

White Paper

Künstliche Intelligenz

Chancen für Wirtschaft und
Gesellschaft in Bayern

fortiss

Inhalt

Autoren	4
Vorwort	5
Auf einen Blick: Die wichtigsten Erkenntnisse	6
Wie intelligent ist Künstliche Intelligenz?	7
Wertbeiträge der Künstlichen Intelligenz	11
Weltweite Entwicklungen in der Künstlichen Intelligenz	15
Deutschlandweite Entwicklungen in der Künstlichen Intelligenz	21
Bayernweite Entwicklungen in der Künstlichen Intelligenz	23
Chancen für Bayern	24
Anhang	29
Impressum	46

Abbildungen

Abb 1.(a):	Kognitiver Roboter Shakey	9
Abb 1.(b):	Beispiel für tiefes neuronales Netz	9
Abb 2:	100 KI-Startups	12
Abb 3:	Der Innovations-Quadrant der KI	13
Abb 4:	Auswirkungen von Anwendungsfällen über Branchengrenzen hinweg	14
Abb 5:	Prominente KI-Forschungsinstitute weltweit (Auswahl)	15
Abb 6:	Wissenschaftliche Veröffentlichungen im Bereich KI für den Zeitraum 2011-2015	16
Abb 7:	Prominente KI-Forschungsinstitute in Europa (Auswahl)	16
Abb 8:	Anzahl von KI-Patenten und Technologieportfolio (2000-2016)	18
Abb 9:	Die Verteilung des Risikokapitals für KI-Firmen in den Vereinigten Staaten, Asien und Europa in den Jahren 2014-2017	19
Abb 10:	Der US-amerikanische F&E-Strategieplan für den Bereich KI	20
Abb 11:	Prominente KI-Forschungsinstitute in Deutschland (Auswahl)	21
Abb 12:	Wie bringe ich mein neuronales Netz dazu, eine Schildkröte als Gewehr zu erkennen?	25
Abb 13:	Die Vision 2030 der Europäischen Kommission ist die Entwicklung vertrauenswürdiger, autonomer cyber-physischer Systeme (CPS).	26

Autoren



Dr. Harald Rueß

Wissenschaftlicher Geschäftsführer
fortiss GmbH
ruess@fortiss.org

Mit Unterstützung von Dr. habil. Hao Shen,
Julian Wörman and Mingpan Guo.



Prof. Dr. Helmut Krcmar

Wissenschaftlicher Direktor
fortiss GmbH
krcmar@fortiss.org

Vorwort

Kaum ein Begriff wird derzeit so strapaziert wie Künstliche Intelligenz (KI). Sie ist inzwischen zu einem der populärsten Teilgebiete der Informatik geworden, das weit über die Grenzen des Fachs hinausstrahlt. Denn die vergangenen Jahre gab es große Fortschritte auf diesem Gebiet.

Von Beginn an ging es den Forschern darum, Maschinen mit Computerprogrammen zu befähigen, zu sprechen, zu abstrahieren, Konzepte zu entwickeln und sich selbst zu verbessern, damit sie eines Tages technische Probleme lösen, die menschliche Fähigkeiten erfordern. Inzwischen gibt es KI-Technologien in den Bereichen Sprachverarbeitung/-übersetzung, Handschriftenerkennung, Bilderkennung/-verstehen, semantische Suche, intelligente Assistenzsysteme etc. Sie leisten bereits heute wertvolle Beiträge für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung in führenden Industrienationen.

Das vorliegende White Paper führt in das Themengebiet KI ein und beleuchtet deren Anwendungsfelder. Die Autoren vergleichen, wie Industrieländer in diesem Bereich aufgestellt sind und zeigen auf, wie sich KI-Technologien auf deren Wirtschaftswachstum auswirken. Sie untersuchen, wie die Strategien erfolgreicher Nationen aussehen und wie Deutschland und insbesondere Bayern aufgestellt sind. Das Werk schließt mit konkreten Vorschlägen, wie die bayerische Wirtschaft von KI-Technologien profitieren kann und welche Kompetenzen sie dafür ausbauen muss, um den Industriestandort Bayern zu stärken.



Dr. Harald Rueß



Auf einen Blick: Die wichtigsten Erkenntnisse

- KI wird als Oberbegriff für unterschiedliche Fähigkeiten bzw. Verhaltensmerkmale „intelligenter“ Systeme verwendet. Inzwischen existieren eine Reihe anwendungsreifer KI-Technologien.
- Typische KI-Anwendungen umfassen die Sprachverarbeitung/-übersetzung, Handschriften-erkennung, Bilderkennung/-verstehen, semantische Suche, intelligente Assistenzsysteme, teilautonome Vehikel und kognitive Roboter.
- Studien prognostizieren für die USA, Japan und Deutschland eine Steigerung der Wirtschaftsrate zwischen 1,6 bis 2 Prozent.
- Experten bescheinigen Deutschland ein mögliches, zusätzliches jährliches Wirtschaftswachstum von 10 Milliarden Euro.
- Die USA sind führend in der KI-Forschung. China möchte die USA von Platz Eins verdrängen. Die europäische Forschungslandschaft ist in nationale und regionale Initiativen fragmentiert. Deutschland plant, einen KI-Masterplan aufzulegen, um den Anschluss zu halten.
- Erfolgreiche KI-Programme bestehen aus einer akademischen Forschungsgemeinschaft sowie experimentierfreudigen Firmen inklusive einer florierenden KI-Startup-Szene mit Risikokapitalgebern. Sie werden von koordinierten nationalen Strategien zur öffentlich finanzierten Forschung flankiert.
- Es existiert derzeit kein Strategieplan für öffentlich geförderte Forschung und einen gezielten Ausbau der KI in Deutschland und Bayern.
- Die Chancen für Bayern liegen in der Anwendung von KI-Technologien bei eingebetteten Systemen, wie sie im Bereich Automobil, Luft- und Raumfahrt oder Industrieautomatisierung zu finden sind.
- Bayern sollte deshalb den Einsatz von KI-Technologien in eingebetteten Systemen vorantreiben. Damit ließen sich auch die Potenziale für die Verwirklichung des Internet der Dinge (IoT) im industriellen Bereich ausschöpfen.
- Ein bayerisches KI-Anwenderzentrum kann Knowhow und Expertise im Bereich KI bündeln und kleinen und mittelständischen Unternehmen zur Verfügung stellen. Damit wären die Voraussetzungen für einen erfolgversprechenden Einsatz von KI-Technologie geschaffen.

Wie intelligent ist Künstliche Intelligenz?

Beim Schachspielen sind Computer dem Menschen schon längst überlegen, und im Oktober 2015 hat das KI-System AlphaGo, Fan Hui, den Europameister im japanischen Brettspiel Go, geschlagen. Inzwischen gibt es mit AlphaGo Zero ein verbessertes, selbstlernendes System, das ohne Expertenwissen auskommt. Da Go wesentlich komplexer ist und es unendlich viele Spielvarianten gibt, gilt dieser Sieg der Maschine über den Menschen als Sinnbild für den Fortschritt im Bereich KI.

Dieses Forschungsgebiet ist ein Teilbereich der Informatik. Es versucht, menschliche Wahrnehmung und menschliches Handeln durch Maschinen nachzubilden. Der Begriff Künstliche Intelligenz wurde auf der 1956 stattfindenden *Dartmouth Conference*³ geprägt. Die teilnehmenden Informatiker und Informationstheoretiker wollten herausfinden, wie Maschinen mit Computer-Programmen dazu gebracht werden können, Sprache zu benutzen, Abstraktionen vorzunehmen, Konzepte zu entwickeln und sich überdies selbst weiter zu verbessern – und damit Probleme zu lösen, die menschliche Fähigkeiten erfordern.

Auf der einen Seite ist die technologische Entwicklung beeindruckend. Auf der anderen Seite werden Befürchtungen laut, dass KI-Systeme eines Tages einen so hohen Grad an Autonomie erreichen, dass damit die menschliche Zivilisation obsolet werden könnte.

Aber was ist eigentlich Intelligenz? Meinen wir damit mathematische, logische, soziale, emotionale oder sprachliche Intelligenz? Die Schwierigkeiten beginnen bereits mit diesem Begriff, denn eine genaue Definition existiert nicht. Und welche Kriterien sollen wir anlegen, um Intelligenz zu messen?

Der Turing-Test

Ab wann eine Maschine als intelligent gilt, treibt die KI-Forschung seit Anbeginn um. Ein prominentes Messwerkzeug ist der vom britischen Mathematiker Alan Turing entwickelte gleichnamige Test. Ein Mensch kommuniziert ohne Sicht- oder Hörkontakt über längere Zeit mit einem anderen Menschen und parallel mit einer Maschine. Wenn der Tester nach der Unterhaltung nicht mit Bestimmtheit sagen kann, welcher der Gesprächspartner ein Mensch und welcher eine Maschine ist, hat die Maschine den Test bestanden und darf als intelligent gelten.

So spiegelt sich im Verständnis des Begriffs Künstliche Intelligenz auch die Vorstellung vom Menschen als Maschine. Nach Jahrzehnten der Forschung ist es aber bis heute nicht annähernd gelungen, menschliche Verstandesleistungen als Ganzes mit Maschinen zu erreichen. Damit ist die Vorstellung, dass Maschinen den Menschen eines Tages überlegen sein können⁴, immer noch weitgehend Science Fiction.

1991 lobte der amerikanische Soziologe Hugh G. Loebner einen Preis von 100.000 US-Dollar für das Computerprogramm aus, das den Turing-Test besteht und eine Expertenjury hinter Licht führt. Bis heute hat niemand den Preis erhalten, und der Großteil der KI-Forscher geht davon aus, dass das auch in absehbarer Zeit nicht geschehen wird.

Nach heutigem Stand der KI-Forschung kann eine Maschine menschliche Fähigkeiten nicht ersetzen.

Neue Lernverfahren

Die Forschung zur Realisierung einer generellen Intelligenz von Maschinen ist aber weiterhin sehr aktiv. Sie zielt derzeit auf neue Verfahren zum Lernen aus wenigen Beispielen über den Transfer von Lernergebnissen zwischen unterschiedlichen Aufgabenstellungen bis zur Realisierung von Bewusstsein von Maschinen.⁵

So gab und gibt es gewaltige Fortschritte bei konkreten Anwendungen mit Mitteln der Mathematik und der Informatik, zu deren Lösung nach allgemeinem Verständnis eine Form von Intelligenz notwendig zu sein scheint. Der damalige Schachweltmeister Kasparov wurde 1997 unter Turnierbedingungen vom Computer-Programm DeepBlue geschlagen, das auf hochspezialisierten Suchtechniken auf Spielbäumen basiert⁶. Spielbäume sind abstrakte Darstellungen von Spielzügen, die sich mit jedem neuen Spielzug ähnlich einem Baum mit Blätterkrone immer weiter verzweigen. Mit einem entsprechenden KI-Algorithmus lässt sich die Berechnung der Spielzüge automatisieren und beschleunigen.

Ein ähnliches Kunststück gelang Google-Forschern mit Hilfe probabilistischer (sog. Monte-Carlo) Suchverfahren auf Spielbäumen⁷ beim oben erwähnten Beispiel für das Brettspiel Go. Als 2011 IBMs kognitives KI-System Watson bei der Fernsehquizshow Jeopardy!⁸ gewann, gelang dies durch geschickte Integration einer Reihe zentraler KI-Techniken, einschließlich der Verarbeitung natürlicher Sprache, Informationsgewinnung, maschinellem Lernen sowie Wissensrepräsentation und logischem Schließen. Maschinelles Lernen bezeichnet ein künstliches System, das selbstständig aus Beispielen lernt, Muster zu erkennen. Am Ende des Trainings kann es aus den Lerndaten, Regeln zur Erkennung eines bestimmten Musters aufstellen. Je mehr Daten das System verarbeitet, umso besser wird es. Bild- oder Spracherkennung basieren auf dieser Methode.

So beschäftigt sich die KI häufig mit der Suche nach bestimmten Lösungen in einem komplexen Lösungsraum. Neben der Suche von Lösungen stellt das Planen zur Erreichung von konkreten Zielstellungen (z.B. „Robbie, bring mir bitte Kaffee!“) einen wichtigen Aspekt der KI dar. Eine Paradeanwendung ist das Planen von Wegstrecken für Navigationssysteme. Die bislang entwickelten Techniken der KI lassen sich dabei grob in Lösungssuche, Planung, Optimierung, Wissensrepräsentation, logisches Schließen und Näherungsverfahren (Approximation) einteilen.

Oft führen Aufgabenstellungen der KI zu Optimierungsproblemen, die mit Hilfe mathematischer Programmierung oder heuristischer Suchverfahren (die bei begrenztem Wissen mit mutmaßenden Schlussfolgerungen arbeiten) gelöst werden. Das können beispielsweise evolutionäre Rechenvorschriften (Algorithmen) sein, die von biologischen Prinzipien wie Mutation und Selektion inspiriert sind.

Eine zentrale Fragestellung der KI ist die formale Repräsentation von Wissen, insbesondere von unsicherem und unvollständigem Wissen, das dann für automatisches logisches Schließen genutzt werden kann. Schon früh beschäftigte sich die KI damit, automatische Beweissysteme zu konstruieren, zum Beispiel in der Logikprogrammierung⁹, für Experten- und Diagnosesysteme¹⁰, automatisierte Beweisführung zur Verifikation von Software¹¹, aber auch für offene Probleme in der Mathematik¹² des semantischen Webs¹³, induktiven Lernens oder für probabilistische Programmierung¹⁴.

KI wird als Oberbegriff für unterschiedliche Verhaltensmerkmale „intelligenter“ Systeme verwendet. Inzwischen existieren KI-Technologien für eine Reihe wichtiger Gebiete, die reif für die Anwendung sind.

⁵ http://www.scholarpedia.org/article/Machine_consciousness
⁶ Arthur, Samuel, „Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers“. IBM Journal. 3 (3): 210–229, 1959.
⁷ Mastering the game of Go without human knowledge. Nature. Oktober 2017.
⁸ <https://www.techrepublic.com/article/ibm-watson-the-inside-story-of-how-the-jeopardy-winning-supercomputer-was-born-and-what-it-wants-to-do-next/>
⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Fifth_generation_computer
¹⁰ <https://en.wikipedia.org/wiki/Mycin>
¹² <http://vsste.ethz.ch/>
¹³ https://en.wikipedia.org/wiki/Kepler_conjecture
¹⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/Semantic_Web
¹⁵ Probabilistic programming does in 50 lines of code what used to take thousands, phys.org. April 13, 2015.

Das menschliche Gehirn als Vorbild

In vielen KI-Anwendungen geht es darum, aus einer Menge von Daten eine allgemeine Regel abzuleiten – was mathematisch oftmals zu einem Näherungsproblem führt. Im Kontext der KI werden verstärkt künstliche neuronale Netze eingesetzt, für deren Grundstruktur und Funktionsweise das menschliche Gehirn mit seinen Nervenzellen (Neuronen) und deren Kontaktstellen bzw. Verbindungen (Synapsen) als Vorbild dient.

Um Informationen zu verarbeiten, sind im künstlichen neuronalen Netz mehrere Neuronenschichten miteinander verbunden. Aus vorgegebenen Beispielen wird dabei eine möglichst gute Klassifikation oder Regel herausgearbeitet und verallgemeinert bzw. gelernt. Dabei optimiert sich das künstliche Netzwerk kontinuierlich, indem es die synaptischen Verbindungen, die ständig beansprucht werden, verstärkt – wie das auch beim biologischen Vorbild geschieht. Das ist bei kleinen Kindern ähnlich, die mit Erwachsenen lernen über einen Zebrastreifen zu gehen. Es gilt, zuerst am Zebrastreifen stehen-zubleiben und zu schauen, ob ein Auto kommt, bevor die Kleinen ihn überqueren.

Das Lernen künstlicher neuronaler Netze ist ein Paradebeispiel für die datengetriebene Programmierung von Computern. Allerdings ersetzen maschinelles Lernen und Neuronale Netze nicht die klassische Programmierung, sie ergänzen sie.

Typische Anwendungen von KI-Technologie umfassen die Verarbeitung natürlicher Sprache, Handschriftenerkennung, maschinelle Übersetzung natürlicher Sprache (z.B. vom Finnischen ins Deutsche), Bilderkennung und -verstehen, semantische Suche, intelligente Assistenzsysteme, teilautonome Vehikel und kognitive Roboter.

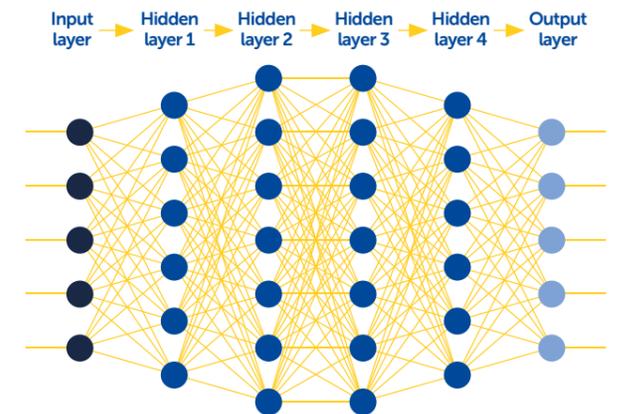


Abbildung 1.(b) Beispiel für tiefes neuronales Netz¹⁵.

