Konzentration von Ressourcen und ohne Schaffung eines echten Binnenmarkts mit einheitlichen Standards und Regelungen werden die Chancen, gemeinsame europäische Interessen auf der globalen Bühne

durchzusetzen, geschmälert, und dies auch, wenn Europa nicht in den Investitionswettlauf mit den USA und China einsteigt. In Kap. 2 konnte gezeigt werden, dass Europa in Summe – egal ob mit Großbritannien oder ohne – gegenüber den USA und China durchaus Gewicht und Potenzial besitzt, auch wenn die einzelnen Mitgliedsstaaten mit den beiden „Großen“ nicht mithalten können und Europa speziell bei den grundlegenden Ebenen des KI-Stack (Basismodelle, Infrastruktur, Datenmanagement) im Rückstand sein mag.

3 JÜNGERE ENTWICKLUNGEN IN DER EUROPÄISCHE F&I- UND INDUSTRIEPOLITIK FÜR KI

Es gibt in der Europäischen Kommission keine einheitliche Stelle für KI-Politik. Neben der Generaldirektion Kommunikationsnetze, Inhalte und Technologien sind vor allem die Generaldirektionen DG RTD und DG GROW für F&I- bzw. Industriepolitik zu KI verantwortlich. Die beiden Politikfelder werden im Folgenden gemeinsam behandelt, weil sie zwar von unterschiedlichen DGs verantwortet werden, die verschiedenen Maßnahmen aber in ihren Intentionen häufig nicht eindeutig dem einen oder anderen Politikfeld zugeordnet werden können, bzw. Ziele beider Politikfelder adressieren.

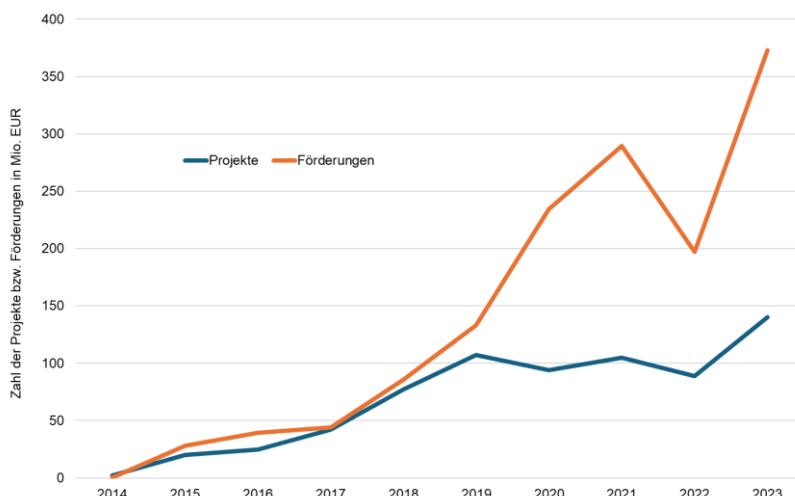
3.1 Die EU-Rahmenprogramme für Forschung und Innovation

Die Rahmenprogramme für Forschung und technologische Entwicklung sind das wichtigste Instrument für die Förderung von F&I auf gemeinschaftlicher Ebene. Wir analysieren im Folgenden, inwieweit die Rahmenprogramme KI-bezogene Forschung unterstützen, wie sich diese Unterstützung über die Zeit entwickelt hat und welche technologischen und Länderschwerpunkte zu erkennen sind.

Datengrundlage ist die EUPRO-Datenbank des AIT, die Informationen über die Beteiligungen an allen Rahmenprogrammen auf der Ebene von Organisationen enthält. Die Projekte werden mit der Stichwortliste, die bereits in der Publikationsanalyse in Kapitel 2 verwendet wurde, und nach dem Startjahr selektiert. Dabei werden diese Stichworte in den Titeln der Projekte gesucht.

Ein erster Blick auf die Daten zeigt eine deutlich steigende Zahl sowohl an KI-Projekten als auch ein steigendes Projektvolumen seit 2014. Der Einbruch im Jahr 2022 lässt sich durch den Übergang von Horizon 2020 zum Nachfolgerprogramm Horizon Europe erklären. Außerdem hat vermutlich auch der Brexit und der späte Beitritt des Vereinigten Königreichs zu Horizon Europe die Zahl der Projekte negativ beeinflusst.

Abbildung 3.1: Anzahl der KI-Projekte und Höhe der Förderungen in den Rahmenprogrammen, 2014-2023



Quelle: EUPRO, eigene Berechnungen

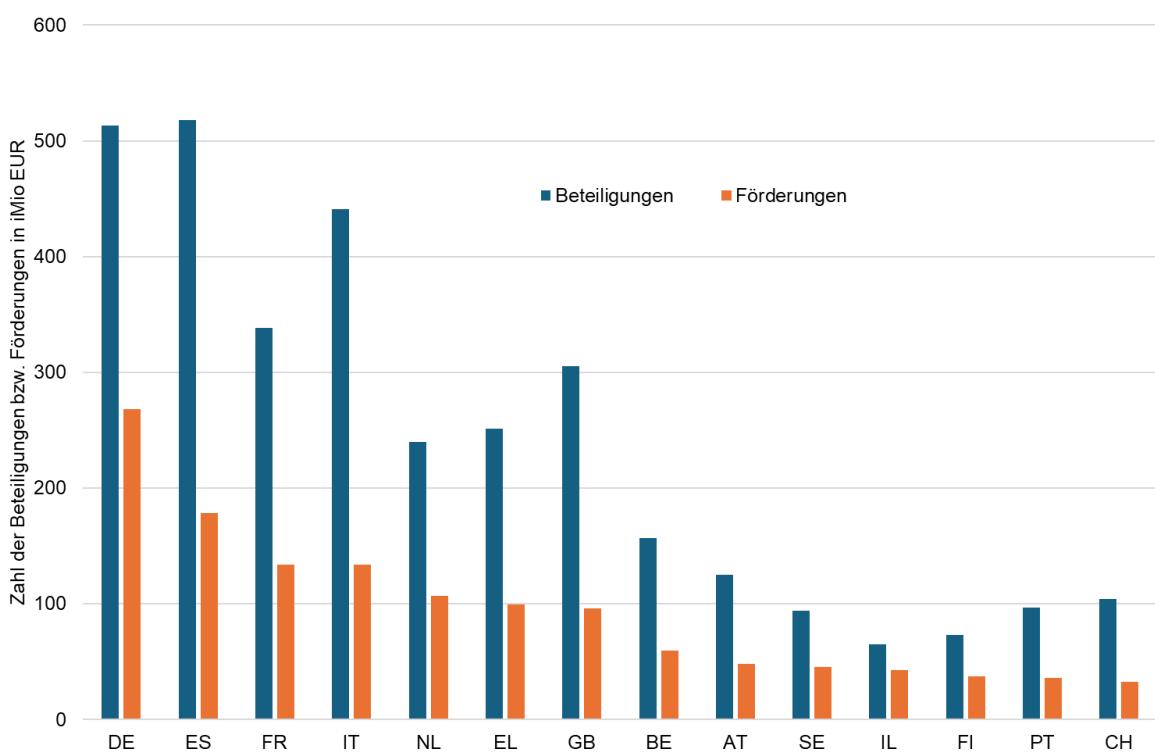
Der stärkere Anstieg der Projektvolumina im Vergleich zur Anzahl der Projekte zeigt, dass das durchschnittliche Projekt am Ende der Periode deutlich größer ist als zu Beginn. Möglicherweise wurden kleine, experimentelle KI-Projekte ab 2020 also zunehmend durch größere, anwendungsorientierte Vorhaben abgelöst. Allerdings steigt die Projektgröße auch in anderen Teilen des Rahmenprogramms.

Parallel dazu hat sich auch der Anteil von KI-Projekten am gesamten Rahmenprogramm erhöht. Dieser Anteil betrug etwa 0,5% zu Beginn des Beobachtungszeitraums und steigerte sich auf 2,5% zum Ende. Insgesamt wurden durch das Rahmenprogramm im Zeitraum 2014-2023 701 Projekte mit insgesamt 1,424 Mrd. EUR unterstützt.

Nach der Zahl der Beteiligungen ist Spanien mit der Teilnahme an 518 Projekten das wichtigste Land bei KI-Projekten im Rahmenprogramm, knapp vor Deutschland mit 513 Projektteilnahmen (siehe Abbildung 3.2 unten). Die Zahl der Beteiligungen ist deutlich höher als die Zahl der Projekte, weil an den geförderten kooperativen Projekten häufig eine größere Anzahl an Partnern beteiligt ist. Wenn allerdings die Förderungen als Kriterium herangezogen werden, liegt Deutschland mit 268 Mio. EUR klar vorn.

Auch Partnerorganisationen aus Nicht-EU-Mitgliedstaaten beteiligen sich häufig an KI-Projekten im Rahmenprogramm, vor allem aus dem Vereinigten Königreich, Israel und der Schweiz. Nachdem diese Staaten in KI-Rankings wie dem Global AI Index von Tourtoise Media vor den meisten EU-Mitgliedsstaaten platziert sind, sind hier Bedingungen für einen Technologietransfer zum Nutzen der EU gegeben. Insgesamt entfallen 16% der Projektbeteiligungen und ausgeschütteten Fördermittel auf Organisationen aus Ländern außerhalb der EU.

Abbildung 3.2: Beteiligungen und Förderungen von KI-Projekten in den Rahmenprogrammen nach Herkunftsland des Projektpartners, 2014-2023

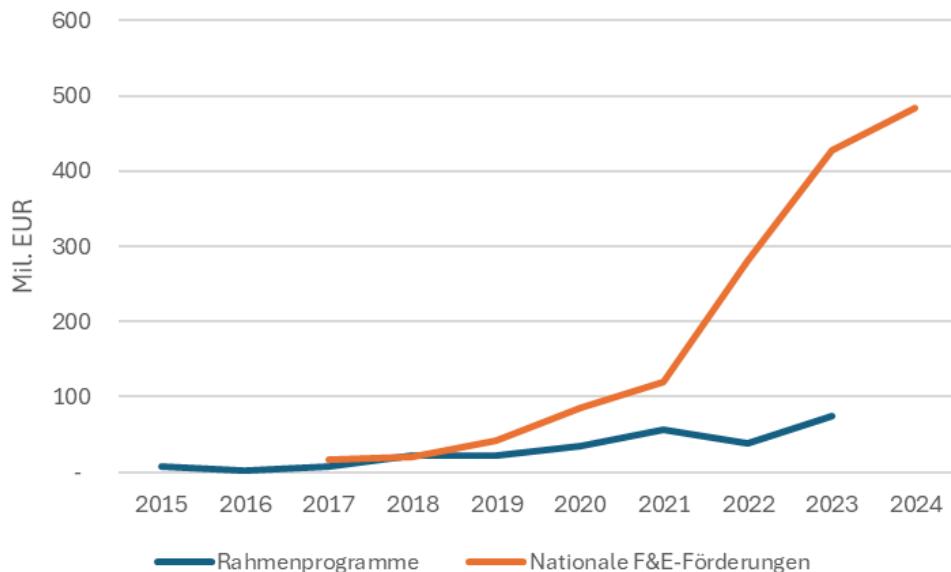


Quelle: EUPRO, eigene Berechnungen

Die Zahlen lassen einen groben Vergleich mit dem Umfang nationaler KI-Förderung zu. Der Vergleich ist natürlich schwierig, weil einerseits die Fördermittel im Rahmenprogramm über mehrere Jahre ausbezahlt werden, andererseits in den Zahlen des BMFTR mehrere Förderprogramme zusammengefasst sind; die Zahlen geben allerdings einen Eindruck von Größenordnungen und der Dynamik der Förderung, die national deutlich schneller zugenommen hat als in den Rahmenprogrammen (siehe Abbildung 3.3 unten). Im Jahr

2023 wurden im Rahmenprogramm ein Volumen von 75 Mio. EUR an neuen Projekten an deutsche Organisationen vergeben. Im Vergleich dazu fördert das BMBF die Erforschung, Entwicklung und Anwendung von KI 2023 mit 427 Mio EUR.

Abbildung 3.3: Förderungen für KI in Deutschland durch die Rahmenprogramme und das BMBF, 2015-2023



Quelle: EUPRO, BMBF (2023), eigene Berechnungen

Die Beteiligungen können weiter nach den teilnehmenden Organisationen aufgeschlüsselt werden. Die folgende Tabelle zeigt die 20 aktivsten Teilnehmer in KI-Projekten. Die Fraunhofer-Gesellschaft führt die Gruppe nach der Zahl der Projekte an, die Max-Planck-Gesellschaft erhält die meisten Fördermittel. Insgesamt sind unter den 20 aktivsten Teilnehmern drei, unter den 50 aktivsten Teilnehmern acht deutsche Organisationen zu finden. Zu FhG, MPI und der TUM kommen das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), TU Dresden, das DLR, die Universität Hannover sowie das KIT Karlsruhe. Größte Teilnehmer aus einem nicht-EU-Land sind die Universität Oxford und die ETH Zürich.

Künstliche Intelligenz wird oft mit Investitionen in Milliardenhöhe verbunden. In den Rahmenprogrammen ragen KI-Projekte aber eine durchschnittlichen Förderhöhe von etwas mehr als zwei Mio. EUR nicht heraus. Auch die Konzentration über die teilnehmenden Organisationen ist gering. Die größten 10 Organisationen vereinigen nur acht Prozent der Fördermittel, die größten 50 26%, und die größten 100 Organisationen 39% der Fördermittel in den KI-Projekten auf sich. Wir finden also eine große Zahl von teilnehmenden Organisationen, die allerdings jeweils nur relativ geringe Fördermittel bekommen. Diese könnten möglicherweise zu gering, um kritische Massen insbesondere zur Entwicklung und Umsetzung von KI-Innovationen zu erreichen.

Tabelle 3.1: Größte Teilnehmer an KI-Programmen im Rahmenprogramm nach der Zahl der Beteiligungen und eingeworbenen Förderungen, 2014-2023

Organisation	Land	Beteiligungen	Förderungen (Mio. EUR)
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der Angewandten Forschung Ev	DE	26	15.0
Ethniko Kentro Erevnas kai Technologikis Anaptyxis	EL	25	12.4
Centre National de la Recherche Scientifique CNRS	FR	25	11.9
Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften Ev	DE	24	18.0
Katholieke Universiteit Leuven	BE	22	10.6
Politecnico di Milano	IT	19	6.2
Universiteit Maastricht	NL	18	12.7
The Chancellor, Masters and Scholars of the University of Oxford	UK	18	7.5
Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Cientificas	ES	17	8.1
Technische Universität München	DE	17	7.8
Consiglio Nazionale delle Ricerche	IT	17	7.4
Universidad Politecnica de Madrid	ES	17	6.7
Erevnitiko Panepistimiako Institutou Systimaton Epikoinonion kai Ypologiston	EL	16	10.7
Idryma Technologias Kai Erevnas	EL	16	9.7
Technische Universiteit Delft	NL	16	7.3
University College London	UK	15	7.1
Ethniko kai Kapodistriako Panepistimio Athinon	EL	14	5.2
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich	CH	14	4.3
Institut National de Recherche En Informatique et Automatique	FR	13	8.4
Commissariat a l’Energie Atomique et aux Energies Alternatives	FR	13	7.0

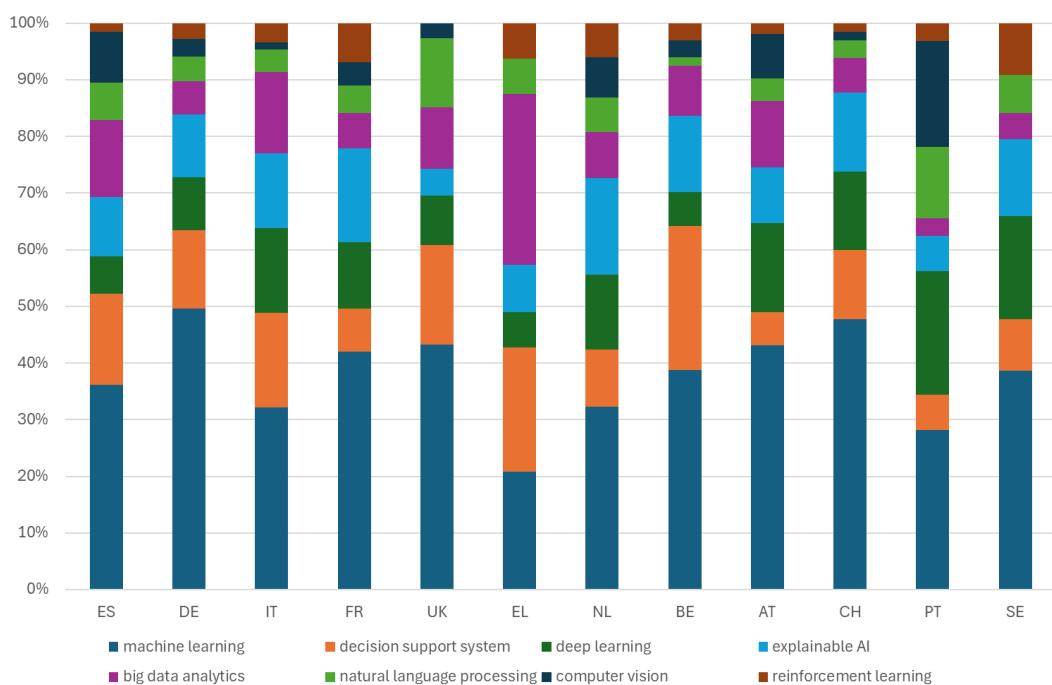
Quelle: EUPRO, eigene Berechnungen

Die Projekte können über die Keywordliste bestimmten Technologien zugeordnet werden und geben so Einblicke in technologische Trends. Neben dem allgemeinen Begriff „AI“, der etwa die Hälfte aller Keywords ausmacht, ist das zweithäufigstes Keyword „machine learning“, gefolgt von „deep learning“ und „decision support system“, „computer vision“, „artificial neural network“ und „natural language processing“. Über die Zeit lassen sich hier deutliche Verschiebungen feststellen. Während „decision support systems“ der häufigste Begriff im Zeitraum 2014-17 darstellt, wächst seit 2018 deutlich die Zahl der Projekte zu „machine learning“, die im Zeitraum 2020-23 knapp die Hälfte der KI-Projekte bezeichnen. Weitere wachsende technologische Felder sind „deep learning“ und „explainable AI“. Hingegen geht vor allem die Zahl der Projekte zu „decision support systems“, aber auch „computer vision“ und „natural language processing“ im

Verlauf des Zeitraum 2014-23 deutlich zurück. Projekte zu generativer KI tauchen erst im Jahr 2023, also sehr spät, in den Daten auf.

Die Keywords können auch verwendet werden, um Schwerpunkte in der Forschungstätigkeit zu KI über die Länder zu vergleichen. Wir haben in der Grafik unten die Verteilung jener Begriffe, die in mindestens zwei Prozent der identifizierten Projekte vorkommen, über die Länder dargestellt. Die Begriffe „AI“ und „KI“ wurden dabei ausgelassen. Es zeigt sich, dass deutsche Organisationen im Rahmenprogramm überdurchschnittlich in machine learning, jedoch unterdurchschnittlich in big data analytics und computer vision aktiv sind. Dieses Spezialisierungsprofil ähnelt dem der Schweiz. Frankreich hat ebenfalls einen überdurchschnittlichen, wenn auch kleineren Anteil von machine learning, im Unterschied zu Deutschland allerdings auch eine Spezialisierung auf explainable AI. Auffällig ist weiters die Spezialisierung Griechenlands auf big data analytics, die ähnlich in keinem anderen der gezeigten Länder zu sehen ist.

Abbildung 3.4: Verteilung der Keywords über KI-Projekte im Rahmenprogramm 2014-2023



Quelle: EUPRO, eigene Berechnungen

Die KI-bezogenen Ausgaben aus dem Rahmenprogramm belaufen sich im Zeitraum 2014-2023 auf etwa 1,4 Mrd. EUR. Das entspricht etwa der Schätzung von Papazoglou et al. (2023), die von einer Förderung für KI aus Horizon 2020 (2014-2020) und Horizon Europe von 1,66 Mrd. EUR bis 2027 ausgehen. Demnach kämen für 2024-2027 geschätzt nur noch ca. 250 Mio. Euro dazu, was durch die zusätzlichen Aktivitäten seit 2023 inzwischen vermutlich zu niedrig geschätzt ist.

Zwar fehlt in unseren Daten die Unterstützung des European High Performance Computing Joint Undertakings durch Horizon Europe in der Höhe von 900 Mio. EUR; allerdings beinhalten unsere Daten auch nicht die Unterstützung von KI-Projekten durch Horizon Europe in den Jahren 2024-27. Auf Basis des Jahres 2023 sollte das bei gleichbleibenden Fördervolumen etwa 900 Mio. bis eine Mrd. EUR ausmachen.

Es lässt sich auf Grundlage unserer Daten natürlich nichts über die Effektivität und Effizienz der Förderung von KI durch die Rahmenprogramme sagen. Insgesamt zeigen die Daten aber einen deutlichen Bedeutungszuwachs für KI in den Rahmenprogrammen und auch eine Verschiebung der technologischen Schwerpunkte. Dabei ist die Projektgröße deutlich schneller als die Zahl der Projekte gewachsen. Trotzdem ist die durchschnittliche Projektgröße nur etwa zwei Mio. EUR, was angesichts der bei KI diskutierten Investitionsvolumina wenig erscheint.

3.2 Aktuelle Maßnahmen in der Europäische F&I- und Industriepolitik für KI

Vor dem Hintergrund der rasanten Entwicklung der Künstlichen Intelligenz in den USA und China sind auf der Ebene der Europäischen Union neben der Regulierung von KI in den letzten Jahren auch mehrere neue Initiativen zu Förderung der Entwicklung und Anwendung von KI gestartet worden. Diese Initiativen sind insofern bemerkenswert, da sie sich nicht nur auf die Förderung von Forschung und Entwicklung beschränken, sondern auch Investitionen in KI-Infrastruktur unterstützen wollen. Ähnlich wie die Maßnahmen des EU Chips Act oder die IPCEIs stellen sie damit eine Abkehr vom industrielpolitischen Grundsatz dar, vertikale, sektorale Industriepolitik als unvereinbar mit dem Binnenmarkt zu sehen und sich stattdessen auf die Förderung von vorwettbewerblicher F&E, regionaler Entwicklung oder KMUs zu konzentrieren.

Die industrielpolitischen Instrumente für Förderung von KI durch die Europäische Kommission sind neben den oben beschriebenen Rahmenprogrammen für Forschung und technologische Entwicklung insbesondere der Kohäsionsfonds, Digital Europe, die Connecting Europe Facility sowie die Aufbau- und Resilienzfazilität. Torrecillas Jodar und Nepelski (2025) schätzen die KI-bezogenen Förderungen durch diese Instrumente für den Zeitraum 2021-27 auf 10,7 Mrd. EUR. Den Rahmen für diese verschiedenen Maßnahmen bildet die European AI Strategy von 2018, die inzwischen mehrere Aktualisierungen erfahren hat, z.B. 2021 den Coordinated Plan on Artificial Intelligence, das AI Innovation Package von 2024 und aktuell im April 2025 das Invest AI Programm.

3.2.1 Bisherige Ansatzpunkte und Maßnahmen der europäischen F&I- und Industriepolitik

Die KI-Industriepolitik der EU beginnt im **April 2018** mit der Veröffentlichung der **European AI Strategy**: die Europäische Kommission stellt fest, dass Europa beim Thema KI hinterherhinkt und kündigt an, die Förderung von KI in Horizon 2020 auf 1,5 Mrd. EUR bis zum Ende 2020 zu erhöhen. Die gesamte EU sollte bis Ende 2020 mindestens 20 Mrd. EUR in KI investieren und diesen Betrag bis zum Ende des Jahrzehnts kontinuierlich steigern.

2019 wurde **Digital Europe** gestartet, ein Programm zur Förderung der Anwendung von digitalen Technologien mit einem Budget von 8,1 Mrd. EUR bis 2027. KI ist Teil der von Digital Europe adressierten Technologien.

Zur Bewältigung der wirtschaftlichen Folgen von Covid-19 und der Beschleunigung der digitalen und grünen Transition legte die Europäische Kommission **2020** die **Aufbau- und Resilienzfazilität (RRF)** auf (Schwaag Serger et al. 2023). Das Gesamtvolumen der RRF beträgt über 800 Mrd. EUR. Die RRF wird durch nationale Umsetzungspläne konkretisiert, in diesen sind insgesamt 26% für Digitalisierung vorgesehen, was 134 Mrd. EUR in Zuschüssen und Darlehen über die gesamte Laufzeit des RRF entspricht (Liliyanova 2024).

Der RRF ist für die KI-Industriepolitik von großer Bedeutung, da er nach Papazoglou et al. (2023) die wichtigste Quelle für KI-bezogene Förderungen der Europäischen Kommission ist. Insgesamt werden die KI-bezogenen Förderungen aus dem RRF nach Papazoglou et al. (2023) bis zum Ende der Digitalen Dekade (2030) 4,376 Mrd. EUR betragen. Das sind etwa die Hälfte der gesamten, zum Stand März 2023 geplanten Förderungen für Künstliche Intelligenz in der Digitalen Dekade, gleichzeitig aber nur ein Bruchteil der insgesamt 134 Mrd. EUR die für Digitalisierungsprojekte im RRF vorgesehen sind.

Zweitwichtigste Finanzierungsquelle ist Horizon Europe mit 1,66 Mrd. EUR (bis 2027), diese Zahl für Horizon Europe beinhaltet auch die Unterstützung des High Performance Computing Joint Undertaking aus dem Rahmenprogramm (900 Mio EUR), aber nicht das EIC. Es folgt mit 1,5 Mrd. EUR der Kohäsionsfonds.

Die Kommission aktualisierte im **April 2021** ihre KI-Strategie mit dem **Coordinated Plan on Artificial Intelligence**, der unter anderem die Schaffung eines angemessenen Governance- und Koordinierungsrahmens, die Nutzung des Potenzials von Daten und eine Beschleunigung und Erhöhung der KI-Förderungen fordert. Konkret will die EC aus den beiden Programmen Horizon Europe und Digital Europe insgesamt

mindestens eine Mrd. EUR pro Jahr über die Periode 2021-2027 in KI investieren und die gesamten privaten und öffentlichen Investitionen auf 20 Mrd. EUR pro Jahr bis 2030 erhöhen.

Im **Januar 2024** präsentierte die Europäische Kommission das **AI Innovation Package**, dessen Kern die **AI Factories** sind, die im Zeitraum 2018-2027 mit insgesamt acht Mrd. EUR aus EU-Mitteln und nationalen Quellen gefördert werden sollen (Niestadt 2025). Aufgabe der AI Factories ist es, Unternehmen (insbesondere KMUs und Start-ups) Rechnerkapazität, Daten und Beratungsdienste für die Entwicklung von KI-Anwendungen zur Verfügung zu stellen und so die Entwicklung und Diffusion dieser Technologie zu beschleunigen.

Die AI Factories werden dazu als Teil des European High Performance Computing Joint Undertaking (EuroHPC) geführt, dass auch die Rechnerkapazität und die Infrastruktur zur Verfügung stellen wird. Investitionen und Betriebskosten werden zur Hälfte durch Umschichtungen aus verschiedenen Quellen innerhalb des EU-Haushalts, hauptsächlich Digital Europe und EuroHPC finanziert (wobei das Joint Undertaking wiederum Teil von Horizon Europe ist). Den Rest übernimmt der Mitgliedsstaat, in dem die AI Factory angesiedelt ist.

Mit Stand Mai 2025 sind insgesamt 13 AI Factories genehmigt worden, die sich in unterschiedlichen Stadien der Umsetzung befinden. Der Erfolg des Programms wird unter anderem davon abhängen, ob es gelingt, den Zugang für Unternehmen inklusive der Regeln für „trustworthy AI“ so niederschwellig und schnell wie möglich zu gestalten und wie rasch die AI Factories in einem angespannten Arbeitsmarkt für KI-Experten aufgesetzt werden können.

Neben den AI Factories beinhaltet das AI Innovation Package noch weitere Initiativen:

- Finanzielle Unterstützung für Projekte für generative AI aus Horizon Europe und Digital Europe in der Höhe von 4 Mrd. EUR bis 2027;
- Upgrades der Computerinfrastruktur in EuroHPC
- Bessere Verfügbarkeit von Daten für AI start-ups und die Wissenschaft;
- Verbesserte Unterstützung von Venture Capital für AI;
- GenAI4EU, ein Programm zur Entwicklung von Anwendungen und use cases für AI in 14 industriellen Ökosystemen in Europa;
- Das europäische AI Office in der Kommission, dass sich um die Koordination der KI-Politik auf europäischer Ebene und die Begleitung der Implementierung des AI Acts kümmern wird.
- Unterstützung für die Mitgliedsstaaten bei der Schaffung von Konsortien für eine europäische digitale Infrastruktur (EDIC), nämlich konkret bei der Schaffung der Allianz für Sprachtechnologien (ALT-EDIC) und der Allianz „Networked Local Digital Twins towards the CitiVERSE“

3.2.2 Weitere F&I- und industriepolitische Vorhaben der EU

Schließlich kündigte die Europäische Kommission im Februar 2025 **InvestAI** an, ein Investitionsprogramm, dessen Kern die Errichtung von vier AI Gigafactories ist (Europäische Kommission 2025a). Diese Gigafactories sollen mit etwa viermal so vielen KI-Chips wie die oben beschriebenen KI Factories ausgestattet sein und als public-private Partnership, laut Presseaussendung ähnlich einem CERN für KI, organisiert werden. Zusammenarbeiten sollen die Gigafactories mit Unternehmen aller Größenklassen.

Die EC wird für InvestAI ein Budget von 50 Mrd. EUR, davon 20 Mrd. EUR für die vier Gigafactories mobilisieren. Diese 50 Mrd. EUR sollten weitere 150 Mrd. an Investitionen aus privaten Mitteln anlocken, womit sich insgesamt ein Volumen von 200 Mrd. EUR ergibt. Diese 150 Mrd. EUR beziehen sich auf Finanzierungszusagen im Rahmen der EU AI Champions-Initiative die aus mehr als 70 europäischen Firmen und Organisationen gebildet wird. Der Vergleich mit den oben genannten Initiativen zeigt, dass die Europäische Kommission inzwischen bereit ist, die Fördervolumina für KI deutlich zu erhöhen.

Die Gigafactories selbst sollen ein Investitionsvolumen von jeweils etwa 3-5 Mrd. EUR haben, das zu maximal 35% aus Mitteln der EU oder der Mitgliedsstaaten gefördert wird. Der Rest und die gesamten Betriebskosten werden von Unternehmen finanziert (EuroHPC 2025). Die Europäische Kommission schlägt

hier eine Reihe von Finanzierungsquellen vor, von direkten Zuschüssen, Garantien, Eigenkapital von Förderbanken bis hin zur Umwidmung von Mitteln aus dem Kohäsionsfonds und des RRF. Die Kommission selbst wird Mittel aus Horizon Europe, Digital Europe und weitere Mittel in Form einer InvestKI Facility mobilisieren.

Die Europäische Kommission hat Interessensbekundungen für die Standorte der Gigafactories mit Stichtag 20. Juni 2025 gesammelt und wird diese bis Ende des Jahres mit den Konsortien diskutieren. Aus Deutschland sind insgesamt sechs Bewerbungen eingelangt (Handelsblatt, 30. 6. 2025). Insgesamt gaben 76 Konsortien aus 16 EU-Mitgliedsstaaten eine Skizze ab (Europäische Kommission 2025b).

3.3 Einordnung und Bewertung der europäischen KI-Förderpolitik

In den EU-Rahmenprogrammen für Forschung und Innovation wird KI in steigendem Ausmaß zumindest seit Horizon 2020 explizit gefördert. Die gegenwärtig vorliegenden Zahlen lassen allerdings noch keine Aussagen über die Ausweitung der KI-bezogenen Forschungsförderungen seit der Einführung von ChatGPT zu, weil die Reaktionszeit des Rahmenprogramms von der Ausarbeitung der Arbeitsprogramme bis zum Start der jeweiligen Projekte zu lang ist. In den jüngeren Ausschreibungen zeichnet sich aber eine Ausweitung KI-bezogener Themen in den relevanten Arbeitsprogrammen ab. Erst die Beteiligungen in den Jahren 2025/26 werden vermutlich einen Anstieg der KI-bezogenen HEU-Förderungen (jenseits von EuroHPC) widerspiegeln.

Das Rahmenprogramm finanziert außerdem das Joint Undertaking EuroHPC, über das wiederum die jüngsten Infrastrukturförderungen (d.h. AI Factories, Gigafactories) finanziert werden, bzw. werden sollen. Die wesentlichen Mittel für diese Vorhaben kommen allerdings aus anderen EU-Programmen (Digital Europe, InvestAI) und nationalen Mitteln.

Rund um InvestAI gibt es noch einige Unklarheiten, etwa die Finanzierung. So sagt die Presseaussendung, dass die anfängliche Finanzierung von InvestAI durch die Kommission aus den bestehenden EU-Förderprogrammen mit einer digitalen Komponente wie z. B. Digital Europe, Horizon Europe und InvestEU erfolgen wird. Das bedeutet, dass wenigstens in der ersten Phase kein frisches Geld auf EU-Ebene fließen wird. Auch das Organisationskonzept lässt Fragen offen. Der Hinweis auf das CERN-Modell könnte bedeuten, dass die Gigafactories weitgehend wissenschaftsgesteuert betrieben werden. Allerdings widerspricht das dem zwei-Drittel-Anteil der Wirtschaft und dem Fokus auf die Wettbewerbsfähigkeit, der in der Presseaussendung angesprochen wird. Ebenso wenig lassen sich aus der Ankündigung Hinweise auf mögliche Anwendungsfelder oder Spezialisierungen der Gigafactories herauslesen.

Diese Fragen weisen auf einige grundsätzlichere Probleme in der KI-Politik der EU hin. Einerseits finanzieren sowohl die EU als auch die Mitgliedsstaaten KI-Forschung und es ist nicht ersichtlich, wie diese Aktivitäten koordiniert werden. Im Falle von Deutschland scheinen die nationalen Mittel jene der EU, die an deutsche Organisationen ausgeschüttet werden, deutlich zu übersteigen. Eine definitive Aussage ist allerdings hier nicht möglich, weil eine abgestimmte Statistik nicht existiert.

Andererseits kann die Kommission schlicht keine zusätzlichen Mittel in ausreichender Größe zur Verfügung stellen, um eine angenommene Investitionslücke des Unternehmenssektors bei KI-Infrastruktur gegenüber den USA und China auszugleichen. Der mehrjährige Finanzrahmen der EU 2021-27 sieht solche Mittel nicht vor. Als Folge sehen wir in der KI-Politik genauso wie beim EU Chips Act einerseits eine Umleitung von Mitteln aus Horizon Europe und anderen Programmen in diese neuen Initiativen, andererseits die Einladung an die Mitgliedsstaaten, diese neuen Initiativen mitzufinanzieren. Welche Mittel im Competitiveness Fund und im neuen Rahmenprogramm für KI vorgesehen sind, lässt sich noch nicht sagen, es sollten allerdings deutlich mehr sein als bisher vorgesehen sind.

