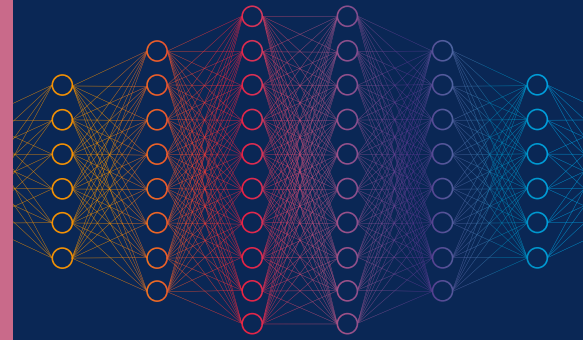


Maschinelles und Tiefes Lernen

Whitepaper von Kristian Kersting,
Volker Tresp
Arbeitsgruppe Technologische Wegbereiter
und Data Science



Kurzfassung

Wir leben im goldenen Zeitalter der Künstlichen Intelligenz¹ (KI). Nachhaltige algorithmische Fortschritte insbesondere beim Maschinellen Lernen² (ML) und beim Tiefen Lernen (Deep Learning, DL) in Verbindung mit der Verfügbarkeit massiver Datensätze und Fortschritten beim schnellen, parallelen Rechnen haben Durchbrüche in ganz verschiedenen Anwendungsfeldern ermöglicht. Anwendungen die noch vor wenigen Jahren als Science-Fiction galten, sind heute schon in unserem Alltag angekommen oder stehen kurz davor: Wissen von unvorstellbarem Umfang und in erstaunlicher Tiefe wird mit einem Mausklick zugänglich, sprachgesteuerte Assistenzsysteme unterstützen unser Leben in vielen Bereichen, Bilderkennungssysteme haben menschenähnliche Leistungsfähigkeit erreicht, autonome Fahrzeuge werden zunehmend Realität, Geschäftsmodelle verändern sich rapide und personalisierte Medizin ermöglicht eine optimale und individualisierte Behandlung.

Künstliche Intelligenz kann in vielfältiger Art und Weise dazu beitragen, unsere Lebensbedingungen zu verbessern. Die Herausforderung für die Gesellschaft ist es, eine Zukunft mit Künstlicher Intelligenz zu gestalten. Dabei gilt es, gleichermaßen Chancen zu nutzen, aber auch Risiken zu analysieren und Lösungswege anzubieten. Die unterschiedlichen gesellschaftlichen Akteure müssen eine Zukunft mit Künstlicher Intelligenz gemeinsam gestalten. Im Folgenden stehen primär die technischen Herausforderungen und der Aufbau von Fähig-

¹ Nach J. McCarthy ist Künstliche Intelligenz „the science and engineering of making intelligent machines, especially intelligent computer programs. It is related to the similar task of using computers to understand human intelligence, but AI does not have to confine itself to methods that are biologically observable“ (McCarthy 2007).
² T. Mitchell definiert Maschinelles Lernen als die Wissenschaft „that is concerned with the question of how to construct computer programs that automatically improve with experience“ (Mitchell1997: 15).

keiten im Mittelpunkt: Zu welchen Themen muss national KI-Kompetenz aufgebaut werden und in welche Forschungsthemen sollte heute und morgen investiert werden?

Maschinelles Lernen und Tiefes Lernen: Motor für aktuelle KI-Durchbrüche

Smarte Lösungen werden heute vornehmlich manuell programmiert. Ein Smartphone beispielsweise beinhaltet mehr als 10 Millionen Codezeilen. Die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz markieren einen Paradigmenwechsel: Statt Verarbeitungsschritte manuell zu kodieren, wird die Fähigkeit zu lernen programmiert. Mithilfe des Maschinellen Lernens können Agenten aus sehr vielen Beispielsituationen Muster erlernen und auf neue, ähnliche Situationen übertragen. Die größten KI-Erfolge basieren derzeit auf tiefen neuronalen Netzen (Tiefes Lernen bzw. Deep Learning), bei denen eine große Zahl an künstlichen Neuronen Eingangsinformation in mehreren Schichten verarbeiten und am Ausgang das Ergebnis bereitstellen.