Zu den frühen Anwendungen gehört der kognitive Roboter Shakey (vgl. Abbildung 1(a)), der schon Ende der 1960er Jahre durch Integration einer Vielzahl wegweisender KI-Techniken – insbesondere Planung und Wissensrepräsentation – seine Aktionen eigenständig und zielgerichtet planen konnte¹⁶. Er gilt deshalb bis heute als Musterbeispiel der kognitiven Robotik.

In den letzten Jahren fokussiert sich die KI-Forschung und Entwicklung immer mehr auf Verfahren des so genannten Deep Learning. Der Begriff bezeichnet eine Klasse von Optimierungs- und Approximationstechniken für die zahlreichen Zwischenlagen zwischen Eingabeschicht und Ausgabeschicht von künstlichen neuronalen Netzen (vgl. Abbildung 1 (b)). Bestanden die künstlichen neuronalen Netze vor einigen Jahrzehnten aus wenigen tausend Nervenzellen, sind bei Deep-Learning-Systemen Milliarden von Neuronen aktiv, die aus bis zu 30 Schichten bestehen. Trainiert werden diese Netze durch Anpassung der Gewichte auf den Verbindungen („Synapsen“) zwischen den Knoten („Neuronen“), mit dem Ziel unerwünschte Fehlfunktionen des Netzes in Zukunft zu minimieren.

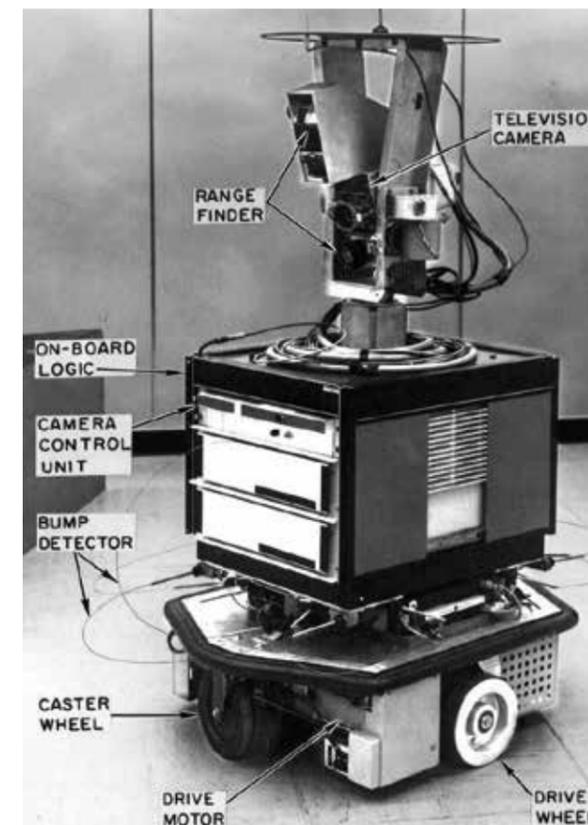


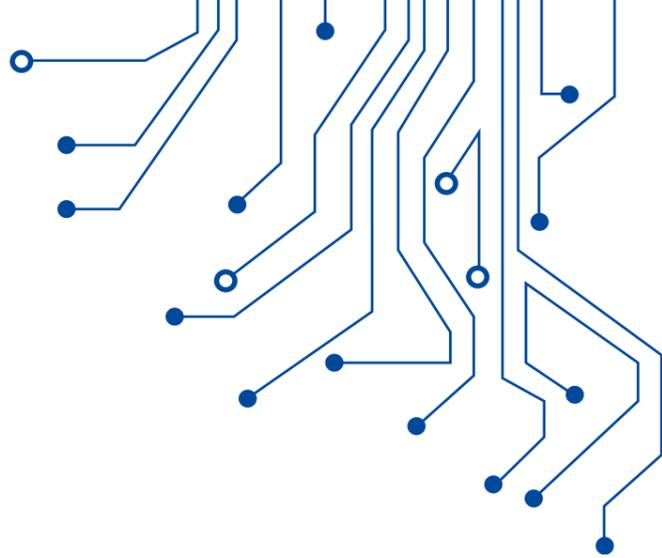
Abbildung 1.(a) Kognitiver Roboter Shakey (Quelle: SRI AI Center).

¹⁵ <https://blog.ttro.com/wp-content/uploads/2017/01/TB010-Deep-Neural-Network.jpg>
¹⁶ [https://de.wikipedia.org/wiki/Shakey_\(Roboter\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Shakey_(Roboter))

Erfolgreiche Anwendungen von Deep Learning umfassen etwa maschinelle Übersetzung¹⁷, Objekterkennung, Handschriftenerkennung und Spielstrategien¹⁸. Für das hochautomatisierte und semi-autonome Fahren kann ein solches Netz im Prinzip auch für den kompletten Prozess (Wahrnehmung-Planung-Aktion) kognitiver Systeme eingesetzt werden.

Hauptsächliche Treiber für die gewaltigen Fortschritte bei der Anwendung von Deep Learning in den letzten Jahren sind die Verfügbarkeit großer Datenmengen, die perfekte Trainingsbedingungen für moderne KI-Systeme bieten, aber auch die enorme Steigerung von Rechenleistung und Speicherressourcen. Hinzu kommen allgemein verfügbare Software-Plattformen (z.B. TensorFlow¹⁹), die die Programmierung neuronaler Netze vereinfachen.

Typische KI-Anwendungen umfassen heute die Verarbeitung natürlicher Sprache, Handschriften-erkennung, maschinelle Sprachübersetzung, Bilderkennung und -verstehen, semantische Suche (bei der die inhaltliche Bedeutung im Mittelpunkt steht), intelligente Assistenzsysteme, teilautonome Vehikel und kognitive Roboter.



Wertbeiträge der Künstlichen Intelligenz

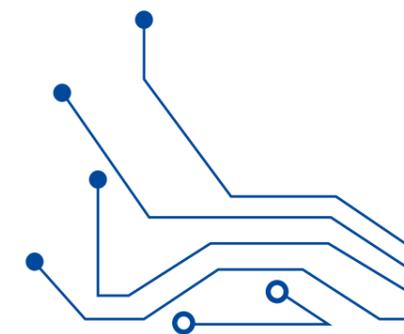
Die KI hat längst unserem Alltag erobert.^{20,21} Ständig nehmen wir ihre Dienste in Anspruch: Sie heißen Siri (SRI/Apple), Cortana (Microsoft), Echo (Amazon) oder Google Translate und wollen uns das Leben erleichtern. Auch unser Handy scheint zu wissen, was uns interessiert und wohin wir wollen, und liefert uns die gewünschte Information auf Basis laufend aktualisierter Nutzerprofile. Und was wären die für viele Menschen unersetzlichen Suchmaschinen ohne KI?

Inzwischen treffen menschliche Experten ihre Entscheidungen über Kreditvergabe oder den Abschluss einer Versicherung vermehrt mittels KI-basierter Algorithmen. Weitere prominente Beispiele sind Social-Media-Plattformen, die Informationen je nach Nutzerprofil filtern. Hinzu kommen Videoanalysen zur Sicherheitsüberwachung, Diagnosen im Gesundheitssektor^{22,23} oder Algorithmen, die Sportberichte oder Unternehmensanalysen verfassen. Ja, selbst juristische Stellungnahmen fertigen Fachleute inzwischen mit Hilfe KI-unterstützter Algorithmen, mit Datenbanken im Hintergrund, die Menschen aufgrund der immensen Datenmengen in ihrer Lebensspanne nicht mehr durchforsten können.

Darüber hinaus hat die KI bereits in vielen verschiedenen Bereichen der globalen Wirtschaft und Gesellschaft einen Anteil: Aktuelle Beispiele umfassen dabei Katastrophenvorsorge und -bewältigung, Bildung, Energie, Landwirtschaft, Umwelt, Gesundheitsvorsorge (sowohl Prävention und Reihenuntersuchungen als auch Behandlung und Überwachung), öffentliche Sicherheit oder Barrierefreiheit.

Die Liste der Beispiele lässt sich noch lange fortsetzen²⁴: Diagnose von Pflanzenkrankheiten, Präzisionslandwirtschaft, personalisierter Unterricht, Hausaufgabenunterstützung in Echtzeit, Optimierung des Fahrverhaltens von Rollstühlen, Vorhersagen (Verfügbarkeit erneuerbarer Energien, des Brandrisikos von Gebäuden, gefährlicher Luftverschmutzung oder von Krisenherden), Standortauswahl für Windkraftanlagen, Entwaldungsprävention, Erkennen von Krankheitsausbrüchen, Krebsvorbeugung,

Prognose von Schizophrenie durch Sprachanalyse, automatisierte Malaria-Diagnose, Rationalisierung der Arzneimittelentwicklung oder sichere Operationsnähte dank Roboterchirurgen, die Kartierung mittels Satellitendaten, Autonomisierung des öffentlichen Verkehrs usw.



²⁰ Künstliche Intelligenz: Teil unseres Alltags, Treiber unserer Zukunft, Allianz Global Investor, Juni 2017.

²¹ Irving Wladawsky-Berger, "Soft" Artificial Intelligence Is Suddenly Everywhere," The Wall Street Journal, January 16, 2016, <http://blogs.wsj.com/cio/2015/01/16/soft-artificial-intelligence-is-suddenly-everywhere/>

²² The Wall Street Journal: „How Artificial Intelligence Will Change Everything“, 6. März 2017.

²³ CNNMoney: „Google uses AI to help diagnose breast cancer“, 3. März 2017.

²⁴ D. Castro, J. New, The Promise of AI, Oktober 2016.

Innovationen mit KI

Diese Beispiele verdeutlichen die Vielzahl an Möglichkeiten, mit denen die KI Innovationen im öffentlichen und privaten Sektor ermöglicht und einen beträchtlichen sozialen und wirtschaftlichen Wert generiert. Zu den Stärken der KI als immaterieller Technologie zählt, dass sie global relevante Problemlösungen unterstützt.

Methoden und Techniken der Künstlichen Intelligenz prägen neue Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle. Und die KI entwickelt sich ständig weiter. Die zugrundeliegenden Technologien lassen sich inzwischen auf eine Vielzahl von Branchen und deren konkreten Herausforderungen anwenden. Deshalb lässt sich nicht einfach vorhersagen, wie viel Wert durch den Einsatz von KI-Technologien generiert werden kann.

Die International Data Corporation schätzt, dass in den Vereinigten Staaten der Markt für KI-Technologien, die unstrukturierte Daten analysieren, bis 2020 ca. 40 Milliarden US-Dollar erreichen wird. Dabei sollen jährlich mehr als 60 Milliarden US-Dollar an Produktivitätsverbesserungen für Unternehmen in den Vereinigten Staaten generiert werden.²⁵

Im Jahr 2013 haben Risikokapitalgeber in den Vereinigten Staaten 757 Millionen US-Dollar in KI-Start-ups investiert. 2014 waren es 2,18 Milliarden US-Dollar und ein Jahr später bereits 2,39 Milliarden US-Dollar.²⁶ CBInsights 2017 hat die Auswahl von 100 solcher KI-Startups (siehe Abbildung 2) nach relevanten Branchen kategorisiert. Großes Potenzial sehen die Autoren in den Bereichen intelligenter Roboter (Smart Robots) und Empfehlungssysteme (Recommendation Engines). Eine entsprechende Landkarte (Abbildung 3) verdeutlicht, dass diese beiden disruptiven Technologien das meiste Risikokapital einwerben konnten. Während Sprachübersetzung und -verstehen die ausgereiftesten Kategorien darstellen, die mit beträchtlichen finanziellen Mitteln ausgestattet wurden.

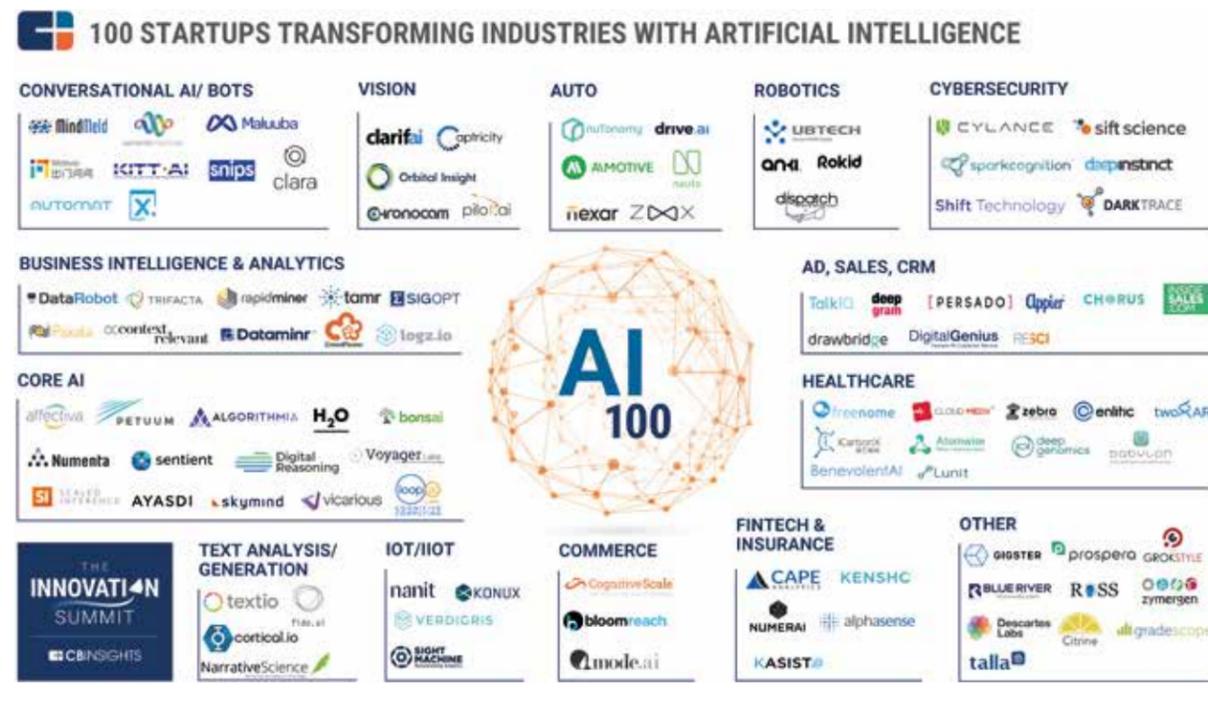


Abbildung 2. 100 KI-Startups (Quelle: CBInsights, 2017).

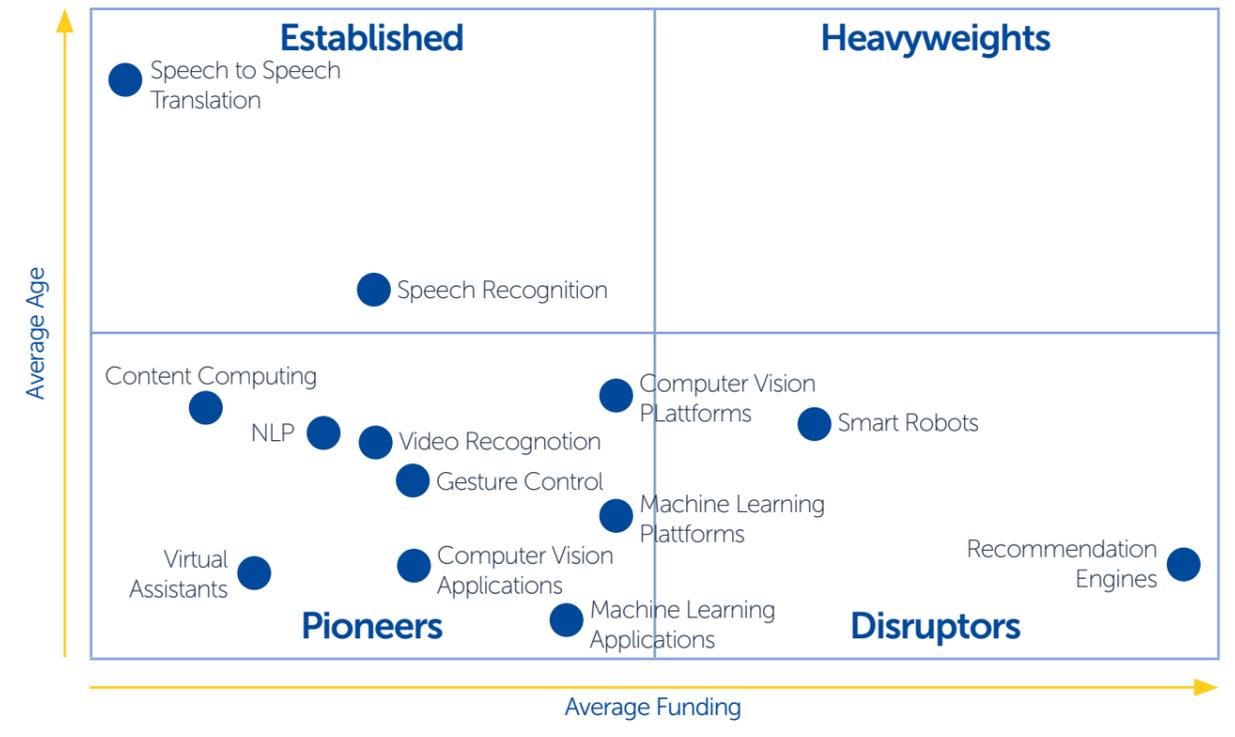
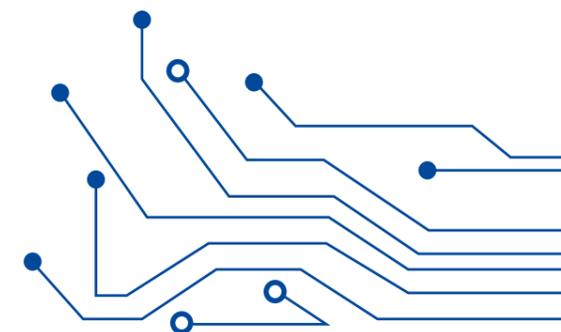


Abbildung 3. Der Innovations-Quadrant der KI (Quelle: Venture Scanner <https://www.venturescanner.com>, Dezember 2017).

