

Künstliche Intelligenz für alle

Christian Posthoff

Abteilung für Informatik und Informationstechnologie

Campus Sankt Augustin

Die Universität der Westindischen

Inseln 9. September 2023

Liste der Abbildungen

1.1. Der Zeiß - Rechenautomat ZRA 1	2
2.1. Die Leistung von Computern nimmt ständig zu.....	4
2.2. Das Gehirn funktioniert wie ein Computer	5
3.1. Die Masse der Tiere sichert das Überleben der meisten von ihnen.....	10
3.2. Die Struktur der menschlichen Intelligenz	13
4.1. Gottfried Wilhelm Leibniz	15
4.2. George Boole	16
4.3. Claude Shannon	18
4.4. Eine Parallelschaltung verwirklicht die Disjunktion $a \vee b$	19
4.5. Eine Reihenschaltung verwirklicht die Konjunktion $a \wedge b$	20
4.6. Die Dartmouth - Konferenz 1955	21
4.7. Ein mit Lochkarten gesteuerter Jacquard-Webstuhl	23
4.8. Konrad Zuse	24
4.9. Niklaus Wirth	26
4.10. ENIGMA - das Entschlüsselungsgerät	29
4.11. Alan Turing	30
4.12. Eine Ein-Band-Turing-Maschine	31
4.13. Ein kurzer Ausschnitt aus einem LaTeX-Text	33
4.14. Das Mooresche Gesetz für Supercomputer	35
4.15. Ein Supercomputer besteht aus vielen parallel arbeitenden Prozessoren	36
5.1. Eine mechanische Rechenmaschine aus den 1960er Jahren	38
5.2. Der Arbeitsbildschirm von Microsoft Mathematics	39
5.3. Mathematica	40
5.4. Ahorn	41
6.1. Der Schmetterlingseffekt	43
6.2. Der Lorenz-Attraktor	44
6.3. Miniaturisierung von Schaltkreisen	47
6.4. Exponentiale Komplexität eines Stammbaums	48
6.5. Nicht-euklidische Geometrie auf einer Kugel	54
6.6. Das Vier-Farben-Problem	55
6.7. David Hilbert	57
6.8. Vier Königinnen auf einem Schachbrett, die sich nicht gegenseitig bedrohen	58

Liste der Abbildungen

6.9.	Acht Königinnen auf einem Schachbrett, die sich nicht gegenseitig bedrohen	60
6.10.	Neun Königinnen und ein Bauer - zehn Königinnen und zwei Bauern	60
6.11.	Zu untersuchen ist die Folge 1 - 2 - 3 - 4 - 1	61
6.12.	Eine Lösung für die Matrix 18×18	62
6.13.	Es gibt viele verschiedene Touren durch dieselben Städte	63
6.14.	Das Königsberger Brückenproblem	63
7.1.	John von Neumann	65
7.2.	Norbert Wiener	67
7.3.	Die Verringerung des Informationsgehalts	70
8.1.	Warren McCulloch	71
8.2.	Walter Pitts	72
8.3.	Eine mögliche Struktur eines Perzeptrons	73
8.4.	Frank Rosenblatt	74
8.5.	Ein Netz von Perceptrons	75
8.6.	Ein Ausschnitt aus einem Neuronennetz	76
8.7.	Korrektur der Gewichte von rechts nach links	77
8.8.	Die Architektur eines tiefen CNN	77
8.9.	Computer gegen Go - Weltmeister	78
8.10.	Eine Übersetzung ins Japanische	82
8.11.	Eine Übersetzung ins Chinesische	82
9.1.	Die erste Briefmarke von Britisch-Guyana	86
9.2.	Alle zugänglichen Daten werden gespeichert	93
9.3.	Wellen der Erwärmung und Abkühlung	113
10.1.	Eine Sony-Digitalkamera	117
10.2.	Ein Museum für digitale Kunst in Tokio	121
10.3.	Gravitationswellen	121
10.4.	Auch in der Landwirtschaft verändert sich das Berufsbild	123
10.5.	Die Zukunft der Bildung	124
11.1.	Erdbeben der Stärke 3,6 in der Schweiz	127
11.2.	Magnetresonanztomographie	130
11.3.	Innere Organe des Menschen	133
11.4.	Straßenverkehrskontrolle	136
11.5.	Ein typisches Pixelbild	137
11.6.	Eine schwarz-weiße Darstellung	138
11.7.	Die Verwendung von Farben mit dem Wert 30	139
11.8.	Die Verwendung von Farben mit dem Wert 60	139
11.9.	Die Verwendung von Farben mit dem Wert 90	140
11.10.	Diagonal darunter befindet sich ein anamorphotisches Bild des stehenden Mannes	143
11.11.	Monstrositäten	145

*Liste der
Abbildungen*

11.12. Mae West Lips Sofa.....	146
11.13. Eine unmögliche geometrische Konstruktion.....	147
11.14. Verzerrungen in alle Richtungen	148
11.15. Eine im Bild versteckte Botschaft	149
11.16. Pablo Picasso: Der einsame, kauernde Akt	149
11.17. Ein Gemälde im Stil von Modigliani (1884 - 1920).....	150
12.1. Eine Wasserorgel aus dem Altertum	151
12.2. Eine Drohne	153
12.3. Star Trek	162
12.4. Eine gesunde Lunge und eine von Krebs befallene Lunge.....	168
12.5. Schwarzer Hautkrebs	172
13.1. Diese Informationen zum DAX werden in Echtzeit angeboten.....	176
13.2. Benoît Mandelbrot (1924 - 2010)	177
13.3. Durchschnittliche Trendlängen.....	178
14.1. Die 3D-Nachbildung einer Hand	183
14.2. Komplizierte Formen bereiten keine Schwierigkeiten.....	184
15.1. Die Architektur der Zukunft	189
16.1. Computer und Recht	190
17.1. Computer und Recht	201
18.1. Der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt	215

Inhalt

I. Die Grundlagen	1
1. Vorwort	2
2. Einführung	4
3. Wie definiert man Intelligenz?	7
3.1. Verschiedene Konzepte zur Definition von Intelligenz	7
3.2. Intelligenztests.....	12
4. Die historische Entwicklung	14
4.1. Das Duale System.....	14
4.2. Die Dartmouth-Konferenz	21
4.3. Algorithmen und Programmiersprachen.....	22
4.3.1. Die 1930er und 1940er Jahre: Logisches Kalkül	23
4.3.2. Die 1950er Jahre: Erste moderne Programmiersprachen	23
4.3.3. Die 1960er und 1970er Jahre: Entwicklung neuer Paradigmen	25
4.3.4. Objektorientierte Programmierung.....	25
4.3.5. Die 1980er Jahre.....	26
4.3.6. Die weitere Entwicklung	27
4.4. Die Turing-Maschine.....	28
4.5. Die ersten Computer - der Turing-Test - die Einband-Turing-Maschine	29
4.6. LaTeX.....	32
4.7. Die Entwicklung der Computer.....	34
5. Mathematik am Computer	38
5.1. Microsoft-Mathematik	39
5.2. Mathematica	39
5.3. Ahorn.....	40
6. Polynomial- und Exponentialkomplexität	42
6.1. Einleitende Überlegungen	42
6.2. Mathematische Beschreibungen von Komplexität	45
6.3. Regeln und Zwänge.....	48
6.4. Axiome	50

6.5.	Auffinden von Widersprüchen - Inkonsistenzbeweise	57
6.6.	Probleme aus der Kombinatorik	58
6.7.	Probleme beim Ausmalen	60
7.	Spieltheorie, Kybernetik und Informationstheorie	65
7.1.	Spieltheorie	65
7.2.	Kybernetik	66
7.3.	Informationstheorie	69
8.	Maschinelles Lernen und neuronale Netze	71
8.1.	Neuronale Netze	71
8.2.	AlphaZero gewinnt bei Schach, Go und Shogi	78
8.3.	Übersetzung zwischen verschiedenen Sprachen	81
9.	Andere Anwendungen	85
9.1.	Datenbanken	85
9.2.	Handel über das Internet	88
9.3.	Große Daten	92
9.4.	Die Rolle der Simulation	108
10.	Digitalisierung	117
10.1.	Die Grundlagen der Digitalisierung	118
10.2.	Einige Anwendungen	120
11.	Bildbearbeitung	127
11.1.	Vorhersage von Erdbeben	127
11.2.	Tumore, Alzheimer-Krankheit, Herzkrankheiten	129
11.3.	Erkennung von Viren	132
11.4.	Medizinische Anwendungen	132
11.5.	Weitere Anwendungen	136
11.6.	Die Grundlagen der Bildverarbeitung	137
11.7.	Die Verarbeitung von Bildern	139
12.	Robotik	151
12.1.	Roboter in der Chirurgie	164
12.2.	Roboter helfen in der Pflege	166
12.3.	Andere interessante Anwendungen	167
13.	Künstliche Intelligenz im Finanzwesen	173
14.	Künstliche Intelligenz und Bildung	181
14.1.	Ausbildung von KI-Fachleuten	181
14.2.	Die Anwendung von künstlicher Intelligenz im Bildungswesen	183

15. Künstliche Intelligenz in der Kunst	186
15.1. Künstliche Intelligenz und Musik.....	186
15.2. Künstliche Intelligenz und Architektur.....	188
16. Künstliche Intelligenz im Recht	190
17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik	198
17.1. Guyana.....	200
17.2. Die Karibik	205
17.3. Belize	205
17.4. Argentinien und Uruguay	207
18. Zukünftige Entwicklungen	212
19. Referenzen	221

Teil I.

Die Entwicklung des Standes der Technik

1. Vorwort

Die Entwicklung von Programmen, die man heute als intelligent bezeichnet, begleitet mich seit meiner Studienzeit. In den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts gab es die Informatik noch nicht als Studienfach. Für Mathematikstudenten gab es einen Einführungskurs namens "Programmierung von Rechenautomaten". Programmiert wurde in Maschinencode, und als Eingabemedium dienten Lochkarten.

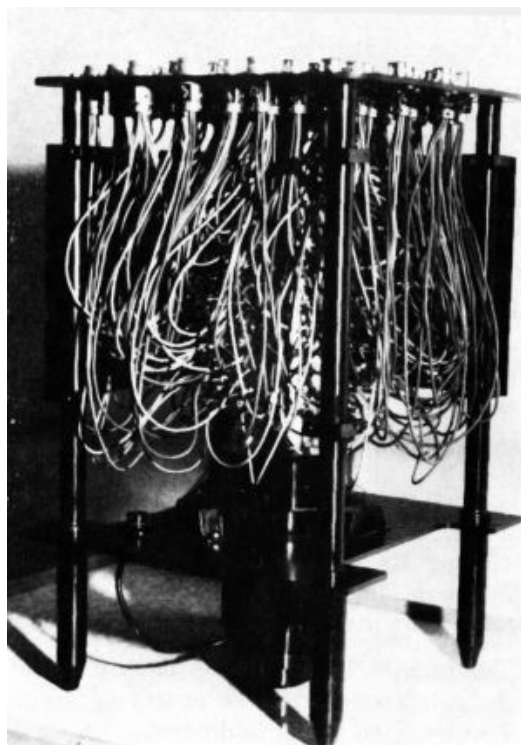


Abb. 1.1 Der Zeiß - Rechenautomat ZRA 1

Meine Doktorarbeit trug den Titel "The Application of Mathematical Methods in Communicative Psychotherapy" (1976). Darin wurde versucht, mathematische Methoden zur Visualisierung und Objektivierung der Probleme in Gruppen von psychisch gefährdeten Patienten zu entwickeln. Einige Computerprogramme unterstützten die Auswertung der Daten. Insgesamt zeigte sich bereits in dieser Phase die Notwendigkeit einer interdisziplinären Zusammenarbeit.

1982 wurde an der TU Karl-Marx-Stadt (heute Chemnitz) in Ostdeutschland der Fachbereich Informatik mit einer Professur "Theoretische Informatik und Künstliche Intelligenz" gegründet, die ich von 1983 bis 1993 innehatte. Zunächst ging es natürlich darum, die Lehre für das fünfjährige Studium bis zum Master zu sichern. Die Forschungsarbeiten führten ab 1986 zu guten Ergebnissen. 1988 war der Aufbau im Wesentlichen

komplett; alles, was zum normalen Universitätsalltag gehört, also Vorlesungen, Master- und Doktorarbeiten, war vorhanden.

1993 wechselte ich zur "University of The West Indies in Trinidad & Tobago". Hier wurde die gleiche Reihenfolge befolgt. Die Lehre entwickelte sich zu einem vollwertigen Studiengang in Informatik (B.Sc., M.Sc., Ph.D.), und danach begann ich wieder mit der Forschung zu Problemen der Künstlichen Intelligenz, ohne ein klares Verständnis oder eine Definition des Bereichs zu haben. Ich habe einfach die internationale Entwicklung verfolgt und mich auf einige Bereiche konzentriert, die ich interessant und nützlich fand.

Die aktuellen Diskussionen über die künftige Entwicklung sind stark von Emotionen, Wünschen, Ängsten und Vorahnungen geprägt, die nicht immer auf Wissen beruhen und nicht sinnvoll sind. Aber das ist kein neues Phänomen. Eine solche Welle gab es in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts mit dem Computerschach. Die Entwicklung wurde mit Interesse verfolgt, bis der damalige Weltmeister G. Kasparov 1996 schließlich eine Partie gegen das IBM-System Deep Blue verlor. Zunächst gab es lebhafte Diskussionen, doch dann beruhigte sich die Szene, und es begann eine normale wissenschaftlich-technische Entwicklung.

Das autonome Fahren von Fahrzeugen verschiedener Art ist ein weiterer Schwerpunkt der Diskussion. Hier geht es bereits um alle möglichen realen oder fiktiven Gefahren und Möglichkeiten, ohne zu berücksichtigen, dass Roboter bereits seit mehreren Jahren ohne Probleme eingesetzt werden.

Es gibt derzeit sehr hitzige Diskussionen über GPT-4 und ähnliche Programme. Dabei handelt es sich um ein Modell, das Texteingaben entgegennimmt und Textausgaben produziert. Dabei wird fast ausschließlich über negative Folgen gesprochen - Urheberrechtsverletzungen, Verwendung von Plagiaten, Verdrehung und Verfälschung von Tatsachen, Einschränkung der Kreativität. Daraus leitet man sehr oft schon die Notwendigkeit rechtlicher Schritte ab, die Rechtfertigung von Verboten usw. Aber all diese Probleme gab es auch vorher schon. Dass Menschen jeden technischen Fortschritt auch in negativer Weise nutzen können, ist kein neues Phänomen, sondern die Menschen sind selbst daran schuld.

Zur Entschuldigung der Allgemeinheit muss natürlich gesagt werden, dass die Medien eine wahre Flut von Meinungen veröffentlichen, die von der Vernichtung der Menschheit durch künstliche Intelligenz bis zur Kolonialisierung des Weltraums reichen. Da ein Normalsterblicher die Entwicklungen in der Informatik nur oberflächlich zur Kenntnis genommen hat und nicht sehr sachkundig ist, erschreckt ihn das natürlich sehr schnell, was völlig unangebracht ist.

Dieses Buch soll viele Menschen in die Lage versetzen, diese Entwicklungen sachkundig zu diskutieren und zu verfolgen, Schlussfolgerungen für ihren eigenen Arbeitsplatz zu ziehen und sich das notwendige neue Wissen anzueignen. Dieses Buch soll für einen breiten Leserkreis verständlich sein. Will man sich spezielles, vertieftes Wissen aneignen, so muss man auf entsprechende Lehrbücher und Kurse zurückgreifen. Viele Programme aus den verschiedensten Bereichen sind online verfügbar, mit denen man dann nach Belieben experimentieren kann.

2. Einführung

Die digitale Revolution führt zu enormen Entwicklungen in allen Bereichen von Wissenschaft und Technik und wird das Leben aller Menschen auch in den kommenden Jahrzehnten erheblich verändern. Künstliche Intelligenz wird die wirtschaftlichen und sozialen Veränderungen, die bereits durch die erste Welle der Digitalisierung ausgelöst wurden, noch verstärken. Es ergeben sich große Chancen, aber auch Risiken, die keinesfalls unterschätzt werden sollten.



Abb. 2.1 Die Leistung von Computern nimmt ständig zu

Gegenwärtig ist zu beobachten, dass die Arbeitsgeschwindigkeit von Computern ständig zunimmt. Gordon Moore (1929 - 2023) veröffentlichte 1965 einen Artikel, in dem er das sogenannte "Moore'sche Gesetz" für die vorangegangenen Jahre aufstellte (Abb. 2.1). Anhand der damals verfügbaren Daten beschrieb er eine Beziehung zwischen der Zeit und der Anzahl der elektronischen Komponenten in einem integrierten Schaltkreis; er ging von einer jährlichen Verdoppelung aus und stellte die Frage, was passieren würde, wenn sich dies in den nächsten zehn Jahren fortsetzt. Das Gesetz wurde später leicht korrigiert; heute geht man von einer Verdoppelung nach achtzehn Monaten aus.

In den letzten zwanzig bis dreißig Jahren hat die Diskussion über Künstliche Intelligenz an Breite und Tiefe zugenommen. Dafür gibt es mehrere Gründe: Erstens gibt es so überraschende und weitreichende Ergebnisse, die viele Dinge in Wissenschaft und Technik, aber auch im Alltag grundlegend verändern. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die Arbeitsgeschwindigkeit von Computern enorm gestiegen ist. Die Größe und Menge der verfügbaren Speichermedien erreicht

astronomische Größenordnungen. Viele Probleme sind seit geraumer Zeit mathematisch modelliert oder sogar prinzipiell gelöst worden

2. Einführung

Sie waren jedoch bisher nicht berechenbar, was ihre Anwendung ausschloss. Dies hat sich nun grundlegend geändert, und die Möglichkeiten erweitern sich fast täglich.

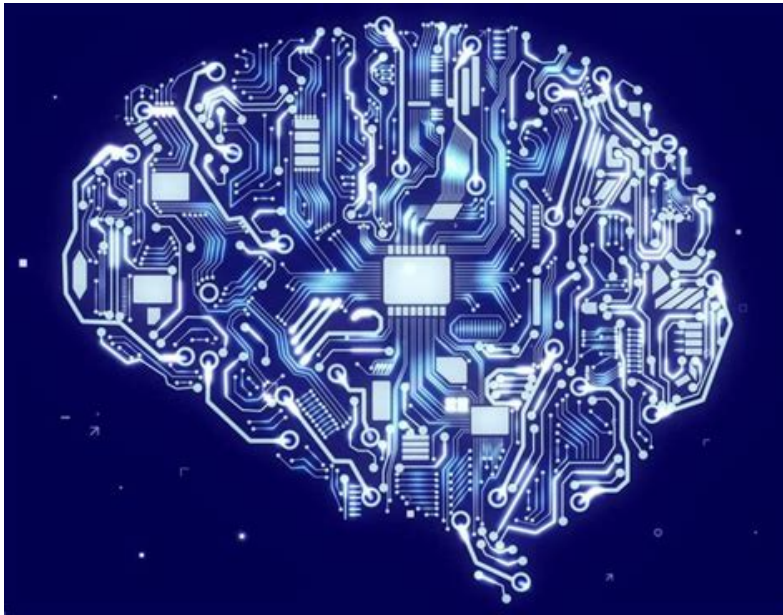


Abb. 2.2 Das Gehirn funktioniert wie ein Computer

Nehmen wir als Beispiel den Wettbewerb um die größte Primzahl. Im Internet kann man lesen, dass die Zahl

$$M_{82589933} = 2^{82589933} - 1$$

ist (wahrscheinlich) eine Primzahl, die größte Primzahl, die bisher gefunden wurde. Ausgeschrieben hätte sie über 24 Millionen Nachkommastellen. Die Zahl wurde von einem Teilnehmer des GIMPS-Projekts (*Great Internet Mersenne Prime Search*) gefunden, einem Netzwerk, in dem ein

Eine große Anzahl von Teilnehmern sucht auf verteilten Computern nach sogenannten *Mersenne-Primzahlen*. Diese Mersenne-Zahlen haben die Form $2^n - 1$ und sind nach dem französischen Mathematiker *Marin Mersenne* (1588 - 1648) benannt. Bis 1947 wurden die Zahlen

$$p_1 = 2^2 - 1 = 3, p_2 = 2^3 - 1 = 7, p_3 = 2^5 - 1 = 31, p_4 = 2^7 - 1 = 127$$

waren als Mersenne-Primzahlen bekannt.

Dann begann der Einsatz von Computern, und die oben angeführte Aufzeichnung zeigt die Lücke, die durch Computer geschlossen werden konnte. Für Menschen ist es unmöglich, einen solchen Wert zu überprüfen, die Akzeptanz einer solchen Lösung wird zu einer Frage des Glaubens oder Vertrauens. Man muss sowohl dem Programmierer als auch dem Elektroniker vertrauen, und es darf kein Fehlverhalten eines Schaltkreises während der Berechnungen auftreten. Diese Situation, dass man die Ergebnisse nicht überprüfen kann, werden wir sehr oft antreffen.

Die Tatsache, dass die Technik den Menschen überholt, ist nicht neu. Diese Probleme werden heute vor allem deshalb so heftig diskutiert, weil die

2. Einführung

Errungenschaften der Computer nun auch in Bereichen eine Rolle spielen, die früher ausschließlich dem Menschen vorbehalten waren,

ihre Kreativität und ihre Intelligenz. Die Intelligenz des Menschen wird mehr und mehr von Computern unterstützt oder sogar erst mit ihrer Hilfe wirksam, was schließlich zu dem Namen "Künstliche Intelligenz" führte.

Es ist wohl ganz natürlich, dass in diesem Buch keine Vollständigkeit erreicht werden kann, dazu ist dieses Gebiet schon zu groß, und die Zahl der qualifizierten Veröffentlichungen wächst exponentiell. Seit einiger Zeit zerfällt es in relativ autonome Teilbereiche:

- Anwendung von Data Science in Kombination mit KI und maschinellen Lernmethoden,
- KI in der Medizin,
- Robotik,
- Sprach- und Sprachtechnologie,
- Bildungstechnologie,
- Innovative Fabrikssysteme,
- Intelligente Netze,
- Agenten und simulierte Realität,
- Interaktives maschinelles Lernen,
- Augmented Reality,
- Sprachtechnologie und Mehrsprachigkeit.

Die Darstellung wird zusätzlich dadurch erschwert, dass sich viele Bereiche überschneiden und zusammenarbeiten. Gerade diese Zusammenarbeit ist ein wesentliches Merkmal der Künstlichen Intelligenz. Das Buch bemüht sich, Grundlagenwissen zu vermitteln, das die Diskussionen versachlicht und den utopischen Filmen etwas von ihrem Gruselfaktor nimmt. Man muss sich auch darüber im Klaren sein, dass Forschungsergebnisse eine notwendige Voraussetzung für den Fortschritt sind; sie reichen nicht aus, solange sie nicht in die Praxis umgesetzt und in Programme eingebettet werden können. Diese schwierige Beziehung zwischen Theorie und Praxis ist seit langem bekannt.

3. Wie definiert man Intelligenz?

Die Grundvoraussetzung für die Diskussion über Intelligenz ist natürlich ein gesundes menschliches Gehirn und das dazugehörige Nervensystem. Es hat eine enorme Komplexität: Ein Mensch hat etwa 100 Milliarden Gehirnzellen, die das zentrale Nervensystem, unser Gehirn, bilden, und sie sind miteinander verbunden. Die Anzahl dieser Verbindungen wird auf 100 Billionen geschätzt. Von Künstlicher Intelligenz spricht man, wenn die Komplexität eines Lösungsverfahrens auf einem Computer in ähnlichen Dimensionen liegt. Auch mikroelektronische Strukturen können diese Größenordnung erreichen, und dies ist die Grundvoraussetzung dafür, dass Computerlösungen die Menschheit erreichen oder zunehmend übertreffen.

3.1. Verschiedene Konzepte zur Definition von Intelligenz

Intelligenz wurde in vielerlei Hinsicht definiert als die Fähigkeit

- logisch oder kritisch zu denken,
- die Bedeutung einer Sache zu erfassen,
- Fakten und Personen zu akzeptieren,
- zur Selbsterkenntnis,
- für das Lernen,
- für emotionales Wissen,
- für die Argumentation,
- für die Planung,
- für Kreativität,
- für die Lösung von Problemen.

Am häufigsten wird Intelligenz beim Menschen untersucht, aber auch bei Tieren und Pflanzen, obwohl es umstritten ist, ob einige dieser Lebensformen Intelligenz aufweisen. Intelligenz kann auch im Verhalten von Computern oder anderen Maschinen beobachtet werden; in diesem Fall wird sie als *künstliche Intelligenz* bezeichnet.

3. Wie man Intelligenz definiert

In der Psychologie ist Intelligenz ein Sammelbegriff für kognitive oder mentale Leistungen. Der Begriff bezieht sich in erster Linie auf die Fähigkeit, die Gesamtheit der unterschiedlich ausgeprägten kognitiven Fähigkeiten zur Lösung eines logischen, sprachlichen, mathematischen oder sinnorientierten Problems einzusetzen. Da die einzelnen kognitiven Fähigkeiten unterschiedlich stark ausgeprägt sein können und keine Einigkeit darüber besteht, wie sie zu bestimmen und zu unterscheiden sind, gibt es keine allgemein anerkannte Definition von Intelligenz.

Die allgemeine Psychologie, die differenzielle Psychologie und die Neuropsychologie befassen sich alle mit der Intelligenz. Die Erforschung der Intelligenz im Bereich der allgemeinen Psychologie unter dem Aspekt der Informationsverarbeitung wird heute oft als kognitive Psychologie bezeichnet. Diese wiederum stützt sich auf Methoden und Erkenntnisse der Hirnforschung, der Entwicklungspsychologie und zunehmend auch der Künstlichen Intelligenz.

- Menschen unterscheiden sich voneinander in ihrer Fähigkeit, komplexe Ideen zu verstehen, sich effektiv an die Umwelt anzupassen, aus Erfahrungen zu lernen, verschiedene Formen des Denkens anzuwenden und Hindernisse durch Nachdenken zu überwinden. Obwohl diese individuellen Unterschiede beträchtlich sein können, sind sie nie völlig einheitlich. Die intellektuelle Leistung einer Person variiert bei verschiedenen Gelegenheiten, in verschiedenen Bereichen und wird nach unterschiedlichen Kriterien beurteilt. Konzepte der "Intelligenz" sind Versuche, diese komplexen Phänomene zu erklären und zu ordnen. Obwohl in einigen Bereichen beträchtliche Klarheit geschaffen wurde, hat noch keine dieser Konzeptualisierungen alle wichtigen Fragen beantwortet, und keine findet allgemeine Zustimmung.
- Menschliche Intelligenz

Menschliche Intelligenz ist die intellektuelle Leistung des Menschen, die durch komplexe kognitive Leistungen und ein hohes Maß an Motivation und Selbstbewusstsein gekennzeichnet ist. Intelligenz befähigt den Menschen, sich an Beschreibungen von Dingen zu erinnern und diese Beschreibungen zu nutzen, um zukünftiges Verhalten zu steuern. Sie ist ein kognitiver Prozess. Sie verleiht dem Menschen die kognitiven Fähigkeiten, zu lernen, Konzepte zu bilden, zu verstehen und zu argumentieren, einschließlich der Fähigkeit, Muster zu erkennen, innovativ zu sein, zu planen, Probleme zu lösen und Sprache zur Kommunikation zu verwenden. Intelligenz ermöglicht es Menschen, Erfahrungen zu machen und zu denken.

Intelligenz ist etwas anderes als Lernen. Lernen bezieht sich auf den Akt des Behaltens von Fakten und Informationen oder Fähigkeiten und die Fähigkeit, sie für zukünftige Zwecke abzurufen, während Intelligenz die kognitive Fähigkeit einer Person ist, diese und andere Prozesse durchzuführen. Es hat verschiedene Versuche gegeben, Intelligenz durch Tests zu quantifizieren und auf der Grundlage der Testergebnisse einen Intelligenzquotienten (IQ) zu berechnen.

3. *Wie man Intelligenz*

Es ist umstritten, ob die menschliche Intelligenz auf ererbten Faktoren oder auf Umweltfaktoren beruht. Vererbte Intelligenz ist die Theorie, dass die Intelligenz bei der Geburt festgelegt ist und nicht wachsen kann. Umweltbedingte Intelligenz ist die Theorie, dass sich die Intelligenz im Laufe des Lebens in Abhängigkeit von der Umgebung des Menschen entwickelt. Ein Umfeld, das die Intelligenz fördert, fordert die kognitiven Fähigkeiten des Menschen heraus.

3. Wie man Intelligenz definiert

- Emotionale Intelligenz

Emotionale Intelligenz ist die Fähigkeit, Emotionen anderen auf verständliche Weise mitzuteilen und die Emotionen anderer genau zu deuten. Einige Theorien besagen, dass eine höhere emotionale Intelligenz neben der Genauigkeit auch zu einer schnelleren Erzeugung und Verarbeitung von Emotionen führen kann. Es wird auch angenommen, dass eine höhere emotionale Intelligenz uns hilft, unsere Emotionen zu steuern, was sich positiv auf unsere Problemlösungsfähigkeiten auswirkt. Emotionale Intelligenz ist wichtig für unsere psychische Gesundheit und steht in Zusammenhang mit sozialer Intelligenz.

- Soziale Intelligenz

Soziale Intelligenz ist die Fähigkeit, die sozialen Signale und Motivationen anderer und der eigenen Person in sozialen Situationen zu verstehen. Man geht davon aus, dass sie sich von anderen Arten der Intelligenz unterscheidet, aber Beziehungen zur emotionalen Intelligenz aufweist. Die soziale Intelligenz hat sich mit anderen Studien über die Art und Weise, wie wir andere beurteilen, über die Genauigkeit, mit der wir dies tun, und darüber, warum Menschen als positiv oder negativ sozial charakterisiert werden, überschritten. Es ist umstritten, ob diese Studien und die soziale Intelligenz auf denselben Theorien beruhen oder ob es einen Unterschied zwischen ihnen gibt, und es wird allgemein davon ausgegangen, dass es sich um zwei verschiedene Denkschulen handelt.

- Kollektive Intelligenz

Die Individuen, die für das Phänomen der kollektiven Intelligenz verantwortlich sind, werden in gewisser Weise auf die Ebene der Ameisen gestellt, die über ein sehr begrenztes Verhaltens- und Reaktionsrepertoire verfügen. In der Tierwelt ist diese Schwarmintelligenz in der Lage, das Überleben der Mehrheit der Individuen in einer feindlichen Umgebung zu sichern. An der Grenze zwischen Tansania und Kenia versammeln sich zu bestimmten Zeiten viele Wildtiere, um einen Fluss zu überqueren. Die dort vorhandenen Krokodile fangen und fressen zwar einige Gnus, aber die Mehrheit überquert den Fluss ohne Probleme.

Beim Schwarmverhalten, das auch als Herdenverhalten bezeichnet wird, gibt es keine zentrale Kontrolle für die Einzelnen. Auf den Finanzmärkten neigen Anleger manchmal dazu, sich bei ihren Kauf- und Verkaufsentscheidungen wie eine Herde zu verhalten und mehrheitlich in ein Handelsobjekt zu investieren oder zu desinvestieren. Das Herdenverhalten ist eine Erscheinungsform massenpsychologischer Ansteckungseffekte und kann somit eine Ursache für Finanzmarkt- oder Wirtschaftskrisen sein. Auch Hortungskäufe zeigen Herdenverhalten, wie vor Naturkatastrophen oder während der Pandemie Covid 19 ab März 2020, als es in deutschen Geschäften Regallücken für bestimmte Waren (z. B. Mehl, Nudeln, Toilettenpapier) gab.

Dem Herdenverhalten können verschiedene massenpsychologische oder

3. Wie man Intelligenz

marktpsychologische Defizite zugrunde liegen. Die Verbraucher können von der Angst getrieben sein, ihren Bedarf angesichts von Regallücken nicht decken zu können, wenn sie nicht sofort kaufen. Die Erwartung eines Verbrauchers, dass andere Verbraucher nach ihm ebenfalls horten werden, treibt ihn ebenfalls dazu, Käufe zu horten. Ebenso treibt ihn die Befürchtung, dass es in der Zukunft zu Versorgungsengpässen kommen könnte.

3. Wie man Intelligenz definiert



Abb. 3.1 Die Masse der Tiere sichert das Überleben der meisten von ihnen

Zukunft zwingt ihn, Kaufentscheidungen zu treffen, die nicht seinen Bedürfnissen entsprechen. Manchmal wird auch das Gefühl der Ohnmacht des Verbrauchers als Ursache gesehen. Dieses Verhalten ist irrational, zumal es sich bei Lebensmitteln und Getränken oder Toilettenpapier um Massenprodukte handelt, die jederzeit reproduziert werden können. In Frankreich und Italien ist eines der vom Horden betroffenen Produkte Rotwein, ein Produkt, das nicht jederzeit reproduzierbar ist.

Die Folge des Herdenverhaltens sind starke Preisschwankungen des betreffenden Handelsobjekts. Darüber hinaus beschleunigen Hordungskäufe die Warenrotation und verringern die logistische Reichweite. Als Marktverhalten ist das Herdenverhalten vor allem bei Noise Traders bekannt, die sich oft von Herdenverhalten leiten lassen und durch Stimmungen oder Gruppen motiviert werden, in fallende Kurse hinein zu kaufen oder zu verkaufen. Dies wird als "Stimmungsrauschen" bezeichnet. Steigende oder fallende Kurse sind ein Hinweis darauf, dass andere Marktteilnehmer zuvor die gleiche Entscheidung getroffen haben. Dieses Rauschen kann sowohl Kauf- und Verkaufsentscheidungen als auch Halteentscheidungen zugrunde liegen. Herdenverhalten ist somit ein Zeichen für mangelnde Markteffizienz.

Problematisch wird die Spekulation für einen Markt erst dann, wenn nicht mehr auf der Basis von Fundamentaldaten spekuliert wird, sondern wenn ein Herdenverhalten einsetzt. Dann können Spekulationsblasen entstehen, die meist auf Herdenverhalten zurückzuführen sind. Spekulationsblasen lassen sich mit der Erwartung der Mehrheit der Marktteilnehmer auf zukünftige Gewinnchancen begründen.

Gewinnmitnahmen können auch auf Herdenverhalten beruhen, wenn eine große Zahl von Anlegern ein hohes Kursniveau zum Verkauf nutzt und sich andere

3. *Wie man Intelligenz*

Anleger anschließen. Nach der Bank-Run ist ein typisches Herdenverhalten, bei dem die Anleger eine vielleicht

3. Wie man Intelligenz definiert

zufällige Massenabhebung von Bargeld und schließen sich ihr blindlings an, im Vertrauen darauf, dass es dafür einen bestimmten Grund geben muss; die Massenabhebungen kulminieren schließlich im Dominoeffekt. Die Anleger ziehen ihre Einlage ab, weil sie befürchten, dass sie aufgrund des Prinzips der sequentiellen Auszahlung ("Wer zuerst kommt, mahlt zuerst") diese Einlage sonst nicht mehr abheben können, weil ihre Bargeldreserven aufgebraucht sind. Folglich ist es für jeden Einleger rational, der Herde zu folgen. Ein Bank-Run ist umso wahrscheinlicher, je weniger die Bankkunden informiert sind und je mehr sie überreagieren. Horten trägt wahrscheinlich zur Verknappung bestimmter Waren oder Dienstleistungen und damit zur Verknappung des Marktes bei, indem es die Nachfrage drastisch erhöht. Herdenverhalten kann zu sich selbst erfüllenden Prophezeiungen führen: Wenn sich Marktteilnehmer in einer bestimmten Weise verhalten, kann dies dazu führen, dass sich die einer Investition zugrunde liegenden Fundamentaldaten aufgrund des Herdenverhaltens selbst verändern: Sie entwickeln sich in die Richtung, die die Herde einschlägt - folglich ist es rational, nicht aus der Herde auszubrechen, was letztlich zum erwarteten Ergebnis führt. [54]

- Kompetenz

Die Beziehung zwischen individueller und kollektiver Intelligenz wird durch den Begriff der Kompetenz noch weiter überlagert. Als Beispiel wählen wir die *Maxwellschen Gleichungen*:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{D} &= \rho \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0 \\ \operatorname{rot} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &= 0 \\ \operatorname{rot} \vec{B} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} &= \vec{j}. \end{aligned}$$

\vec{E} ist die elektrische Feldstärke, \vec{D} die elektrische Flussdichte, \vec{H} ist die magnetische Feldstärke, \vec{B} die magnetische Flussdichte. Die Ladungsdichte ρ ist die Quelle der elektrisches Feld, und die Stromdichte wird mit \vec{j} bezeichnet.

Diese vier Gleichungen bedeuten für einen Normalsterblichen überhaupt nichts. Nur ein Experte kann damit etwas anfangen. Hier kommt der Begriff der *Kompetenz* ins Spiel. Kompetenz können viele Menschen erwerben, aber nur in wenigen Bereichen, denn der Weg dorthin ist lang und mühsam und erfordert in der Regel ein Universitätsstudium. Diese Kompetenz ist für jede Wissenschaft notwendig. Aber auch alle Berufe und das vielseitige Alltagsleben erfordern Kompetenz in verschiedenen Bereichen,

Sie spielen eine Rolle in Prozessen, in denen Leistung unter anwendungsorientierten Gesichtspunkten gefragt ist. Kompetenzen werden vor

3. Wie man Intelligenz definiert

allem im Zusammenhang mit der Entwicklung von Bildungsstandards eingesetzt, um Bildungsziele zu erreichen.

Die folgenden Merkmale können aufgeführt werden.

3. Wie man Intelligenz definiert

- 1 Kompetenzen als allgemeine kognitive Leistungsdispositionen, die es dem Einzelnen ermöglichen, sehr unterschiedliche Aufgaben zu bewältigen.
- 2 Kompetenzen als kontextspezifische kognitive Leistungsdispositionen, die sich funktional auf bestimmte Klassen von Situationen und Anforderungen beziehen. Diese spezifischen Leistungsdispositionen können auch als Wissen, Fertigkeiten oder Routinen charakterisiert werden. Sie sind funktional bestimmt.
- 3 Kompetenzen im Sinne von motivationalen Orientierungen, die für die Bewältigung anspruchsvoller Aufgaben erforderlich sind.
- 4 Handlungskompetenz als Integration der ersten drei Konzepte, bezogen auf die Anforderungen eines bestimmten Handlungsfeldes.
- 5 Metakompetenzen als Wissen, Strategien oder Motivationen, die sowohl den Erwerb als auch die Anwendung spezifischer Kompetenzen erleichtern.
- 6 Schlüsselkompetenzen, die jedoch für ein relativ breites Spektrum an Situationen und Anforderungen relevant sind. Dazu gehören sprachliche oder mathematische Fähigkeiten.

3.2. Intelligenztests

Es stellt sich natürlich sofort die Frage, wie man die verschiedenen Formen der Intelligenz, die im vorherigen Abschnitt definiert wurden, miteinander vergleichen kann. Schließlich sind sie nicht völlig kongruent und werden von Natur aus bei jedem Menschen anders ausgeprägt. Aus diesem Grund wurde eine Vielzahl von Intelligenztests definiert.

Ein Intelligenztest ist ein psychologisches Diagnoseinstrument, das zur Messung der Intelligenz einer Person eingesetzt wird. Es gibt viele verschiedene Arten von Intelligenztests. Es wird angenommen, dass Unterschiede in der Leistung bei Intelligenztests Unterschiede in der kognitiven Leistung im täglichen Leben widerspiegeln. Psychologische Tests werden als Hilfsmittel eingesetzt, um im Zusammenhang mit verschiedenen diagnostischen Fragen eine optimale Entscheidung zu treffen. So kann die Beurteilung der Intelligenz beispielsweise bei der Vorhersage des beruflichen Erfolgs oder der beruflichen Eignung (Personalauswahl oder Berufsberatung) oder bei der Empfehlung einer Schulausbildung oder Studienwahl hilfreich sein. Auch verschiedene klinische Fragestellungen (Vorliegen von Krankheiten wie Demenz oder Intelligenzminderung oder die Anwendung beruflicher Rehabilitationsmaßnahmen) können eine Intelligenzbeurteilung erfordern.

Das bekannteste Ergebnis einiger dieser Tests ist der Intelligenzquotient (IQ). Wegen der Gefahr, den IQ zu einer absoluten Bezeichnung für eine Person zu machen (wie Größe oder Gewicht - d. h. unabhängig von einer bestimmten Frage), wird dieses Maß in der Fachsprache nicht mehr verwendet, und es werden andere Standardskalen zur Beschreibung der Intelligenzleistung eingesetzt.

3. *Wie man Intelligenz*

Intelligenztests sind oft ~~undefiniert~~ ^{umstritten}. Das liegt unter anderem an der Vielzahl der Faktoren, die die Intelligenz beeinflussen, an einem möglichen Zusammenhang mit Vererbungsfragen und an Zweifeln an der Objektivität. Mit den im Internet angebotenen Intelligenztests kann man sich sehr leicht die Zeit vertreiben, aber es ist nicht einfach, daraus eine vernünftige Schlussfolgerung zu ziehen. Sehr

3. Wie man Intelligenz definiert

Oft wird das mathematische Verständnis abgefragt; auch die Fähigkeit, sich eine größere Menge von Zahlen schnell zu merken und sie nach nicht sofort sichtbaren Merkmalen einzuordnen, ist hilfreich. Oft spielt auch die zur Verfügung stehende Zeit eine Rolle. Führt man den gleichen Test mit geringerer oder erhöhter Denkzeit durch, kann das Ergebnis recht unterschiedlich ausfallen.

Schon dieser kurze Überblick zeigt, dass es sehr schwierig ist, eine allgemein gültige und akzeptierte Definition von Intelligenz zu finden, die allen Anforderungen gerecht wird. Das zeigt sich natürlich auch, wenn man von "Künstlicher Intelligenz" sprechen will.

Es gibt noch eine grundlegende Eigenschaft, die in vielen Diskussionen unter den Tisch fällt, die aber auch zum Begriff der Kompetenz gehört. Sehr oft wird gesagt: Eine Person kann dies oder jenes tun. Gemeint ist aber eigentlich: Es gibt Menschen, die dies oder jenes können. Das sind die Spezialisten für eine bestimmte Tätigkeit, und sehr oft sind sie extrem selten. Wenn man (intelligente) Hard- und Software in einem bestimmten Bereich einführen will, kann man nicht früh genug dafür sorgen, dass Spezialisten zur Verfügung stehen.



Abb. 3.2 Die Struktur der menschlichen Intelligenz

4. Die historische Entwicklung

In diesem Kapitel soll gezeigt werden, welche mathematischen und technischen Mittel notwendig waren, um intelligente Anwendungen in den verschiedensten Bereichen zu ermöglichen. Es ist auch, das soll hier betont werden, gar nicht sinnvoll, von "künstlicher Intelligenz" zu sprechen. Es gibt viele Anwendungen, die nur insofern miteinander verwandt sind, als sie auf dem Einsatz von Computern beruhen.

4.1. Das Duale System

Viele moderne wissenschaftliche Theorien, die sich auf die Mathematik beziehen, haben ihren Anfang bei Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716, Abb. 4.1) gefunden.

Einige seiner Forschungsergebnisse und Initiativen waren:

- Beschreibung des dualen Systems,
- Entwicklung der Dezimalklassifikation,
- Pläne für ein U-Boot,
- Verbesserung der Technologie von Türschlössern,
- Gerät zur Bestimmung der Windgeschwindigkeit,
- Rat an Ärzte, regelmäßig Fieber zu messen,
- Einrichtung eines Witwen- und Waisenfonds,
- ein Beweis für die Unbewusstheit des Menschen,
- Infinitesimalrechnung (Integralrechnung und Differentialrechnung),
- Matrizen und Determinanten,
- Erfindung der gestaffelten Walze für eine mechanische Rechenmaschine,
- Entwicklung der endlosen Kette für den Abbau von Erzen.

4. Die historische Entwicklung

Als Freund, Berufskollege und Förderer der europäischen Schreiber jener Zeit und Autor sprachwissenschaftlich einflussreicher Schriften war er einer der wichtigsten Initiatoren bei der Gründung der modernen Linguistik, insbesondere der indoeuropäischen Studien.

In dem Brief an Herzog Rudolph August vom 12. Januar 1697 beschreibt und skizziert Leibniz erstmals seine Idee des "Dualen Systems". Im Zentrum seiner Ausführungen steht der christliche Glaube, dass man alles (1) aus dem Nichts (0) erschaffen kann, was zu dem berühmten Satz "*omnibus ex nihilo ducendis sufficit unum*" führt.



Abb. 4.1 Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716)

Heute sind wir mit der Tatsache vertraut, dass jede Zahl größer als 1 als Basis für die Darstellung einer beliebigen Zahl dienen kann. Derzeit wird die Zahl 10 im menschlichen Alltag verwendet, die Basis 2 für alle digitalen Geräte.

Bei der Dezimaldarstellung werden die Stellen von rechts nach links mit 10er-Potenzen belegt:

... 10⁴ 10³ 10² 10¹ 10⁰.

$$728 = 7 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 8 \cdot 10^0.$$

Wenn Sie die Basis 10 verwenden, benötigen Sie die zehn Ziffern 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Die binäre (duale, zweiwertige) Darstellung der gleichen Zahl:

$$728 = 1011011000 = 1 \cdot 2^9 + 0 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0.$$

Wir sehen, dass die duale Darstellung nur die Ziffern 0 und 1 benötigt. Da aber jede 2er-Potenz viel weniger zum Wert der Zahl beiträgt als die 10er-Potenzen, benötigt man eine größere Anzahl von Zweierpotenzen, und die Darstellung wird viel länger.

Die Addition von Dualzahlen ist recht einfach:

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 0 \quad \text{1 auf die nächste Position links}$$

4. Die historische Entwicklung übertragen

Auch die Multiplikation bereitet keine Schwierigkeiten:

4. Die historische Entwicklung

$$0 - 0 = 0$$

$$0 - 1 = 0$$

$$1 - 0 = 0$$

$$1 - 1 = 1$$

Man kann sich dem dualen System auch von einer ganz anderen Seite nähern. Der englische Mathematiker, Logiker und Philosoph George Boole (1815 - 1864, Abb. 4.2) begründete in seinem Werk "The Mathematical Analysis of Logic" (1847) den ersten algebraischen Logikkalkül, der für die Entwicklung der Computertechnik grundlegende Bedeutung hat.



Abb. 4.2 George Boole (1815 - 1864)

Die Prämissen der Aussagenlogik sind einfach und selbstverständlich:

- Die Wiederholung einer Aussage ändert nicht ihren Wahrheitswert. Eine falsche Aussage bleibt falsch, eine wahre Aussage bleibt wahr.

Seine weitere Schlussfolgerung ist brilliant: Er überträgt diese Tatsache auf die Arithmetik, die seit Jahrtausenden ohne Fehler funktioniert. Er führt eine logische Variable x ein und formuliert:

$$x^2 = x.$$

Diese Gleichung hat die beiden Lösungen $x = 0$ und $x = 1$. Wenn also die Arithmetik frei von Widersprüchen ist, dann kann ein Kalkül der Logik nur zwei Werte haben.

4. Die historische Entwicklung

Dies hat auch einen (lustigen) Nebeneffekt. Die Wiederholung einer Nachricht bringt nichts in Bezug auf Wahrheit oder Falschheit. Eine wahre Nachricht bleibt wahr, eine falsche Nachricht bleibt falsch.

Auf diesen beiden Werten baute er die **Boolesche Algebra** auf. Sie ist heute die Grundlage für die Zeichen von mikroelektronischen Schaltungen, aber es spielt auch eine sehr wichtige Rolle in der Programmierung und in der künstlichen Intelligenz. Die folgenden logischen Funktionen sind verfügbar:

- Verbindung \wedge ,
- Disjunktion \vee ,
- exklusiv-oder \oplus ,
- Gleichwertigkeit \sim
- Negation \neg .

Das Symbol \neg wird nur selten verwendet und meist durch einen horizontalen Strich \bar{x} ersetzt.

Konjunktion und Disjunktion

x	y	$x \wedge y$	$x \vee y$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	1

Das Symbol \wedge wird in der Regel weggelassen (wie es bei der Multiplikation oft der Fall ist). So verstehen wir ab als $a \wedge b$. Die Verwendung dieser Operationen in der Logik gab \wedge den Namen und: die Konjunktion zweier Aussagen durch und ist wahr, wenn eine der beiden Aussagen wahr ist, andernfalls es ist falsch.

\vee wird mit **oder** bezeichnet: Um eine wahre Aussage zu erhalten, muss die erste Aussage oder die zweite Aussage wahr sein; es ist zulässig, dass beide Aussagen wahr sind. Wir können sehen, dass die

Exklusiv-oder und Äquivalenz

x	y	$x \oplus y$	$x \sim y$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Äquivalenzfunktion ist gleich 1, wenn x und y denselben Wert haben. Der Wert des Exklusiv-Oder ist gleich 1, wenn die Werte von x und y unterschiedlich sind. Es ist

4. Die historische Entwicklung

ersichtlich, dass Antivalenz und Äquivalenz durch Negation verschmelzen.

4. Die historische Entwicklung

Negation

x	\bar{x}
0	1
1	0

Der Vergleich der Tabelle für die Addition von Binärzahlen mit der Tabelle für das Exklusiv-Oder zeigt, dass sie genau gleich sind; daher wird für sie das Formelzeichen \oplus verwendet. Dies gilt auch für die Tabellen der Konjunktion und der Multiplikation von Binärzahlen

Zahlen. Die Disjunktion und die Negation können auch arithmetisch ausgedrückt werden:

$$a \vee b = a + b - a \cdot b \quad \bar{a} \cdot x = 1 - a \cdot x.$$

Die mathematische Modellierung von Schaltkreisen mit Hilfe der Booleschen Algebra wurde von Claude Shannon (1916-2001, Abb. 4.3) eingeführt. Er schrieb seine Masterarbeit im Jahr 1937: "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits". Ein Teil dieser Arbeit wurde 1938 veröffentlicht. Shannon zeigte, dass sich mit Hilfe der Booleschen Algebra die Anzahl und Anordnung der damals in Telefonzentralen verwendeten elektromechanischen Relais vereinfachen lässt. Im letzten Kapitel stellte er Diagramme mehrerer Schaltungen vor, darunter einen 4-Bit-Volladdierer, die alle mit Hilfe der Booleschen Algebra entworfen wurden. Im Laufe der Jahre wurde dieser Kalkül zur mathematischen Grundlage für alle digitalen Systeme.

Shannon arbeitete auch in vielen anderen Bereichen und war einer der produktivsten Wissenschaftler aller Zeiten.



Abb. 4.3 Claude Shannon (1916 - 2001)

Betrachten wir Abb. 4.4: Eine leitende Verbindung wird erreicht, wenn der obere Kontakt oder der untere Kontakt oder beide geschlossen sind. Diese Situation wird als

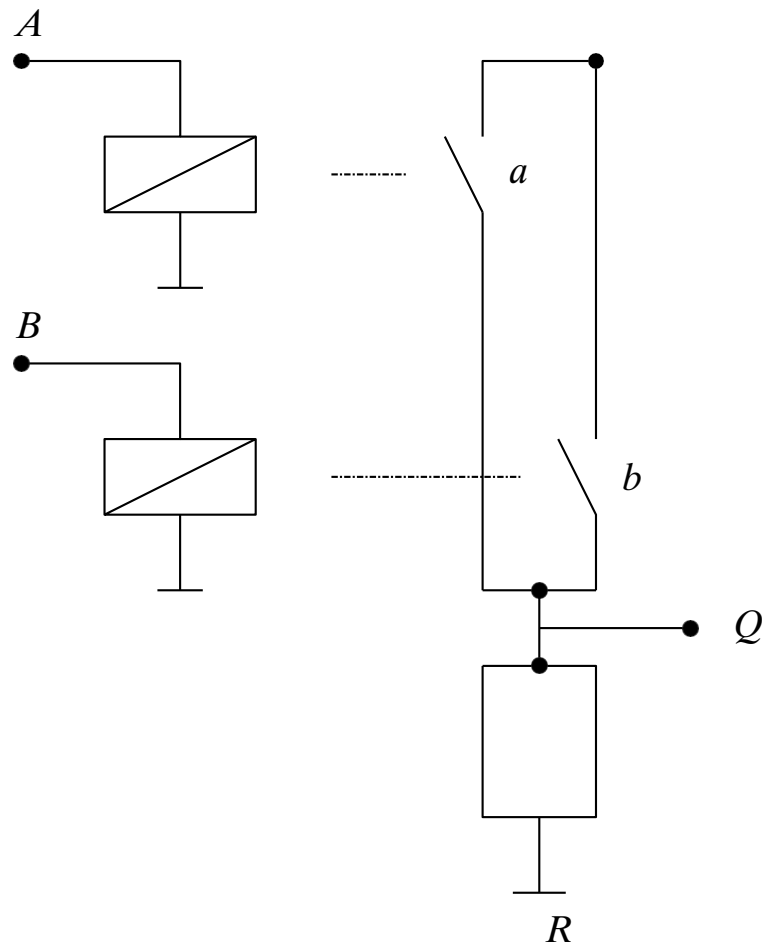


Abb. 4.4 Eine Parallelschaltung realisiert die Disjunktion $a \vee b$

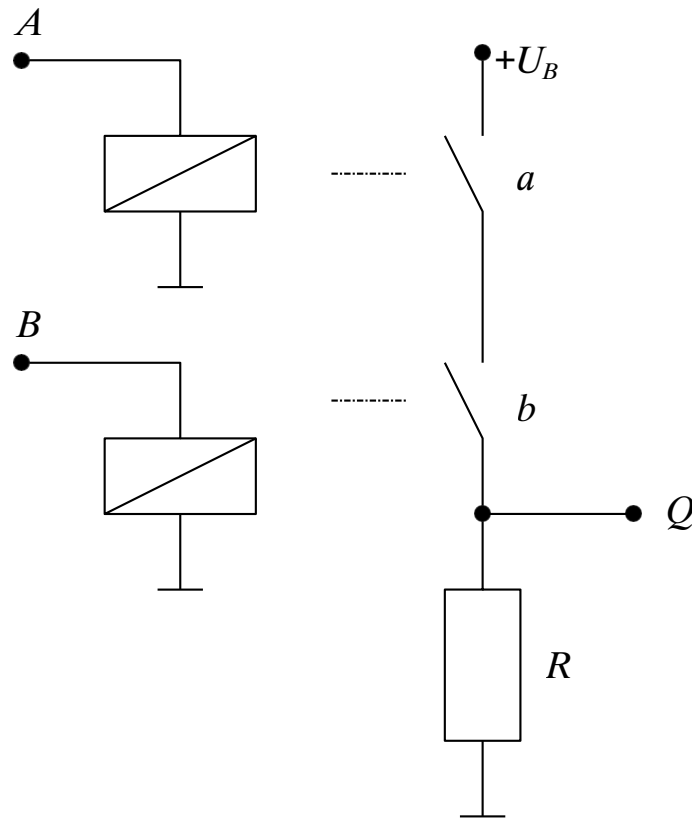


Abb. 4.5 Eine Reihenschaltung verwirklicht die Konjunktion $a \wedge b$

Um bei einer Reihenschaltung eine leitende Verbindung herzustellen, müssen der erste und der zweite Kontakt geschlossen sein. Dieser Sachverhalt wird durch die Konjunktion (Abb. 4.5) modelliert.

Die Boolesche Algebra bietet viele Algorithmen zur Minimierung logischer Ausdrücke. Eine bestimmte Funktion, die durch eine Schaltung realisiert werden soll, kann durch viele verschiedene Formeln dargestellt werden, und die minimale Darstellung führt dazu, dass der Speicherbedarf einer solchen Schaltung so klein wie möglich ist und die Rechengeschwindigkeit ihr Maximum erreicht. Seit den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts begann eine enorme Entwicklung der Digitaltechnik. Die verfügbaren Schaltungen wurden immer kleiner und schneller, und es konnten immer größere Datenmengen gespeichert werden.

Der schnellste Supercomputer der Welt ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Artikels wahrscheinlich Fugaku

im RIKEN Center for Computational Science in Kobe, Japan. Mit seinen 7.299.072 Rechenkernen erreicht er 415,5 Petaflops. Ein Petaflop entspricht einer Geschwindigkeit von ²⁵⁰ Gleitkommaoperationen (Operationen mit reellen Zahlen) pro Sekunde.

Die Kehrseite der Medaille: Die digitale Darstellung von Informationen hat eine enorme Entwicklung genommen, wie es bei den Zahlen der Fall war. Heute kann man davon ausgehen, dass alle physikalischen Phänomene digital dargestellt und somit von Computern angezeigt und verarbeitet werden können: Schallwellen, elektromagnetische Wellen, Röntgenbilder, Ultraschallbilder, Bilder aus dem Tomographen, Bilder aus dem Weltraum werden unmittelbar nach ihrer Gewinnung in

4. Die historische Entwicklung

digitaler Form gespeichert und können entsprechend genutzt werden.

4.2. Die Dartmouth-Konferenz

Das erste Mal, dass der Begriff Künstliche Intelligenz ausdrücklich verwendet wurde, war in dem Vorschlag

- "Ein Vorschlag für das Dartmouth-Sommerforschungsprojekt über künstliche Intelligenz"

von J. McCarthy, Dartmouth College, M. L. Minsky, Harvard University, N. Rochester, I.B.M. Corporation, C. E. Shannon, Bell Telephone Laboratories, vom 31. August 1955 (Abb. 4.6).

Die folgenden Themen sollten erörtert werden:

- Automatische Computer,
- Wie kann ein Computer so programmiert werden, dass er eine Sprache verwendet?
- Neuronale Netze,
- Theorie der Größe einer Berechnung,
- Selbstverbesserung,
- Abstraktionen,
- Zufälligkeit und Kreativität.



Abb. 4.6 Der Dartmouth - Konferenz 1955

Allerdings gab es schon vorher einige Veröffentlichungen, in denen Begriffe wie *thinking computer*, *thinking machines* oder ähnliches verwendet wurden. Man kann also davon ausgehen, dass es diese Idee der intelligenten Maschinen schon länger gab, dass aber die Konferenz sie sofort auf die Tagesordnung setzte.

4.3. Algorithmen und Programmiersprachen

Viele wertvolle Programmierumgebungen (Software, die die Eingabe eines in einer bestimmten Programmiersprache geschriebenen Programms und die Programmierung zum ausführbaren korrekten Programm unterstützt) sind zu niedrigen Preisen oder sogar kostenlos erhältlich. Derzeit sind die wichtigsten Programmiersprachen C, C++, Java und Python. Sie werden ständig weiterentwickelt und aktualisiert. Außerdem sind sie unabhängig vom verwendeten Betriebssystem. Außerdem werden ständig neue Sprachen entwickelt, und es ist immer eine schwierige Entscheidung, ob man auf eine neue Programmiersprache umsteigen soll oder nicht.

Bei der Programmierung sind wesentliche Aspekte der Softwarequalität zu berücksichtigen und durch die Gestaltung des Quellcodes umzusetzen. Als Beispiele seien genannt: Programmierstil, Benutzerfreundlichkeit, Wiederverwendbarkeit und Modularität sowie Wartbarkeit.

Programmierung im erweiterten Sinne umfasst neben der reinen Programmierung zahlreiche weitere Tätigkeiten, zum Beispiel das Testen (Entwicklertest) des Programms oder die Erstellung der Programmdokumentation. Andere Entwicklungstätigkeiten wie Projektmanagement, Anforderungsanalyse oder Datenmodellierung können von der Programmierung getrennt werden.

Je nach Art und Anwendungsumgebung der Software (Systemsoftware, Spielesoftware, Standardsoftware, Grafiksoftware usw.) können unterschiedliche Verfahren und Werkzeuge (z. B. Programmiersprachen und Testverfahren) für die Entwicklung verwendet oder von spezialisierten Entwicklern durchgeführt werden.

Je nach Organisation der Arbeit finden die Programmiertätigkeiten in zeitlich getrennten Projektphasen parallel oder iterativ statt. In der Praxis erfolgt die Programmierung häufig in Teamarbeit unter Einsatz moderner Entwicklungsmethoden und Programmierwerkzeuge. Wenn Sie Software nicht selbst herstellen, müssen Sie immer darauf achten, dass Sie einen zuverlässigen Partner haben. Sie müssen auch Vorkehrungen treffen, was Sie tun, wenn der Lieferant ausfällt. Das gilt auch, wenn Sie die Software in Ihrem eigenen Unternehmen herstellen. Auch dann sollten Sie immer einen Ersatz zur Hand haben.

Auch dieser Bereich ist voller Probleme. Das Testen eines Programms erfolgt immer an repräsentativen Beispielen. Hier gilt jedoch der berühmte Satz: "Ein Beispiel ist kein Beweis"! Das bedeutet, dass ein erfolgreicher Durchlauf eines Programms keine Garantie dafür ist, dass dies auch bei einem nächsten Durchlauf mit anderen Daten der Fall sein wird.

Es gibt eine lange Liste berühmter Informatiker, die zur Entwicklung aller Arten von Programmiersprachen beigetragen haben.

Mit dem Beginn der industriellen Revolution (um 1880) wurden viele ehemals manuelle Tätigkeiten zunehmend von Maschinen übernommen. Diese waren aufgrund ihrer zyklischen Arbeitsweise besonders für sich wiederholende Aufgaben ausgelegt. Andererseits wurde es immer wichtiger, Alternativen zu den von Maschinen ausgeführten Prozessen zu schaffen, zumal diese Prozesse auch immer schneller ausgeführt werden konnten.

4. Die historische Entwicklung

Beispielhaft für diese Notwendigkeit ist die Einführung des programmierbaren Webstuhls durch Joseph-Marie Jacquard, (1752 - 1834) zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Die

Der Webstuhl arbeitete mit Lochkarten, die die Informationen über das zu webende Muster enthielten. Das Handwerk des Webens konnte nun als "Programmierung" auf einem Medium fortgeführt werden, das dem Stoffmuster entsprach. (Abb. 4.7).

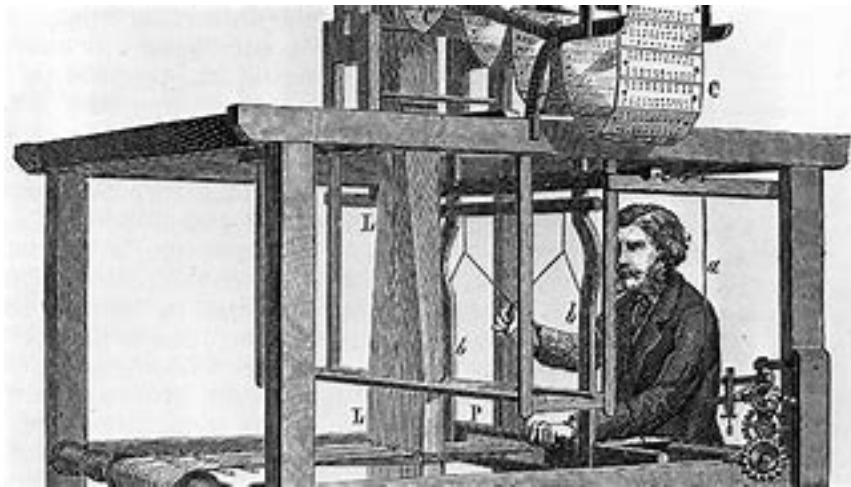


Abb. 4.7 Ein mit Lochkarten gesteuerter Jacquard-Webstuhl

4.3.1. Die 1930er und 1940er Jahre: Logische Kalküle

Das Lambda-Kalkül wurde in den 1930er Jahren von Alonzo Church (1903 - 1995) und Stephen Kleene (1909 - 1984) entwickelt. Es wurde schon früh bewiesen, dass der Lambda-Kalkül im Prinzip eine universelle Programmiersprache ist.

Mit der Fertigstellung der ersten elektronischen Rechenmaschinen und der Verwendung der Booleschen Algebra ging die Entwicklung von Programmiersprachen merklich voran. Erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang die Patente von Konrad Zuse (Abb. 4.8) aus dem Jahr 1937, die eine Computerarchitektur beschreiben, die später als von-Neumann-Maschine bekannt werden sollte. In den 1940er Jahren vollendete Zuse seine Programmiersprache Plankalkül, in die er Ideen aus dem Lambda-Kalkül einfließen ließ. Die von-Neumann-Architektur (VNA) ist ein Referenzmodell für Computer, bei dem ein gemeinsamer Speicher sowohl Anweisungen für Computerprogramme als auch Daten enthält. Von-Neumann-Systeme gehören zur Klasse der SISD-Architekturen (Single Instruction, Single Data) nach Flynn's Klassifizierung, im Unterschied zur Parallelverarbeitung.