Diese geteilte Finanzierung von KI-Investitionen wie den AI-Factories und den Gigafactories ist wohl der wichtigste Bereich für eine Abstimmung zwischen europäischer und nationaler KI-Politik. Dieser Weg ist allerdings nicht ohne Risiken; es besteht einerseits die Gefahr, dass das Beihilfenrecht aufgeweicht und damit der Binnenmarkt geschwächt werden könnte; andererseits hängen damit die Standortentscheidungen für

Investitionen nicht von den Vor- und Nachteilen der jeweiligen Standorte ab, sondern davon, welches Land in der Lage und willens ist, die Investition zu finanzieren. Im besten Fall finden die Union und ihre Mitgliedsstaaten einen Modus, der eine EU-weite Allokation auf Grundlage von Standortvorteilen trotz nationaler Finanzierung erlaubt. Im schlimmsten Fall droht ein Subventionswettlauf, in dem die mittleren und kleinen Mitgliedsstaaten wohl die Verlierer sein werden.

Zweitens scheinen die KI-Industriepolitik der Kommission – im Gegensatz zur Regulierung von KI – zu einem beträchtlichen Maß durch die Vorstellung eines „global race for AI“ und der „Fear of Missing out“ (Vannuccini 2025) getrieben zu sein. Es ist sicher kein Zufall, dass InvestAI nur drei Wochen nach der Ankündigung eines großen US-Investitionsprogramms für KI im Januar 2025 (das „Stargate-Projekt“ mit einem geplanten Volumen von 500 Mrd. USD) und der Vorstellung von der chinesischen KI Deep Seek präsentiert wurde. Diese Kritik – dass die europäische Kommission übereilt Programme als Reaktion auf die Aktivitäten anderer Staaten auflegt – findet sich auch im Bericht des Europäischen Rechnungshofes (2025) zum EU Chips Act.

Drittens scheinen die Prioritäten der Europäischen Kommission nur teilweise den Charakter von KI als generischer Technologie widerzuspiegeln, die ihren größten Nutzen durch die Anwendung in einer Vielzahl von Bereichen entfalten kann. Eine solche Politik müsste vor allem die Entwicklung von Anwendungen und Kompetenzen rund um KI in einer möglichst großen Zahl von Unternehmen und eine möglichst breite Diffusion von KI fördern. AI Factories und AI Gigafactories sehen allerdings eine Konzentration der Mittel vor, was ähnliche Pläne in den USA und den Golfstaaten widerspiegelt. Vor dem Hintergrund der Datensouveränität ist eine leistungsstarke Rechnerinfrastruktur wohl unverzichtbar, angesichts des Fachkräftemangels in der Informationstechnologie scheinen allerdings auch Investitionen in das Humankapital dringend notwendig, will Europa die wirtschaftlichen Potentiale von KI in Zukunft nutzen.

Hier existiert ein weiteres wichtiges Handlungsfeld für die Mitgliedsstaaten, das sich komplementär zu den KI Factories entwickeln könnte. Eine Aufgabe der KI Factories ist die Beratung von Unternehmen bei der Anwendung von KI, eine Zusammenarbeit mit Universitäten und Fachhochschulen könnte hier auch den Ausbildungsaspekt berücksichtigen und zur Herausbildung von leistungsfähigen Clustern rund um die KI Factories und Gigafactories beitragen. Auch könnte sich die EU auf die Förderung von Spitzforschung und kapitalintensiven AI Factories mit EU-weiten spillovers konzentrieren, während die Mitgliedstaaten einen Schwerpunkt der Förderung auf die Anwendung von KI in Unternehmen und der öffentlichen Verwaltung legen.

4 KI-BEZOGENE REGULIERUNGEN DER EUROPÄISCHEN UNION

In diesem Abschnitt wird der aktuelle rechtliche und regulatorische Rahmen der EU für und im Zusammenhang mit KI dargelegt, wobei der Schwerpunkt auf den *zugrunde liegenden politischen Zielen* und ihrer Übereinstimmung mit den erklärten politischen Zielen der EU zur Verbesserung von Forschung und Innovation (F&I) im Bereich der KI liegt und die in diesen Rechtsinstrumenten verankerten *Governance- und regulative Maßnahmen* in Bezug auf eine wirksame KI-Politik.

4.1 Hintergrund

Im Bericht 2024 hob die EFI die folgenden zentralen Anforderungen im Zusammenhang mit der Regulierung von KI hervor, die sowohl Flexibilität und Anpassungsfähigkeit als auch Rechtssicherheit für Investitionen und F&I gewährleisten sollen:

„Regulatorisches Lernen zulassen und Rechtssicherheit stärken

EU-Parlament und EU-Rat haben eine provisorische Einigung zum AI Act erzielt. Der AI Act sollte im Laufe der Zeit auf Basis der in der Regulierungspraxis gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen im Dialog mit Akteuren anderer Wirtschafts- und

Werteräume angepasst werden. Ohne Raum für Anpassungsfähigkeit wird eine Regulierung der dynamischen Entwicklung dieser Technologie wohl nicht gerecht werden. Bei Bedarf sollte etwa die Zuordnung der Anwendungen zu den Risikoklassen angepasst werden.

Bei der Governance ist darauf zu achten, dass der bürokratische Aufwand für die Akteure, die dem AI Act unterliegen, insbesondere für Start-ups und KMU, im Rahmen bleibt. Die im AI Act vorgesehenen Reallabore sollten als Instrument für regulatorisches Lernen möglichst zügig zum Einsatz kommen. Die Regelungen des AI Act sollten gut mit bestehenden Regulierungen wie z. B. dem Digital Markets Act, der DSGVO oder dem Data Act verzahnt werden, um eine konsistente Rechtsprechung zu ermöglichen. Zudem sind wettbewerbsrechtliche Regelungen auch im KI-Bereich konsequent anzuwenden.

Da in Unternehmen KI-Innovationen durch Rechtsunsicherheit – vor allem im Bereich des Urheberrechts, der DSGVO und des AI Act – gehemmt werden, sollte die Bundesregierung einen praxistauglichen Leitfaden erstellen lassen, der den Umgang mit KI-relevanten rechtlichen Rahmenbedingungen erleichtert.“ (EFI KI Gutachten, 2024, S. 136)

Die Kernbotschaften an die politischen Entscheidungsträger beziehen sich auf drei Aspekte: (i) die Notwendigkeit von Flexibilität bei der Festlegung und Anwendung der Regeln und Vorschriften für KI im Zusammenhang mit der Umsetzung des EU AI Act;⁶ (ii) die Verhältnismäßigkeit der regulatorischen Belastungen für Start-ups und KMU; und (iii) die reibungslose Angleichung der Umsetzung des KI-Gesetzes an andere wichtige rechtliche Maßnahmen in der EU. Um ein günstiges und förderliches regulatorisches Umfeld zu gewährleisten, wurden Reallaboren für das Lernen und Testen von Politikmaßnahmen sowie maßgeschneiderte, praxisorientierte politische Leitlinien empfohlen. Diese und ähnliche Forderungen an die politischen Entscheidungsträger standen sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene im Vordergrund der Erwartungen in der gesamten EU.

Gleichzeitig stehen Gesetzgeber und Regulierungsbehörden bei der Entwicklung von Vorschriften zur Regulierung der Auswirkungen von KI vor vielfältigen Herausforderungen, da KI ein „bewegliches Ziel“ und kein statisches Regulierungsobjekt ist. Daher müssen sich Regulierungsansätze auf die Entwicklung von KI-Systemen während ihres gesamten Lebenszyklus konzentrieren, d.h. während der gesamten Entwurfs-, Entwicklungs- und Umsetzungsphase. Darüber hinaus sind es die Auswirkungen des Einsatzes von KI-Systemen, die politische Aufmerksamkeit und regulatorische Kontrolle erfordern, insbesondere wenn mit ihrem Einsatz Risiken verbunden sind. Daher folgen die umfassendsten regulativen Ansätze – auch die der EU – der risikobasierten Logik und zielen darauf ab, mit entsprechenden Vorschriften unterschiedliche Risikoniveaus proportional anzuvisieren.

Vor diesem Hintergrund fassen wir die wichtigsten EU-Rechtsakte mit direkter oder indirekter Relevanz für KI zusammen und legen eine Analyse ihrer Umsetzung und Durchsetzung im Lichte der politischen Ziele zur KI-Entwicklung vor. Darüber hinaus denken wir über die wichtigsten Fragen nach, die die EFI zuvor in Bezug auf die KI-Politik aufgeworfen hat, und liefern daher Einzelheiten zum Entwurf des Verhaltenskodex im Rahmen des AI Act; den Stand der Einrichtung von Reallaboren in der gesamten EU; und die Entwicklung praktischer KI-Leitlinien sowohl auf EU-Ebene als auch auf Ebene der Mitgliedstaaten.

4.2 Der AI Act

Im Mittelpunkt des EU-Rechtsrahmens steht der 2024 verabschiedete AI Act, der einer Reihe anderer Technologie- und Datenpolitiken folgte, die von den EU-Gesetzgebern in den letzten zehn Jahren

⁶ Verordnung (EU) 2024/1689 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Festlegung harmonisierter Vorschriften für künstliche Intelligenz und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 300/2008, (EU) Nr. 167/2013, (EU) Nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 und (EU) 2019/2144 sowie der Richtlinien 2014/90/EU, (EU) 2016/797 und (EU) 2020/1828 (Verordnung über künstliche Intelligenz) (Text von Bedeutung für den EWR)

verabschiedet wurden. Der AI Act ist eine umfassende Rechtsvorschrift mit dem erklärten Ziel, „vertrauenswürdige KI in Europa und darüber hinaus zu fördern, indem sichergestellt wird, dass KI-Systeme die Grundrechte, die Sicherheit und die ethischen Grundsätze achten und indem Risiken sehr leistungsfähiger und wirkungsvoller KI-Modelle angegangen werden“.⁷ Darüber hinaus sollte der AI Act KI-Entwicklern und -Anwendern *Rechtsklarheit und Rechtssicherheit* hinsichtlich ihrer Verpflichtungen bei bestimmten Anwendungen von KI verschaffen und gleichzeitig den Verwaltungs- und Finanzaufwand für Unternehmen, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU), verringern.

Der AI Act verfolgt – ähnlich wie andere wichtige Rechtsvorschriften wie der Digital Services Act (DSA)⁸ – einen sogenannten *risikobasierten Ansatz*, indem er sich entsprechend den mit KI-Anwendungen verbundenen und speziell damit verbundenen Risiken an KI-Entwickler und -Anbieter richtet. Der AI Act legt vier Risikostufen für KI-Systeme fest:

- *Inakzeptables Risiko*: KI-Systeme, die als eindeutige Bedrohung für die Sicherheit, die Lebensgrundlagen und die Rechte von Menschen angesehen werden, sind verboten.
- *Hohes Risiko*: Bereiche kritischer Infrastrukturen, Bildungssysteme, Beschäftigung, Strafverfolgung und Grenzkontrollen (insbesondere biometrische Identifizierung) unterliegen strengen Verpflichtungen, die im AI Act vorgesehen sind.
- *Begrenztes Risiko*: General Purpose AI (GPAI) fällt in diese Kategorie. Mangelnde Transparenz gilt dabei als das Hauptrisiko bei der KI-Nutzung, dem durch gezielte Vorschriften über spezifische Transparenzverpflichtungen und die Identifizierungsfähigkeit begegnet werden soll.
- *Minimales oder kein Risiko*: Keine spezifischen Vorschriften außer der Anwendung anderer horizontaler rechtlicher Anforderungen (z. B. DSGVO⁹). Die überwiegende Mehrheit der derzeit in der EU verwendeten KI-Systeme fällt in diese Kategorie.

Auf der Grundlage der Risikostufen sind im AI Act spezifische Verpflichtungen sowohl für Betreiber als auch für Anbieter sowie eine allgemeine Anforderung an *eine Konformitätsbewertung festgelegt, bevor ein bestimmtes KI-System in Betrieb genommen oder in Verkehr gebracht wird, während die Durchsetzung nach dem Inverkehrbringen eines bestimmten KI-Systems eingeführt wird*.

Eine zentrale Frage im Zusammenhang mit dem neuen Gesetz ist, ob die Governance-Struktur, die sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene für die Umsetzung eingerichtet wurde, dem Zweck und den politischen Zielen einer gesicherten Innovation in der KI gerecht wird. Insbesondere wird mit dem AI Act ein zweistufiges Governance-System eingeführt. Das European Artificial Intelligence Board (AI Board) ist auf EU-Ebene für die Koordinierung der nationalen Regulierungsbehörden und anderer relevanter Behörden zuständig. Unterdessen stellt das AI Office, das als Durchführungsorgan der Europäischen Kommission für den AI Act ist, dem AI Board strategische Leitlinien zur Verfügung. Darüber hinaus leisten zwei Beratungsgremien fachliche Beiträge, nämlich das Wissenschaftliche Gremium (AI Scientific Panel) und der Beirat (AI Advisory Forum). Diese sollen Stakeholder und interdisziplinäre Wissenschaftsgemeinschaften mit den Regulierungsbehörden und politischen Entscheidungsträgern verbinden.

Auf *nationaler Ebene* besteht der wichtigste Schritt der *Umsetzung* darin, bis zum 2. August 2025 *zuständige Behörden einzurichten oder zu benennen*. Im Rahmen des AI Act gibt es drei Arten von Behörden in den EU-Mitgliedstaaten, die an der Durchsetzung beteiligt sein sollten:

- die *Marktüberwachungsbehörde* für die Überwachung und die Konformität von Produkten und stellt sicher, dass auf dem EU-Markt nur Produkte bereitgestellt werden, die dem EU-Recht entsprechen;

⁷ Siehe [AI Act | Shaping Europe's digital future](#).

⁸ Verordnung (EU) 2022/2065 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Oktober 2022 über einen Binnenmarkt für digitale Dienste und zur Änderung der Richtlinie 2000/31/EG (Gesetz über digitale Dienste) (Text von Bedeutung für den EWR) PE/30/2022/REV/1

⁹ Verordnung (EU) 2016/679 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. April 2016 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, zum freien Datenverkehr und zur Aufhebung der Richtlinie 95/46/EG (Datenschutz-Grundverordnung) (Text von Bedeutung für den EWR) ABl. L 119 vom 4.5.2016, S. 1-88.

- die *Notifizierungsbehörde*, die für die Einrichtung und Durchführung des Verfahrens für die Bewertung, Benennung und Notifizierung von Konformitätsbewertungsstellen (Prüfung, Zertifizierung und Inspektion) und für deren Überwachung zuständig ist; und
- eine *nationale Behörde*, die die Einhaltung der Grundrechtsverpflichtung in Bezug auf Hochrisiko-KI-Systeme durchsetzt.

Bei der Benennung oder Einrichtung der Durchführungsbehörden verfügen die EU-Mitgliedstaaten über einen erheblichen Ermessensspielraum, und die Wahl des am besten geeigneten Governance-Modells wird für den nationalen Erfolg der KI-Politik und -Einführung von entscheidender Bedeutung sein. Einige Mitgliedstaaten – wie beispielsweise Spanien – haben sich für zentralisierte Modelle mit einer einzigen (zentralen) Regulierungsbehörde entschieden, während andere – d.h. Finnland – ein dezentralisiertes Regulierungsmodell (unter Einbeziehung von 10 bereits bestehenden Marktüberwachungsbehörden) gewählt haben. Den jüngsten Berichten zufolge läuft in vielen EU-Mitgliedstaaten noch der Prozess der Gestaltung von Governance-Modellen.

4.2.1 Flexibilität bei der rechtlichen Ausgestaltung des AI Act und der AI Code of Practice

Gemäß dem AI Act können Anbieter von KI-Modellen mit allgemeinem Verwendungszweck (General Purpose AI, GPAI) die Einhaltung ihrer Verpflichtungen nachweisen, wenn sie sich freiwillig an Verhaltenskodizes halten. Der erste GPAI-Verhaltenskodex war seit vom AI Office koordiniert, und wurde im September 2025 veröffentlicht. Dieser gut dokumentierte und transparente Prozess, an dem mehr als 1000 Teilnehmer in der gesamten EU beteiligt waren¹⁰, wie GPAI-Modellanbieter, einschlägige zuständige nationale Behörden, die Zivilgesellschaft, die Wissenschaft, nachgelagerte Anbieter und unabhängige Experten, ist von größter Bedeutung, um zu untersuchen, ob der Rechtsrahmen geeignet ist, klare, aber reflektierende politische Antworten auf das sich bewegende Ziel der KI zu geben, und auch für die Interessenvertreter und Akteure in der KI-Arena, die am Ausarbeitungsprozess mitwirken. Ein gutes Beispiel für die Konflikte während des Entwurfsprozesses war der öffentliche Aufruhr der Koalition von Urhebern und Rechteinhabern aus der gesamten Kultur- und Kreativwirtschaft der EU, die ernsthafte Bedenken hinsichtlich des zweiten Entwurfs des Verhaltenskodexes für allgemeine KI im Rahmen des EU-KI-Gesetzes äußerten und vor einer Gefährdung der europäischen Kulturschaffenden warnten.¹¹

Es ist jedoch abzuwarten, ob das Endergebnis später den Erwartungen und der öffentlichen Kontrolle der KI-Gemeinschaft entspricht, aber im Erfolgsfall könnte der kollaborative Prozess als beispielhaftes Governance-Modell bei der Festlegung von KI-Regeln und -Standards dienen.

4.2.2 Verhältnismäßigkeit bei der Anwendung des AI Act und AI Reallaboren („AI Regulatory Sandboxes“)

Eines der wichtigsten innovativen Merkmale des AI Act ist die Festlegung der rechtlichen Grundlagen experimenteller Regulierungsansätze für KI. Gemäß dem Gesetz (Artikel 57) sollten so genannte KI-Reallabore in der gesamten EU – auf Ebene der Mitgliedstaaten, aber auch auf regionaler oder lokaler Ebene oder gemeinsam mit einem anderen Mitgliedstaat – eingerichtet und bis August 2026 arbeitsfähig sein, um „ein kontrolliertes Umfeld zu schaffen, das Innovationen fördert und die Entwicklung, Ausbildung, Erprobung und Validierung innovativer KI-Systeme für eine begrenzte Zeit erleichtert, bevor sie in Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen werden“, was auch beaufsichtigte Tests unter realen Bedingungen umfassen kann. Ziel des Reallaborkonzepts ist es, die Rechtssicherheit zu erhöhen und so die Einhaltung der Rechtsvorschriften zu verbessern und gleichzeitig die Zusammenarbeit mit den für das regulatorische Lernen zuständigen Behörden zu erleichtern. Es wird erwartet, dass diese neuartigen Regulierungsmerkmale Innovationen fördern und die Entwicklung eines KI-Ökosystems in der EU erleichtern werden.

¹⁰ Siehe [Drawing-up a General-Purpose AI Code of Practice | Shaping Europe's digital future](#).

¹¹ Siehe [Right-holders-joint-letter-on-the-Second-Draft-Code-of-Practice-27012025-1.pdf](#)

Der Erfolg dieser Regulierungsmerkmale ist für die Steuerung der KI in der EU von entscheidender Bedeutung. Die globale und europäische Wettbewerbsfähigkeit von KI-Innovationen wird davon abhängen, ob das regulatorische Umfeld solide und widerstandsfähig ist, sich aber auch an die unvorhersehbaren Herausforderungen anpasst, die KI mit sich bringen wird. Derzeit gibt es drei bedeutende Initiativen zur Anpassung der Regulierung und zum politischen Lernen innerhalb der EU (in Spanien, Schweden, und Dänemark), die für weitere Studien zur Bewertung kritischer Faktoren einer guten KI-Governance besondere Aufmerksamkeit erfordern werden. Diese und weitere Beispiele aus Großbritannien und Norwegen finden sich in Box 3.1.

Box 3.1: Beispiele von KI-Reallaboren¹²

- **Großbritannien**

ICO Sandbox (Information Commissioner's Office):

Die ICO-Sandbox wurde entwickelt, um Organisationen dabei zu helfen, innovative Produkte und Dienstleistungen zu testen, die personenbezogene Daten in Übereinstimmung mit der DSGVO und dem britischen Datenschutzrecht verwenden. Sie konzentriert sich stark auf Datenschutz und Privatsphäre und bietet maßgeschneiderte Leitlinien der Regulierungsbehörde, um sicherzustellen, dass datengetriebene Innovationen, einschließlich KI-Anwendungen, den gesetzlichen Anforderungen entsprechen. Die Sandbox unterstützt die fallspezifische Untersuchung (Use Cases) von Herausforderungen wie Fairness, Transparenz und Rechenschaftspflicht bei der automatisierten Entscheidungsfindung, die zentrale Anliegen der KI-Regulierung sind.

NayaOne AI Sandbox (Fintech):

Die NayaOne-Sandbox zielt auf KI-Anwendungen im Finanzdienstleistungssektor ab. Ziel ist es, ein sicheres Umfeld zu schaffen, in dem Fintech-Unternehmen und Regulierungsbehörden KI-Lösungen wie Kreditscoring-Modelle, Betrugserkennungs- oder Risikobewertungssysteme gemeinsam testen können. Durch die Simulation der Marktbedingungen reduziert die Sandbox die regulatorische Unsicherheit für Unternehmen und gibt den Regulierungsbehörden Einblicke in die Art und Weise, wie KI in Finanzprodukten eingesetzt wird. Dieser Ansatz fördert Innovationen bei gleichzeitiger Wahrung des Vertrauens in die Finanzstabilität und den Verbraucherschutz.

AI Airlock:

Die AI Airlock Sandbox konzentriert sich darauf, KI-fähige Medizinprodukte in einer kontrollierten Umgebung zu testen, bevor sie auf den Markt gebracht werden. Es wird unter der Aufsicht der Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency (MHRA) betrieben. Die Sandbox erleichtert die Einhaltung von Sicherheits- und Leistungsanforderungen und ermöglicht gleichzeitig ein frühzeitiges regulatorisches Engagement für Entwickler. Dies ist besonders wichtig für Hochrisiko-KI-Systeme, bei denen medizinische Sicherheit, Haftung und ethische Bedenken im Vordergrund stehen.

- **Spanien**

KI-Reallabor Pilot:

Spanien hat im Rahmen seiner umfassenderen Digitalisierungsstrategie eine Pilot-Sandbox für KI-Regulierungen am Ministerium für Wirtschaft und digitalen Wandel ins Leben gerufen. Dieses Reallabor bietet eine Plattform für das Testen von KI-Systemen unter Aufsicht, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Einhaltung der Bestimmungen des AI Act gelegt wird. Spaniens Ansatz zeichnet sich durch die Integration sowohl nationaler Regulierungsbehörden als auch privater Akteure aus und ist damit eines der ersten Experimente auf EU-Ebene zur Operationalisierung der Sandbox-Bestimmungen des AI Act. Ziel des

¹² Wir haben auch Nicht-EU-Beispiele aufgenommen, da Großbritannien zu den ersten gehörte, die KI-Reallaboren einführten.

Pilotprojekts ist es, Herausforderungen bei der Umsetzung zu ermitteln und bewährte Verfahren zu entwickeln, die auch auf andere Mitgliedstaaten übertragbar sind.

- **Norwegen**

Sandbox der norwegischen Datenschutzbehörde:

Die Sandbox Norwegens wird von der nationalen Datenschutzbehörde (Datatilsynet) betrieben und konzentriert sich auf KI-Anwendungen mit Auswirkungen auf die Privatsphäre und die Grundrechte. Mit dem Sandkasten können Unternehmen untersuchen, wie KI-Systeme im Einklang mit den DSGVO-Grundsätzen wie Zweckbindung, Transparenz und Verhältnismäßigkeit entwickelt und eingesetzt werden können. Zu den Fällen gehört KI im Gesundheitswesen, im Sozialwesen und in der Versicherung, wodurch die Sandbox zu einem Testfeld für sozial sensible KI-Anwendungsfälle wurde. Seine Ergebnisse umfassen öffentlich zugängliche Berichte und Leitlinien, die den Wissenstransfer über die Teilnehmer hinaus verbessern.

- **Dänemark**

Sandbox der dänischen Datenschutzbehörde:

Dänemarks Sandbox, die ebenfalls von der nationalen Datenschutzbehörde geleitet wird, ist auf die KI-Nutzung in sensiblen Datenumgebungen ausgerichtet. Sie bietet Organisationen regulatorische Leitlinien zur Datenminimierung, Anonymisierung und algorithmischen Fairness. Insbesondere wird die Zusammenarbeit zwischen Behörden, Unternehmen und Regulierungsbehörden betont, um praktische Compliance-Modelle zu entwickeln. Diese Sandbox unterstreicht die umfassende Governance-Philosophie Dänemarks, Innovation mit starken sozialen Schutzmaßnahmen zu kombinieren.

- **Schweden**

Sandbox für Datenschutzvorschriften (IMY):

Schwedens Sandbox wird von der nationalen Behörde IMY koordiniert und konzentriert sich auf KI-Anwendungen, die personenbezogene Daten verarbeiten. Sie bietet ein kollaboratives Umfeld, in dem Unternehmen, Regulierungsbehörden und Akteure der Zivilgesellschaft gemeinsam Fragen wie Erklärbarkeit und menschliche Aufsicht untersuchen können. Im Gegensatz zu einigen anderen Sandboxes legt das schwedische Modell großen Wert auf den Dialog mit den Interessensgruppen und die Veröffentlichung von Erkenntnissen, die sowohl die politischen Entscheidungsträger als auch die Öffentlichkeit informieren. Sie hat sich nicht nur als Instrument für Compliance-Tests, sondern auch für die demokratische Rechenschaftspflicht in der KI-Governance positioniert.

Tabelle 3.2: KI-Regulatory Sandboxes

Land	Sandbox Name / Behörde	Schwerpunktbereich	Hauptmerkmale	Stufe
Großbritannien	ICO-Sandbox	Datenschutz & Privatsphäre in KI	regulatorische Leitlinien für DSGVO-konforme KI-Innovationen; Fairness & Rechenschaftspflicht Fokus	Operativ
	NayaOne KI-Sandbox	Fintech (KI im Finanzdienstleistungsbereich)	Testen von KI im Kredit-Scoring, Betrugserkennung, Risikobewertung; Zusammenarbeit zwischen Regulierungsbehörden und Industrie	Pilot/Betrieb
	AI-Airlock (MHRA)	Medizinprodukte	Compliance-Tests für KIfähige medizinische Systeme; Hochrisikofokus	Operativ
Spanien	AI Regulatory Sandbox (Wirtschaftsministerium)	Allgemeine sektorübergreifende KI	Pilotprojekt im Einklang mit dem EU-AI Act; Multi-Stakeholder-Engagement; Modell für die EU-weite Annahme	Pilot
Norwegen	Datatilsynet KI-Sandbox	AI & Datenschutz	Testen von KI in den Bereichen Wohlfahrt, Gesundheit und Versicherung; Fokus auf DSGVO-Compliance und gesellschaftliche Auswirkungen	Operativ
Dänemark	Regulatorisk sandkasse for AI	Sensible Daten / KI	Gemeinsame Leitlinien zu Fairness, Anonymisierung und Minimierung; Sektorübergreifendes Modell	Operativ
Schweden	IMY-Datenschutz-Sandbox	AI & personenbezogene Daten	Betonung der Erklärbarkeit, Transparenz, des Dialogs mit den Interessenträgern, der demokratischen Rechenschaftspflicht	Operativ

4.2.3 Reibungslose Umsetzung des AI Act und Entwicklung praxisorientierter Leitlinien für die KI-Nutzung

Vor dem Erlass des AI Act setzte die Europäische Kommission 2019 eine hochrangige Expertengruppe (HLEG) ein, die mit der Vorlage unverbindlicher, aber orientierender Ethikleitlinien für vertrauenswürdige künstliche Intelligenz beauftragt war. Wichtig ist, dass in den Leitlinien der grundlegende „Ton“ der EU-KI-Regulierungspolitik festgelegt wird, wobei der Schwerpunkt auf *vertrauenswürdiger KI* liegt, die *Rechtmäßigkeit, Ethik und Robustheit* umfasst. Darüber hinaus enthalten die Leitlinien eine Reihe von Kernanforderungen, die KI-Systeme erfüllen sollten, um als vertrauenswürdig eingestuft zu werden, z. B. (1) menschliches Handeln und Aufsicht; (2) technische Robustheit und Sicherheit; (3) Achtung der Privatsphäre und des Datenschutzes; (4) Transparenz; (5) Vielfalt, Nichtdiskriminierung und Fairness; (6) Gewährleistung

des gesellschaftlichen und ökologischen Wohlergehens; und (7) Rechenschaftspflicht und sinnvolle Rechtsbehelfe. Um die Einhaltung der Anforderungen zu ermöglichen, stellte die AI HLEG 2020 auch eine dynamische Checkliste (Selbstbewertung) zur Verfügung, die Assessment List for Trustworthy AI (ALTAI), die sowohl von Entwicklern als auch von Betreibern von KI verwendet werden kann.

Seitdem gibt es mehrere aufkommende Beispiele¹³ für die Entwicklung oder Anpassung spezifischer Leitlinien, die auf die Bedürfnisse ihrer Adressen zugeschnitten sind, insbesondere im öffentlichen Sektor, wo sich der Einsatz von KI mit dem Schutz der Grundrechte überschneiden könnte. Daher sind diese Soft-Law-Instrumente nicht nur wichtige Assistenten bei der Auslegung der im Gesetz festgelegten neuen Vorschriften auf EU-Ebene, sondern könnten auch eine reibungslose rechtliche Umsetzung mit Schwerpunkt auf ethischen Fragen ermöglichen.

4.3 Andere einschlägige EU-Rechtsakte mit direkter oder indirekter Relevanz für KI

Die Auswirkungen des AI Act auf Forschung, Entwicklung und Innovation in der EU lassen sich nicht ohne Berücksichtigung des rechtlichen und regulatorischen Kontexts beurteilen, der Teil einer Reihe anderer Technologie- und Datenpolitiken und -gesetze ist, die in den letzten zehn Jahren in der EU entstanden sind. Da diese Gesetze darauf abzielen, verschiedene Aktivitäten von Technologien und Technologieunternehmen gemeinsam zu regulieren und zu lenken, haben sie oft direkte, in jedem Fall aber zumindest indirekte Auswirkungen auf die Entwicklung und den Einsatz von KI. Die Überschneidung dieser Gesetze und damit die Regulierbarkeit von KI ist oft eine offene Frage, deren Beantwortung sich auch nachteilig auf die Wettbewerbsfähigkeit von KI-anbietenden und -nutzenden Unternehmen in der EU auswirken wird. Im Folgenden geben wir einen Überblick über die relevanten EU-Gesetze und stellen den Kontext für das Umfeld dar, in dem der AI Act gelten wird.

4.3.1 Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) & AI Act

KI-Entwickler und -Bereitsteller können als Verantwortliche oder Auftragsverarbeiter im Sinne der DSGVO betrachtet werden, sodass sie bei der Erhebung, Verarbeitung und operativen Nutzung personenbezogener Daten im Zusammenhang mit ihren einschlägigen Tätigkeiten alle einschlägigen DSGVO-Verpflichtungen erfüllen müssen. Daher ergänzen sich die DSGVO und der AI Act in ihrer Rechtsnatur, während beide darauf abzielen, eine rechtmäßige, faire und transparente Verarbeitung personenbezogener Daten in KI-Systemen sicherzustellen. Daher könnte es Spannungen, aber auch Synergien zwischen der Anwendung von KI und Datenschutzgrundsätzen geben, wie insbesondere Zweckbindung und Datenminimierung, insbesondere in kritischen Bereichen wie Profiling oder automatisierte Entscheidungsfindung.

Wichtig ist, dass die politischen Ziele beider Gesetze in ihrem Schwerpunkt auf dem Schutz der Rechte und der Privatsphäre von Einzelpersonen aufeinander abgestimmt und kohärent sind und dass sie darauf abzielen, einen verantwortungsvollen Umgang mit personenbezogenen Daten und die Kontrolle von Personen über ihre personenbezogenen Daten sicherzustellen. Aufgrund der fortschreitenden technologischen Entwicklungen bietet die DSGVO mittlerweile den für die Verarbeitung Verantwortlichen häufig keine ausreichenden Leitlinien mehr, und ihre Vorschriften müssen erweitert und konkretisiert werden.¹⁴

4.3.2 Digital Services Act (DSA) & AI Act

Die Annahme des DSA im Jahr 2022 – die seit Februar 2024 in vollem Umfang in Kraft ist – war ein weltweit relevanter, wichtiger Schritt bei den rechtlichen Reaktionen der EU auf Big Tech – in diesem Fall große Online-Plattformen – und deren Aktivitäten in der EU. Der DSA umfasst mehrere sinnvolle rechtliche Zuständigkeiten für Online-Plattformen nach einem risikobasierten Ansatz, mit Wirkung für sehr große Online-Plattformen (VLOPs) und sehr große Online-Suchmaschinen (VLOSEs). Während der DSA und der

¹³ Vgl. z. B. Leitfaden Digitale Verwaltung: KI, Ethik und Recht. Praxisleitfaden für KI in der Verwaltung, Version 2.0, der im Dezember 2024 von der österreichischen öffentlichen Verwaltung angenommen wurde.

¹⁴ Vgl. European Parliament's Panel for the Future of Science and Technology (STOA) Study, 2020.

AI Act getrennt und mit einem anderen Schwerpunkt auf den Themen und Gegenständen der Regulierung erlassen wurden, sind sie zunehmend miteinander verflochten, zumal der neue risikobasierte Ansatz des Gesetzes über digitale Dienste im AI Act aufgegriffen wurde und beide die Verpflichtungen für die Adressaten zur Bewertung und Minderung „systemischer Risiken“ festlegen. Darüber hinaus überschneiden sich die Transparenzpflichten, da der DSA die Offenlegung der Verwendung von KI-Instrumenten und die Bereitstellung von Informationen über diese Verwendung erfordert, was durch den AI Act ergänzt wird, der Plattformen verpflichtet, detaillierte Informationen darüber bereitzustellen, wie KI-Systeme automatisierte Entscheidungen treffen.

Der Schnittpunkt in den politischen Zielen des DSA und des AI Act ist in ihrem Fokus auf öffentliche Gesundheit, Sicherheit, öffentliche Sicherheit und Grundrechte von Bedeutung. Unterdessen wurden Bedenken hinsichtlich möglicher Konflikte geäußert, z. B. in Bezug auf die Verbreitung illegaler Inhalte oder den zivilgesellschaftlichen und wahlpolitischen Diskurs, und dass die parallele Anwendung der Vorschriften die Meinungsfreiheit übermäßig einschränken könnte, wenn sie nicht angemessen angewendet werden (Calvet-Bademunt & Barata Mir, 2024).