Das McKinsey Global Institute kommt zum Schluss, dass bis 2025 die Automatisierung von Wissensarbeit mit KI zwischen 5,2-6,7 Billionen US-Dollar, die KI-gestützte Robotik 1,7-4,5 Billionen US-Dollar und autonome sowie teilautonome Fahrzeuge 0,2-1,9 Billionen US-Dollar generieren werden.²⁷ Ein Bericht von Accenture kommt zu dem Ergebnis, dass KI-Technologien bis zum Jahr 2035 zu einer Erhöhung der jährlichen Wachstumsrate der US-amerikanischen und finnischen Wirtschaft um 2, der japanischen Wirtschaft um 1,9 und der deutschen Wirtschaft um 1,6 Prozentpunkte führen kann.²⁸ Dieser Bericht gibt für die 12 untersuchten Länder auch eine potenzielle Steigerung der Arbeitsproduktivitätsraten um 11 bis 37 Prozent durch Einsatz von KI-Technologien an.

Studien gehen davon aus, dass die Automatisierung der Wissenssuche und -verarbeitung auf Basis von KI zu einer großen Wertschöpfung und damit zu einer hohen Wirtschaftsleistung beitragen werden. Die Studienautoren prognostizieren für die USA, Japan und Deutschland eine Steigerung der Wirtschaftsrate zwischen 1,6 bis 2 Prozent. Laut ihren Aussagen wird sich die Arbeitsproduktivität in den 12 untersuchten Ländern zwischen 11 und 37 Prozent erhöhen.



²⁵ „Cognitive Systems Accelerate Competitive Advantage,” IDC, accessed September 29, 2016, <http://www.idc.com/promo/third-platform/innovation-accelerators/cognitive>.

²⁶ „Artificial Intelligence Explodes: New Deal Activity Record for AI Startups,” CB Insights, June 20, 2016, <https://www.cbinsights.com/blog/artificial-intelligence-funding-trends/>.

²⁷ James Manyika et al., „Disruptive Technologies: Advances That Will Transform Life, Business, and the Global Economy,” (McKinsey Global Institute, May 2013), <http://www.mckinsey.com/business-functions/business-technology/our-insights/disruptive-technologies>.

²⁸ Mark Purdy and Paul Daugherty, „Why Artificial Intelligence Is the Future of Growth,” (Accenture, September 28, 2016), https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/PDF-33/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth.pdf.

Potenziale für die deutsche Industrie

Eine kürzlich erschienene Studie von McKinsey identifiziert die KI auch als Wachstumsmotor für die deutsche Industrie.²⁹ Diese Studie bescheinigt ein mögliches zusätzliches jährliches Wirtschaftswachstum von 10 Milliarden Euro. Besonderes Potenzial habe der Einsatz von KI-Methoden in Fertigungsindustrien mit ihrem hohen Anteil an vorhersehbarer Tätigkeit. So ist

- eine um 20 Prozent verbesserte Anlagennutzung möglich, wenn durch KI beispielsweise Wartungsarbeiten vorausschauend durchgeführt werden sowie
- eine um 20 Prozent höhere Produktivität bei einzelnen Arbeitsschritten, wenn Roboter und Menschen gezielt zusammenarbeiten.
- Die Qualitätsüberwachung kann durch KI (beispielsweise durch automatische visuelle Fehlererkennung bei Produkten) um 50 Prozent produktiver werden.
- In bestimmten Bereichen ist eine Reduktion des Ausschusses um bis zu 30 Prozent möglich.

- Eine Optimierung der Lieferkette (beispielsweise durch exaktere Abverkaufsprognosen) kann die Lagerhaltungskosten um bis zu 50 Prozent reduzieren.
- In Forschung und Entwicklung sind Kostenreduktionen zwischen 10 und 15 Prozent und um 10 Prozent kürzere Markteinführungszeiten möglich.
- In Geschäftsbereichen wie der IT können KI-basierte Technologien 30 Prozent der Tätigkeiten übernehmen.

Methoden der Künstlichen Intelligenz sind natürlich auch eine wesentliche Voraussetzung für selbstfahrende Autos. Laut der McKinsey-Studie könnten bis 2030 bis zu 15 Prozent der neu zugelassenen Fahrzeuge autonom fahren – mit signifikanten Wachstumsraten bis 2040.

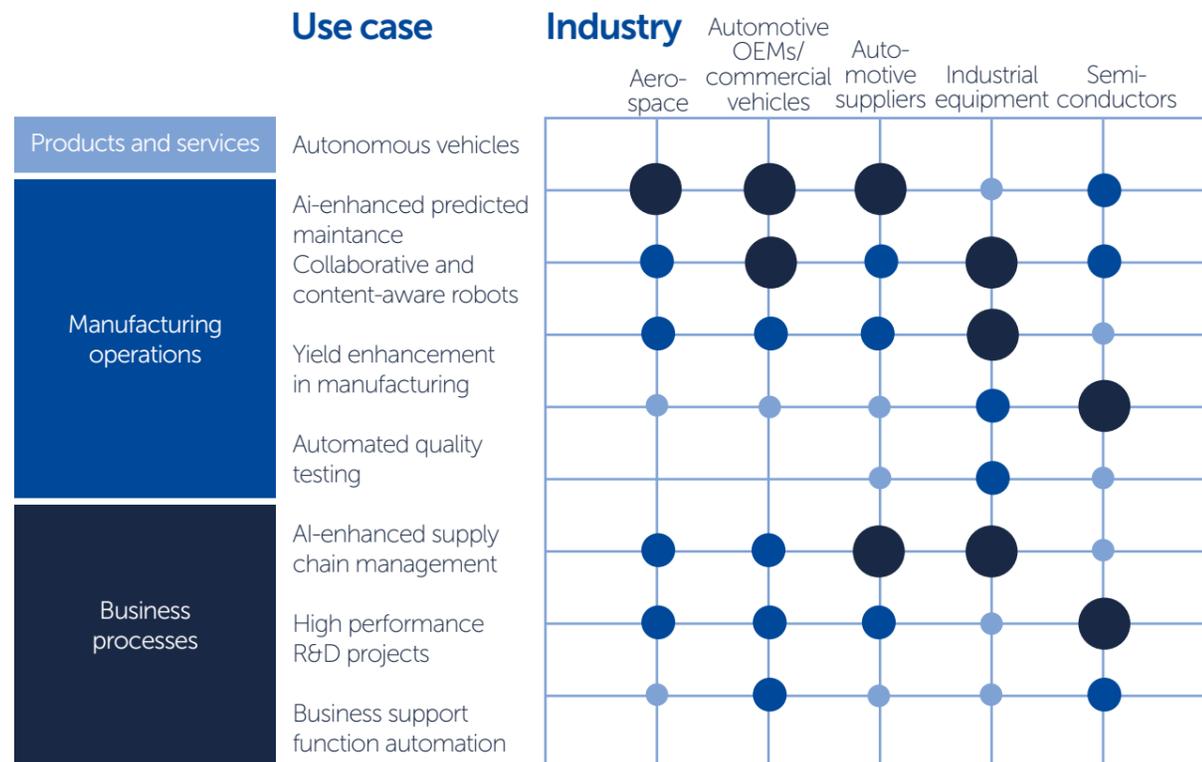


Abbildung 4. Auswirkungen von Anwendungsfällen über Branchengrenzen hinweg (Quelle:McKinsey).

Weltweite Entwicklungen in der Künstlichen Intelligenz

Die KI wird derzeit weltweit intensiv auf- bzw. ausgebaut. KI-Forschungszentren mit substanziellen Ressourcen werden in fast allen Industrieländern neu eingerichtet oder erweitert. Dabei ist eine gewisse Dominanz der US-amerikanischen Forschung nicht zu übersehen (Abbildung 5). Prominente KI-Forschung findet sich in Stanford, SRI International, UC Berkeley, University of Southern California, UC San Diego, Toyota Research Institute, U Penn, Carnegie-Mellon, Microsoft Research, MIT, Boston University, Harvard, Cornell.

Diese Institute beschäftigen sich seit den 1960er und 1970er Jahren mit KI-Themen. Aus dieser Historie ist über Jahrzehnte hinweg eine KI-Forschergemeinschaft gewachsen, die auch die verschiedensten Krisen in der KI überstanden hat

– insbesondere aufgrund der öffentlichen Förderbeiträge der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), einer Forschungsabteilung des US-Verteidigungsministeriums. Eine Auflistung prominenter KI-Forschungsinstitute weltweit findet sich in Anhang A jeweils mit einer kurzen Beschreibung der inhaltlichen Ausrichtung.



Abbildung 5. Prominente KI-Forschungsinstitute weltweit (Auswahl).

Seit dem letzten Jahrzehnt gibt es auch enorme Anstrengungen in China, den Vorsprung der US-amerikanischen KI-Institute nicht nur aufzuholen, sondern diese auch zu überholen. An dieser Stelle seien der Zhongguancun AI Science Park, das Google AI Center in China, das Beijing Frontier International AI Research Institute, Microsoft Research Asia und Baidu Research und Alibaba genannt. Alleine in Zhongguancun investiert die chinesische Regierung mehr als 2 Milliarden Euro mit dem Ziel, dort mehr als 400 KI-Firmen aufzubauen und anzusiedeln. China und die Vereinigten Staaten haben in den letzten Jahren die Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen auf dem Gebiet der KI dominiert (Abbildung 6). Inzwischen hat China die Vereinigten Staaten, gemessen an der Anzahl dieser Veröffentlichungen, aber längst überholt.

Die KI-Forschung in Europa hat ebenfalls eine kritische Größe und ist von globaler Bedeutung. Sie ist allerdings in nationale und regionale Initiativen fragmentiert. Dazu gehören: INRIA und Facebook AI Research (beide in Frankreich), das Alan-Turing-Institut in Großbritannien und das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz in Saarbrücken und Bremen. Eine detailliertere Übersicht über die europäische KI-Forschungslandschaft ist in Anhang B zu finden. Die räumliche Ausbreitung und Verteilung der KI-Forschungsinstitute in Europa illustriert Abbildung 7.

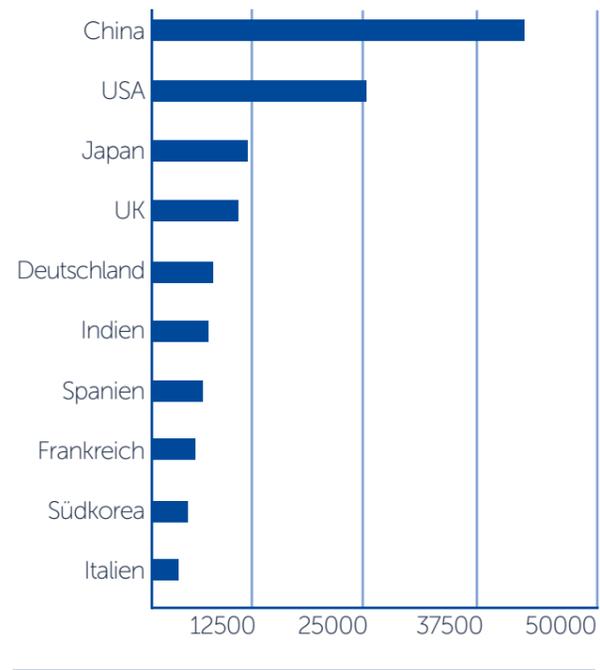


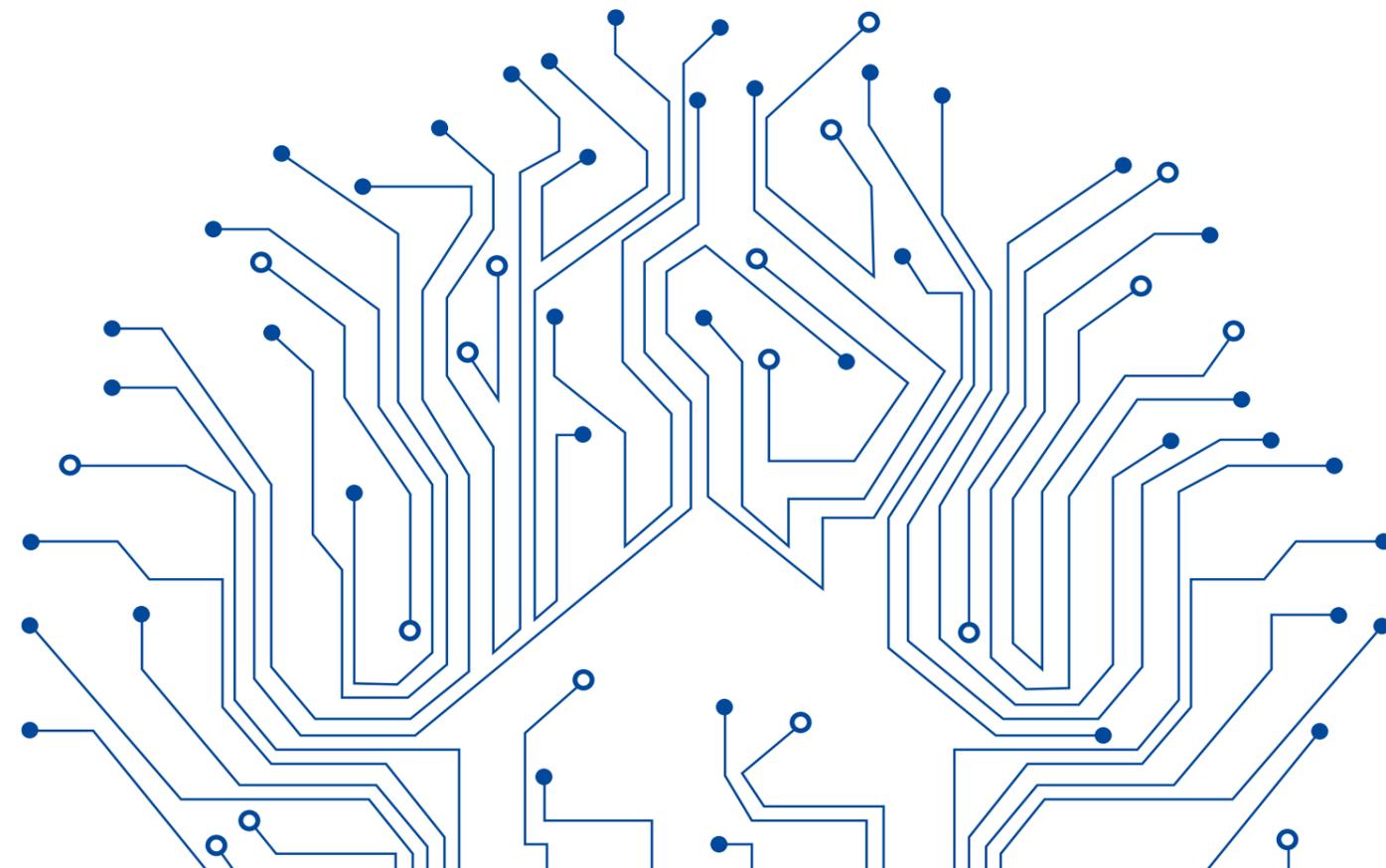
Abbildung 6. Wissenschaftliche Veröffentlichungen im Bereich KI für den Zeitraum 2011-2015 (Quelle: Elsevier/Scopus)³⁰.

Inzwischen gibt es erste Initiativen, die Zersplitterung der europäischen KI-Landschaft zu überwinden: Zu den Maßnahmen gehören die Gründung eines „CERN für die KI“ als europäisches Flaggschiff.³¹ Hinzu kommt das von der deutschen Regierung angedachte „grundsätzlich prioritäre“ deutsch-französische KI-Zentrum. Letzteres ist mit einem Masterplan „Künstliche Intelligenz“ auf nationaler Ebene verbunden.³² Auf diese Weise will Deutschland mit den USA und China in Entwicklung und Anwendung von KI-Technologien Schritt halten.

Die USA sind historisch bedingt führend im Bereich KI. China investiert massiv in Forschung und Entwicklung und plant, die USA von Platz Eins in der KI-Forschung zu verdrängen. Die europäische Forschungslandschaft ist zwar von globaler Bedeutung, aber in nationale und regionale Initiativen fragmentiert. Deutschland möchte einen KI-Masterplan auflegen, um nicht den Anschluss an die führenden Nationen zu verlieren.



Abbildung 7. Prominente KI-Forschungsinstitute in Europa (Auswahl).



³⁰ <https://www.timeshighereducation.com/data-bites/which-countries-and-universities-are-leading-ai-research>

³¹ <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/fetflag-01-2018.html>

³² <http://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/koalitionsverhandlungen-groko-packt-das-megathema-kuenstliche-intelligenz-an/20927750.html>

Massive Investitionen internationaler Unternehmen

In den letzten Jahren investieren vor allem global tätige Firmen massiv in die KI-Forschung und deren Kommerzialisierung. Auf amerikanischer Seite sind insbesondere IBM, Google, Facebook, Microsoft und Amazon zu nennen. In China investieren u.a. Baidu, Tencent, Alibaba und Huawei massiv in KI-Technologien. In Indien treiben Technologie-Beratungsfirmen wie Infosys die Entwicklung voran.

Firmen wie Google und Facebook stellen ihre KI-Software-Plattformen einer weltweiten Benutzergemeinschaft kostenlos zur Verfügung. Sie haben Forschungsgruppen aufgebaut, die auch in der akademischen Forschung tonangebend sind. Firmen mit Sitz in Deutschland wie Siemens, SAP und Bosch verfolgen zwar auch eigene KI-Programme. Sie sind aber derzeit global bei weitem nicht so sichtbar wie die oben genannten Konkurrenten.

Die meisten Patente in diesem Zeitraum wurden von US-amerikanischen Firmen wie IBM, Microsoft und Qualcomm angemeldet. Auch japanische Firmen wie NEC, Sony, Fujitsu, NTT, Hitachi und Mitsubishi sind prominent vertreten. Auffällig ist dabei, dass keine chinesische Firma die vorderen Plätze erreicht.

In die Liste der weltweiten Top-Anmelder schafften es als Firmen mit deutschem Hauptsitz nur Siemens und SAP. Abbildung 8 illustriert die Anzahl von KI-Patenten zwischen 2000-2016 für einzelne Firmen mit ihrem jeweils dazugehörigen Technologieportfolio.

Auch beim Risikokapital zeigt sich die US-amerikanische Dominanz, wobei Europa hier insgesamt aufholt. Asiatische KI-Startups dagegen banden relativ wenig Risikokapital an sich. Abbildung 9 gibt einen Überblick über das vergebene Risikokapital für KI-Firmen in den USA, Asien und Europa in den Jahren 2014-2017.

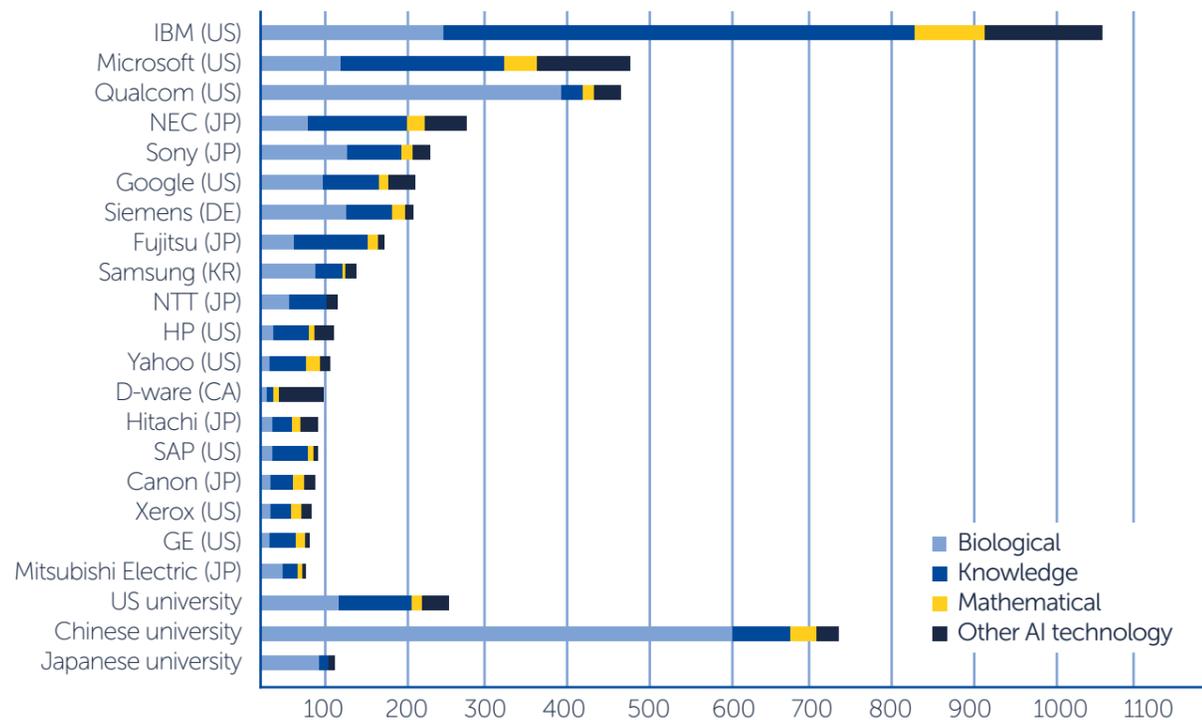


Abbildung 8. Anzahl von KI-Patenten und Technologieportfolio (2000-2016).³³

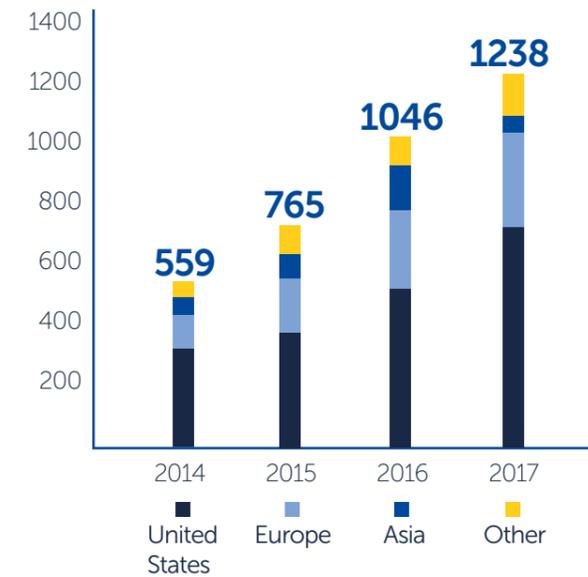


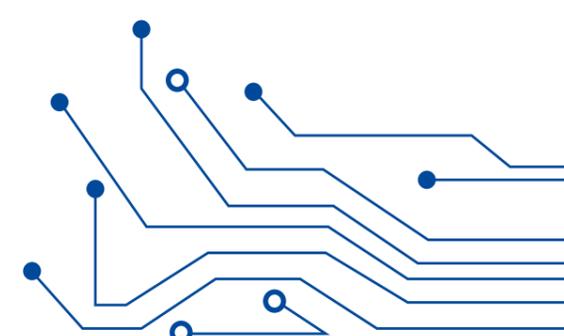
Abbildung 9. Die Verteilung des Risikokapitals für KI-Firmen in den Vereinigten Staaten, Asien und Europa in den Jahren 2014-2017.

Neugründungen im Bereich KI

In diesem Zusammenhang sind die Aktivitäten bei Neugründungen von KI-Unternehmen interessant. Auch Länder wie Kanada³⁴ oder Israel³⁵ haben eine stattliche Anzahl an Jungunternehmen aufgebaut. Mit den aktuell laufenden Aktivitäten hat China laut CBInsight bei der Anzahl neugegründeter, junger KI-Firmen die Vereinigten Staaten überholt. Diese beschäftigen sich mit von der chinesischen Regierung priorisierten Themen wie Gesichtserkennung (zu Überwachungszwecken) und spezialisierte KI-Chips, um die US-amerikanisch dominierte Chip-Industrie herauszufordern.³⁶

Führende KI-Programme bestehen

- aus einer stark vernetzten und damit durchschlagkräftigen, akademischen Forscher-gemeinschaft,
- experimentierfreudigen Firmen, die Forschungs-exzellenz massiv befördern,
- einer florierenden KI-Startup-Szene mit Risiko-kapitalgebern.
- Flankiert werden sie von koordinierten nationalen Strategien zur öffentlich finanzierten Forschung.





Das vom BMBF finanzierte Berlin Big Data Center (BBDC)⁴² hat sich nicht nur zum Ziel gesetzt, bahnbrechende Forschung und Entwicklung zu betreiben, sondern auch die „Datenwissenschaftler“ von morgen auszubilden und Lösungen zu schaffen, die eine tiefgehende Analyse riesiger Mengen heterogener Datensätze und Datenströme mit hoher Geschwindigkeit ermöglichen.

In diesem Konsortium arbeiten die TU Berlin, das DFKI, das Zuse-Institut Berlin, das Fritz-Haber Institut der Max-Planck-Gesellschaft und die Beuth Hochschule für Technik in Berlin zusammen. Das Berlin Big Data Center entwickelt hochskalierbare Open-Source-Systeme, die die automatische Optimierung, Parallelisierung sowie die Anpassung an heterogene Hardware-Setups übernehmen können – in Verbindung mit einer Toolbox aus skalierbaren Maschinellen Lernverfahren und weiteren Algorithmen zur Datenanalyse.

Das Institut für Robotik und Mechatronik (RM)⁴³ des DLR in Oberpfaffenhofen entwickelt Roboter, die Menschen ermöglichen sollen, wirkungsvoller, effizient und sicherer mit der Umwelt zu interagieren. Die Roboter sollen in Umgebungen wirken, die für Menschen unzugänglich oder gefährlich sind. Sie sollen aber auch den Menschen während der Arbeit und im Alltag unterstützen und entlasten. Zentral ist dabei die Mensch-Roboter-Interaktion, die sowohl auf physischer als auch auf kognitiver Ebene abläuft.

Das Institut deckt dabei die gesamte Kette der Entwicklungsaspekte in der Robotik ab, dazu gehören Systemanalyse, Spezifikation und Design, Mechanik, Elektronik, Sensoren und Aktuatoren, Steuerungs- und Dynamiksimulation, Softwarearchitekturen, Wahrnehmung und Kognition, Bewegungs- und Aufgabenplanung, Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz sowie Anwendungsentwicklung. Die am RM-Institut entwickelten Leichtbauroboter eröffnen eine Reihe neuartiger Anwendungen, die auch kleinen und mittelständischen Betrieben den effizienten Einsatz von Robotern ermöglichen soll.⁴⁴

Weitere KI-Zentren in Deutschland sind das Bosch-Zentrum für Künstliche Intelligenz in Stuttgart, die NEC-Laboratorien in Heidelberg, das Volkswagen Informationstechnologie-Zentrum, das Microsoft IoT & AI Insider Lab, der Hauptsitz von IBM Watson IoT, das Siemens AI Lab und die UnternehmerTUM (Zentrum für Unternehmensgründung und Geschäftsaufbau der TU München) Applied AI Initiative (alle in München).

Bayernweite Entwicklungen in der Künstlichen Intelligenz

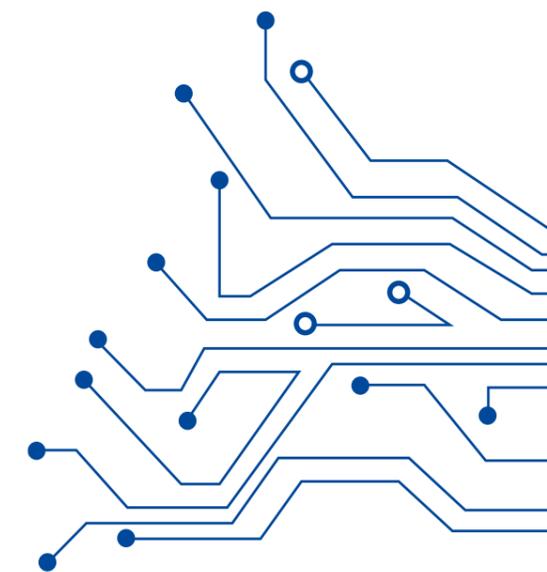
Bayern verfügt über eine Reihe von Lehrstühlen zur KI. Dazu gehören die Lehrstühle Automatic Control Engineering, Computer Vision, Cognitive Systems und Robotics & Embedded Systems an der TU München, Künstliche Intelligenz und angewandte Informatik an der Uni Würzburg, Wissensrepräsentation an der Uni Erlangen-Nürnberg, kognitive Systeme an der Uni Bamberg sowie komplexe und intelligente Systeme an der Uni Passau. Eine ausführliche Beschreibung der KI-Forschungslandschaft in Bayern ist im Anhang C aufgeführt.

Bereits im Jahr 1988 wurde das Bayerische Forschungszentrum für wissensbasierte Systeme (FORWISS) im Rahmen der Bayerischen Forschungsallianz gegründet. Partner waren die TU München, die FAU Erlangen-Nürnberg und die Universität Passau. In der Zwischenzeit aber trägt nur noch das Institut für Softwaresysteme der Universität Passau diesen Namen.

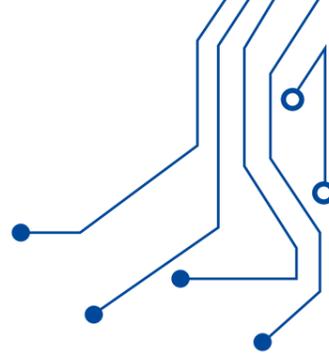
Das Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (IIS) in Erlangen-Nürnberg und fortiss, das Forschungsinstitut für softwareintensive Systeme und Services⁴⁵ in München, wenden eine Vielzahl von KI-Techniken in ihren Entwicklungen an. Sie haben sich damit über die Jahre einen breiten Erfahrungsschatz und relevante Expertise zum einen in der kognitiven Sensorik, Audio- und Medientechnologien und der System-, Software- und Serviceentwicklung erarbeitet. Sie betreiben aber derzeit keine dedizierten Forschungsprogramme zu den Grundlagen der KI.

Insgesamt haben die Verantwortlichen der Bayerischen Hochschulen originäre KI-Themen in den letzten Jahrzehnten mit eher nachrangiger Priorität betrieben. Die KI-Forschungslandschaft in Bayern ist damit von eher heterogener Natur. Strategische Kooperationen in größerem Umfang und mit festgelegten Zielen zwischen den einzelnen KI-Akteuren in Bayern sind den Verfassern dieses White Papers nicht bekannt.

Es existiert derzeit noch kein allgemein bekannter Strategieplan für öffentlich geförderte Forschung und einen gezielten Ausbau der Künstlichen Intelligenz in Deutschland und Bayern.



Chancen für Bayern



1. Erschließen von KI-Potentialen

Methoden und Techniken der Künstlichen Intelligenz erobern immer mehr Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle. Sowohl bayerische Hightechfirmen aus dem Automobilbau, der Luft- und Raumfahrt, der Fertigungsindustrie, der Logistik als auch Banken, Versicherungen, Landwirtschaft, Tourismus, Medizin, Rechtswissenschaften und die öffentliche Verwaltung stehen derzeit vor besonderen Herausforderungen: Sie müssen Potenziale der Künstlichen Intelligenz für die Weiterentwicklung ihrer Prozesse und Erschließung neuer Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsfelder erkennen und nutzen. Dies ist eine zwingende Voraussetzung, um ihre Wettbewerbsfähigkeit auf nationalem und internationalem Parkett zu erhalten und auszubauen.

Um diese KI-Potenziale nicht nur zu identifizieren, sondern auch möglichst wirtschaftlich umzusetzen, sollten

- die Entwicklungen auf die für Kunden entscheidenden Anwendungsfelder fokussiert,
- Daten adäquat für die einzusetzenden Lernverfahren aufbereitet,
- möglichst branchenweite Standards in Absprache mit den staatlichen Regulatoren entwickelt und eingesetzt,
- ein wirtschaftliches Ökosystem aus Technologiepartnern, Zulieferern und Kunden aufgebaut und
- Geschäftsmodelle möglichst frühzeitig entwickelt und KI-Technologie schrittweise eingeführt werden. Letztere sollten durch frühzeitige Analysen von Simulationen oder Prototypen flankiert werden.

Das skizzierte Vorgehen erfordert einerseits Expertenwissen zu neuesten Entwicklungen in der KI-Forschung und andererseits erleichterten Zugang zu modernster Software- und Hardware-Infrastruktur, um Produkt- und Geschäftsideen in Gestalt von Prototypen zu erproben.

Dieses Spezialwissen zu aktueller KI-Technologie und deren Anwendungspotenzial ist bislang allenfalls vereinzelt in Firmen und in der bayerischen Verwaltung zu finden. Der Aufbau und Betrieb notwendiger sowie konkurrenzfähiger KI-Infrastruktur, um erste Prototypen aufzubauen, überfordert die meisten bayerischen Unternehmen – besonders kleine und mittelständische Unternehmen sowie Existenzgründer. Selbst größere Technologieführer aus Bayern können derzeit mit dem vorgegebenen Tempo von globalen IT-Unternehmen wie Baidu, Alibaba, Google und Facebook bei der Erforschung von KI-Technologie und deren Überführung in innovative Produkte nicht mithalten.

Hier bedarf es eines bayerischen KI-Anwendungszentrums, das Erfahrungen für eine Reihe wichtiger Anwendungsgebiete für Bayern bündelt. Dieses kann Partnern aus Industrie, Verwaltung und Hochschulen nicht nur den Zugang zu aktueller KI-Technologie ermöglichen und sie auf diesem Gebiet ertüchtigen, sondern auch bei der Umsetzung in die Praxis begleiten. Das ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für einen möglichst erfolgreichen Einsatz von KI-Lösungen in Wirtschaft und Gesellschaft. Die zentralen Fragestellungen für Forschung und Entwicklung lauten dabei:

1. Wie lassen sich KI-Potentiale in Wirtschaft und öffentlicher Verwaltung systematisch heben?
2. Wie lassen sich KI-gestützte, neuartige Geschäftsmodelle systematisch und möglichst nutzenstiftend gestalten, prototypisieren, evaluieren und umsetzen?

2. Bayerische Stärken: eingebettete Systeme

Im Unterschied etwa zum Silicon Valley werden in Bayern hauptsächlich materielle Güter (Autos, Lastwagen, Werkzeugmaschinen, Busse, Traktoren, Flugzeuge, Hubschrauber etc.) entwickelt und produziert. In diesen Dingen hat Software für eingebettete Steuerungssysteme (z.B. die Fahrdynamikregelung ESP in Automobilen) einen wesentlichen Anteil. Solche Systeme sind oftmals auch sicherheitsrelevant. Eine Fehlfunktion kann einen beträchtlichen Schaden für Mensch und Umwelt verursachen. Das drastische aber nicht ganz aus der Luft gegriffene Beispiel eines selbstfahrenden Autos, das sich „entscheidet“ gegen einen Baum zu fahren, verdeutlicht diesen Sachverhalt.

Andererseits bieten eingebettete Systeme (und cyber-physische Systeme, CPS, die durch Vernetzung von Maschinen, Anlagen und Alltagsdingen auf Basis des Internet entstehen) ein riesiges Potential für den Einsatz von KI-Techniken. Selbstfahrende Autos, medizinische Entscheidungsunterstützung und die Überwachung technischer Infrastruktur sind nur einige Beispiele. Derzeitige KI-Technologien, und hier besonders lernende Systeme, sind allerdings notorisch unzuverlässig und können deshalb in operativen, sicherheitsrelevanten Systemen derzeit nicht⁴⁶ eingesetzt werden.

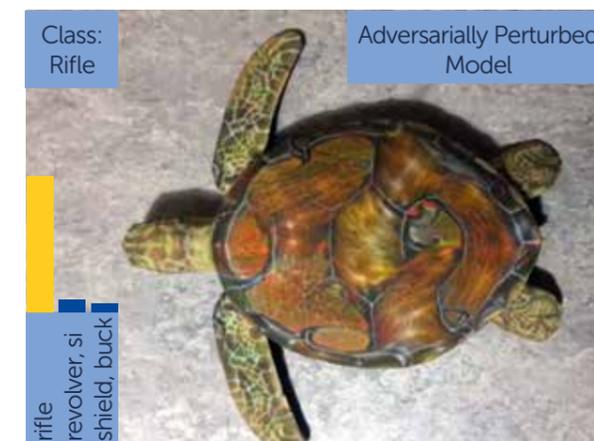


Abbildung 12. Wie bringe ich mein neuronales Netz dazu, eine Schildkröte als Gewehr zu erkennen?⁴⁷

So verbieten, wie das Beispiel in Abbildung 12 illustriert, gängige Industriestandards wie ISO 61508 den Einsatz lernender KI-Technologien, um sicherheitskritische Funktionalitäten in eingebetteten Steuerungen zu realisieren. Damit lässt sich KI-Technologie derzeit auch nicht für wesentliche Teile der Steuerung kritischer Infrastrukturen wie Energie, Wasser oder Wärme einsetzen. Und auch nicht für Autos, Flugzeuge, Roboter und all die anderen Dinge, die von so überragender Bedeutung für die Wirtschaft in Bayern sind.

Sicherheitsrelevante Anforderungen

Bei eingebetteten Software-Steuerungen ist es weniger wichtig, was technisch möglich und gebaut werden kann, als dass diese Funktionalitäten nachweislich und verlässlich realisiert werden können (für eine Typzulassung oder Zertifizierung ist dies eine wesentliche Voraussetzung). Zum Beispiel wird die zukünftige Funktionalität automatisierter Autobahnpielen hauptsächlich durch den technischen Stand der praktischen Verifizierbarkeit dieser Systeme bestimmt. Die Entwickler stehen vor der immensen Herausforderung, 95 Milliarden Szenarien schon bei relativ einfachen Autobahnpielen testen zu müssen.⁴⁸ Das ist mit den derzeit traditionellen Entwicklungsmethoden in der Automobilindustrie aus wirtschaftlichen und zeitlichen Erwägungen heraus nicht möglich.

Robuste KI

Deshalb ist für einen erfolgreichen Einsatz von KI-Techniken in marktfähigen eingebetteten (und auch cyber-physischen) Systemen eine zentrale Forschungsfrage an der Schnittstelle von KI und Software-Entwicklung zu klären:⁴⁹

Wie kann man robuste KI-Software-Systeme beherrschbar entwickeln und betreiben?

⁴⁶ Eine Ausnahme mag hier die Firma Tesla sein, die es nach außen hin weniger zu stören scheint, wenn ihre Objekterkennung einen Lastwagen mit einer Wolke verwechselt – mit fatalen Folgen für die Insassen.

⁴⁷ Antwort auf: <https://www.youtube.com/watch?v=XaQu7kkQBpc>

⁴⁸ Persönliche Kommunikation Entwickler Automobilindustrie

⁴⁹ Research priorities for robust and beneficial artificial intelligence, S Russell, D Dewey, M Tegmark - Ai Magazine, 2015

Wir benötigen KI-Software-Systeme, die in unsicheren und auch unvorhersehbaren Umgebungen zeitnahe und sichere Entscheidungen treffen, die widerstandsfähig gegen gezielte Angriffe sind, und die immer größer werdenden Datenmengen in Unternehmen und Organisationen verarbeiten können, ohne wesentliche Kompromisse bei Vertraulichkeit und Privatsphäre eingehen zu müssen. Diese Herausforderungen werden durch das sich abzeichnende Ende des Gesetzes von Moore verschärft, das die Datenmenge, die diese Technologien speichern und verarbeiten können, wesentlich beschränkt.⁵⁰

Inzwischen gibt es eine neue Generation von robusten KI-Algorithmen. Diese ist reif für den Einsatz in sicherheitsrelevante, eingebettete Software. Sie führt insgesamt auch zu transparenten Algorithmen und nachvollziehbarer KI-basierter Entscheidungsfindung im Alltag.

Anhand des erwähnten Beispiels der automatisierten Kreditvergabe lässt sich dieser Sachverhalt verdeutlichen: Dabei werden ja/nein-Entscheidungen getroffen, die für den Verbraucher von entscheidender Bedeutung sein können. Für den Verbraucher aber ist der Grund für eine bestimmte Entscheidung nicht nachvollziehbar, und er ist deshalb nicht gefeit gegen mögliche Diskriminierung und Fehlentscheidungen (beispielsweise auf Basis fehlerhafter zugrundeliegender Datensätze).

Ein transparenter Entscheidungsalgorithmus liefert dagegen eine nachvollziehbare Erklärung, so dass bei fehlerhafter Entscheidungsfindung das Ergebnis nachgewiesen und angefochten werden kann. Damit wird der Entscheidungsalgorithmus bzw. dessen verantwortlicher Betreiber selbst rechenschaftspflichtig.

Hier wird deutlich, dass ein qualitativer Unterschied zwischen der falschen Beantwortung einer Frage in einer Quiz-Show und einer fehlerhaften medizinischen Indikation besteht. Derzeit aber werden für beide Anwendungen dieselben intransparenten⁵¹ KI-Algorithmen ohne jegliche Erklärungskomponente verwendet.

Mit der Realisierung robuster KI könnten wesentliche Forderungen der ab Mai 2018 verpflichtend geltenden EU-Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) nach Transparenz bei der Verarbeitung personenbezogener Daten, die ganz oder teilweise automatisiert erfolgen, erfüllt werden. Robuste KI ist auch weitgehend kongruent mit der (derzeit noch nicht veröffentlichten) Vision 2030 der Europäischen Kommission zu vertrauenswürdigen autonomen cyber-physischen Systemen (Abbildung 13).

ACPS 2030 vision

The context – from CPS to Autonomous CPS

Strong market position of EU companies in complex electronic systems interacting with the physical world (cyber-physical-systems – **CPS**) and Large Systems of Systems (**SOS**).



High value added markets: industrial automation, medical, railway systems, ships, ports and airports, road and air vehicles, manufacturing and logistics systems. Total global value: **472B€** in 2015, of which 30% in EU¹ includes sectors where **EU autonomy is strategic** for peace and security.



CPS are evolving towards more and more autonomy: from Cyber-Physical to **AUTONOMOUS Cyber-Physical Systems**

¹ Digitising Europe's economy, ARTEMIS ITEA CO-summit, Khalil Rouhana, 2015, <https://itea3.org/publication/download/co-summit-2015-welcome-speech-khalil-rouhana.pdf>

ACPS 2030 vision

The mission: Autonomous CPS that people can trust

Pillar 1: trust
Make people trust autonomous systems: reduce (10x) number of bugs, increase usability and human-like behaviour, harden against cyber-attacks, provide the technical foundations for explainable AI technologies which can be trusted by humans.



Pillar 2: productivity
 Increase **productivity of EU companies** by supporting tools for software development, addressing the reference markets: CPS, autonomous systems, robotics, artificial intelligence and delegating **complexity management** to AI-enabled tools.



Pillar 3: energy
 Deliver **orders of magnitude** improvement in computing energy efficiency, enabling on one side **exascale** high-performance computing and on the other side **„no-battery“** applications in the Internet of Things domain.



- Bayern mit seiner diversifizierten, industriellen Wirtschaft, die überwiegend materielle Güter herstellt, sollte den Einsatz von KI-Technologien in eingebetteten Systemen vorantreiben. Denn die meisten Anwendungen aus China und den USA adressieren den Konsumentenbereich und stellen deshalb nur die Analyse in den Mittelpunkt.
- Die Chancen für Bayern liegen in der Anwendung von KI-Technologien bei eingebetteten Systemen, wie sie im Bereich Automobil, Luft- und Raumfahrt und Industrieautomatisierung zu finden sind.
- Damit ergeben sich auch große Potenziale für die Verwirklichung des Internet der Dinge (IoT) im industriellen Bereich.

Aus diesen Gründen empfiehlt es sich, ein bayerisches KI-Anwenderzentrum einzurichten, das Knowhow und Expertise im Bereich KI bündelt und kleinen und mittelständischen Unternehmen zur Verfügung stellt, die weder über die personellen noch die finanziellen Ressourcen verfügen, um KI-Technologien einzusetzen.

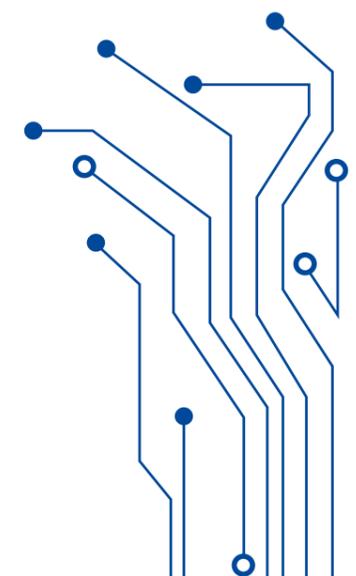
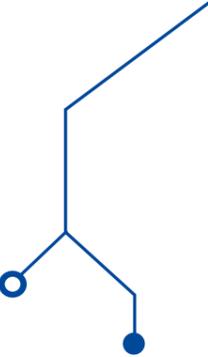


Abbildung 13. Die Vision 2030 der Europäischen Kommission ist die Entwicklung vertrauenswürdiger, autonomer cyber-physischer Systeme (CPS).

Anhang A.

Global Landscape of AI



Australia

DATA61@CSIRO (formerly as NICTA)

<https://data61.csiro.au/en>

Data61 is Australia's leading data innovation group which was officially formed in 2016 from the integration of CSIRO's Digital Productivity flagship and the National ICT Australia Ltd (NICTA). There are two key dimensions in research activities at Data61: (1) data you can trust; (2) technology that works for you. The work at Data61 is focused on how to build trustworthy data technologies that do what they are supposed to do, and nothing else. Its technical competences include (1) safety and (cyber) security; (2) AI and machine learning; (3) blockchain based system; (4) robotics and sensing; (5) future cities; (6) health and communities; (7) monitoring the environment.

Australian Institute for Machine Learning (AIML)

<https://www.adelaide.edu.au/aiml/>

AIML is co-invested by the State Government of South Australia and the University of Adelaide. The mission of AIML is to (1) upskill South Australian workers in Artificial Intelligence and its application to the workplace; (2) build new AI-enabled defence capabilities; (3) support cost-effective adoption of Artificial Intelligence by South Australian government agencies; (4) directly support local South Australian businesses to develop new products based on Artificial Intelligence.

Canada

MILA - Montreal Institute for Learning Algorithms

<https://mila.quebec/en/>

Yoshua Bengio

MILA is world-renowned for many breakthroughs in developing novel deep learning algorithms and applying them to various domains. They include neural language modelling, neural machine translation, object recognition, structured output generative modelling and neural speech recognition. The team

is fully concentrated in Deep Learning now, with a very large number of researchers: 15 professors, 8 postdocs, 57 PhDs.

Its research focuses include fundamentals of deep learning; supervised neural nets; generative models; recurrent neural networks; autoencoders.

Samsung AI Lab@Montreal

Samsung Advanced Institute of Technology established AI Lab in 2017 at University of Montreal, Canada. The AI Lab will be used to strengthen collaborative research with world-leading scholars in the AI field. In this Samsung AI Lab, the researchers dispatched from Korea work with local professors and students including Prof. Bengio to develop key algorithms and components for artificial intelligence. Its research focuses include (1) voice/image recognition; (2) translation; (3) autonomous driving; (4) robots.

Facebook Artificial Intelligence Research Lab (FAIR) in Montreal

FAIR Montreal is Facebook's first research and development investment in Canada, and only its fourth AI research lab in all. Prof. Joelle Pineau, from the School of Computer Science and co-director of McGill's Reasoning & Learning Lab, will head the new Montreal AI lab. Its research focuses include (1) robotics related health applications; (2) smart transportation; (3) language processing.

Borealis AI lab

Borealis AI lab will be established by the Royal Bank of Canada in Montreal in 2018.

University of Toronto/Google Brain

<http://vectorinstitute.ai/#about>

Geoffrey Hinton

The research team behind the 2012 image-recognition milestone which kicks off the deep learning revolution of the 2010s. The research focuses are Machine Learning and Deep Learning.

Vector Institute for Artificial Intelligence

<http://vectorinstitute.ai/#about>

Geoffrey Hinton

The institute strives to attract the best global talent

focused on research excellence in deep learning and machine learning. The researchers and academic partners will be part of a vibrant community of innovative problem-solvers, working across disciplines on both curiosity-driven and applied research. The research focuses are Machine Learning and Deep Learning.

The Alberta Machine Intelligence Institute (AMII)

<https://www.amii.ca>

Richard Sutton; Csaba Szepesvári; Randy Goebel; Michael Bowling; Dale Schuurmans

AMII is a research lab at the University of Alberta previously known as the Alberta Innovates Centre for Machine Learning (AICML). They work to enhance understanding and innovation in a number of sub-fields of machine intelligence. The teams conduct leading-edge research to push the bounds of academic knowledge, and we forge business collaborations both locally and internationally to create innovative, adaptive solutions to the toughest problems facing Alberta and the world. Its research focuses include (1) Algorithmic Game Theory & Opponent Modelling; (2) Algorithms & Theory; (3) Artificial Intelligence; (4) Bio-/Medical Informatics; (5) Data Mining & Analysis; (6) Deep Learning; (7) Human-Machine Interaction; (8) Information Extraction & Visualization; (9) Machine Learning; (10) Medical Imaging; (11) Natural Language Processing; (12) Privacy; (13) Reinforcement Learning; (14) Robotics; (15) Social Network Analysis.

DeepMind@Edmonton

Richard Sutton; Michael Bowling; Patrick Pilarski
DeepMind announced that its first international research lab is coming to the Canadian prairie city of Edmonton, Alberta.

China

Zhongguancun AI Science Park

http://www.chinadaily.com.cn/m/beijing/zhongguancun/2018-01/05/content_35448713.htm

Zhongguancun unseats Silicon Valley to become world's top tech hub. It has become the top destination for the brightest tech talents around the world, due to its favorable climate for early stage funding, good performance in startup output and the city's affordable cost of living, revealed the Top Tech cities in the World 2017 report. The China government will invest US\$2.1 billion to create Zhongguancun AI science park, aiming to house 400 companies that will make an estimated US\$7.7 billion a year developing AI-related products and services. The park's technological infrastructure

includes a fifth generation mobile network, a super computer and cloud services. Its focuses will be (1) super high-speed big data; (2) cloud computing; (3) biometric identification; (4) deep learning.

Google AI China Center

Feifei Li

Google will create a new research lab in China dedicated solely to artificial intelligence in 2018. The Center will consist of a team of AI researchers in Beijing, supported by Google China's strong engineering teams. It will also support the AI research community by funding and sponsoring AI conferences and workshops, and working closely with the vibrant Chinese AI research community.

Beijing Frontier International Artificial Intelligence Research Institute

Kai-Fu Lee (founding president, former Vice President at Google); Andrew Chi-Chih Yao (Turing Award winner, 2000)

Beijing frontier international artificial intelligence research institute will be constructed in 2018 according to the so-called "1 Institute of + N Innovation Center + N research platform" three layer open architecture. It will firstly create three innovation centers, namely (1) Beijing artificial intelligence research and innovation center, (2) Beijing innovation center, (3) Beijing wisdom society of artificial intelligence patent innovation center.

Microsoft Research Asia

<https://www.microsoft.com/en-us/research/lab/microsoft-research-asia/>

Microsoft Research Asia, Microsoft's fundamental research arm in the Asia Pacific region, was founded in Beijing China on November 5, 1998. It employs around 250 researchers and engineers, has used more than 2,500 interns, has awarded over 230 Microsoft fellowships, has published over 1,500 papers for top international journals and conferences, and has achieved many technological breakthroughs. The lab conducts fundamental research in (1) natural user interfaces, (2) next-generation multimedia, (3) data-intensive computing, (4) search and online advertising, and (5) computer science fundamentals.

Baidu Research

<http://research.baidu.com/>

Co-located in Silicon Valley and Beijing, Baidu Research brings together top talent from around the world to focus on future-looking fundamental research in artificial intelligence. Their research directions include (1) deep learning, (2) computer vision, (3) speech recognition and synthesis, (4) natural language understanding, (5) data mining and knowledge discovery, (6) business intelligence,

(7) artificial general intelligence, (8) high performance computing, (9) robotics and autonomous driving.

Nanjing University - LAMDA (Learning And Mining from Data) Lab

<http://lamda.nju.edu.cn/MainPage.ashx>

Zhihua Zhou

The lab currently focuses on the following research: Ensemble learning, semi-supervised and active learning, multi-instance and multi-label learning, cost-sensitive and class-imbalance learning, metric learning, dimensionality reduction and feature selection, structure learning and clustering, theoretical foundations of evolutionary computation, improving comprehensibility, content-based image retrieval, web search and mining, face recognition, computer-aided medical diagnosis, bioinformatics, etc.

Alibaba Innovative Research / Alibaba-Zhejiang University Frontier Technology Joint Research Centre

<https://102.alibaba.com/research/index/>

Alibaba's research collaboration aims to systematically and mechanically change how universities and scientific research centers perform fundamental and frontier research, as well as enterprises that engage in technology-centered product development under traditional methods, to seek for new modes of collaborations, by garnering the brightest minds from all over the world in artificial intelligence, big data, cloud computing, Internet of Things, ubiquitous information security, etc., in order to create a highly efficient chain of technological innovations and a unified innovative system. Artificial intelligence, big data, cloud computing, Internet of Things, ubiquitous information security.

Tencent AI Lab

<http://ai.tencent.com/ailab/index.html>

Tencent AI Lab was established in Shenzhen in 2016 as a company-level strategic initiative and focuses on advancing fundamental and applied AI research, consists of 70 world-class AI research scientists and 300 accomplished application engineers that are working to solve the world's biggest AI challenge. Its research focuses include (1) computer vision, (2) speech recognition, (3) natural language processing and (4) machine learning Game, Social, Content and Platform AI.

Noah's Ark Lab, Huawei

<http://www.noahlab.com.hk/>

The Noah's Ark Lab is a research lab of Huawei Technologies, located in Hong Kong and Shenzhen. The mission of the lab is to make significant contributions to both the company and society by innovating in data mining, artificial intelligence, and

related fields. Mainly driven by long term and big impact projects, research in the lab also tries to advance the state of the art in the fields as well as to harness the products and services of the company, at each stage of the innovation process. The lab focuses on (1) App Recommendation & Search Engines; (2) Deep Learning for Natural Language Processing; (3) Intelligent Banking Solutions; (4) Intelligent Help; (5) Learning to Match; (6) Mining from Big Graph Data; (7) Natural Language Dialogue; (8) Stream Data Mining; (9) Telco Big Data; (10) Educated Artificial Intelligence.

University of Hong Kong (HKU) / Chinese University of Hong Kong (CUHK) / Hong Kong University of Science and Technology (HKUST) / City University of Hong Kong

<http://www.cuhk.edu.hk/english/aboutus/message.html>; <http://www.ust.hk/about-hkust/>;

<https://www.hku.hk/>;

<http://www.cityu.edu.hk/>

The University of Hong Kong was founded as the city's first institute of higher education during the early colonial period in 1911. The Chinese University of Hong Kong was established in 1963 to fill the need for a university that taught using Chinese as its primary language of instruction. Along with the Hong Kong University of Science and Technology and City University of Hong Kong, these universities are ranked among the best in Asia. They focus on researches in (1) artificial intelligence, (2) big data, (3) transfer learning, (4) machine learning, (5) planning, (6) data mining.

India

Centre for Artificial Intelligence and Robotics

https://en.wikipedia.org/wiki/Centre_for_Artificial_Intelligence_and_Robotics

The Centre for Artificial Intelligence and Robotics (CAIR) is a laboratory of the Defence Research & Development Organization (DRDO), located in Bangalore, Karnataka. CAIR is the primary laboratory for R&D in different areas of Defence Information and Communication Technology (ICT). Research & Development of high quality Secure Communication, Command and Control, and Intelligent Systems.

Japan

Artificial Intelligence Research Center (AIRC)

http://www.airc.aist.go.jp/en/Junichi_Tsuji

AIRC is established by Department of Information Technology and Human Factors, Japan. It aims to promote the implementation of AI in manufacturing, service, healthcare/caregiving and security, and to strengthen Japan's competitiveness in the manufacturing and service sectors, aiming to help achieve a more abundant society by new means, through coordination between AI and people. Its research focuses are (1) Mobility; (2) Productivity; (3) health, medical care, and welfare; (4) security and safety; (5) fundamental technology and infrastructure.

RIKEN

<http://www.brain.riken.jp/en/>;

<https://aip.riken.jp>

Shunichi Amari; Andrzej Cichocki

RIKEN is a large research institute in Japan, founded in 1917. It is almost entirely funded by the Japanese government, and its annual budget is about US\$760 million. There are several efforts in research and development of AI and its related technologies, e.g. RIKEN Brain Science Institute and Center for Advanced Intelligence Project.

NTT

https://www.ntt-review.jp/archive/ntttechnical.php?contents=ntr201605fa1.pdf&mode=show_pdf

NTT is the largest Japanese telecommunications company headquartered in Tokyo, Japan. The research and development of artificial intelligence (AI) at NTT is advancing along four directions: (1) Agent-AI for analyzing information issued by people and understanding intentions and emotions in that information; (2) Heart-Touching-AI for analyzing unconscious and unnoticeable aspects of a person's mind and body and understanding deep psychological, intellectual, and instinctual states in that person; (3) Ambient-AI for analyzing and understanding just about anything in the world (objects, people, the environment) and instantaneously predicting and controlling those things; and (4) Network-AI for organically connecting and cultivating multiple types of AI and optimizing the entire social system.

Panasonic AI Labs

<http://tech-ai.panasonic.com/en/>

Panasonic AI Labs aim to create innovative systems and robots for our lifestyles and business with people-friendly AI technology. Panasonic aims to assist our daily lives and business activities by combining technology we have developed including machine learning and natural language processing in the AI field with the one that the company has developed

up to now including AV processing technology, and various sensors and actuators.

Russia

Yandex Data Factory

<https://yandexdatafactory.com>

Yandex, one of the largest internet businesses in Europe and Russia's leading search engine, established Yandex Data Factory in 2014, in order to provide AI-based solutions that directly increase productivity, reduce costs, and improve energy efficiency. Its research focuses include (1) Image recognition; (2) deep neural networks; (3) natural voice processing; (4) geospatial technologies with industrial applications in (a) process industries; (b) including metals; (c) oil & gas; (e) chemicals.

Singapore

AI Singapore

<https://www.aisingapore.org>

AI Singapore is a national programme in artificial intelligence (AI) set up to enhance Singapore's AI capabilities to power the future digital economy. It aims to bring together Singapore-based research institutions and AI start-ups and companies. AI Singapore is driven by a government-wide partnership involving the National Research Foundation (NRF), the Smart Nation and Digital Government Office (SMART), the Economic Development Board (EDB), the Infocomm Media Development Authority (IMDA), SGInnovate, and Integrated Health Information Systems. NRF will invest up to \$150 million over five years in AI Singapore. Its research focuses are (1) AI & Humanity (validation of AI systems, risk & ethical issues, norm & values in AI systems); (2) Towards Human-like Learning Systems (collective intelligence, computational intelligence); (3) Sensing & measurements, privacy preserving technologies, cyber security, computing platforms/architectures, cognitive & neural science.

Data Science & Artificial Intelligence Research Centre (DSAIR) @ NTU

<http://dsair.ntu.edu.sg/Pages/Home.aspx>

DSAIR@NTU will receive about S\$8 million in funding from NTU over the next three years. It is attracting the attention of international firms, such as PayPal, and NVIDIA. The multi-disciplinary research centre will have 60 scientists and researchers and will be jointly headed by Prof Chee Yeow

Meng, Chair of NTU's School of Physical and Mathematical Sciences, and Professor Ong Yew Soon, Chair of NTU's School of Computer Science and Engineering. Its research focuses include (1) Artificial intelligence, (2) machine learning, (3) data mining, (4) computer vision, (5) natural language processing, (6) data visualization, (7) data management, (8) distributed parallel computing, (9) data centers, with industrial applications in (a) Urban mobility, (b) healthcare ICT, (c) service productivity, (d) manufacturing, (e) security.

Smart Systems Institute (SSI) @ NUS

<https://ssi.nus.edu.sg>

SSI@NUS is home to three International Research Centres – (1) Keio-NUS CUTE (Connective Ubiquitous Technology for Embodiments) Center; (2) NUS-Tsinghua Extreme Search Centre (NEXt++); and (3) Sensor-enhanced Social Media (SeSaMe) Centre which is a collaboration between NUS and Zhejiang University of China. The institute also comprises three research laboratories – (i) Social Robotics Lab, (ii) Arts and Creativity Lab, and (3) Ambient Intelligence Lab where extensive sensor research and deployment as well as test-bedding activities are conducted. Its research focuses are (1) Artificial Intelligence/Machine Learning, (2) Augmented Reality/Virtual Reality, (3) Internet-Of-Things (IOT), (4) industrial design, (5) big data analytics and (6) media technologies such as computer vision and natural language processing with its industrial applications in (a) health care, (b) wellness, (c) education, (d) security and (e) other government initiatives.

South Africa

The Centre for Artificial Intelligence Research (CAIR)

<http://cair.za.net>

The Centre for Artificial Intelligence Research (CAIR) is a South African distributed Centre of Excellence that conducts foundational, directed and applied research into various aspects of Artificial Intelligence. CAIR has nodes at five South African universities: the University of Cape Town, University of KwaZulu-Natal, North-West University, University of Pretoria and Stellenbosch University, and is coordinated and managed by the Meraka Institute at the Council for Scientific and Industrial Research. Its research focuses are (1) The Adaptive and Cognitive Systems Lab; (2) Knowledge Representation and Reasoning; (3) Knowledge Acquisition; (4) Multilingual Speech Technologies; (5) Applied Data Science.

South Korea

Samsung artificial intelligence (AI) research center

It was announced in November 2017 that a new AI research center will be established in Samsung to under a joint research center of the mobile and consumer electronics businesses, two of its three main businesses.

USA

Stanford / Stanford Research Institute

<https://www.stanford.edu/>

Daphne Koller (Bayesian methods); Andrew Ng; Fei-Fei Li

All aspects of AI, especially natural language processing, computer vision.

UC Berkeley

<https://www.berkeley.edu/>

Michael I. Jordan; Pieter Abbeel; Sergey Levine; Stuart Russell; Shankar Sastry; Yi Ma;

All aspects of AI, especially Bayesian methods, robotics

University of Southern California

<https://www.usc.edu/>

Stefan Schaal

All aspects of AI, especially robotics

SRI

<https://www.sri.com/>

SRI International (SRI) is an American nonprofit research institute headquartered in Menlo Park, California. The trustees of Stanford University established SRI in 1946 as a center of innovation to support economic development in the region. The organization was founded as the Stanford Research Institute. SRI's annual revenue in 2014 was approximately \$540 million. SRI's headquarters are located near the Stanford University campus. William A. Jeffrey has served as SRI's president and CEO since September 2014. SRI employs about 2,100 people. Sarnoff Corporation, a wholly owned subsidiary of SRI since 1988, was fully integrated into SRI in January 2011.

SRI's focus areas include biomedical sciences, chemistry and materials, computing, Earth and space systems, economic development, education and learning, energy and environmental technology, security and national defense, as well as sensing and devices.

UC San Diego - AI group

<http://ai.ucsd.edu/>

The Artificial Intelligence Group at UCSD engages in a wide range of theoretical and experimental research. Areas of particular strength include machine learning, reasoning under uncertainty, and cognitive modeling. Within these areas, students and faculty also pursue real-world applications to problems in computer vision, speech and audio processing, data mining, bioinformatics, and computer security. The Artificial Intelligence Group is part of a larger campus-wide effort in Computational Statistics and Machine Learning (COSMAL). Interdisciplinary collaborations are strongly supported and encouraged.

Research focuses are Artificial Intelligence; Deep Learning; Computer Vision; Human-Robot-Interaction; Data Mining; Cognitive Neuroscience; Learning Theory.

Toyota Research Institute

<http://www.tri.global/>

The Toyota Research Institute (TRI) is building a new approach to mobility and pioneering the technologies that will drive its future.

Research focuses are Automated Driving; Robotics; Artificial Intelligence; Materials Discovery; User Experience

Carnegie Mellon University

<https://www.cmu.edu/>

Alex Smola; Ruslan Salakhutdinov; Tom Mitchell
All aspects of AI

Microsoft Research Redmond

<https://www.microsoft.com/en-us/research/lab/microsoft-research-redmond/>

Microsoft Research Redmond is the company's largest research lab and each year hosts several hundred research interns and visitors from distinguished undergraduate and graduate programs around the world.

Research in the Redmond lab ranges from thought leadership in security, privacy and cryptography to foundational work in areas such as systems and networking, programming languages, human-computer interaction, human language technologies, AI and computer vision.

Massachusetts Institute of Technology, Boston University, Harvard, Cornell

<http://web.mit.edu/>; <https://www.cornell.edu/>; <https://www.bu.edu/>; <https://www.harvard.edu/>

All aspects in AI and ML

Microsoft Research Lab – New York City

<https://www.microsoft.com/en-us/research/lab/microsoft-research-new-york/>

John Langford

Microsoft Research New York City investigates computational social science, algorithmic economics and prediction markets, machine learning, and information retrieval.

Facebook AI Research / New York University

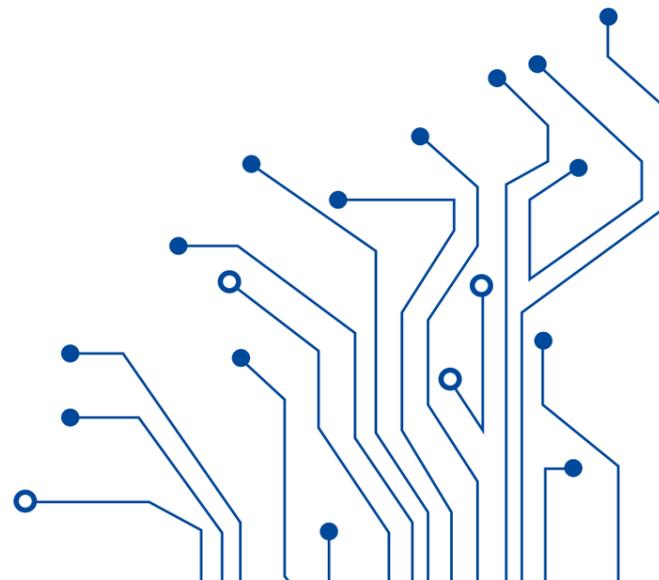
<https://research.fb.com/category/facebook-ai-research-fair/>

Yann LeCun; Leon Bottou

FAIR is the research center of AI of Facebook, founded in 2013 by Yann LeCun. Facebook Artificial Intelligence Researchers (FAIR) seek to understand and develop systems with human-level intelligence by advancing the longer-term academic problems surrounding AI.

Its research covers the full spectrum of topics related to AI, and to deriving knowledge from data:

Theory, algorithms, applications, software infrastructure and hardware infrastructure.



Anhang B. European Landscape of AI

Austria

Austrian Research Institute for Artificial Intelligence (OFAI)

<http://www.ofai.at/index.html>

OFAI is a research institute of the Österreichische Studiengesellschaft für Kybernetik (OSGK), a registered scientific society founded in 1969.

The institute focuses on machine learning and data mining, language and speech technology, neural networks, intelligent software agents and other software technologies.

Denmark

Danish Technological Institute (DTI)

<https://www.dti.dk>

The main purpose of the DTI is to develop, apply and disseminate research and technology based knowledge for the benefit of the Danish business community. This takes place through development projects in collaboration with educational institutions in Denmark and abroad, through advice and standardization. One of its AI competences is in robotics and environmental applications.

France

INRIA

<https://www.inria.fr/en>

Francis Bach; Rémi Gribonval

INRIA is a French national research institution focusing on computer science and applied mathematics. Facebook is investing an additional 10 million Euros and doubling the Facebook AI Research (FAIR) team in order to accelerate research on artificial intelligence in France. As a result, Facebook's European hub is strengthening its partnership with Inria.

IRIT@CNRS

<https://www.irit.fr>

The IRIT (Institut de Recherche en Informatique de Toulouse – Informatics Research Institute of Toulouse) represents one of the major potential of the French research in computer science, with a workforce of more than 700 members including 272 researchers and teachers 204 PhD students, 50 postdoc and researchers under contract and also 32 engineers and administrative employees. The research centers around (1) Information Analysis and Synthesis; (2) Indexing and Information Search; (3) Interaction, Cooperation, Adaptation by Experimentation; (4) Reasoning and Decision; (5) Modelization, Algorithms and High Performance Computing; (6) Architecture, Systems and Networks; (8) Safety of Software Development.

Facebook AI Research (FAIR) Paris

<https://research.fb.com/a-look-at-facebook-ai-research-fair-paris/>

FAIR is the research center of AI of Facebook, founded in 2013 by Yann LeCun. Facebook Artificial Intelligence Researchers (FAIR) seek to understand and develop systems with human-level intelligence by advancing the longer-term academic problems surrounding AI.

Its research covers the full spectrum of topics related to AI, and to deriving knowledge from data: Theory, algorithms, applications, software infrastructure and hardware infrastructure.

Thales

<https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/group/press-release/thales-selects-canada-new-global-hub-boost-artificial-intelligence>

Thales announced the creation of the Centre of Research and Technology in Artificial Intelligence eXpertise (cortAlx). Led by Thales, cortAlx, in collaboration with the MILA (Artificial Intelligence Institute of Quebec), the IVADO (Institute of Data Valorization) and the Vector Institute of Toronto, will be located in Montreal. Thales will be committing about C\$25 million (\$20 million) to the center over the next four to five years.

The new hub will focus on creating solutions for airlines, satellite operators, air traffic controllers,

rail operators, armed forces and critical infrastructure managers.

Naver labs Europe

<http://www.europe.naverlabs.com>

Naver labs Europe was created in August 2017 joining Korean internet giant NAVER as part of NAVER LABS, an ambient intelligence company conducting research in autonomous vehicles, AI, deep learning, 3D mapping and robotics. The lab focuses on (1) Computer vision, (2) machine learning and optimization, (3) natural language processing, (4) data and process management, (5) UX and ethnography, (6) geospatial data.

Finland

VTT Technical research centre of Finland

<http://www.vttresearch.com/impact/references>

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd is one of the leading research and technology organisations in Europe. VTT has a national mandate in Finland. We use our research and knowledge to provide expert services for our domestic and international customers and partners.

Competences exist in the fields of bioeconomy, business tools, health and wellbeing, hyper-connected society, low carbon energy, smart industry, sustainable and smart city.

Ireland

Insight Center for Data Analytics

<https://www.insight-centre.org>

The Insight Centre for Data Analytics is one of Europe's largest data analytics research organisations, with 400+ researchers, more than 80 industry partners and over €100 million of funding. Its mission is to undertake high impact research in data analytics that has significant benefits for the individual, industry and society by enabling better decision making.

The center focuses on (1) Machine learning and statistics, (2) Semantic web, (3) Linked data, (4) Media analytics, (5) Optimization and decision analysis, (6) Personal sensing, (7) Recommender systems.

IBM Research Ireland

<http://sigma.cit.ie/about>

The SIGMA research group has had a long track record of innovation and research in CIT. The group aims to enable research and commercial applications in diverse domains with a particular focus on health, life science, clinical trial, informatics and analytics.

Core areas of research are (1) machine learning (2) cloud computing; (3) affective computing.

TSSG

<https://www.tssg.org>

TSSG is an internationally recognized centre of excellence for ICT research and innovation. It carries out a wide spectrum of industry-informed research in Information and Communications Technologies (ICT), particularly technologies enabling communications and information services.

Its research focuses include (1) Mobile Platforms and Services; (2) Data Analytics and Social computing; (3) Adaptive Networks and services; (4) Augmented and Virtual Reality (AR/VR).

Israel

Mobileye

<https://www.mobileye.com/en-us/>

Mobileye is an Israeli technology company that develops vision-based advanced driver-assistance systems (ADAS) providing warnings for collision prevention and mitigation. In March 2017, Intel announced that they had agreed to a US\$15.3 billion takeover of Mobileye. The deal is expected to be the largest exit in Israel's high-tech industry to date. The company is the global leader in the development of monocular vision-based advanced collision avoidance systems, providing system-on-chip and computer-vision algorithms to run Driver Assistance Systems (DAS) functions such as Lane Departure Warning, Vehicle Detection for radar-vision fusion, Forward Collision Warning, Headway Monitoring, Pedestrian Detection, Intelligent High Beam Control, Traffic Sign Recognition, vision-only Adaptive Cruise Control, and more.

Intel AI Center

The new Intel AI center will operate on the company's campuses in Ra'anana and Haifa, where several dozen software personnel, chip architect specialists, developers, and engineers are already employed. Application areas include (1) autonomous vehicles; (2) drones; (3) smart cities; (4) health systems; (5) infrastructure management

Netherlands

TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research)

<https://www.tno.nl/en/career/tno-and-your-study/artificial-intelligence/>

TNO is an independent research organization in the Netherlands that focuses on applied science. It aims to form a bridge between the academic world and business sector. TNO combines various areas of AI, such as multi-agent technology, human-machine interaction, optimization using smart heuristics and automated reasoning to find solutions to various societal problems.

Amsterdam Machine Learning Lab (AMLab)

<http://amlab.science.uva.nl>

Max Welling

AMLab conducts research in the area of large scale modelling of complex data sources. This includes the development of new methods for probabilistic graphical models and nonparametric Bayesian models, the development of faster (approximate) inference and learning methods, deep learning, causal inference, reinforcement learning and multi-agent systems and the application of all of the above to large scale data domains in science and industry ("Big Data problems"). In particular, the lab head, Prof. Max Welling, collaborates closely with the Bosch Center of AI.

Interactive Intelligence Group@TU Delft

<https://www.tudelft.nl/ewi/over-de-faculteit/afdeling/intelligent-systems/interactive-intelligence/>

The Interactive Intelligence group focuses on social, intelligent agents. They research the intelligence that underlies and co-evolves during the repeated interactions of human and technology "agents" who cooperate to achieve a joint goal. Their research program aims for synergy and social interaction between humans and technology, to empower humans in their social context.

They develop theories, models and methods of interactive intelligence by combining intelligent agent technology, cognitive engineering, psychology, affective computing, value sensitive design and human computer interaction.

Norway

SINTEF (Norwegian: Stiftelsen for industriell og teknisk forskning)

<https://www.sintef.no/en/>

SINTEF, headquartered in Trondheim, Norway, is the largest independent research organisation in Scandinavia. Every year, SINTEF supports research and development at 2,000 or so Norwegian and overseas companies via its research and development activity.

Research areas include Analytics and AI, Automation and Real-time Systems, Computational geosciences, geometry, heterogeneous computing, HRI, IoT optimization, robotics and control.

The Certus Centre for Software Validation and Verification

<http://certus-sfi.no>

The Certus Centre is a 5–8 year research project that engages Simula Research Laboratory as host institution and ABB Robotics, the Cancer Registry of Norway, Cisco Systems Norway, Esito and Kongsberg Maritime as user partners. The project is financially supported by the Research Council of Norway with up to 78,4 million NOK over the up to 8-year project period. The Certus Centre formally started operations 1 October 2011 with status as a Centre for Research-based Innovation.

Slovenia

The Jožef Stefan Institute

<https://www.ijs.si/ijsw/Artificial%20Intelligence%20E3>

The Jožef Stefan Institute is the leading Slovenian scientific research institute, covering a broad spectrum of basic and applied research. The staff of more than 960 specializes in natural sciences, life sciences and engineering. The Artificial Intelligence Laboratory is concerned mainly with research and development in information technologies with an emphasis on artificial intelligence.

The institute focuses on (1) Data analysis with an emphasis on text, web and cross-modal data; (2) Scalable real-time data analysis; (3) Visualization of complex data; (4) Semantic technologies; (5) Language technologies.

Spain

ITAINNOVA

<http://www.itainnova.es>

ITAINNOVA is the Technological Institute of Aragon, a public Technology Centre whose mission is to help companies, technology leaders, institutions and anyone who shapes our society towards achieving a new future through innovation and technological development. It offers its services with a clear market orientation, providing real and innovative solutions from our lines of research and development, which transform and accelerate the technological processes of companies or new challenges in our society.

The institute focuses on (1) Industrial systems; (2) ICT for logistics; (3) Software engineering; (4) Multimedia technologies.

EURECAT

<https://eurecat.org/en/>

Eurecat, the technology center of Catalonia resulting from the integration of the most important technology centers in the network TECNIO (Ascamm, Barcelona Digital, Barcelona Media, Cetemmsa and CTM), search multiple profiles and engineering consultants and others to join the new center. It aims to provide of innovative and exceptional technology to respond to their needs for innovation and to drive and enhance their competitive edge.

Current application areas are (1) Big data; (2) Data mining; (3) Digital humanities; (4) E-health; (5) IT security; (6) Smart management systems; (7) Audio-visual technology.

IIIA CSIC

<https://www.iiia.csic.es/en>

The IIIA is a research centre, belonging to the Spanish Council for Scientific Research (CSIC). Founded in 1985 it currently has around 50 full-time researchers and engineers, including 12 PhD students. Its mission is to carry out very high quality research in AI keeping a good balance between basic research and applications, and paying particular attention to training PhD students and to technology transfer. Since 1987, the IIIA scientists have supervised nearly 90 PhD students.

Its research focuses include (1) Logic, (2) Reasoning and search, (3) Case-based reasoning & learning; and (4) Intelligent agents and multiagent systems.

Switzerland

The Swiss AI Lab IDSIA

<http://www.idsia.ch>

Jürgen Schmidhuber

The Swiss AI Lab IDSIA (Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale) is a non-profit oriented research institute for artificial intelligence, affiliated with both the Faculty of Informatics of the Università della Svizzera Italiana and the Department of Innovative Technologies of SUPSI, the University of Applied Sciences of Southern Switzerland.

The lab focuses on (1) machine learning (deep neural networks, reinforcement learning), (2) operations research, (3) data mining and big data, (4) cognitive and mobile robotics, (5) optimization, simulation & decision support systems, (6) uncertain reasoning.

ABB Group

<http://new.abb.com>

ABB (ASEA Brown Boveri) is a Swedish-Swiss multinational corporation headquartered in Zürich, Switzerland, operating mainly in robotics, power, heavy electrical equipments, and automation technology areas. At Hannover Messe 2017, ABB and IBM announced a strategic collaboration that brings together ABB's industry leading digital offering, ABB AbilityTM, with IBM Watson Internet of Things cognitive capabilities to unlock new value for customers in utilities, industry, transport and infrastructure using artificial intelligence.

ETH - Computer Science Department - Data Management and Machine Learning

<https://www.inf.ethz.ch/research/data-management-machine-learning.html>

Andreas Krause; Joachim Buhmann; Thomas Hofmann

ETH has a long-running and successful history of designing computer systems and developing software tools. Currently, more than 30 professors from over 10 countries are active at the Department of Computer Science. More than 220 PhD students and research assistants and over 60 postdocs and senior scientists contribute to maintaining the high standards in research and teaching for which the department is known worldwide.

Research areas are artificial intelligence, big data, cloud computing, data analytics, databases, data mining, data science, enterprise computing, machine learning, medical informatics, natural language understanding.

EPFL / EPFL - Learning Algorithms and Systems Lab

<http://lasa.epfl.ch/>; <https://actu.epfl.ch/news/matthias-seeger-scalable-bayesian-methods-for-mach/Aude-Willard>; Matthias Seeger

The École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) is a research institute and university in Lausanne, Switzerland, that specializes in natural sciences and engineering.

UK

The Alan Turing Institute

<https://www.turing.ac.uk>

The Alan Turing Institute is the United Kingdom national institute for data sciences, founded in 2015, and will become the national research centre for AI in UK and support for additional Fellows in Government's Industrial Strategy. In particular, it will establish a new Centre for Data Ethics and Innovation which will work to ensure and enable ethical, safe and innovative uses of data including in AI, as well as exploring the setup of 'data trusts'.

The institute focuses on (1) Defense and Security; (2) data science at scale; (3) data-centric engineering.

DeepMind

<https://deepmind.com/>

David Silver; Martin Riedmiller; Alex Graves

All aspects of AI and ML. highlights: AlphaZero; Deep Q Network; Neural Turing Machine; Game AI.

Microsoft Research Cambridge

<https://www.microsoft.com/en-us/research/lab/microsoft-research-cambridge/>
Christopher Bishop

MSR Cambridge was the first Microsoft Research Lab outside US. From a beginning of just three researchers in 1997, to over 130 researchers and engineers today, the lab has established itself as a highly credible academic partner and flowing pipeline of technology transfers into the Microsoft business.

Its research focuses include Biological Computation; Human Experience & Design; Sensors and Devices; Programming Principles and Tools; Machine Intelligence and Perception.

University of Oxford

http://www.cs.ox.ac.uk/research/ai_ml/

A wide spectrum of AI and ML techniques, such as reinforcement learning and deep learning and build applications of these techniques in linguistics, robotics and information retrieval is covered.

University of Cambridge

http://mlg.eng.cam.ac.uk/?page_id=777

Zoubin Ghahramani; Carl E. Rasmussen

All aspects of machine learning. Particular strengths of the group are in Bayesian approaches to modeling and inference in statistical applications.

Imperial College London; University College London

<https://www.ucl.ac.uk/>; <https://www.imperial.ac.uk/>
AI; especially agents and reinforcement learning.

Bristol Robotics Laboratory

<http://www.brl.ac.uk/aboutus.aspx>

Bristol Robotics Laboratory (BRL) is the most comprehensive academic centre for multi-disciplinary robotics research in the UK. It is a vibrant community of over 200 academics, researchers and industry practitioners. The primary mission of BRL is to understand the science, engineering and social role of robotics and embedded intelligence, in particular, dealing with people and their unpredictability, unstructured and uncertain environments, and equipping robots for flexible roles.

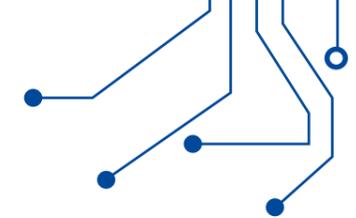
Its research focuses include (1) service robotics; (2) intelligent autonomous systems; (3) bio-engineering.

The Scottish Informatics and Computer Science Alliance (SICSA)

<http://www.sicsa.ac.uk>

The Scottish Informatics and Computer Science Alliance (SICSA) is a collaboration of 14 Scottish Universities. SICSA promotes international excellence in University-led research, education, and knowledge exchange for Scottish Informatics and Computer Science.

Research centers around (1) Artificial intelligence; (2) Cyber-physical system; (3) Cyber security; (4) Human-computer interaction; (5) Networking & systems; (6) Theory, modeling & computation.



Anhang C. German Landscape of AI

Berlin

Berlin Big Data Center

<http://big-data-berlin.dima.tu-berlin.de/home/>

Research and Development of methods and technologies for data science at the interface between data management and machine learning.

The declarative specification and automatic optimization, parallelization and hardware adaptation of advanced machine learning methods constitute the scientific core of the Berlin Big Data Center.

They focus on highly scalable open-source systems which can handle the automatic optimization, parallelization as well as adaptation to heterogeneous hardware setups, in conjunction with a toolbox of scalable machine learning and other data analysis algorithms

DAI-Labor Berlin Distributed Artificial Intelligence Laboratory

<http://www.dai-labor.de/en/>

The DAI-Labor and the chair „Agent technologies in business applications and telecommunication“ at the Technische Universität Berlin, headed by Prof. Dr. Sahin Albayrak, perform research and development in order to provide solutions for a new generation of systems and services – „smart services and smart systems“. The DAI-Labor tries to apply and test these solutions in real environments and make them tangible for users.

Cyber Valley Stuttgart/Tübingen

Max Planck Institute for Intelligent Systems

<http://is.tuebingen.mpg.de/>

The goal of MPI is to understand the principles of Perception, Action and Learning in autonomous systems that successfully interact with complex environments and to use this understanding to design future artificially intelligent systems. The Institute studies these principles in biological, computational, hybrid, and material systems ranging from nano to macro scales. They take a highly interdisciplinary approach that combines mathematics,

computation, material science, and biology.

The focus is on constructing, modeling and analyzing synthetic and hybrid perception-action systems using learning and self-organization, both for handling sensory complexity and for building structural/physical complexity.

The Tübingen campus focuses on how intelligent systems process information to perceive, act and learn through research in the areas of machine learning, computer vision, and human-scale robotics. The Stuttgart campus has world-leading expertise in micro- and nano-robotic systems, haptic perception, human-robot interaction, bio-hybrid systems, and medical robotics.

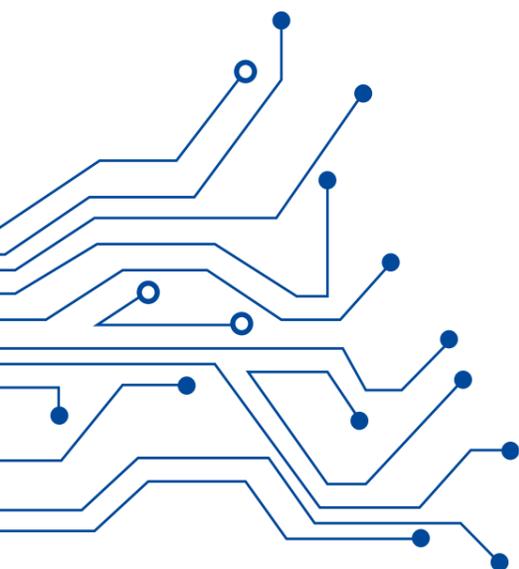
Funded by the Land of Baden-Württemberg, the Cyber Valley research network comprises the Tübingen and Stuttgart sites of the Max Planck Institute for Intelligent Systems, the University of Tübingen and the University of Stuttgart together with seven industry partners: Amazon, the BMW Group, Facebook, IAV GmbH, Daimler AG, Porsche AG, Robert Bosch GmbH and ZF Friedrichshafen AG. These key partners, especially the federal state of Baden-Württemberg, will be financing Cyber Valley in the next five years with a figure in the double digit million euros range.

Heidelberg

NEC Laboratories EUROPE

http://uk.nec.com/en_GB/emea/about/neclab_eu/index.html?

NEC Laboratories Europe focuses on software-oriented research and development of technologies to enable advanced ICT-based solutions for society. The lab focuses on (1) Machine learning, (2) Automated reasoning, (3) Blockchain, (4) IoT security, (5) Edge computing, (6) Network virtualization and automation, as well as (1) Data Science; (2) 5G networks; (3) Network Softwarization; (4) Security; (5) IoT Platform.



München

Volkswagen Information Technology Center Munich (Data-Lab)

<https://datalab-munich.com/>

An international team from the fields of data and computer science, mathematics, physics and robotics, specialized in automotive AI.

Data:Lab focuses its efforts on the following key areas that will fuel the future. (1) AI Research, (2) Advanced Analytics, (3) Natural Language Processing, (4) Deep Learning, (5) Quantum Computing.

The lab works in close collaboration with international universities, public institutions and the most innovative technology vendors & startups.

IBM Watson IoT Headquarters

<https://www.ibm.com/watson/>

IBM Watson focuses on (1) Chatbot for customer service, (2) Discovery of hidden structures in data, (3) Natural Language Processing, (4) Speech to text / text to speech, (5) Language translator and classifier, (6) Understand emotions and communication style in text.

Siemens AI Lab

<https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/digitalization-and-software/autonomous-systems-siemens-ai-lab.html>

In addition to daily business, the Siemens AI Lab is intended to foster employee research in artificial intelligence (AI), providing minimal distractions and maximum concentration.

Microsoft IoT & AI Insider Lab

<https://www.microsoftinsiderlabs.com/>

Microsoft's IoT & AI Insider Labs help customers to develop, prototype, test and operate intelligent product solutions at scale. Located in Redmond USA, Munich Germany and Shenzhen China, these facilities bring together Microsoft and the ecosystem's resources to accelerate bringing your solution to market.

UnternehmerTUM Applied AI Initiative

<http://x.unternehmertum.de/applied-ai/>

UnternehmerTUM offers founders and startups a complete service from the initial idea to IPO. A team of experienced entrepreneurs, scientists, managers and investors supports founders with the development of their products, services and business models. The experts accompany them actively with building up their companies, market entry and financing – also via Venture Capital.

The AppliedAI Initiative is a unique place for building an AI-based business by applying cutting-edge AI technology across industries together with academia,

young businesses and the corporate world. The appliedAI initiative is a non-profit oriented, neutral ground for deploying the latest methods and technologies to create awareness, teach and educate as well as initiate successful AI products and applications.

Oberpfaffenhofen-Weßling

DLR - Institute of Robotics and Mechatronics

<http://www.dlr.de/rm/en/>

The Institute of Robotics and Mechatronics develops a wide array of robots to enable humans to interact more safely and efficiently with their surrounding environments. The robots are designed to act in surroundings inaccessible or dangerous to humans as well as to support humans in everyday life and work.

The institute covers the entire chain of development aspects in robotics, focusing primarily on (1) System analysis, (2) Specification and design, (3) Mechanical design, (4) Electronics design, (5) Sensors and actuators, (6) Control and dynamics simulation, (7) Software architectures, (8) Perception and cognition, (9) Motion and task planning, (10) Machine learning and artificial intelligence, (11) Application development.

Saarbrücken, Kaiserslautern, Bremen, Berlin und Osnabrück

DFKI - German Research Center for Artificial Intelligence

<https://www.dfki.de/web>

In the field of innovative commercial software technology using Artificial Intelligence, DFKI is the leading research center in Germany. Based on application oriented basic research, DFKI develops product functions, prototypes and patentable solutions in the field of information and communication technology. Research and development projects are conducted in eighteen research departments, ten competence centers and seven living labs. Funding is received through grants from public funding agencies as well as from cooperation with industrial partners.

Competences in: (1) Image and pattern recognition, (2) Knowledge management, (3) Intelligent visualization and simulation, (4) Deduction and multi-agent systems, (5) Speech- and language technology, (6) Intelligent user interfaces, (7) Business informatics and robotics.

Sankt Augustin

Fraunhofer Institute for Intelligent Analysis and Information Systems IAIS

<https://www.iais.fraunhofer.de/en/>

The Fraunhofer IAIS supports companies and organizations throughout the entire process – from the development of new IT strategies through to the implementation of Big Data procedures in company systems and eventually to the development of specific technical solutions.

The 200 strong team is capable of combining in-depth industry knowledge with scientific expertise across a full range of technical disciplines, most notably information technology but also mathematics, natural sciences, business management, geo sciences and social sciences.

Expertise in data science, pattern recognition and system modeling and analysis has made the Fraunhofer IAIS one of Europe's leading applied Big Data research institutions in Europe.

Stuttgart

Bosch Center for Artificial Intelligence

<https://www.bosch-ai.com/en/home/home.html>

The Bosch Center for Artificial Intelligence build the technology foundation to generate real-world impact through AI.

Their research creates differentiation in six areas with a focus on core AI technology. (1) AI-based Dynamics Modeling, (2) Rich and Explainable Deep Learning, (3) Large-Scale AI and Deep Learning, (4) Environment Understanding and Decision Making, (5) Control Optimization Through Reinforcement Learning, (6) Dynamic multi agent planning.

Collaborations exist with MPI Stuttgart/Tübingen and Amsterdam Machine Learning Lab.

Chairs and Research Groups

University of Bamberg

Cognitive Systems Group

<https://www.uni-bamberg.de/kogsys/>

Prof. Schmid

In the research domain Cognitive Systems (CogSys) the group is concerned with the development of approaches, concepts, and methods for design, description, construction, and analysis of intelligent systems based on cognitive principles.

Current application areas are (1) Diagnostics in industry 4.0, (2) Facial expression analysis and classification, (3) Cognitive models of concept learning, (4) Intelligent tutor systems for mathematics and programming.

Technical University of Berlin

Institute of Software Engineering and Theoretical Computer Science; Machine Learning

http://www.ml.tu-berlin.de/menue/machine_learning/

Prof. Müller

The group is concerned with questions in the area of intelligent data analysis (IDA). In the information age, IDA goes beyond the pure collection and organisation of data. Recognizing interrelationships and dependencies in the data is an important aspect, in particular, if no easy modelling approaches are available. Therefore, the group develops and applies intelligent algorithms for the analysis and processing of complex data sets.

Institute of Software Engineering and Theoretical Computer Science; Methods of Artificial Intelligence

http://www.ki.tu-berlin.de/menue/methoden_der_kuenstlichen_intelligenz

Prof. Opper

The Artificial Intelligence group concerns itself with the development and mathematical analysis of algorithms and theoretical concepts which are applied in artificial intelligence and machine learning. The main focus is on probabilistic Bayesian methods, with whom prior knowledge as well as uncertainty can be integrated into complex models. Such models are adaptive; they can fit themselves to diverse problems through learning by examples.

University of Bielefeld

Machine Learning Group / Citec Cluster of Excellence

<https://www.cit-ec.de/en/research-groups>

Prof. Hammer; Prof. Ritter

The research group Machine Learning (ML) was established as part of the CITEC center of excellence and the Faculty of Technology

The research of the Machine Learning group centers around a key enabling technology for the cluster of excellence CITEC and the theoretical foundation of machine learning models e.g. for learning with concept drift, transfer learning, or explainable AI. The group's main focus lies in the development and analysis of cognitively inspired machine learning techniques to automatically uncover structures in digital data sets and to realize intelligent adaptive behavior in technical systems.

University of Bonn

Institute for Computer Science, Autonomous Intelligent Systems

<http://www.ais.uni-bonn.de/index.html>

Prof. Behnke

The Autonomous Intelligent Systems group conducts research in the areas of cognitive robotics and computer vision.

Technical University of Bremen

Institute for Artificial Intelligence

http://ai.uni-bremen.de/team/michael_beetz

Prof. Beetz

IAI investigates AI-based control methods for robotic agents, with a focus on human-scale everyday manipulation tasks.

The IAI group provides most of its results as open-source software, primarily in the ROS software library.

Technical University of Darmstadt

Chair of Artificial Intelligence

<http://www-ai.cs.uni-dortmund.de/allgemein.html>

Prof. Morik

The chair of artificial intelligence deals with the wide

field of machine learning. In particular the chair concentrates on the development and implementation of learning algorithms that solve challenging problems.

Technical University of Dortmund

Chair of Artificial Intelligence

<http://www-ai.cs.uni-dortmund.de/allgemein.html>

Prof. Morik

The chair of artificial intelligence deals with the wide field of machine learning. In particular the chair concentrates on the development and implementation of learning algorithms that solve challenging problems.

Technical University of Dresden

Institute of Artificial Intelligence

<https://tu-dresden.de/ing/informatik/ki#intro>

The institute focuses on artificial intelligence or intellectics in research and teaching.

The research centers around (1) Applied Knowledge Representation and Reasoning, (2) Computational Logic, (3) Computer Vision, (4) Knowledge Representation and Reasoning, (5) Scientific Computing for Systems Biology.

University of Erlangen-Nürnberg

The Research Group of the Professorship for Knowledge Representation and Processing

<https://kwarc.info/research/>

Prof. Kohlhase

The KWARC research group conducts research in knowledge representation with a view towards applications in knowledge management. They extend techniques from formal methods so that they can be used in settings where formalization is either infeasible or too costly.

The group concentrates on developing techniques for marking up the structural semantics in technical documents. This level of markup allows for offering interesting knowledge management services without forcing the author to fully formalize the document contents. They are working on methods for semi-automated semantization.

University of Freiburg

Foundations of Artificial Intelligence

<http://gki.informatik.uni-freiburg.de/>

Prof. Nebel

The artificial intelligence research group follows the main research lines: (1) AI planning and model checking, (2) knowledge representation, and (3) robotics.

University of Passau

Chair of Complex and Intelligent Systems

<http://www.fim.uni-passau.de/en/complex-intelligent-systems/>

Prof. Seifert

The Chair's research is concerned with machine learning procedures and modeling procedures in the field of intelligent and complex systems engineering.

Technical University of Munich

Chair of Automatic Control Engineering

<https://www.lsr.ei.tum.de/en/home/>

Prof. Buss

The Chair of Automatic Control Engineering is concerned with teaching and research in the areas of automatic control theory, dynamic and autonomous systems, automation, and robotics.

Institute for Cognitive Systems

<http://www.ics.ei.tum.de/home/>

Prof. Cheng

The Institute for Cognitive Systems deals with the fundamental understanding and creation of cognitive systems.

Chair of Robotics and Embedded Systems

<https://www6.in.tum.de/>

Prof. Knoll

The primary mission of the Chair of Robotics and Embedded Systems is research and education with a focus on machine perception, cognition, action and control.

The chair is organized into four research areas: (1) Human Robot Interaction and Service Robotics, (2) Medical Robotics, (3) Cognitive Robotics, (4) Cyber-Physical / Embedded Systems

University of Stuttgart

Machine Learning and Robotics Lab

https://www.ipvs.uni-stuttgart.de/abteilungen/mlr/index.html?__locale=en

Prof. Toussaint

The Machine Learning & Robotics (MLR) Lab aims to push Machine Learning methods towards intelligent real world systems, in particular robots learning to interact with and manipulate their environment.

Technically, the MLR Lab focuses on the areas of Reinforcement learning, Probabilistic modelling and inference, Relational representations and their application in Robotics.

University of Tübingen

Chair of Cognitive Systems

http://www.ra.cs.uni-tuebingen.de/lehrstuhl/welcome_e.html

Prof. Zell

The chair focuses on (1) Machine Learning methods, (2) Evolutionary Algorithms, (3) Autonomous Mobile Robots, (4) Bioinformatics.

University of Ulm

Institute of Artificial Intelligence

<https://www.uni-ulm.de/en/in/ki/>

Research at the Institute of Artificial Intelligence focuses on planning and decision making, knowledge modelling, cognitive systems, automated inference and semantic technologies.

University of Würzburg

Chair of Computer Science VI – Artificial Intelligence and Applied Computer Science

<http://www.is.informatik.uni-wuerzburg.de/en/homepage/>

Prof. Puppe

The Chair for Computer Science VI represents at the University of Wuerzburg in the practical computer science the area of artificial intelligence. The chair focuses on (1) Knowledge management, (2) Multi-agent systems, (3) Intelligent tutoring, (4) Machine Learning, and (5) the practical implementation of the methods in technical and medical applications.

Impressum

Herausgeberin

fortiss gemeinnützige GmbH
Guerickestraße 25
80805 München
www.fortiss.org

Projektleitung

Dr. Harald Rueß
fortiss GmbH

Stand

März 2018

Gestaltung

Kathrin Kahle
fortiss GmbH

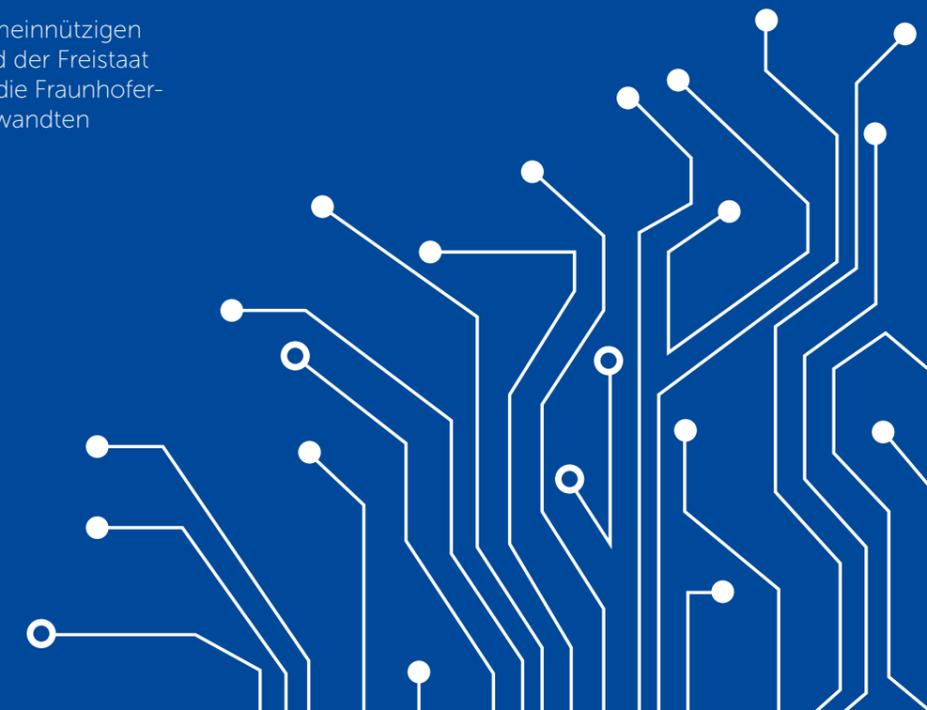
Bildnachweis

Seite 1: shutterstock © Carlos Amarillo
Seite 4: fortissGmbH © Kathrin Kahle
Seite 5: shutterstock © maxuser
Seite 10: shutterstock © ktsdesign
Seite 22: shutterstock © Kindersps
Seite 44: fortissGmbH © Kathrin Kahle
Seite 2, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 13, 17, 19, 22, 23, 24,
27, 28, 33, 34, 39, 45: shutterstock © A-R-T

fortiss ist das Forschungsinstitut des Freistaats Bayern für softwareintensive Systeme und Services mit Sitz in München. Die WissenschaftlerInnen am Institut arbeiten in Forschungs-, Entwicklungs- und Transferprojekten mit Universitäten und Technologiefirmen in Bayern, Deutschland und Europa zusammen. Schwerpunkte sind die Erforschung modernster Methoden, Techniken und Werkzeuge der Softwareentwicklung, des Systems- & Service-Engineering und deren Anwendung auf kognitive cyberphysische Systeme wie das Internet of Things (IoT).

fortiss ist in der Rechtsform einer gemeinnützigen GmbH organisiert. Gesellschafter sind der Freistaat Bayern (Mehrheitsgesellschafter) und die Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

Alle Angaben in diesem White Paper wurden mit größter Sorgfalt zusammengestellt. Trotzdem sind Fehler nicht ausgeschlossen. Es wird weder eine Garantie noch eine juristische Verantwortung oder jegliche Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Informationen zurückzuführen sind, übernommen.



fortiss GmbH

Guerickestraße 25
80805 München
Deutschland

www.fortiss.org

Tel: +49 89 3603522 0

E-Mail: info@fortiss.org



fortiss