

## 6. Deutsch-Französische Medizin-Debatte

# Die Zukunft der Medizin

## Digitale Transformation und Künstliche Intelligenz

Am 14. Mai 2019 fand bereits das sechste Mal die Deutsch-Französische Medizin-Debatte statt. Die Kooperation der Katholischen Akademie in Bayern und des SZ-Gesundheitsforums hatte dieses Mal „Die Zukunft der Medizin“ in Deutschland und Frankreich im Blick, wobei Digitale Transformation und Künstliche Intelligenz im Mittelpunkt standen. Weitere Kooperationspartner waren das Französische

Generalkonsulat, das Bayerisch-Französische Hochschulzentrum, das Institut Français, die Münchner LMU und die TU in der Landeshauptstadt. Prof. Dr. Meinhard Rust, emeritierter Medizinprofessor an der TU, fasste drei der Vorträge für die Publikation in unserer Zeitschrift zusammen. Danach finden Sie noch das Referat von Professor Klaus Mainzer.

## Digitale Transformation und Künstliche Intelligenz

### I.

Wie in anderen Bereichen unserer Gesellschaft sind auch in der Medizin die digitale Transformation, Big Data und Künstliche Intelligenz (KI) angekommen. Wir sind mit disruptiven technischen Innovationen und Entwicklungen konfrontiert, die vor wenigen Jahren noch undenkbar waren. Die explosionsartige Entwicklung der Informationstechnologie und deren Anwendung in der medizinischen und biotechnologischen Forschung sowie der Gesundheitsversorgung stellen uns vor neue Herausforderungen. Riesige Speicherkapazitäten ermöglichen es, bisher ungenutzte medizinische und biologische Daten in ungeheuren Mengen zu sammeln und durch mathematische Algorithmen intelligent aufzuarbeiten. Dank lernender Algorithmen und biometrischer Sensoren verbinden integrierte Computersysteme bzw. deren flexible Netzwerke Menschen und Maschinen



Frankreichs Generalkonsul in Bayern Pierre Lanapats sprach zu Beginn der Veranstaltung ein Grußwort.

weltweit. Solche Konnektivität stellt „intelligente Werkzeuge“ und beständiges Weiterlernen bereit.

Allerdings erfordern solche Systeme ein hohes Maß an menschlicher Intelligenz, einen hohen und spezifischen Ausbildungsstand und eine gesunde Kritikfähigkeit. Im Spannungsfeld von



Professor Meinhard Rust fasste die wichtigsten Erkenntnisse der Medizindebatte zusammen.

Politik, Medizin und Technik wird es dabei zu vielerlei Verwerfungen kommen, zumal geeignete Fachkräfte schon jetzt rar werden und der Mensch gefordert und oft auch überfordert ist.

Kritisch sind und bleiben dabei der Datenschutz und die Datensicherheit. Die ethische Handhabung komplexen medizinischen Geschehens wird künftig eine noch viel größere und wichtigere Rolle spielen als bisher. Verpflichtende Wertmaßstäbe und Regelwerke sind bereits in Arbeit. Die Zukunft des digitalen Zeitalters darf sich durch unkontrollierte Künstliche Intelligenz nicht zur orwellischen Dystopie wandeln. Entscheidend ist also schon jetzt, welcher Freiheitsgrad dem Menschen bei der digitalen Revolution zugebilligt wird und wie der vorgegebene politische Rahmen von Kooperation und Konkurrenz aussehen wird.

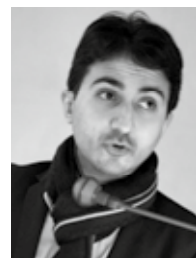
Welche Ziele hat nun eigentlich die digitale Transformation in der Medizin? Es gilt, die Qualität der medizinischen Versorgung und der medizinischen Forschung zu optimieren, hohe Kosten durch Verbesserung und Rationalisierung des Gesundheitssystems zu reduzieren und weltweit einen flächendeckenden Zugang zu individuellen medizinischen Leistungen und Errungenschaften zu ermöglichen. Insbesondere die Verknüpfung regionaler Hochleistungszentren mit Gebieten quantitativer und qualitativer Unterversorgung

scheint sinnvoll. Die Dokumentation von Patientendaten, die Steuerung logistischer Abläufe, die automatisierte Auswertung medizinischer Befunde, computergestützte Diagnostik und Therapie sowie die Unterstützung medizinischer Forschung sind mögliche Anwendungen, auch der Einsatz Künstlicher Intelligenz zur Überwachung und Auswertung epidemiologisch bedeutsamer Daten und zur individuellen Entscheidungs- und Prognosefindung. Eine faszinierende Zukunftsperspektive ist es, in jeder Praxis und jedem Krankenhaus das vollständige medizinische Wissen verfügbar zu haben, um es auf die individuellen Befunde der Patienten anwenden zu können.

### II.

Die neue Generation der Leistungsträger im Gesundheitswesen und der Verantwortlichen in Politik und Zivilgesellschaft – nicht nur in Deutschland und Frankreich – steht vor einer großen Herausforderung. Dies wurde in der 6. Deutsch-Französischen Medizin-Debatte dargestellt und diskutiert. Die Katholische Akademie in Bayern und das SZ-Gesundheitsforum waren die Veranstalter des Abends, der von Professor Klaus Peter moderiert wurde. Zwei jüngere „top of the industry“-Referenten aus Frankreich und Deutschland demonstrierten den Zuhörern die äußerst dynamische Entwicklung der digitalen Transformation und besonders der künstlichen Intelligenz in der Industrie – die sogenannte E-Health – am Beispiel eines Start-Up-Unternehmens und eines amerikanischen Weltkonzerns.

Dr. Adnan El Bakri aus Reims, Jungunternehmer des Jahres 2018, Urologe, diplomierter IT- und KI-Spezialist, ist der Erfinder und Entwickler einer personalisierten, gesicherten Patientenakte bzw. Gesundheitsakte (PassCare) und einer der führenden Experten in Frankreich auf dem Gebiet von E-Health. Deutschland und Frankreich haben jeweils einen beträchtlichen Nachholbedarf. Seine Grundidee beruht auf einer integrierten dezentralen IT-Netzstruktur, die den Datenfluss zwischen verschiedenen Leistungserbringern des Gesundheitssektors ermöglicht. Die vormalige Informationsarchitektur 1.0 wird zu 4.0! Die Informationstechnologie soll sowohl der Patientenversorgung als auch der Forschung dienen.



Dr. Adnan El Bakri aus Reims referierte zum Thema „Digitale Innovationen aus Frankreich für das Gesundheitswesen“.

Anfänglich entwickelte El Bakri einen spezifischen, preisgekrönten Algorithmus zur Vorhersage der Prognose metastasierender Nierentumoren. Dazu war die mehrstufige statistische Bearbeitung und Auswertung großer Datensätze erforderlich. Danach wurde ein lernender Algorithmus erstellt, und die Automatisierung von Diagnostik und Prognostik angestrebt. Beim einzelnen Patienten wird die individuelle Krankengeschichte in den epidemiologischen Kontext gestellt und nach prädiktiven und prognostischen Faktoren gesucht. Seine individuelle und doppelt gesicherte personalisierte Gesundheitsakte soll den Aufwand an Bürokratie und unnützen Arbeitsabläufen entscheidend redu-

zieren. Sie gilt als eigentliches Kernstück künftiger Reform im Gesundheitswesen. Entscheidend ist auch, dass die Informationslücken zwischen Hausärzten, Fachärzten und dem Krankenhauspersonal geschlossen werden. El Bakri führte aus: „Bei unserem Ansatz steht der Patient im Mittelpunkt. Er ist Besitzer seiner Gesundheitsdaten und entscheidet, mit welchen Stellen des Gesundheitssystems er sie teilt!“ Ein überlegenswerter Aspekt! Ein weiterer Einsatz von IT und KI besteht in der Ablaufintegration von Daten klinischer Studien in allgemein zugängliche „Blockchains“. KI bedeutet also den Einsatz selbstlernender „intelligenter“ Algorithmen zu medizinischen Zwecken, die je nach Einsatzgebiet zu beträchtlichem medizinischen Fortschritt führen wird.

Jan Beger, GE-Healthcare-Europadirektor aus Leipzig, sprach über den Beitrag digitaler Technologien auf dem Weg zur Präzisionsmedizin. Der in den Ver-



„Durch digitale Technologien auf dem Weg zur Präzisionsmedizin“ war die Überschrift zum Referat von Jan Beger.

einigten Staaten geläufige Begriff der Präzisionsmedizin bezeichnet ein medizinisches Modell für die Individualisierung und Anpassung der Gesundheitsversorgung bei Diagnose und Therapie und wird im deutschen Sprachgebrauch auch mit personalisierter Medizin bezeichnet. Dabei werden medizinische Entscheidungen, Verfahren und Produkte streng nach den spezifischen Erfordernissen des individuellen Patienten ausgewählt und eingesetzt. In diesem Kontext kommen nun moderne digitale Technologien zum Einsatz.

Das Fach Radiologie war und ist auf dem Gebiet E-Health federführend. Über 50 Prozent anfallender medizinischer Daten beruhen auf einer modernen Bildgebung, sie spielt eine entscheidende Rolle bei der Mehrzahl gestellter Diagnosen. Limitierend ist die Verfügbarkeit qualifizierter Spezialisten, wobei dies in Entwicklungsländern besonders gravierend ist. Ein Zeitverzug kann tödliche Folgen haben! Deswegen ist das Ziel neuer apparativer Entwicklungen, datenliefernde Systeme mit KI auszustatten, um die Diagnostik zu optimieren und zu beschleunigen. Die Aufbereitung der in die Maschine integrierten Daten plus die Algorithmen der KI werden durch menschliches Fachwissen komplettiert, das soll zu schnelleren und besseren Ergebnissen führen. Das Zusammenwirken zwischen Mangel an qualifizierten Experten, notwendiger Präzision und rechtzeitiger Verfügbarkeit wird somit durch Informationstechnologie und KI ermöglicht. Da gewonnene Daten mit geringen Kosten verbreitet werden können, ist ein Zugang dazu auch in armen Ländern möglich.

Aber auch in hochmodernen Kliniken werden moderne Geräte wesentlich effizienter eingesetzt werden. Ein verbesserter Workflow soll bei gleichbleibender oder verbesserter Qualität zu Kosten- und Zeitersparnis führen. Auch auf Krankenhausebene sind entscheidende Verbesserungen der Abläufe durch den Einsatz vernetzter Kommandozentren in einer oder mehreren Institutionen (sogenannte Command Center) möglich. Durch organisatorisch-sys-





## Unsere Online-Medien

Neben unserer Zeitschrift „zur debatte“ bespielt die Katholische Akademie Bayern auch eine Reihe von Online-Medien, mit denen wir unsere Themen in den gesellschaftlichen Diskurs bringen. Zuerst natürlich die Homepage, auf der Sie unter [www.kath-akademie-bayern.de](http://www.kath-akademie-bayern.de) neben allen Anmeldefunktionen für unsere Veranstaltungen regelmäßig aktuelle Mitteilungen und den Presspiegel finden.

Viele Kurznachrichten und Bilder, die Sie gerne kommentieren und teilen, präsentieren wir mit unserem Facebook-Auftritt: [www.facebook.com/katholische.akademie.bayern](https://www.facebook.com/katholische.akademie.bayern)

Intensiv aktualisiert die Akademie ihre eigenen Kanäle auf YOUTUBE. Sie können Katholische Akademie in Bayern AUDIO-Kanal (vollständige Vorträge zum Nachhören) und Katholische Akademie in Bayern (kurze Videoclips zu ausgewählten Veranstaltungen) kostenlos abonnieren. Dann erfahren Sie zeitnah, wenn wieder etwas Neues eingestellt wurde.

Auf der Plattform [www.literatur-radio-bayern.de](http://www.literatur-radio-bayern.de) schließlich stellen wir Ihnen Audiodateien mit Vorträgen aus Akademieveranstaltungen zur Verfügung, die einen literarischen Bezug haben.

temische Verbesserungen kommt es zu größerer Patientensicherheit, Optimierung der zeitlichen Abläufe mit geringeren Wartezeiten, Reduktion des organisatorischen Gesamtaufwands und zur Entlastung von Bettenkapazitäten. Dies sollte allerdings nicht zu einer noch höheren Arbeitsintensität medizinischen Personals führen, sondern die verbesserten Bedingungen sollten den Patienten-Arzt-Kontakt verbessern. Zusammenfassend wird die digitale Transformation im Gesundheitswesen zu einer Verbesserung der quantitativen und qualitativen medizinischen Leistungen führen. Kostenstrukturen im Gesundheitswesen werden sich dynamisch verändern und an die geänderten Verhältnisse anpassen. Der individuelle Patient werde in der Zukunft davon profitieren, so Jan Beger.



*Menschliche und Künstliche Intelligenz verglichen  
Professor Ernst Pöppel.*

Nachdem Professor Klaus Mainzer, „Emeritus of Excellence“ an der Technischen Universität München, in seinem Vortrag auf „Technologische Grundlagen und Ethik“ der Künstlichen Intelligenz eingegangen war (siehe **nebenstehender Beitrag im Wortlaut**), beschäftigte sich Professor Ernst Pöppel, emeritierter Professor für Medizinische Psychologie an der Ludwig-Maximilians-Universität München, mit dem Gegensatz „Menschliche versus Künstliche Intelligenz“. Von den vier Kantischen Fragen (Was kann ich wissen, was soll ich tun, was darf ich hoffen und was ist der Mensch?) beschäftigte sich die Welt von heute fast ausschließlich mit der ersten. Gegen einen Dualismus von Geist und Materie, wie ihn etwa René Descartes vertreten habe, plädierte Pöppel für einen „pragmatischen Monismus“.

Der Mensch verfüge über etwa 500 Millionen Sinneszellen und vier Millionen motorische Nervenzellen, dazwischen liege ein „intermediäres Netz“, das durch Divergenz und Konvergenz bzw. Erregung und Hemmung Verbindungen dazwischen schaffe, und zwar in einer Größenordnung von 10.000 Impulsen pro Zelle. So entstehe in großer Nähe zueinander ein extrem dichtes Netzwerk. „Alles ist engstens miteinander verbunden“, so Ernst Pöppel – und damit unberechenbar. Dazu komme die Fähigkeit des Gehirns, den Faktor Zeit entweder zu dehnen oder zu raffen, was man an der Koordination von Sehen und Hören verdeutlichen könne. Das berücksichtige die Künstliche Intelligenz in ihrer Linearität nicht. Dazu komme, dass es längst nicht nur begriffliches Wissen gebe, sondern auch in viel größerem Umfang intuitives und bildliches Wissen. Als verbindende Prinzipien schlug Pöppel formal ein „ästhetisches Prinzip“ und inhaltlich ein „mimetisches Prinzip“ vor. Im Unterschied zur ungeheuer komplexen menschlichen Intelligenz weiß KI nicht per se, was die Daten bedeuten. Deren Bearbeitung und Interpretation wird also von der menschlichen Intelligenz vorgegeben und bedarf auch deren Kontrolle! □

# Künstliche Intelligenz – Technologische Grundlagen und Ethik

Klaus Mainzer

## I. Was ist Künstliche Intelligenz?

Künstliche Intelligenz (KI) beherrscht längst unser Leben, ohne dass es vielen bewusst ist. Smartphones, die mit uns sprechen, Armbanduhren, die unsere Gesundheitsdaten aufzeichnen, Arbeitsabläufe, die sich automatisch organisieren, Autos, Flugzeuge und Drohnen, die sich selbst steuern, Verkehrs- und Energiesysteme mit autonomer Logistik oder Roboter, die ferne Planeten erkunden, sind technische Beispiele einer vernetzten Welt intelligenter Systeme. Sie zeigen uns, wie unser Alltag von KI-Funktionen bestimmt ist.

Alan M. Turing (1912–1954) definierte 1950 in dem nach ihm benannten Test ein System dann als intelligent, wenn es in seinen Antworten und Reaktionen nicht von einem Menschen zu unterscheiden ist. Der Nachteil dieser Definition ist, dass der Mensch zum Maßstab gemacht wird.

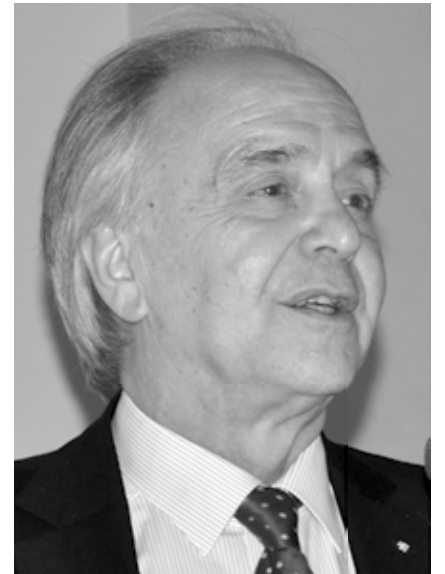
Auch biologische Organismen sind nämlich Beispiele von intelligenten Systemen, die wie der Mensch in der Evolution entstanden und mehr oder weniger selbstständig Probleme effizient lösen können. Gelegentlich ist die Natur Vorbild für technische Entwicklungen. Häufig finden Informatik und Ingenieurwissenschaften jedoch Lösungen, die anders und sogar besser und effizienter sind als in der Natur. Es gibt also nicht „die“ Intelligenz, sondern Grade effizienter und automatisierter Problemlösungen, die von technischen oder natürlichen Systemen realisiert werden können.

Daher nenne ich (in einer vorläufigen Arbeitsdefinition) ein System dann intelligent, wenn es selbstständig und effizient Probleme lösen kann. Der Grad der Intelligenz hängt vom Grad der Selbstständigkeit des Systems, dem Grad der Komplexität des Problems und dem Grad der Effizienz des Problemlösungsverfahrens ab. Diese Kriterien können wir messen und nach Bedarf erweitern. Bewusstsein und Gefühle wie bei Tieren (und Menschen) gehören danach nicht notwendig zur (maschinellen) Intelligenz.

## II. Neuronale Netze und Machine Learning

Unter Künstlicher Intelligenz verstehen wir heute vor allem maschinelles Lernen mit vereinfachten Modellen des Gehirns. In graphischen Modellen neuronaler Netze werden Neuronen (Nervenzellen) durch Knoten dargestellt und durch Pfeile verbunden, die für Synapsen als Signalverbindungen der Neuronen stehen. Die Pfeile im Modell, wie es auf dem Cover meines Buches zu sehen ist, sind durch Zahlen gewichtet, mit denen die Intensität der neurochemischen Verbindung durch Synapsen angezeigt wird. Aufgrund der Hebbischen Regel feuern Neuronen ein Aktionspotential ab bzw. sind erregt, wenn die Summe der gewichteten Inputs von Nachbarzellen einen Schwellenwert überschreitet. Zudem sind die Neuronen in Schichten angeordnet, was dem Aufbau des Neocortex im menschlichen Gehirn entspricht.

Lernen bedeutet auf der neuronalen Ebene, dass erregte Neuronen sich in Mustern verschalten. Aus der Neuro-



*Prof. Dr. Klaus Mainzer, Professor em. für Philosophie und Wissenschaftstheorie an der TU München*

psychologie wissen wir, dass unterschiedliche Verschaltungsmuster mit verschiedenen kognitiven Zuständen wie Wahrnehmungen, Vorstellungen, Gefühlen, Denken und Bewusstsein verbunden sind. Im Modell neuronaler Netze werden diese Verschaltungsvorgänge durch Lernalgorithmen modelliert, mit denen die synaptischen Zahlengewichte verändert werden, da sie für die Intensität der jeweiligen neurochemischen Stärke der synaptischen Verbindungen in einem Verschaltungsmuster stehen.

Ähnlich wie in der Psychologie werden verschiedene Arten von Lernalgorithmen unterschieden. Beim überwachten Lernen wird dem neuronalen Netz zunächst ein Prototyp beigebracht. Das könnte z. B. das Verteilungsmuster der farbigen Pixel eines Gesichts sein. Die lokalen Stärken von Färbungen und Schattierungen werden durch entsprechende synaptische Zahlengewichte dargestellt. Man spricht auch vom Trainieren eines neuronalen Netzes, um die Zahlengewichte passend einzustellen. Durch Abgleich mit einem eintrainierten Prototyp kann ein Gesicht unter einer Vielzahl von Gesichtern (z. B. bei einer Polizeifahndung) wiedererkannt werden.

Beim nicht-überwachten Lernen ist das neuronale Netz in der Lage, selbstständig Ähnlichkeiten von Daten zu erkennen, um sie entsprechend zu klassifizieren. So kommt es, dass solche neuronalen Netze mit ihren Algorithmen das Gesicht z. B. einer Katze erkennen können, ohne vorher beigebracht bekommen zu haben, was eine Katze überhaupt sei.

Beim verstärkenden Lernen (reinforcement learning) wird dem System eine Aufgabe gestellt, die es dann mehr oder weniger selbstständig lösen soll. Es könnte sich z. B. um einen Roboter handeln, der selbstständig einen Weg zu einem vorgegebenen Ziel finden soll. Beim Lösen dieser Aufgabe bekommt der Roboter ständig Rückmeldungen (rewards) in bestimmten Zeitintervallen, wie gut oder wie schlecht er dabei



*Prof. Dr. Klaus Peter, ehem. Dekan der Medizinischen Fakultät der LMU und stellvertretender Vorsitzender des SZ-Gesundheitsforums (2. v. l.), moderierte*

*die Gesprächsrunde mit Jan Beger, Meinhard Rust und Adnan El Bakri (v. l. n. r.).*



ist, den Weg bzw. die Aufgabenlösung zu finden. Die Lösungsstrategie besteht darin, diese Folge von Rückmeldungen zu optimieren.

Deep Learning bezieht sich einfach auf die Tiefe des neuronalen Netzes, die der Anzahl der neuronalen Schichten entspricht. Bei einem Wahrnehmungsvorgang werden auf der ersten neuronalen Schicht nur farbige Pixel unterschieden, die auf der nächsten Schicht zu Ecken und Kanten verbunden werden, um auf der dritten Schicht in Teilen von Gesichtern eingefügt zu werden und schließlich auf der vierten Schicht ganze Gesichter wiederzugeben. Was im mathematischen Modell schon seit den 1980er Jahren bekannt war, wird erst seit wenigen Jahren technisch realisierbar, da nun die notwendige Rechenpower vorliegt (z. B. Google Brain mit einer Million Neuronen und einer Milliarde Synapsen). Dabei ist die Technik keineswegs an die kleine Zahl von neuronalen Schichten im Gehirn gebunden, sondern lässt sich je nach zur Verfügung stehender Rechenpower beliebig steigern, um die Effizienz des Systems zu verbessern.

### III. Machine Learning in Wissenschaft und Medizin

Mustererkennung ist eine Stärke des maschinellen Lernens, das mittlerweile auch in verschiedenen Wissenschaften zur Anwendung kommt. Im August letzten Jahres meldete CERN, dass nunmehr das Higgs-Teilchen endgültig entdeckt sei – aber nicht durch einen menschlichen Physiker, sondern durch maschinelles Lernen. Tatsächlich wäre auch ein menschliches Gehirn nicht in der Lage, die Milliarden von Daten zu klassifizieren, die bei den Kollisionen von Protonen im Elementarteilchenbeschleuniger ständig erzeugt werden. Aber vorher musste der theoretische Physiker Higgs aus einer physikalischen Theorie (Standardmodell der Elementarteilchenphysik) die Existenz dieses Teilchens vorhersagen, insbesondere den dadurch ausgelösten Zerfall in andere Teilchen. Damit lag ein „Fingerabdruck“ vor, um die Nadel im Heuhaufen zu entdecken. Man spricht von einem Signalereignis, das von den Milliarden anderen Hintergrundereignissen zu trennen war. Das leistete ein Algorithmus des überwachten Lernens gewissermaßen wie bei einer Polizeifindung.

In der Medizin kann z. B. in einem Gewebeschnitt der „Fingerabdruck“ von Krebszellen unter normalen Lymphknoten durch maschinelles Lernen erkannt werden. Auch in der Arzneimittelentwicklung kommt maschinelles Lernen mittlerweile zum Einsatz, um die Entwicklungszeit und damit verbundene Kosten drastisch zu senken. IBM Watson for Drug Discovery liest Millionen von Seiten (Big Data mining), um ihre Bedeutung für Forschungsziele (target identification and validation) zu erkennen. In wenigen Monaten wurden so fünf RNA-bindende Proteine RBPs entdeckt, die zuvor nie mit amyotropher Lateralsklerose (ALS) in Verbindung gebracht wurden (Acta Neuropathologica 2018).

### IV. Vom statistischen zum kausalen Lernen

Ein hochaktuelles Anwendungsbeispiel sind selbstlernende Fahrzeuge: Um das Prinzip zu erläutern, können wir uns vereinfacht ein elektrisches Spielzeugauto vorstellen, das rund herum mit Sensoren ausgestattet ist. Die Sensoren (z. B. Nachbarschaft, Licht, Kollision) seien mit den Neuronen eines neuronalen Netzwerks verbunden. Werden benachbarte Sensoren bei einer

Kollision mit einem äußeren Gegenstand erregt, dann auch die mit den Sensoren verbundenen Neuronen. So entsteht im neuronalen Netz ein Verschaltungsmuster, das den äußeren Gegenstand repräsentiert. Im Prinzip ist dieser Vorgang ähnlich wie bei der Wahrnehmung eines äußeren Gegenstands durch einen Organismus – nur dort sehr viel komplexer. Wenn wir uns nun noch vorstellen, dass dieses Automobil mit einem „Gedächtnis“ (Datenbank) ausgestattet wird, mit dem es sich solche gefährlichen Kollisionen merken kann, um sie in Zukunft zu vermeiden, dann ahnt man, wie die Automobilindustrie in Zukunft unterwegs sein wird, selbstlernende Fahrzeuge zu bauen.

Hier zeigt sich aber eine grundlegende Schwäche des derzeitigen maschinellen Lernens: Wie viele reale Unfälle sind erforderlich, um selbstlernende – „autonome“ – Fahrzeuge zu trainieren? Wer ist verantwortlich, wenn autonome Fahrzeuge in Unfälle verwickelt sind? Welche ethischen und rechtlichen Herausforderungen stellen sich? Bei komplexen Systemen wie neuronalen Netzen mit Tausenden oder sogar Millionen von Elementen erlauben zwar die Gesetze der statistischen Physik, globale Aussagen über Trend- und Konvergenzverhalten des gesamten Systems zu machen. Die Zahl der Parameter ist jedoch unter Umständen so groß (vgl. das vorher erwähnte Google Brain), dass keine lokalen Ursachen ausgemacht werden können. Die neuronalen Netze sind also eine Black Box, die mit Big Data trainiert wird, um gewünschtes Verhalten zu erzeugen. Keiner weiß im Einzelnen, was dort in der Black Box abgeht. Wenn aber Ursachen und Wirkungen nicht klar zu unterscheiden sind, lassen sich rechtliche und ethische Fragen der Verantwortung nicht klären. Ehe wir also über Ethik und Recht sprechen, müssen wir unsere Hausaufgaben in der Grundlagenforschung des maschinellen Lernens machen.

Tatsächlich ist das maschinelle Lernen häufig nur Statistik mit Lernalgorithmen und neuronalen Netzen – mathematisch keineswegs spektakulär wie in den Medien suggeriert. Jeder Anfänger der Statistik weiß, dass statistische Korrelationen keine kausalen Erklärungen ersetzen können: Wenn eine günstige statistische Korrelation zwischen einer chemischen Substanz und dem Abnehmen eines Krebstumors gefunden wurde, ist das noch keine Garantie für ein nachhaltiges Medikament. Dazu muss man das Grundlagenwissen über die kausalen Wachstumsgesetze eines Tumors und biochemische Grundgesetze kennen. Mit diesem Beispiel verbinde ich eine grundsätzliche Feststellung für den heutigen KI-Hype: Einige glauben damit ja bereits auf Wasser gehen und alle Probleme dieser Welt in absehbarer Zeit mit „KI“ lösen zu können. Erfolgreich sind diese KI-Methoden aber nur dann, wenn sie mit Fachwissen und Theorie aus den jeweiligen Anwendungsgebieten (wie in den genannten Beispielen der Physik, Medizin und Ingenieurwissenschaften) verbunden werden.

Statistisches Lernen und Schließen ist jedenfalls nur schwache KI, die jeder einfache Organismus in der Natur auch ohne statistische Formeln bewältigt: Selbst ein Wurm wird nach gehäuften Erfahrungen von gefährlichen Situationen davor zurückschrecken. Was über statistische Mustererkennung in Daten hinausgeht, ist die Fähigkeit zu kausalem Lernen und Schließen. Am Anfang neuzeitlicher Physik war Newton nicht an statistischen Datenkorrelationen der herabfallenden Äpfel vom Apfelbaum interessiert, obwohl das immer wieder als Motivation erzählt wurde. Ihn interessierte das kausale Gesetz hinter den



Beim zweiten Podium sprachen die Professoren Klaus Mainzer (Mi.) und Ernst Pöppel (re.) miteinander, während Professor Klaus Peter moderierte.

beobachtbaren Datenwolken, in diesem Fall das Gravitationsgesetz, das in einer mathematischen Gleichung berechnet werden kann. Daraus entwickelte er ein Planetenmodell, das durch Experiment und Beobachtung bestätigt wurde und exakte Voraussagen erlaubte. Gibt es Algorithmen, mit denen sich kausale Modelle unter geeigneten Bedingungen finden lassen? Dieses kausale Lernen wäre ein erster Schritt in Richtung einer starken KI. Tatsächlich ist kausales Lernen mittlerweile Thema theoretischer Grundlagenforschung, an der ich auch beteiligt bin. Aber es bedarf noch vieler Forschung, bis einmal eine Software z. B. in einem biochemischen Datensatz automatisch ein kausales Erklärungsmodell entdecken und damit eine begründete medizinische Diagnose geben kann. Wie sicher ist jedoch ein Softwareprogramm, wenn es zunehmend mehr oder weniger intelligente Entscheidungen selbstständig treffen soll?

### V. Sicherheit und Vertrauen durch logische Beweise?

In der jüngsten Vergangenheit illustrieren dramatische Unfälle die Gefahren von Softwarefehlern und Systemversagen bei sicherheitskritischen Systemen. Programmfehler und Systemversagen können zu Katastrophen führen: In der Medizin verursachten 1985–87 massive Überdosierungen durch die Software eines Bestrahlungsgeräts teilweise den Tod von Patienten. 1996 sorgte die Explosion der Rakete Ariane 5 aufgrund eines Softwarefehlers für Aufsehen. Jüngstes Beispiel sind Softwarefehler und Systemversagen von Boeing 737 Max. Nun gehören Verifikationsprüfungen traditionell zum festen Bestandteil einer Programmentwicklung im Software Engineering. Nach Feststellung der Anforderungen, dem Design und der Implementation eines Computerprogramms erfolgt in der Regel seine Verifikation und schließlich für die Dauer seiner Anwendung eine ständige Wartung.

Ein Computerprogramm heißt korrekt bzw. zertifiziert, falls verifiziert werden kann, dass es einer gegebenen Spezifikation folgt. Praktisch angewendet werden Verifikationsverfahren mit unterschiedlichen Graden der Genauigkeit und damit der Verlässlichkeit. Aus Zeit-, Aufwands- und Kostengründen begnügen sich viele Anwender allerdings nur mit Stichprobentests. Im Idealfall müsste ein Computerprogramm aber so sicher sein wie ein mathematischer Beweis. Dazu wurden Beweisprogramme („Beweisassistenten“) entwickelt, mit denen ein Computerprogramm automatisch oder interaktiv mit einem Nutzer auf Korrektheit überprüft wird.

Die Idee stammt ursprünglich aus der mathematischen Beweistheorie des frühen 20. Jahrhunderts, als bedeutende Logiker und Mathematiker wie David Hilbert, Kurt Gödel und Gerhard Gentzen mathematische Theorien formalisierten, um dann z. B. die Korrektheit, Vollständigkeit oder Widerspruchsfreiheit dieser Formalismen (und damit der betreffenden mathematischen Theorien) zu beweisen. Die Formalismen sind nun Computerprogramme. Ihre Korrektheitsbeweise müssen selber konstruktiv sein, um jeden Zweifel ihrer Sicherheit auszuschließen. Sowohl an der LMU als auch an der TU München werden Beweisassistenten untersucht. Persönlich arbeite ich gerne mit dem französischen Beweisassistenten Coq, der u. a. auf den französischen Logiker und Mathematiker Thierry Coquand zurückgeht und im Namen an das französische Wappentier des stolzen Hahns erinnert. Seit meinem Studium – und das Kompliment passt auf dieser Veranstaltung



Klaus Mainzer, *Künstliche Intelligenz. Wann übernehmen die Maschinen?*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-662-58045-5, 19,99 Euro

deutsch-französischer Kooperation – bewundere ich die französische Mathematik.

Hier zeigt sich sehr klar, wie aktuelle Fragen der Sicherheit moderner Software und KI in Grundlagenerfragen der Logik und Philosophie verwurzelt sind.



Derzeit beschäftige ich mich mit der Frage, wie das moderne maschinelle Lernen durch solche Beweisassistenten kontrolliert werden kann. Am Ende geht es um die Herausforderung, ob und wie man KI-Programme zertifizieren kann, bevor man sie auf die Menschheit loslässt. Statistisches Lernen, wie es heute praktiziert wird, funktioniert zwar häufig in der Praxis, aber die kausalen Abläufe bleiben oft unverstanden und eine Black Box. Statistisches Testen und Probieren reicht für sicherheitskritische Systeme nicht aus. Daher plädiere ich in der Zukunft für eine Kombination von kausalem Lernen mit zertifizierten KI-Programmen durch Beweisassistenten, auch wenn das für Praktiker aufwendig und ambitioniert erscheinen mag.

## VI. Technikgestaltung und Verantwortung

KI-Programme treten mittlerweile aber nicht nur in einzelnen Robotern und Computern auf. So steuern bereits lernfähige Algorithmen die Prozesse einer vernetzten Welt mit exponentiell wachsender Rechenkapazität. Ohne sie wäre die Datenflut im Internet nicht zu bewältigen, die durch Milliarden von Sensoren und vernetzten Geräten erzeugt wird. Aufgrund der Sensoren kommunizieren nun also auch Dinge miteinander und nicht nur Menschen. Daher sprechen wir vom Internet der Dinge (Internet of Things: IoT).

Im industriellen Internet („Industrie 4.0“) wird das Internet der Dinge auf die Industrie- und Arbeitswelt angewendet. In Industrie 4.0 werden Künstliche Intelligenz und Machine Learning in den Arbeitsprozess integriert. Werkstü-

cke kommunizieren untereinander, mit Transporteinrichtungen und beteiligten Menschen, um den Arbeitsprozess flexibel zu organisieren. Produkte können so individuell zur gewünschten Zeit nach Kundenwünschen erstellt werden. Technik, Produktion und Markt verschmelzen zu einem soziotechnischen System, das sich selber flexibel organisiert und sich verändernden Bedingungen automatisch anpassen soll. Dazu müssen Maschinen- und Sensordaten mit Textdokumenten verbunden, erfasst, transportiert, analysiert und kommuniziert werden. In der Medizin und im Gesundheitssystem sind die großen Klinikzentren wie z. B. Großhadern (LMU) oder rechts der Isar (TUM) in München Beispiele solcher komplexen Infrastrukturen, deren Koordination von Patienten, Ärzten, medizinischem Personal, technischen Geräten, Robotik und anderen Dienstleistern ohne IT- und KI-Unterstützung nicht mehr steuerbar wäre.

Die sicherheitskritischen Herausforderungen, die wir eben erörtert haben, werden sich in solchen Infrastrukturen noch einmal potenzieren. Darüber hinaus stellt sich aber die Frage nach der Rolle des Menschen in einer mehr oder weniger automatisierten Welt. Ich plädiere daher für Technikgestaltung, die über Technologiefolgenabschätzung hinausgeht. Die traditionelle Sicht, die Entwickler einfach werkeln zu lassen und am Ende die Folgen ihrer Ergebnisse zu bewerten, reicht aus Erfahrung nicht aus. Am Ende kann das Kind in den Brunnen gefallen sein und es ist zu spät. Nun lässt sich zwar Innovation nicht planen. Wir können aber Anreize für gewünschte Ergebnisse setzen. Ethik wäre dann nicht Innovationsbremse,

sondern Anreiz zu gewünschter Innovation. Eine solche ethische, rechtliche, soziale und ökologische Roadmap der Technikgestaltung für KI-Systeme würde der Grundidee der sozialen Marktwirtschaft entsprechen, nach der ein Gestaltungsspielraum für Wettbewerb und Innovation gesetzt wird. Maßstab bleibt die Würde des einzelnen Menschen, wie sie im Grundgesetz der Verfassung als oberstes Axiom der parlamentarischen Demokratie festgelegt ist.

Diese ethische Positionierung im weltweiten Wettbewerb der KI-Technologie ist keineswegs selbstverständlich. Für die globalen IT- und KI-Konzerne des Silicon Valley geht es am Ende um ein erfolgreiches Geschäftsmodell, auch wenn sie IT-Infrastrukturen in weniger entwickelten Ländern unter von ihnen vorgegebenen Geschäftsbedingungen fördern. Der andere globale Wettbewerber heißt China, der seinen Staatsmonopolismus im Projekt der Seidenstraße strikt befolgt. Das chinesische Projekt des Social Core ist eng mit dem ehrgeizigen Ziel verbunden, die schnellsten Superrechner und leistungsfähigsten KI-Programme der Welt zu produzieren. Nur so lässt sich der Social Core mit der totalen Datenerfassung aller Bürgerinnen und Bürger und ihrer zentralen Bewertung realisieren. Der oberste Wertmaßstab ist hier eine kollektive Harmonie und Sicherheit des Staates, die der konfuzianischen Tradition dieses Landes keineswegs fremd ist.