Auch beim Maschinellen Lernen muss weiterhin der Mensch programmieren. Allerdings programmiert er nicht mehr fertige Lösungen. Stattdessen entwickelt er Programme, die aufgrund von Trainingsdaten die Lösung erlernen. Durch Tiefes Lernen oder Deep Learning, einer Teildisziplin des Maschinellen Lernens, konnten jüngst in vielen Bereichen bemerkenswerte Durchbrüche erzielt werden. Diese Fortschritte sind die Basis für die meisten Erfolge in den erwähnten Anwendungsfeldern. So sind beispielsweise moderne Übersetzungs- und Bilderkennungssysteme ohne Tiefes Lernen nicht denkbar. Neuronale Netzwerke besitzen eine hohe Expressivität, vereinfacht gesprochen die Fähigkeit, jede kontinuierliche Funktion beliebig genau zu approximieren. Dadurch gestaltet sich ihr Training oftmals sehr daten- und zeitintensiv. Gleichzeitig ist es aber in der Regel möglich, ein für eine spezielle Aufgabe aufwendig trainiertes Netz mit wenig Aufwand auf eine neue Aufgabenstellung anzupassen.

Das Verständnis der theoretischen Grundlagen des Tiefen Lernens sind – im Gegensatz zu früheren Ansätzen wie den Support Vector-Maschinen – teilweise noch lückenhaft: Optimale Lösungen entstehen in einem Trial and Error-Verfahren, das auf Erfahrungswissen und Heuristiken basiert. Die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen des Tiefen Lernens ist ein wichtiger gegenwärtiger Forschungsschwerpunkt.

Die Begriffe Künstliche Intelligenz, Maschinelles Lernen und Tiefes Lernen bzw. Deep Learning werden häufig nicht trennscharf verwendet. Künstliche Intelligenz definiert Herausforderungen, die es zu lösen gilt und entwickelt Lösungsansätze. Beim Maschinellen Lernen steht das Erlernen der Lösungen im Vordergrund. Das Tiefe Lernen wiederum stellt derzeit einige der leistungsfähigsten Ansätze des Maschinellen Lernens bereit.

KI-Expertise für „KI made in Germany“

Ohne Tiefes Lernen bzw. Deep Learning sind die spektakulären und heute viel diskutierten Durchbrüche in der Künstlichen Intelligenz nicht denkbar. Für eine erfolgreiche „KI made in Germany“, ist es unabdingbar, die Expertise für

Maschinelles Lernen und Tiefes Lernen in Deutschland zu stärken: Denn unabhängig davon, ob Daten als das „Öl des 21. Jahrhunderts“ in großem oder kleinem Umfang gesammelt werden, ohne hochleistungsfähige „Raffinerien“ – also Methoden wie das Maschinelle Lernen oder das Tiefe Lernen – bleiben Daten, was sie sind: Rohöl, das keinen (Wirtschafts-)Motor antreiben kann.

Im Folgenden werden Kompetenzen benannt, die für eine Umsetzung von „KI made in Germany“ zentral sind und an den Hochschulen, in Forschungsprogrammen und Kompetenzzentren adressiert werden sollten. Darüber hinaus werden Infrastrukturbedarfe benannt, die im Dialog zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Politik bearbeitet werden sollten. Die Reihenfolge entspricht dabei ihrer derzeitigen Bedeutung für die Technologieentwicklung.

- **Expertise bei den Grundlagen und Verfahren des Maschinellen Lernens stärken.** Zu nennen sind hierbei beispielsweise das (un)überwachte Lernen, das Lernen durch Verstärkung (Reinforcement Learning), die Dichteschätzung, das Boosting und Ensemble-Methoden, Max-Margin-Modelle, Online- und Datenstrom-Lernverfahren, das relationale Lernen und andere Verfahren. Zudem gehören zu den Grundlagen auch umfangreiche Kenntnisse in der Modellauswahl, der Datenbereinigung, der Merkmalsauswahl, der mathematischen Optimierung, der Statistik, der Interpretation von Modellen und ihren Ergebnissen und der Durchführung einer empirischen Evaluierung im Allgemeinen.
- **Expertise im Bereich Tiefes Lernen bzw. Deep Learning stärken,** insbesondere in den Teilgebieten neuronale Netzwerke, Convolutional Neural Networks, Rekurrenten Neuronalen Netzen, Autoencoder, Neural Variational Inference, Generative Adversarial Networks, Self-Supervised Deep Networks, tiefe Wahrscheinlichkeitsmodelle, differenzierbare Programmierung, stochastische Optimierung und Visualisierung bzw. Erklärbarkeit von tiefen Modellen.
- **KI-Infrastruktur auf- und ausbauen,** insbesondere von Clustern, die das Maschinelle Lernen und das Tiefe Lernen beispielsweise mittels speziellen KI-Beschleunigern wie GPUs, TPUs u. a. unterstützen. Expertinnen und Experten für Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen und die Politik sollten in einem kurzfristigen und intensiven Dialog erarbeiten, wie eine solche Infrastruktur ausgestaltet und umgesetzt werden kann. Wichtig ist dabei vor allem, dass die Infrastruktur für alle Stakeholder mit ausgewiesener Expertise zur Verfügung steht und die Leistungsanforderungen verschiedenster Anwendungen erfüllen kann. Darüber hinaus müssen verschiedene Konzepte – etwa für Sicherheits- und Vertraulichkeitsanforderungen – erprobt werden können.
- **Forschung zu neuartigen Rechenplattformen stärken.** Heutige KI-Infrastrukturen basieren auf CPU- und GPU-Clustern. Zukünftige KI-Infrastrukturen werden sich voraussichtlich stark davon unterscheiden. Neue Rechenplattformen zu erforschen und Kompetenzen dazu aufzubauen, kann zu einem Wettbewerbsvorteil werden, insbesondere bei grundlegenden Umbrüchen auf dem Hardwaresektor. Deutschland sollte daher nicht nur auf bereits ausgereifte Technologien setzen, sondern gezielt künftige Basistechnologien für Künstliche Intelligenz erforschen.