4.3.3 Digital Markets Act (DMA)¹⁵ & AI Act

Der DMA zielt auf die Marktmacht von Online-Vermittlern und großen „Gatekeeper“-Plattformen (d. h. von VLOPs und VLOSEs) ab, um unlautere Marktpraktiken und ihr wettbewerbswidriges Verhalten zu verhindern, die Nutzern und anderen Unternehmen schaden könnten, und um gleiche Wettbewerbsbedingungen zu gewährleisten. Während der DMA ursprünglich nicht für KI-Entwickler und -Einführer gelten sollte, untersucht die Europäische Kommission die Intensität und den Grad ihres Zusammenspiels, und es gibt wichtige Initiativen des Europäischen Parlaments zu ihrer Einbeziehung in den Rechtsrahmen für digitale Märkte.¹⁶ Es gibt starke Argumente für solche Überlegungen, da sich generative KI-Modelle und der DMA grundlegend in Bezug auf das Merkmal der Homogenisierung überschneiden und die „(C)Berechnungsmacht in wenigen Händen der Konfiguration einiger Engpässe vorgreifen kann, die den Betrieb der übrigen Wettbewerber auf der Ebene der nachgelagerten Anwendung von Gründungsmodellen in konkrete Aufgaben und Funktionen beeinflussen“ (Martínez, 2024).

Wichtig ist, dass auf EU-Governance-Ebene eine koordinierte Durchsetzung sichergestellt wird, da die Europäische Kommission die zentrale Durchsetzungsbehörde für den DSA, den DMA und den AI Act ist, mit sich überschneidenden Ermittlungsbefugnissen und der Möglichkeit, nach jedem dieser Gesetze Sanktionen zu verhängen.

4.3.4 Data Governance Act (DGA)¹⁷ & AI Act

Der DGA, der seit September 2023 in voller Kraft ist, zielt darauf ab, einen besseren Datenaustausch zu ermöglichen, die Mechanismen zur Erhöhung der Datenverfügbarkeit zu stärken und technische Hindernisse für die Weiterverwendung von Daten zu überwinden. Ein strategisches politisches Ziel ist die Einrichtung und Entwicklung eines gemeinsamen europäischen Datenraums in strategischen Bereichen (d. h. Gesundheit, Umwelt, Energie, Landwirtschaft, Mobilität, Finanzen, Fertigung und öffentliche Verwaltung) unter Einbeziehung von PPP-Modellen. Der DGA ist ein sektortübergreifendes Instrument und gilt sowohl für die Nutzung personenbezogener als auch nicht personenbezogener Daten, indem ein horizontaler Rechts- und Regelungsrahmen für ein breites Spektrum von Datenkategorien geschaffen wird.

¹⁵ Verordnung (EU) 2022/1925 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. September 2022 über bestreitbare und faire Märkte im digitalen Sektor und zur Änderung der Richtlinien (EU) 2019/1937 und (EU) 2020/1828 (Gesetz über digitale Märkte) (Text von Bedeutung für den EWR) PE/17/2022/REV/1.

¹⁶ Vgl. High-Level Group of the DMA.

¹⁷ Verordnung (EU) 2022/868 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2022 über europäische Daten-Governance und zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1724 (Daten-Governance-Rechtsakt) (Text von Bedeutung für den EWR) PE/85/2021/REV/1. ABl. L 152 vom 3.6.2022, S. 1-44.

Parallel dazu enthält der AI Act Vorschriften für die Daten-Governance mit einem starken Schwerpunkt auf einer robusten Daten-Governance für Hochrisiko-KI-Systeme und erfordert hochwertige Datensätze, die Minderung von Verzerrungen und die strikte Einhaltung der Datenschutzbestimmungen (Artikel 10). Der Schnittpunkt dieser Rechtsakte sollte eine harmonisierte KI-basierte Datennutzung und -bereitstellung durch Maßnahmen wie Datenschutz-Folgenabschätzungen, Daten-Governance-Audits und Aufbewahrungsstrategien ermöglichen.

4.3.5 Data Act¹⁸ & AI Act

Der Data Act enthält horizontale Vorschriften für den Datenzugang und die Datennutzung mit dem Ziel, die Datenverfügbarkeit zu erhöhen – insbesondere industrielle Daten und Daten, die von vernetzten Produkten (z.B. IoT-Geräten) erzeugt werden –, und fördert den Datenaustausch (einschließlich der Festlegung allgemeiner Bedingungen für den gesetzlich vorgeschriebenen Datenaustausch), wobei Anreize für diejenigen, die in Datentechnologien investieren, beibehalten werden. Der Data Act enthält auch Maßnahmen zur Stärkung des Wettbewerbs auf dem europäischen Cloud-Markt und legt grundlegende Anforderungen an die Interoperabilität fest, um den Datenfluss zwischen Sektoren und EU-Mitgliedstaaten sicherzustellen. Der Data Act soll zusammen mit dem DGA zur Schaffung des geplanten EU-Binnenmarkts für Daten beitragen.

In Bezug auf KI hat der Regelungsbereich des Data Act zwar keinen spezifischen Zusammenhang mit der Nutzung von KI, doch könnten die Möglichkeiten für besser regulierte und damit ermöglichte Datenflüsse erhebliche Auswirkungen auf die Erschließung von Investitionen in KI-basierte Technologien für die Datennutzung haben, insbesondere in Bezug auf IoT-Geräte, bei denen KI-basierte Tools die Funktionalitäten erheblich erweitern können.

4.3.6 Digital Single Market (DSM)-Richtlinie¹⁹ & AI Act

Das Urheberrecht steht im Mittelpunkt der hitzigsten rechtlichen Debatten über KI. Es gibt mindestens drei miteinander verbundene Fragen zum Urheberrecht im Zusammenhang mit KI, nämlich die Sammlung und Nutzung urheberrechtlich geschützter Werke für die Modellausbildung (1), die Schutzfähigkeit von KI-Ausgaben im Rahmen von Rechten des geistigen Eigentums (2) und die Risiken, die mit (potenziell) urheberrechtsverletzenden KI-Ausgaben (3) verbunden sind.

In der EU bildet die DSM-Richtlinie (in Kraft seit dem 6. Juni 2019, umgesetzt von den meisten EU-Mitgliedstaaten im Jahr 2021) den umfassenden Rechtsrahmen für den Schutz des geistigen Eigentums, innerhalb dessen die Governance der KI-Politik in den Bereichen Forschung, Entwicklung und Innovation umgesetzt wird. Mit der DSM-Richtlinie wurde kürzlich eine relativ neue Haftungsregelung für Anbieter von Diensten für die gemeinsame Nutzung von Online-Inhalten („OCSSP“) eingeführt sowie ein neues benachbartes Recht für Presseverleger. Neue Optionen für die kollektive Lizenzierung und detaillierte Vorschriften für Text- und Data-Mining sind im KI-Kontext für KI-Entwickler und Rechteinhaber gleichermaßen von großer Bedeutung. Wichtig ist, dass bei der Ausarbeitung der DSM-Richtlinie der rasche Aufstieg der generativen KI nicht absehbar war und auch die harten Auseinandersetzungen mit dem Urheberrecht nicht absehbar waren. Daher mussten die Abwägungsbestimmungen der DSM-Richtlinie, die auf die Interessen der Urheberrechtsinhaber abzielen, an die Interessen der KI-Entwickler angepasst werden, ohne die Innovation zu gefährden und gleichzeitig die Rechte zu schützen (Guadamuz, 2024). Derzeit wird die DSM-Richtlinie an nationalen und internationalen Gerichten mehreren „Stresstests“ unterzogen, ob die urheberrechtlichen Ausnahmen für Text- und Data-Mining Antworten auf diese Dilemmata liefern können. Wichtig ist, dass der AI Act in Bezug auf die parallele Anwendung der einschlägigen Rechtsakte klar feststellt,

¹⁸ Verordnung (EU) 2023/2854 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Dezember 2023 über harmonisierte Vorschriften für einen fairen Datenzugang und eine faire Datennutzung sowie zur Änderung der Verordnung (EU) 2017/2394 und der Richtlinie (EU) 2020/1828 (Datenverordnung) (Text von Bedeutung für den EWR). PE/49/2023/REV/1. ABl. L 2023/2854, 22.12.2023.

¹⁹ Richtlinie (EU) 2019/790 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 über das Urheberrecht und die verwandten Schutzrechte im digitalen Binnenmarkt und zur Änderung der Richtlinien 96/9/EG und 2001/29/EG (Text von Bedeutung für den EWR.). PE/51/2019/REV/1. ABl. L 130 vom 17.5.2019, S. 92-125.

dass in Ermangelung einer Ausnahme die Verwendung urheberrechtlich geschützter Inhalte für die Entwicklung oder den Einsatz von KI die Genehmigung der Rechteinhaber erfordert und vollständige Transparenz über die Nutzung urheberrechtlich geschützter Werke schafft (Artikel 53 Absatz 1 AI Act). Daher steht die Einhaltung des Urheberrechts auch im Mittelpunkt der laufenden Diskussionen und Ausarbeitungen zum KI-Verhaltenskodex (GPAI Code of Practice) mit dem Ziel, die rechtlichen Anforderungen durch praktikable Lösungen zu erfüllen. Dennoch gibt es skeptische Ansichten, ob die „Synthese eines innovativen Amalgams von Urheberrecht und Meta-Regulierung von KI“ mit Interpretationsherausforderungen und Schlupflöchern überwunden werden könnte (Peukert, 2024, SS. 24-25), ohne einen unangemessen hohen Preis, der auch von F&I-Akteuren zu zahlen ist.

Tabelle 3.3: Überblick über die wichtigsten EU-Rechtsakte mit direkter oder indirekter Relevanz für KI

Politik	EU-Rechtsakte	Zusammenfassung
Politik der künstlichen Intelligenz	AI Act	Der AI Act verfolgt einen risikobasierten Ansatz in vier Risikokategorien, der die Verwendung von KI-Systemen mit „inakzeptablem Risiko“ verbietet und strengere Anforderungen an KI-Systeme mit „hohem Risiko“ festlegt. Sie legt die Steuerung von KI auf Ebene der EU und der Mitgliedstaaten fest und sieht regulatorische Experimente und Flexibilität bei der Umsetzung vor.
Verordnung über die Datenspeicherung und den Schutz der Privatsphäre	Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)	Die DSGVO und der AI Act ergänzen sich bei der Gewährleistung einer rechtmäßigen, fairen und transparenten Verarbeitung personenbezogener Daten in KI-Systemen.
Verordnung über digitale Plattformen und Dienste	Digital Services Act (DSA)	Einführung des risikobasierten Regulierungsansatzes. Spezifische Verpflichtungen für sehr große Online-Plattformen (VLOPs) und sehr große Online-Suchmaschinen (VLOSEs), die auch wichtige Akteure beim Einsatz von KI sind.
Verordnung über digitale Gatekeeper	Digital Markets Act (DMA)	Der DMA zielt auf große „Gatekeeper“-Plattformen ab, um unlautere Praktiken zu verhindern und gleiche Wettbewerbsbedingungen für Unternehmen zu gewährleisten. Die Koordinierung zwischen den Durchsetzungsbehörden dieser Vorschriften ist von entscheidender Bedeutung, um Konsistenz zu gewährleisten und Regulierungslücken zu vermeiden.
Regulierung des Datenaustauschs	Data Governance Act (DGA)	Der DGA schafft Richtlinien für den Datenaustausch in Bereichen wie Gesundheit, Umwelt, Mobilität, Landwirtschaft und öffentliche Verwaltung. Ziel ist es, die Datenverfügbarkeit zu verbessern, die Wiederverwendung von Daten zu fördern, regulierte Datenvermittler sicherzustellen und den Datenaustausch über Sektoren und Grenzen hinweg zu unterstützen.
Verordnung über Dateneigentum, -speicherung und -transaktionen	Data Act	Der Data Act ist ein horizontales Regelwerk für den Datenzugriff, das den Nutzern vernetzter Geräte helfen soll, Zugang zu Daten von diesen Geräten zu erhalten, Schutzmaßnahmen für Verbraucher vor bestimmten Verträgen über die gemeinsame Datennutzung zu schaffen und es den Nutzern zu ermöglichen, Cloud-Anbieter zu wechseln, um bei Bedarf auf Daten des privaten Sektors zuzugreifen.
Urheberrecht im digitalen Single-Markt	DSM-Richtlinie (DSM)	Die DSM-Richtlinie ist relevant für den Schutz des geistigen Eigentums für KI-Technologien, die Regulierung von Informationen und Daten, die als Inputs für KI verwendet werden – insbesondere in Bezug auf die Ausnahmen für Text- und Data-Mining im Rahmen des DSM – die Schutzfähigkeit des geistigen Eigentums von KI-Ergebnissen, das Digital Right Management (DRM) und die Durchsetzung von Rechten des geistigen Eigentums durch KI.

4.4 Bewertung

Der 2024 angenommene AI Act bildet den Kern der EU-Rechtsrahmen. Diese bauen auf eine Reihe weiterer Technologie- und Datenpolitiken auf, die in den letzten zehn Jahren von den EU-Gesetzgebern verabschiedet wurden, und entfalten als Verordnungen unmittelbare Wirkung sowohl auf Ebene der Europäischen Union als auch in den Mitgliedstaaten. Viele der Handlungen wirken sich indirekt auf die Entwicklung von KI aus (z. B. hängt KI von einem hohen Datenvolumen ab, um effektiv zu arbeiten, so dass sich Einschränkungen bei der

Erhebung und Nutzung von Daten ausnahmslos auf die Funktionsweise von KI-Systemen auswirken werden). Darüber hinaus unterliegt die finanzielle Unterstützung für KI-Forschung, -Entwicklung und -Innovation den EU-spezifischen Vorschriften und Regelungen für staatliche Beihilfen.

Die Notwendigkeit eindeutiger Regelungen darüber, wie KI-spezifische Vorschriften mit anderen relevanten Rechtsakten zusammenwirken sollen, ist für die Bewertung des Erfolgs oder Misserfolgs der EU-KI-Politik von entscheidender Bedeutung. Eine robuste Governance muss dabei im Mittelpunkt stehen, um die Voraussetzungen für eine verantwortungsvolle Entwicklung und den Einsatz von KI zu schaffen. Vorrang haben dabei Ansätze wie i) Flexibilität durch technologische Gestaltungsmöglichkeiten, ii) Verhältnismäßigkeit des Regelungsaufwands und iii) praktikable Compliance-Optionen, etwa durch regulatorische Reallabore und praxisorientierte Leitlinien. Darüber hinaus beeinflussen die institutionelle Ausgestaltung auf EU-Ebene und die vorhandenen Verwaltungskapazitäten, die für die Durchsetzung des AI Act erforderlich sind, maßgeblich die Zukunft der europäischen KI-Politik (Novelli et al., 2024). Investitionen in eine am öffentlichen Interesse orientierte Aufsicht sowie in den Ausbau der nötigen Kapazitäten könnten wesentlich dazu beitragen, die falsche Dichotomie „Innovation oder Regulierung?“ zu überwinden, die einem rein industriepolitischen Ansatz der EU widerspricht (AI Now Institute, 2024).

Der menschenzentrierte Ansatz der EU-KI-Strategie mit ihrem Fokus auf vertrauenswürdige und sichere KI im Einklang mit den Rechten, Freiheiten und Werten der Bürgerinnen und Bürger könnte „einen dringend benötigten Wettbewerbsvorteil für europäische KI-Angebote bieten, indem er das Vertrauen der Verbraucher stärkt und einen Fahrplan für die Regulierung solcher Produkte bereitstellt“ (Brattberg et al., 2020, S. 32). Voraussetzung dafür ist jedoch eine wirksame, nützliche und effiziente Umsetzung auf der Grundlage sozial legitimierter Governance-Techniken (de Almeida et al., 2021). Das Risiko bleibt bestehen, dass politische Maßnahmen zu bloßen rhetorischen Bekundungen oder leeren Schlagworten verkommen – insbesondere eine Überregulierung könnte sich nachteilig auf Forschung und Innovation im Bereich KI auswirken.

5 ÜBERGREIFENDE BEWERTUNG DER EU-POLITIK ZU KI

In der EU-Politik bezeichnet digitale (bzw. technologische) Souveränität die Fähigkeit der Union, eigene Regeln festzulegen, kritische digitale Infrastrukturen sowie Daten zu kontrollieren und strategische Abhängigkeiten zu verringern, während sie gleichzeitig offen für Handel und internationale Zusammenarbeit bleibt („offene strategische Autonomie“). Das Konzept gewann insbesondere nach 2020 an Relevanz und erstreckt sich mittlerweile auf zentrale Bereiche wie – in digitalen Kontext - Daten, Cloud-Computing, Künstliche Intelligenz, Halbleiter, Cybersicherheit und Online-Plattformen. In den letzten Jahren hat sich das Konzept erheblich weiterentwickelt, getrieben durch wachsende Bedenken hinsichtlich der Abhängigkeit von Drittstaaten in kritischen Technologiefeldern – etwa KI, Quantum Computing und digitale Infrastruktur – und zusätzlich verstärkt durch geopolitische Spannungen sowie den Einfluss global dominierender Technologieunternehmen. Im Laufe der Zeit hat die EU das allgemeine Leitprinzip der *Openness* hin zu einer aktiveren und zugleich defensiveren Strategie weiterentwickelt. Diese umfasst sowohl Gesetzgebungsinitiativen (wie den Digital Markets Act und den AI Act), die Förderung von Innovation durch Finanzierung sowie Maßnahmen zum Aufbau unabhängiger digitaler Ökosysteme mittels gezielter Investitionsprogramme. Auf der Grundlage der bisherigen, erst wenige Jahre zurückreichenden Erfahrungen mit einer expliziten KI-Politik auf europäischer Ebene lassen sich folgende Einschätzungen formulieren:

- “Brüssel-Effekt“ und „Fear of Missing out“?

Die Fähigkeit der EU, durch ihren großen Binnenmarkt de facto globale Regeln festzulegen, wird oft als Brüssel-Effekt bezeichnet (Bradford, 2020). Unternehmen wenden häufig weltweit EU-konforme Prozesse an, anstatt zwei unterschiedliche Standards zu bedienen. Die EU-Regulierung zu KI scheint ebenfalls diesen Anspruch zu verfolgen; gleichzeitig scheint die Industriepolitik der EU bei KI von einer „Fear of Missing Out“ getrieben zu sein, die sich etwa in Ankündigungen als Reaktion auf Investitionspläne der USA, der Golfstaaten oder Chinas zeigt.

- **Innovationsfreundlicher Rechtsrahmen**

Der EU-Rechtsrahmen kann innovationsfördernd wirken, wenn er regulatorische Starrheit vermeidet und stattdessen menschenzentrierte Kontrollmechanismen in den Mittelpunkt stellt. Leitprinzipien wie *Flexibility by Design*, *Proportionality of Burdens* und *Adaptive Governance* sollten dabei handlungsleitend sein. Ergänzend können Instrumente wie Regulatory Sandboxes und praxisorientierte Leitlinien die Implementierung unterstützen und so einen Ausgleich zwischen Innovationsorientierung und wirksamer Regulierung schaffen.

- **Policy Coherence**

Die Regulierung von KI erfolgt nicht in Isolation: Jedes sich überschneidende Rechtsinstrument erzeugt sowohl neue Compliance-Herausforderungen als auch potenzielle Synergien. Der EU-Rechtsrahmen zielt dabei auf einen holistischen Ansatz ab, der Aspekte wie die Schlüsselrolle von Plattformen, Daten-Governance, geistiges Eigentum und Grundrechte integriert. Gleichwohl bestehen weiterhin erhebliche Inkohärenzen, die auch die im Draghi Report (Europäische Kommission 2024) hervorgehobenen Bedenken widerspiegeln. Besonders dringlich sind in diesem Zusammenhang die Öffnung von Daten des öffentlichen Sektors für die Entwicklung von KI sowie die verbesserte Abstimmung zwischen nationalen Politiken und EU-weiten Regelungen.

- **Abstimmung zwischen der EU und den Mitgliedsstaaten**

Die Governance von Künstlicher Intelligenz erfordert eine enge Abstimmung zwischen den EU-Institutionen und den Mitgliedstaaten. Trotz einer ambitionierten Legislativagenda bestehen weiterhin erhebliche Unklarheiten bei der Umsetzung – insbesondere in Hinblick auf Data Governance, Copyright Clearance und die strategische Koordination der Regulierungsbehörden. Darüber hinaus finanzieren sowohl die EU als auch die Mitgliedsstaaten KI-Forschung, ohne dass bislang klare Mechanismen für eine wirksame Koordination dieser Aktivitäten erkennbar wären. Auch im Bereich der Investitionen in die KI-Infrastrukturen – etwa im Kontext der AI-Factories – besteht die Notwendigkeit einer Ko-Finanzierung durch die EU und die Mitgliedsstaaten. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob eine derartige Finanzierungsstruktur aus industrie-politischer Perspektive zu einer optimalen Standortwahl ohne destabilisierende Subventionswettläufe führen kann, oder ob sie letztlich die ungleichen finanziellen Kapazitäten der Mitgliedsstaaten widerspiegeln wird.

- **State Capacity**

Abstimmungsprozesse im Bereich der KI-Governance erfordern nicht nur politische Kohärenz, sondern auch hinreichende staatliche Ressourcen in finanzieller wie organisatorischer Hinsicht (*state capacity*). Das AI Office der Europäischen Kommission war 2025 mit etwa 85 Mitarbeitenden vergleichsweise schwach ausgestattet, von denen lediglich rund 30 unmittelbar mit der Umsetzung des AI Act in 27 Mitgliedstaaten befasst waren. Demgegenüber verfügt das britische AI Safety Institute bereits über 150 Mitarbeitende, die sich ausschließlich mit AI Safety befassen – und das obwohl dort bislang keine verbindliche Gesetzgebung existiert. Diese Asymmetrie verdeutlicht die strukturelle Unterinvestition der EU in ihre *state capacity*, also in die Fähigkeit, weitreichende Regulierungsvorhaben und Politiken auch tatsächlich umzusetzen. Dieses Defizit zeigt sich nicht nur im Bereich der KI-Governance, sondern ebenso in angrenzenden Feldern wie der Industriepolitik oder einer koordinierten europäischen Forschungspolitik zu KI.

- **Aufgabenteilung bei KI**

Analog zu anderen Politikfeldern ließe sich auch im Bereich der KI eine funktionale Aufgabenteilung zwischen der europäischen und der nationalen Ebene begründen. So könnte die Förderung von F&I sowie der Aufbau großer Infrastrukturen – wie etwa *AI Factories* oder *Gigafactories* – primär auf europäischer Ebene angesiedelt werden. Dafür sprechen sowohl die notwendige kritische Masse als auch die Vorteile EU-weiter Kooperationen und potenzielle Spillover-Effekte über Ländergrenzen hinweg.

Demgegenüber könnte die Förderung der Diffusion von KI in Unternehmen sowie die Ausbildung von KI-Experten vorrangig in der Verantwortung der Mitgliedstaaten verbleiben, da diese näher an den spezifischen Bedarfen nationaler Innovationssysteme und Arbeitsmärkte liegen.

- **Legal Certainty**

Weiterhin bestehen erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich der Frage, welche nationalen Behörden für die Durchsetzung des AI Act zuständig sein werden, nach welchen Governance-Modellen sie operieren und mit welchen Mandaten sie ausgestattet sind. In einigen Mitgliedstaaten hat der politische Wettbewerb zwischen Behörden zusätzliche Unklarheiten erzeugt, während andere einen *wait-and-see*-Ansatz verfolgen. Diese institutionellen Ambivalenzen gefährden sowohl die Compliance als auch die Innovationsfähigkeit, da sie ein hohes Maß an Rechtsunsicherheit für Entwickler und Anwender von KI schaffen.

- **Adaptability und Regulatory Learning**

Der AI Act schafft eine Rechtsgrundlage für die Einrichtung von *Regulatory Sandboxes*, deren Implementierung auf Ebene der Mitgliedstaaten bislang jedoch deutlich hinter den Erwartungen zurückbleibt. Ursachen hierfür sind das Fehlen entsprechender gesetzgeberischer Grundlagen, eine unzureichende institutionelle Vorbereitung der zuständigen Behörden sowie das Ausbleiben klarer Leitlinien seitens der EU.

Positiv hervorzuheben ist hingegen der transparente, multi-stakeholder-basierte Prozess zur Entwicklung des Code of Practice für GPAI, der bereits von mehreren großen Entwicklern unterzeichnet wurde. Sowohl *Regulatory Sandboxes* als auch ko-regulative Verfahren stellen zentrale Instrumente zur Förderung einer adaptiven Governance dar und sind entscheidend für die kontinuierliche regulatorische Lernfähigkeit im Bereich Künstlicher Intelligenz.

- **Administrative und finanzielle Belastungen**

Der bürokratische und finanzielle Aufwand im Zusammenhang mit der Einhaltung regulatorischer Vorgaben – und damit auch potenzielle Auswirkungen der Regulierung auf Innovation und Diffusion von KI-Technologien – lässt sich bislang nur schwer abschätzen, da sich die Umsetzung des AI Act noch im Anfangsstadium befindet. Erste Indikatoren deuten darauf hin, dass große KI-Entwickler durchaus bereit sind, Compliance-Verantwortlichkeiten zu übernehmen (etwa durch die Unterzeichnung des GPAI Code of Practice), was bislang nicht auf hemmende Effekte schließen lässt. KMUs könnten jedoch mit unverhältnismäßigen Belastungen konfrontiert werden, sofern Leitlinien nicht präzisiert und Verhältnismäßigkeitsmechanismen nicht weiter gestärkt werden.

Auf dieser Grundlage ergeben sich die nachfolgenden ersten Hinweise für die Weiterentwicklung der KI-politischen Rahmens der EU:

- **Verbesserung der Kohärenz innerhalb des miteinander verknüpften EU-Rechtsrahmens**, um eine ganzheitliche und konsistente Umsetzung zu gewährleisten.
- **Klare Aufgabenteilung und stärkere Abstimmung** zwischen der EU und den Mitgliedstaaten in den Bereichen F&I- sowie Industriepolitik zu KI.
- **Ausrichtung innovationsorientierter Regulierung** an Grundrechten und ethischen Prinzipien, um vertrauenswürdige KI zu fördern.
- **Stärkung der Governance** durch den gezielten Ausbau der *state capacity*.
- **Sicherstellung ausreichender Finanzierung** für gemeinschaftliche KI-Investitionen (z. B. Gigafactories und künftige Großprojekte), gegebenenfalls auch außerhalb des EU-Haushalts.
- **Bereitstellung klarer Policy Guidance** für die Mitgliedstaaten zur Strukturierung von Regulierungsbehörden, um ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Innovation, Souveränität und Rechenschaftspflicht sicherzustellen.

- **Aufbau regulatorischer Kapazitäten**, insbesondere im Bereich *Regulatory Innovation*, durch nachhaltige Investitionen in Personal, Kompetenzentwicklung und institutionelle Kooperation auf EU- und nationaler Ebene.
- **Verstärkte Förderung der Diffusion von KI-Technologien**, da sich die wirtschaftlichen Effekte von KI nur entfalten können, wenn eine breite Unternehmensbasis KI als Innovationsgrundlage nutzt.
- **Funktionsfähige Etablierung von Regulatory Sandboxes**, einschließlich klarer rechtlicher Voraussetzungen und koordinierter EU-Unterstützung.
- **Systematische Integration von Lernerfahrungen** aus Ko-Regulierungsprozessen, insbesondere aus dem *GPAI Code of Practice*, um eine iterative und adaptive Regulierung zu ermöglichen.

6 LITERATUR

AI Now Institute. (2024): To Innovate or to Regulate? The False Dichotomy at the Heart of Europe's Industrial Approach. AI Now Institute. <https://ainowinstitute.org/publication/to-innovate-or-to-regulate-the-false-dichotomy>

Bradford, Anu (2020): The Brussels Effect: How the European Union Rules the World. New York, <https://doi.org/10.1093/oso/9780190088583.001.0001>, accessed 11 Sept. 2025.

Brattberg, E., Csernatoni, R., & Rugova, V. (2020): Assessing the EU's Approach To AI in: Europe and AI: Leading, Lagging Behind, or Carving Its Own Way? Carnegie Endowment for International Peace, pp. 21–32, <https://www.jstor.org/stable/resrep25784.7>

BDG und BDI (2025): Deep Tech für den Industriestandort Deutschland, abrufbar unter: <https://bdi.eu/publikation/news/deep-tech-fuer-den-industriestandort-deutschland>.

BMBF (2023): BMBF-Aktionsplan "Künstliche Intelligenz", https://www.ki-strategie-deutschland.de/files/downloads/Aktionsplan_Kuenstliche_Intelligenz_2023.pdf

Calvet-Bademunt, J., & Barata Mir, J. (2024): The Digital Services Act Meets the AI Act: Bridging Platform and AI Governance | TechPolicy.Press. Tech Policy Press. <https://techpolicy.press/the-digital-services-act-meets-the-ai-act-bridging-platform-and-ai-governance>

de Almeida, P. G. R., dos Santos, C. D., & Farias, J. S. (2021). Artificial Intelligence Regulation: A framework for governance. Ethics and Information Technology, 23(3), 505–525.
<https://doi.org/10.1007/s10676-021-09593-z>

EuroHPC (2025): Call for expression of interest in AI Gigafactories (AIGFs). Online verfügbar unter https://eurohpc-ju.europa.eu/document/download/47492db7-592e-4ad8-b672-9c822f94afa0_en?filename=Call%20for%20expression%20of%20interest%20in%20AI%20gigafactories%20-%202025%2004%2009%20-%20FINAL.pdf.

Europäische Kommission (2024): The future of European competitiveness – A competitiveness strategy for Europe, Brüssel. Online verfügbar unter https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/draghi-report_en

Europäische Kommission (2025a): EU launches InvestAI initiative to mobilise €200 billion of investment in artificial intelligence. Brüssel. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_467.

Europäische Kommission (2025b): Overwhelming response as 76 respondents express interest in the European AI Gigafactories initiative. Brüssel. Online verfügbar unter <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/overwhelming-response-76-respondents-express-interest-european-ai-gigafactories-initiative>.

European Court of Auditors (2025): The EU's strategy for microchips: Luxembourg. Online verfügbar unter https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2025-12/SR-2025-12_EN.pdf.

Guadamuz, A. (2024). The EU's Artificial Intelligence Act and copyright. The Journal of World Intellectual Property, 28(1), pp. 1-7. <https://doi.org/10.1111/jwip.12330>

Liliyanova, Velina (2024): AI Investment in National Recovery and Resilience Plans in the EU. Brussels. Online verfügbar unter [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2024/762288/EPRS_BRI\(2024\)762288_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2024/762288/EPRS_BRI(2024)762288_EN.pdf).

Martínez, A. R. (2024): Generative AI and the Digital Markets Act on the Rocks. Kluwer Competition Law Blog. <https://competitionlawblog.kluwercompetitionlaw.com/2024/02/05/generative-ai-and-the-digital-markets-act-on-the-rocks/>

Niestadt, Maria (2025): AI Factories. European Parliamentary Research Service, Brussels.

Novelli, C., Hacker, P., Morley, J., Trondal, J., & Floridi, L. (2024). A Robust Governance for the AI Act: AI Office, AI Board, Scientific Panel, and National Authorities. European Journal of Risk Regulation, 1–25. <https://doi.org/10.1017/err.2024.57>

Papazoglou, Michail; Torrecillas Jodar, Juan; Cardona, Melisande; Calza, Elisa; Vazquez-Prada Baillet, Miguel; Righi, Riccardo (2023): Mapping EU level funding instruments to Digital Decade targets. Seville. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/jrc134647/jrc134647_01.pdf.

Pajot, B. (2025): A “DeepSeek Moment”? , IFIR Memos, French Institute of International Relations, Paris

Peukert, A. (2024): Copyright in the Artificial Intelligence Act – A Primer. GRUR International, 73(6), 497–509. <https://doi.org/10.1093/grurint/ikae057>

Schwaag Serger, Sylvia; Dachs, Bernhard; Kivimaa, Paula; Lazarevic, David; Lukkarinen, Janni; Stenberg, Lennard; Weber, K. Matthias (2023): Transformative innovation policy in practice in Austria, Finland and Sweden. OECD. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/45d3a149-en>.

Schwäbe, C., Hummler, A., & Blind, K. (2024). Exploring an Innovation Policy for Public AI–Rationales, Examples and Learning. Policy brief of the project “Public AI”, <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/2bb2994d-32de-4a64-83df-890263f79e23/content>

Torrecillas Jodar, Juan; Nepelski, Daniel (2025): Update of Mapping of EU funds to Digital Decade targets 2021–2027. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Online verfügbar unter <https://data.europa.eu/doi/10.2760/4123945>.

Vannuccini, Simone (2025): Move fast and integrate things: the making of an European industrial policy for Artificial Intelligence. Online verfügbar unter https://www.csfederalismo.it/images/2025/RP/FCSF-RP_EU-AI-Industrial-policy_Vannuccini_May2025.pdf.

Kapitel 4: KI-bezogene F&I- und Industriepolitik in vergleichender Perspektive

Matthias Weber, Bernhard Dachs, Krisztina Rozgonyi, Bernd Beckert, Andreas Hummler,
Carsten Schwäbe, Peipei Yang, Zoe Zweifler

1 ZIELSETZUNGEN, FRAGESTELLUNGEN UND ANALYTISCHER RAHMEN

1.1 Zielsetzungen und leitende Fragestellungen

Dieses Kapitel knüpft an mehrere der Projektziele an, insbesondere im Hinblick auf i) die Erfassung, Analyse und Bewertung der auf die Entwicklung und Anwendung von KI einwirkenden Institutionen, Fördermaßnahmen und Governance-Mechanismen (d.h. Strukturen und Prozesse) der F&I-Politik, Industriepolitik und Regulierung in ausgewählten Mitglieds- und internationalen Vergleichsländern, ii) die Analyse und Bewertung des Verhältnisses und Zusammenwirkens von europäischer und nationaler KI-Politik in den betrachteten Mitgliedsstaaten, und iii) die Identifikation und Analyse von internationalen „good practice“-Beispielen institutioneller Konfigurationen und Maßnahmen zur Unterstützung von KI.

Konkret übersetzen sich diese Ziele in folgende leitende Fragestellungen:

- Was spricht für und was spricht gegen eine dezidierte KI-Politik und -strategie? Welche Herausforderungen und Hindernisse stehen dabei im Vordergrund?
- Welche Maßnahmen wurden und werden im Bereich der F&I- und Industriepolitik auf nationaler Ebene gesetzt, und wie sind sie ggf. in den politischen Rahmen der EU eingepasst?
- Welche regulativen Strategien werden verfolgt und wie erfolgt die Governance und administrative Umsetzung der Förder- und Regulierungsmaßnahmen?
- Wie wird KI auf EU-Ebene sowie in ausgewählten EU-Mitgliedsstaaten und nicht-EU-Staaten gefördert, und warum? Welche Interventionsbereiche werden dabei jeweils adressiert?
- Welche F&I- und Industriepolitiken für KI-Technologien existieren außerhalb Europas, und welche Anregungen lassen sich daraus für die europäische Politik gewinnen?

Dieses Kapitel widmet sich also der Untersuchung nationaler KI-Strategien und Interventionskonzepte mit dem übergeordneten Ziel, **interessante Ansätze für die deutsche KI-Strategie zu identifizieren und Impulse für deren Verbesserung zu erhalten**. Basis hierfür sind die Fallstudien, die Einblicke in die jeweiligen Strategien verschiedener untersuchter Länder gewähren. In diesem Kapitel werden spezifische Aspekte der KI-Politik beleuchtet. Zunächst wird im Abschnitt "**Nationale KI F&E-Förderungen in ausgewählten EU-Mitgliedsstaaten**" ein Indikator für die Schwerpunkte der KI-Forschung innerhalb der EU durch die Betrachtung des Umfangs der F&E-Förderungen in ausgewählten Ländern dargelegt. Dies liefert einen ersten Anhaltspunkt für die strategische Ausrichtung und Investitionsbereitschaft.

Das Kernkapitel "**Nationale KI-Strategien und Interventionskonzepte**" geht tiefer auf die Entwicklung und Ausgestaltung von KI-Politiken ein. Hier lassen sich in vielen der untersuchten Länder **drei wesentliche Phasen der Strategieentwicklung** in Bezug auf KI unterscheiden. Weiterhin werden **Anspruch und Ziele nationaler KI-Strategien** beleuchtet, wobei sich aus den Fallstudien **vier Grundtypen strategischer Ziele** ableiten lassen, die in der Praxis oftmals kombiniert werden. Die **Rolle des Staates** wird in diesem Kontext als stark oder schwach, horizontal oder vertikal, sowie finanziell orientiert oder regulativ beschrieben. Auch hier sind Kombinationen möglich. Darüber hinaus werden die **strategischen Ansatzpunkte oder Zugänge** differenziert, welche die grundlegenden Philosophien darstellen, auf deren Basis Länder ihre KI-bezogenen Ziele zu erreichen versuchen. Diese können von rein privatwirtschaftlichen Ansätzen bis hin zur Fokussierung auf öffentliche Dienstleistungsbereiche als Leitmärkte für KI-Anwendungen reichen.

Ein weiterer zentraler Bereich sind die "**F&I- und industriepolitischen sowie regulativen Instrumente**". Dieser Abschnitt stützt sich auf Konzepte des erweiterten KI-Stacks und der Innovationsökosysteme und dient der Betrachtung der verschiedenen Ansatzpunkte der F&I- und Industriepolitik für KI. Anhand der Fallstudien wird ein **gängiger Satz an Interventionsinstrumenten und deren Ansatzpunkten** identifiziert. Dazu gehören die Grundlagenforschung, Investitionen in KI-Infrastrukturen, die Erleichterung des Datenzugangs, -austauschs und ihrer Nutzung, (Aus-)Bildung und Talentförderung, anwendungsorientierte Forschungs- und Innovationsförderung, der Transfer und Ausbau von Innovationsökosystemen, Start-up-

Förderungen, Maßnahmen für KMU und die Diffusion von KI in die Breite, die Skalierung und Beschleunigung von KI-Lösungen sowie die Entwicklung öffentlicher Leitmärkte.

Im Hinblick auf die "**Regulierung**" wird herausgearbeitet, dass alle EU-Mitgliedstaaten gleichermaßen von den europäischen KI-Regulierungen, insbesondere dem AI Act, betroffen sind. Trotzdem gibt es **erhebliche Unterschiede bei der laufenden Umsetzung** dieser Regulierungen, die unter anderem von bestehenden regulativen Strukturen und Traditionen abhängen. Die Verantwortlichkeiten für KI-bezogene Regulierungsaufgaben (z.B. Market Surveillance Authority, Notifying Authority, National Public Authority) werden dementsprechend unterschiedlich gehandhabt. Nicht-EU-Länder bieten hierbei Anschauungsmaterial für alternative Lösungsansätze regulativer Fragen im Zusammenhang mit KI. Insbesondere das **britische „light touch“-Modell der KI-Regulierung** unterscheidet sich von der EU durch **weniger detaillierte Regulierungen**, die mehr Verhandlungsspielraum eröffnen, und **deutlich besser ausgestattete Regulierungsbehörden** in puncto Kapazitäten und Kompetenzen. Zudem kommen im Vereinigten Königreich bereits **mehrere Regulatory Sandboxes** zum Einsatz, um bestehende Regulierungen weiterzuentwickeln und zu verbessern.

Schließlich wird im Kapitel "**Governance: horizontale, vertikale und Stakeholder-Koordination**" die Bedeutung der **horizontalen Politikkoordination** und einer **abgestimmten zentralen Steuerung mit verteilten Verantwortlichkeiten** beleuchtet. Hierbei ist die **Einbindung der verschiedenen Stakeholder** von großer Bedeutung. Eine zentrale Rolle spielt auch die **Mehrebenen-Governance**, die die Koordination zwischen regionalen, nationalstaatlichen und EU-Ebenen umfasst.

1.2 Auswahl der Fallstudien

Die Auswahl der Länderfallstudien wurde in zwei Phase durchgeführt. In einer ersten Screening-Phase wurde auf der Grundlage der in Kap. 2 identifizierten KI-aktiven Länder ein breites Spektrum möglicher Kandidaten identifiziert, die explizite KI-bezogene Politikmaßnahmen bereits umsetzen oder planen. Neben den letztlich ausgewählten Ländern zählten hierzu auch Belgien, Estland, Israel, Italien, Japan, Kanada, Saudi-Arabien, Schweden, Singapur, Spanien und Südkorea. In einer zweiten Phase wurde dann die in Tabelle 4.1 dargestellten Länder, unter Anwendung folgender Kriterien, für tiefergehende Fallstudien ausgewählt:

- Die ausgewählten Länder verfolgen **aktive KI-Politikstrategien und -maßnahmen**;
- Sie versprechen Einblicke in **innovative Beispiele von Politikinstrumenten und Governance-Praktiken** in den Bereichen F&I- und Industriepolitik sowie Regulierung;
- Die Mehrzahl der betrachteten Länder sind **EU-Mitgliedsstaaten**;
- Die Auswahl deckt sowohl **große als auch kleine Mitgliedsstaaten** der EU ab;
- Die internationalen Beispiele umfassen wichtige **aktuelle und/oder potenzielle Wettbewerber** der EU und ihrer Mitgliedsstaaten.

Auf dieser Grundlage wurden fünf EU-Mitgliedsstaaten (Finnland, Frankreich, Niederlande, Österreich und – in einer Sonderrolle - Deutschland) ausgewählt sowie vier internationale, bzw. nicht-EU Vergleichsländer (UK, USA, China, Indien). Darüber hinaus wurden einzelne interessante Aspekte aus weiteren Ländern herangezogen, um innovative Herangehensweise zu illustrieren und in Form von punktuellen Erläuterungen oder Boxen in die Studie zu integrieren. Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die tiefergehend betrachteten Länder und ihre grobe Charakterisierung. Im Anhang zum Bericht finden sich acht Fallstudien; der Fall Deutschland wird gesondert behandelt und in Kapitel 5 in Form einer SWOT-Analyse dargestellt.²⁰

²⁰ Zu Deutschland liegt eine detaillierte Länderstudie der OECD zu KI und KI-Politik vor, weshalb auf eine eigenständige Fallstudie im Rahmen des Projekts verzichtet wurde (OECD 2024).

Tabelle 4.1: Ausgewählte Länderfallstudien

	Typus	Zentrale Aspekte
Deutschland	Europa/EU	Bewertung der Situation Deutschland auf der Grundlage einer SWOT-Analyse und Bewertung auf der Grundlage des Berichts der OECD (2024)
Österreich	Europa/EU	Klar formulierte Strategie, die vor allem über die Förderung von KI in bestehenden und adaptierten Programmen und weniger über dezidierte KI-spezifische Programme umgesetzt wurde; Schwerpunkt auf KI in der öffentlichen Verwaltung; Zuständigkeiten für KI wechselten öfters zwischen Ministerien
Frankreich	Europa/EU	Zeitlich klar gestaffelte Strategie mit hohen Investitions- und Fördervolumina und einem breites Instrumentenportfolio Zentrale strategische Steuerung und Mobilisierung mehrerer regionaler Cluster mit jeweiligen Schwerpunkten in Anwendungs- und Grundlagenbereichen.
Niederlande	Europa/EU	Starke industrielle Basis mit Hardware-Unternehmen als wichtigen Trägerorganisation Klare und frühzeitige Strategie und in jüngerer Zeit Betonung von "eingebetteter" KI PPP / Top Sector Modell der Governance und Stakeholdereinbindung
Finnland	Europa/EU	Starke Betonung industrieller Anwendung von KI (AI 4.0); thematische Schwerpunkte auf bestimmte für Finnland wichtige Branchen Enge Einbindung von Stakeholdern und effektive Politikkoordination
Großbritannien	Europa/non-EU	Klarere und einfachere Regulierung bei gleichzeitig gut ausgebauten regulativen Kapazitäten Vielfältiges Instrumentenspektrum mit starker staatlicher Rolle Monitoring / Evaluierung der Umsetzung der KI-Strategie
USA	International	Privatwirtschaftlich getriebene KI-Entwicklung mit hohen privaten Investitionen Fokus auf Gestaltung regulativer Rahmenbedingungen (trustworthiness, AI bill of rights) bis 2024 Hervorgehobene Rolle der öffentlichen Beschaffung (z.B. militärisch)
China	International	Hohe Ambitionen und massiver Mitteleinsatz Fokus sowohl auf KI in traditionellen Industrien als auch auf neue regionale KI-Cluster Informeller Einfluss Pekings bei vergleichsweise hoher Autonomie des privaten Sektors und der Regionen Risikofinanzierung unter staatlicher Beteiligung
Indien	International	Relativ späte explizite KI-Strategie, forciert seit 2024 mit dem zentral koordinierten Instrument der India AI Mission

		Starke privatwirtschaftliche Impulse für KI Politikinstrumente noch im Entstehen mit Fokus auf PPPs, Kompetenzentwicklung, Cluster, ausländische Investitionen
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1.3 Analyseraster

Die Strukturierung der Fallstudien erfolgt entlang eines einheitlichen Analyserasters. Dabei wurden zum einen zum einen wichtige Charakteristika des KI-Innovationssystems und zum anderen die wesentlichen strategischen Elemente der nationalen KI-Politik und -Governance erfasst. Den Hintergrund hierfür bilden, wie in Kapitel 1 eingeführt, der erweiterte KI-Stack und das KI-Innovationsökosystem mit den entsprechende F&I-politischen, industriepolitischen und regulativen Instrumentarien. Damit basieren die Fallstudien auf den folgenden Elementen:

- Teil I: Volkswirtschaftliche Eckdaten
- Teil II: Nationale KI-Kapazitäten
- Teil III: Rolle des Staates in Bezug auf KI-Entwicklung und -Anwendung
- Teil IV: F&I und Industriepolitik: Strategie, Instrumente, Governance
 - KI-Strategie
 - KI-Förderungen und -Investitionen
 - KI-Regulierung
 - KI-Governance
 - Bewertung

Die nachfolgenden Abschnitte bauen auf diesen Elementen der Fallstudien auf.

2 NATIONALE KI-STRATEGIEN UND INTERVENTIONSKONZEPTE

2.1 Wesentliche Phasen der Entwicklung der KI-Politik

In den vergangenen zehn Jahren hat KI viel Aufmerksamkeit und Interesse in Forschung, Industrie, Politik und Zivilgesellschaft erregt, ein Umstand welcher durch die beschleunigte Diffusion und Popularisierung von Large Language Models seit 2022 zunehmend verstärkt wird. Manche Beobachter bezeichnen diese Dekade als den „dritten KI-Sommer“, nach den Entwicklungssprüngen der 60er und 80er Jahre. Die aktuelle Phase zeichnet sich technisch durch Durchbrüche bei neuronalen Netzen, die Zugänglichkeit hoher Rechenleistungen und Speicherkapazitäten sowie die Verfügbarkeit großer digitaler Datenmengen („big data“) aus, durch deren Verknüpfung eine Vielzahl neuartiger Anwendungsmöglichkeiten ermöglicht werden und sich weitere, rasante Fortschritte abzeichnen.

Diese Entwicklung der technologischen Potenziale begründet auch, warum KI vor knapp zehn Jahren begann, das Interesse der Politik zu wecken. Dabei wurde die Chance und auch die Notwendigkeit erkannt, die neuen Möglichkeiten von KI für die Erschließung neuer Quellen der Wertschöpfung und zur Erzielung von Wettbewerbsvorteilen zu nutzen und ein Zurückfallen hinter schnell agierende Länder (und die in ihnen tätigen Unternehmen) zu verhindern.

Bei allen Unterschieden im Detail, lassen sich in vielen der in dieser Studie untersuchten Länder drei Phasen der Strategieentwicklung in Bezug auf KI unterscheiden:

- **Phase 1 seit ca. 2017/18:** Zwar gab es bereits vor diesem Zeitpunkt eine Zunahme der Forschungsarbeiten zu KI (vgl. Kap. 2), das zunehmende öffentliche Interesse an dieser disruptiven Technologie zeigt sich jedoch erst im Zuge der Entwicklung KI-spezifischer Politikstrategien, die sich seit den Jahren 2017/18 beobachten lässt. Klar erkennbare Muster oder länderübergreifende

Schwerpunkte lassen sich in dieser initialen Phase noch nicht festmachen. Häufig stand dabei allerdings zunächst der Ausbau der Forschungsaktivitäten und -infrastrukturen zu KI, die Verwertung von KI an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Industrie und die Befassung mit den gesellschaftlichen und ethischen Implikationen von KI im Vordergrund.

- **Phase 2 seit ca. 2020/21:** Diese zweite Phase ist durch eine Verbreiterung der Reichweite der KI-Strategien und des für deren Umsetzung verwendeten Instrumentariums gekennzeichnet, durch die gezielt die verschiedenen Elemente des erweiterten KI-Stack angesprochen werden sollten. Es wurde dabei ein stärker systemischer Zugang zur Verankerung von KI verfolgt, z.B. auf der Grundlage von Konzepten wie Innovationsökosystemen oder regionalen Clustern. Deren Entwicklung wurde flankiert durch ein ebenfalls breiteres Spektrum an F&I- und industrielpolitischen Instrumenten und die Herausbildung von, bzw. bewusste Fokussierung auf, Schwerpunkte in ausgewählten industriellen Anwendungsfeldern wie Industrie 4.0 oder öffentlichen Dienstleistungsbereichen wie Gesundheit, Mobilität und öffentliche Verwaltung. Querschnittsthemen wie Qualifizierung und die Entwicklung junger Talente ergänzten das Politikspektrum. Auch rückten regulative Maßnahmen, die explizit auf KI abzielen, in den Fokus (innerhalb Europas meist angestoßen durch die EU-Ebene).
- **Phase 3 ab ca. 2023:** Mit dem Aufkommen von in der Breite einsetzbarer Large Language Models (LLM) hat KI seit 2022/23 enorm an Aufmerksamkeit gewonnen. Das exponentielle Wachstum beim Einsatz dieser Modelle, die massiven Investitionen in Forschung, Infrastrukturen und alle anderen Komponenten des KI-Stacks, haben seither zu einem Wettlauf zwischen den großen Wirtschaftsblöcken USA, China und – mit Abstand – Europa geführt. Es ist daher wenig erstaunlich, dass in den vergangenen beiden Jahren die Frage der Entwicklung, des Zugangs und des Einsatzes von LLMs eine wichtige Rolle in den jüngeren Strategie-Updates gespielt hat. Die nationalen KI-Strategien werden seither zunehmend ausdifferenziert und zielen insbesondere in den EU-Mitgliedsstaaten und Großbritannien darauf ab, den Abstand zu den USA und China zu verringern. Dabei weisen die Strategien der einzelnen Länder deutliche Unterschiede auf, weil sie sich in der Regel auf bestimmte Aspekte des KI-Stacks konzentrieren. Hinzu kommt innerhalb der EU ein wachsender Stellenwert der EU-Kommission als politischer Treiber der KI-Entwicklung und Anwendung, insbesondere bei Forschungsförderung und Infrastrukturinvestitionen.

Zugleich muss betont werden, dass nicht in allen Ländern explizit abgrenzbare Strategiephasen benannt werden können, die auch mit entsprechenden Strategiedokumenten unterlegbar sind (wie z.B. in Frankreich). In manchen Fällen sind die zweite und dritte Phase eher Konkretisierungen und zugleich Weiterentwicklungen der ursprünglichen Strategie.

Tabelle 4.2: Phase der KI-Strategien ausgewählter Länder

Land	Phase 1	Phase 2	Phase 3
Deutschland	2018: Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung Die Fördermittel in der GLF wurden über stärker anwendungsorientierte Förderprogramme fortgeschrieben, aber die Vernetzung mit der Industrie und anderen Stakeholdern erst später vorangetrieben	2020: Fortschreibung der ursprünglichen KI-Strategie Aufbau KI-Ökosysteme; Projekte zur Nutzung von KI für mittelständische Unternehmen; Fokus auf Talentförderung	2023: KI-Aktionsplan zur Konkretisierung der ursprünglichen Strategie Fokus auf Generative KI; Ausbau KI Infrastruktur, Rechenkapazitäten und Ökosystemen; Förderung von KI-Anwendungen und Start-Ups u.a. im Gesundheitsbereich, Verkehrswesen und Industrie

Frankreich	2018: Nationale Strategie „AI for Humanity“ Fokus auf KI-Forschung und Entwicklung; Ausbau Forschungsinfrastruktur; KI-Start-ups und - Unternehmen; Ausbildung/Qualifizierung; Ethik/Verantwortung in der KI; Internationale Zusammenarbeit	2022: Weiterentwicklung der Nationalen KI-Strategy im Rahmen von “France 2030” Plan Fokus auf Innovation; KI-Skills in der Breite; Attraktivität für Talente; KMU und Start-up Förderung; Adoption von KI in Unternehmen; Entwicklung regionaler Ökosysteme/ Cluster; vertrauenswürdige KI	2025: Intelligence Artificielle 2030 Fortführung der bisherigen Schwerpunkte, ergänzt durch öffentlichen Sektor als Lead User für KI-Anwendungen; massive Ausweitung der öffentlichen und privaten Investitionen in KI
Finnland	2017: Finland’s Age of Artificial Intelligence Fokus auf die Wettbewerbsfähigkeit, Modernisierung des öffentlichen Sektors und Industrie sowie humanzentrierter KI, Ethik und Datenschutz; Internationale Öffnung des KI-Standorts sowie die Schaffung niederschwelliger Qualifizierungsangebote	2020: Artificial Intelligence Programme 4.0 Rahmensexzung durch die Politik + integrativer Förderstrategie F&I&I Politik, Fokus auf öffentliche Anwendungssektoren und industrielle Ökosystementwicklung, Skills in der Breite, KI-Expertinnen, internationale Zusammenarbeit	2025: update in Vorbereitung
Niederlande	2019: „Strategic Action Plan for Artificial Intelligence“ Fokussiert auf die Nutzung der sozialen und wirtschaftlichen Potenziale von KI und die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen für Forschung, Data, Bildung und Infrastruktur Die staatlicher gesetzten Erstimpulse in der Folge u.a. bei ASML gebündelt und dann in der Folge weitere industrielle Akteure, Stakeholder und Nutzer im Rahmen der AI Coalition mobilisiert Keine explizite regionale KI-Agenda, aber sieben regionale AI Hubs,	2023/24: Folgestrategie „Government-wide Vision on Generative AI“ Fortschreibung der bisherigen Strategie, aber Ergänzung um Generative AI und die damit einhergehenden Fragen zu Risiken, Fairness, Nachhaltigkeit, Partizipation und rasche Regulierung.	2025: Konsolidierung der KI-Strategie und - Governance Konsolidierung der niederländischen KI-Strategie durch ein Verschmelzen der AI Coalition und AiNed (dem größten Förder- und Forschungsprogramm zu AI in den Niederlanden) zur „AI Coalition for the Netherlands“ (AIC4NL) mit eigener Strategischen Agenda ²¹

²¹ https://aic4nl.nl/wp-content/uploads/2024/12/AIC4NL-Agenda-2025-2027_def.pdf

	eingebunden in die AI Coalition		
Österreich	(2018: Vision 2018) Entwicklungsstand, Chancen und Herausforderungen, sowie Handlungsfelder und -empfehlungen für Aktivitäten auf Bundesebene für KI (Beschränkung vorrangig auf Wettbewerbsfähigkeit, Automatisierung, Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit)	2021: Strategie 2021 als eigentlicher Start Fokus auf Anwendungen im öffentlichen Sektor; Verbindung von KI und „grüner“ Industrie; derzeit zu viele Prioritäten	2024: Aktionsplan 2024 zur Umsetzung der Strategie 2021 Fokus auf generative KI und nach wie vor auf die öffentliche Verwaltung; Klimaneutralität und Nachhaltigkeit als Anwendungsfelder von KI; Kritik des Rechnungshofs an fehlenden Zuständigkeiten und unklaren Kompetenzen
Großbritannien	2018: AI Sector Deal Ziel auf globale Führerschaft in wichtigen KI-Bereichen ab. Betonung der engen Zusammenarbeit mit der Industrie	2021: National AI Strategy Breite Abdeckung fast aller Aspekte des KI-Stack „Light Touch“ Regulierung mit gut ausgebauten Kapazitäten in den Regulierungsbehörden	2025: National AI Action Plan KI-Adoption und Transfer in öffentlichen Sektoren, (sanfte) Regulierungen sowie Rechen- und Dateninfrastruktur
USA	2016: National AI R&D Strategic Plan (frühere Phase schon beginnend mit den 1960er Jahren durch militärische Forschungsförderung digitaler Technologien) Fokus auf generative und verantwortungsvolle KI; Ziele der strategischen Souveränität werden mit Ansätzen zu internationaler Kooperation verbunden; noch keine KI-Industriepolitik	Kontinuierliche Weiterentwicklung US-amerikanischer KI-Industriepolitik u.a. durch Chips and Science Act 2022, sowohl Förderung von Investitionen und Ansiedlungen als auch Protektionismus gegenüber China	2025: AI Action Plan Mobilisierung öffentlicher und privater Mittel für massive Steigerung der Rechen- und Datenkapazitäten, Abschaffung bremsender Regulierungen, Eliminierung von Referenzen zu Desinformation, „diversity equity“ oder den Klimawandel, rein privatwirtschaftliche Orientierung, Ziel „globaler Dominanz“ mittels KI
China	2017: New Generation AI Development Plan Fokussiert auf die Anwendung von KI in traditionellen Industrien; Bilden von regionalen Clustern; Bildung und Talenteförderung	Ausweitung ursprünglicher Strategie durch eine Vielzahl an Planungsdokumenten im Zeitraum (2022-2024) Einbeziehung u.a. verstärkt von LLMs; foundational models; KI-Infrastruktur und Open Source	Kontinuierliche Anpassung und Weiterentwicklung der Strategie
Indien	2018: National Strategy for Artificial Intelligence Breit angelegte Strategie mit wenigen gezielten	2022: Verstärkung gezielter Maßnahmen der nationalen KI-Strategie	Seit 2024 laufende IndiaAI Mission als Hauptinstrument der Umsetzung der NSAI

	Politikmaßnahmen, Fokus auf soziale Innovationen, öffentlich-private Partnerschaften und Kapazitätsaufbau im Bereich Gesundheit, Landwirtschaft, Bildung, Smart Cities und Mobilität; vorrangig Anwendung für größten gesellschaftlichen Nutzen und soziale Herausforderungen	Intensivierung der bis dahin wenig aktiven KI-Politik in allen genannten Bereichen der nationalen KI-Strategie (2018).	Zentrale privatwirtschaftliche Akteure im Technologiesektor; Fokus auf den Aufbau von Rechenkapazität, Innovationszentren, Datensatzplattformen, Anwendungsentwicklung, FutureSkills, Start-up-Finanzierung sowie Safe & Trusted AI
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

2.2 Anspruch und Ziele nationaler KI-Strategien

Im Hinblick auf den Anspruch und die strategischen Ziele, die mit den nationalen KI-Strategien verfolgt werden, lassen sich aus den Fallstudien heraus vier Grundtypen unterscheiden, wobei im Einzelfall auch mehrere dieser Ziele kombiniert werden.

- Es gibt einige (wenige) Länder, die man als „**KI Technologieführer in der Breite**“ bezeichnen kann, sowohl im Hinblick auf ihre tatsächliche Stellung als auch im Hinblick auf ihren Anspruch, an der Spitze der Entwicklung und Anwendung von KI zu stehen. Dieser Anspruch gilt zweifelsfrei sowohl im Falle der USA mit dem explizit formulierten Anspruch der „globalen KI-Dominanz“ als auch für China. Aber auch Großbritannien formuliert den Anspruch zumindest in einem breiten Spektrum von Elementen des KI-Stack zu den weltweit führenden Nationen zu zählen.
- Mehrere europäische Länder streben zumindest eine „**selektive KI-Führerschaft**“ in spezifischen Teilbereichen der durch den KI-Stack abgebildeten Wertschöpfungskette an. Im Falle der Niederlande bezieht sich diese beispielsweise auf die von ASML entwickelten lithographischen Technologien zur Herstellung von Mikrochips. Deutschland spielt nach wie vor eine starke Rolle im Bereich der grundlegenden KI-Forschung, z.B. im Bereich der hybriden KI, die als eine der Optionen für die nächste KI-Generation angesehen wird.
- Unter die Kategorie der „**führenden KI-Anwender**“ lassen sich die Ambitionen vieler europäischer Staaten fassen. Dies spiegelt sich u.a. darin wider, dass neben der Anwendung von KI in industriellen Stärkefeldern und Schlüsselbranchen (z.B. Industrie 4.0) auch öffentliche Dienstleistungsbereiche (z.B. Gesundheit, Mobilität, Energieversorgung), staatliche Aufgaben (Verteidigung, öffentliche Verwaltung) und die Anpassung von KI-Technologien auf nationale Spezifika (z.B. native LLMs) im Vordergrund stehen. Alle untersuchten europäischen Länder nennen Führerschaft in verschiedenen KI-Anwendungsbereichen als Elemente ihrer Strategien.
- Andere Länder wiederum können als „**digital generalists und late mover**“ angesehen werden, weil sie die Entwicklung und die Nutzung von KI zwar durchaus als wichtige Teile ihrer breiteren Digitalisierungsstrategien ansehen, aber erst sehr spät spezielle auf KI ausgerichtete Strategien formuliert und umgesetzt haben. Indien, das erst seit kurzem eine eigenständige und aktive KI-Politik verfolgt, kann hierfür als Beispiel dienen. Jedoch folgt auch Schweden diesem Entwicklungspfad, indem es die Unterstützung von KI primär im Rahmen seiner breiter gefassten Digitalisierungsstrategien und Förderinstrumente verfolgt, bzw. nur für ausgewählte Bereiche, bspw. die militärischen Anwendungen von KI, dezidierte Initiativen verfolgt und umgesetzt (Box 4.1). Hierzu passt auch der schwedische Zugang zur KI-Regulierung, die bevorzugt in sektorale Regulierungspolitiken integriert und von sektoralen Regulierungsbehörden überwacht wird.

Box 4.1: Forschungs- und Innovationspolitik im Bereich KI für Verteidigung und Sicherheit – das Beispiel Schwedens

Strategischer Rahmen. Schwedens Ansatz zur KI im Bereich Verteidigung und Sicherheit ist in seiner *Strategischen Ausrichtung für Verteidigungsinnovation* (2024) und der Strategie „*Schweden in einer digitalen Welt*“ (2024) verankert. Beide Dokumente betonen die doppelte Notwendigkeit, die nationale Widerstandsfähigkeit und die operativen Fähigkeiten zu stärken und gleichzeitig die Integration in die Rahmenwerke der EU und der NATO voranzutreiben. KI wird sowohl als Quelle strategischer Vorteile als auch als Schwachstelle betrachtet, wodurch Forschung und Innovation zu einem zentralen Bestandteil des schwedischen Modells der „Gesamtverteidigung“ werden.

Politische Ziele

1. **Operativer Vorteil durch KI** – Beschleunigung des Übergangs von der Forschung zu einsetzbaren Fähigkeiten (Entscheidungsunterstützung, ISR, Autonomie, Cyberabwehr).
2. **Zivil-militärische Synergien** – systematische Nutzung ziviler Forschung und Industrie für Verteidigungsanwendungen.
3. **Cyber-Resilienz** – Entwicklung von KI für eine robuste Verteidigung gegen Cyberangriffe im Einklang mit den Zielen der digitalen Außen- und Sicherheitspolitik.
4. **Abstimmung mit den Verbündeten und der EU** – Gewährleistung von Interoperabilität, Einhaltung von Standards und gemeinsamer Entwicklung über NATO- und EU-Programme.
5. **Verantwortungsvolle, robuste KI** – Einbettung von Sicherheit, Zuverlässigkeit und Vertrauenswürdigkeit in die KI-Forschung und -Entwicklung von Anfang an.

Wichtige Akteure und Institutionen

- **Regierung und Verteidigungsbehörden:** Verteidigungsministerium (strategische Prioritäten), Schwedische Streitkräfte (Fähigkeitsbedarf), FMV – Verteidigungsmaterialverwaltung (Beschaffungs- und Innovationsprogramme).
- **Forschungsinfrastruktur:** FOI – Verteidigungsforschungsagentur (Robustheit der KI, Entscheidungsunterstützung), RISE – Forschungsinstitute Schwedens (Forschung, Entwicklung und Innovation im Bereich Cybersicherheit), Universitäten und das **Wallenberg AI, Autonomous Systems and Software Program (WASP)**, Schwedens größte KI-Forschungsinitiative (Doktoranden, Arenen, Verbindungen zur Industrie).
- **Industrie:** Saab und andere Verteidigungszulieferer integrieren KI in operative Plattformen und bieten damit Ankerkapazitäten für Innovationen mit doppeltem Verwendungszweck.

Innovationsinstrumente

- **Aufgabenorientierte Strategien** (Regierungsvorgaben und Prioritäten des Verteidigungsministeriums).
- **Herausforderungsorientierte Beschaffung** (technologische Herausforderungen der FMV, militärisches Innovationsprogramm).
- **Langfristige Forschungsinvestitionen** (WASP und Kooperationen zwischen Hochschulen und Industrie).
- **Alliierte/EU-Kanäle** für Kofinanzierung und Interoperabilität.
- **Test- und Bewertungsinitiativen** zu Robustheit, Adversarial Machine Learning und Cyber-Resilienz.

Komparative Vorteile. Schweden profitiert von einer digital ausgereiften Gesellschaft, einer starken Tradition im Ingenieurwesen und in der Verteidigung sowie einer nationalen KI-Forschungsinfrastruktur

(WASP). Diese Faktoren schaffen einen „fruchtbaren Boden“ für KI im Verteidigungsbereich – vorausgesetzt, die Politik behält klare Prioritäten und nachhaltige Investitionen bei.

Einschränkungen. Zu den wichtigsten Risiken zählen die geringe Marktgröße und Beschränkungen beim Datenaustausch, die begrenzte Einbindung von KI-Talenten in Verteidigungsprojekte und die Notwendigkeit einer stärkeren Test- und Evaluierungsinfrastruktur zur Zertifizierung vertrauenswürdiger KI-Systeme.

Bewertung: Die schwedische KI-Politik im Verteidigungsbereich mobilisiert zivile und militärische Forschungsressourcen und proaktive öffentliche Beschaffungsmaßnahmen, um kurzfristig einsatzfähige KI bereitzustellen und gleichzeitig langfristige Innovationskapazitäten im Einklang mit den Sicherheits- und Verteidigungsrahmen der EU und der NATO zu fördern.

2.3 Strategische Ansatzpunkte/Zugang

Neben den strategischen Ambitionen gilt es auch die grundlegenden Philosophien oder strategischen Ansatzpunkte zu unterscheiden, auf deren Basis die verschiedenen Länder ihre jeweiligen KI-bezogenen Ziele zu erreichen versuchen. Auch hier gilt, dass diese nicht in Reinkultur verfolgt, sondern in der Regel kombiniert werden, wenn auch in vielen Fällen jeweils mit klaren Schwerpunkten.

- Die USA gelten zweifelsohne als Musterbeispiel für eine **privatwirtschaftlich getriebene KI-Entwicklung** bei der Entwicklung neuer KI-Technologien, die allerdings durch ausgewählte staatliche Maßnahmen flankiert wird. Mit dem jüngsten Regierungswechsel ist dieser Ansatz eher noch verstärkt worden und staatliche Investitionen dienen dementsprechend primär dem Entfesseln privatwirtschaftlichen Investitionen und Kräfte, während regulative Einschränkungen, die noch unter der Vorgänger-Regierung verfolgt wurden, ausgelaufen sind. Interessanterweise kann man auch China diesem Modell zuordnen, auch wenn sicherlich ein höheres Maß an staatlicher Kontrolle über die Entwicklung des KI-Sektors ausgeübt wird. Dennoch hat man in China bewusst versucht privaten Unternehmen maximalen Spielraum zu gewähren, um die Entwicklung und den Einsatz von KI-Technologien so rasch wie möglich voranzutreiben. Punktuell gilt dies auch in den Niederlanden, wo mit ASML zumindest ein für die globale KI-Wertschöpfungskette zentrales Unternehmen tätig ist, das als Kern eines Innovationsökosystems besondere Unterstützung erfährt.
- Der private Sektor ist allerdings nicht nur für die Entwicklung von KI-Technologien von großer Bedeutung, sondern auch für **industrielle Anwendungen von KI**. Von der F&E über die Produktion bis hin zur Logistik finden KI-Lösungen zunehmende Einsatz und werden in vielen Ländern staatlicherseits unterstützt, insbesondere in KMU. Dieser Fokus auf industrielle Anwendungen von KI ist sehr prominent in Deutschland, Österreich, China und Indien zu beobachten, aber auch in den anderen europäischen Ländern wie Finnland, Frankreich und Großbritannien. Allerdings unterscheiden sich die Länder im Hinblick auf ihre Unterstützungskonzepte:
 - In Deutschland, Österreich und auch Großbritannien folgt man dabei eher einen **traditionellen und forschungsgetriebenen Transferansatz**;
 - In Finnland, den Niederlanden und Frankreich wird versucht, dezentral und systemorientiert über **Cluster- und Innovationsökosystemkonzepte** das Zusammenspiel von Forschung, Innovation, Kompetenzentwicklung und Anwendung zu verzahnen und zu beschleunigen. Insbesondere in die Niederlande und Finnland streben dabei an die gesellschaftlichen Stakeholder in die oftmals sektoral und regional ausgerichteten Koordinationsprozesse zu integrieren (z.B. im Rahmen der Top Sektoren in den Niederlanden).
 - In Indien hingegen lässt sich mit der Etablierung der IndiaAI Mission im Jahr 2024 der Ansatz beobachten, die Unterstützungsmaßnahmen für KI zentral und koordiniert über eine **Missionsagentur** zu steuern.
- Zugleich werden in vielen Ländern auch **öffentliche Dienstleistungsbereiche als Leitmärkte für KI-Anwendungen** entwickelt, z.B. in Bereichen wie der Energieversorgung, für Mobilitätslösungen und

insbesondere in der Verwaltung und im Gesundheitswesen. Großbritannien und Frankreich verfolgen diesen Zugang sehr explizit in ihren aktuellen Strategien, aber er spielt auch in China eine wichtige Rolle, während in den USA, mit Ausnahme des militärischen Bereichs, die Anwendung von KI durch die öffentliche Hand weniger gezielt verfolgt wird.

3 F&I- UND INDUSTRIEPOLITISCHE SOWIE REGULATIVE INSTRUMENTE

3.1 Ansatzpunkte und Instrumente der F&I- und Industriepolitik

Der in Kap. 1 eingeführten Konzepte des erweiterten KI-Stack und der Innovationsökosysteme liefern den Hintergrund für die Betrachtung der verschiedenen Ansatzpunkte der F&I- und Industriepolitik für KI. Vor dem Hintergrund der Fallstudien lässt sich der derzeit gebräuchliche Satz an Interventionsinstrumenten und deren Ansatzpunkten identifizieren.

- **Grundlagenforschung:** Die Finanzierung und Förderung von Grundlagenforschung bildet eine wichtige Säule der Forschungs- und Innovationspolitik zu KI, insbesondere an Universitäten und spezialisierten Forschungseinrichtungen. Hierbei muss allerdings auch berücksichtigt werden, dass insbesondere die großen Tech-Unternehmen auch selbst, zunehmend erhebliche Mittel in die Grundlagenforschung stecken.
- **Investitionen in KI-Infrastrukturen:** In diesem Bereich wird in Europa ein erheblicher Nachholbedarf gesehen, weshalb nationale und europäische Mittel im Rahmen der AI Factories und Gigafactories mobilisiert werden, um die bestehenden Rechenkapazitäten in den Mitgliedsstaaten der EU deutlich zu erhöhen. Neben den großen Rechenzentren zum Trainieren generischer Modelle werden aber auch dezentrale Rechenzentren unterstützt, in denen für bestimmte Felder und Themenbereiche spezialisierte Modelle trainiert werden können.
- **Erleichterung des Datenzugangs, -austauschs und ihrer Nutzung:** Die Verfügbarkeit und der Zugriff auf geeignete Daten sind einer der zentralen Faktoren für den Einsatz von KI. Sowohl im öffentlichen Bereich als auch im privaten Bereich bestehen hier noch erhebliche Barrieren beim Datenzugang und -austausch, die durch die selektive Öffnung von Datensätzen, aber auch die Etablierung von (industriellen) Standards erleichtert werden sollen. Hierfür sind teilweise regulative Erleichterungen, aber auch organisatorische Maßnahmen (z.B. beim Datenaustausch zwischen verschiedenen Bereichen der öffentlichen Verwaltung) erforderlich. In Großbritannien werden beispielsweise auch Start-Ups gezielt dabei unterstützt Zugang zu Daten für ihre KI-Modelle zu erhalten, bzw. es werden Datenplattformen geschaffen, um einen leichteren Zugriff zu ermöglichen.
- **(Aus-)Bildung und Talentförderung:** Um den Mangel an KI-Experten, aber auch dem Fehlen von KI-Expertise in der Breite entgegenzuwirken setzen die untersuchten Länder eine Vielzahl von Instrumentarien ein, die von der Schaffung neuer Ausbildungs- und Studiengänge über die Förderung und Unterstützung von Talenten bis hin zum proaktiven Recruiting von Top KI-Experten im Ausland reicht. Ergänzt werden diese Maßnahmen durch attraktive Rahmenbedingungen, um die Fachkräfte im Land zu halten.
- **Anwendungsorientierte Forschungs- und Innovationsförderung:** Die Möglichkeiten der Forschungs- und Innovationsförderung sind sehr vielfältig und decken den gesamten KI-Stack von den Chips bis zu verschiedenen Anwendungsfeldern ab. Die untersuchten Länder verwenden dafür einerseits KI-spezifische Programme und integrieren andererseits KI-Elemente in bestehende horizontale und thematisch-sektorale ausgerichtete Förderprogramme. Die Neigung zu dem einen oder dem anderen Typus hängt dabei von der länderspezifischen Förderphilosophie ab. Schweden und Österreich tendieren beispielsweise zur Integration von KI in bestehende Programme, während Großbritannien stärker zur Einrichtung von gezielten KI-Programmen neigt.

- **Transfer und Ausbau von Innovationsökosystemen:** Um die Einbettung von KI in bestehende Cluster und Innovationsökosystemen zu ermöglichen (z.B. in etablierten Industrien oder im Kontext von Industrie 4.0), aber auch um gezielt die Entstehung neuer, auf KI-Lösungen ausgerichtete Innovationsökosysteme und KI-Start-up Cluster zu ermöglichen, werden räumlich fokussierte Förderungen und weiche Maßnahmen eingesetzt, um Vernetzung, Kooperation zwischen Forschung und Praxis sowie Wissensaustausch zu unterstützen. Diese Initiativen sind häufig regional verankert, profitieren aber – wie beispielsweise in Frankreich – von nationalen Förderlinien.
- **Start-up Förderungen:** Die Unterstützung von Start-ups spielt im schnelllebigen KI-Bereich eine große Rolle und einige der untersuchten Länder wie Frankreich, Großbritannien und China verweisen gerne auf ihre Erfolge beim Aufbau und Wachstum von KI-Start-ups. Neben Förderungen spielen für Start-ups insbesondere die Unterstützung des Zugangs zu Venture Capital, aber – siehe Großbritannien – auch der erleichterte Zugang zu Daten eine wichtige Rolle. China betreibt explizit den Aufbau von Start-up Ökosystemen, in denen sowohl der Zugang zu neuesten Erkenntnissen aus der Forschung als auch geeignete Rahmenbedingungen angeboten werden.
- **KMUs und die Diffusion von KI in die Breite:** Die positiven wirtschaftlichen Effekte von industrieller KI hängen maßgeblich von ihrer Durchdringung der gesamten Wertschöpfungskette bis hin zu den kleinen und mittelständischen Unternehmen ab. Diese haben jedoch besondere Herausforderungen bei der Einführung von KI zu meistern. Nicht zuletzt die AI Factories, aber auch gezielte Maßnahmen in den untersuchten Ländern, dienen dazu diese Hürde zu adressieren und KI-Kompetenzen in KMU zu etablieren.
- **Skalierung und Beschleunigung von KI-Lösungen:** Zu den Besonderheiten von KI zählt die Notwendigkeit der raschen Entwicklung und Skalierung von KI-Lösungen. Hier wird – beispielsweise im Rahmen des britischen „Scan à Pilot à Scale“-Ansatzes – versucht von öffentlicher Seite die Herausbildung von neuen KI-Lösungen durch das Monitoring neuer Ideen („Scan“) und die Identifikation und Selektion von interessanten Pilotvorhaben („Pilot“), diese zur Reife zu bringen, so dass in der Folge private Investoren in diese Vorhaben einsteigen und das weitere Wachstum finanzieren („Scale“). Ähnliche kombinierte Förder- und Finanzierungsmodelle werden auch in anderen Ländern entwickelt und eingesetzt.
- **Entwicklung öffentlicher Leitmärkte:** Mehrere, insbesondere europäische Länder, aber auch China haben erkannt, dass öffentliche Dienstleistungen ein hohes Potenzial für den Einsatz von KI besitzen. Dies betrifft nicht nur den Sicherheits- und militärischen und Bereich, sondern insbesondere auch das Gesundheitswesen, die öffentliche Verwaltung, das Bildungssystem und verschiedene weitere öffentliche Dienstleistungen wie Energieversorgung und Mobilitätsdienstleistungen. Öffentliche Beschaffung, speziell auch in ihrer innovationsorientierten Variante, spielt hierbei eine große Rolle, ebenso wie die Realisierung von Pilotanwendung, die in der Folge in der Breite ausgerollt werden sollen. Frankreich, Großbritannien, die Niederlande und Österreich, mehrere skandinavische Länder und auch China verweisen daher explizit auf die besondere Rolle des öffentlichen Sektors bei der Durchdringung unserer Gesellschaft mit sicheren, verantwortungsvollen und zuverlässigen KI-Systemen. Um diese Anforderungen zu gewährleisten, wird die Einführung von KI in der Regel durch entsprechenden Kompetenzaufbau und orientierenden Richtlinien – siehe beispielsweise den österreichischen Leitfaden Digitale Verwaltung und Ethik²² – für den Einsatz von KI flankiert.

²² <https://oeffentlicherdienst.gv.at/wp-content/uploads/2023/11/Leitfaden-Digitale-Verwaltung-Ethik.pdf>

Box 4.2: Anwendungsfeld KI in der öffentlichen Verwaltung: das Beispiel von Estlands „Bürokratt“

Kleinere Volkswirtschaften haben stets den Nachteil, keine vollständigen Wertschöpfungsketten abdecken zu können, sondern sich auf spezifische Teile einer Wertschöpfungskette fokussieren zu müssen, um sich dort im Wettbewerb und in Kooperation mit anderen Ländern innovativ aufzustellen. Auch Estland verfolgt eine solche KI-Industriepolitik. Eine weitere wichtige Triebfeder der estnischen Industriepolitik ist in der Aufmerksamkeit für seine digitale Resilienz im Falle eines russischen Angriffs zu sehen. Falls das estnische Territorium angegriffen werden soll, können der Staat mit seinen wesentlichen Funktionen aufgrund seiner vollständig digitalisierten Verwaltung und mit Hilfe einer Data Embassy in Luxemburg weiter existieren. Dabei fungieren die Speicher- und Rechenkapazitäten der Data Embassy wie eine Botschaft als estnisches Territorium im Ausland (Hardy 2024). Diese strategisch motivierte Spezialisierung von Estland bei der Nutzung von KI macht es zu einem innovativen und relevanten Akteur für die globale Wirtschaft und Industriepolitik (Robinson et al. 2021).

Estlands KI-Strategie fokussiert auf bestehende Stärken

Estland hat 2019 eine nationale KI-Strategie verabschiedet, die auf eine umfassende Nutzung von KI im öffentlichen und privaten Sektor des Landes zielt. Sie verfolgt drei zentrale Stoßrichtungen:²³

- Förderung von KI-Anwendungen in Verwaltung und den spezifischen Stärkefeldern der estnischen Wirtschaft
- Aufbau von Human Resources durch Bildung, Weiterbildung und Forschung mit Fokus auf den estnischen Kontext
- Schaffung geeigneter rechtlicher und infrastruktureller Rahmenbedingungen, wobei Estland nicht auf ein eigenes „KI-Gesetz“ setzte, sondern auf die Anpassung bestehender Rechtsrahmen, ergänzt durch Leitlinien und technische Standards²⁴

Estland setzt auf eine direkte Forschungsförderung, den Ausbau von Kompetenzen (z. B. Master- und PhD-Programme in Data Science und KI), die Stärkung von Innovationsinstrumenten (z. B. Innovations- und Entwicklungsgutscheine, Pilotprojekte, Sandboxes) sowie die Anbindung von KMU an europäische Netzwerke wie die Digital Innovation Hubs. Zudem werden offene „KI-Kernkomponenten“ (z. B. Sprach- und Übersetzungssysteme, Chatbots, Anonymisierungstools) bereitgestellt, die Unternehmen und Verwaltung gleichermaßen nutzen können. Damit positioniert sich Estland als Testfeld für marktnahe KI-Lösungen und stärkt seine Wettbewerbsfähigkeit.²⁵

Vollständig digitale Verwaltung - Das Beispiel Bürokratt

Bürokratt ist ein zentrales KI-Programm der estnischen Regierung, das darauf abzielt, den Zugang zu staatlichen Leistungen grundlegend zu transformieren. Ausgangspunkt war ein einfacher Chatbot, der Bürgerfragen beantwortet, doch das Programm entwickelt sich weiter zu einem virtuellen Assistenten, der staatliche Dienstleistungen wie die Beantragung von Ausweisen direkt ausführen kann. Damit soll die Vision eines digitalen Staates umgesetzt werden, in dem Bürgerinnen und Bürger über KI-gestützte Kanäle wie Sprach- und Textschnittstellen auf Verwaltungsservices zugreifen. Dabei legte Estland großen Wert auf partizipative Planungsprozesse, bei denen Nutzer und Stakeholder in die Designphase einbezogen wurden. Ferner werden behördliche Entscheidungen nicht rein maschinell erstellt – Bürokratt folgt den Prinzipien einer vertrauenswürdigen, menschenzentrierten KI. Ergänzt wurde dies durch den strategischen Einsatz von Open-Source-Komponenten und durch gezielte staatliche Beschaffungsprozesse, die Flexibilität und Interoperabilität der zugehörigen Hardware und Software sicherstellen sollen und zugleich Unabhängigkeit und Souveränität schaffen (Dreyling et al. 2024a).

²³ <https://knowledge4policy.ec.europa.eu/sites/default/files/estonia-ai-strategy-report.pdf> (abgerufen am 12.09.2025)

²⁴ https://ai-watch.ec.europa.eu/countries/estonia/estonia-ai-strategy-report_en (abgerufen am 12.09.2025)

²⁵ <https://knowledge4policy.ec.europa.eu/sites/default/files/estonia-ai-strategy-report.pdf> (abgerufen am 12.09.2025)

Für Estland ergeben sich aus Bürokratt mehrere Vorteile: Die Verwaltung wird effizienter, nutzerzentrierter und zugänglicher, während gleichzeitig eine Plattform entsteht, die Innovationen von Unternehmen aufgreifen und in den öffentlichen Sektor integrieren kann. Dies stärkt nicht nur die Qualität staatlicher Leistungen, sondern auch Estlands Wettbewerbsfähigkeit als Standort für digitale Innovation. Für andere europäische Staaten zeigt das Beispiel, dass erfolgreiche digitale Transformation eine enge Verzahnung von Vision, Planung und Nutzerorientierung erfordert. Zentral ist zudem, technologische Offenheit (z. B. Open Source) zu fördern, um Abhängigkeiten zu vermeiden. Was sich hingegen schwer übertragen lässt, ist Estlands spezifischer Kontext: die kleine, agile Verwaltung, die bereits umfassend digitalisiert ist. Größere oder föderal strukturierte Staaten stoßen hier auf deutlich komplexere Koordinations- und Implementationsprobleme (Dreyling et al. 2024a).

Estland als Modell einer KI-Industriepolitik

Zwar ist Estland Vorreiter beim Aufbau notwendiger KI-Infrastrukturen und deren Anwendung in Politik, Verwaltung und Wirtschaft. Dennoch muss beachtet werden, dass estnische Innovationen von anderen europäischen Staaten nicht einfach übernommen werden können, denn gerade im Falle spezifischer Anwendungen oder der digitalen Verwaltung handelt es sich um landesspezifische Strukturen mit großen Kontextabhängigkeiten (Dreyling 2024b). Dennoch ist der strategisch geplante Ansatz der estnischen KI-Strategie und die zugehörigen innovations- und industrielpolitischen Instrumente auch für die Umsetzung in Deutschland oder Europa interessant.

3.2 Regulierung

Internationale Ansätze

Während alle EU-Mitgliedsstaaten gleichermaßen von den europäischen KI-Regulierungen betroffen sind, bieten die Nicht-EU Länderbeispiele Anschauungsmaterial wie die regulativen Fragen im Zusammenhang mit KI anders gelöst werden können. Insbesondere das britische „light touch“ Modell der KI-Regulierung unterscheidet sich in zweierlei Hinsicht deutlich von der EU: Zum einen werden weniger detaillierte Regulierungen vorgegeben, was mehr Spielräume für Verhandlungen mit dem Regulator eröffnet. Zum anderen, und komplementär zu vorigen Punkt, sind die Regulierungsbehörden in punkto Kapazitäten und Kompetenzen deutlich besser ausgestattet als ihre kontinentaleuropäischen Pendants und somit auch in der Lage die Entwickler und Umsetzer von KI-Lösungen entsprechend zu beraten und zu unterstützen. Hinzu kommen bereits heute mehrere Regulatory Sandboxes im Zusammenhang mit KI, mit deren Hilfe bestehende Regulierungen weiterentwickelt und verbessert werden sollen.

Die Einblicke in die anderen nicht-europäischen Länderbeispiele sind hingegen weniger transparent. China hat zwar einen strikten regulatorischen Rahmen für KI, dessen Implementierung auf regionaler und sektoraler Ebene scheint jedoch relativ flexibel gehandhabt zu werden. In Indien steckt die Regulierung noch in den Kinderschuhen, und die Ansätze der Biden-Administration in den USA wurden 2025 durch die neue Regierung weitgehend außer Kraft gesetzt.

Umsetzung der EU-Regulierungen in den Mitgliedsstaaten

Trotz eines gemeinsamen europäischen Rahmens bestehen erhebliche Unterschiede zwischen den Mitgliedsstaaten bei der derzeit noch laufenden Umsetzung der europäischen KI-Regulierungen und insbesondere des AI Act. Diese hängen nicht zuletzt auch von bestehenden regulativen Strukturen und Traditionen ab. Die Verantwortlichkeiten für die verschiedenen KI-bezogenen Regulierungsaufgaben (Market Surveillance Authority, Notifying Authority, National Public Authority) werden dementsprechend sehr unterschiedlich gehandhabt.

Grundsätzlich lassen sich zunächst drei unterschiedliche Herangehensweise an die Implementierung der KI-Regulierungen beobachten:

- *Passiv: Einige Mitgliedsstaaten vertreten eine eher abwartende Haltung und warten auf erste Erfahrungen anderer Länder.*

- *Proaktiv und niederschwellig:* Am Beispiel der Niederlande lässt sich gut beobachten, dass die EU-Regulierungen auch rasch umgesetzt werden können, um den Akteuren verlässliche Rahmenbedingungen zu setzen, zugleich aber die Umsetzung flexibel zu halten, d.h. keine zu detaillierten Vorgaben zu machen. Insofern ähnelt der niederländische Zugang dem britischen, aber unter den Bedingungen des EU-Rechts.
- *Präskriptiv: Einige Länder verfolgen den Ansatz eher klare präskriptive Regeln im Sinne der EU-Regulierungen zu definieren* (z.B. Österreich, Frankreich, Deutschland)

Auch in organisatorisch-institutioneller Hinsicht gibt es klare Unterschiede zwischen den Mitgliedsstaaten, wobei hervorgehoben werden muss, dass die Verantwortlichkeiten in vielen Ländern noch nicht geklärt sind:

- *Zentralisiertes Modell:* Hierbei werden die Verantwortlichkeiten für KI-Regulierung so weit wie möglich in einer Agentur gebündelt; ein Modell, dass beispielsweise in Spanien umgesetzt wird. Grundsätzlich verfolgt auch Deutschland eine zentrale Verankerung der Verantwortlichkeiten für die Koordination der Umsetzung der KI-Regulierungen und ihre Aufsicht, die aber im föderalen System Deutschlands voraussichtlich mit den entsprechenden Länderbehörden geteilt werden wird.
- *Dezentralisiertes Modell: Das Modell verteilter Verantwortlichkeit zeichnet sich sowohl in Finnland als auch in Österreich ab, wobei derzeit noch Unklarheit – und damit Unsicherheit – über die genaue Verteilung und Einbindung der verschiedenen in Frage kommenden Organisationen besteht.* Gerade in Österreich scheint es einen Wettbewerb zwischen den Organisationen um Verantwortlichkeiten für KI-Regulierung zu geben, die zu einer Zersplitterung und einer hohen Komplexität des Systems führen könnte. Auch in Schweden wird der Ansatz verfolgt, die KI-Regulierung möglichst weitgehend in bestehenden, häufig sektoralen, Regulierungen zu verankern, statt neue und eigenständige KI-Regulierungen einzuführen. Dementsprechend ist die Verantwortung für KI-Regulierung häufig in bestehende Behörden eingebettet.

Flankierend zu den organisatorischen Verantwortlichkeiten für die Implementierung der europäischen KI-Regulierungen und insbesondere des AI Act wurden in einigen Ländern auch Richtlinien für die Nutzung von KI in der Praxis entwickelt. In den Niederlanden wurde beispielsweise unter Mitwirkung der AI Coalition National Guidelines for Trustworthy AI erarbeitet, und der österreichische Leitfaden „Digitale Verwaltung und Ethik. Praxisleitfaden für KI in der Verwaltung“ findet inzwischen weithin Anwendung.

Experimentierräume für KI-Regulierung

Mit dem AI Act wurde außerdem die rechtliche Grundlage für Experimentierräume für KI-Regulierungen („Regulatory Sandboxes“) geschaffen um neue Umsetzungspraktiken zu erproben und so einen institutionellen Lernprozess zu ermöglichen. In der EU war Spanien das erste Land, das bereits 2022 in enger Zusammenarbeit mit der EU Kommission solche Regulatory Sandboxes eingerichtet hat (Box 4.3). Andere nicht-EU Länder in Europa und Übersee arbeiten an ähnlichen Ansätzen (vgl. Kap. 3).

Box 4.3: Regulatory Sandboxes: Spanien

- Seit 2022 setzt Spanien in Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission das erste Pilotprojekt zur Regulatory Sandbox für künstlicher Intelligenz in der EU um.
- Dieses Pilotprogramm – mit einem Gesamtbudget von 4,3 Millionen Euro für drei Jahre – umfasst für 12 ausgewählte Anwendungen, die gemäß der Risikobewertung des KI-Gesetzes in die Kategorie „hohes Risiko“ fallen.
- Explizite Ziele der KI-Sandbox sind die Unterstützung neuer KI-Akteure (insbesondere KMU und Start-ups) bei der Anpassung an das KI-Gesetz, Erleichterungen beim Erfüllen ihrer Verpflichtungen und die Unterstützung bei der Selbstbewertung. Letztlich soll dadurch die Verbreitung bewährter Verfahren und der Transfer von fachspezifischem Know-how ermöglicht werden.
- Implizite Ziele sind darüber hinaus die Identifizierung starker Akteure innerhalb der spanischen Start-up-Szene, um ihnen eines Wettbewerbsvorteils hinsichtlich der Einhaltung künftiger Vorschriften zu verschaffen.

Implikationen

Die nationalen Umsetzungen der relevanten KI-Regulierungen, insbesondere des AI Act, haben eine Reihe wichtiger Implikationen:

Der innereuropäische Wettbewerb zwischen verschiedenen Modellen der KI-Implementierung trägt zur Erprobung unterschiedlicher Praktiken bei, aus denen sich im Laufe der Zeit – so die Hoffnung – besonders vielversprechende Modelle als de facto Standards etablieren könnten. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass diese Praktiken eng in die jeweiligen regulativen Traditionen mit ihren bestehenden Institutionen eingebettet und daher nicht ohne weiteres übertragbar sind.

Die große Vielfalt nationaler Umsetzungsformen trägt zur Fragmentierung des europäischen Regulierungsraums bei. Letztlich sind europaweit tätige Unternehmen mit 27 unterschiedlichen nationalen Regulierungen konfrontiert.

Die Umsetzung des AI Act erfolgt in einigen Ländern rasch, aber in vielen nur zögerlich. Bis heute sind die Verantwortlichkeiten in vielen Ländern noch ungeklärt. Die Folge ist Unsicherheit für viele Entwickler und Nutzer, was zu Verzögerungen bei der weiteren Entwicklung und Umsetzung von KI-Lösungen beiträgt. Häufig warten die potenziell verantwortlichen Regulierungsbehörden noch heute auch klare Orientierung seitens ihrer Regierungen und der EU. Zugleich drängen Behörden und Unternehmen auf die Umsetzung und Verbreitung neuer KI-Lösungen, ohne dass klare Rahmenbedingungen definiert wären.

Zu diesen Problemen bei der konkreten Umsetzung des AI Act tragen auch fehlende Kapazitäten und Kompetenzen auf Seiten des EU AI Office and Service Desk bei, wodurch nicht zuletzt auch das Lernen und die Abstimmung zwischen den Regulierungsbehörden in den Mitgliedsstaaten nicht im erforderlichen Maße stattfinden kann. Auch in den Mitgliedsstaaten ist die Ausstattung mit Ressourcen und qualifiziertem Personal zur Unterstützung und Überwachung der regulativen Umsetzung unterschiedlich gut ausgebaut.

Dieses Problem lässt sich auch durch weniger detaillierte Vorgaben nicht lösen, weil hierfür mehr Beratungskapazitäten seitens der Regulierungsbehörden benötigt würden, um gemeinsam mit KI-Entwicklern und -Anwendern rechtlich tragfähige Lösungen zu entwickeln. Diese Kombination von „light touch regulation“ und gut ausgebauten Regulierungsbehörden lässt sich am Beispiel Großbritannien beobachten.

4 GOVERNANCE: HORIZONTALE, VERTIKALE UND STAKEHOLDER-KOORDINATION

Im Hinblick auf Governance von KI lassen sich drei Aspekte unterscheiden: i) Stakeholder-Einbindung und horizontale Politikkoordination, ii) Abstimmung zwischen nationaler und regionaler Ebene und iii) Abstimmung zwischen europäischer und nationaler Ebene

4.1 Stakeholder Einbindung und horizontale Politikkoordination

Die beiden hier betrachteten Governance-Aspekte werden gemeinsam behandelt, weil sie in einigen Ländern eng miteinander verzahnt sind.

Generell lässt sich festhalten, dass KI eine Querschnittsmaterie ist, die verschiedene Politikbereiche gleichermaßen betrifft. In der Regel gibt es dabei ein Ministerium, das die Federführung innehat. Zugleich gilt es festzuhalten, dass der Grad an Autonomie der Ministerien konstitutionell unterschiedlich stark ausgeprägt ist und sich auch die Kulturen der interministeriellen Zusammenarbeit von Land zu Land unterscheiden.

Zugleich gibt es daneben eine häufig gut entwickelte Selbst-Governance der betroffenen Akteure und Stakeholder über unterschiedliche Arten von Plattformen, die in teils enger Abstimmung mit

den Ministerien die Ausgestaltung der KI-Politik mitbestimmen und in die Verantwortung für die Umsetzung eingebunden sind. Das Zusammenspiel dieser beiden horizontalen Koordinationsmechanismen soll anhand von drei Beispielen illustriert werden.

Das Vereinigte Königreich (UK) zeichnet sich durch ein starkes und klares politisches Mandat des Department for Science, Innovation and Technology (DSIT) im Zusammenwirken mit anderen Ministerien aus. Eine zentrale Rolle spielt dabei das UK Sovereign AI Office mit flexibler Umsetzungskompetenz für Bereiche wie Investment, AI Growth Zones, Sicherheit und Personal. Großbritannien hat zudem eine klarere und einfachere Regulierung als die EU, regulative Kapazitäten wurden gestärkt und es existiert ein gutes Monitoring- und Evaluierungssystem für das Politiklernen.

In den Niederlanden erfolgt die zentrale Koordination über das Innenministerium, in der Regel in Co-Governance mit anderen Ministerien. Der Top-Sector-Ansatz mit der AI Coalition dient der Mobilisierung einer "Koalition der Willigen", die ein Interesse an der Mitgestaltung und Umsetzung gemeinsamer KI-bezogener Strategien und Maßnahmen haben. Es gibt eine starke Ausrichtung auf industrielle Anwendungen (AI 4.0) und KMU, mit einer Sonderrolle von ASML als Scharnier zu internationalen Partnern. Das niederländische Modell der KI-Governance steht dabei in der Tradition eines konsensorientierten Korporatismus, in den neben Industrie, Zivilgesellschaft und Politik auch Akteure aus Forschung und Wissenschaft eingebunden sind.

Finnland koordiniert seine KI-Politik durch das Wirtschaftsministerium mit enger interministerieller Abstimmung. Die Vernetzung mit KI-Akteuren und Stakeholdern erfolgt dabei über Business Finland, das Finnish Centre for AI und die AURORA-Programme. Finnland konzentrierte sich in der ersten Phase auf Wettbewerbsfähigkeit und Modernisierung des öffentlichen Sektors, später auf eine integrierte Förderstrategie für F&I&I Politik. Auch Finnland ist korporativ organisiert und dadurch in der Lage Stakeholdern aus unterschiedlichen Bereichen in konstruktiven Foren zu mobilisieren und eine effektive Abstimmung zwischen Ministerien zu erzielen.

4.2 Abstimmung zwischen nationaler und regionaler Ebene

Die Abstimmung zwischen nationaler und regionaler Ebene spielt insbesondere in den größeren EU-Ländern eine wichtige Rolle, weil KI-Cluster und Innovationsökosysteme häufig auf regionalen Schwerpunkten aufsetzen. Klare Muster lassen sich allerdings aus den wenigen Fallstudien nicht herauslesen.

In Frankreich wird insbesondere der Zugang verfolgt, nationale Programme so zu gestalten, dass die verschiedenen industriellen Schwerpunktregionen diese in unterschiedlicher Kombination nutzen können, um die jeweiligen regionalen Ökosysteme zu stärken.

In den Niederlanden wird hingegen auf die Einrichtung regionaler KI-Infrastrukturen gesetzt („AI Hubs“), um die Basis für KI-Entwickler und -Anwender bereitzustellen. Sie nutzen dabei bestehende industrielle Schwerpunkte in den jeweiligen Regionen. Diese AI Hubs sind wiederum in die niederländische AI Coalition als der zentralen Umsetzungsplattform eingebunden.

Komplizierter ist die Situation in Deutschland, wo aufgrund des stark entwickelten föderalen Systems die Bundesländer eigene Maßnahmen und Initiativen in Bezug auf KI setzen können, was zugleich zur Fragmentierung und Komplexität der deutschen KI-Landschaft beiträgt.

4.3 Verknüpfung des europäischen mit dem nationalen Politikrahmen

Abseits der Umsetzung europäischer Regulierungen auf nationaler Ebene gibt es zahlreiche Berührungs punkte zwischen nationaler und europäischer F&I- und Industriepolitik. Neben den europäischen Rahmenprogrammen für Forschung und Innovation sind hier insbesondere auch weitere Förderprogramme

wie Digital Europe zu nennen, aber auch die im Zuge der COVID-19 Pandemie etablierte Aufbau- und Resilienzfazilität (RRF) und der Next GenerationEU Fund sowie eher koordinative Maßnahmen wie die industriellen Ökosysteme der DG GROW, von denen eines auch im digitalen Bereich angesiedelt und damit auch für KI relevant ist. Von besonderer Bedeutung aufgrund des hohen Fördervolumina sind ist auch das AI Innovation Package (u.a. AI Factories) und das aktuelle Invest AI Programme (u.a. Gigafactories).

Die in dieser Studie betrachteten Mitgliedsstaaten unterscheiden sich z.T. deutlich in der Nutzung dieser europäischen Förderangebote. Einigen Länder wie die Niederlande, Finnland und Frankreich haben diese Angebote sehr bewusst und frühzeitig genutzt. So wurde Mittel aus NextGenerationEU in den Niederlanden sehr bewusst eingesetzt, um beispielsweise den Chip-Hersteller AxeleraAI sowohl mit nationalen als auch mit europäischen Förderungen zu unterstützen. Finnland hat seinen Recovery and Resilience Plan explizit auf die Stärkung von Technologie und Innovation ausgerichtet und damit wichtige Anstöße für die Entwicklung und den Einsatz von KI gegeben. Frankreich versucht seine nationalen KI-Förderungen möglichst gut mit den verschiedenen Förderlinien der Forschungsrahmenprogramms abzustimmen und engagiert sich in den KI-relevanten strategischen Partnerschaften.

Mit den AI Factorios und aktuell mit der Ausschreibung für Gigafactories ist das Interesse an europäischen Förderungen nochmal deutlich angewachsen, was sich in der Anzahl der eingereichten und in Vorbereitung befindlichen Projekte zeigt. Bislang werden diese großen Infrastrukturprojekte jedoch ausschließlich im Wettbewerb zwischen Initiativen aus einzelnen Ländern vergeben; länderübergreifenden AI und Gigafactories stehen noch aus.

5 LITERATUR

- Dreyling, R.; Tammet, T.; Pappel, I. (2024a): Technology Push in AI-Enabled Services: How to Master Technology Integration in Case of Bürokratt. In: SN COMPUT. SCI. 5 (6). DOI: 10.1007/s42979-024-03064-0.
- Dreyling, Ri.; Tammet, T.; Pappel, I.; McBride, K. (2024b): Navigating the AI Maze: Lessons from Estonia's Bürokratt on Public Sector AI Digital Transformation. In: Available at SSRN 4850696.
- Hardy, A. (2024): Digital innovation and shelter theory: exploring Estonia's e-Residency, Data Embassy, and cross-border e-governance initiatives. In: Journal of Baltic Studies 55 (4), S. 793–810. DOI: 10.1080/01629778.2023.2288118.
- OECD (2024): Bericht zu Künstlicher Intelligenz in Deutschland, OECD Publishing, Paris, Juni, <https://doi.org/10.1787/8fd1bd9d-de.Juni>
- Robinson, N.; Hardy, A.; Ertan, A. (2021): Estonia: A curious and cautious approach to artificial intelligence and national security.

Kapitel 5: Implikationen für die europäische und die deutsche KI-Politik

Bernd Beckert, Matthias Weber

1 HERAUSFORDERUNGEN FÜR DIE DEUTSCHE KI-POLITIK – EINE SWOT-ANALYSE

1.1 Einordnung

Aufgabe des qualitativen Teils dieser Studie ist es, zum einen einen systematischen Überblick über KI-Strategien und Politiken anderer Länder und der EU zu geben sowie Impulse für die deutsche und europäische KI-Strategie zu erhalten, welche sich aus den Fallstudien der verschiedenen Länder ergeben.

Da die deutsche KI-Strategie den Ausgangspunkt des Vergleichs und der Überlegungen zur Passfähigkeit von KI-Maßnahmen anderer Länder bildet, wird die Situation in Deutschland hier nicht in Form einer Fallstudie, sondern analytisch zugespitzt als SWOT-Analyse dargestellt (vgl. Kurzfassung in Abbildung 5.1). Der SWOT-Analyse liegen eine Reihe von Dokumenten und Quellen zugrunde, insbesondere wurden folgende Quellen verarbeitet:

- Der „OECD-Bericht zu Künstlicher Intelligenz in Deutschland“ (OECD 2024), der eine umfangreiche, expertengestützte Bewertung der deutschen KI-Strategie vornimmt. Auf S. 23 des OECD-Berichts findet sich eine von der OECD erstellte SWOT-Analyse, aus der hier einige Punkte übernommen wurden. Die OECD-Analyse umfasst sehr viele Aspekte, nicht alle sind gleich wichtig für unsere Fragestellung. Um Prioritäten zu setzen, wurde im Juni 2025 ein Experteninterview mit der leitenden OECD-Expertin für das Thema KI durchgeführt.
- Ergebnisse aus Kapitel 2 dieses Berichts, das sich auf die Forschungsstärke Deutschlands und unternehmensbezogene Kennzahlen bezieht.
- Während der Laufzeit unseres Projekts wurden tagesaktuelle Meldungen zur KI-Politik in Deutschland sowie Hintergrundberichte in der Fachpresse und einschlägige Veröffentlichungen aus der wissenschaftlichen Community gesichtet und für unsere Fragestellung ausgewertet.
- Am 27. Juni 2025 fand ein internationaler Expertenworkshop zur deutschen KI-Politik statt, der im Rahmen dieses Projekts organisiert wurde und an dem mehr als zehn KI-Expertinnen und -Experten teilnahmen. Beiträge der Teilnehmer, die sich in das SWOT-Raster einordnen lassen, wurden berücksichtigt.

Abbildung 5.1: Analyse der Stärke, Schwächen, Chancen und Risiken (SWOT) von KI in Deutschland

SWOT-ANALYSE: KI IN DEUTSCHLAND

Stärken

- Starke Grundlagenforschung
- Große Industrieunternehmen sind Treiber der KI-Entwicklung
- Gesundheitssektor holt bei der Digitalisierung auf
- Aktive Start-up-Szene
- Starke Branchen: Industrie, Gesundheit, Software
- Vertrauenswürdige KI als Priorität der Regierung und der EU
- Vielfältige KI-Strategien auf Bundes- und Länderebene

Schwächen

- Nicht ausreichend Rechenpower, um große KI-Modelle zu trainieren.
- Keinen schnellen Link zwischen Forschung und Anwendung
- Keine mächtigen, kapitalstarken Tech-Unternehmen, die bei KI vorangehen können
- Zu wenige Risikokapitalgeber, die in Start-ups investieren
- Daten zum Training von KI-Modellen sind nicht zugänglich (datasilos statt data-sharing in Industrie, Gesundheit, Verwaltung, Mobilität usw.)
- Zu wenig Kohärenz bei den politischen KI-Strategien und zu geringe Einbindung in EU-KI-Politik.