Wieder mit Blick auf den französischen Partner dieser Veranstaltung: Auch hier hat uns die „Grande Nation“ mit der Proklamation der Menschenrechte in der französischen Revolution ein verpflichtendes Erbe in Europa hinterlassen. Diese Ideen wurzeln tief in

## Abstract

In der digitalen Transformation der Medizin nimmt die Künstliche Intelligenz eine Schlüsselstellung ein. Was ist aber Künstliche Intelligenz? Was kann sie heute und was kann sie nicht? Nur wenn die Grundlagen dieser Technologie klar verstanden sind, lassen sich auch ihre Anwendungen beurteilen und ethisch-rechtlich bewerten.

der philosophischen und religiösen Tradition Europas. Wir brauchen zwar zertifizierte KI-Algorithmen als verlässliche Dienstleistung zur Bewältigung zivilisatorischer Komplexität. Entscheidend ist aber auch eine Stärkung der menschlichen Urteilskraft und Wertorientierung, damit uns Algorithmen und Big Data nicht aus dem Ruder laufen. Im weltweiten Wettbewerb der KI-Systeme sollten wir unsere Lebenswelt nach unseren Wertmaßstäben selber gestalten können. □

## Presse

### Süddeutsche Zeitung

31. Mai 2019 – Professor Ernst Pöppel war sich mit den anderen Experten des Forums einig, dass die Künstliche Intelligenz große Chancen bietet. „Aber Künstliche Intelligenz weiß nicht, was die Daten bedeuten“, gab Pöppel zu bedenken.  
*Helena Ott*

## Sechster Digitaler Salon

# Bitcoin, Libra & Co.

Kryptowährungen waren das Thema des „Sechsten Digitalen Salons“; etwa 60 Teilnehmerinnen und Teilnehmer waren gekommen, um sich darüber zu informieren. Vera Cornette vom Bayerischen Rundfunk hatte die Moderation übernommen und führte souverän durch den Abend, an dem sehr anregende Diskussionen geführt wurden, sowohl auf dem Podium als auch im Austausch der Referentinnen und Referenten mit dem Publikum. Als Experten auf dem Podium waren Dr. André Schweizer, Mitgründer der Münchner Firma qbound, der die technische Seite der Kryptowährungen erläuterte; außerdem Dr. Konstantin Filbinger, Rechtsanwalt bei THEOPARK Anwälte in Nürnberg, der auf die juristischen Konsequenzen einging; sowie Anja Bodenschatz, M.Sc., von der School of Governance, ZD.B Nachwuchsforschungsgruppe „Ethik der Digitalisie-

rung“, an der TU München, die am Schluss ethische Perspektiven der Kryptowährungen beleuchtete.

Es dürfte wohl noch einige Zeit dauern, bis sich Bitcoin als reine Digitalwährung durchsetzt; im Moment hört es sich fast nach „Spielgeld“ an. Es besteht keinerlei Rechtssicherheit bei entstandenen Schäden, wie z. B. einer fehlgeleiteten Überweisung; das Geld ist verloren. Wer außerdem den Public Key und den Private Key verliert – zwei Codes, die bei der Eröffnung eines neuen Bitcoin-Kontos vergeben werden –, dessen Konto mit allem, was darauf war, ist ebenfalls verloren. Interessant könnte wohl trotzdem Libra werden, das Facebook einführen will, da Facebook in diesem Fall wieder als eine Art Vermittlerin wie eine Bank fungieren könnte.

*Astrid Schilling*



Die Diskutant\*innen des Abends v. l. n. r.): Vera Cornette, Dr. André Schweizer, Anja Bodenschatz und Dr. Konstantin Filbinger.



## Zeitenwende 1979. Als die Welt von heute begann

Während 1989 das Jahr ist, auf das wir besonders hier in Europa immer schauen, wenn von Zeitenwende die Rede ist, kommt 1979 in der Analyse so gut wie nicht vor. Doch gerade dieses Jahr kann weltweit als wichtiger Meilenstein gesehen werden. In seinem Buch „Zeitenwende 1979. Als die Welt von heute begann“ stellt der Potsdamer Zeithistoriker Frank Bösch zehn zentrale Ereignisse – Krisen, Revolutionen und politische Aufbrüche – vor. Sie in ihrer Gesamtheit – so seine These – bedeuten den Beginn der multipolaren Welt von heute.

In der Veranstaltung „Zeitenwende 1979. Als die Welt von heute begann“ am 25. November 2019 diskutierte

Professor Frank Bösch mit jemandem, der als junger Politiker die Zeit von vor 40 Jahren schon als Handelnder erlebt hat: Dr. Theo Waigel, später CSU-Chef und Bundesfinanzminister, war 1979 bereits Abgeordneter und Vorsitzender der Grundsatzkommission seiner Partei.

In Kooperation zwischen ARD-alpha und der Akademie entstand ein 60-minütiger Beitrag aus der Podiumsdiskussion, der jetzt in der Mediathek des Bayerischen Fernsehens zu sehen ist.

[www.br.de/mediathek/video/dokumentation-1979-als-die-welt-von-heute-begann](http://www.br.de/mediathek/video/dokumentation-1979-als-die-welt-von-heute-begann)



Das Podium: Frank Bösch (li.) und Theo Waigel (Mi.). Die Diskussionsleitung hatte Andreas Bönthe, der stellvertretende Fernsehredirektor des Bayerischen Rundfunks.