- **System- und Integrationsexpertise stärken.** Dies umfasst die Kombination und Trade off-Analyse von KI-Verfahren mit klassischen Verfahren ebenso wie Künstliche Intelligenz mit einem Energieverbrauch im Milliwatt-Bereich, sichere und garantierte KI-Anwendungen und Künstliche Intelligenz auf kostengünstigen Plattformen. Ein Schwerpunkt sollte auf die Architektur dieser Systeme mit KI-Komponenten gelegt werden. Denn die effiziente Bereitstellung der Daten an den Rechenknoten stellt derzeit die wesentliche Herausforderung dar – weniger die effiziente Gestaltung der Knoten selbst.
- **Expertise in weiteren relevanten KI-Methoden stärken,** beispielsweise Schlussfolgern, effiziente Suche (z. B. Monte Carlo Tree Search), Constraint Programming, Wissensrepräsentation, Planungsalgorithmen oder statistisch-relationale Ansätze.
- **Expertise in weiteren Bereichen der Datenwissenschaften stärken,** die nicht schon durch Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz abgedeckt sind, etwa Datenerhebung, Datenmanagement verteiltes Rechnen oder insbesondere Hardware-basierte KI-Beschleunigung.
- **Expertise zur Anwendung von KI-Methoden und zur Untersuchung gesellschaftlicher, sozioökonomischer und politischer Effekte stärken,** die durch den vermehrten Einsatz lernender Systeme und automatischer Entscheidungen ausgelöst werden: Interpretierbarkeit von KI-Modellen, KI-Qualitätssicherung, Diskriminierung durch und Bias von KI-Systemen sowie Wahrung der Menschenrechte bei der Anwendung von KI-Systemen u. a.
- **Statistik-Expertise und andere Kompetenzen für Künstliche Intelligenz und Maschinelles Lernen bereits in der Schule fördern,** so dass beispielsweise der Umgang mit Unwägbarkeiten und das Operieren in ungenau bestimmten Umgebungen frühzeitig erlernt wird. Das Verstehen und Interpretieren sowie der Umgang mit statistischen Aussagen sind wichtige Lerninhalte.

Durch interdisziplinäre Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungsketten im europäischen Kontext kann eine Forschung zu Künstlicher Intelligenz, Maschinellem Lernen und Tiefem Lernen zum Nutzen aller in Deutschland weiterwachsen und „KI made in Germany“ zu einem global sichtbaren Qualitätsmerkmal entwickelt werden.

Impressum

Herausgeber: Lernende Systeme – Die Plattform für Künstliche Intelligenz | Geschäftsstelle | c/o acatech | Karolinenplatz 4 | D-80333 München | kontakt@plattform-lernende-systeme.de | www.plattform-lernende-systeme.de | Folgen Sie uns auf Twitter: @LernendeSysteme | Stand: Juni 2019 | Bildnachweis: Lia Koltyrina / Shutterstock

Diese Kurzfassung entstand auf Grundlage des Whitepapers *Maschinelles und Tiefes Lernen – Der Motor für „KI made in Germany“*, München, 2019. Die Autoren und ihre Gesprächspartner sind Mitglieder der Arbeitsgruppe Technologische Wegbereiter und Data Science der Plattform Lernende Systeme. Die Originalfassung der Publikation ist online verfügbar unter: <https://www.plattform-lernende-systeme.de/publikationen.html>



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

 **acatech**
DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN