



Rolle der Künstlichen Intelligenz in der Elektro- und Informationstechnik

Dieses Papier zeigt, wo bereits heute in den verschiedenen Fachgebieten der Elektro- und Informationstechnik die Künstliche Intelligenz eine wichtige und insbesondere selbstverständliche Rolle spielt. Dabei besteht eine wechselseitige Beziehung: KI ist nicht nur Mittel zum Zweck – mächtiges Werkzeug zum **Lösen elektrotechnischer Aufgabenstellungen** sowie **Helferlein im Arbeitsalltag** – sondern auch **Gegenstand der elektrotechnischen Forschung bzw. wird durch elektrotechnische Verfahren** z.B. in der Nachrichtentechnik **unterstützt**. An vielen Stellen kommt die KI (noch) an ihre Grenzen. Wir zeigen, wo diese liegen und geben Ausblicke.

Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Auseinandersetzung mit dem Thema „KI in der elektrotechnischen Lehre“ sowie die Nutzung von Large Language Models im Studium und beim wissenschaftlichen Arbeiten. Wir lernen außerdem den Unterschied zwischen Data Scientist und Elektroingenieur in der Nachrichtentechnik kennen. Auch die Frage „Wird die KI Elektroingenieurinnen und Elektroingenieure ersetzen?“ klären wir hier mit Hilfe einer einschlägigen Berufsforscherin auf.

Autorengruppe

Dr.-Ing. Carsten **Bockelmann**

Forschungsgruppenleiter am Arbeitsbereich Nachrichtentechnik, Universität Bremen

Dr.-Ing. Damian **Dudek**

Geschäftsführer der Informationstechnischen Gesellschaft ITG im VDE

Prof. Dr.-Ing. Andreas **Haja**

Laborleiter für Innovationen im Ingenieurwesen, Fachbereich Technik, Hochschule Emden-Leer

Prof. Dr. Alexander **Hanuschkin**

Professur für KI autonomer Systeme, Fakultät für Elektro- und Informationstechnik, Hochschule Karlsruhe

Dr. phil. Cosima **Klischat**

Leitung Zukunftsagentur Nachhaltigkeit, Fakultät für Elektro- und Informationstechnik, Hochschule Karlsruhe

Prof. Dr. rer. nat. Sebastian **Lehnhoff**

Vorstandsvorsitzender des An-Instituts OFFIS der Universität Oldenburg

Dr.-Ing. Mathias **Magdowski**

Lehrstuhl Elektromagnetische Verträglichkeit, Fakultät für Elektro- und Informationstechnik, OvG Universität Magdeburg

Dr. Britta **Matthes**

Forschungsgruppenleiterin „Berufliche Arbeitsmärkte“
am Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung IAB, Nürnberg

Prof. Dr.-Ing Gerhard **Rigoll**

Ordinarius i.R. am Lehrstuhl für Mensch-Maschine Kommunikation,
School of Computation, Information and Technology, Technische Universität München

Dr.-Ing. Michael **Schanz**

Leitung der Geschäftsstelle für Ingenieurstudium, -Beruf und Gesellschaft im VDE

Hoai My **Van**, M. Sc.

Forschungsgebiet flexible und adaptive Strukturen für Künstliche Intelligenz,
Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme, München

Dr.-Ing. Dirk **Wübben**

Forschungsgruppenleiter am Arbeitsbereich Nachrichtentechnik, Universität Bremen

Prof. Dr.-Ing. Niclas **Zeller**

Professur für Signalverarbeitung und mobile Robotik, Fakultät für Elektro- und Informationstechnik,
Hochschule Karlsruhe



Inhalt

Editorial/Motivation	4
KI in der elektrotechnischen Lehre (Gerhard Rigoll)	5
5 Nutzungstipps zur Bearbeitung von Aufgaben im Studium (Mathias Magdowski).....	9
KI-Modelle im Praxistest: Grundlagen der Elektrotechnik mit GPT, Claude und Mistral (Andreas Haja)	12
KI-gestütztes Arbeiten mit wissenschaftlichen Veröffentlichungen (Mathias Magdowski).....	23
KI bzw. Maschinelles Lernen als offizieller Teil des elektrotechnischen Fächerkanons der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG (Michael Schanz)	24
Wie KI und andere digitale Technologien die Arbeit von Ingenieuren in der Elektro- und Informationstechnik verändern könnten (Britta Matthes).....	26
KI im Ingenieursalltag (Cosima Klischat, Niclas Zeller, Alexander Hanuschkin).....	33
KI in der Nachrichtentechnik (Carsten Bockelmann, Dirk Wübben)	36
KI in der Energiewirtschaft (Sebastian Lehnhoff).....	40
KI in der Automatisierung (Hoai My Van).....	44
Herausforderungen Energieeffizienz! Neue Wege durch Neuromorphic Computing in der Informationsverarbeitung (Damian Dudek)	47
Zukunftsfeld: KI im Einsatz in der Electronic Design Automation (Damian Dudek)	49

Editorial/Motivation

Mein erster Arbeitstag am Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS. Ich soll ein Expertensystem mit einer neuen Software programmieren, die in der Lage ist, tausende von Regeln sehr schnell auszuwerten. Dabei geht es um automatisierten Schaltungsentwurf. Diese Software, die auf den fortschrittlichsten UNIX-Workstations läuft, ist darüber hinaus auf Lernfähigkeit ausgelegt – im Jahre 1989 ein erster Blick in die Zukunft. Nur wenige Schritte von meinem Büro entfernt arbeiteten damals zwei engagierte Elektroingenieure an der Entwicklung eines innovativen Neurochips, ein frühes Indiz dafür, dass die Konzepte der KI lange vor ihrer heutigen allgemeinen Verbreitung existierten. Diese Berührungspunkte mit KI-Technologien zeigten mir bereits damals die Faszination, im Bereich Elektro- und Informationstechnik als Ingenieur tätig zu sein. Ein paar Jahre später wurde ich u.a. im Fach Neuroinformatik zum Thema „Neuronale Netze“ im Rahmen meiner Promotion geprüft. Ein KI-Fachgebiet, das bereits 1994 an der Universität Duisburg in der Elektro- und Informationstechnik von Prof. Gerhard Rigoll, einem unserer Autoren, eingeführt wurde. Einer der oder wenn nicht der erste KI-Lehrstuhl in der Elektrotechnik in Deutschland.

Diese persönlichen Erfahrungen unterstreichen eine zentrale Erkenntnis: Die Grundlagen der KI wurden zwar bereits vor Jahrzehnten gelegt (genau genommen in den 1940ern), doch ihre flächendeckende Integration in die Lehrpläne der Elektro- und Informationstechnik sowie ihre umfängliche Anwendung finden erst in jüngerer Zeit statt. Die rasante Entwicklung der KI in den letzten Jahren hat sie zu einem unverzichtbaren Bestandteil unserer Disziplin gemacht.

Unser Ziel ist u.a., junge Menschen die zentrale Rolle der KI in diesem Bereich aufzuzeigen und so für ein Studium der Elektro- und Informationstechnik zu begeistern – also das Erschließen neuer Zielgruppen. Zugleich wollen wir Studierenden Tipps an die Hand geben uns auf die Bedeutung der KI für die gegenwärtige Arbeit von Ingenieuren und Ingenieurinnen der Wirtschaft, Politik und Hochschullehre gegenüber aufmerksam machen.

Darüber hinaus zeigt das Papier, wie sich die Arbeit im Bereich Elektro- und Informationstechnik durch Künstliche Intelligenz ändern wird oder schon längst geändert hat. In einer Welt, in der die KI zunehmend Einfluss nimmt, ist es entscheidend, sowohl die Ausbildung als auch die berufliche Praxis an die neuen Technologien und die damit verbundenen Möglichkeiten und Herausforderungen anzupassen.

Der VDE setzt sich schon seit mehreren Jahren für vertrauensvolle KI-Produkte ein. Dies liegt in seiner DNA. Trotzdem sehen wir als VDE die Notwendigkeit, hier Aufklärungsarbeit zu leisten, wie denn genau die Künstliche Intelligenz Bestandteil der Elektro-Ingenieursarbeit ist.

Mit großem Dank an unsere Autorengruppe und In der Hoffnung, dass die Inhalte bei Herausgabe des Papiers nicht veraltet sein werden, wünsche ich viel Spaß bei der Lektüre.



Michael Schanz

VDE „Studium, Beruf und Gesellschaft“

Offenbach, im Oktober 2024

KI in der elektrotechnischen Lehre (Gerhard Rigoll)

Die Entwicklung der KI in der Lehre im Bereich der Elektro- und Informationstechnik ist – wie in vielen anderen Bereichen auch – relativ stark abhängig gewesen von der Entwicklung dieser Technologie in der Forschung und ebenso in der Anwendung. Dies lässt sich gegenwärtig relativ gut beobachten, denn die aktuellen Erfolge in diesem Gebiet (speziell in den Bereichen maschinelles Lernen und „Deep Learning“) haben zu einer extrem großen Popularität dieser Thematik auch in den Medien geführt und dies hat wiederum zu enormer Resonanz und Interesse von Studierenden in der Informationstechnik, aber auch in anderen Studienfächern geführt. In fast allen aktuellen Vorlesungen zum Thema KI sind die Teilnehmerzahlen durch diese Entwicklung stark gestiegen.

Durchaus ähnlich war dies auch so gegen Ende der 80er bzw. zu Beginn der 1990er Jahre, als es eine „erste größere KI-Welle“ gab, die zunächst die Popularität des Themas hauptsächlich in der Forschung beflügelte. Selbstverständlich erkannte man damals auch schon das riesige Anwendungspotenzial der KI, aber es gab in der Tat nur sehr wenige wirklich funktionierende und damit auch erfolgreiche Anwendungen.

Man kann sich bei dieser Entwicklung der KI an gewisse „Meilensteine“ erinnern, z.B. die Gründung des „5th Generation Computer Programme“ in Japan Mitte der 1980er Jahre und das mit daraus resultierende ESPRIT-Forschungsprogramm der EU, oder die Gründung des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken ebenfalls um diese Zeit. Solche Gründungen im universitären Umfeld führten dann natürlich auch zu einem gewissen Lehrangebot in der KI, welches in den 80er Jahren allerdings noch relativ spärlich in Deutschland war. Hierbei muss man unterscheiden zwischen zwei durchaus unterschiedlichen Bereichen: Zum einen die „klassische KI“, also der Bereich, der sich mit den damals populären Methoden der Symbolverarbeitung beschäftigte, wie z.B. Wissensrepräsentation, Prädikatenlogik, Theorembeweisen, Inferenzmethoden, basierend auf damals klassischen „KI-Sprachen“ wie LISP oder PROLOG. Zum anderen eine KI, die eher auf numerisch-basierten Algorithmen aufbaute, die stärker aus dem Bereich der Mustererkennung stammten, mit Anwendungen wie z.B. Sprach- und Bildverarbeitung, von denen damals schon klar war, dass die symbolische Informationsverarbeitung hierfür offensichtlich weniger geeignet erschien. Insbesondere in diesem Bereich haben sich damals die neuronalen Netze entwickelt und dann – von vielen sicherlich damals noch unerwartet – heute zu den populärsten und dominantesten Ansätzen etabliert. Hierbei sollte noch erwähnt werden, dass es auch davor (auch schon vor Ende der 80er Jahre) schon beachtliche Forschungsanstrengungen zum Thema neuronale Netze gab, die damals allerdings überwiegend in Bereichen wie Biophysik oder Biokybernetik angesiedelt waren und in den Ingenieurwissenschaften bzw. der Informationstechnik noch weniger bekannt waren.

Dieser damals noch recht geringe Bekanntheitsgrad der neuronalen Verfahren, war daher einer der Hauptgründe, warum damals die Lehrangebote an den deutschen Universitäten stärker konzentriert waren auf die zu diesem Zeitpunkt schon bekannteren klassischen KI-Ansätze und diese hatten ihren Ursprung insbesondere in der Informatik, weshalb zunächst dort auch solche Lehrangebote entstanden sind. Für die Elektrotechnik waren diese Ansätze kaum interessant und auch noch nicht sehr populär, hier gab es in den 1980er-Jahren zunächst lediglich die Entwicklung, dass das Lehrangebot immer mehr Anteile aus dem Software- statt dem Hardware-Bereich enthielt, meistens waren dies aber eher allgemeinere Vorlesungen zum Thema „Datenverarbeitung“. Dies ging auch einher mit der damaligen Entwicklung, dass immer mehr elektrotechnische Fakultäten umbenannt worden sind in „Elektrotechnik und Informationstechnik“.

Die Entwicklung von KI-Vorlesungen nahm dann aber gegen Ende der 1980er-Jahre deutlich an Fahrt auf, als nämlich die ersten erfolgreichen Ansätze zur Erkennung akustischer Sprach- und visueller Bilddaten mit neuronalen Netzen publiziert worden. Beispielsweise wurden auf der Int. Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing (ICASSP) 1988 in New York die ersten Beiträge veröffentlicht zur

einfachen Lauterkennung mit neuronalen Netzen, die konkurrenzfähig zu den damaligen etablierten Methoden (insbesondere den Hidden-Markov-Modellen) waren und innerhalb kurzer Zeit gab es die erste große „Neuro-Welle“, auch getragen von den damaligen internationalen Konferenzen, wie z.B. NIPS (Neural Information Processing Systems) oder IJCNN (Int. Joint Conference on Neural Networks). Das Potenzial dieser ersten, noch relativ einfachen neuronalen Erkennungsmethoden wurde rasch erkannt und führte in Deutschland zur Gründung einiger neuer Lehrstühle im Bereich der „Neuroinformatik“. Zu den ersten Lehrstühlen dieser Art zählten z.B. die Institute in Bonn (Prof. Eckmiller), in Bochum (Prof. von Seelen) und Ulm (Prof. Palm). Logischerweise gehörten diese Lehrstühle dann auch zu den ersten in Deutschland, die Vorlesungen zur Thematik „Neuronale Netze“ angeboten haben, wobei diese Lehrangebote dann aber hauptsächlich in der Informatik angesiedelt waren.

Der Verfasser dieses Beitrags wurde 1993 an die damalige Gerhard-Mercator-Universität Duisburg auf die Professur für Technische Informatik berufen, angesiedelt im Fachbereich Elektrotechnik. Für das Wintersemester 1994 konnte dann dort erstmalig die Ankündigung der Vorlesung „Neuroinformatik 1“ erfolgen, mit einer Einführung in die Grundlagen von neuronalen Netzen und den bekanntesten neuronalen Netzwerktypen, angefangen vom



einfachen Perzeptron, bis hin zum Multilayer-Perzeptron und anderen Netzwerktypen, wie z.B. Hopfield-Netz¹, ART, Self-Organizing Map (SOM), Boltzmann-Maschine, sowie entsprechende Anwendungsmöglichkeiten. Es folgte dann für das Sommersemester 1995 eine Vorlesung „Neuroinformatik 2“ mit fortgeschrittenen, spezielleren Themen, wie z.B. RBF-Netze, rekurrente Netze und deren spezielle Trainingsverfahren, oder auch die Kombination neuronaler Netze mit anderen Paradigmen, wie z.B. Neuro-Fuzzy oder hybride HMM-NN-Ansätze, welche ca. 20 Jahre später zu damals noch unerwarteten Durchbrüchen in der automatischen Spracherkennung führen sollten. Eventuell waren diese Vorlesungen nicht die allerersten, aber doch mit die ersten Lehrveranstaltungen zum Thema neuronale Netze in einer elektrotechnischen Fakultät in Deutschland. In der damaligen ersten Ausgabe der „Neuroinformatik 1“ in Duisburg waren übrigens ca. 25 Studenten angemeldet, deren Namensliste heute noch vorliegt. Diese damaligen Studenten (es waren ausschließlich männliche) sind heute 30 Jahre älter und haben jetzt selbst bereits eine längere Ingenieurskarriere hinter sich und angesichts der wirklich ausgesprochenen stürmischen Entwicklung dieses Gebietes können sie heute von sich selbst wohl behaupten: „Ich war damals schon richtig früh mit dabei gewesen!“

Übrigens wurde zu diesem frühen Zeitpunkt, Anfang der 1990er Jahre in der Duisburger Elektrotechnik auch die „klassische KI“ frühzeitig in der Lehre bereits angeboten, denn die damalige Vorlesung „Datenverarbeitung 4“ beschäftigte sich ab dem Wintersemester 1993 schwerpunktmäßig mit den weiter oben erwähnten, eher traditionellen KI-Ansätzen. Die Veranstaltung startete mit einer Einführung in die KI-Programmiersprachen LISP und PROLOG und behandelte dann die erwähnten klassischen Methoden, wie z.B. Prädikatenlogik, Theorembeweisen, Wissensrepräsentation oder Expertensysteme. Es gab also zu Beginn der 1990er Jahre im Fachbereich Elektrotechnik in Duisburg bereits ein recht umfangreiches Lehrangebot zum Thema „Künstliche Intelligenz“, das sowohl den Bereich „Neuroinformatik“ als auch die traditionellen KI-Ansätze umfasste!

Betrachtet man die gegenwärtige Situation der KI in der Lehre, so lässt sich natürlich relativ einfach feststellen, dass diese mittlerweile in fast allen informationstechnischen Fachbereichen bzw. Fakultäten

¹ Anm. d. Hrsg.: John Hopfield machte diesen Netzwerktyp 1982 bekannt und erhielt 2024 als einer der KI-Wegbereiter den Nobelpreis für Physik

fest etabliert sein dürfte, wobei hierbei sicherlich mittlerweile der Schwerpunkt fast überall im Bereich der Gebiete „Maschinelles Lernen“ und „Deep Learning“ liegen dürfte. Diese Bereiche sind zweifelsohne für die meisten elektrotechnischen Problemstellungen am besten geeignet und haben sich innerhalb der letzten ca. 10-12 Jahre auch wissenschaftlich und hinsichtlich ihrer Popularität in den Medien und im Alltag (s. z.B. ChatGPT) deutlich durchgesetzt. Der Verfasser hat beispielsweise an der TU München im Jahr 2005 eine Vorlesung „Mustererkennung“ erstmalig dort angeboten, mit ca. 20-30 Teilnehmern, welche sich stärker mit allgemeinen Fragen zur Klassifizierung von Mustern mit lernenden, trainierbaren Verfahren beschäftigt und erst ganz am Ende kurz auf die Mustererkennung mit neuronalen Netzen eingeht. Die Vorlesung ist also absichtlich so konzipiert, dass sie als Vorbereitung auf weiterführende Vorlesungen in KI und Machine Learning dienen soll. In der letzten Ausgabe der Veranstaltung hatte diese über 400 Teilnehmer. An der TU München haben darüber hinaus in den letzten Jahren mehrere Entwicklungen stattgefunden, die für die weitere Entwicklung der KI-Lehre dort eine größere Auswirkung haben dürften: In der früheren TUM-Informatik hat es in den letzten ca. 10 Jahren eine sehr starke Tendenz zur Berufung neuer Professuren im Bereich KI gegeben, so dass damit automatisch auch das Lehrangebot in der KI stark gewachsen ist. Kürzlich wurde an der TUM die „School of Computation, Information and Technology (CIT)“ gegründet, bei der generell die früheren Fakultäten für Elektrotechnik und Informatik jetzt stärker zusammengewachsen sind und daher mehr Studierende aus der klassischen Elektrotechnik prinzipiell auch auf dieses stark angestiegene KI-Lehrangebot der Informatik zurückgreifen können. Neu gegründete Institute, wie z.B. das „Munich Institute of Robotics and Machine Intelligence (MIRMI)“ oder das „Munich Data Science Institute (MDSI)“ bündeln stärker die KI-Aktivitäten vieler TUM-Professuren aus allen möglichen Fachbereichen und werden ebenfalls weiter zur Verbreitung der KI in der Lehre an der TU München beitragen können.

Die zukünftige fachliche Entwicklung der KI in der Lehre innerhalb der Elektrotechnik (aber auch allgemein) ist nicht ganz leicht vorherzusagen, insbesondere weil auch die stürmische Entwicklung in den letzten 10-15 Jahren früher nicht wirklich so vorhersehbar war, daher sollte man hier mit allzu voreiligen Prognosen wohl eher vorsichtig sein. Man kann aber davon ausgehen, dass das Thema „Deep Learning“ nicht so schnell „abklingen“ wird, wie damals die erste Neuro-Welle Ende der 80er Jahre, sondern im Gegenteil diese Entwicklung noch längere Zeit intensiv weitergehen wird und somit auch entsprechende weitere Auswirkungen auf die Lehre haben wird. Eines ist somit allerdings wirklich gut vorhersehbar: Es wird in sämtlichen Bereichen, also Lehre, Forschung, Anwendung und Alltag in Zukunft gewiss nicht weniger, sondern deutlich mehr KI geben!

Ein wenig bedauerlich ist vielleicht schon die Tatsache, dass heutzutage die erwähnten „traditionellen KI-Methoden“ kaum mehr im Fokus stehen, denn auch für diese Ansätze gibt es immer noch genügend Anwendungspotenzial, so dass es durchaus angebracht erscheint, diese Ansätze in der Lehre nicht völlig zu vernachlässigen. Wenn es völlig neue Entwicklungen zukünftig in der KI-Lehre geben würde, wären diese auch dann wahrscheinlich wieder zunächst getrieben durch neue Erfolge in der Forschung und Anwendung und so bleibt einer der spannenden Fragen für die Zukunft: Wie wird sich der Bereich des maschinellen Lernens methodisch zukünftig weiter entwickeln, wird weiterhin die fortgesetzte Entwicklung neuronaler Verfahren im Vordergrund stehen oder sich evtl. längerfristig völlig neue Paradigmen jenseits der neuronalen Netze etablieren? Für die heutigen Studierenden (fast sämtlicher Fachrichtungen) steht jedenfalls fest: Das Thema Künstliche Intelligenz wird in ihrem noch bevorstehenden Berufsleben nicht mehr wegzudenken sein!

Dieses Kapitel hat sich insbesondere mit der Entwicklung der Lehre im Bereich der Künstlichen Intelligenz in den vergangenen Jahrzehnten beschäftigt, bis hin zur momentan aktuellen Situation in der Elektro- und Informationstechnik. Dabei ging es insbesondere um die Darstellung der Entwicklung der Lehrinhalte der innerhalb der Elektro- und Informationstechnik angebotenen Lehrveranstaltungen. Ein anderer interessanter Aspekt ist ebenfalls die Anwendung von KI-Methoden zur Gestaltung der Lehre. Betrachtet man hier wiederum das Fachgebiet Elektrotechnik, dann ist diese Fragestellung selbstverständlich für alle Fächer der Elektrotechnik relevant, nicht nur für KI-Lehrveranstaltungen. Die hier aktuell verfügbaren Methoden und Möglichkeiten haben sich eigentlich erst vor relativ kurzer Zeit etabliert und gehen einher mit der stürmischen Entwicklung der sog. Generativen KI. Hierauf wird im folgenden Kapitel näher eingegangen.

5 Nutzungstipps zur Bearbeitung von Aufgaben im Studium (Mathias Magdowski)

Obwohl ChatGPT von OpenAI, Gemini von Google oder Claude von Anthropic zunächst reine Sprachmodelle und explizit keine Wissens- oder Logikmodelle sind und per se auch nicht gut rechnen können, kann man diese doch meist recht erfolgreich zur Bearbeitung von ingenieurwissenschaftlichen Aufgabenstellungen oder zur Lösung technischer Probleme benutzen. Viel verkehrt machen kann man bei der Eingabe und Erklärung der Problemstellung eigentlich nicht, schließlich ist ein großer Vorteil der KI-Chatbots, sehr gut mit natürlicher Sprache umgehen zu können. Trotzdem gibt es einige Tipps und Tricks, die eine erfolgreiche Nutzung etwas wahrscheinlicher machen und meist auch unabhängig vom jeweiligen Sprachmodell und dessen konkreter Version funktionieren.

Schrittweises Vorgehen

Bei einer längeren Rechenaufgabe oder der Herleitung einer Formel für einen komplexeren Sachverhalt kann es helfen, den Chatbot zu bitten, schrittweise vorzugehen und die jeweiligen Einzelschritte zu begründen. Ähnlich wie es einem Menschen hilft, ein großes, komplexes Problem zunächst in mehrere einfachere Probleme zu unterteilen, scheint eine solche Vorgehensweise auch für ein Sprachmodell hilfreich.

Weiterer Vorteil: Die Antwort wird nachvollziehbarer.

Nachteil: Die Antwort dauert länger, ebenso wächst die Kontextlänge.

Zahlenrechnung in Quelltext auslagern

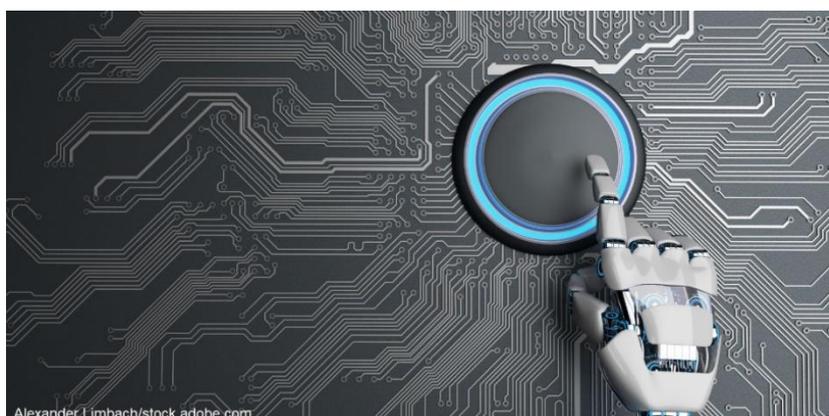
Chatbots können gut mit Sprache, Wörtern, Sätzen und Texten umgehen, aber nicht gut mit Zahlen rechnen. Als „Umweg“ sollte man das Sprachmodell bei einer Rechenaufgabe bitten, zur Lösung einen Quelltext zu erzeugen, mit dem sich die entsprechende Zahlenrechnung anhand von Formeln lösen lässt. Möglicherweise erzeugt ein Sprachmodell solche Quelltexte z.B. in der Programmiersprache Python schon von sich aus, wobei man dann durch eine entsprechende Aufforderung auch eine andere übliche und eventuell besser zum eigenen Geschmack passende Sprache auswählen kann.

Weiterer Vorteil: Man kann den Quelltext für die gleiche Problemstellung anschließend auch schnell für andere Eingabewerte auswerten (lassen).

Nachteil: Man sollte zumindest rudimentär die ausgegebene Programmiersprache verstehen und die Befehle grob nachvollziehen können.

Probe machen

Wie bei der eigenständigen Lösung einer Aufgabe sollte man auch bei einer KI-gestützten Lösung eine anschließende Probe machen (lassen). Um eine solche Probe kann man natürlich auch den Sprachbot selbst bitten, wobei eine gewisse Gefahr besteht, dass vorherige Fehler auch in der Proberechnung wiederholt werden und der



Alexander Limbach/stock.adobe.com

Chatbot bei eindeutig unplausiblen Antworten anschließend sogar die Richtigkeit der Aufgabe selbst anzweifelt. Als KI-Nutzer oder -Nutzerin ist man also gut beraten, selbst eine gewisse Plausibilitätsprüfung zu machen, wobei man folgende Fragen durchgehen kann:

Passt die Einheit des Ergebnisses (und der Zwischenergebnisse)? Wenn die Einheit falsch ist, ist das Ergebnis sehr sicher auch falsch.

Passen das Vorzeichen und die Größenordnung des Ergebnisses? Das Sprachmodell hat einen negativen Widerstand von -5Ω , eine Flugzeuggeschwindigkeit von 3 mm/h oder eine menschliche Körpermasse von 76,5 t berechnet? All das klingt unplausibel und ist dann vermutlich auch falsch.

Bekommt man das gleiche Ergebnis, wenn man den Rechenweg umdreht? Einfaches Beispiel: Das Sprachmodell soll aus Spannung und Strom einen Widerstand ausrechnen und macht das auch. Nun bittet man das Sprachmodell in einem komplett neuen Prompt aus dem vorher gegebenen Strom und dem gerade berechneten Widerstand die Spannung zu bestimmen. Stimmt das Ergebnis mit dem vorher gegebenen Wert überein, werden beide Rechnungen sehr vermutlich stimmen, weil ein gleichlautender Fehler in beiden voneinander unabhängigen Rechnungen sehr unwahrscheinlich ist. Wichtig dabei ist, wirklich einen neuen Prompt zu benutzen, so dass der vorherige Kontext verloren geht.

Weiterer Vorteil: Man lernt über eine Probe nebenbei sehr viel über die Problem- und Aufgabenstellung.

Nachteil: Jede Probe kostet Zeit, je intensiver, umso mehr.

Rolle des Sprachmodells anpassen

Im Normalfall antwortet ein Sprachmodell auf eine Textaufgabe mit technischem oder ingenieurwissenschaftlichem Hintergrund ebenso sachlich und nüchtern. Bei sehr komplexen Fragestellungen kann es helfen, das Sprachmodell zu bitten, in die Rolle eines Wissenschaftlers zu schlüpfen, um mit einer größeren Wahrscheinlichkeit eine korrekte Antwort zu erhalten. Ebenso kann man das Sprachmodell natürlich auch bitten, das Ergebnis oder die Vorgehensweise bzw. den Lösungsweg in einfacherer Sprache zu erklären. Weiterhin kann man bei unbekanntem Begriffen nachfragen und sich diese erklären lassen, wobei natürlich auch wieder fraglich ist, wie fachlich korrekt eine solche Antwort ist. Spannenderweise liefern Sprachmodelle wohl dann korrektere Antworten, wenn man diese in die Rolle einer männlichen Person oder z.B. auch eines Star-Trek-Charakters schlüpfen lässt. Ebenso gibt es Berichte, dass Sprachmodelle präziser antworten, wenn man ihnen Geld als Belohnung anbietet oder sie bittet, vor der Antwort „tief durchzuatmen“.

Weiterer Vorteil: Es ist überraschend (und gleichzeitig auch etwas irritierend), mit welchen einfachen Tricks man potenziell bessere Antworten erhalten kann.

Nachteil: Solche Art von Prompt Engineering kann auch schnell von der eigentlichen Aufgabe ablenken.

Andere Sprachmodelle und alternative Werkzeuge testen

Die Antwort des gewählten Sprachmodells ist offensichtlich falsch oder überzeugt nicht? Es spricht nichts dagegen, mal ein anderes Sprachmodell zu testen. Auch gibt es für sehr viele übliche ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen etablierte Softwarewerkzeuge wie MATLAB, Octave, Scilab, LTspice, Qucs, usw. Gerade bei komplexeren Aufgabenstellungen wird man für eine effiziente und elegante Lösung nicht um das dazu passende Werkzeug herumkommen, muss aber natürlich einen gewissen Einarbeitungszeitaufwand einplanen. Nichtsdestotrotz kann dann ein Sprachmodell bei der Entwicklung von Quelltexten, der Anpassungen von Funktionen, der Fehlersuche in Programmen oder der Erstellung von einfachen Testbeispielen behilflich sein.

Weiterer Vorteil: Man pflegt und erweitert so stetig seinen persönlichen „Software-Werkzeugkasten“ zur Lösung ingenieurwissenschaftlicher Probleme.

Nachteil: Jede neue Einarbeitung kostet wiederum etwas Zeit.

Aller Anfang ist schwer und es ist noch kein Prompt-Meister vom Himmel gefallen. Es lohnt sich aber, stetig etwas Zeit in das Ausprobieren und Kennenlernen von Sprachmodellen zu investieren, um kontinuierlich wichtige Erfahrungen zur potenziellen Anwendung zu sammeln. Das Tempo der jetzigen Weiterentwicklung ist enorm und es ist schwer absehbar, wie sich Sprachmodelle in wenigen Jahren verhalten werden. Es ist jedoch jederzeit ein guter Zeitpunkt, selbst aktiv zu werden und die eigene KI-Anwendungskompetenz an konkreten Problemstellungen zu schulen und zu entwickeln.

Was kann die neueste Fassung (September 2024) von ChatGPT?

Erneute Tests mit der aktuellen Version 4o1 preview (Stand September 2024) von ChatGPT zeigen, dass die Fähigkeit, ingenieurwissenschaftliche Aufgaben zu lösen, stetig zunimmt. Die drei getesteten Aufgaben auf Einstiegsniveau wurden bis auf kleine redaktionelle Fehler inhaltlich korrekt gelöst. Spannend: Auf Nachfrage konnte ChatGPT Unstimmigkeiten in der Schreibweise (Dezimalkomma vs. Dezimalpunkt bzw. Komma als Tausendertrennzeichen) aufklären oder auch fehlende Einheiten in Zwischenrechnungen korrekt ergänzen bzw. deren jeweilige Umrechnung (z.B. von Newton in Joule und Watt) etwas langatmig, aber durchaus nachvollziehbar erklären.

Die Idee, einen KI-Chatbot wie ChatGPT als Sparringspartner beim Lernen oder als persönlichen Tutor in einem sokratischen Dialog über den Lerngegenstand einzusetzen, rückt damit in den Bereich des Möglichen. Dennoch darf der soziale Aspekt des Lernens nicht unterschätzt werden, denn auch die fachlich korrektesten und verständlichsten Antworten eines Sprachmodells werden den persönlichen Austausch mit dem Lehrenden oder innerhalb der eigenen Lerngruppe und die daraus resultierende Motivation nicht ersetzen können.

Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass durch den zunehmenden Einsatz von KI der direkte Bezug zum Thema einer Lehrveranstaltung verloren geht, insbesondere dann, wenn Lehrende Sprachmodelle verwenden, um Lehrmaterialien und Aufgaben zu erstellen, Studierende dann ähnliche Modelle verwenden, um diese Aufgaben zu lösen, und schließlich Lehrende wiederum KI-Tools verwenden, um die Beiträge der Studierenden zu korrigieren und zu bewerten. Eine Rückbesinnung auf die eigentlich wichtigen zu entwickelnden Kompetenzen der Studierenden ist dann dringend erforderlich.

KI-Modelle im Praxistest:

Grundlagen der Elektrotechnik mit GPT, Claude und Mistral (Andreas Haja)

Einführung

Künstliche Intelligenz (KI) und insbesondere generative Sprachmodelle wie GPT von OpenAI, Claude von Anthropic oder Mistral von Mistral AI haben in den letzten Jahren enorme Fortschritte gemacht. Diese Modelle sind in der Lage, menschenähnliche Texte zu verstehen und zu generieren und können für eine Vielzahl von Aufgaben eingesetzt werden, von der Beantwortung von Fragen über die Erstellung von Zusammenfassungen bis hin zur Generierung von Code.

In diesem Artikel wird untersucht, inwieweit diese KI-Sprachmodelle auch für die Bearbeitung von Fragestellungen und Aufgaben aus dem Bereich der Elektrotechnik geeignet sind. Dabei wird der Fokus auf zwei typische Anwendungsfälle im Elektrotechnik-Studium gelegt: das Lösen von Klausuraufgaben und das Erklären von Fachbegriffen.

Ein besonderer Fokus liegt auf der Frage, wie die Leistung der Modelle durch geschickte Formulierung der Fragestellung (das sogenannte „Prompting“) verbessert werden kann.

Prompt-Optimierung: Tipps für bessere Ergebnisse

Im vorherigen Beitrag „Gut gepromptet ist halb gelöst“ wurden von Mathias Magdowski fünf Nutzungstipps für generative Sprachmodelle zur Bearbeitung ingenieurwissenschaftlicher Aufgaben vorgestellt. In diesem Beitrag soll nun für drei ausgewählte Tipps untersucht werden, wie sie sich auf die Leistungsfähigkeit von KI-Sprachmodellen im Hinblick auf elektrotechnische Fragestellungen auswirken.

Zunächst werden die Tipps vorgestellt und an einem Beispiel verdeutlicht.

1. Tipp: „Schritt für Schritt zum Ziel“

Tipp: Wenn du einem KI-Sprachmodell eine komplexe Fragestellung oder Herleitung präsentierst, bitte es, die Lösung schrittweise zu entwickeln und jeden Einzelschritt zu begründen. So erhältst du eine nachvollziehbare Antwort, die dir hilft, den Gedankengang der KI besser zu verstehen.

Beispiel-Prompt: „Erkläre mir bitte Schritt für Schritt, wie man die Impedanz einer RLC-Reihenschaltung berechnet. Gehe dabei auf die einzelnen Komponenten ein und begründe jeden Rechenschritt. Versuche, deine Erklärung so zu strukturieren, dass ein Elektrotechnik-Student im ersten Semester sie gut nachvollziehen kann.“

2. Tipp: „Lass die KI den Code schreiben“

Tipp: Bei Rechenaufgaben ist es oft hilfreich, das Sprachmodell zu bitten, einen Quelltext (z.B. in Python) zur Lösung des Problems zu generieren, anstatt die Berechnung direkt durchzuführen. Auf diese Weise erhältst du einen Code, den du für ähnliche Problemstellungen wiederverwenden und anpassen kannst.

Beispiel-Prompt: „Erkläre mir, wie ein belasteter Spannungsteiler ausgelegt werden kann, wenn die Last bekannt ist. Schreibe dazu ein Python-Skript mit aussagekräftigen Variablennamen und füge Kommentare ein, die die einzelnen Schritte erklären.“

3. Tipp: „Schlüpfe in die Rolle des Experten“

Tipp: Um potenziell korrektere und verständlichere Antworten zu erhalten, kannst du das Sprachmodell bitten, in die Rolle eines Experten oder Wissenschaftlers zu schlüpfen. Scheue dich auch nicht, um Erklärungen in einfacherer Sprache zu bitten.

Beispiel-Prompt: „Stell dir vor, du bist ein erfahrener Elektrotechnik-Professor, der seinen Studierenden das Konzept der Bandbreite erklären möchte. Wie würdest du einem Studenten im zweiten Semester erklären, was Bandbreite ist, wie sie gemessen wird und welche Bedeutung sie in der Nachrichtentechnik hat? Verwende anschauliche Beispiele und vermeide unnötig komplizierte Fachbegriffe. Wenn du Fachbegriffe verwendest, erkläre diese bitte.“

Bedeutung für die Leistungsfähigkeit der KI-Modelle

Durch die Aufforderung zu einem schrittweisen Vorgehen im ersten Tipp wird das Modell dazu angehalten, komplexe Probleme in kleinere, leichter zu bewältigende Teilaufgaben zu zerlegen. Dieser Ansatz ähnelt der Herangehensweise, die auch Menschen bei der Lösung schwieriger Fragestellungen anwenden. Indem das Modell jeden Zwischenschritt einzeln bearbeitet und begründet, kann es sein „Reasoning“, also seine Fähigkeit zum logischen Schlussfolgern, besser einsetzen. Dies führt in vielen Fällen zu präziseren und nachvollziehbareren Ergebnissen.

Der zweite Tipp, die Auslagerung von Rechenaufgaben in einen generierten Quellcode, trägt der Tatsache Rechnung, dass KI-Sprachmodelle ursprünglich für die Verarbeitung und Generierung von natürlicher Sprache entwickelt wurden. Ihre Fähigkeiten zur direkten Manipulation von Zahlen und mathematischen Operationen sind daher begrenzt. Durch die Übersetzung der Rechenaufgabe in einen Programmcode kann das Modell seine Stärken im Bereich der Codegenerierung ausspielen und so indirekt zu korrekten numerischen Ergebnissen gelangen.

Der dritte Tipp schließlich, das Modell in die Rolle eines Experten schlüpfen zu lassen, nutzt das sogenannte „Priming“ aus. Durch die Aufforderung, sich wie ein Fachmann auf dem jeweiligen Gebiet zu verhalten, wird das Modell dazu angeregt, sein Wissen und seine Fähigkeiten optimal einzusetzen. Es generiert Antworten, die eher dem Stil und Inhalt entsprechen, den man von einem menschlichen Experten erwarten würde. Gleichzeitig wird das Modell durch die Bitte um verständliche Erklärungen und Rückfragen bei Unklarheiten dazu gebracht, sein Wissen in einer möglichst zugänglichen Form zu präsentieren.

Typische Fragestellungen aus der Elektrotechnik

Im Folgenden werden zwei Fragestellungen an die KI-Modelle vorgestellt, die von Studierenden der Elektrotechnik häufig gestellt werden. Für jede Fragestellung wird eine kurze Erläuterung gegeben, warum sie für den Praxistest geeignet ist und welche Tipps zur Prompt-Optimierung angewendet werden können.

Klausuraufgaben lösen

Aufgabe: Eine Last mit $R_L = 220 \Omega$ soll mit einer Spannung von 5 V versorgt werden. Da nur eine Batterie mit 9 V zur Verfügung steht, soll ein Spannungsteiler eingesetzt werden. Wie groß müssen die Widerstände R_1 und R_2 des Spannungsteilers gewählt werden, damit die für den Betrieb der Last genutzte Spannung U_2 bei 5 V liegt? Achte darauf, dass der Lastwiderstand den fünffachen Wert des Querwiderstands hat.

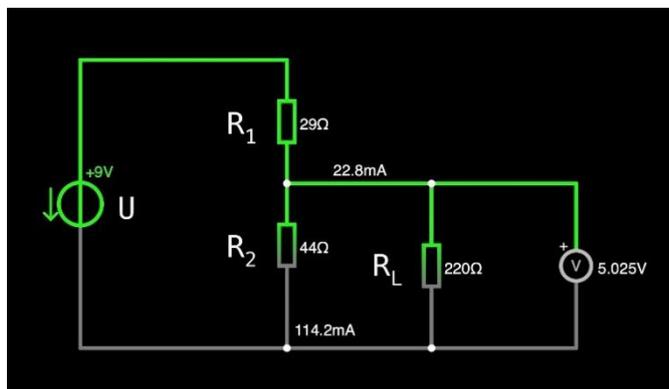


Abbildung: Schaltplan „belasteter Spannungsteiler“, Quelle: Andreas Haja

Eignung: Diese Aufgabe erfordert ein grundlegendes Verständnis von Spannungsteilern, insbesondere dem belasteten Fall. Der „belastete Spannungsteiler“ ist ein wichtiger Teil der Grundlagenausbildung in der Elektrotechnik. Durch die Verwendung des Tipps „Schritt für Schritt zum Ziel“ kann die KI demonstrieren, wie sie das Problem strukturiert angeht und die notwendigen Berechnungen durchführt. Gleichzeitig bietet die Aufgabe Potenzial für den Tipp „Lass die KI den Code schreiben“, um die Berechnungen in einem Python-Skript zu implementieren und so die Lösung zu veranschaulichen.

Wie ein Professor (der Autor dieses Artikels) eine ähnliche Aufgabe erklärt und - ohne KI - löst, ist in diesem Video gezeigt: http://www.youtube.com/watch?v=bSbiw_OdqrE

Fachbegriffe erklären

Frage: Was versteht man unter dem „Nyquist-Shannon-Abtasttheorem“ und welche Bedeutung hat es für die digitale Signalverarbeitung?

Eignung: Das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem ist ein fundamentales Konzept der digitalen Signalverarbeitung, das jedoch für viele Studierende nicht leicht zu verstehen ist. Hier kann der Tipp „Schlüpfe in die Rolle des Experten“ genutzt werden, um eine verständliche und anschauliche Erklärung zu generieren. Die KI kann aufgefordert werden, Analogien und Beispiele zu verwenden, um das abstrakte Konzept greifbarer zu machen.

Optimierung der Fragestellungen für KI-Modelle

Sehen wir uns im Folgenden die angepassten Versionen der ausgewählten Fragestellungen an, die die Tipps zur Prompt-Optimierung berücksichtigen und (hoffentlich) zu besseren Ergebnissen führen.

Klausuraufgaben lösen (belasteter Spannungsteiler)

Optimierte Fragestellung: „Stell dir vor, du bist ein erfahrener Elektrotechnik-Ingenieur. Deine Aufgabe ist es, einen belasteten Spannungsteiler zur Versorgung einer Last zu entwerfen. Gehe dabei schrittweise vor und erkläre jeden Rechenschritt. Folgende Daten sind gegeben: Last mit $R_L = 220 \text{ Ohm}$, gewünschte Versorgungsspannung für die Last: 5 V , verfügbare Batteriespannung: 9 V . Achte darauf, dass der Lastwiderstand den fünffachen Wert des Querwiderstands hat. Berechne die benötigten Widerstandswerte R_1 und R_2 des Spannungsteilers, sodass die Spannung U_2 für den Betrieb der Last bei 5 V liegt. Schreibe außerdem ein Python-Skript, das die Berechnungen durchführt und die Ergebnisse ausgibt.“

Fachbegriff erklären (Nyquist-Shannon-Abtasttheorem)

Optimierte Fragestellung: „Stell dir vor, du bist ein erfahrener Professor für Signalverarbeitung und möchtest Deinen Studierenden das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem und dessen Bedeutung für die Signalverarbeitung erklären. Gehe dabei schrittweise vor und beachte, dass einige Studierende möglicherweise noch nicht mit allen Fachbegriffen vertraut sind. Erkläre das Theorem anhand eines einfachen Beispiels, wie der Digitalisierung eines Audiosignals.“

Bewertungsschema für die Qualität der KI-Antworten

Um die Qualität der von den KI-Modellen generierten Antworten auf die ausgewählten Fragestellungen bewerten und vergleichen zu können, wird ein einfaches und intuitives Punktesystem verwendet. Dieses Bewertungsschema berücksichtigt drei zentrale Kriterien:

Korrektheit (0-4 Punkte)

4 Punkte: Die Antwort ist korrekt und enthält keine fachlichen Fehler.

2 Punkt: Die Antwort ist teilweise korrekt, enthält aber einige Fehler oder Ungenauigkeiten.

0 Punkte: Die Antwort ist überwiegend falsch oder geht nicht auf die gestellte Frage ein.

Verständlichkeit (0-2 Punkte)

2 Punkte: Die Antwort ist klar strukturiert, gut verständlich und erklärt alle relevanten Begriffe und Konzepte.

1 Punkt: Die Antwort ist grundsätzlich verständlich, enthält aber einige unklare oder missverständliche Formulierungen.

0 Punkte: Die Antwort ist schwer verständlich oder unzusammenhängend.

Vollständigkeit (0-2 Punkte)

2 Punkte: Die Antwort geht auf alle Aspekte der Fragestellung ein und liefert eine umfassende Lösung oder Erklärung.

1 Punkt: Die Antwort behandelt die Hauptaspekte der Fragestellung, lässt aber einige wichtige Details oder Teilaspekte aus.

0 Punkte: Die Antwort geht nur oberflächlich auf die Fragestellung ein oder liefert keine relevanten Informationen.

Für jede Antwort werden die Punkte in den drei Kategorien vergeben und anschließend zur Gesamtpunktzahl addiert. Somit liegt die maximal erreichbare Punktzahl bei 8, während die minimale Punktzahl 0 beträgt. Diese Gesamtpunktzahl ermöglicht eine schnelle Einschätzung der Antwortqualität und erleichtert den Vergleich zwischen verschiedenen KI-Modellen und Prompting-Ansätzen. Gleichzeitig bieten die Einzelbewertungen in den Kategorien Korrektheit, Verständlichkeit und Vollständigkeit die Möglichkeit einer differenzierteren Betrachtung. So kann beispielsweise eine Antwort, die fachlich korrekt, aber schwer verständlich ist, von einer Antwort unterschieden werden, die leicht verständlich, aber inhaltlich lückenhaft ist.

Auswahl der KI-Modelle

Für den Praxistest in diesem Artikel wurden sechs der aktuell leistungsfähigsten und bekanntesten KI-Sprachmodelle ausgewählt:

OpenAI: GPT-3.5 und GPT-4

GPT-3.5 und GPT-4 sind Modelle der US-Firma OpenAI, die auf dem Transformer-Ansatz basieren. GPT-3.5, insbesondere in seiner Variante „GPT-3.5 Turbo“, hat sich bereits in vielen Anwendungen bewährt und zeichnet sich durch eine gute Balance zwischen Leistungsfähigkeit und Ressourceneffizienz aus. Die kostenlose Variante des Chatbots „ChatGPT“ wird zum Zeitpunkt des Schreibens mit GPT-3.5 betrieben.

GPT-4, ebenfalls in der Variante „GPT-4 Turbo“, stellt eine Weiterentwicklung dar und bietet nochmals verbesserte Fähigkeiten in Bezug auf Textverständnis, Reasoning und die Generierung kohärenter Antworten.

Anthropic: Claude Sonnet und Claude Opus

Claude Sonnet und Claude Opus sind Modelle der US-Firma Anthropic, die ebenfalls auf der Transformer-Architektur aufbauen, aber zusätzlich mit speziellen Techniken wie „Constitutional AI“ trainiert wurden, um eine höhere Zuverlässigkeit und Sicherheit zu gewährleisten. Claude Sonnet ist dabei auf natürliche Konversation und Verständnis optimiert, während Claude Opus speziell für analytische Aufgaben und Programmierung entwickelt wurde.

Mistral AI: Mistral Medium und Mistral Large

Mistral Medium und Mistral Large sind Modelle der europäischen Firma Mistral AI. Mistral Medium eignet sich besonders für Aufgaben mittlerer Komplexität, die eine moderate Reasoning-Fähigkeit erfordern, wie z.B. Datenextraktion, Zusammenfassung von Dokumenten oder das Schreiben kürzerer Texte. Mistral Large hingegen ist für komplexe Aufgaben konzipiert, die ein hohes Maß an Reasoning und Spezialisierung erfordern, wie z.B. synthetische Textgenerierung, Code-Generierung oder Agenten-Systeme.

Auswahlkriterien für die KI-Modelle

Die Auswahl dieser sechs Modelle für den Praxistest erfolgte unter mehreren Gesichtspunkten. Zunächst decken sie gemeinsam ein breites Spektrum der aktuellen KI-Sprachmodelle ab, von bewährten Modellen wie GPT-3.5 bis hin zu aktuellen Entwicklungen wie GPT-4, den Claude-Modellen und den Mistral-Modellen. Ein weiterer Grund für die Auswahl ist die unterschiedliche Spezialisierung der Modelle. Während GPT-3.5 und GPT-4 als allgemeine Sprachmodelle konzipiert sind, wurden Claude Sonnet, Claude Opus, Mistral Medium und Mistral Large für spezifische Aufgaben optimiert. Insbesondere Claude Opus und Mistral Large mit ihrem Fokus auf analytische Aufgaben, Programmierung und komplexes Reasoning könnten sich als besonders geeignet für die Beantwortung von Fragen aus dem Bereich der Elektrotechnik erweisen, da hier oft mathematische Berechnungen, die Erstellung von Code und das Verständnis komplexer Zusammenhänge gefordert sind.

Auswertung der Ergebnisse (Frage 1)

Sehen wir uns nun die Zusammenfassung der Ergebnisse für die Fragestellung „Klausuraufgaben lösen“ an und analysieren, wie die verschiedenen KI-Modelle abgeschnitten haben. Eine längere Version dieses Artikels sowie die vollständige Liste der Modell-Antworten kann hier eingesehen werden:

<http://www.fearlessengineers.de/vde>.

Leistung von GPT-3.5 und GPT-4 beim Lösen von Klausuraufgaben:

Die Tabelle zeigt die Punktzahlen für jedes Modell und jede Version (nicht optimiert und optimiert) in den Kategorien Korrektheit, Verständlichkeit und Vollständigkeit. Die Gesamtpunktzahl ist die Summe der Teilpunkte.

KI-Modell	Version der Fragestellung	Korrektheit (0-4)	Verständlichkeit (0-2)	Vollständigkeit (0-2)	Gesamtpunkte (0-8)
GPT-3.5	nicht optimiert	0	1	1	2
GPT-3.5	optimiert	1	1	1	3
GPT-4	nicht optimiert	1	2	2	5
GPT-4	optimiert	1	2	1	4

Es hat sich gezeigt, dass sowohl GPT-3.5 als auch GPT-4 bei der Lösung dieser spezifischen Aufgabe zum belasteten Spannungsteiler an ihre Grenzen stoßen. Selbst mit einer optimierten Fragestellung gelingt es den Modellen nicht, eine vollständig korrekte Antwort zu generieren. Sie haben Schwierigkeiten, die komplexen Zusammenhänge und Formeln korrekt anzuwenden und zu interpretieren.

Leistung von Claude Sonnet und Claude Opus beim Lösen von Klausuraufgaben:

Die Tabelle zeigt ebenfalls die Punktzahlen für Claude Sonnet und Claude Opus und erlaubt neben einer Bewertung dieser Modelle auch einen guten Vergleich mit den GPT-Modellen.

KI-Modell	Version der Fragestellung	Korrektheit (0-4)	Verständlichkeit (0-2)	Vollständigkeit (0-2)	Gesamtpunkte (0-8)
Claude Sonnet	nicht optimiert	1	2	1	4
Claude Sonnet	optimiert	1	2	1	4
Claude Opus	nicht optimiert	0	2	1	3
Claude Opus	optimiert	1	2	1	4

Es zeigt sich, dass weder die Optimierung der Fragestellung noch die Spezialisierung von Claude Opus auf analytische Aufgaben zu einer signifikanten Verbesserung der Lösungsqualität führen. Beide Modelle haben Schwierigkeiten, die komplexen Zusammenhänge eines belasteten Spannungsteilers korrekt zu erfassen und anzuwenden.

Im Vergleich zwischen GPT 3.5 und Claude Sonnet (den Gratismodellen der jeweiligen Firmen) zeigt sich, dass Claude Sonnet in der nicht optimierten Version eine leicht bessere Leistung erbringt. Die Optimierung der Fragestellung führt jedoch bei beiden Modellen zu keiner signifikanten Verbesserung der Lösungsqualität.

Leistung von Mistral Medium und Mistral Large beim Lösen von Klausuraufgaben.

Abschließend bzgl. Frage 1 betrachten wir nun noch die Ergebnisse für Mistral Medium und Mistral Large.

	Version der Fragestellung	Korrektheit (0-4)	Verständlichkeit (0-2)	Vollständigkeit (0-2)	Gesamtpunkte (0-8)
Mistral Medium	nicht optimiert	0	1	1	2
Mistral Medium	optimiert	1	2	2	5
Mistral Large	nicht optimiert	0	1	1	2
Mistral Large	optimiert	1	2	1	4

In der Tabelle ist erkennbar, dass die Optimierung der Fragestellung zu einer Verbesserung der Lösungsqualität führt, insbesondere in Bezug auf die Struktur und Nachvollziehbarkeit der Antworten. Dennoch gelingt es beiden Modellen auch in der optimierten Version nicht, eine vollständig korrekte Lösung für den belasteten Spannungsteiler zu liefern.

Ein Vergleich zu den anderen Modellen zeigt, dass Mistral Medium und Mistral Large in dieser spezifischen Aufgabe ähnliche Schwierigkeiten haben. Die Komplexität des Problems und die Anforderungen an das Verständnis elektrotechnischer Grundlagen stellen eine Herausforderung dar, die von den Mistral-Modellen noch nicht vollständig gemeistert werden kann.

Fazit für den Fragentyp „Klausuraufgaben lösen“:

Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten KI-Modelle in ihrer aktuellen Form nur bedingt in der Lage sind, komplexe elektrotechnische Problemstellungen wie den belasteten Spannungsteiler korrekt zu lösen. Selbst mit einer optimierten Fragestellung gelingt es keinem der Modelle, eine vollständig richtige Antwort zu generieren.

Die Hauptschwierigkeiten liegen in der korrekten Anwendung von Formeln und der Berücksichtigung spezifischer Randbedingungen wie der Belastung durch parallele Widerstände. Die Modelle tendieren dazu, vereinfachte Ansätze wie den unbelasteten Spannungsteiler zu verwenden, die für die gegebene Problemstellung nicht angemessen sind.

Für den Einsatz im Studium der Elektrotechnik bedeutet dies, dass die Antworten der KI-Modelle stets kritisch hinterfragt und anhand des eigenen Fachwissens überprüft werden müssen. Sie können zwar als Ausgangspunkt für eine strukturierte Herangehensweise an das Problem dienen und durch ihre schrittweisen Erklärungen das Verständnis fördern, ersetzen aber nicht die eigenständige Analyse und Lösung durch die Studierenden.

Auswertung der Ergebnisse (Frage 2)

Wie bei Frage 1 werden auch hier einige ausgewählte Ergebnisse der KI-Antworten zusammenfassen vorgestellt und anhand des Bewertungsschemas analysiert. Die vollständige Liste der Modell-Antworten kann ebenfalls hier eingesehen werden.

Leistung von GPT-3.5 und GPT-4 beim Erklären von Fachbegriffen

Insgesamt zeigen beide Modelle bei dieser Frage eine sehr gute Leistung:

	Version der Fragestellung	Korrektheit (0-4)	Verständlichkeit (0-2)	Vollständigkeit (0-2)	Gesamtpunkte (0-8)
GPT-3.5	nicht optimiert	4	2	1	7
GPT-3.5	optimiert	4	2	2	8
GPT-4	nicht optimiert	4	2	2	8
GPT-4	optimiert	4	2	2	8

Sie sind in der Lage, das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem korrekt und verständlich zu erklären und dessen Bedeutung für die Signalverarbeitung herauszustellen. Die Optimierung der Fragestellung führt sowohl bei GPT-3.5 als auch bei GPT-4 zu einer Verbesserung der Antwortqualität, insbesondere in Bezug auf die Vollständigkeit und die Einbindung praktischer Beispiele.

Leistung von Claude Sonnet und Claude Opus beim Erklären von Fachbegriffen:

Die Analyse der Antworten von Claude Sonnet und Claude Opus auf die Frage zum Nyquist-Shannon-Abtasttheorem zeigt, dass beide Modelle unabhängig von der Optimierung der Fragestellung eine hervorragende Leistung erbringen.

	Version der Fragestellung	Korrektheit (0-4)	Verständlichkeit (0-2)	Vollständigkeit (0-2)	Gesamtpunkte (0-8)
Claude Sonnet	nicht optimiert	4	2	2	8
Claude Sonnet	optimiert	4	2	2	8
Claude Opus	nicht optimiert	4	2	2	8
Claude Opus	optimiert	4	2	2	8

Sie liefern in allen Versionen korrekte, verständliche und vollständige Erklärungen dieses komplexen Konzepts der Signalverarbeitung.

Bemerkenswert ist, dass beide Modelle bereits in der nicht optimierten Version die volle Punktzahl in allen Kategorien erreichen. Die Optimierung der Fragestellung führt hier zu keiner weiteren Verbesserung der Antwortqualität, da die Modelle schon in der Grundversion eine sehr gute Leistung zeigen.

Leistung von Mistral Medium und Mistral Large beim Erklären von Fachbegriffen:

Die Analyse der Antworten von Mistral Medium und Mistral Large auf die Frage zum Nyquist-Shannon-Abtasttheorem zeigt, dass beide Modelle sowohl in der nicht optimierten als auch in der optimierten Version sehr gute Leistungen erbringen.

	Version der Fragestellung	Korrektheit (0-4)	Verständlichkeit (0-2)	Vollständigkeit (0-2)	Gesamtpunkte (0-8)
Mistral Medium	nicht optimiert	4	2	1	7
Mistral Medium	optimiert	4	2	2	8
Mistral Large	nicht optimiert	4	2	1	7
Mistral Large	optimiert	4	2	2	8

Beide Modelle liefern korrekte, verständliche und weitgehend vollständige Erklärungen dieses wichtigen Konzepts der Signalverarbeitung.

Fazit für den Fragentyp „Erklären von Fachbegriffen“

Bei der Erklärung des komplexen Fachbegriffs „Nyquist-Shannon-Abtasttheorem“ zeigen alle untersuchten KI-Modelle - GPT-3.5, GPT-4, Claude und Mistral - eine sehr gute Leistung. Sie sind in der Lage, dieses fundamentale Prinzip der Signalverarbeitung präzise, verständlich und umfassend zu erläutern.

Für den Einsatz im Studium der Elektrotechnik bieten alle untersuchten KI-Modelle ein großes Potenzial. Sie können Studierenden helfen, komplexe Fachbegriffe wie das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem besser zu verstehen und zu verinnerlichen. Durch ihre klaren, strukturierten und praxisorientierten Erklärungen erleichtern sie den Zugang zu abstrakten Konzepten und fördern das tiefere Verständnis.

Insbesondere die optimierten Versionen der Antworten eignen sich hervorragend als ergänzendes Lernmaterial. Sie bieten nicht nur theoretisches Wissen, sondern stellen auch Bezüge zu realen Anwendungen her und regen zum Mitdenken und Verstehen an. Studierende können die Erklärungen der KI-Modelle nutzen, um ihr Wissen zu festigen, Unklarheiten zu beseitigen und sich auf Prüfungen vorzubereiten.

Auch für Lehrende bieten die KI-generierten Erklärungen einen Mehrwert. Sie können als Inspiration für die Gestaltung von Vorlesungen und Übungen dienen, indem sie aufzeigen, wie komplexe Inhalte verständlich und anschaulich vermittelt werden können. Zudem können sie als Grundlage für Diskussionen und weiterführende Erklärungen im Unterricht genutzt werden.

Trotz der beeindruckenden Leistungen der KI-Modelle ist es wichtig zu betonen, dass sie den eigenständigen Lernprozess und die praktische Anwendung des Wissens nicht ersetzen können. Studierende sollten die Erklärungen stets kritisch hinterfragen, mit ihrem eigenen Verständnis abgleichen und durch praktische Übungen vertiefen.

Fazit und Ausblick

Die in diesem Artikel vorgestellten Praxisversuche haben gezeigt, dass die aktuellen KI-Sprachmodelle wie GPT, Claude und Mistral ein großes Potenzial für den Einsatz in der elektrotechnischen Ausbildung und Praxis bieten, aber auch noch deutliche Schwächen und Grenzen aufweisen.

Im Bereich des Lösens von Klausuraufgaben, konkret am Beispiel des belasteten Spannungsteilers, hatten alle untersuchten Modelle Schwierigkeiten, eine vollständig korrekte Lösung zu generieren. Selbst mit einer optimierten Fragestellung gelang es keinem der Modelle, die komplexen Zusammenhänge und Formeln fehlerfrei anzuwenden. Hier zeigte sich, dass die KI-Systeme in ihrer aktuellen Form noch nicht in der Lage sind, das Fachwissen und die Problemlösungsfähigkeiten eines menschlichen Experten vollständig zu replizieren.

Deutlich besser schnitten die Modelle beim Erklären von Fachbegriffen ab, wie am Beispiel des Nyquist-Shannon-Abtasttheorems demonstriert wurde. Hier lieferten alle Modelle, insbesondere in der optimierten Version, präzise, verständliche und umfassende Erklärungen, die auch didaktisch wertvoll aufbereitet waren. In diesem Bereich können die KI-Systeme schon jetzt einen echten Mehrwert für Studierende und Lehrende bieten, indem sie komplexe Konzepte anschaulich erläutern und das Verständnis fördern.

Die Versuche haben gezeigt, dass der Einsatz von optimierten Prompts eine Verbesserung der Antwortqualität bewirken kann. Durch den Einsatz von Techniken wie der schrittweisen Anleitung, der Aufforderung zur Codegenerierung oder der Einnahme der Rolle eines Experten konnten in vielen Fällen bessere Ergebnisse erzielt werden. Dies unterstreicht die Bedeutung eines geschickten „Prompt Engineering“.

Für die Zukunft ist zu erwarten, dass die KI-Sprachmodelle weiter verbessert und spezialisiert werden. Durch die Integration von mehr Fachwissen und die Optimierung für spezifische Aufgaben können sie zu immer leistungsfähigeren Werkzeugen für Elektrotechniker werden. Gleichzeitig ist es wichtig, sich der Grenzen der Modelle bewusst zu sein und ihre Ausgaben stets kritisch zu hinterfragen. KI-generierte Lösungen und Erklärungen können eine wertvolle Unterstützung sein, ersetzen aber nicht das eigene Fachwissen und die Verantwortung von Ingenieurinnen und Ingenieuren.

Für Studierende und Lehrende der Elektrotechnik bietet sich schon jetzt die Möglichkeit, KI-Sprachmodelle als ergänzende Lernwerkzeuge zu nutzen. Sie können helfen, Wissen zu vertiefen, Zusammenhänge zu verstehen und Ideen für die Lösung von Problemen zu generieren.

Gleichzeitig ist es eine wichtige Zukunftskompetenz, den Umgang mit KI-Systemen zu erlernen, ihre Stärken und Schwächen zu verstehen und sie verantwortungsvoll einzusetzen.

Ob zukünftige große Sprachmodelle besser geeignet sein werden, elektrotechnische Aufgaben zu lösen, wird weiter untersucht und die Ergebnisse der Plattform www.fearlessengineers.de veröffentlicht werden.

KI-gestütztes Arbeiten mit wissenschaftlichen Veröffentlichungen (Mathias Magdowski)

Inzwischen gibt es auch forschungsspezifische Sprachmodelle und Anwendungen wie SciSpace, denen man z.B. grundlegende oder spezifische Fragen zu einem Forschungsgebiet stellen kann und die dann mit Verweisen auf entsprechende Forschungsartikel antworten. Beim Test zu einem aktuellen Forschungsgebiet wie EMV-Messungen in Modenverwirbelungskammern sind die Antworten, die das Tool gibt, jedoch nicht wirklich überzeugend. Immerhin sind die angegebenen Literaturquellen nicht frei erfunden und existieren tatsächlich, aber ansonsten wird in recht langen Antworten einiges an gefährlichem Halbwissen verbreitet, das im Zweifelsfall in die falsche Richtung führt.

Würde ein Neueinsteiger oder eine Neueinsteigerin zu einem Thema stattdessen einfach den ersten Absatz des entsprechenden Wikipedia-Artikels lesen, wäre das vermutlich sinnvoller als der Dialog mit der KI. Auch sind zumindest in diesem Test die Top 5 der beworbenen Arbeiten nicht unbedingt die relevanten Arbeiten, die man als Experte für das Thema für eine Forschungsarbeit auswählen würde.

Als Fazit bleibt festzuhalten: Wenn man nicht selbst entscheiden kann, ob eine Antwort richtig oder falsch ist, sollte man solche Werkzeuge nicht benutzen. Wenn man aber entscheiden kann, ob eine Antwort richtig oder falsch ist, braucht man ein solches Werkzeug wahrscheinlich auch nicht.

Andere Tools wie AI Writer versprechen, wissenschaftliche Texte mehr oder weniger automatisiert zu schreiben und dabei auch auf entsprechende Quellen zu verweisen. Auch wenn die Antworten von ChatGPT mit ausreichendem Kontext immer besser werden, ist der von AI Writer in einem Test generierte Text nicht ganz korrekt, enthält viele Selbstverständlichkeiten und ist sicherlich nicht perfekt auf das Thema abgestimmt, aber auch nicht völlig unsinnig.

Eine Schlussfolgerung ist, dass es aus akademischer Sicht wahrscheinlich nicht mehr viel Sinn macht, von Studierenden zu verlangen, einen langen Einleitungsteil oder einen Abschnitt über den aktuellen Stand der Technik für Projektberichte und Abschlussarbeiten zu schreiben. Dies ist keine wirkliche Herausforderung mehr für KI-basierte Schreibwerkzeuge und damit auch nicht mehr für Studierende, die bereit sind, solche Werkzeuge zu benutzen, ob sie es nun dürfen oder nicht. Stattdessen sollte der Schwerpunkt auf den Hauptteilen liegen, in denen die Studierenden ihre eigene Arbeit beschreiben, d.h. ihre eigenen Simulationen, Messungen, Analysen und Beobachtungen von Experimenten oder Versuchen.

Wenn man (auch als Studentin oder Student) wirklich etwas zu sagen hat, was nur man selbst weiß, sollte man es bis zu einem gewissen Grad auch selbst aufschreiben können. Der Mensch schreibt den Inhalt, die KI kümmert sich dann um sprachliche und grammatikalische Verbesserungen. Wenn man hingegen nicht wirklich etwas zu sagen hat, aber trotzdem etwas schreiben muss, was niemanden wirklich interessiert, dann kann man natürlich ein KI-basiertes Werkzeug verwenden. Allerdings sollte man dann nicht die Urheberschaft für einen Text beanspruchen, der möglicherweise fehlerhaft ist und den wahrscheinlich niemand lesen wird.

KI bzw. Maschinelles Lernen als offizieller Teil des elektrotechnischen Fächerkanons der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG (Michael Schanz)

Die Bewilligungssumme der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für laufende Forschungsprojekte der Elektrotechnik und angrenzende Fächer betrug in den letzten Jahren etliche zig Millionen EUR p.A. Insgesamt bzw. fächerübergreifend gibt die DFG für die deutschen Hochschulen einen Betrag von fast vier Milliarden EUR p.A. für die Grundlagenforschung aus.

Zur Bewertung der eingereichten Projektanträge bildet die DFG eine Reihe von Fachkollegien bestehend aus 2-5 Expertinnen und Experten, den sog. Fachkollegiaten. Die DFG-Förderung sieht keine Konzentration auf thematisch fokussierte Programmlinien vor, sondern stützt sich bei der Entscheidungsfindung ausschließlich auf Kriterien der wissenschaftlichen Qualität. Eingereichte Forschungsvorhaben werden zunächst von Gutachtern eingesehen. Die Fachkollegiaten bewerten diese anschließend und entscheiden final über die Mittelvergabe. Fachkollegiaten entscheiden darüber hinaus auch über die Einrichtung von Sonderforschungsbereichen. In diesem Kreis mitzuwirken, bedeutet nicht nur Einfluss auf die Vergabe großer Summen, sondern auch hohes wissenschaftliches Renommee.

Auf Grund der Bedeutung und der hohen Geldbeträge, die zur Disposition stehen, handelt es sich bei dem Wahlprozess neuer Fachkollegien – die letzte Wahl stand für Herbst 2023 an – um eine sorgfältig überlegte und ausgedehnte Prozedur. Die sog. vorschlagsberechtigten Institutionen, zu denen die Fachgesellschaften des VDE (ITG, ETG, DGBMT, VDE/VDI-GMM sowie VDI/VDE-GMA) wie auch der Fakultätentag FTEI gehören, werden in einem ersten Schritt um eine Stellungnahme zur aktuell bestehenden Fächeraufteilung gebeten. Technologische Trends, die Veränderungen in der fachlichen Struktur bedingen, können somit aufgefangen werden.

Diese Stellungnahmen hat der VDE stellvertretend für seine Fachgesellschaften in Absprache mit dem FTEI abgegeben. Im VDE ist man sehr zufrieden, dass sich „Künstliche Intelligenz“ und eines der Teilgebiete „Maschinelles Lernen“ sich nun offiziell in den Fächerkanon der „Elektrotechnik und Informationstechnik“ für die Forschungsförderung einreihen. KI-Paradigmen wie z.B. Neurochips, Lernenden Bildverarbeitungsalgorithmen oder Expertensysteme zur Schaltungssynthese gibt es schon mindestens seit Ende der 1980er Jahre, nun aber wird KI insbesondere innerhalb der wissenschaftlichen Förderlandschaft expliziter und somit sichtbarer. Forschungsanträge aus der Elektro- und Informationstechnik, in denen z.B. KI-Methoden zur Anwendung kommen, können somit besser dem entsprechenden DFG-Fach zugeordnet und die Bewilligung von Mitteln wahrscheinlich erleichtert werden.

Die entsprechenden Vorschläge von VDE und FTEI an die DFG, und denen die DFG auch nachgekommen ist, lauteten im Einzelnen:

Umbenennung des DFG-Fachs 408-02 in

„Nachrichten- /Kommunikationstechnik, Kommunikationssysteme und -netze, Hochfrequenztechnik/photonische Systeme, Signalverarbeitung und maschinelles Lernen für die Kommunikationstechnik“

VDE und FTEI zur Begründung: „[...] Zur Gewinnung neuer Erkenntnisse und Erreichung der in der Kommunikationstechnik geforderten hohen Datenraten werden immer ausgefeiltere Methoden der Signalverarbeitung und des Maschinellen Lernens benötigt und sind zunehmend Gegenstand der Forschung. Außerdem wird Expertenwissen aus dem Bereich der Kommunikationstechnik benötigt, um z.B. Architekturen neuronaler um z.B. Architekturen neuronaler Netze an die jeweilige Aufgabe anzupassen.“

Neues DFG-Fach 408-04

„Hardware- und Systemarchitekturen für die Informationstechnik und die künstliche Intelligenz“

VDE und FTEI zur Begründung: „Das Fachkollegium 408 ist den Fächern der Elektrotechnik und Informationstechnik gewidmet. Die Informationstechnik ist im Sinne der elektronischen Datenverarbeitung in 408-01 und 408-02 allerdings nur bedingt abgebildet. Aufgrund ihres ausgeprägten Hardwarebezugs ist eine Zuordnung zum Fachkollegium 409 ‚Informatik‘ ebenfalls nicht gegeben.“

Wie KI und andere digitale Technologien die Arbeit von Ingenieuren² in der Elektro- und Informationstechnik verändern könnten (Britta Matthes)

Angesichts der rasanten technologischen Entwicklungen in den letzten Jahren, insbesondere der enorm gestiegenen Rechenleistung und der Weiterentwicklungen selbstlernender Algorithmensysteme, die heutzutage in der Regel als Künstliche Intelligenz (KI) bezeichnet werden, ist die Elektro- und Informationstechnik in doppelter Hinsicht gefordert: **Einerseits** ist sie einer der „Schlüssel“ für die Entwicklung von KI und anderer digitaler Technologien um die Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft voranzutreiben. Ihre Innovationsfähigkeit entscheidet maßgeblich darüber mit, inwieweit die technologischen Potenziale zur Optimierung von Produkten und Prozessen in allen Branchen, aber auch in privaten Haushalten sowie in Staat und Verwaltung genutzt werden können. **Andererseits** steht sie aber auch selbst vor der Herausforderung, KI und andere digitale Technologien produktiv einzusetzen. Das stellt insofern eine besondere Herausforderung dar, weil sich mit dem Einsatz von KI auch die Art und Weise verändert, wie entwickelt und programmiert wird: Algorithmen werden nicht mehr erst dann programmiert, wenn die Lösung des Problems oder der Aufgabe vollständig ausgearbeitet ist. Vielmehr werden Algorithmen(systeme) dazu gebracht, zu lernen; was heißt, dass sie mithilfe diverser Trainingsmethoden in die Lage versetzt werden, Muster zu erkennen, selbstständig Entscheidungen zu treffen oder Programmcode, Texte und Bilder zu generieren.

Vor diesem Hintergrund ist es wenig überraschend, dass die Automatisierbarkeit von Aufgaben in der Elektro- und Informationstechnik sehr hoch ist (siehe Anhang 1). Die Liste der Technologien, die für die Arbeit von Ingenieuren in der Elektro- und Informationstechnik in den nächsten Jahren relevant sind, ist sehr lang. Dabei spielt KI in vielen technologischen Bereichen eine wichtige Rolle. Dennoch: Auch wenn die Automatisierungspotenziale bei diesen Berufen durch Einsatz von KI und anderen digitalen Technologien hoch sind, steht überhaupt nicht zur Debatte, dass es in Zukunft diese Berufe nicht mehr geben wird! Das hat verschiedene Gründe: Der wichtigste ist, dass KI erst dann produktiv zum Einsatz gebracht werden kann, wenn sie mit fachspezifischen Kenntnissen zusammentrifft. Es geht aber auch darum, dass sich die heute bereits bestehende Fachkräfteknappeheit in diesen Berufen in den nächsten Jahren eher weiter verschärfen als abschwächen wird. Nicht nur, dass in den Ingenieurberufen der Elektro- und Informationstechnik in den kommenden Jahren überproportional viele der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den Ruhestand gehen (siehe Anhang 2). Mit großer Wahrscheinlichkeit führt auch die Nutzung der Potenziale, die sich durch den Einsatz von KI in Wirtschaft und Gesellschaft ergeben, zu einer deutlichen Nachfragesteigerung in diesen Berufen. Hinzu kommt, dass die Elektro- und Informationstechnik zu denjenigen Gebieten gehört, die eine besondere Rolle bei der parallel zur digitalen Transformation stattfindenden ökologischen Transformation spielt. Gut ausgebildete Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik werden zusätzlich gebraucht, um ihr spezifisches Wissen bei der Erzeugung und Speicherung von Wind- und Solarenergie, aber auch beim Umstieg vom Verbrenner- zum Elektroantrieb einzusetzen.

Eine der wichtigsten Fragen, die sich aus diesen Überlegungen ergibt, ist deshalb weniger, ob es auch in Zukunft noch Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik geben wird. Vielmehr stellt sich die Frage, was lässt sich an der Arbeit, wie sie heute noch von diesen Ingenieuren erledigt wird, durch den Einsatz von KI und anderen modernen Technologien effizienter machen oder sogar automatisieren, um zu verhindern, dass die Fachkräftelücke noch größer wird. Dabei geht es nicht nur um die technologischen Potenziale, sondern auch darum, unter welchen Bedingungen tatsächlich automatisiert werden kann. Denn Automatisierung ist äußerst voraussetzungsreich: Es muss investiert werden, nicht nur in Maschinen und Anlagen, sondern auch in Dateninfrastruktur und in die Fähigkeiten und Motivation derjenigen, die

² Der Lesbarkeit wegen sind mit dieser Bezeichnung sowohl weibliche, männliche als auch queere Ingenieure gemeint.

damit zukünftig arbeiten sollen. Häufig müssen erst die Datengrundlagen geschaffen, Prozesse neu etabliert, eine Aufbruchstimmung erzeugt werden; es gibt rechtliche Hürden wie zum Beispiel datenschutz- oder urheberrechtliche Vorgaben; die Wahrung von Geschäftsgeheimnissen steht einer Automatisierung entgegen; oder es bestehen ethische Bedenken.

Hinzu kommt, dass die technologischen Möglichkeiten nicht vorgeben, wie automatisiert wird. Letztlich muss ausgehandelt werden, wie Prozesse zerlegt werden: Ob bei einer Automatisierung nur noch einfache (und damit monotone) Arbeiten für den Menschen übrigbleiben und damit der Mensch zum Handlanger der Maschine gemacht wird oder die Arbeit des Menschen humaner wird, ist auch eine Frage der Mitbestimmung. Prozesse können nämlich auch so gestaltet werden, dass bisherige stupide oder gefährliche Arbeiten von Bots oder Maschinen erledigt werden; es also sogar (wieder) spannender und weniger riskant sein kann, in diesen Berufen zu arbeiten; selbst wenn durch den Einsatz der Technologien weniger Menschen nötig sind, um die gleichen Arbeiten zu erledigen.

Die Berufe in der Elektro- und Informationstechnik werden sich also stark verändern müssen. Festhalten kann man jedoch zunächst, dass sich nicht alles ändert: Folgende Fähigkeiten sind in den Expertenberufen der Elektro- und Informationstechnik nach wie vor grundlegend:

- numerisches (rechnerisches) Denken (z.B. Berechnen von Schaltungen und Steuerungseinrichtungen für Mess-, Steuer- und Regelungsgeräte; Entwickeln numerischer Simulationsmodelle)
- figural-räumliches Denken (z.B. Lesen und Erstellen von Konstruktionszeichnungen für elektrotechnische Bauelemente, Anlagen und Systeme)
- (elektro-)physikalisches Verständnis (v.a. ein Gefühl für Größenordnungen elektrotechnischer Größen, grundlegendes Verständnis der mathematischen Beschreibung und Berechnung von physikalischen Systemen)
- technisches Verständnis (z.B. Entwickeln und Optimieren von Herstellungs-, Montage- und Testverfahren für elektrotechnische Produkte; Zusammenarbeiten mit Prüfstellen bei der Zulassung oder Anerkennung etwa von elektrischen Haushaltsgeräten oder Elektromotoren)
- Befähigung zum Planen und Organisieren (z.B. Planen der Fertigung und Montage elektrotechnischer Anlagen und Systeme; in Betriebsorganisation und Unternehmensmanagement: Wahrnehmen von Leitungs- und Personalführungsaufgaben)

Bleibt noch zu klären, wie sich durch den Einsatz von KI die Anforderungen verändern, die an Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik gestellt werden. Zunächst erst einmal stellen die konkreten neuen Technologien neue Anforderungen. In der Elektro- und Informationstechnik wird man sich also künftig mit KI befassen müssen, um zum Beispiel präzisere Prognosen für die Energienetzauslastung treffen und so die Netzstabilität und die Versorgungssicherheit erhöhen zu können; um cyber-physische Systeme zu entwickeln, die eine Integration von Automation, Prozess- und Unternehmenssteuerung bis hin zur Wartung der Maschinen und Anlagen ermöglichen. Beim Entwurf werden sie nicht mehr nur mit CAD-, CAE- oder Simulationssoftware, sondern zunehmend auch mit KI-Anwendungen arbeiten.

Dabei ist es nicht nur wichtig zu wissen, wie KI-Anwendungen eingesetzt werden können, sondern auch welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit sich der Einsatz einer KI lohnt. Um zum Beispiel mit Hilfe geeigneter Trainingsmethoden ein für eine Problemstellung passendes neuronales Netz erstellen zu können, sind große, digital verfügbare Datenbestände erforderlich. Nicht immer ist das der Fall. Insofern müssen sich Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik auch mit der Frage beschäftigen, ob das Problem nicht einfacher, schneller oder kostengünstiger mit konventionellen Methoden gelöst werden kann.

Um Produkte besser und Prozesse zuverlässiger und effizienter zu machen ist es darüber hinaus grundlegend, dass die Daten möglichst vollständig, zeitnah verfügbar und valide (richtig) sind. Oft sind die vorhandenen Daten allerdings unvollständig, weil sie beispielsweise nicht automatisch, sondern manuell

erfasst werden; stehen nicht in Echtzeit zur Verfügung, weil erst definiert werden muss, wer zu welchem Zeitpunkt welche Daten benötigt, um eine Aufgabe erfolgreich erledigen zu können; und sind teilweise widersprüchlich, weil in verschiedenen Datenquellen Informationen zu ein- und demselben Sachverhalt für unterschiedliche Zeitpunkte erfasst sind. Insbesondere bei sicherheitskritischen Anwendungen ist es jedoch enorm wichtig, dass auch KI-gestützte Systeme absolut sicher und zuverlässig funktionieren. Sind die Daten nicht repräsentativ für die Vielfalt der Situationen, mit denen das System später konfrontiert ist, kann das KI-Modell nicht gut genug sein und trifft schlechte Entscheidungen. Das Modell muss auch auf untrainierte Daten zutreffen, d.h. es darf sich nicht zu stark an den Trainingsdaten orientieren, da dies zu einer Überanpassung führen würde. Andererseits darf es aber auch keine Unteranpassung geben, d. h. ein zu einfaches Modell entstehen, das die Struktur der Daten nicht ausreichend präzise beschreibt. Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik müssen deshalb nicht nur in der Lage sein einzuschätzen, wie spezifisch der für die jeweilige Analyse zur Verfügung stehende Datenausschnitt ist; sondern auch, wie das Analyseergebnis wahrscheinlich aussehen müsste, wenn alle Daten - in Echtzeit und korrekt - zur Verfügung gestanden hätten.

Darüber hinaus erfordert der Einsatz von KI ein weitreichendes Umdenken bei der Entwicklung von ingenieurtechnischen Lösungen: Es gibt keinen vorab komplett ausdefinierten und festgelegten Prozess zur Lösung eines Problems oder einer Aufgabe (mehr), sondern die Systeme lernen durch wiederholtes Ausprobieren und Feedback, ob – und in welcher Qualität – der Versuch erfolgreich war. Das bedeutet auch, dass KI nicht ohne fachspezifische Kenntnisse zum Einsatz gebracht werden kann. Damit sich Prozesse selbstständig optimieren können, bedarf es elektro- und informationstechnischer Kenntnisse darüber, wie Sensoren, Aktoren und andere relevante Systeme der Wertschöpfungskette Informationen austauschen und auswerten. Es müssen Feedbackschleifen in die Systeme eingebaut werden, damit die KI trainiert (und nivelliert) werden kann. Kurz: Es werden also Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik gebraucht, die auch KI verstehen und einsetzen können.

Hinzuzufügen bleibt: KI wird zwar in Zukunft in vielen technologischen Bereichen eine wichtige Rolle spielen. Aber die Liste der neuen Technologien, die für die Arbeit dieser Ingenieure in den nächsten Jahren relevant sind, ist deutlich länger: So werden sie sich künftig vermehrt auch interdisziplinär mit der Frage befassen, wie man Wasserstoff klimaneutral erzeugen, speichern, transportieren und verteilen kann; wie sich intelligente Werkstoffe – zukünftig vielleicht hergestellt mittels 4-D-Druckverfahren – für konkrete technische Anwendungen einsetzen lassen; wie Sprachassistenten gestaltet sein müssen, damit Maschinen und Geräte – möglichst optimal auf die Bedürfnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten des einzelnen Nutzers abgestimmt – sicher bedient werden können; wie Apps programmiert werden sollten, um Kunden bei Störungen Hinweise für die Lösung der technischen Probleme behilflich zu sein; nur um ein paar Beispiele zu nennen.

Aber nicht nur die neuen Technologien verändern die Anforderungen. Kommunikative Fähigkeiten und Verhandlungsgeschick werden immer wichtiger für diese Berufe. Das hat insbesondere damit zu tun, dass Anlagen (und Systeme) zunehmend nicht mehr im Voraus in allen Einzelheiten geplant werden, sondern es im Projektverlauf immer wieder dazu kommt, dass Anforderungen geändert werden oder neue hinzukommen. Verhandlungsgeschick gehört dazu, wenn Gespräche geführt werden mit Kundinnen und Kunden, anderen Projektbeteiligten aus Entwicklung, Design oder Produktmanagement oder auch denjenigen, die die Systeme später anwenden sollen, denn nicht alles lässt sich systemseitig umsetzen oder im vorgesehenen Kostenrahmen realisieren. Weil häufiger in internationalen Projekten zusammenarbeiten muss, sind aber auch Fremdsprachenkenntnisse und interkulturelle Kompetenzen verstärkt gefragt.

Zunehmende Bedeutung gewinnen darüber hinaus auch Aufgaben im Projektmanagement. Dazu gehört es nicht nur, Budgets, Materialien, Geräte und Maschinen sowie Personal zu verwalten; verstärkt müssen auch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen angestellt werden; vor allem, um zu belegen, dass sich die Anschaffung einer Software oder Maschine in einem bestimmten Zeitraum amortisieren wird. Auch hier

haben neue digitale Tools Einzug gehalten: Business-Process-Management-Systeme, Enterprise-Resource-Planning-Systeme oder Verfahren zur Projektsteuerung (z.B. Trello, Kanban, Jira) sind nur ein paar Beispiele dafür, wie die jeweiligen Prozesse inzwischen analysiert und Vorschläge zur Optimierung unterbreitet werden.

Es geht aber auch um das Change-Management. Mit dem Einsatz von KI und anderen neuen Technologien gehen in der Regel organisatorische Veränderungen einher, die gemanagt werden müssen. Für Teams und einzelne Mitarbeiter ist es oft schwer vorstellbar, dass Arbeitsprozesse auch anders als gewohnt aussehen können. Als Projektmanager müssen auch Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik die durch die Veränderungen hervorgerufenen Spannungen im Team beilegen können, indem sie z.B. in der Lage sind, zwischen den Konfliktparteien zu vermitteln.

Was letztlich zu der – vielleicht wichtigsten – Anforderung führt, die in Zukunft mehr und mehr an Bedeutung gewinnt: Lernbereitschaft. Die letzten Jahre haben es deutlich gemacht: Die Vorstellung, dass man mit Abschluss des Studiums „ausgelernt“ hat, ist nicht mehr zeitgemäß. Es ändern sich nicht nur die Technologien, sondern auch die Gesellschaft und damit die Anforderungen an den Einsatz der Technologien oder die Art und Weise wie (zusammen)gearbeitet wird. Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik müssen sich deshalb nicht nur permanent über technologische Neuerungen auf dem Laufenden halten, sondern sollten auch offen dafür sein, immer wieder Neues auszuprobieren. Aber nicht nur sie, ALLE sollten versuchen herausfinden, wie KI-Tools dabei helfen, dass die zu erledigende Arbeit Spaß macht!

Anhang 1

Wie hoch ist die Automatisierbarkeit der Arbeit von Ingenieurinnen und Ingenieuren der Elektro- und Informationstechnik?

Die Automatisierbarkeit (Substituierbarkeitspotenzial) der Arbeit innerhalb dieser Berufe ist meistens hoch, schwankt allerdings je nach spezifischem Betätigungsfeld. Dabei ist das Substituierbarkeitspotenzial derjenige Anteil der in einem Beruf typischerweise zu erledigenden Tätigkeiten, der jeweils zum aktuellen Zeitpunkt durch KI oder andere digitale Technologien vollautomatisch erledigt werden könnte. Hohe Substituierbarkeitspotenziale bedeuten jedoch nicht, dass es die Berufe in Zukunft nicht mehr geben wird. Vielmehr ist es ein Hinweis darauf, wie stark man sich in dem jeweiligen Beruf mit neu verfügbaren Technologien auseinandersetzen (also lernen) muss, aber auch dass – wenn man diese Technologien beherrscht – auch produktiver arbeiten kann.

In der folgenden Tabelle sind alle Berufe aufgelistet, die in der Regel als „Ingenieurinnen und Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik“ bezeichnet werden. Sortiert sind sie nach Betätigungsfeldern, in der Klassifikation der Berufe auch als Berufsgruppen bezeichnet. Dabei handelt es sich ausschließlich um Expertenberufe – Berufe, für die typischerweise der Abschluss eines Hochschulstudiums Voraussetzung ist. Unterschieden wird zwischen Experten in der Mechatronik & Automatisierungstechnik (Berufsgruppe 261), in der Energietechnik (Berufsgruppe 262), in der Elektrotechnik (263) und in der technischen Informatik (Berufsgruppe 4312).

Neben der Auflistung der Automatisierbarkeit sind in der Tabelle auch statistische Angaben aus dem IAB-Job-Futuromat (<https://job-futuromat.iab.de>) zur Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten und zur Beschäftigungsentwicklung seit 2012; zur Zahl offener Stellen und deren Veränderung seit 2012; zur Zahl Arbeitsloser und deren Veränderung seit 2012 und zum Medianentgelt angegeben. In der letzten Spalte bietet ein Link die Möglichkeit, sich im BERUFENET – der Berufsinformationsplattform der Bundesagentur für Arbeit – ausführlich über das Berufsbild, die Zugangsvoraussetzungen, die Anforderungen, die Arbeitsbedingungen und eine Reihe weiterer interessanter Details über den Beruf zu informieren.

Berufsgruppe	Berufsbezeichnung	Auto- matisier- barkeit	Beschäf- tigte	Trend Beschäftigung seit 2012 (in %-punkten)	offene Stellen	Trend offene Stellen seit 2012 (in 5-punkten)	Arbeits- lose	Trend Arbeitslose seit 2012 (in 5- punkten)	Median- entgelt (brutto)	BERUFENET- Link
Experten in der Mechatronik & Automatisierungstechnik (Berufsgruppe 261)	Ingenieur/in – Mechatronik	58%	2.087	+73,5	184	+28,7	148	+34,5	5.377 €	.../58732
	Ingenieur/in – Automatisierungstechnik	83%	9.059	+5,2	334	-29,4	359	+14,3	5.938 €	.../59351
	Messingenieur/in	89%								.../90070
	Ingenieur/in - Robotik, Autonome Systeme	81%								.../100733
Experten in der Energietechnik (Berufsgruppe 262)	Ingenieur/in – Energietechnik	72%	10.888	+24,0	173	-21,0	316	-1,6	6.366 €	.../59354
	Ingenieur/in - Erneuerbare Energien	85%	1.349	+28,1	78	+188,9	184	+53,3	5.535 €	.../59385
	Windparkmanager/in	77%								.../134994
Experten in der Elektrotechnik (263)	Ingenieur/in – Elektrotechnik	75%	44.272	-1,1	3.927	+80,6	1.468	+40,1	6.488 €	.../58716
	Elektrotechniksachverständige/r	43%								.../134995
	Ingenieur/in - Informations-, Kommunikationstechnik	75%	13.081	-5,6	118	-66,8	310	-59,6	6.413 €	.../58723
	Ingenieur/in - Medientechnik/Multimedia	60%	3.275	+12,7	35	+29,6	100	+20,5	5.961 €	.../59389
	Ingenieur/in – Mikrosystemtechnik	67%								.../58734
	Ingenieur/in – Mikroelektronik	82%								.../59359
	Ingenieur/in – Nanotechnologie	50%								.../59391
	Ingenieur/in – Sensortechnik	82%	1.484	+55,1	51	-54,5	61	+408,3	6.135 €	.../100529
	Ingenieur/in – Fahrzeugelektronik	85%								.../59355
	Ingenieur/in – Elektromobilität	88%	5.004	+66,3	12	-42,9	42	+68,0	6.350 €	.../132032
	Ingenieur/in – Optoelektronik	85%								.../59361
	Ingenieur/in - Technische Kybernetik	60%								.../59413
Experten in der technischen Informatik (Berufsgruppe 4312)	Ingenieur/in - technische Informatik	67%	3.920	+10,1	128	-14,7	133	+4,7	6.192 €	.../58712
	Ingenieurinformatiker/in	50%								.../59313
	SPS-Ingenieur/in	58%								.../135658

Tabelle: Ingenieurinnen und Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik – Automatisierbarkeit und ausgewählte statistische Daten
Quelle: <https://job-futuromat.iab.de>

Anhang 2

Wie hat sich der Arbeitsmarkt für Ingenieure der Elektro- und Informationstechnik in den letzten Jahren entwickelt?

Im Folgenden werden nur die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in den Expertenberufen in der Mechatronik, Energie- & Elektrotechnik (Berufshauptgruppe BHG 26) betrachtet. Man muss die Technischen Informatik aus der Analyse ausschließen, weil die öffentlich verfügbaren Statistiken nicht auf einem für so differenzierte Analysen nötigen Aggregationsniveau berichten. Weiterführende Analysen zeigen jedoch, dass die Trends in dieser Berufsgruppe weitgehend mit denen für die Berufshauptgruppe 26 berichteten Trends übereinstimmen.

Betrachtet man nur die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten in der Berufshauptgruppe BHG 26, lässt sich ein leichter Anstieg der Beschäftigtenzahlen von etwas unter 84.000 im Jahr 2013 auf fast 88.000 im Jahr 2022 feststellen. Gegenüber 2013 ist damit die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten um 5 Prozentpunkte gestiegen. Allerdings fällt dieser Anstieg im Vergleich zu allen anderen Expertenberufen um mehr als 30 Prozentpunkte, sehr gering aus. Das darf allerdings nicht als Folge der fortschreitenden Digitalisierung interpretiert werden, sondern ist auch darauf zurückzuführen, dass sich die Zahl der in diesen Berufen Beschäftigten nicht (schnell genug) erhöhen kann, weil keine entsprechend ausgebildeten Ingenieurinnen und Ingenieure mehr zur Verfügung stehen.

(2012=100 Prozent)

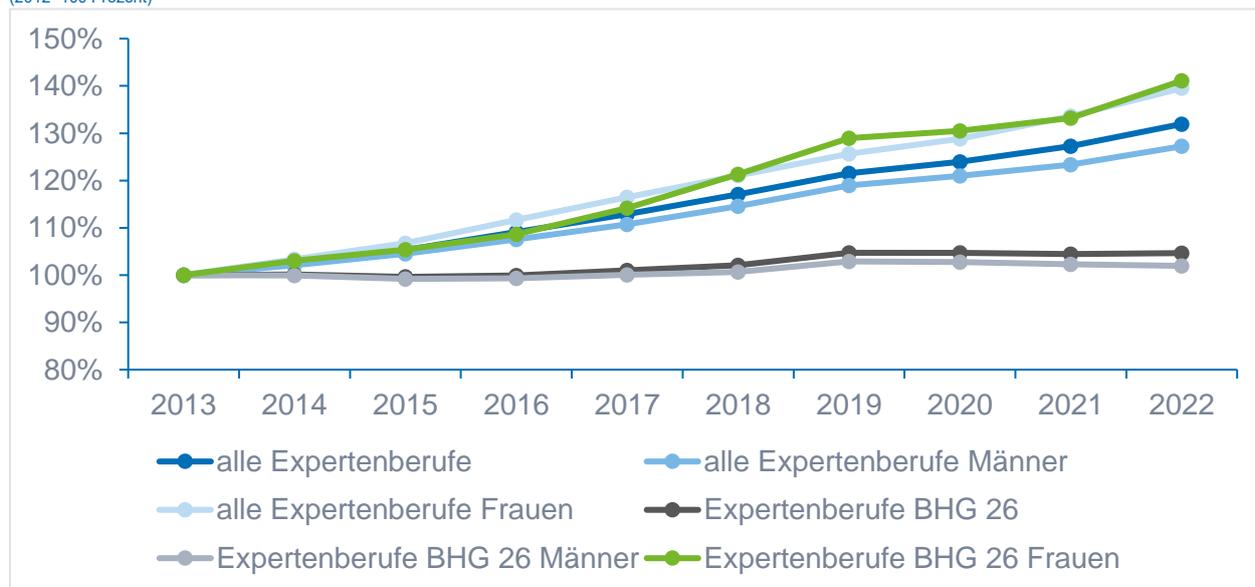


Abbildung: Relative Entwicklung der Anzahl sozialversicherungspflichtig beschäftigter Experten
Quelle: <https://iab.de/grafiken-und-daten/beruf-struktur-entwicklung>, eigene Berechnungen

Besonders interessant ist dabei, dass der Anstieg der Zahl sozialversicherungspflichtig beschäftigter Frauen bei den Experten in der Elektro- und Informationstechnik fast identisch ist mit dem bei allen Expertenberufen. Das heißt, dass zwar in den letzten Jahren verstärkt Frauen als Expertinnen in der Elektro- und Informationstechnik arbeiten (Anstieg um mehr als 40 Prozent), aber der Frauenanteil in diesen Berufen auch 2022 immer noch unter inakzeptablen 10 Prozent liegt, während er in allen anderen Expertenberufen knapp über 40 Prozent erreicht. Dass der Anstieg seit 2013 bei den Expertinnen in der Elektro- und Informationstechnik nicht stärker ist als bei allen Expertinnen deutet darauf hin, dass Frauen ihren Rückstand in den Expertenberufen der Elektro- und Informationstechnik nicht aufgeholt haben. Nach wie vor handelt es sich bei den Expertenberufen der Elektro- und Informationstechnik also um von Männern dominierte Berufe. Ob sich daran in der Zukunft etwas ändert, ist nicht nur davon abhängig, ob

es gelingt, überproportional viele Frauen für ein Studium in diesem Fachgebiet zu gewinnen; sondern insbesondere auch davon, inwiefern es für Frauen attraktiver wird, in diesen Berufen zu arbeiten.

Ein zweiter wichtiger Befund aus der Statistik ist, dass sich bei den Expertenberufen in der Elektro- und Informationstechnik in den nächsten Jahren ein stärkerer Generationenwechsel ankündigt als in anderen Expertenberufen. Erkennen kann man das daran, dass sich das Verhältnis der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten im Alter von 50 Jahren und älter umgekehrt hat. Während 2013 etwa 32 Prozent der Beschäftigten in allen Expertenberufen und nur knapp über 30 Prozent in den Elektro- und Informationstechnik 50 Jahre und älter waren, sind 2022 schon nahezu 35 Prozent der Beschäftigten in allen Expertenberufen und fast 38 Prozent in den Elektro- und Informationstechnik 50 Jahre und älter. Das ist ein Anstieg um 8 Prozentpunkte in nicht mal 10 Jahren.

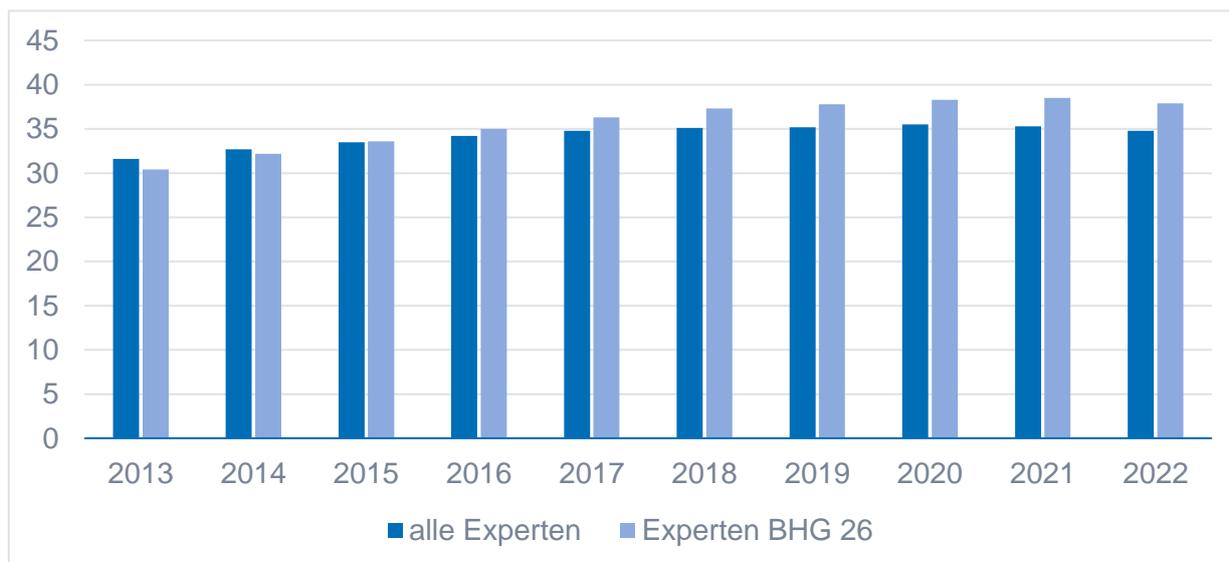


Abbildung Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten Experten im Alter von 50 Jahren und älter, Quelle: <https://iab.de/grafiken-und-daten/beruf-struktur-entwicklung>, eigene Berechnungen

Angesichts dieser Zahlen wird sehr deutlich, dass der Fachkräftemangel sich in den Expertenberufen der Elektro- und Informationstechnik in den nächsten Jahren wohl noch zuspitzen wird. Dabei ist in diesen Berufen heute schon ein starkes Missverhältnis zwischen der Zahl der angebotenen Stellen und der Arbeitssuchenden festzustellen.

KI im Ingenieursalltag (Cosima Klischat, Niclas Zeller, Alexander Hanuschkin)

Im letzten Jahrzehnt gab es, getrieben durch eine enorme Menge an verfügbaren Trainingsdaten und ausreichend starker Rechenleistung, eine regelrechte Explosion an neuen und potenten KI-Anwendungen. Angefangen mit AlexNet, einem auf Deep Learning basierendem tiefen Perzeptionsnetzwerk, welches den Wettlauf um ein erstes autonome fahrendes Serienfahrzeug eröffnete, über prominente Anwendungen beim Proteinfalten, bei Wettervorhersagen, dem Spielen von Breakout, Go oder Grand Turismo und natürlich generative Verfahren für Text, Bild, Video und Musik. Mittlerweile begleitet Künstliche Intelligenz (KI) nahezu jeden in seinem Alltag, auch im Berufsleben.

KI verändert das Arbeitsleben deutlich, auch im Ingenieurberuf. Im folgenden Aufsatz begleiten wir eine fiktive Ingenieurin Julia an einem Ihrer Arbeitstage, um uns dem Thema KI im Ingenieursalltag zu nähern. Julia arbeitet bei einem großen, ebenfalls fiktiven, Automobilhersteller als Entwicklungsingenieurin und optimiert derzeit die nächste Generation einer zukünftigen Klimaautomatik.

Schon auf dem Weg zur Arbeit interagiert Julia - meist unbewusst - mit einer Reihe von KI-gestützten Systemen. Musik hört sie über einen Musik-Streaming-Dienst, der ihr eine Playlist mit ihren Lieblingsliedern vorschlägt. Das Navigationssystem empfiehlt ihr, an der nächsten Ampel rechts abzubiegen, um die Fahrzeit zur Arbeit zu verkürzen. Playlisten von Streaming-Diensten werden mit Hilfe von KI auf Basis des Kundenverhaltens kuratiert. Navigationssysteme benutzen klassische KI-Methoden zur Wegeplanung, wobei prädiktive Ansätze zur weiteren Verbesserung möglich sind.

Am Arbeitsplatz stellt Julias Arbeitgeber ihr eine Reihe von KI-gestützten Werkzeugen zur Verfügung. Neben großen multimodalen Sprachmodellen (LLM) zur Textgenerierung sind dies weitere Werkzeuge zur Bild- und Videogenerierung. Ihren umfangreichen E-Mail-Verkehr kann sie von einer KI automatisiert filtern, sortieren, analysieren und zusammenfassen lassen. Die Antwort auf eine Nachricht kann Julia mit einem Klick individualisiert generieren lassen. Dabei wird der Kontext der bisherigen Konversation mit dem Absender berücksichtigt. Nimmt Julia an Videokonferenzen teil, kann sie sich automatisch ein Transkript erstellen lassen und dieses mit Interessierten teilen.



Darüber hinaus gibt es weitere Hilfsmittel, welche KI einsetzen. Beispielsweise auf großen Sprachmodellen aufbauende Tools, die beim Programmieren assistieren, Präsentationen erstellen oder als Chatbots zur Informationsvermittlung eingesetzt werden.

Die Annahme, dass solche Werkzeuge effizientes Arbeiten fördern können, bestätigt sich allerdings nicht immer. Bei einfachen Aufgaben zeigt sich in der Tat über viele Studien³ hinweg ein Anstieg der Produktivität, wobei Personen mit geringem Wissen und Erfahrung am meisten profitieren. Bei komplexen Aufgaben, die die Fähigkeiten der KI-Systeme übersteigen⁴, verringern diese KI-Assistenzsysteme die Qualität der Arbeit, wobei die Arbeitsleistung von Beschäftigten mit geringen Kenntnissen und

³ z.B. Peng et al., Dell'Acqua et al., Noy & Zhang, Brynjolfsson et al.; 2023

⁴ vergl. z.B. Nezhurina et al. (2024), Wu et al. (2024)

Erfahrungen am stärksten reduziert wird⁵. Ineffizientes Arbeiten mit KI-Assistenzsystemen kann auch die Produktivität verringern, z. B. durch ungünstige Umstrukturierung von Arbeitsabläufen, vermehrte Arbeitsunterbrechungen und den Wechsel von einer produzierenden zu einer bewertenden Arbeitsweise⁶. Ausgehend von diesen Studien lässt sich feststellen, dass die Qualität und Produktivität der Ergebnisse, beim Einsatz von KI-Werkzeugen von mehreren Faktoren, wie beispielsweise der Erfahrung und Ausbildung der Anwendenden und der Implementation der Hilfsmittel in den Arbeitsablauf, abhängt.

Zurück zu Julia. Sie ist sich dieser Probleme bewusst und hält ihr KI-Wissen auf dem neuesten Stand. Sie sorgt auch dafür, dass alle in ihrem Team durch regelmäßige Fortbildungen ebenfalls mit der neuen Technik vertraut sind.

Wie aber unterstützt KI die Aufgaben, die den Kern des Ingenieurberufs ausmachen, nämlich die Entwicklung neuer oder verbesserter Lösungen für technische Probleme?

Die fiktiven technischen Probleme von Julias Team betreffen die Belüftung des Fahrzeuginnenraums. Die Herausforderung besteht darin, unabhängig von der Außentemperatur angenehme Innentemperaturen zu schaffen. Und das möglichst ohne die Fahrgäste durch Zugluft und Geräusche zu belästigen. Dabei sind in der Regel keine Neuentwicklungen, sondern Optimierungsaufgaben zu lösen. Mit den bisher vorgestellten Werkzeugen der KI lassen sich solche technischen Probleme nicht direkt lösen. Allerdings kann KI, insbesondere Methoden des maschinellen Lernens, bei der Lösungen der Aufgabe eingesetzt werden. Beispielsweise können tiefe neuronale Netze eingesetzt werden, welche die Auswertung von Sensordaten ermöglicht, um die Luftströmung im Fahrzeuginnenraum zu approximieren und zu analysieren. Deep Reinforcement Learning kann eingesetzt werden, um daraus eine optimale Steuerung der Klimaautomatik zu finden. In den Bereichen Forschung und Entwicklung wird KI meist für die Entwicklung solcher Analyse- und Optimierungssysteme eingesetzt, um Produkte schneller und besser zu entwickeln und implizites Expertenwissen zu erhalten⁷.

Für solche Aufgaben werden zunächst große und konsistente Datenmengen gesammelt, die mittels KI-Algorithmen auf relevante Eingabemerkmale analysiert werden können. Daraus können Erkenntnisse gewonnen werden, die neue Hypothesen und Modelle ermöglichen.

Die Ergebnisse der Datenanalyse bilden die Grundlage für den kreativen Prozess, der sich für Julia nun anschließt. Die Auswertungen ermöglichen es ihr, die Daten in neuen Zusammenhängen zu sehen und daraus neue Ideen zu entwickeln. Was sie dafür braucht, ist neben Flexibilität im Denken vor allem Gewandtheit im kreativen Handeln⁸.

Diese Fähigkeiten brauchen Julia und ihr Team bereits bei der Datenerhebung. Denn hier können verschiedene Fallstricke lauern, die zu falschen Schlussfolgerungen führen können. Gutman und Goldmeier (2021) beschreiben mögliche Fehlerquellen bei der Datenerhebung und -auswertung. Diese gelten zunächst unabhängig davon, ob ein Mensch oder eine KI die Daten auswertet. Fehlinterpretationen können dadurch entstehen, dass irrelevante, nicht repräsentative Daten erhoben und in die Analyse einbezogen werden. Es kann schnell ein Narrativ über scheinbar korrelierende Variablen entstehen. Bei der Verwendung von KI-Modellen ist es zudem möglich, dass ein Modell überangepasst ist, d.h. für bekannte Werte funktioniert, aber neue Beobachtungen nicht vorhersagen kann. Eine weitere Fehlerquelle kann sein, dass die erhobenen Daten nicht alle Informationen enthalten, die für eine sinnvolle Analyse notwendig wären. Es neben den zuvor beschriebenen Fehlerquellen zudem sein, dass die für sie verwendeten Trainingsdaten zum Zeitpunkt des Trainings fehlerhaft sind oder noch nicht in ausreichender Menge zur Verfügung standen. Die Liste ließe sich fortsetzen.

⁵ Dell'Acqua et al. 2023, Kreitmeir & Raschky 2024

⁶ Simkute et al. 2024

⁷ Hanuschkin et al. 2021

⁸ vgl. Lowenfeld et al.1987

Aus diesen Problemen der Datenerfassung und -auswertung lässt sich ableiten, dass eine reibungslose und nutzbringende Mensch-Maschine-Kooperation nur gelingen kann, wenn das domänenspezifische Ingenieurwissen mit fundierten Kenntnissen des Data Science und der KI-Techniken kombiniert wird. Es muss ein Bewusstsein dafür geschaffen werden, dass die Effektivität von KI-Systemen durch menschliche Entscheidungen beeinflusst wird⁹.

Kreativität ist auch dann gefragt, wenn Julia ihre Erkenntnisse kommunizieren muss. Auch hier kann sie auf generative KI-Tools zurückgreifen und sich Grafiken, Bilder und Texte erstellen lassen. Dabei ist sie gefordert, die richtigen Prompts zu erstellen (vergl. hierzu die Artikel „5 Nutzungstipps zur Bearbeitung von Aufgaben in der hochschulischen Lehre“ und „KI-Modelle im Praxistest“ aus dieser Sammlung), die zum gewünschten Ergebnis führen. Ihre Kompetenzen haben sich verlagert und liegen nun mehr in der sprachlichen Ausdrucksfähigkeit als in grafischen Kompetenzen.

Die kurze Beschreibung von Julias Arbeitstag zeigt, dass der Einsatz von KI im Ingenieuralltag weit verbreitet ist und vor allem als Hilfsmittel und Werkzeug zur Effizienzsteigerung und Analyse dienen kann. Hierfür müssen entsprechende Fähigkeiten und Kenntnisse vorhanden sein.

Im Studium der Ingenieurwissenschaften sollten daher klassische Fächer mit Inhalten zur Künstlichen Intelligenz verknüpft werden. Die Studierenden sollen bereits während des Studiums lernen, KI als Werkzeug zu nutzen, um später ihre Arbeit zu vereinfachen oder ganz neue Anwendungsfelder zu entwickeln. Besonders wichtig ist dabei die Kompetenz, Risiken und Grenzen von KI-Systemen einschätzen zu können. So können in Zukunft sichere Produkte in besserer Qualität noch effizienter und mit weniger Energie hergestellt werden. Hochschulen für angewandte Wissenschaften sind besonders geeignet, KI-Wissen aufzubauen und in verschiedenen Praxisprojekten anzuwenden (<https://www.h-ka.de/kiib>).

Literatur

Peng et al. (2023), *The Impact of AI on Developer Productivity: Evidence from GitHub Copilot*, <https://arxiv.org/abs/2302.06590>

Nezhurina et al. (2024), *Alice in Wonderland: Simple Tasks Showing Complete Reasoning Breakdown in State-Of-the-Art Large Language Models* <https://arxiv.org/abs/2406.02061>

Dell'Acqua et al. (2023), *Navigating the Jagged Technological Frontier: Field Experimental Evidence of the Effects of AI on Knowledge Worker Productivity and Quality*, Harvard Business School Technology & Operations Mgt. Unit Working Paper No. 24-013, The Wharton School Research Paper, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4573321>

Simkute et al. (2024), *Ironies of Generative AI: Understanding and mitigating productivity loss in human-AI interactions*, arXiv:2402.11364 [cs.HC], <https://arxiv.org/abs/2402.11364>

Hanuschkin, A., Schorr, J., Krüger, C. et al. *Machine Learning as an Analysis Tool in Engine Research*. ATZ Electron Worldw 16, 44–47 (2021). <https://doi.org/10.1007/s38314-020-0574-7>

Lowenfeld, Victor; Brittain, W. Lambert (1987): *Creative and Mental Growth*. 8te Auflage, New Jersey: Prentice-Hall (Pearson Education), S. 47 ff.

Studer et al. (2021), *Towards CRISP-ML(Q): A Machine Learning Process Model with Quality Assurance Methodology, Machine Learning and Knowledge Extraction*

⁹ Studer et al. 2021

KI in der Nachrichtentechnik (Carsten Bockelmann, Dirk Wübben)

Bevor die Rolle der KI in der Nachrichtentechnik genauer betrachtet werden kann, ist es wichtig die grundsätzliche Weltansicht eines Nachrichtentechnikers oder einer Nachrichtentechnikerin zu verstehen. Das Grundproblem ist einfach: Eine (technische) Nachricht soll von einem Ort / einer Person A zu einem Ort / einer Person B übertragen werden. Hierfür wird ein geeignetes Übertragungsmedium genutzt. Historisch reicht dies von Rauch- und Schallsignalen über heute gebräuchliche Medien wie Lichtsignale (Laser-Richtfunk, IR, Glasfaser, etc.) oder elektromagnetische Wellen (DSL, DVB-T/S/C, Wifi, Mobilfunk, etc.). Der Entwurf von Übertragungsverfahren und -systemen ist dabei ein komplexes Problem, welches viele Teilkomponenten umfasst. Daher hat sich in der Nachrichtentechnik durchgesetzt, diese Aufgabe in mehrere unabhängige funktionale Blöcke zu zerlegen, deren Verhalten mathematisch beschrieben werden kann. So können Expertinnen und Experten ihre jeweiligen Teile des Systems unabhängig voneinander entwerfen und optimieren. In vielen Bereichen sind hierfür Vereinfachungen notwendig, um handhabbare Teilprobleme zu definieren. Diese Vorgehensweise hat in den letzten Jahrzehnten große Erfolge für nachrichtentechnische Verfahren hervorgebracht, so dass heute in vielen Fällen theoretische Grenzen wie die Shannonsche Kanalkapazität (maximal theoretisch erreichbare Datenrate auf einem Kommunikationslink) bereits praktisch erreicht werden.

Der Stellenwert von Kommunikationssystemen und ihre Rolle hat sich dabei gravierend weiterentwickelt. Standen anfänglich noch Telefonie und menschliche Kommunikation im Vordergrund, stellen heute vor allem Datendienste und die Vernetzung von digitalen Systemen das Nervensystem unserer digitalen Gesellschaft dar. Entsprechend hat sich die Breite der Anforderungen und damit verbunden die Komplexität der technischen Herausforderungen erheblich erhöht. So sollen zukünftige Kommunikationssysteme wie etwa die 6. Mobilfunkgeneration eine Vielzahl von Anwendungen bedienen, überall verfügbar sein und gleichzeitig kostengünstig, energieeffizient und nachhaltig designt werden. In vielen Bereichen stoßen die klassischen Modelle mit ihren vereinfachenden Annahmen und die bisher verwendeten Methoden mittlerweile an ihre Grenzen.

Rolle der KI in der Nachrichtentechnik

In der öffentlichen Wahrnehmung und vielen Pressebeiträgen besteht das Stichwort „KI“ meistens aus Sprachmodellen (ChatGPT, Gemini, etc.), Bildgeneratoren (Midjourney, DALL-E, Stable Diffusion, etc.) oder anderen verwandten Werkzeugen. Dabei sind Themen wie die Kommunikation mit Menschen, Assistenz, Deep Fakes oder das Ersetzen menschlicher Arbeitskraft ein Schwerpunktthema. Aus Sicht eines Ingenieurs sind im Begriff KI



jedoch eine Vielzahl verschiedener Ideen und Verfahren zusammengefasst, die hervorragende Werkzeuge zur Lösung technischer Probleme darstellen. Neben bereits bekannten mathematischen Verfahren zur Modellierung und Optimierung von technischen Systemen bietet das Feld des maschinellen Lernens (ML) neue Ansätze auf Datenbasis Lösungen zu „erlernen“.

Daten-gestützte Lösungen sind dabei grundsätzlich kein neuer Ansatz, da auch in der klassischen Nachrichtentechnik und Signalverarbeitung bereits vielfältige Methoden wie Adaptive Filter, automatisches

Parameter-tuning, Clusteringverfahren für die Digitalisierung oder auch verschiedene statistische Methoden Daten zur Anpassung und Optimierung heranziehen. Neuronale Netze haben hier in der Vergangenheit aufgrund von zu geringer Rechenleistung und fehlenden Fortschritten in den Lernverfahren, die heute Standard sind, keine vergleichbare Leistungsfähigkeit gezeigt und wurden lange nicht weiterführend betrachtet. Wie bereits erläutert, haben „klassische“ Methoden der Nachrichten darüber hinaus in vielfältigen Anwendungen bereits das theoretische Optimum nahezu erreicht, so dass es keine Notwendigkeit für grundsätzlich neue Verfahren gegeben hat.

Was hat sich also mit dem neuen KI-Hype geändert? Zunächst sind die Leistungsfähigkeit von KI-Methoden und verfügbare Rechenleistungen stark gestiegen, so dass deutlich komplexere Probleme adressiert werden können. Aus diesem Impuls heraus wurden zwei wesentliche Richtungen herausgearbeitet, an welchen Stellen KI-Verfahren nutzbringend in die Entwicklung nachrichtentechnischer Systeme eingesetzt werden können:

Modell-Defizit

Die in der Nachrichtentechnik verwendeten Modelle sind nur begrenzt in der Lage, die Wirklichkeit nachzubilden und enthalten stets Vereinfachungen. Zum Beispiel werden häufig Linearisierungen eingesetzt, um den Zusammenhang von Ausgang und Eingang eines Systems vereinfacht darzustellen. Das reale, nicht-lineare Verhalten wird nur unzureichend beschrieben, ist aber zu komplex, um eine technisch realisierbare Lösung zu entwickeln. Hier können daten-gestützte KI-Verfahren das Systemverhalten lernen und als Grundlage für neue Lösungsansätze dienen.

Algorithmen-Defizit

In vielen Bereichen der Nachrichtentechnik ist die mathematisch optimale Lösung bereits bekannt, kann aber aufgrund ihrer Komplexität nicht praktisch umgesetzt werden. Entsprechend wurden bisher suboptimale Verfahren erarbeitet, welche in Abhängigkeit von der verfügbaren Rechenleistung von der optimalen Lösung abweichen. Hier bieten daten-gestützte KI-Verfahren insbesondere für solche Problem neue Lösungen an, bei denen bisherige suboptimale Verfahren deutlich schlechter sind.

Beispiele für den Einsatz von KI in der Nachrichtentechnik

Der bereits erwähnte „Block-Ansatz“ erlaubt die Definition von handhabbaren Teilprobleme, verhindert aber auch eine übergreifende Optimierung von Lösungen über die Grenzen eines Blocks hinaus. Hier können mit KI-Verfahren mehrere Blöcke zusammen betrachtet und optimiert werden. Einige Konzepte (z.B. *Autoencoder*) verfolgen auf diesem Weg eine gemeinsame Optimierung von Send- und Empfangsverfahren für das benutzte Übertragungsmedium. Bei der Glasfaserübertragung lassen sich beispielsweise zukünftige Übertragungsverfahren mit Hilfe von KI-Methoden deutlich besser an die nichtlinearen Eigenschaften des optischen Kanals anpassen.

Um hohe Verfügbarkeit und Qualität in einem Kommunikationssystem zu erreichen, werden Nutzern dynamisch Ressourcen zugewiesen (z.B. Zeit- und Frequenzblöcke). Hierfür wird eine genaue Kenntnis der Übertragungssituation (Übertragungskanal, Störer, Dynamik) benötigt. Mit KI-Verfahren kann eine genauere *Vorhersage des Übertragungskanals* sowohl in zeitlicher und räumlicher Dimension als auch für andere Übertragungsfrequenzen berechnet werden, auf deren Basis das Kommunikationssystem effizient ausgelegt werden kann.

Ein gänzlich neuer Ansatz, Kommunikationssysteme zu entwerfen, ist die *semantische Kommunikation*. Dabei überträgt man nicht länger abstrakte, digitale Informationen über das Übertragungsmedium, sondern speziell auf die betrachtete Anwendung (z.B. Klassifizierung von Bildern) und den Übertragungskanal angepasste Signale, die mit KI-Methoden gelernt werden. Indem die bisher verfolgte Nutzung von getrennten Funktionsblöcken gebrochen wird, können robustere, effizientere und datensparsamere Kommunikationssysteme entworfen werden.

Neben der effizienten Nutzung des physikalischen Übertragungskanal stellt insbesondere auch die kostengünstige und energiesparende Realisierung der Sender- und Empfänger eine gewichtige Herausforderung dar. Auch hier ergeben sich in dem Zusammenspiel von Nachrichtentechnik und Mikroelektronik neue KI-basierte Methoden zum Entwurf besonders *effizienter Hardware-Implementierung* von Sender- und Empfängerverfahren.

Was kann die Nachrichtentechnik für KI tun?

Bisher haben wir uns mit der Rolle der KI in der Nachrichtentechnik und interessanten Beispielen beschäftigt. Durch den immer weitergehenden Einsatz von KI-Systemen auf vielen Ebenen digitaler Systeme ergibt sich allerdings auch die Notwendigkeit *effizienter Kommunikation zwischen KI-Systemen*. Die effiziente Vernetzung von KI-Systemen zur verteilten Berechnung verschiedener Aufgaben ist eine der zukünftigen Aufgaben der Nachrichtentechnik. Beispiele hierfür sind kooperative Robotikanwendungen oder z.B. die selbstständige Exploration autonomer Systeme auf dem Mars. Wie bei der semantischen Kommunikation bereits angedeutet, können Dank entsprechender KI-Verfahren Kommunikationssysteme auf die spezifischen Nachrichten angepasst werden, welche KI-Systeme zur Erfüllung ihrer Aufgaben austauschen. Erst durch eine angepasste Nachrichtentechnik entstehen also effiziente, intelligente Systeme für die Zukunft.

Warum braucht man dafür eine Ingenieurin oder einen Ingenieur?

Wie eingangs erläutert haben wesentliche Durchbrüche in der KI-Technologie vor allem im Bereich der Bild- und Text-Verarbeitung ganz neue Möglichkeiten des Einsatzes geschaffen. Dies hat allerdings auch zur Folge, dass viele KI-Entwicklungen auf diese Probleme optimiert sind und nicht 1:1 auf die Nachrichtentechnik angewendet werden können. Es braucht also Fachleute, welche zum einen KI-Methoden verstehen und zum anderen Nachrichtentechnik beherrschen. Im Gegensatz zu einem Ingenieur oder einer Ingenieurin der Nachrichtentechnik sind Data Scientist Experten für die Auswertung von (beliebigen) Daten und entsprechender Verfahren. Sie bringen das notwendige Domänenwissen für dieses Fachgebiet nicht mit. Auf Basis dieses Domänenwissen um Modelle und Algorithmen können Ingenieure in einem hybriden Ansatz KI-Verfahren in der Designzeit durch Nutzung umfangreicher Trainingsdaten entwickeln, die dann anschließend in der Laufzeit ausgeführt und angepasst werden. Diese Art des hybriden Designs hat häufig den Vorteil, in höherem Grad nachvollziehbar zu sein als reine KI-Verfahren, die häufig nach dem Prinzip einer „Black Box“ funktionieren.

Darüber hinaus ist es auch für KI-Verfahren notwendig, eine sorgfältige Kosten/Nutzen-Rechnung durchzuführen. Der Aufwand des Trainings, die Anzahl notwendiger Modellparameter, die berechnet und gespeichert werden müssen, die Verlässlichkeit des Verhaltens und der erzielte Gewinn gegenüber bekannten Verfahren müssen abgewogen und bewertet werden. Ob also KI-Verfahren auf einem Mobiltelefon, in einer Basisstation oder auf Netzwerkebene Anwendung finden werden, ist noch zu klären. In der Standardisierung solcher Verfahren wird derzeit intensiv diskutiert, wie mit KI-Verfahren umgegangen werden soll.

Ausblick

Welche Auswirkungen haben KI-Verfahren also auf das Berufsbild und die Ausbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren der Nachrichtentechnik? Die Leistungsfähigkeit von KI in verschiedensten Domänen ist unbestritten und KI wird in allen technischen Feldern eine Methode zur Lösung von unterschiedlichsten Problemen werden. Dennoch werden weiterhin umfassende theoretische Grundlagen und eine sehr gute Mathematikausbildung benötigt, um geeignete Verfahren zu entwerfen, aber auch zu bewerten. Der Computer bzw. die KI wird auch auf lange Sicht den Ingenieur-Job nicht ersetzen, aber ganz sicher den Werkzeugkasten ergänzen, um immer komplexere Fragestellungen immer besser zu beantworten.

Entsprechend heißt dies für die Ausbildung in Schulen und Universitäten, dass KI-Verfahren auf allen Ebenen Teil der Ausbildung werden müssen. Schüler und Studierende setzen schon heute selbstverständlich KI in ihrem Alltag ein, um sich verschiedene Aufgaben zu erleichtern. Ziel der Ausbildung sollte es sein, diese Methoden nicht einfach nur zu benutzen, sondern ein tieferes Verständnis für den Einsatz, den Entwurf und auch die Limits dieser Technologie zu erlangen.

KI in der Energiewirtschaft (Sebastian Lehnhoff)

Die Energiewirtschaft ist heute in hohem Maße von Informations- und Kommunikationstechnologien (IT) geprägt und abhängig. IT-Systeme bilden das Rückgrat für sämtliche Kernprozesse der Energiewirtschaft – von der Energiedatenerfassung über Netzmanagement, Energiehandel und Vertrieb bis hin zu Unternehmensanwendungen wie ERP- und CRM-Systeme.

Im Bereich der Kerngeschäftsprozesse kommen spezifische Branchenlösungen zum Einsatz. Dazu gehören Energiedatenmanagementsysteme zur Erfassung und Abrechnung von Verbrauchsdaten, leistungsfähige Netzleit- und Energiemanagementsysteme zur Überwachung und Steuerung von Strom- und Gasnetzen sowie Handels- und Beschaffungssysteme für Energiehandel und Portfoliomanagement. Diese Systeme sind über Schnittstellen mit der IT-Infrastruktur wie Netzwerken, Rechenzentren und Cloud-Plattformen verbunden.

Eng verzahnt mit der IT ist der Bereich der Operational Technology (OT). Hierzu gehören industrielle Steuerungssysteme (SCADA, Prozessleitsysteme), die in Kraftwerken, Umspannwerken und anderen Anlagen zum Einsatz kommen, sowie eingebettete Systeme zur Anlagensteuerung und IoT-Sensorik zur Datenerfassung. Durch die fortschreitende Digitalisierung und Vernetzung dieser OT-Komponenten mit der IT-Infrastruktur verschwimmen die Grenzen zwischen IT und OT immer mehr (IT/OT-Konvergenz).

Sowohl für die IT- als auch die OT-Systeme in der Energiewirtschaft gewinnt Künstliche Intelligenz (KI) zunehmend an Bedeutung. Die Abbildung stellt diese beiden Bereiche kompakt dar, auf die im Folgenden kurz näher eingegangen werden soll.

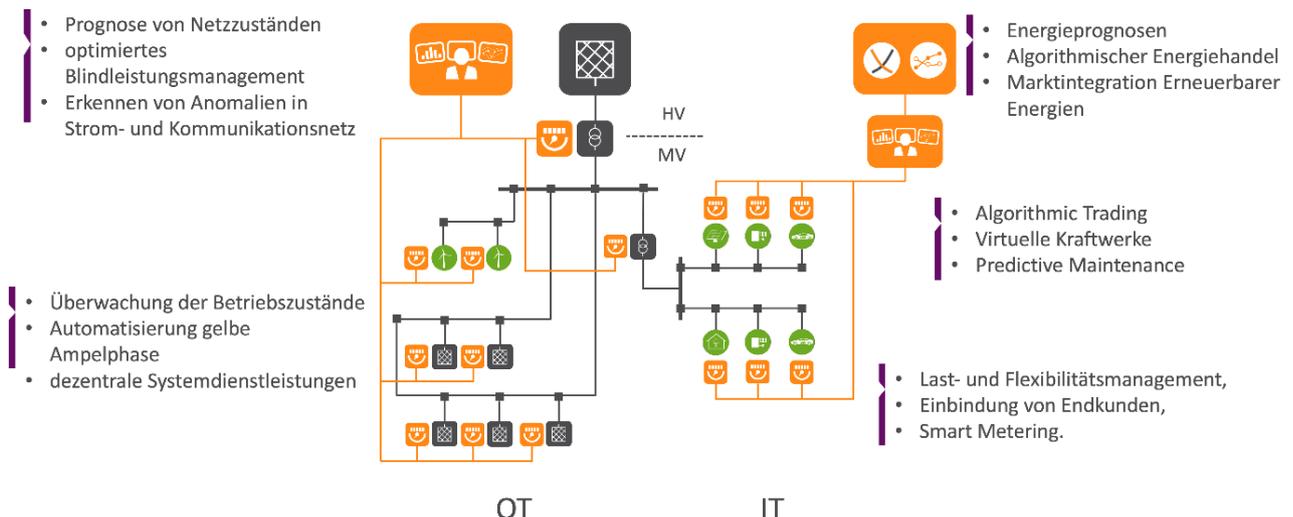


Abbildung Anwendungsbereiche für KI im Energiesystem, Quelle: OFFIS

Anwendungsfelder in der IT

In der IT kann KI in vielen Anwendungsfeldern zur Automatisierung, Optimierung und Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden. Dazu gehören die Erstellung präziser Prognosen zur Energieerzeugung, zum Verbrauch und zu Marktpreisen, Predictive Maintenance, der automatisierte Algorithmic Trading Energiehandel, Netzmanagement und -steuerung sowie Anwendungen im Kundenservice und für die Produktoptimierung.

Energieprognosen

Präzise Prognosen zur Einspeisung aus Wind- und Solaranlagen sowie zum Energieverbrauch sind essenziell für die Planung und Vermarktung der fluktuierenden Erzeugung. Moderne KI-Verfahren wie neuronale Netze, Deep Learning und andere maschinelle Lernmethoden können komplexe Muster in großen Datenmengen zu Wetter, Verbrauch etc. erkennen und so deutlich genauere Prognosen erstellen als herkömmliche Verfahren. Energieversorger setzen KI-basierte Prognosesysteme ein, um die Einspeiseprognosen für ihre Wind- und Solarparks zu optimieren. Auch Übertragungsnetzbetreiber nutzen KI-Prognosen zur Lastflussberechnung und Engpassanalyse in ihren Netzen.

Algorithmischer Energiehandel

Auf den Energiebörsen werden in Sekundenschnelle riesige Datenmengen zu Angebot, Nachfrage, Preisen etc. generiert. Nur KI-Systeme können diese Informationsflut in Echtzeit verarbeiten und Handelssignale ableiten. Sogenannte Algorithmic Trading Systeme führen daher den Großteil des Energiehandels vollautomatisiert durch. Die KI-Systeme optimieren dabei die Beschaffungsstrategien und Portfolios, indem sie Prognosen zur Erzeugung, zum Verbrauch und zu Marktpreisen kombinieren. So lässt sich Energie zu günstigeren Konditionen beschaffen und die Integration der Erneuerbaren in den Markt optimieren.

Marktintegration Erneuerbarer Energien

Die fluktuierende Einspeisung aus Wind und Sonne stellt neue Herausforderungen für die Marktteilnehmer dar. KI-Systeme können die komplexen Wechselwirkungen zwischen Erzeugung, Verbrauch und Marktpreisen modellieren und so die optimale Fahrweise und Vermarktung der Erneuerbaren ermitteln. Zudem lassen sich mit KI die Potenziale für Lastmanagement, Stromspeicher und andere Flexibilitätsoptionen besser ausschöpfen, um die Schwankungen der Erneuerbaren auszugleichen.

Virtuelle Kraftwerke

KI spielt eine wichtige Rolle bei virtuellen Kraftwerken, die dezentrale Energieerzeugungs- und Speicheranlagen wie Windräder, Solarparks und Batteriespeicher intelligent vernetzen und steuern. Neben Prognosen für dezentrale Akteure steuern KI-Algorithmen in Echtzeit den Energiefluss zwischen den dezentralen Anlagen und optimieren die Lastverteilung im virtuellen Kraftwerk. KI-Systeme optimieren die



Beschaffungsstrategien und Portfolios durch Echtzeitanalysen von Angebot, Nachfrage und Preisen.

Predictive Maintenance

KI ist der Schlüssel für vorausschauende Instandhaltungsstrategien. Sensordaten von Kraftwerken, Windrädern etc. werden durch KI-Systeme ausgewertet. So lassen sich Anomalien und Verschleißmuster frühzeitig erkennen. Mittels maschinellen Lernens können Ausfallrisiken und optimale Wartungsfenster präzise vorhergesagt werden und die Anlagenverfügbarkeit und -effizienz erhöhen. Durch KI-Analysen lassen sich unnötige Wartungen vermeiden und so Instandhaltungsprozesse optimieren und Kosten sparen.

Last- und Flexibilitätsmanagement

KI-Systeme sind in der Lage, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Stromerzeugung, -verbrauch und Marktpreisen zu modellieren indem sie riesige Datenmengen aus Verbrauchsprognosen, Einspeiseprognosen für Erneuerbare, Marktdaten etc. in Echtzeit analysieren. So lassen sich Lastspitzen vermeiden und Flexibilitätsoptionen wie Lastverschiebung, Stromspeicher oder Demand Response optimal nutzen.

Einbindung von Endkunden

Durch Auswertung von Smart-Meter-Daten und Verbrauchsmustern können KI-Algorithmen individualisierte Angebote und Tarife für Haushalte und Gewerbekunden generieren. Zudem lassen sich mit KI die Potenziale für Lastverschiebung und Eigenverbrauch bei Prosumern mit Solaranlagen und Speichern optimieren.

Smart Metering

Die potenziell riesigen Datenmengen aus dem Smart Metering können durch KI-Systeme analysiert werden, um Prognosen, Optimierungen und Entscheidungsunterstützung zu ermöglichen und zu verbessern. Anomalieerkennung durch KI hilft zudem, nicht-technische Verluste und Manipulationen an Smart Metern frühzeitig zu entdecken.

Anwendungsfelder in der OT

Im OT-Umfeld hilft KI, die steigende Komplexität der Systeme im Zuge der Energiewende zu beherrschen. KI-Systeme können Anlagen und Netze überwachen und steuern, Predictive Maintenance zu unterstützen, die Anlageneffizienz optimieren und frühzeitig Cyberangriffe auf kritische Infrastrukturen erkennen. Insgesamt ist KI eine Schlüsseltechnologie, um die Energiewende durch Optimierung, Automatisierung und Integration Erneuerbarer voranzutreiben.

Prognose von Netzzuständen

KI-Systeme können auf Basis riesiger Datenmengen aus heterogenen Quellen sehr präzise Prognosen zur Auslastung und zu Lastflüssen in den Stromnetzen erstellen ohne die Nachteile klassischer rechenintensiver numerischer Verfahren. Dies ermöglicht eine bessere Planung und Steuerung der Netze, insbesondere bei hohen Anteilen fluktuierender erneuerbarer Energien. Übertragungsnetzbetreiber setzen solche KI-Prognosemodelle bereits ein, um Engpässe frühzeitig zu erkennen.

Optimiertes Blindleistungsmanagement

KI-Systeme können die optimale Blindleistungsbereitstellung und -verteilung über alle Netzebenen hinweg koordinieren, um den Blindleistungshaushalt in den Netzen optimieren und die Spannungshaltung zu verbessern. Dies ist wichtig für die Integration dezentraler Erneuerbarer und zur Vermeidung von Netzengpässen.

Erkennen von Anomalien in Strom- und Kommunikationsnetzen

KI-Systeme analysieren Strom-, Spannungs- und Netzwerkdaten und erkennen Abweichungen vom Normalzustand. So lassen sich Ausfälle, Fehler und Cyberangriffe schnell identifizieren und Gegenmaßnahmen einleiten.

Überwachung von Betriebszuständen

KI-Systeme können kontinuierlich große Datenmengen aus Sensorik, Betriebsdaten und Netzwerkkommunikation analysieren, um Anomalien und Abweichungen vom Normalbetrieb in Echtzeit zu erkennen. So lassen sich Störungen, Fehler und potenzielle Ausfälle in Kraftwerken, Netzen und anderen Anlagen frühzeitig identifizieren.

Automatisierung der gelben Ampelphase

Bei drohenden Engpässen oder Stabilitätsproblemen im Stromnetz können KI-Algorithmen automatisch die sogenannte gelbe Ampelphase auslösen. In dieser Phase werden dezentrale Flexibilitäten wie Lastmanagement, Stromspeicher oder Demand Response optimal genutzt, um das Netz zu stabilisieren und Ausfälle zu verhindern.

Bereitstellung dezentraler Systemdienstleistungen

KI-Systeme koordinieren die Bereitstellung von Systemdienstleistungen wie Regelleistung oder Blindleistung über viele dezentrale Erzeuger, Speicher und Verbraucher hinweg. Durch die intelligente Vernetzung und Optimierung können diese dezentralen Anlagen Systemdienstleistungen erbringen, die bisher nur Großkraftwerken vorbehalten waren.

Die IT- und OT-Systeme müssen höchsten Sicherheitsanforderungen genügen, da sie kritische Infrastrukturen steuern. Daher kommt der IT-Sicherheit und Cybersecurity eine überragende Bedeutung zu, um die Systeme vor Angriffen und Sabotage zu schützen – auch hier kann KI neue Perspektiven für cyberresiliente Systeme schaffen.

KI in der Automatisierung (Hoai My Van)

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein allgegenwärtiges Thema, nicht zuletzt wegen des aktuellen Hypes um Large-Language-Modelle und Generativer KI zur Generierung von Text, Bild und Ton. Laut einer repräsentativen Umfrage¹⁰ haben 78 Prozent der deutschen Bevölkerung bereits von dem im Jahr 2022 erschienenen ChatGPT gehört und 34 Prozent dieses bereits ausprobiert. Zuvor besiegte das KI-basierte Programm AlphaGo im Jahre 2017 die damalige Nummer eins der Weltrangliste in Go, eines der komplexesten Brettspiele und eine bis dahin große Herausforderung für KI aufgrund der hohen Anzahl an Konfigurationsmöglichkeiten. Was folgte, war ein großer Hype um das Thema KI: KI könne nun nicht nur menschliche Fähigkeiten imitieren, sondern habe auch das Potenzial, Menschen zu übertrumpfen und sogar kreative Leistungen zu vollbringen.

Auch in der Industrie ist das Thema bereits angekommen. Laut einer ifo-Konjunkturumfrage¹¹ nutzen 31 Prozent der Unternehmen aus dem verarbeitenden Gewerbe bereits KI-Technologien, in weiteren 20 Prozent ist es geplant. Das liegt über dem Durchschnitt aller befragten deutschen Unternehmen (jeweils 27 Prozent und 17,5 Prozent). Gleichzeitig herrscht immer noch Skepsis in Hinblick auf KI, bei Unternehmen zum Beispiel wegen des Kosten-Nutzen-Verhältnisses und fehlenden Vertrauens und auch bei den Bürgerinnen und Bürgern beispielsweise wegen Arbeitsplatzunsicherheit und mangelnder Transparenz. Zusätzlich werden neue Regularien eingeführt, wie z.B. der EU AI Act, welcher KI-Systeme regulieren soll.

Zwischen Hype und Skepsis stellt sich nun die Frage: Wo kann das Potenzial von KI ausgeschöpft werden und was sind realisierbare Anwendungen, heute und in der Zukunft?

KI in der Automatisierung

In der industriellen Automatisierung hat sich in den vergangenen Jahren ein Umbruch vollzogen: Die sogenannte Industrie 4.0 steht für einen technologischen Fortschritt, in dem durch Digitalisierung und intelligente Vernetzung Prozesse wesentlich optimiert werden. Zusätzlich vollzieht sich ein Wandel zu einer werteorientierten Sicht auf die Produktion, denn der Produktionssektor steht aktuell unterschiedlichen Herausforderungen gegenüber: Fachkräftemangel, individuelle Kundenwünsche, erhöhte Energiekosten, Unsicherheit in der Lieferkette und so weiter.



Das Potenzial und der Nutzen für KI liegen also auf der Hand: Die durch den technologischen Fortschritt erzeugte große Menge an Daten bringt neue KI-basierte Lösungen voran, die zum Beispiel neben einer Automatisierung von einzelnen Prozessen auch Mensch-Maschine-Kollaboration und nachhaltige, resiliente Fertigungsprozesse ermöglichen.

Schon einfache Algorithmen wie Entscheidungsbäume lassen sich nutzen, zum Beispiel für die Qualitätskontrolle während der Produktion. Regressionsmodelle ermöglichen die Analyse von Daten etwa für Durchlaufzeitvorhersagen oder vorausschauende Wartung¹². Natural-Language-Processing-(NLP)-Modelle können genutzt werden, um Anomalien in Maschinenprotokollen zu identifizieren oder Aktionen per Sprachsteuerung durchzuführen. Methoden der industriellen Bildverarbeitung erlauben die

¹⁰ <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Ein-Jahr-ChatGPT-Jeder-Dritte-hat-KI-Chatbot-ausprobiert>

¹¹ <https://www.ifo.de/fakten/2024-07-18/mehr-unternehmen-nutzen-kuenstliche-intelligenz>

¹² Anm. d. Hrsg.: vgl. vorausgegangenes Kapitel zur Energiewirtschaft: Predictive Maintenance

Qualitätsinspektion von Produkten. KI-basierte Sensordatenfusion von Kamera und LiDAR dient der Detektion von Objekten und der Navigation von autonomen mobilen Robotern.

KI ist also gerade dabei, vielfältige Einsatzgebiete in der Automatisierung zu erobern. Und: Hierbei kommen nicht nur mächtige beziehungsweise komplexe KI-Modelle zum Einsatz wie Neuronale Netze (NN), sondern KI-Modelle, die zur Art und Komplexität der Aufgabe passen.

KI-Systeme für Adaptive Produktion

Ein wichtiger Aspekt in der wertorientierten Produktion ist die Anpassung an vielfältige Änderungen. Hierfür müssen die KI-Ergebnisse sinnvoll verarbeitet und in das System zurückgeführt werden, z.B. durch automatisierte Reaktionen, Anpassung und Optimierung von Prozessen oder weiteren Geschäftsentscheidungen:

In der Mensch-Maschine-Kollaboration muss bei der Zusammenarbeit mit einem Roboter die Sicherheit des Menschen gewährleistet sein. Das heißt: Sollte mithilfe von Bild- oder Abstandssensoren eine KI einen Menschen detektieren, muss sich das Verhalten des Roboters anpassen, in der Regel durch Anhalten oder Ausweichen.

- Sollten während der Qualitätskontrolle oder Qualitätsinspektion (potenzielle) Defekte erkannt werden, ist die Auftragsplanung so anzupassen, dass das angestrebte Produktionsvolumen termingerecht erreicht wird.
- Sollte das System einen Verschleiß an einer Maschine erkennen, müssen die benötigten Schritte zur Wartung zum richtigen Zeitpunkt eingeleitet werden, um Ausfallzeiten zu minimieren.
- Bei erhöhter Ressourcennutzung sind die Prozesse so anzupassen, dass Ressourceneffizienz sichergestellt ist.
- Bei Störungen in der Lieferkette oder Änderungen des Marktbedarfs, müssen Anpassungen an Zulieferer, Warenlagerung, und Warentransport getroffen werden.

Der reine Einsatz von KI allein ist also nicht ausreichend. Die KI-Komponente muss in ein System integriert werden, welches die – oft verteilten – benötigten Daten sammelt und in das KI-Modell einspeist. Anschließend müssen die Ergebnisse an die richtigen Stellen gelangen. Auf diesem Weg werden die Steuerung eines Roboters oder die Auftragsplanung automatisiert angepasst oder Warnungen und Empfehlungen an einen menschlichen Bediener ausgesprochen.

So können Fertigungsprozesse nachhaltiger gestaltet werden, vor dem Hintergrund steigender Energiekosten und im Sinne des Umweltschutzes. Zu Zeiten flexibler und kundenspezifischer Lösungen ist außerdem die Produktion zu jeder Zeit gewährleistet: Es kann nun auf unerwartete Störungen, zum Beispiel in der Fabrik oder der Lieferkette, angemessen reagiert werden, sodass Liefertermine dennoch eingehalten werden können.

Vertrauenswürdige KI

Ein großes Bedenken gegen die Nutzung der KI ist jedoch das fehlende Vertrauen. Viele KI-Methoden sind sogenannte Black Boxes, das heißt, die Gründe für die Ergebnisse und Entscheidungen der KI lassen sich nicht nachvollziehen.

Unter dem Motto Safe Intelligence erforscht das Fraunhofer-Institut für Kognitive Systeme IKS, wie KI-Systeme so abgesichert werden können, um Sicherheit (im Sinne von Safety) und Qualität von industriellen KI-Anwendungen zu gewährleisten. Dafür muss nachgewiesen werden, dass unterschiedliche Anforderungen an die maßgeblichen Eigenschaften eines KI-Systems erfüllt werden: unter anderem Performance des Modells, Robustheit gegenüber Veränderungen, Qualität der genutzten Daten sowie Transparenz bzw. Erklärbarkeit des Modells während der Entwicklung und des Betriebs. Um

den Beleg dafür zu erbringen, sind unterschiedliche Maßnahmen zu treffen, etwa die Überwachung des Modells zur Laufzeit mit Nachlernen des Modells bei Bedarf, gründliches Testen im Testfeld oder in der Simulation, oder die Anwendung von Methoden zur Erklärbarkeit von KI. Das stärkt nicht nur das Vertrauen in KI, sondern liefert auch einen Nachweis der gewünschten Qualität der KI und ermöglicht den Einsatz von KI-Systemen in sicherheitskritischen Anwendungen.

KI als Unterstützung des Menschen

Doch eine Sorge bleibt: Wird der Mensch durch KI in der Automatisierung selbst „wegautomatisiert“? Theoretisch existieren zwar Konzepte für eine vollautomatisierte Fabrik. Realistisch gesehen werden aber Menschen, Maschinen und Roboter auch mit weiterem Fortschritt der KI gemeinsam und nebeneinander in der Fabrik der Zukunft zusammenarbeiten.

Mithilfe von KI sollen den Menschen in der Produktion wiederholende oder gefährliche Aufgaben abgenommen werden, sodass sie sich auf kreative und komplexe Aspekte konzentrieren können, wie Qualitätskontrolle oder kundenspezifische Lösungen. Auch generative KI, die „kreativ“ sein kann, ist in der Lage, eine unterstützende anstatt einer ersetzenden Funktion zu übernehmen. Ein KI-basierter Chatbot könnte zum Beispiel Fragen über das Produktionssystem beantworten und Handlungsempfehlungen aussprechen, während der menschliche Nutzer basierend auf diesen Informationen schneller Entscheidungen treffen kann. Oder es könnten schneller Texte übersetzt und Reports verfasst werden. Bei der Produktentwicklung wäre es möglich, 3D-Modelle auf Basis von Beschreibungen und technischen Zeichnungen zu generieren. Code-Ausschnitte ließen sich ebenfalls auf Basis von Beschreibungen programmieren.

Während so zwar einige Tätigkeiten – mit oft belastenden und monotonen Aufgaben – wegfallen könnten, ergeben sich jedoch – mit entsprechenden Weiterbildungsangeboten – auch neue Stellen und Perspektiven für die Arbeit in der Produktion. Vor allem in Zeiten von Fachkräftemangel sind innovative Lösungen zur schnellen und einfachen Unterstützung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern unverzichtbar.

KI in der Automatisierung eröffnet viele Anwendungsmöglichkeiten – von kleinen Analysen bis hin zu umfassenden Assistenzsystemen. Das Potenzial, die Produktivität, aber auch die Aspekte der Ausrichtung auf den Menschen, die Resilienz, und die Nachhaltigkeit zu stärken, ist immens. So wird in Zukunft ein Roboter in der Lage sein, die Absicht und Konzentrationsfähigkeit des Menschen einzuschätzen und dementsprechend seine Handlungen anzupassen. Kombiniert mit weiteren Entwicklungen – wie digitalen Modellen von Menschen, neuartigen Mensch-Maschine-Schnittstellen und erklärbarer KI – entsteht ein gemeinsames Verständnis von Intentionen und Fähigkeiten sowie eine effiziente Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine.

Herausforderungen Energieeffizienz! Neue Wege durch Neuromorphic Computing in der Informationsverarbeitung (Damian Dudek)

Das interdisziplinäre Fachgebiet Neuromorphic Computing (NC) entwickelt sich gerade in den letzten 10 Jahren in der akademischen Forschung sehr dynamisch. Obwohl immerzu Anwendungen von einschlägigen Firmen und Startups zu sehen sind, befinden sich einige Ansätze nach wie vor in der Grundlagenforschung. Derzeit setzt man vermehrt den Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf die Integration von neuartigen Bauelementen in digitale Schaltungsstrukturen. Eine Vielzahl der verfügbaren integrierten Schaltkreise basieren auf konventioneller CMOS-Technologie in digitalen Logikgattern jedoch mit physikalischen Architekturen für Neuronale Netze. Der Entwurf von Schaltungen auf Basis von neuartigen Bauelementen ist vorrangig in der Forschung angesiedelt. Um einen verstärkten Erkenntnistransfer in die Anwendung und Wertschöpfung zu ermöglichen, benötigt man nachhaltige Konzepte in der Förderung aber vor allem Personen, die an der Umsetzung dieser Technologieansätze arbeiten. Da es sich um ein junges Forschungsfeld mit viel Potenzial für aktuelle Anwendungen in der Informationstechnik handelt, wird nicht selten Nachwuchs auf allen Ebenen der Entwicklungskette von der beruflichen Ausbildung bis hin zur Universitätsprofessur benötigt. Ein wesentlicher Treiber des Technologietransfers aus der Grundlagenforschung in die Gesellschaft sind sachkundige Personen, die mit ihrem jeweiligen Wissen und Talent das gesamte Fachgebiet Neuromorphic Computing vorantreiben.

Die vielskizzierten Vorteile des NC wie die Leistungssteigerung in der Datenverarbeitung bei gleichzeitiger höherer Energieeffizienz und dem oftmals versprochenen Paradigmenwechsel in der „Digitalisierung“ können erst dann verifiziert werden, wenn der technologische Reifegrad dieser



neuartigen Konzepte so groß ist, dass er mit den konventionellen CMOS-Technologien und der aktuellen Digitaltechnik vergleichen lässt. Diesem Ziel strebt die Informationstechnische Gesellschaft im VDE entgegen. Mitgedacht wird hierbei der erwähnte Nachwuchs, der in allen Ebenen von der Materialforschung über die Entwicklung von Integrierten Schaltungen bis hin zu Algorithmen und Systemen für den großen Markt im Bereich „Consumer Electronics“ der Technologieentwicklung, sich mit neuen Ideen und unkonventionellen Ansätzen einbringen kann und soll. Wichtig ist bei der Schwerpunktsetzung die nachhaltige Förderung des Wettbewerbs, die gezielt ablaufen muss und nicht nur durch einen reinen Antragswettbewerb bei den Forschungsförderorganisationen gestützt wird. Zu einer zielstrebigem Strategie gehören Kennwerte und Messgrößen, die man in Etappen erfassen und anpassen muss. Hierzu gehört eine umfangreiche Expertise von denjenigen, die diese NC-Technologien entwickeln, aber auch von denen, die sie bewerten. Nicht außeracht gelassen, dass es sich hier um ein weltweiten Konkurrenzwettkampf handelt, werden auch Nachwuchstalente aus dem Ausland benötigt. Die befördert die interkulturelle Zusammenarbeit und zeigt auf, wo ggf. Schwächen oder Stärken in der nationalen Strategie liegen.

Sollten sich die Prognosen zum Energiebedarf für die nächsten 10 bis 20 Jahre für den Betrieb von Informations- und Kommunikationstechnologien für Anwendungswerkzeuge im Maschinellen Lernen bestätigen, so wird die weltweite elektrische Primärenergieerzeugung nicht ausreichend sein, um den rasanten Anstieg der Nutzung decken zu können. Bereits in den letzten zwei Jahren der populären Nutzung von Werkzeugen wie Chatbots zur Sprachverarbeitung, Texterstellung und Bildgeneration aber auch vielen anderen mehr, stieg der Energiebedarf erheblich an. Diese Zahlen geben einen Einblick in die

Entwicklung des Energiebedarfes: Für die Nutzung von Generativer KI-Anwendungen werden hochskalierte Serverrechenzentren ausgelastet und diese laufen unter Volllast mit 40-100 kW pro Serverschrank, deutlich mehr als ein gewöhnlicher Serverschrank, der nicht für das High-Performance-Computing eingesetzt wird und im Bereich von 10-15 kW liegt, vergleichbar mit einem Einfamilienhaus. In den High-Performance-Computing Rechenzentren sind jedoch eine Vielzahl an Serverschränken verbaut, sodass der Energiebedarf um mehrere 10er-Faktoren höher ist. Das ist je nach Rechenzentrum die Leistungsaufnahme einer Kleinstadt. Bis 2027 sollen nach den aktuellen Schätzungen 40 Prozent der elektrischen Energie allein in Erhaltung der konventionellen Hardwareinfrastruktur zum Betrieb von Maschinellem Lernen fließen. Genauso groß wie der energetische Aufwand ist, sind die monetären Gewinne dieser Branche. Man rechnet derzeit mit 140 Milliarden Dollar, die mit allgemein genutzten generativen KI-Anwendungen in Verbindung stehen, Tendenz stark wachsend.

Diese Zahlen sind zum einen alarmierend, aber auch motivierend zugleich, wenn man das stark dynamische Feld analysiert. Um den Energiebedarf zu senken, benötigt man eine von Grund auf neue Hardwarearchitektur, die nicht unbedingt auf konventionellen digitalen Rechenknoten basieren, wie wir sie heutzutage nutzen und weiter optimieren. Die Optimierung ist vorrangig darauf ausgerichtet, eine höhere Leistungsfähigkeit der Systeme zu erreichen und man setzt dabei auf die Hochintegration von Halbleiterstrukturen im CMOS-Technologieprozess. Beim NC hingegen, widmet man sich einer neuen Hardwarearchitektur und dann infolgedessen einem anderen Entwurfswerkzeug für den Aufbau von integrierten Schaltungen, die eher an biologische Signalverarbeitung angelehnt sind. Das Forschungsfeld „Neuronale Netze“ ist bereits seit einigen Dekaden bekannt, doch gerade in selbstlernenden Systemen, die Anwendung in der generativen-KI finden, sind diese in der Skalierung der Modelle zentral zu verorten. Im Vergleich zum Energiebedarf eines Serverschranks benötigt das gesamte menschliche Gehirn im Mittel approximiert ca. 20 W. Dieser eklatante Unterschied macht deutlich, dass viel Potenzial zur energieeffizienten Optimierung der Informationsverarbeitung, so wie sie heute in technischen Systemen stattfindet, vorhanden ist. Um dieses strategische Forschungs- sowie Entwicklungsfeld weiter voranzutreiben, benötigen wir nachhaltige Förderstrukturen, um den Nachwuchs zu motivieren, aber auch um ihm Wege aufzuzeigen, wohin sich professionelle Karrieren in diesem Arbeitsfeld entwickeln können.

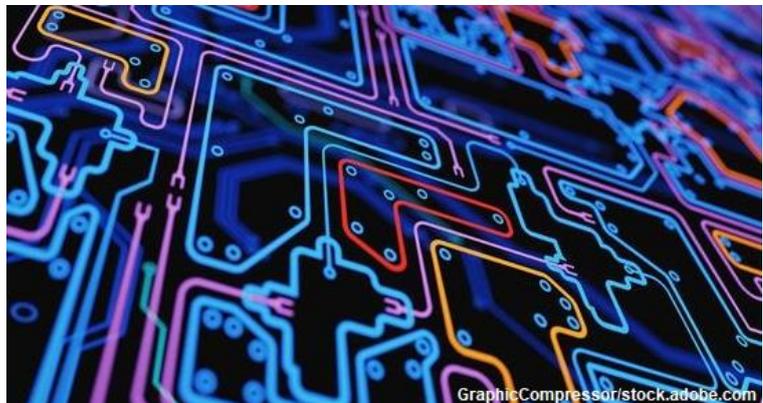
In dem thematischen Ausbau des NC mit seinen vielseitigen Facetten erhofft man sich auch einen „Gender Turn“ also einen Aufschwung in der Frauenbeteiligung, da man für das dezidierte Voranschreiten dringend alle intellektuellen Ressourcen benötigt. Bisher ist das Fachgebiet Informationstechnik hauptsächlich von Männern besetzt gewesen, was jedoch durch die interdisziplinären Arbeitsinhalte „genderübergreifend“ Anreiz finden sollte. Die ersten positiven Ergebnisse hinsichtlich Energieeffizienz mittels NC-Ansätzen und einer höheren Frauenquote in dem Fachgebiet kann man jetzt schon verzeichnen. Diesen motivierenden Trend sollten wir alle aufrechterhalten und daher die Förderstrategie entsprechend anpassen.

Zukunftsfeld: KI im Einsatz in der Electronic Design Automation (Damian Dudek)

Ob digital, analog oder mixed-signal, für alle Domänen der Simulation und des Schaltungsentwurfes gibt es adäquate Werkzeuge, um Schaltungen jeglicher Art für Systemanforderungen zu konzipieren. Das Arbeitsfeld Elektronischer Schaltungsentwurf, engl. Electronic Design Automation (EDA), ist ein fester Bestandteil des Curriculums eines jeden Studierenden und Auszubildenen der Elektro- und Informationstechnik. Die Simulationsumgebung, engl. Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis (SPICE), wurde in den frühen 1970er Jahren von Studierenden an der University of California in Berkeley in den USA entwickelt, um auf diesem Wege vielen Studierenden die Möglichkeit zu eröffnen, auch ohne einen Experimentierplatz Bauelemente in Schaltungsblöcken zu erproben und deren Funktionsweise verstehen zu können. Aus dieser akademischen Initiative entwickelten sich schnell Derivate, die kommerziell eingesetzt wurden, da Mithilfe dieser von Version zu Version deutlich komplexere Schaltungen berechnen und als Werkzeug für jeden Schaltungsentwurf hinzugezogen werden konnten.

Warum Mathematik in der Anwendung für die Entwicklung von gedruckten- und mikroelektronischen Schaltungen wichtig ist, kann am Beispiel der EDA sehr gut aufgezeigt werden. Ein Großteil der physikalischen Zusammenhänge in der Elektronik ist durch Maxwell-Gleichungen beschrieben, also Differentialgleichungen, für die Lösungsansätze vorliegen. Durch die Parametrisierung der elektronischen Bauelementeigenschaften ist man in der Lage, die Modelle stark von der physikalischen Beschreibung zu abstrahieren und stellt damit eine Plattform bereit für all diejenigen, die nicht experimentell arbeiten. Damit hat man schon sehr früh die Tür für weiterer Talente in der Elektrotechnik geöffnet, denn mittels diesen computerbasierten Entwicklungswerkzeugen konnte man komplexe mathematische und systematische Optimierungsaufgaben lösen, die zunehmend wichtiger für die aufwendigen und ständig im Komplexitätsgrad steigenden Schaltungsanforderungen genügen mussten.

Mit der Popularisierung von Anwendungen des Maschinellen Lernens wie der Generativen-KI erwartet uns ein erneuter Paradigmenwechsel in der Nutzung von EDA. Es ist zu erwarten, dass die Entwicklungszyklen zunehmen und das Fachgebiet durch die Unterstützung von KI-Anwendungen erneut weitere Talente begeistert, die ihre Ideen in den zukünftigen Schaltungsentwurf



einbringen. Firmen wie „Meta“ oder „Google“ setzen ganz provokant open source Software für die Entwicklung von Schaltungen ein und machen den Zugang für Schülerinnen, Schüler, Studierende und Interessierte besonders einfach damit. Dies war lange überfällig, denn bisher war zwar dieses Forschungs- und Arbeitsfeld nicht nur einer bestimmten Gruppe von Talenten vorbehalten, sondern die Entwurfswerkzeuge sind dermaßen speziell und kostenintensiv, dass diese nur an größeren Instituten und Firmen genutzt werden konnten. In Europa ist erst seit dem Jahr 2021 etwas mehr Durchlässigkeit und allgemeines Verständnis über das Fachgebiet gekommen, nachdem der European-Chips-Act eine größere Aufmerksamkeit in der Gesellschaft nach sich zog und damit auch der Chipentwurf aus dem bisherigen Schatten herauskam. In den USA und Asien setzt man schon seit Dekaden auf eine disziplinentrierte Ausbildung mit unterschiedlichen Plattformen der EDA, da man sehr systematisch die einzelnen Arbeitsgebiete unterteilt und die Wertschöpfungskette analysiert hat.

Die Vorteile des Einsatzes von Generativer-KI im Schaltungsentwurf sind vielfältig. So ist beispielsweise das Setzen von Baugruppen und das „Routen“ von Leiterbahnen oder Verbindungen eine Optimierungsaufgabe, die genauen Anforderungen genügen muss. Der Grad der Flexibilität in Fläche und

elektromagnetischen Parametern ist hier nicht selten limitiert. Dabei ist der Entwurf für Hochfrequenzschaltungen oder Photonischen Schaltungen gänzlich anders als der für Digitale Schaltungen. Die Abstraktionsebenen sind unterschiedlich und dahingehend setzen die EDA-Werkzeuge an. Gerade im Bereich des analogen Schaltungsentwurfes, bei denen viele Netzwerkanpassungen vorgenommen werden müssen und wo ein großer Erfahrungsschatz bei den Entwicklern vorhanden sein muss, wären Erweiterungen der generativen-KI von Vorteil, um die Entwicklungszeiten zu verkürzen.

Für eine Person, auch wenn diese noch so erfahren ist, stellt ein erster Vorschlag eine große Unterstützung dar. Wenn dann noch aus unterschiedlichen Anfangsoptionen ausgewählt werden kann, ist die Optimierung durch die „menschliche Hand“ und das Hinzufügen der Expertise der bearbeitenden Person eine hervorragende Synergie zwischen Mensch-und-Maschine für einen effizientes, aber auch validiertes Arbeitsresultat. Umso früher junge Interessierte an diese Werkzeuge, auch wenn diese reduzierten Funktionsumfang haben, mit den aktuellen Erweiterungen von Generativer-KI in Verbindung kommen, umso schneller schafft man freie Räume für weitere Entwicklungen und weckt Interesse an dem Arbeitsfeld. Inwiefern sich Initiativen wie Chip-Design-Germany, <https://www.chipdesign-germany.de/de/> ein Netzwerk, das von BMBF seit 2023 gefördert wird, stärker mit der Integration von Methoden des Maschinellen Lernens in EDA-Werkzeugen beschäftigt, bleibt abzuwarten. Ohne Zweifel werden die Methoden der Generativen-KI eine größere Dynamik in den Schaltungsentwurf und damit in das hochkompetitive Wirtschaftsfeld der Consumer Elektronik bringen.

Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.

Michael Schanz

VDE Verband der Elektrotechnik
Elektronik Informationstechnik e.V.

Merianstraße 28

63069 Offenbach am Main

Michael.Schanz@vde.com