Chancen

- Aufbau KI-Infrastrukturen ist geplant
- Spezialisierte Modelle statt allgemeiner LLMs, Fokus auf Industrie, Medizin, Umwelt
- Vielfalt in Europa sorgt für unterschiedliche Inputs
- Europäische Werte in KI übertragen kann ein Standard für andere Länder werden.
- Transferaktivitäten/ KI Hubs fördern Umsetzung in Unternehmen
- Open Source kann zu einer europäischen Mission werden

Risiken

- Unsicherheit der KI-Anbieter beim Thema Regulierung
- Budget-Unklarheit bei Fördermaßnahmen, insb. bei großen Rechenzentren
- Fragmentierung und Föderalismus können den Einsatz von KI verlangsamen und die Skalierung erfolgreicher Lösungen erschweren
- Technologische Entwicklung erfolgt in Sprüngen
- Keine Lösung für den hohen Energieverbrauch von KI
- Missbrauch von KI-Lösungen kann Vertrauen in die Technologie erschüttern

Im Folgenden werden die Punkte in den vier Feldern näher erläutert.

1.2 Stärken

Starke Grundlagenforschung

Wie die Auswertung der Publikationsdaten gezeigt hat (siehe Bibliometrie-Kapitel), ist Deutschland im Bereich der KI-Forschung, inklusive der Forschung zu generativer KI gut aufgestellt und belegt im Hinblick auf die Anzahl der Veröffentlichungen weltweit Platz 5. Innerhalb Europas (EU-27) ist Deutschland der stärkste KI-Forschungsstandort. Auch bei den Beteiligungen an relevanten ML-Modellen schneidet Deutschland im internationalen Vergleich gut ab.

Bei unserer Analyse hat sich keine spezielle Anwendungsorientierung der deutschen KI-Forschung gezeigt. Eine Ausnahme bildet der Bereich „AI for Robotics“ (Industrie- und Servicerobotik, autonome Systeme in der Produktion), in dem KI-Forschung aus Deutschland besonders stark ist. Auf ein besonderes Interesse am Einsatz von KI-Systemen in der Industrie weist die starke Beteiligung der Ingenieurwissenschaften hin. Dieses Muster findet sich auch in anderen Ländern mit einer starken industriellen Basis, wie z.B. Japan. Generell gilt jedoch, dass die deutsche KI-Forschung eine starke Grundlagenorientierung aufweist und damit anschlussfähig an die internationale KI-Spitzenforschung ist.

Große Industrieunternehmen sind Treiber der KI-Entwicklung

Große Industrieunternehmen wie Siemens, Bosch, Volkswagen oder Bayer sind in Deutschland wesentliche Treiber der KI-Entwicklung. Die Mehrzahl der KI-Patente aus Deutschland wird von diesen Unternehmen angemeldet. Die Ergebnisse der Patentanalyse lassen sich so interpretieren, dass hinter der KI-Entwicklung in Deutschland ein starkes Interesse am industriellen Einsatz von KI besteht und die großen Unternehmen die Entwicklung in diese Richtung vorantreiben. Der Einsatz neuer Technologien in etablierten Wirtschaftsbereichen gilt – zumindest bei den großen Unternehmen – als Stärke Deutschlands.

Gesundheitssektor holt bei der Digitalisierung auf

Der Gesundheitssektor ist in besonderer Weise für den Einsatz von KI geeignet, weil hier viele Daten ausgewertet werden müssen. Die Fähigkeit von KI, Muster in Bilddaten zu erkennen, Diagnosen aus komplexen Patientendaten zu erstellen oder Therapieverläufe zu prognostizieren, kann den Behandlungserfolg verbessern und den Gesundheitsbereich insgesamt effizienter machen. In der Vergangenheit konnten Patienten- und Behandlungsdaten hierzulande allerdings nicht digital verknüpft werden, das deutsche Gesundheitssystem bestand aus informationstechnischen Inseln. Dies beginnt sich seit 2024 mit dem Inkrafttreten von Digitalgesetz (DigiG) und Gesundheitsdatennutzungsgesetz (GDNG) schrittweise zu ändern. Mit der Einführung der elektronischen Patientenakte (ePA) 2025 und einer Reihe anderer Maßnahmen scheint das deutsche Gesundheitssystem seinen Nachholbedarf bei der Digitalisierung zu adressieren. Diese perspektivische Stärke Deutschlands wird im OECD-Bericht folgendermaßen charakterisiert: „Laufende politische und gesetzgeberische Maßnahmen zur Schaffung einer Grundlage für die Nutzung von KI im Gesundheitswesen“ (OECD 2023, S. 23).

Aktive Start-up-Szene

Deutschland ist zusammen mit Frankreich und Großbritannien in Europa eines der aktivsten und dynamischsten Länder im Bereich KI-Start-ups. Helsing, Deepl.com und Aleph Alpha sind die bekanntesten KI-Start-ups aus Deutschland. Laut der Zählung von Applied AI waren im Jahr 2024 in Deutschland 687 KI-Start-ups aktiv, was einem Wachstum von 35 % im Vergleich zum Vorjahr entspricht. Diese Dynamik macht Deutschland zu einem der aktivsten Standorte für KI-Gründungen in Europa (Applied AI 2025). Regionale Schwerpunkte sind in Deutschland Berlin mit 209 KI-Startups und München mit 139 Start-ups. Weiterhin bemühen sich verschiedene Initiativen auf Länderebene um den Aufbau von KI-Ökosystemen, aus denen heraus weitere KI-Start-ups entstehen sollen. Dazu gehören die Initiativen Innovation Park Artificial Intelligence (IPAI) in Heilbronn, das Cybervalley in Stuttgart und Tübingen, der KI-Hotspot von DFKI und CISPA im Saarland oder in Dortmund das Lamarr-Institut für Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz.

Sabine Döring und Bernhard Schölkopf von der Universität Tübingen wiesen in einem Zeitungsbeitrag vom 6. Oktober 2023 darauf hin, dass es sich bei den deutschen KI-Gründungen im globalen Vergleich aber nur um eine mittelmäßige Zahl handelt: „Dass es sich dabei zu 40 Prozent um Ausgründungen aus der Wissenschaft handelt, belegt wiederum die Stärke der Forschung, wirft aber zugleich die Frage auf, warum es nicht mehr Start-ups gibt“ (Döring; Schölkopf 2023).

Starke Branchen: Industrie, Gesundheit, Software

Deutschland zählt zu den weltweit führenden Industriestandorten, insbesondere im Maschinenbau, in der Elektrotechnik und der Feinmechanik. KI kann in diesen etablierten Kernbranchen etwa bei der Optimierung von Produktionsprozessen, der vorausschauenden Wartung oder in der flexiblen Fertigung eingesetzt werden. Die Verbindung von Engineering und KI ist eine Stärke, die sich in diesem Umfeld entfalten kann (siehe z.B. IW Consult 2023, 2025).

Auch der Gesundheitsbereich ist ein wichtiger Sektor in Deutschland. Durch die zunehmende Digitalisierung und den Einsatz von KI lassen sich eine effizientere Diagnostik, personalisierte Therapien und optimierte Krankenhauslogistik realisieren (s.o.). Darüber hinaus gibt es hierzulande ein starkes Netzwerk aus Medizintechnik, IT und Pharma industrie, was potenziell branchenübergreifende Innovationen fördert und zu erfolgreichen KI-basierten Gesundheitslösungen führen kann.

Die Software-Branche in Deutschland zeichnet eine große Nähe zu industriellen Anwendungen an. Die Stärke deutscher Softwareunternehmen liegt insbesondere in der Entwicklung hochspezialisierter, branchenspezifischer Lösungen. Mit diesem Know-How können KI-Systeme effizienter und passgenauer in die Anwendung gebracht werden.

Die Kombination aus Technologie-, Branchen- und Datenkompetenz legt eine anwendungsorientierte Strategie für KI in Deutschland nahe (vgl. Rothe 2025, Grolle 2025). Die strategische Neuausrichtung des Heidelberger Start-ups Aleph Alpha könnte in diese Richtung weisen: Während das Unternehmen zunächst ganz auf die Entwicklung eines eigenen Large Language Models setzte und sich damit in direkte Konkurrenz zu Open AI und anderen amerikanischen Tech-Unternehmen begab, änderte das Unternehmen 2024 seine Strategie und spezialisiert sich seither auf die Anwendung von vorhandenen KI-Tools in hochspezialisierte Anwendungen in Industrie und Verwaltung (siehe z.B. Andrulis 2025, Stieler 2024, Mindverse 2024).

Vertrauenswürdige KI als Priorität der Regierung und der EU

Die Fokussierung auf vertrauenswürdige KI in Forschungs- und Entwicklungsprojekten in Deutschland sowie auf EU-Ebene, insbesondere durch den AI Act, wird als Stärke für den KI-Standort Deutschland gesehen, weil sie zu einer höheren Akzeptanz der neuen Technologie in der Bevölkerung und in Unternehmen führt. Diesen Punkt betont nicht zuletzt auch die OECD. Im OECD-Bericht heißt es dazu: „Deutschland verfolgt einen menschenzentrierten KI-Ansatz. Die deutschen Bundesministerien setzen mit ihrer KI-Strategie und -Politik auf die Entwicklung und Nutzung von KI für das Gemeinwohl. Sie investieren in Projekte, die der Gesellschaft zugutekommen, etwa im Gesundheitswesen oder im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit. (...) Deutschland [setzt] auf KI-Anwendungen, die menschliche Fähigkeiten erweitern, die Privatsphäre schützen und Fairness gewährleisten.“ (OECD 2024, S. 17f)

Vielfältige KI-Strategien auf Bundes- und Länderebene

Auf Bundesebene sowie auf Landesebene wurden in den letzten Jahren viele KI-Förderprogramme aufgelegt. Auch wenn es sich oft um Umwidmungen oder Weiterentwicklungen von Digitalisierungsprogrammen unter dem neuen Label „KI“ handelt, ist unübersehbar, dass sich Politik und Regierung intensiv mit dem Thema Künstliche Intelligenz befassen. Sie haben damit nicht nur eine hohe Sichtbarkeit für das Thema geschaffen, sondern auch substantielle Entwicklungen angestoßen, wie z.B. beim Aufbau neuer Forschungsinfrastrukturen oder die Finanzierung von KI-Kompetenzzentren wie dem Cyber Valley in Tübingen oder dem KI-Campus in Berlin. Auch in den Aufbau von Forschungs- und Ausbildungskompetenz wurde in den letzten Jahren stark investiert. Auf Bundesebene werden die Ergebnisse der KI-Strategie auf der Website www.ki-strategie-deutschland.de dokumentiert. Eine Übersicht

der Aktivitäten auf Länderebene findet sich z.B. im Bericht des Stifterverbandes vom Oktober 2024 (Stifterverband 2024).

1.3 Schwächen

Fehlende Rechenpower, um große KI-Modelle zu trainieren.

Nach dem Deepseek-Moment Anfang 2025 wurde darüber diskutiert, inwiefern große Rechenzentren zur Entwicklung von Large Language Modellen überhaupt noch notwendig seien. Denn das chinesische Deepseek-Modell konnte mit einem Bruchteil der Rechenpower der großen amerikanischen Modelle trainiert werden. Inzwischen ist allerdings klar, dass Deepseek keine fundamental neuen Ansätze entwickelt hat, sondern spezielle Optimierungen benutzt hat, die den Bedarf an Rechenkapazität teilweise reduzieren (Krajewski; Dhaliwal 2025). Große Rechenzentren bleiben aber für die Entwicklung und für den Betrieb großer allgemeiner Sprachmodelle weiterhin relevant (Schnitzer; Privitera 2025, Uszkoreit 2024). Im Vergleich mit führenden KI-Nationen zeigt sich hier eine Schwäche in Deutschland und Europa (Doan; Levy; Storchan 2025, European Commission 2025).

Im Kapitel zu den Unternehmensaktivitäten im Bereich KI haben wir die Top500-Liste der weltweiten Supercomputer ausgewertet: Addiert man die Kapazitäten der 18 EU-27-Länder, die in der Tabelle der Top500 auftauchen (top500.org), ergibt sich eine europäische Gesamtkapazität von ca. 2,5 Mio Tflops. Dies entspricht in der Summe weniger als der Hälfte der Kapazitäten, die die USA zur Verfügung haben. Auf Platz 2 hinter den Vereinigten Staaten von Amerika folgt Japan mit 940.710 Tflops, gefolgt von Italien mit 849.088 Tflops. Deutschland verfügt seinerseits über weniger als die Hälfte der Kapazitäten, die in Italien zur Verfügung stehen.

Die in Europa fehlenden Rechenkapazitäten könnten in gewissem Umfang durch das Zusammenschalten von Zentren an unterschiedlichen europäischen Standorten relativiert werden. Aktuell ist die übergreifende Vernetzung lokaler Ressourcen jedoch eine weitere Schwäche Europas beim Thema KI.

Keinen schnellen Link zwischen Forschung und Anwendung

Der Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in Anwendungskontexte (Ausgründungen, Start-ups, Transfer in F&E-Abteilungen von Unternehmen, neue Produkte und Dienstleistungen usw.) gilt in Deutschland traditionell als Schwäche (Hülsbeck 2011, Schmoch 2024). Dies scheint auch bei KI der Fall - auch wenn hierzu keine wissenschaftlichen Studien, sondern lediglich Umfragen vorliegen (z.B. bei KI-Startups, s. z.B. KI-Bundesverband 2023). Es werden in Deutschland zu wenige hochinnovative Ausgründungen realisiert und der Weg vom Labor in den Markt ist oft langwierig und komplex. Gerade im Bereich KI setzt daher eine Vielzahl von Programmen, insbesondere auf der Länderebene, an diesem Punkt an (siehe „Chancen“).

Keine mächtigen, kapitalstarken Tech-Unternehmen, die bei KI vorangehen können

In Deutschland gibt es keine großen Tech-Unternehmen wie in den USA, die große Summen in die Entwicklung von KI investieren können. Die KI-Entwicklung ist aufgrund des Trainingsbedarfs äußerst kapitalintensiv. Die vier größten US-Tech-Konzerne (Amazon, Microsoft, Meta, Google) haben laut Handelsblatt für das Jahr 2025 KI-Investitionen von zusammen rund 300 Milliarden US-Dollar geplant (Handelsblatt 2025). Laut AI Index der Stanford University beliefen sich die privaten KI-Investitionen, inkl. Venture Capital, in den USA im Jahr 2024 auf insgesamt 109 Mrd. US-Dollar und in Europa (ohne GB) auf insgesamt ca. 12 Mrd. US-Dollar (AI Index Report 2025, S. 251. In D: ca. 2 Mrd US-Dollar). Diese Zahlen zeigen den Rückstand Europas bei den privaten KI-Investitionen. Und sie zeigen, wie abhängig Europa von den amerikanischen Tech-Unternehmen in den Bereichen KI, Cloud und Internet ist.

Zu wenige Risikokapitalgeber, die in Start-ups investieren

Die deutsche KI-Szene verfügt über zu wenig Wagniskapital. Während sich dies bei der Gründung von KI-Start-ups noch nicht so stark bemerkbar macht, ist diese Schwäche insbesondere für die Wachstumsphase ein

Hemmnis (OECD 2024, S. 25). Sie verhindert, dass aus erfolgreichen Start-ups Erfolgsgeschichten mit globalem Impact werden können. Laut Applied AI lag die absolute Funding-Summe für KI-Start-ups in Deutschland 2023 bei 1,2 Milliarden US-Dollar. Bei insgesamt knapp 700 KI-Startups entfallen auf jedes Startup im Schnitt 1,7 Millionen: „Damit kann man nicht wirklich kompetitiv sein“, so der Applied AI Experte Philipp Hutchinson (zitiert in Mindverse 2024).

Neben fehlendem Risikokapital wird immer wieder die Bürokratie als Grund für die Schwierigkeiten der Start-ups genannt. Eine Unternehmensgründung kann in Deutschland Monate dauern. Der notarielle Prozess, der hierfür erforderlich ist, erscheint vielen Gründern als absurd (Grolle 2025). Als Konsequenz hat z.B. das KI-Start-up Black Forest Labs, das seinen Hauptsitz in Freiburg hat, als Gründungsort Delaware gewählt, weil die bürokratischen Hürden dort niedriger sind (Grolle 2025, Rothe 2025). Laut des Weltbank-Rankings „Doing Business“ aus dem Jahr 2020 liegt Deutschland bei den bürokratischen Hürden einer Unternehmensgründung auf Platz 125 von insgesamt 190 analysierten Nationen.²⁶

Data-silos statt data-sharing: Mangelhafte Zugänglichkeit von Daten zum Training von KI-Modellen

Ein wichtiger Faktor für die Entwicklung allgemein einsetzbarer KI-Modelle und insbesondere für die Entwicklung spezialisierter KI-Modelle sind Trainingsdaten. Dass es hieran in Deutschland in besonderem Maße fehlt, stellt z.B. die OECD-Studie fest: Der Zugang zu qualitativ hochwertigen, vielfältigen Datensätzen ist eine der größten Hürden für das KI-Ökosystem in Deutschland. In Deutschland bleiben Datensätze der öffentlichen Verwaltung und des Gesundheitsbereichs, die für das Trainieren und die Verfeinerung von KI-Algorithmen von entscheidender Bedeutung sind, überwiegend unzugänglich. Auch industrielle Daten würden viel zu wenig genutzt, so die OECD (OECD 2023, S. 13, 20, 24f, 57f, 135f).

Grund für die eingeschränkte Verfügbarkeit und Nutzung von Daten sei, dass die Datenschutzgesetze in Deutschland „sehr vorsichtig ausgelegt werden und [damit] öffentliche und industrielle Daten in Silos bleiben.“ (S. 24). Die Datenschutzbehörden sollten deshalb proaktiv Protokolle für den Datenaustausch entwickeln, damit personenbezogene Daten im Gesundheitswesen und in anderen Sektoren verwendet werden können. Darüber hinaus könnte die Bundesregierung Behörden auf allen Ebenen anweisen, nichtsensible Daten in offenen Registern zu veröffentlichen. Die Umsetzung einer an das KI-Zeitalter angepassten Datenpolitik mit Data-Sharing-Plattformen, Datentreuhändern und Open-Data-Projekten wird für die KI-Entwicklung in Deutschland von entscheidender Bedeutung sein, so die OECD (OECD 2024, S. 20, 24f, siehe auch Otto; Wrobel 2025).

Zu wenig Kohärenz bei den politischen KI-Strategien und zu geringe Einbindung in EU-KI-Politik

Seit der Verabschiedung der ersten KI-Strategie des BMBF im Jahr 2018 und erneut mit der Neuausrichtung im Jahr 2023, wird an der deutschen KI-Strategie kritisiert, dass sie zu viele unterschiedliche Punkte anspricht, dass ihr Kohärenz fehlt und dass sie zu forschungslastig sei (siehe z.B. Fokuhl; Klöckner 2023, Sattelberger 2023 oder Klöckner 2023, Wissenschaftsministerkonferenz 2025). Kritisiert wird auch, dass es zu viele unterschiedliche Anlaufstellen in Deutschland gibt und zu wenig Koordination zwischen Bund und Ländern (Stifterverband 2024).

Die fehlende Koordination mit den Ländern mache sich insbesondere beim Thema „Transfer und Anwendungen“ bemerkbar, so auch die OECD in ihrem 2023er-Bericht. Hier gebe es „erhebliche Überschneidung mit den Zielsetzungen des Bundes“ (S. 107). Die anderen Bereiche mit großen Überschneidungen sind demnach die Bereiche Gesundheit, Forschung und Infrastruktur.

Auch die Einbindung der deutschen KI-Strategie in die europäische KI-Politik könnte besser sein, so die OECD. Etwas verklausuliert heißt es im Bericht: „Deutschland sollte die EU als Hebel einsetzen, um im globalen KI-Wettlauf Schritt zu halten. Um global wettbewerbsfähig zu bleiben, muss Deutschland die Größenvorteile der EU als Staatenverbund nutzen, um seine technologischen Fähigkeiten und sein Innovationspotenzial zu stärken und einen Rückstand zu vermeiden“ (OECD 2024, S. 22).

²⁶ „Starting a business“ <https://archive.doingbusiness.org/en/rankings>

1.4 Chancen

Aufbau von KI-Infrastrukturen ist geplant

Der bei den Schwächen aufgeführte Mangel an KI-Rechenkapazitäten wird in Deutschland und auf europäischer Ebene seit einiger Zeit aktiv angegangen. Im Koalitionsvertrag 2025 ist die Rede von massiven Investitionen in die digitale Infrastruktur und den Ausbau von KI-Kapazitäten. Dazu will sich die Bundesregierung bemühen, eine oder mehrere der bis zu fünf von der EU-Kommission ausgelobten „KI-Gigafactories“ nach Deutschland zu holen (Löhr 2025). KI-Gigafactories sollen einen Pool mit mindestens 100.000 Grafikprozessoren bereitstellen, um Forschungseinrichtungen und Unternehmen bei der Entwicklung eigener KI-Modelle zu unterstützen (Donnelly 2025).

Bereits angelaufene Aktivitäten zum Ausbau von KI-Rechenkapazitäten sind z.B. die Förderung der JUPITER AI Factory am Jülicher Supercomputing Centre, das Gauss Centre for Supercomputing, das Supercomputer in den TOP 500 aus sechs verschiedenen Standorten zusammenschließt oder die OpenGPT-X Initiative, bei der ein Konsortium aus deutschen Forschungseinrichtungen eine leistungsfähige, skalierbare GPU-Infrastruktur für das Training großer Sprachmodelle in Deutschland aufbaut (BMBF; BMWK 2024).

Auf europäischer Ebene ist neben dem massiven Aufbau von KI-Kapazitäten an verschiedenen Standorten auch vorgesehen, die vorhandenen Ressourcen besser zu vernetzen. An den Projekten OpenEuroLLM und LLMs4Europe, die Anfang 2025 gestartet sind, sind viele europäische KI-Zentren und Forschungseinrichtungen beteiligt. Ziel ist es auch hier, gemeinsam große Sprachmodelle für Europa zu entwickeln. Es soll sowohl auf vorhandene Supercomputer als auch auf die neuen Rechenzentren zurückgegriffen werden. Die inzwischen eingeleiteten Maßnahmen stellen eine Chance dar, künftig eigene KI-Modelle in Europa zu entwickeln und die Abhängigkeit von amerikanischen (und chinesischen) LLMs zu verringern.

Spezialisierte Modelle statt allgemeiner LLMs, Fokus auf Industrie, Medizin, Umwelt

Neben der Entwicklung eigener, allgemein einsetzbarer Sprachmodelle (generelle LLMs) wird in Deutschland und Europa eine Chance darin gesehen, spezialisierte Sprachmodelle und domänenspezifische KI-Technologien zu entwickeln und diese in die Anwendung zu bringen. Dabei werden existierende Modelle modifiziert und mit Daten aus den jeweiligen Einsatzgebieten trainiert. Wie bereits erwähnt, stehen Firmen wie Aleph Alpha stellvertretend für diesen Ansatz, aber auch SAP verfolgt diese Strategie (siehe Abschnitt „Starke Branchen“ sowie Freytag 2025). Der eigentliche Wettlauf wird in dieser Lesart nicht bei den Basismodellen entschieden – diese würden in Zukunft zu „commodities“ wie der allgemeine Internetzugang – sondern bei der breiteren Adoption von KI. „Entscheidend ist“, so z.B. der Rasmus Rothe von Merantix, „wer die innovativsten Anwendungen und Unternehmen auf Basis dieser Technologien schafft, da der wahre Mehrwert (...) auf der Anwendungsebene liegt. (...) Deutschland hat beste Voraussetzungen, um in der KI führend zu werden – wenn wir auf unsere Stärken setzen: unsere domänenspezifische Expertise in Schlüsselindustrien, in denen wir schon global führend sind, wie Maschinenbau, Automobilindustrie, Pharma, Gesundheitswesen, Energie und Logistik“ (Rothe 2025). Entsprechend rückt die (noch unzureichende) Verfügbarkeit von Daten aus den Anwenderbranchen in den Mittelpunkt.

Entwicklung und Betrieb von domänen- und branchenspezifischen KI-Modellen wird auch von der Bundesregierung gefördert: Ein Beispiel hierfür ist die LEAM-Initiative, die mit 130 Mio. Euro öffentlicher Förderung und weiterem privatem Kapital derzeit in Hürth in NRW ein „Center for Sovereign AI“ (CESAI) aufbaut (eco 2025).

Vielfalt in Europa sorgt für unterschiedliche Inputs

Die Vielfalt Europas mit seinen unterschiedlichen wirtschaftlichen und kulturellen Traditionen wird oftmals als Hindernis für die Skalierung neuer Technologien und Geschäftsmodelle gesehen. Umgekehrt stellt die Vielfalt eine Chance für Innovationen dar, da unterschiedliche Herangehensweisen und die Notwendigkeit, Komplexität zu bewältigen, zu besseren Lösungen führen können (siehe z.B. Boston Consulting Group 2018, Hussler 2004). Die Notwendigkeit, KI-Systeme und Dienstleistungen für unterschiedlichste

Anwendungsbedarfe und Nutzergruppen zu entwickeln – etwa im öffentlichen Sektor, in kleinen Märkten oder Nischenbranchen - kann auch Vorteile im globalen Wettbewerb verschaffen: Domänenwissen, Flexibilität und Adoptionsfähigkeit sind zentrale Faktoren für erfolgreiche europäische – und mithin globale – KI-Lösungen.

Damit hängt zusammen, dass KI-Modelle und -Anwendungen in mehreren europäischen Sprachen funktionieren und unterschiedliche kulturelle Eigenheiten berücksichtigen müssen. Die Herausforderung, verschiedene Sprachen und Kontexte zu integrieren, macht europäische KI prinzipiell auch für den internationalen Markt attraktiv.

Europäische Werte in KI zu übertragen kann ein Standard für andere Länder werden

In der Diskussion um den AI Act der EU geht es oft um „europäische Werte“, die mit der KI-Regulierung geschützt werden sollen. Dabei handelt es sich v.a. um die Grundrechte, den Datenschutz, die Rechtsstaatlichkeit, den Schutz von Gesundheit und Umwelt und die Bewahrung des gesellschaftlichen Zusammenhalts. Aus diesen europäischen Werten leitet die EU z.B. Anforderungen an die Transparenz und Nachvollziehbarkeit von KI-Systemen ab, insbesondere bei solchen mit hohem Risiko.

Auch andere Länder – wie die USA oder China – haben Verfassungswerte oder ethische Prinzipien, die in die Regulierung von Technologien einfließen. Das Besondere an der europäischen KI-Regulierung ist jedoch die explizite rechtliche Verankerung der Werte: Die EU macht die grundrechtlichen und demokratischen Werte zum Maßstab für den Marktzugang von KI-Anwendungen. Systeme, die z.B. zu Social Scoring, willkürlicher Diskriminierung oder unerlaubter Überwachung führen, sind ausdrücklich verboten. Und während z.B. in den USA der Markt und die Innovationsfreiheit stärker priorisiert werden, setzt die EU gezielt Grenzen, um ihre Werteordnung auch hier durchzusetzen. Dies soll Vertrauen schaffen und eine technologisch, wirtschaftlich und gesellschaftlich nachhaltige Entwicklung fördern (EU 2025). Und es kann dazu führen, dass „AI made in Europe“ ein Qualitätsausweis wird und die globale Adaption fördert (z.B. Todorova; Sharkov; Aldewereld et al. 2023).

Transferaktivitäten/ KI Hubs fördern Umsetzung in Unternehmen

Die Herausforderungen, die es in Deutschland und Europa bei der Umsetzung von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die Praxis gibt - ebenso wie die Möglichkeiten, die sich aus einem Fokus auf die Umsetzung von KI in Anwenderbranchen ergeben - sind erkannt und werden in zunehmendem Maße adressiert.

In Deutschland wurden eine ganze Reihe von KI-Kompetenzzentren, KI-Servicezentren und KI-Anwendungshubs aufgebaut, die z.T. bestimmte Themen und Branchen adressieren, wie z.B. Kreislaufwirtschaft, Produktion oder Gesundheit. Auf Länderebene wurden Reallabore, Innovation Parks und Transferstellen aufgebaut oder befinden sich in der Planung. Die Aktivitäten dienen dazu, branchenspezifische Lösungen zu entwickeln und niederschwellige Zugänge zu KI-Tools, Expertise und Use Case-Beratung zu bieten. Davon sollen vor allem KMU profitieren.²⁷

Stefan Wrobel, der Leiter des Fraunhofer IAIS, hat darauf hingewiesen, dass die Anwendungsunterstützung auch einen infrastrukturellen Aspekt hat: Neben der Umsetzung von KI-Use Cases in Unternehmen geht es auch darum, Machine-Learning-Modelle zur Verfügung zu stellen. Diese müssen entwickelt, in der Cloud gehostet und den Anwendern zur Verfügung gestellt werden, damit aus der Technologie reale Services entstehen können (Wrobel 2025).

Auf europäischer Ebene soll die Integration von KI in Unternehmensprozesse durch die neuen „Apply AI Strategy“²⁸ unterstützt werden. Die Initiative soll im Herbst 2025 starten. Ziel ist es, die Integration von KI-

²⁷ Übersichten und Listen finden sich z.B. unter www.ki-strategie-deutschland.de, im Zwischenbericht „Ein Jahr KI-Strategie“ der Bundesregierung vom November 2019, vor allem aber in OECD 2024, S.61-66.

²⁸ https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14625-Apply-AI-Strategy-strengthening-the-AI-continent_en

Technologien in strategischen Sektoren zu beschleunigen und die technologische Souveränität der EU zu stärken.²⁹

Auch wenn sich in der Vergangenheit gezeigt hat, dass nicht alle Wissenstransfer-Instrumente gleich erfolgreich sind und die Koordination verschiedener Maßnahmen nicht immer gegeben ist (siehe z.B. OECD 2024, S. 63f), stellen die vielfältigen Maßnahmen doch eine Chance dar, KI in Deutschland und in Europa zu stärken und die Anwendungssektoren bei der Adoption zu unterstützen. Weitere systematische Untersuchungen zur Wirksamkeit verschiedener Transfermaßnahmen in Zeiten von KI wären hier hilfreich.³⁰

Open Source kann zu einer europäischen Mission werden

Sowohl die Experten in unserem internationalen Workshop als auch die OECD (2024, S. 134f) sehen in Open Source KI-Modellen und der Weitergabe von Daten als Open AI Training Data eine strategische Chance für Europa, digital souveräner zu werden (siehe auch Floridi; Buttaboni; Hine et al. 2025). Prinzipiell kann Europa mit der Entwicklung und Nutzung von Open Source Software seine Abhängigkeiten von außereuropäischen Anbietern reduzieren und eigene Standards setzen. Open-Source-KI-Modelle senken die Eintrittsbarrieren für Startups, Mittelstand und Forschung. Außerdem erlauben offene Modelle eine unabhängige Prüfung von Algorithmen und Trainingsdaten – ein wichtiger Faktor für vertrauenswürdige, ethische KI im Sinne der europäischen KI-Verordnung. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Open Source Entwicklung ist das Large Language Model Teuken-7B, das im November 2024 vom Fraunhofer IAIS veröffentlicht wurde. Es ist für alle europäischen Sprachen trainiert.³¹ Open Source-Entwicklungen sollten allerdings über die gesamte Wertschöpfungskette gefördert werden: Von der Infrastruktur (Rechenzentren) über Trainingsdaten, angewandte Forschung bis zu spezialisierten KI-Lösungen für einheimische Unternehmen.

Im Horizon Europe- und im Digital Europe-Programm werden Open-Source-Projekte gezielt gefördert – etwa für KI-Basistechnologien, Sprachmodelle oder sichere digitale Infrastrukturen. Allerdings wird das Budget für solche Projekte als zu gering eingeschätzt. Kristian Kersting, Professor für Maschinelles Lernen an der TU Darmstadt meint zur Bedeutung von Open-Source: „Mit gut 50 Millionen Euro ist das EU-Budget [für Open Source] jedoch bescheiden, verglichen mit den Milliardenbeträgen, die US- und chinesische Akteure investieren. Open-Source kann Europa helfen, technische Abhängigkeiten zu reduzieren, Innovationen demokratischer zu gestalten und ethische KI voranzutreiben – allerdings nur, wenn die Initiative durch größere, langfristige Investitionen aufgestockt wird.“ (Kersting, zitiert in: www.sciencecenter.de/angebote/wie-wettbewerbsfähig-ist-europa-im-bereich-künstliche-intelligenz-25023, 11. Februar 2025)

1.5 Risiken

Unsicherheit der KI-Anbieter beim Thema Regulierung

Es besteht das Risiko, dass die Umsetzung des AI Acts Innovationen bremst und die Diffusion von KI in den Anwendungsbereichen verlangsamt (siehe z.B. KI Döring; Schölkopf 2023). Diese immer wieder vorgebrachte Einschätzung lässt sich empirisch nicht belegen, auch gegenteilige Effekte sind möglich. Tatsächlich hat die KI-Verordnung der EU bisher aber nicht zu einer größeren rechtlichen Sicherheit geführt, sondern Unternehmen und potenzielle Nutzer eher verunsichert. Denn die Standards zur Bewertung der Compliance von KI-Systemen müssen erst noch entwickelt werden. Anbieter, die heute Systeme entwickeln und in

²⁹ Die „Apply AI Strategy“ soll sich insbesondere auf folgende Sektoren konzentrieren: Advanced manufacturing, aerospace, security and defence, agri-food, energy, environment and climate, mobility and automotive, pharmaceutical, biotechnology, robotics, electronic communications, advanced material design und cultural and creative industries, siehe <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/consultations/commission-launches-public-consultation-and-call-evidence-apply-ai-strategy>.

³⁰ Einen interessanten Ausgangspunkt könnten hierfür die Ergebnisse des vom bayrischen Wirtschaftsministerium geförderten Programms „KI-Transfer Plus“ sein, das wissenschaftlich begleitet und explizit auf seine Wirksamkeit hin untersucht wurde (applied AI/ TU München 2024). Auch das ifo Institut hat die Verbreitung und die Hemmnisse von KI-Anwendungen untersucht, woraus Empfehlungen für wirksamen Transfer und Fördermaßnahmen abgeleitet wurden (ifo Institut 2024).

³¹ <https://www.iais.fraunhofer.de/de/branchen-themen/themen/generative-ki/openpgpt-x.html>

Produkte oder Dienstleistungen integrieren, wissen noch nicht, ob diese in Zukunft erlaubt sein werden oder nicht. Die derzeitige Unsicherheit mag ihren Grund aber weniger Defiziten des AI Act haben als vielmehr in der fehlenden Erfahrung mit seiner Umsetzung und den Unklarheiten bei der Festlegung der mit der Aufsicht über die Umsetzung des AI Act betrauten Behörden.

Auch die OECD konstatiert große Unsicherheiten im Markt, die durch die Unklarheiten bei der Umsetzung des AI Acts verursacht werden. Sie schlagen deshalb die Einrichtung eines Zentrums vor, das Behörden dabei unterstützen soll, Expertise z.B. mit regulatorischen Experimenten auf Länderebene aufzubauen. Außerdem sollte die deutsche Regierung spezifische Strategien zur Förderung einer vertrauenswürdigen Nutzung von KI in Unternehmen entwickeln und umsetzen (OECD 2024, S. 112ff).

Die Unsicherheit bezieht sich auch auf die Frage, wie die nationalen Aufsichtsstrukturen zur Umsetzung des AI Acts in Deutschland beschaffen sein sollen. Der AI Act sieht die Schaffung nationaler Stellen zur Marktüberwachung und Einhaltung von Standards (notifizierende Behörde) vor. Es ist geplant, dass die Bundesnetzagentur (BNA) als zentrale KI-Aufsichtsbehörde fungieren soll, aber es sind möglicherweise auch die Datenschutzbeauftragten der Länder involviert. Es besteht die Befürchtung, dass ein neues Geflecht von bestehenden und neuen Institutionen entsteht, das zu einer unangemessenen Bürokratisierung führt.³²

Budget-Unklarheit bei Fördermaßnahmen, insb. bei großen Rechenzentren

Regierungen und Unternehmen haben in letzter Zeit große Investitionen in den Ausbau von KI-Rechenzentren und in die Umsetzung von KI in Unternehmen angekündigt. Ob und in welchem Umfang diese Investitionen tatsächlich getätigt werden, ist jedoch unklar. Bereits in der Vergangenheit gab es Hinweise darauf, dass für angekündigte Programme und Investitionen entweder kein ausreichendes Budget zur Verfügung stand oder dass bestehende Programme, z.B. für die Digitalisierung des Mittelstandes oder auch für Forschungsvorhaben, lediglich umgewidmet wurden (Fokuhl; Klöckner 2023; Sattelberger 2023). Bei der Umsetzung der KI-Strategie der Regierung Scholz wurde kritisiert, dass zu wenig wirklich neue Vorhaben zu erkennen waren und es „keine echten KI-Leuchttürme gegeben habe, für die konzentriert und in hohem Volumen Mittel bereitgestellt werden“ (Thilo Zelt von Boston Consulting, zitiert in Klöckner 2023).

Auch in der neuen Regierungskoalition besteht das Risiko, dass die Finanzierung des neuen, ambitionierteren Programms Mittel fehlen und größere Vorhaben deshalb nicht umgesetzt werden können (Löhr 2025, Wiarda 2025).

Fragmentierung und Föderalismus können den Einsatz von KI verlangsamen und die Skalierung erfolgreicher Lösungen erschweren

Vielfalt und die Notwendigkeit, unterschiedliche Ansätze zu integrieren, können einerseits eine Chance für nachhaltigere Innovationen sein (siehe Abschnitt „Vielfalt in Europa“), andererseits können sie die Entwicklung aber auch substanzell behindern. Die Fragmentierung der Märkte in Europa kann die Skalierung von KI-Lösungen erschweren: Während eine US-amerikanische Lösung mit einem Schlag Millionen von Nutzern erreicht, erfordert eine in Europa entwickelte Lösung zunächst entsprechende Übersetzungsleistungen für jedes der 27 EU-Länder. Denn trotz gemeinsamer EU-Richtlinien wie dem AI Act oder der DSGVO existieren in den Mitgliedstaaten unterschiedliche Interpretationen sowie nationale Zusatzanforderungen. Unternehmen, die KI-Lösungen in mehreren Ländern ausrollen wollen, müssen sich mit einer Vielzahl abweichender Regelungen, Zulassungsverfahren und Datenschutzvorgaben auseinandersetzen. Dies verursacht zusätzliche Kosten, Rechtsunsicherheit und komplexe Compliance-Prozesse, insbesondere für Start-ups und KMU.

In Deutschland kommt der Föderalismus hinzu. Besonders in den Bereichen Verwaltung, Gesundheit und Datenschutz stellt die OECD Verlangsamungspotenziale fest: Da die Zuständigkeiten zwischen Bund und Ländern fragmentiert sind, entwickelt jedes Land mit unterschiedlichem Tempo eigene Initiativen. „Diese

³² Kritik am AI Act und seiner geplanten Umsetzung wurde in einer Anhörung des Deutschen Bundestages von verschiedenen Expertinnen und Experten geäußert. Die Diskussion ist dokumentiert unter: www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2024/kw20-pa-digitales-ki-1001728.

uneinheitliche Vorgehensweise verlangsamt nicht nur die KI-Integration, sondern macht es auch schwierig, KI bundesweit einheitlich einzuführen“, so die OECD-Experten (OECD 2024, S. 20).

Technologische Entwicklung erfolgt in Sprüngen

Der ChatGPT-Moment Ende 2022 hat gezeigt, dass sich KI-Entwicklung nicht kontinuierlich verläuft, sondern in Sprüngen. Es besteht das Risiko, dass Investitionen in Technologien oder KI-Modelle getätigt werden, die von anderen, überlegenen Technologien abgelöst werden, welche heute noch nicht bekannt sind. Deutschland und Europa können potenziell eine wichtige Rolle bei der Erforschung solcher neuer KI-Felder spielen. Voraussetzung dafür ist, dass die Forschungsförderung offen ist für Forschungsinitiativen, die neue, alternative oder auch hybride KI-Ansätze verfolgen, die aktuell vom Erfolg generativer KI überdeckt werden (so z.B. Krüger 2025).

Neben der erwähnten hybriden KI, bei der ältere Ansätze der regelbasierten KI mit generativer KI kombiniert werden, gehören zu den möglichen Kandidaten Federated Learning, spezialisierte KI-Modelle und Embodied AI (vgl. Beckert; Kroll 2024).

Keine Lösung für den hohen Energieverbrauch von KI

Sollte sich der aktuelle Entwicklungspfad fortsetzen und neue KI-Modelle immer größere Rechenkapazitäten erfordern, könnte der hohe Energieverbrauch der großen Rechenzentren insbesondere in Europa zu einer Herausforderung werden. Die OECD empfiehlt diesbezüglich die Implementierung von Messstandards für den Verbrauch von Energie, Wasser und anderen Ressourcen (OECD 2024, S. 22). Andere Experten sehen die Nachhaltigkeitsbemühungen durch den exponentiell steigenden Stromverbrauch von KI-Rechenzentren gefährdet (Öko-Institut 2025) oder befürchten Wettbewerbsverzerrungen zugunsten außereuropäischer Tech-Konzerne: Sollte Europa weniger Energie für Rechenzentren bereitstellen können als die Konkurrenz in den USA oder China, könnten heimische Akteure weiter ins Hintertreffen geraten – wirtschaftlich wie technologisch (s. z.B. Bitkom 2024).

Missbrauch von KI-Lösungen kann Vertrauen in die Technologie erschüttern

Missbrauch von KI-Lösungen kann unterschiedliche Formen annehmen und tiefgreifende Auswirkungen haben: KI-gestützte Deepfakes, Desinformationskampagnen oder manipulative Systeme können gezielt dazu eingesetzt werden, Menschen zu täuschen, Wahlen zu beeinflussen oder den Ruf von Personen und Unternehmen zu schädigen. Die Erfahrung, dass digitale Inhalte gefälscht sein können, lässt Menschen zunehmend an der Echtheit von Bildern, Videos oder sogar Stimmen zweifeln. Das kann zu einem nahezu vollständigen Vertrauensverlust in digitale Inhalte führen. Auch Cyberkriminalität und Betrug können zu einem Vertrauensverlust führen. Weiterhin kann das Vertrauen in die Fairness und Integrität der Technologie erschüttert werden, wenn KI-Systeme diskriminierende Entscheidungen treffen oder Menschen ungerecht behandeln. Es besteht das Risiko, dass einzelne Skandale oder ein schleichender Vertrauensverlust dazu führt, dass KI bewusst abgelehnt wird oder ihr Einsatz von Unternehmen und öffentlichen Organisationen vermieden wird (siehe OECD 2024, S. 22f).

1.6 Zusammenfassende Bewertung und Perspektiven

In der SWOT-Analyse tauchen fünf Aspekte in unterschiedlichen Kontexten immer wieder auf, was auf ihre besondere Relevanz hindeutet. Handlungsempfehlungen oder Impulse für die Weiterentwicklung der deutschen KI-Strategie können hier andocken:

1. Ausbau von KI-Recheninfrastrukturen: Große Rechenzentren, um KI-Modelle zu entwickeln, zu trainieren und zu betreiben sollte weiter eine Priorität bleiben. Auch nach dem Deep Seek-Moment gibt es gute Gründe, in diesem Bereich zu investieren. Europa und Deutschland haben es bisher nicht geschafft, den Anschluss an die USA und andere globale Player zu halten. Rechenzentren und Cloud-Kapazitäten sind wichtige Faktoren für die angestrebte KI-Souveränität Europas. In diesem Bereich besteht die Notwendigkeit, gemeinsame europäische Initiativen auf den Weg zu bringen, um Rechenkapazitäten im europäischen Verbund zu etablieren, anstatt weiterhin auf nationale Alleingänge zu setzen. Deutschland alleine ist hier zu klein, um mit den privaten oder öffentlichen Investitionen in die entsprechenden Infrastrukturen in den USA oder China

mitzuhalten. Die europäischen kofinanzierten Gigafactories sind in Bezug auf Rechenkapazitäten ein Schritt in die richtige Richtung, aber es stellt sich die Frage, ob sie nicht von vornherein als multilaterale Verbundvorhaben aufgesetzt werden sollten.

2. KI in die Anwendung bringen: Parallel zum Ausbau der Rechenkapazitäten und den Anstrengungen, eigene große Sprachmodelle zu entwickeln, sollte Deutschland die Strategie verfolgen, KI in die Schlüsseldomänen zu bringen (Gesundheit, Verwaltung, Industrie, Mobilität und Verteidigung). Dazu müssen domänenspezifische KI-Modelle entwickelt werden und Strategien entwickelt werden, wie diese Modelle vor Ort angewendet werden können. Hierzu gehören auch entsprechende Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen.

3. Datenzugang und Datenaustausch fördern: Für die Entwicklung und Anwendung erfolgreicher KI-Systeme ist der Zugang zu Trainingsdaten und der Austausch von Daten über Datensilos hinweg zentral. In Deutschland gibt es in allen relevanten Bereichen noch zu wenig Datenaustausch. Insbesondere für spezialisierte KI-Modelle und domänenspezifische Anwendungen ist die Datenfrage zentral. Verschiedene Ansätze, wie z.B. Datenplattformen, offene Plattformen oder Datentreuhändermodelle stehen zur Verfügung und sollten konsequent verstärkt werden. Aus innovationspolitischer Sicht ist die Datenverfügbarkeit von zentraler Bedeutung.

4. Vertrauenswürdige KI zu einem prominenten Innovationsthema machen: Derzeit fehlt es an Implementierungen und der systematischen Aufarbeitung von Erfahrungen. Unternehmen kommen mit den Vorgaben des AI Acts vielfach nicht zurecht. Es besteht die Gefahr, dass KI-Projekte verzögert werden oder erst gar nicht gestartet werden, weil unklar ist, wie die EU-Vorgaben in die Praxis umgesetzt werden sollen. Programme zur Umsetzung von KI-Systemen in Unternehmen und öffentlichen Organisationen sollten deshalb mit einer Begleitforschung kombiniert werden, die konkrete Compliance-Strategien systematisch aufarbeitet, um so langfristig zur Etablierung guter Umsetzungspraktiken beizutragen.

5. Forschungsbereiche „beyond GenAI“ identifizieren und fördern: Generative KI steht aktuell im Vordergrund und überdeckt die Forschung in anderen KI-Feldern, wie z.B. den Knowledge-Graphs oder dem klassischen Machine Learning. Möglicherweise werden in Zukunft Anwendungen wichtiger, in denen generative KI mit klassischen KI-Methoden kombiniert werden, wie es z.B. bei hybrider KI der Fall ist. Oder GenAI wird in anderer Weise erweitert, wie z.B. bei Embodied AI, bei Robotic AI oder beim Federated Machine Learning. Eine Strategie, wie die Forschung in Deutschland in diesen Bereichen künftig relevante Beiträge liefern könnte, fehlt aber derzeit.

2 ANSATZPUNKTE UND OPTIONEN FÜR DIE DEUTSCHE UND EUROPÄISCHE KI-POLITIK

In diesem Kapitel wird die Perspektive erweitert und gefragt, welche Ansatzpunkte und Optionen es für eine erfolgreiche KI-Politik aus europäischer Perspektive gibt. Dabei spielt insbesondere strategische Orientierungen eine Rolle, das Zusammenspiel zwischen F&I-Politik und Industriepolitik sowie die Frage nach KI-Regulierung und KI-Governance.

Dieses Kapitel basiert hauptsächlich auf Erkenntnissen der beiden Expertenworkshops, die im Rahmen dieses Projekts durchgeführt wurden sowie auf den Länderfallstudien. Einige der Punkte, die in diesem Kapitel aufgeführt werden, finden sich bereits in der SWOT-Analyse für Deutschland (s.o.), die Dopplungen weisen auf die besondere Relevanz der jeweiligen Aspekte hin und ergeben sich aufgrund der engen Verzahnung zwischen nationaler und europäischer Politik.

2.1 Strategische Orientierungen

Insbesondere in den Expertenworkshops wurde darauf hingewiesen, dass die grundlegende Diskussion geführt werden muss, auf welche Bereiche man sich in Deutschland und Europa bei der *Entwicklung* von KI konzentrieren möchte. Deutschland und Europa sollten nicht dem allgemeinen Hype von „AI for the sake of AI“ folgen, sondern sich gezielt mit den Möglichkeiten, Grenzen und Risiken von KI befassen. Dazu zählt auch anzuerkennen, in welchen Bereichen des KI-Stacks man u.U. bescheidener Erwartungen hinsichtlich des Aufschließens zu den US-amerikanischen Tech-Giganten hegen sollte. Zugleich gilt es, den Einsatz von

KI in einem breiten Spektrum von Anwendungsfeldern und unter Berücksichtigung bestimmter Anforderungen an KI (Vertrauenswürdigkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit, etc.) zu ermöglichen. Folgende Aspekte sind vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Expertenworkshops und der Länderanalysen von Bedeutung:

- **Eng begrenzte Perspektiven für Technologieführerschaft bei aktuellen KI-Basistechnologien und Grundlagenmodellen:** In der gegenwärtigen Phase der KI-Entwicklung mit der starken Fokussierung auf generative KI können weder Deutschland noch Europa den Anspruch erheben, zu den globalen Technologieführern in den wesentlichen KI-Basistechnologien und -modellen zu zählen. Die Bedingungen und Voraussetzungen für diese Art von Führungsrolle sind derzeit nicht gegeben. Es gibt zu wenige kapitalstarke Tech-Unternehmen, um in den KI-Basistechnologien wie GenAI auf ähnliche Weise reüssieren und rasch wachsen zu können, wie dies amerikanische oder chinesische Unternehmen getan haben und noch tun. In Europa insgesamt scheint lediglich Großbritannien hinreichend breit aufgestellt zu sein, um bei den grundlegenden Modellen sowie den Daten- und Recheninfrastrukturen den USA und China mit Abstand folgen zu können. Ähnlich sieht die Situation in Bezug auf die Entwicklung und Produktion von KI-Chips aus, bei denen US-amerikanische Konzerne wie NVIDIA nach wie vor führend sind.
- Neben der Schwäche bei der Mobilisierung von privatem und öffentlichem Kapitel ist es zudem unwahrscheinlich, dass sich die Politik in Deutschland oder Europa „techno-nationalistischen Instrumenten“ (Experte in Workshop 1) bedienen würde (z.B. deutliche Beschränkungen des Marktzugangs, sehr hohe Subventionen und Förderungen) anstatt sich auf marktwirtschaftliche Prinzipien zu verlassen. Zudem verläuft die Entwicklung in der aktuellen KI-Welle so rasant und die dominanten Technologie-Giganten wachsen so schnell, dass deutsche und europäische Unternehmen bei diesem Rennen kaum mithalten können und dementsprechend strategische Abhängigkeiten bestehen bleiben werden. Daran werden auch einzelne Ausnahmen nichts Grundsätzliches ändern, bei denen europäischen Firmen eine globale Schlüsselrolle einnehmen (z.B. ASML in den Niederlanden) oder die Entwicklung in KI-Schlüsselbereichen zumindest mitprägen (z.B. Mistral in Frankreich). Durch ein gemeinsames europäisches oder zumindest zwischen mehreren Ländern abgestimmtes Vorgehen steigt jedoch grundsätzlich die Wahrscheinlichkeit, dass in Zukunft auch wieder europäische Global Player entstehen können.
- **Grundlegende Forschung mit Blick auf die nächste KI-Welle fortsetzen:** Die Abhängigkeit von den großen US-amerikanischen KI-Unternehmen bei grundlegenden Large Language Modellen und GenAI ist ein Grund zur Sorge, und dies trotz deutscher und europäischer Stärken und hoher Potenziale im Bereich eigener KI-Forschung und vielfältiger KI-Anwendungen. Eine Strategie kann es hier sein, die deutsche und europäische Forschung zu stärken und eine Fokussierung auf zukunftsträchtige KI-Forschungsfelder vorzunehmen. Ziel sollte es sein, die Möglichkeiten für einen etwaigen Technologiesprung zu schaffen, der jenseits oder in Kombinationen mit dem derzeit dominierenden Generativen KI zu erwarten ist. Stichwörter sind hier hybrid AI oder embedded AI. Eine systematische Analyse sich andeutender Optionen und möglicher Zukunftspfade ist die Voraussetzung für eine zielgenaue Forschungsförderung. Auf die Politik bezogen, richtet sich eine derartige Zukunftsanalyse auf strategische Überlegungen, welche Maßnahmen jenseits des aktuellen GenAI-Booms notwendig sind und wie z.B. auf das von vielen erwartete Platzen der „AI Bubble“ reagiert werden sollte. Politische Entscheidungsträger sollten darüber nachdenken, welche Strategien nach dem Platzen der Blase notwendig sind und wie diese umgesetzt werden können.
- **Mehr Unabhängigkeit durch Unterstützung für Open Source KI-Modelle und -Algorithmen:** Um die Abhängigkeiten in der gegenwärtigen KI-Phase zu reduzieren, besteht eine weitere vielversprechende Option darin, stärker auf Open Source KI-Modelle zu setzen. Nicht zuletzt waren es die global offen zugänglichen Open Source KI-Algorithmen, die es China ermöglicht haben, relativ schnell den US-amerikanischen Vorsprung bei den Large Language Models aufzuholen (vgl. DeepSeek). Die Verfügbarkeit umfangreicher Daten zum Training der Modelle in China kam hinzu, speziell in Kombination mit dem Aufbau von Innovationsökosystemen in wichtigen Anwenderbranchen. Insofern kann die proaktive Beteiligung an und Unterstützung von Open Source KI-Modellen als Option zur

Stärkung der technologischen (und damit auch ökonomischen) Souveränität gewertet werden, die es auch Deutschland und Europa erlauben würde, einseitige internationale Abhängigkeiten zu mildern. Dass Open Source KI-Modelle außerdem dazu beitragen könnten, KI-Anwendungen transparenter zu machen und damit manche regulative Anforderung besser zu erfüllen als proprietäre Modelle, ist ein weiteres Argument für Open Source.

- **Einbettung von KI in Schlüsselbranchen und strategisch wichtigen Anwendungsfeldern:** Eine weitere generelle Empfehlung besteht darin, die Verknüpfung von KI-Basistechnologien mit verschiedenen Anwendungsbereichen voranzutreiben und hierfür entsprechende Innovationsökosysteme auf- und auszubauen. Dies ist ein Ansatz, der auch in zahlreichen Vergleichsländern explizit verfolgt wird. Dabei sind zwei Tendenzen zu beobachten: Zum einen wird die Anwendung von KI in heimischen industriellen Stärkefelder (z.B. Industrie 4.0, Energiesysteme, Landwirtschaft, Bauwesen, etc.) vorangetrieben, und dies häufig auch flankiert durch den Auf- und Ausbau regionaler Innovationsökosysteme (Bsp: Frankreich, Niederlande). Zum anderen fördern die meisten der betrachteten Länder den Einsatz von KI im öffentlichen Sektor, und zwar nicht zuletzt deshalb, weil in Feldern wie Bildung, Gesundheit, Mobilität und öffentliche Verwaltung zum einen ein hoher Nutzen durch den Einsatz von KI erwartet und zum anderen ein Potenzial für die Entstehung von Leitmärkten gesehen wird (z.B. Großbritannien, Frankreich, Estland, Österreich). Wichtig im Zusammenhang mit der Einbettung von KI in die verschiedenen Anwendungsdomänen ist die Beobachtung, dass große Sprachmodelle zunehmend zu so genannten *public commodities* werden. Für die Anwender ist der Zugang zu KI-Modellen zunehmend ein normaler Service, der verfügbar sein muss, aber wenig zur Differenzierung des Produkts oder der eigenen Dienstleistung beiträgt. Entscheidend ist die individuelle Anpassung und die Kombination mit eigenen Services. Perspektivisch könnte sich der Vorsprung der amerikanischen KI-Modelle also relativieren, sobald individuelle Anpassungen in den Vordergrund treten (siehe auch SWOT-Analyse Deutschland).
- **Ausbau von Rechenkapazitäten und Verbesserung des Datenzugang:** Für den Aufbau von Innovationsökosystemen in diesen spezifischeren Anwendungsbereichen gibt es wichtige technische Voraussetzungen, die gewährleistet sein müssen, insbesondere im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Rechenkapazitäten und Datenzugang. In beiderlei Hinsicht besteht sowohl in Deutschland als auch in Europa Nachholbedarf. Während es in Bezug auf Rechenkapazitäten derzeit Bewegung gibt und Kapazitäten aufgebaut werden sollen, nicht zuletzt durch die Anstöße seitens der EU-Kommission (vgl. AI Factories, Gigafactories), existieren in einigen Ländern (u.a. Deutschland und Österreich) Beschränkungen verschiedenster Art in Bezug auf Datenzugang und Datenaustausch. Dies betrifft nicht nur den öffentlichen Sektor, wo „red tape“ bei der Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Politikfeldern und -ebenen ein Hindernis darstellt, sondern auch die regulativen Rahmenbedingungen, denen der Privatsektor unterliegt. Hier geht es insbesondere um Vorgaben des Datenschutzes, die oftmals den Zugang zu Daten erschweren.
- **Unsicherheiten reduzieren:** Der vorangegangene Punkt verweist bereits auf die Problematik der Unsicherheit in Bezug auf die (regulativen) Rahmenbedingungen für KI. Es bestehen nach wie vor Unsicherheiten im Hinblick auf die Interpretation und Konkretisierung von regulativen Leitprinzipien (z.B. vertrauenswürdige KI) und die Umsetzung europäischer Rahmenrichtlinien (z.B. Verantwortlichkeiten für die Umsetzung des AI Act). Erst durch die Festlegung verlässlicher Rahmenbedingungen werden Unternehmen in die Lage versetzt, Investitionen in KI vorzunehmen und weitere komplementäre Maßnahmen zu setzen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass gerade zu Beginn der Einführung neuer Rahmenrichtlinien Raum und Zeit für regulatives Lernen gegeben werden muss, und zwar sowohl auf Seiten der Regulierungsbehörden als auch auf Seiten der regulierten Akteure.
- **Ausweitung der europäischen Zusammenarbeit:** Angesichts der Tatsache, dass KI erhebliche Investitionen in Rechenkapazitäten und ggf. zukünftige grundlegende Modelle erfordert, können einzelne, auch große Mitgliedsstaaten wie Deutschland die erforderlichen Summen für den Ausbau von KI-Infrastrukturen und KI-Forschung nicht alleine aufbringen. Die Ausweitung der europäischen Zusammenarbeit ist daher unabdingbar, und die Finanzierung der Gigafactories ein erster wichtiger

Schritt in diese Richtung, der zudem durch das Koppeln von Kapazitäten in verschiedenen Ländern weiter ausgebaut werden könnte. Aber auch bei der bereits genannten Etablierung von Open Source KI-Modellen wäre eine Zusammenarbeit und die Einigung auf gemeinsame Standards sinnvoll. Gleichermaßen gilt auch für verschiedene Anwendungsfeldern, in denen gemeinsame europäische Standards den Einsatz von KI zu beschleunigen helfen könnten. Darüber hinaus ist auch in Bezug auf das Ausrollen von KI-basierten Innovationen der bislang nur teilweise funktionierende europäische Binnenmarkt ein Problem, der das Wachstum der Branche mit nach wie vor erheblichen administrativen Hürden beschränkt, sich aber aufgrund der Fragmentierung der europäischen Finanzmärkte auch negativ auf die Dynamik der Entwicklung von Start-ups und insbesondere Scale-Ups auswirkt. Aufgrund des generischen Charakters von KI sind aber auch weitere EU-Politikfelder betroffen, in denen Anpassungen notwendig wären, um den Anforderungen und Bedürfnissen von KI gerecht zu werden, z.B. in den Bereichen der Wettbewerbspolitik und Handelspolitik.

- **Hin zu einer neuen Form missionsorientierter KI-Politik?** Mit Blick auf die Notwendigkeit eines abgestimmten Vorgehens zwischen öffentlichen und privaten Akteuren und dem Bedarf an einem kohärenten Policy Mix für KI drängt sich die Frage auf, ob missionsorientierte Politikansätze auch ein Modell für die KI-Politik wären. Missionsorientierung zeichnet sich durch abgestimmtes Handeln zwischen den beteiligten Politikfeldern und -ebenen sowie mit den nicht-staatlichen Akteuren und Stakeholdern aus. Allerdings sollten die Parallelen nicht zu weit gefasst werden. Denn im Gegensatz zu den in den letzten Jahren verfolgten gesellschaftlichen Missionen haben wir es bei KI mit einem hochdynamischen Feld zu tun, das mit großen technologischen Ungewissheiten behaftet ist. Hier ist die für die Missionsorientierung notwendige Ausrichtung auf klar definierte Leitziele nur in abgemilderter Form möglich. Neue, neue adaptive Governance-Modelle müssten speziell für KI-Missionen entwickelt werden.

2.2 Forschungs-, innovations- und industriepolitische Ansatzpunkte

Trotz der angesprochenen Skepsis in Bezug auf zu hochfliegende Erwartungen hinsichtlich einer führenden Rolle Deutschlands und Europas bei den derzeitigen KI-Basistechnologien gibt es zahlreiche Ansatzpunkte, um die mit der Entwicklung und Nutzung von KI verbundenen Chancen zur Verbesserung der Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und Europas zu nutzen. Die aufgeführten Optionen für die Forschungs- und Innovationspolitik (F&I) und die Industriepolitik basieren erneut auf Recherchen, die im Kontext der Erstellung der Länderfallstudien durchgeführt wurden sowie auf den Expertenbeiträgen auf den beiden Workshops:

- **Auf- und Ausbau von spezifischen KI-Innovationsökosystemen:** Große Potenziale bestehen in der Einbettung in und Verknüpfung von bestehenden industriellen Stärkefeldern der deutschen (und im weiteren Sinne auch der europäischen) Industrie. Voraussetzung hierfür ist allerdings der Ausbau von branchen- oder sektorspezifischen Innovationsökosystemen, um die für KI erforderlichen Elemente. Einige europäische Länder wie Frankreich, Finnland und die Niederlande setzen dabei sehr explizit auf den Ausbau regionaler und sektoraler Schwerpunkte („Innovationsökosysteme“). Analysiert man die verschiedenen Strategien im Hinblick auf ihre gemeinsamen Bestandteile, ergeben sich folgende sechs Säulen, die auch generell als Orientierung für die KI-Politik herangezogen werden können:
 - die Schaffung infrastrukturellen Voraussetzungen (d.h. Rechenkapazitäten),
 - die Unterstützung der Zusammenarbeit zwischen Forschung, Industrie und Anwendern,
 - die Verbesserung und Erleichterung des Datenaustauschs zwischen Branchen und zwischen Unternehmen, bzw. zwischen öffentlichem und privatem Sektor,
 - das Vorantreiben der Entwicklung der notwendigen Fähigkeiten und Fertigkeiten (d.h. mittels Qualifizierung und (Weiter-)bildung, Recruiting von Top KI-Forschern),

- die Förderung und Unterstützung neuer Tech Start-ups und KI-Dienstleister, die dann ihre neuen Technologien und Fähigkeiten bei der Entwicklung und dem Einsatz von KI-Lösungen in Anwendungsbranchen zum Einsatz bringen können und
- die Unterstützung und Anleitung von KMUs bei der Einführung und beim Einsatz von KI (z.B. über die AI Factories).

Good Practice Beispiele:

- In Finnland werden datenbasierte Modelle für intelligenten Dienste und Anwendungen zur Verfügung gestellt, um den Aufbau von Ökosystemen zu beschleunigen.
- Die regionalen AI-Hubs in den Niederlanden tragen KI in die Breite und in die Fläche.
- In Frankreich wurde die Fokussierung auf den Ausbau regionaler KI-Innovationsökosysteme zu einem Kernelement der zweiten Phase der KI-Strategie (2021-2025).
- In China werden so genannte Pilot Zones aufgebaut. Zudem sollen traditionelle Sektoren einem „KI-Upgrading“ unterzogen werden.

- **Entwicklung von länderspezifischen KI-Modellen:** Auch wenn die großen grundlegenden generativen KI-Modelle voraussichtlich die Domäne der US- und chinesischen Firmen bleiben werden, gibt es Spielräume für LLMs, die speziell auf sprachliche und kulturelle Bedingungen einzelner europäischer Länder zugeschnitten sind. Hierbei geht es darum, spezifischere Varianten von KI-Modellen zu entwickeln, für deren Training dann länderspezifische Daten und überschaubare Rechenkapazitäten benötigt werden, die nicht mit den Ressourcen vergleichbar sind, die für das Trainieren der generischen LLMs benötigt werden. Ziel ist es hierbei nicht nur, die Technologiesouveränität zu erhöhen, sondern auch, Modelle und Anwendungen zu entwickeln, die besser auf die lokalen Besonderheiten und Prozesse ausgerichtet sind.

Good Practice Beispiele:

- In den Niederlanden wird die Entwicklung eines offenen niederländischen GPT-NL Sprachmodells vorangetrieben.
- Mistral AI in Frankreich verfolgt einen Open-Source-Ansatz und will eine wettbewerbsfähige Alternative zu den US-amerikanischen Modellen aufbauen.
- Teuken-7B wurde in Deutschland als Open Source im Rahmen des Forschungsprojekts OpenGPT-X entwickelt.
- AI Sweden entwickelt GPT-SW3 mit Fokus auf die nordischen Länder, insbesondere Schweden.
- OpenEuroLLM ist ein EU-gefördertes Projekt zur Entwicklung mehrsprachiger, transparenter LLMs für europäische Sprachen und Standards.

- **KI-Pilot- und Leitmärkte im öffentlichen Sektor entwickeln:** Durch das Vorantreiben von KI-Anwendungen im öffentlichen Sektor können Leitmärkte geschaffen werden, die auch unmittelbar durch die Verbesserung öffentlicher Leistungen den jeweiligen Ländern zugutekommen, insbesondere in den Bereichen Gesundheit, Mobilität, Energieversorgung und öffentliche Verwaltung. Großbritannien und Frankreich verfolgen diesen Ansatz sehr explizit, aber auch Schweden (insbesondere im militärischen Bereich) und Estland (insbesondere für die öffentlichen Verwaltung) sind hier aktiv. Öffentliche Beschaffung spielt dafür neben dem Schaffen von Experimentierräumen für Pilotanwendungen eine große Rolle. Voraussetzung für den Erfolg eines solchen Ansatz ist jedoch die Öffnung und Erleichterung des Datenzugangs, und zwar sowohl im privaten als auch im öffentlichen Sektor. Sektorale und nationale Datensätze mit geregelten Zugangsmodalitäten sind hierfür notwendig.

Good Practice Beispiele:

- Frankreich hat in der nun dritten Phase seiner KI-Strategie (seit 2025) die Anwendung von KI in verschiedenen Bereichen des öffentlichen Sektors zu einer Priorität erklärt.
- Großbritannien verfolgt bereits seit einigen Jahren die Strategie, öffentliche Dienstleistungsbereiche durch den Einsatz von KI zu modernisieren und effizienter zu machen sowie diese gleichzeitig zu Pilotmärkten für heimische Anbieter zu machen. Priorität in der Strategie.
- Estland ist seit vielen Jahren führend bei der Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung und deren Dienstleistungen und treibt auch die den Einsatz von KI-basierten Lösungen voran.
- Schweden hat einen Schwerpunkt beim KI-Einsatz im militärischen Bereich.
- In den USA spielt öffentliche Beschaffung eine große Rolle für die Schaffung von Leitmärkten, und dies auch über den militärischen Bereich hinaus.

- **Engere und schnellere Verzahnung von Forschung und Umsetzung:** In Deutschland dominiert bislang ein eher traditioneller Ansatz beim Transfer von KI-Forschung in die Praxis. KI-Technologien erfordern jedoch deutlich schnellere und agilere Transfermechanismen, um Innovationen effizient in die Anwendung zu bringen. Ein experimenteller Zugang zum Thema Transfer scheint notwendig. Es gilt, neue Konzepte und Instrumente zu entwickeln, die eine Balance zwischen planerischem Vorgehen und experimentellem Ausprobieren ermöglichen. Eine Voraussetzung für die Umsetzung neuer Transfermodelle ist es, dass die technischen Infrastrukturen bereitstehen und die entsprechenden Modelle verfügbar sind. Eine wichtige Rolle spielt auch die öffentlich-private Zusammenarbeit: Partnerschaften und Netzwerke zwischen Wissenschaft, Industrie und öffentlicher Hand sind zentral, um gemeinsam Standards, Tools und vertrauenswürdige Ökosysteme für sichere und transparente KI zu entwickeln.

Good Practice Beispiele:

- In den Niederlanden wird der Top Sector Ansatz auch in Bezug auf KI verfolgt. Das Zusammenspiel der Forschung, Anbietern von KI-Lösungen und Anwendern wird über die AI Coalition gesteuert, die auch bei der Entwicklung von Regulierungen mitwirkt.
- Die AI Factory in Österreich (AI:AT) hat neben dem Aufbau von Infrastruktur insbesondere auch KMUs bei der Einführung und Nutzung von KI zu unterstützen.
- Der Scan-Pilot-Scale Ansatz in Großbritannien ist ein vielversprechender Versuch, den Umsetzung von KI in der Praxis zu systematisieren und zu beschleunigen.
- Indien versucht mit der Bereitstellung von KI-Förderungen „aus einer Hand“ über eine Missionsagentur den Unternehmen den Zugang und die Förderung von KI zu erleichtern.
- KI-Zentren in Deutschland gelten als gutes Beispiel dafür, wie der Transfer von KI zu KMUs funktionieren kann. Diese KI-Zentren sind jedoch auf bestimmte Regionen beschränkt, ihre Wirkung bleibt lokal.

- **Gründungs- und Wachstumsdynamik von KI-Unternehmen beschleunigen:** Auch wenn die rasche Verfügbarkeit von Risikokapital speziell für die Wachstumsphase von neugegründeten Unternehmen ein generelles Problem in Europa ist, nicht zuletzt verursacht durch die – trotz Binnenmarkt – starke Zersplitterung der Finanzmärkte, stellt es eine besondere Herausforderung für den sich extrem rasch entwickelnden KI-Bereich dar. Von öffentlicher Seite gibt es zwar auch in Deutschland zahlreiche Gründungsförderungen, aber es herrscht eine große Heterogenität von Formaten und Modellen auf Länderebene. Diese Zersplitterung der Förderlandschaft ist im Falle von KI problematisch und wird verstärkt durch aufwändige Verfahren und bürokratische Hürden, die in Deutschland generell als zu hoch angesehen werden. Zwar gibt es in einigen Bundesländern Initiativen, Start-ups zu unterstützen und auch Finanzierungsrunden zu begleiten oder über Events und Netzwerke Gründer mit Investoren zu vernetzen. Generell gibt es aber zu wenig Abstimmung zwischen den Ländern und mit dem Bund. Das Problem des fehlenden Risikokapitals, speziell bei der Mobilisierung größerer Volumina für einzelne Unternehmen ist auch aus anderen Technologiebereichen bekannt. Für die Unterstützung von Start-ups

und KMU im Bereich KI ist es zentral, niedrigschwellige Finanzierungsprogrammen für den Transfer und die Umsetzung von KI-Projekten breitzustellen.

Good Practice Beispiele:

- Die Unterstützung von Start-ups und KMU spielt im KI-Förderportfolio von Finnland eine große Rolle. Über sie soll die Umsetzung von KI in der Breite sichergestellt werden.
- Unterstützt durch nationale Programme fokussieren in China einige Städte gezielt auf die Unterstützung von Start-up Clustern und Ökosystemen, über die den Firmen Infrastrukturen, Daten und Training-Plattformen zugänglich gemacht werden. Außerdem unterliegen sie weniger Regulierungen als etablierte Unternehmen.
- In Österreich wird über eine niederschwellige Förderung der erstmalige Einsatz von KI in Unternehmen gefördert, um ihnen den Einstieg in die KI-Welt zu erleichtern.
- Die 2025 in Großbritannien etablierte UK Sovereign AI Unit investiert direkt in Start-ups und ermöglicht den Zugang zu Datenquellen, vermittelt talentierte KI-Experten und stellt Kontakte zu Stakeholdern und Nutzern her.

- **Auf- und Ausbau personeller Kapazitäten in Forschung und Anwendung:** Die meisten untersuchten Länder investieren gezielt in den Aufbau (z.B. Talentförderung) und den Ausbau (z.B. durch Weiterbildungsprogramme) und das Anziehen von Talenten und Top KI-Experten aus dem Ausland, um die Kompetenzbasis für KI zu konsolidieren. Dabei geht es sowohl um reine KI-Fachkräfte als auch um Experten, die ihre KI-Expertise in verschiedenen Anwendungsfeldern zum Einsatz bringen können, aber ebenso um Fragen des internationalen Recruiting, der Aus- und Weiterbildung und der Bindung von international mobilen Fachkräften.

Good Practice Beispiele:

- In Frankreich wurde bereits 2018 damit begonnen, die Bildung und Ausbildung von Fachkräften durch die Einführung neuer Studiengänge und spezialisierter Bildungsprogramme in Data Science, Machine Learning und KI zu stärken.
- Großbritannien versucht im Rahmen des AI Talent Scholarship Programm, gezielt Experten auf dem globalen Fachkräftemarkt zu rekrutieren.
- Die Niederlande konzentrieren sich sowohl auf die KI-Talentförderung als auch auf die dauerhafte Bindung talentierter KI-Entwickler (u.a. durch nachhaltige Investitionen in die KI-Forschung), um einen Braindrain zu verhindern.

- **Bündelung europäischer und nationaler Ressourcen:** Von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen (z.B. ASML), kann kaum einer der europäischen Mitgliedsstaaten eine globale Führungsrolle in KI beanspruchen, bzw. nur in ausgewählten Anwendungsfeldern, in der KI-Kompetenz mit bestehenden Stärken gekoppelt wird. Über die Bündelung von nationalen und europäischen Ressourcen können aber die erforderlichen Investitionsvolumina, beispielsweise für Recheninfrastrukturen (vgl. AI Factories, Gigafactories) und sektorale KI-Initiativen, aufgebracht werden, um die Entwicklung und Anwendung von KI voranzutreiben. Zudem bieten die verschiedenen europäischen Förderprogramme die Möglichkeit, nationale KI-Strategien und Initiativen zu verstärken. Diesbezüglich haben einige EU-Mitglieder in den letzten Jahren sehr erfolgreich ihre nationalen Anstrengungen durch europäische Förder- und Finanzierungsmöglichkeiten verstärkt; eine Option, die auch von Deutschland stärker genutzt werden sollte.

Good Practice Beispiele:

- Finnland hat den im Zuge der COVID-19 Pandemie etablierten Recovery and Resilience Fund (RRF) gezielt genutzt, um seine Innovationsanstrengungen im Bereich der Digitalisierung und damit auch in KI zu stärken.

- In den Niederlanden wurden bewusst Synergien mit europäischen Programmen wie Next Generation EU gesucht, um nationale KI-Initiativen (z.B. das AiNed Programm) zu verstärken.
- Frankreich hat gezielt Synergien mit Horizon Europe, Digital Europe und Strukturfonds zu nutzen versucht, um seine KI-Schwerpunktinitiativen zu verstärken.

2.3 Ansatzpunkte für Regulierung und Governance

Seit der Verabschiedung des AI Acts der EU 2024 wird über die Auswirkungen der Regulierung von KI auf den Standort Europa und auf Deutschland diskutiert. Die grundsätzliche Notwendigkeit, KI entsprechend einzuhegen und negative Effekte zu verhindern, wird dabei meist nicht bestritten. Strittig sind Regulierungstiefe und Regulierungsdetails sowie die Bereitstellung regulatorischer Kapazitäten. Ein starkes Argument, das immer wieder gegen eine zu starke europäische Regulierung vorgebracht wird, ist, dass KI-Systeme dann anderswo entwickelt werden und mit entsprechenden Modifikationen in Europa zur Anwendung kommen, aber den Herstellern in den USA oder in China die entsprechenden Gewinne verschaffen.

Bevor auf Ansatzpunkte für eine effiziente nationale Umsetzung der Regulierungsvorgaben des AI Acts und auf die Governance-Strukturen generell eingegangen wird, sollen zunächst erwartete innovationshemmende bzw. innovationsfördernde Auswirkungen des AI Acts aufgelistet werden (Box 5.1). Grundlage für die Aufzählung sind die Expertenbeiträge beim zweiten Expertenworkshop im September 2025.

Box 5.1: Auswirkungen des AI Act auf Innovation

Innovationshemmende Effekte des AI Act

- **Hindernis für die Wettbewerbsfähigkeit:** Einige Experten betrachten den AI Act als Hindernis für Innovationen, wenn Europa Produkte entwickeln will, die auf dem internationalen Markt mit denen aus Regionen wie China und den USA konkurrieren können, in denen möglicherweise weniger strenge Vorschriften gelten.
- **Belastung durch Vorschriften:** Hohe Compliance- und Dokumentationsanforderungen können Innovationszyklen verlangsamen, insbesondere für Start-ups und KMU, denen es oft an Ressourcen mangelt. Dies kann ihre Fähigkeit zu schnellem Wachstum im Vergleich zu weniger regulierten Märkten im Ausland einschränken.
- **Unsicherheit durch schrittweise Einführung der Regeln:** Eine schrittweise Umsetzung des AI Acts und sich weiterentwickelnde Vorschriften führen zu Unsicherheit und uneinheitlicher Umsetzung, wodurch die Umsetzung von Innovationen potenziell erschwert wird. Diese phasenweise Umsetzung wird als potenzielles Hindernis für Investitionen angesehen; das regulatorische Umfeld wird als restriktiv oder risikoscheu wahrgenommen, was den Zufluss von Risikokapital gefährdet. In diesem Zusammenhang wird aktuell ein Moratorium für die Umsetzung des KI-Gesetzes zum Zwecke des Lernens und Experimentierens diskutiert. Dadurch soll Unternehmen mehr Zeit und Raum gegeben werden, um Erfahrungen mit der Umsetzung von KI zu sammeln. In dieser Zeit könnten sie sich auf die Anforderungen einstellen, potenzielle Nachteile identifizieren und feststellen, was wirklich für sie relevant ist und welche Prozesse sie entsprechend umstellen müssen, bevor die vollständige Regulierung in Kraft tritt.
- **Übermäßige nationale Fragmentierung („Gold Plating“):** Es wird befürchtet, dass nationale KI-Gesetze zusätzlich zum AI Act oder „nationale Mini-AI Acts“ die Gefahr einer Fragmentierung des Binnenmarkts bergen und dadurch Innovation und Investitionen behindern. Eine zu detaillierte, zu frühzeitige Regulierung wird ebenfalls als Nachteil für den Standort Europa angesehen.
- **Defensives, risikoaverses Verhalten:** Unternehmen, insbesondere größere, neigen in einem komplexen Regulierungsumfeld dazu, äußerst vorsichtig zu sein, um keine Compliance-Verstöße zu riskieren. Dies führt dazu, dass sie es vermeiden, Neues auszuprobieren, was Innovationen prinzipiell verlangsamt.
- **Fokus auf Prozesse statt auf die Mission:** Durch die Notwendigkeit, Systeme gesetzeskonform zu entwickeln und einzusetzen, gewinnen in einem umfangreichen Regulierungsumfeld oftmals Prozesse Vorrang vor einer klaren Ausrichtung auf die eigentliche Mission. Dies betrifft auch die Politik selbst, denn der Fokus auf Regulierung führt auch dazu, dass industriepolitische Missionen in den Hintergrund geraten können.

Innovationsfördernde Effekte des AI Act

- **Vertrauenswürdigkeit als Wettbewerbsvorteil:** Robuste und vertrauenswürdige KI für kritische Anwendungen und industrielle Prozesse können ein Wettbewerbsvorteil sein und zu einem eigenen Geschäftsmodell werden, ähnlich wie die DSGVO zu einem Vertrauensfaktor in Kommunikationsdiensten geworden ist.
- **Gestaltung ist möglich:** Der AI Act sendet, auch wenn sich die Technologie rasant weiterentwickelt, ein Signal, dass Technologie gestaltet und in ihren Auswirkungen beeinflusst werden kann. Europas Fokus auf Open Source und Standards wird als potenzielle Nische und als ein anderes, nachhaltigeres Modell im Vergleich zum Ansatz „je größer, desto besser“ angesehen.
- **Unterscheidung zwischen ethischer und schädlicher KI:** Nicht jede KI ist nützlich, und ein Großteil davon eignet sich für Dual Use. Die Regulierungsmaßnahmen verweisen auf die wirklichen Probleme, die in Europa gelöst werden müssen. Darüber hinaus gibt es eine Debatte, ob man mit Produkten konkurrieren soll, die auf Daten basieren, die das Urheberrecht nicht respektieren oder für schädliche Zwecke verwendet werden.
- **Robustheit, Transparenz, Vertrauenswürdigkeit als Schlüsselemente:** Investitionen in die Forschung zur Entwicklung von KI-Systemen mit Schwerpunkt auf Robustheit, Transparenz und

- Vertrauenswürdigkeit können Europa helfen, bei Zukunftstechnologien eine Führungsrolle zu übernehmen, auch wenn es bei der generativen KI hinterherhinkt.
- „**Compliance by Design**“: Die Unterstützung von „Compliance by Design“ in der technischen Infrastruktur, bei Prozessen und Methoden führt dazu, dass KI-Modelle leichter zu testen sind und dass sich die Markteinführungszeit (Time to Market) verkürzt. Sobald vollständig AI Act-rechtskonforme Basismodelle zur Verfügung stehen, können Innovatoren neue Dienstleistungen und Produkte entwickeln und so effektiv neue Werte schaffen.

Aus den Fallstudien und aus Anregungen der Experten in den beiden Workshops ergeben sich eine Reihe von Punkten, die für eine effiziente nationale Umsetzung der Regulierungsvorgaben des AI Acts in Betracht gezogen werden sollten:

- **Ausbau der kooperativen Entwicklung „harmonisierter Standards“ für vertrauenswürdige KI:** Der AI Act der EU sieht vor, dass bis zum Herbst 2026 so genannte harmonisierte Standards zur Verfügung stehen, die Unternehmen und Organisationen als Vorlage für die Umsetzung von vertrauenswürdiger KI nutzen können. Das AI Office der Europäischen Kommission arbeitet zusammen mit den Normungsstellen CEN und CENELEC aktuell an diesen Standards, die sukzessive ergänzt und erweitert werden sollen. In Deutschland wird die Bundesnetzagentur (BNA) die Zuarbeiten für die Standardisierung koordinieren. Für die konkrete Umsetzung des AI Acts in Unternehmen und Organisationen sind diese zu entwickelnden Standards sehr wichtig. Deshalb sollte die BNA hierbei eine proaktive Rolle einnehmen und Projekte und Kooperationen mit Unternehmen, Verwaltungen und der Forschung initiieren, um praktische Erfahrungen mit der Umsetzung des AI Acts vor Ort systematisch aufzuarbeiten und in den europäischen Standardisierungsprozess einzubringen. Hierfür braucht es entsprechende Expertise bei der BNA, Raum für Experimente und ein Budget für Projekte und deren Koordination.

Good Practice Beispiele:

- Großbritannien verfolgt eine „light touch“ bei der KI-Regulierung, der flankiert wird von gut ausgebauten Kapazitäten und Kompetenzen auf Seiten der Regulierungsbehörden, die KI-Entwickler und -Anwender qualifiziert beraten können.
- In Österreich wurden explizite Guidelines für den ethischen Einsatz von KI in der öffentlichen Verwaltung entwickelt, die inzwischen einen de facto Standard darstellen.
- **Neujustierung der Balance zwischen Datenschutz und Datenzugang/Datenteilen:** Bereits mehrfach wurde die Notwendigkeit angesprochen, Daten für das Training von KI-Modellen verfügbar zu machen. Daten stellen einen zentralen Erfolgsfaktor für KI-Innovationssysteme dar. Allerdings stellt der strenge Datenschutz in Deutschland eine Hürde für das Datenteilen dar, so dass ein wichtiger Baustein für eine erfolgreiche KI-Entwicklung fehlt. Gleichzeitig gibt es in Deutschland viele Aktivitäten, die das Ziel verfolgen, anonymisierte Daten über Datenplattformen (data spaces) zur Verfügung zu stellen. Tatsächlich ist die Liste dieser Aktivitäten lang und reicht vom Aufbau eines Dateninstituts Deutschland, das sektorenübergreifend Dateninfrastrukturen koordinieren, Datennutzung fördern und Datentreuhänder sowie Datenökosysteme etablieren soll über das Forschungsdaten- und Gesundheitsdatennutzungsgesetz bis hin zur Förderung von Projekten zur Etablierung sektoraler Datentreuhänder und sektorübergreifender Datenökosysteme durch die Bundesregierung. Die Empfehlung lautet, diese Aktivitäten mit Nachdruck weiter zu betreiben und auszubauen. Einen künftigen Schwerpunkt könnte die Förderung von Federated Learning darstellen, denn mit Federated Learning können Daten quer über Organisationen verknüpft und organisatorische Silos aufgebrochen werden. Auch die Datenschutzbehörden sollten sich aktiv einbringen und z.B. Protokolle für den Datenaustausch entwickeln, damit personenbezogene Daten im Gesundheitswesen und in anderen Sektoren verwendet werden können. Darüber hinaus könnte die Bundesregierung Behörden auf allen Ebenen anweisen, nichtsensible Daten in offenen Registern zu veröffentlichen. Die Umsetzung einer an das KI-Zeitalter

angepassten Datenpolitik mit Data-Sharing-Plattformen, Datentreuhändern und Open-Data-Projekten ist für die KI-Entwicklung in Deutschland von zentraler Bedeutung.

Good Practice Beispiele:

- Frankreich ist aktiv beteiligt an zahlreichen europäischen Datenrauminitiativen, die durch den European Data Innovation Board (EDIB) unterstützt werden.
- In den Niederlanden werden in einer Transparenzdatenbank Informationen zu algorithmischen Entscheidungssystemen gesammelt, die im öffentlichen Dienst eingesetzt werden. Und es werden in verschiedenen Branchen digitale Plattformen und Datenökosysteme aufgebaut, die den sicheren und kontrollierten Austausch von Daten ermöglichen, wie beispielsweise in den Bereichen Gesundheit, Mobilität und Landwirtschaft.
- Großbritannien verfolgt eine Vielzahl verschiedener Initiativen zur Bereitstellung öffentlicher und privater Daten, insbesondere für Forschungszwecke, aber beispielsweise auch zur Unterstützung von Start-ups.

Neben Ansatzpunkten für eine effiziente Implementierung von Regulierungsvorgaben haben sich in unserer Analyse auch Aspekte herauskristallisiert, die sich generell auf Governance-Strukturen beziehen, d.h. bei denen es darum geht, besseren Abstimmungsergebnissen und mehr Kohärenz zu erreichen. Hierbei handelt es sich um folgende Punkte:

- **Klärung der institutionellen Zuständigkeiten für spezifische Regulierungen (horizontale vs. vertikale KI-Regulierung):** Der AI Act stellt eine Form der horizontalen Regulierung dar, d.h. er legt einheitliche und sektorübergreifende Regeln für alle KI-Systeme fest, unabhängig davon, in welchem Wirtschafts- oder Anwendungssektor sie eingesetzt werden. Da es in vielen Anwendungsfeldern, wie z.B. der Medizintechnik, dem Pharmabereich, dem Finanzbereich oder bei kritischen Infrastrukturen bereits eigene Regulierungs- und Aufsichtsstrukturen gibt, besteht die Befürchtung der Doppelregulierung. Einige Länder, wie z.B. Finnland oder Schweden begegnen dieser Situation, indem sie die Implementierung der Vorgaben des AI Acts in bestehende vertikale Regulierungsstrukturen einbetten. Tatsächlich kann es sinnvoll sein, bestehende vertikale Vorschriften im Hinblick auf die Vorgaben des AI Acts zu überprüfen, um festzustellen, wo spezifische KI-Erweiterungen erforderlich sind, anstatt eine neue zentrale Aufsichtseinheit zu schaffen. In Deutschland scheint die Entscheidung für eine einheitliche Aufsicht gefallen zu sein, die bei der Bundesnetzagentur angesiedelt sein soll. Dennoch bleibt der vertikale Ansatz auch in Deutschland weiter in der Diskussion. Wir empfehlen, jene Bereiche aus der zentralen Regulierung durch die BNA zu entlassen, die eigene Strategien zur Umsetzung des AI Acts für ihren jeweiligen Bereich vorlegen und Kapazitäten vorweisen können, diese auch umzusetzen.

Good Practice Beispiele:

- Schweden verfolgt eine domänenspezifische Integration in bestehende sektorale Aufsichtsbehörden (z.B. Gesundheitsaufsicht)
- Die Umsetzung des AI Act erfolgt in Finnland domänenspezifisch. Eingebunden sind bestehende Sektoraufsichtsbehörden – etwa für Energie, Verkehr, Kommunikation und Gesundheit.

- **Ausbau ressortübergreifender und Stakeholder-Plattformen für die Abstimmung KI-bezogener Initiativen:** In mehreren europäischen Ländern wird der Ansatz verfolgt, Plattformen und Netzwerkstrukturen zu etablieren, über die Maßnahmen verschiedener Politikfelder ebenso wie die Beiträge von KI-Akteuren auf der Basis gemeinsamer Strategien abgestimmt werden. Dies dient der Beschleunigung und der Verbesserung der Kohärenz von Maßnahmen im Bereich der F&I-Förderung, bei größeren investiven Vorhaben oder auch der Umsetzung von Regulierungen. Forschung und Anwendung auf (halb-)autonome Plattformen setzen. Die niederländische Top Sector Plattform Netherlands AI Coalition ist ein gutes Beispiel für diese Drehscheibenfunktion. Das chinesische Modell mehrjähriger industrie-politischer Planung mag nur schwerlich auf Deutschland und Europa übertragbar sein, aber es

unterstreicht die Bedeutung eines abgestimmten Vorgehens sowohl zwischen verschiedenen KI-relevanten Politikfeldern und -ebenen als auch zwischen öffentlichem und privatem Sektor. In mehreren Ländern hat sich außerdem gezeigt, dass die Beteiligung verschiedener Ministerien an der KI-Politik notwendig ist, es zugleich aber einer zentralen koordinativen Verantwortlichkeit und Federführung in einem Ministerium bedarf, um ein abgestimmtes Vorgehen seitens der Politik zu gewährleiten.

Good Practice Beispiele:

- Die Top Sector AI-Coalition in den Niederlanden dient als Kooperations- und Koordinationsforum für eine „Koalition der Willigen“ aus Forschung, Industrie und Zivilgesellschaft, das auch in engem Austausch mit den für KI zuständigen Ressorts, Agenturen und Regulierungsbehörden steht.
- Finnland hat ein klar definiertes Modell zur Abstimmung und kohärenten Arbeitsteilung zwischen den relevanten Ministerien etabliert.
- In Österreich gilt grundsätzlich das Prinzip der Ressortverantwortlichkeit, in Bezug auf KI wurde aber eine zentrale Leitfunktion für digitale und KI-Agenden am Bundeskanzleramt etabliert.
- Die erst kürzlich in Indien etablierte India AI Mission bündelt Maßnahmen und Initiativen über den gesamten KI-Stack hinweg und fungiert als missionsorientierte Drehscheibe für die öffentliche-private Zusammenarbeit.

- **Entwicklung effektiver Formen der Abstimmung zwischen nationaler und regionaler Ebene:** Die Problematik der horizontalen Koordination zwischen Ressorts und zwischen Stakeholdern wird noch ergänzt durch die Abstimmungsbedarfe zwischen nationaler und regionaler Politik. Gerade in föderal organisierten Ländern wie Deutschland oder Österreich kann es sonst zu einer unüberschaubaren Vielfalt von Initiativen kommen. Hier bedarf es der Klarheit, was nationale und was regionale Verantwortlichkeiten in Bezug auf KI sein sollen.

Good Practice Beispiele:

- In den Niederlanden wurden dezentral sieben regionale AI-Hubs errichtet, die eng in die Strategien der Top Sector AI Coalition eingebunden sind.
- In Frankreich konzentrieren sich die regionalen Initiativen vor allem auf den Ausbau von Innovationsökosystemen, zumeist angesiedelt im Umfeld von Schwerpunktindustrien wie z.B. Mikroelektronik, Luft- und Raumfahrt oder digitale Wirtschaft.

- **Eindämmung der Fragmentierung bei der Umsetzung europäischer Regulierungen:** Das Europäische Modell zur KI-Regulierung strebt eine Balance zwischen wertebasiertem und verantwortlichem Zugang an, enthält gestufte und flexible Anforderungen und versucht, Stabilität und Verlässlichkeit zu gewährleisten. Die Verankerung der Regulierung in demokratischen Grundrechten und Rechtsstaatlichkeit schafft Vertrauen und bietet einen verlässlichen rechtlichen Rahmen. Zugleich führt die Umsetzung in nationales Recht und nationale Strukturen zu einer Fragmentierung der Regulierungslandschaft in Europa, bei der einzelne Länder stärker zu kleinteiligen Regulierungen tendieren, andere wiederum flexiblere Regelungen mit mehr Verhandlungsspielraum etablieren. Auch wird mit unterschiedlichen organisatorischen Modellen gearbeitet (zentral vs. dezentral), und die Kapazitäten zu Unterstützung von KI-Anbietern und -nutzern sind unterschiedlich gut ausgebaut. Experimentierräume („regulatory sandboxes“) dienen der Weiterentwicklung und Anpassung der bestehenden Regulierungen. Letztlich führt dies trotz eines einheitlichen europäischen Regulierungsrahmens zu einer fragmentierten Regulierungslandschaft in Europa, deren Kosten letztlich von KI-Entwicklern und -Anwendern getragen werden müssen, wenn sie im europäischen Binnenmarkt tätig sein wollen. Hierzu trägt außerdem bei, dass das europäische AI Office nur mit sehr geringen Kapazitäten ausgestattet ist und dementsprechend seinen Aufgaben im Hinblick auf die Vermeidung von zu großer Fragmentierung nicht nachkommen kann.

Good Practice Beispiele:

- Großbritannien fällt zwar nicht unter EU-Regulierungen, hat aber mit seinem „light-touch“ Modell und dem Aufbau starker Kapazitäten in den Regulierungsbehörden ein alternatives Modell zu jenem der EU entwickelt.
- In den Niederlanden wurde auf eine schnelle Umsetzung der EU Regularien gesetzt, um rasch verlässliche Rahmenbedingungen für die KI-Entwickler zu setzen.
- Das in Spanien pilotierte Modell für „regulatory sandboxes“ im KI-Bereich wird gezielt zur Weiterentwicklung von Regulierungen genutzt.

3 LITERATUR

AI Index Report (2025): Annual AI Index Report 2025 published by the AI Index Steering Committee of the Institute for Human-Centered AI. Stanford University, CA. <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-ai-index-report>

Andrulis, Jonas (2025): „In 12 Monaten will keiner mehr Deepseek R1 verwenden.“ Interview mit Alexander Wulfers in der FAZ, 3. Februar.

Applied AI (2025): German AI Startup Landscape 2024. 31. Juli, www.appliedai-institute.de/hub/2024-ai-german-startup-landscape

applied AI/ TU München (2024): Künstliche Intelligenz für den regionalen Mittelstand. Erfahrungen aus zwei Jahren KI-Transfer Plus. Abschlussbericht Programm 2021-2023, 23. Juni, www.ki-transfer-plus.de/assets/files/Abschlussbericht_KI-Transfer-Plus_Final.pdf

Beckert, Bernd; Kroll, Henning (2024): Definition of the research and innovation field "Artificial Intelligence" and approaches to determining quality. Fraunhofer ISI Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis No. 88. Karlsruhe: Fraunhofer ISI, November.

Bitkom (2024): Rechenzentren: Deutschland verliert den Anschluss. Pressemeldung vom 21. November, www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Rechenzentren-Deutschland-verliert-Anschluss.

BMBF; BMWK (2024): KI-Rechnerinfrastruktur in Deutschland: Kapazitäten, Bedarfe, Maßnahmen. Mai, www.elektronikforschung.de/dateien/bericht-ki-rechnerinfrastruktur-2024-05-web.pdf

Boston Consulting Group (2018): How Diverse Leadership Teams Boost Innovation. January 23, www.bcg.com/publications/2018/how-diverse-leadership-teams-boost-innovation

Doan, Raphaël; Levy, Antoine; Storchan, Victor (2025): Financing Infrastructure for a Competitive European AI. Authors, Groupe d'Etudes Géopolitiques, Feb 10, 2025, <https://geopolitique.eu/en/2025/02/10/financing-infrastructure-for-a-competitive-european-ai>.

Donnelly, Caroline (2025): EU sets out plans to ‘at least’ triple its AI datacentre capacity over the next seven years. In: Computerweekly.com, 9. April, www.computerweekly.com/news/366622165/EU-sets-out-plans-to-at-least-triple-its-AI-datacentre-capacity-over-the-next-seven-years.

Döring, Sabine; Schölkopf, Bernhard (2023): Noch ist es für uns nicht zu spät in der KI. Was Europa jetzt tun muss. Und wieso es nicht zu stark abhängig werden darf. In: FAZ, 6. Oktober.

eco (2025): Startschuss für LEAM im Rheinischen Revier: Strukturwandel trifft KI. Pressemeldung vom 3. Juli des Verbandes der internetwiertschaft eco, www.eco.de/presse/startschuss-fuer-leam-im-rheinischen-revier-strukturwandel-trifft-ki/

EU (2025): AI Act, European Commission, DG Connect, June, <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>.

European Commission (2025): EU launches InvestAI initiative to mobilise €200 billion of investment in artificial intelligence. Press release of 11 February 2025, Paris,
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/en/ip_25_467/IP_25_467_EN.pdf.

Floridi, Luciano; Buttaboni, Carlotta; Hine, Emmie et al. (2025): Open-Source AI made in the EU: Why it is a Good Idea, March 24 <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5191372>

Fokuhl, Josefine; Klöckner, Jürgen (2023): KI-Aktionsplan: Stark-Watzinger will „KI-Wirtschaftswunder entfesseln“ In: Handelsblatt vom 7. November, www.handelsblatt.com/politik/deutschland/kuenstliche-intelligenz-ki-aktionsplan-stark-watzinger-will-ki-wirtschaftswunder-entfesseln-/29486438.html

Freytag, Bernd (2025): SAP fordert Neustart der Digitalisierung. In: FAZ, 29. Januar.

Grolle, Johann (2025): Das Cyber Valley im Neckartal. In: Speigel 54, Januar

Handelsblatt (2025): US-Techkonzerne weiten massive KI-Investitionen aus. Meldung vom 7. Februar, www.handelsblatt.com/technik/ki/amazon-microsoft-meta-und-google-us-techkonzerne-weiten-massive-ki-investitionen-aus/100106329.html.

Hülsbeck, Marcel (2011): Wissenstransfer deutscher Universitäten. Wiesbaden: Gabler Springer.

Hussler, Caroline (2004): Culture and knowledge spillovers in Europe: New perspectives for innovation and convergence policies? In: Economics of Innovation and New Technology, 13 (6), pp. 523 – 541.

Ifo Institut (2024): Künstliche Intelligenz (KI): Verbreitung, Anwendung und Hindernisse in Deutschland. Projekt im Auftrag der Industrie- und Handelskammer für München und Oberbayern. Ifo: München, www.ifo.de/projekt/2024-03-01/kuenstliche-intelligenz-in-deutschen-unternehmen.

IW Consult (2023): Der digitale Faktor — Wie Deutschland von intelligenten Technologien profitiert. Köln, IW Consult Studie im Auftrag von Google, <https://der-digitale-faktor.de>

IW Consult (2025): Wie wird KI die Produktivität in Deutschland verändern? IW Consult Gutachten für den Gemeinschaftsausschuss der Deutschen Gewerblichen Wirtschaft, www.iwkoeln.de

KI-Bundesverband (Hrsg.) (2023): KI Start-ups und Wissenschaft. Studie des KI-Bundesverbandes in Kooperation mit K.I.E.Z. by Science & Startups, dem Hessischen Zentrum für KI (hessi-an.AI), dem InfAI und consider it. <https://ki-verband.de/studie-ki-startups-und-wissenschaft/>

Klöckner, Jürgen (2023): In welche Projekte die Millionen von Stark-Watzinger wirklich fließen. In: Handelsblatt, 19. September 2023, [https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/kuenstliche-intelligenz-in-welche-projekte-die-millionen-von-stark-watzinger-wirklich-fliessen/29397932.html](http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/kuenstliche-intelligenz-in-welche-projekte-die-millionen-von-stark-watzinger-wirklich-fliessen/29397932.html).

Krajewski, Markus; Dhaliwal, Ranjodh S. (2025): Wie tief lässt Deep Seek blicken? In: FAZ, 9. Juli, S. N4.

Krüger, Antonio (2025): Wie wettbewerbsfähig ist Europa im Bereich künstliche Intelligenz? Beitrag auf sciencemedia vom 11. Februar 2025, www.sciencemediacenter.de/angebote/wie-wettbewerbsfaehig-ist-europa-im-bereich-kuenstliche-intelligenz-25023.

Löhr, Julia (2025): Bärs Masterplan für ein Hightech-Deutschland. In: FAZ, 15. Juli.

Mindverse (2024): Aleph Alpha ändert Strategie: Neue Perspektiven für die KI-Entwicklung in Deutschland. Meldung vom 13. September, www.mind-verse.de/news/aleph-alpha-aendert-strategie-neue-perspektiven-ki-entwicklung-deutschland

OECD (2023): The state of implementation of the OECD AI Principles four years on. Policy paper, OECD Artificial Intelligence Papers, 27 October 2023. www.oecd.org/en/publications/the-state-of-implementation-of-the-oecd-ai-principles-four-years-on_835641c9-en.html

OECD (2024): Bericht zu Künstlicher Intelligenz in Deutschland, OECD Publishing, Paris, Juni, [https://doi.org/10.1787/8fd1bd9d-de.Juni](http://doi.org/10.1787/8fd1bd9d-de.Juni)

OECD (2025): Enhancing Access to and Sharing of Data in the Age of Artificial Intelligence. OECD Policy brief. 6 February, www.oecd.org/en/publications/enhancing-access-to-and-sharing-of-data-in-the-age-of-artificial-intelligence_23a70dca-en.html

Öko-Institut (2025): Umweltauswirkungen Künstlicher Intelligenz. Auswertung aktueller Trends und Erstellung einer Übersichtsstudie für Greenpeace. Freiburg, 12. Mai, [www.oeko.de/publikation/umwetauswirkungen-kuenstlicher-intelligenz/](http://www.oeko.de/publikation/umweltauswirkungen-kuenstlicher-intelligenz/)

Otto, Boris; Wrobel, Stefan (2025): Next-Gen AI – Künstliche Intelligenz und der Datenschatz der europäischen Industrie. Gastbeitrag in der FAZ vom 19. Februar.

Rothe, Rasmus (2025): Deepseek ist die Chance zum Neustart im KI-Rennen. In: FAZ 5. Februar.

Sattelberger, Thomas (2023): Die verlorenen KI-Jahre: Tragik deutscher Forschungspolitik. In: Table media / Focus: 7. September, <https://table.media/research/rigorosum/die-verlorenen-ki-jahre-tragik-deutscher-forschungspolitik/>

Schmoch, Ulrich (2024): Wissenstransfer ist mehr als Technologietransfer. In: DUZ Wissenschaft & Management, 10, S. 24-26.

Schnitzer, Monika; Privitera, Daniel (2025): Wenn Intelligenz in kaum vorstellbarem Ausmaß verfügbar, kopierbar und skalierbar ist. In: FAZ, 16. Juni, S. 18.

Stieler, Wolfgang (2024): Aleph Alpha nicht mehr im Rennen gegen OpenAI: Darum ist es für deutsche KI-Startups so schwierig. Ist das der Abgesang auf KI in Deutschland? In: T3N, 19. September, <https://t3n.de/news/aleph-alpha-gegen-openai-deutsche-ki-startups-1645839>.

Stifterverband (2024): Bundesländercheck der KI-Strategien. Kurzanalyse zu Aufbau und Inhalten der Länderstrategien zu Künstlicher Intelligenz. Oktober, www.stifterverband.org/medien/bundeslaendercheck_der_ki-strategien.

Todorova, Christina; Sharkov, George; Aldewereld, Huib et al. (2023): The European AI Tango: Balancing Regulation Innovation and Competitiveness. In: ACM International Conference Proceeding Series, pp. 2 – 8.

Uszkoreit, Hans (2024): „KI darf nicht autoritär werden“ Interview in: Human 4/2024, S. 74-77.

Wiarda, Jan-Martin (2025): Technologiepolitik mit Unterstrich, Blogbeitrag vom 15. Juli, www.jmwiarda.de/blog/2025/07/15/technologiepolitik-mit-unterstrich

Wrobel, Stefan (2025): Statement at the online panel discussion „Europe’s Path in Artificial Intelligence“ at the 3rd Fraunhofer AI Week, 21. Januar 2025.