Die von-Neumann-Architektur bildet die Grundlage für die Funktionsweise der meisten heute bekannten Computer. Sie ist nach dem österreichisch-ungarischen Mathematiker John von Neumann benannt, der später in den USA arbeitete und dessen Hauptwerk zu diesem Thema 1945 veröffentlicht wurde. Manchmal wird sie auch als Princeton-Architektur bezeichnet (nach der Universität Princeton).

4.3.2. Die 1950er Jahre: Erste moderne Programmiersprachen

Grace Hopper (1906 - 1992) war eine amerikanische Computerwissenschaftlerin. Sie hatte in den späten 1940er Jahren die Idee, Computerprogramme in einer

4. *Die historische Entwicklung*
verständlichen Sprache zu schreiben,

das heißt, nicht direkt auf der binären Ebene zu arbeiten. Diese Ebene ist nur für Computer verständlich. Jede höhere Programmiersprache muss mit Hilfe eines Übersetzungsprogramms, eines Compilers, in diese Maschinensprache übersetzt werden. Sie war maßgeblich an den bahnbrechenden Mark I-, Mark II- und UNIVAC I-Projekten beteiligt. Sie entwickelte 1952 den ersten Compiler (A-0) und leistete mit der Programmiersprache FLOW-MATIC und dem dazugehörigen Compiler (1957) wesentliche Vorarbeit für die Entwicklung der Programmiersprache COBOL (Spitzname: "Oma COBOL"). Ihr Beharren auf der Bedeutung einer Allzwecksprache führte zur Entwicklung von Compilern, Interpretern und Programmiersprachen.

In den 1950er Jahren wurden in den Vereinigten Staaten die ersten drei weit verbreiteten, praktischen höheren Programmiersprachen entwickelt: Die älteste, noch heute weit verbreitete Sprache, FORTRAN (FORMula TRANSlator), wurde 1954 von John W. Backus et al. entworfen. 1959 kam LISP (LISt Processor) von John McCarthy et al. hinzu. Die genannten Sprachen existieren mit ihren Nachfolgern bis heute. Insbesondere LISP ist stark

beeinflusste die später an amerikanischen Universitäten entwickelten Programmiersprachen.

Der nächste große Meilenstein wurde zwischen 1958 und 1960 gesetzt, als ein internationales Komitee in einer Reihe von Sitzungen eine "neue Sprache für Algorithmen" entwarf, die später ALGOL 58 genannt wurde. Das Komitee schloss seine Entwicklung mit dem Revised Report on ALGOL 60 ab. Der Bericht an das Treffen enthielt viele Ideen, die zu dieser Zeit in der Fachwelt kursierten. Eine wichtige Neuerung war die Backus-Naur-Form (BNF) zur kontextfreien Beschreibung der Syntax von Programmiersprachen. Nahezu alle nachfolgenden Programmiersprachen verwenden die BNF zur Darstellung der Syntax als kontextfreie Grammatik.

Die von-Neumann-Architektur bildet die Grundlage für die Funktionsweise der meisten heute bekannten Computer. Sie ist nach dem österreichisch-ungarischen Mathematiker John von Neumann benannt, der später in den USA arbeitete und dessen Hauptwerk zu diesem Thema 1945 veröffentlicht wurde. Manchmal wird sie auch als Princeton-Architektur bezeichnet (nach der Universität Princeton).



Abb. 4.8 Konrad Zuse (1910 - 1995)

Obwohl sich ALGOL 60 in Nordamerika aus politischen Gründen nicht durchsetzen

4. Die historische Entwicklung

konnte, vor allem weil IBM mit PL/1 eine Gegenentwicklung anbot, aber auch

Auch wegen der Entscheidung, Ein- und Ausgabe nicht in die Sprachdefinition aufzunehmen, wurde ALGOL später zum Standard in der (west-)europäischen Welt. Es beeinflusste die Ausbildung einer ganzen Generation von Informatikern und den Entwurf späterer Sprachen, insbesondere SIMULA 67, PASCAL und SCHEME. Eine Zeit lang wurden diese Sprachen fast überall verwendet, im Laufe der Zeit entwickelten viele Länder, insbesondere China, Russland und Japan, ihre eigenen Programmiersprachen und -geräte.

4.3.3. Die 1960er und 1970er Jahre: Entwicklung neuer Paradigmen

Ken Thompson (* 1943) und Dennis Ritchie (1941 - 2011) sind die Entwickler der Programmiersprache C, die heute noch weit verbreitet ist [8]. In der Folgezeit wurde eine große Anzahl von Programmiersprachen entwickelt, da die Möglichkeit und der Bedarf durch den schnellen Fortschritt der Computertechnik gegeben waren. Die größten Erfolge wurden durch Weiterentwicklungen der bereits existierenden Programmiersprachen erzielt. So wurde etwa um 1964 BASIC (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code) entwickelt, um Studenten den Einstieg in die Programmierung mit ALGOL und FORTRAN zu erleichtern.

Mitte der 1960er Jahre trat das Phänomen, dass die Kosten für Software die Kosten für Hardware überstiegen, erstmals in der so genannten Softwarekrise auf. In diese Zeit fielen auch die ersten großen gescheiterten Softwareprojekte.

BASIC wurde schließlich auch in den erschwinglicheren Heimcomputern der 1960er Jahre populär.

Ende der 1970er Jahre. Die Programmiersprache C, die 1972 für das neu entwickelte Betriebssystem UNIX entwickelt wurde, hat ihre Wurzeln ebenfalls in ALGOL. Sie setzte sich gegenüber BASIC für allgemeine Anwendungsprogramme durch; die grundlegenden Funktionsteile vieler Betriebssysteme sind in C programmiert. Beide Programmiersprachen haben bis heute viele Varianten hervorgebracht.

4.3.4. Objektorientierte Programmierung

In dieser Zeit entstanden aber auch neue Konzepte. Große Bedeutung wurde der objektorientierten Programmierung beigemessen, die Daten-, Prozedur- und Referenzaspekte in dem einzigen Konzept des Objekts vereint. Der Gedanke und die Konzepte der Objektorientierung tauchten erstmals in SIMULA 67 auf, einer Sprache für Simulationszwecke, die als erste objektorientierte Verfahren einführt. Die Geschichte besagt, dass ihre Entwickler Ole-Johan Dahl (1931 - 2002) und Kristen Nygaard (1926 - 2002) an Schiffssimulationen gearbeitet haben. Dabei führte die unüberschaubare Anzahl von Parameterbeziehungen zu einer verwirrenden Vielfalt von Möglichkeiten, wie sich die verschiedenen Attribute der unterschiedlichen Schiffe gegenseitig beeinflussen konnten. So kam man auf die Idee, die verschiedenen Schiffstypen als eigenständige Objekte zu behandeln, wobei jede Klasse von Objekten für ihre eigenen verantwortlich ist. In SIMULA waren die neuen Konzepte jedoch

noch nicht eindeutig

von ihrer Implementierung zu unterscheiden. Ihre Konzepte und Verfahren wurden bereits seit Anfang der 1970er Jahre am Xerox Palo Alto Research Center mit der Sprache SMALLTALK verfeinert und konsequenter als in SIMULA umgesetzt. Smalltalk wurde schließlich in den 1980er Jahren für die breite Öffentlichkeit freigegeben. SMALLTALK war als volldynamisches System konzipiert, in dem Objekte interaktiv erstellt und verändert werden konnten - im Gegensatz zu dem zuvor verwendeten System statischer Programme. Bemerkenswert im Vergleich zu seinen Nachfolgern ist auch die Integration der Sprache in eine innovative grafische Benutzeroberfläche, die zum ersten Mal echte Interaktion ermöglichte.

Nachdem Niklaus Wirth (Abb. 4.9) bei der Arbeit an ALGOL enttäuscht wurde, entwickelte er zusammen mit Kathleen Jensen PASCAL und setzte es konsequent ein

zur Vermittlung von Sprachkonzepten ab 1971. Nachdem er erkannt hatte, wie schwierig es war, die Softwareentwicklung größerer Projekte mit mehreren Entwicklern zu realisieren, veröffentlichte er 1978 MODULA-2, eine Weiterentwicklung mit einem strengen Modul- und Schnittstellenkonzept.

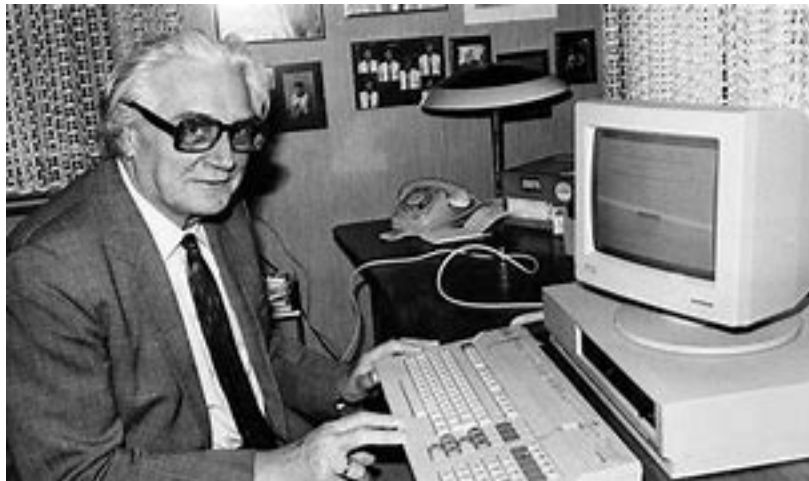


Abb. 4.9 Niklaus Wirth (* 1934)

Alain Colmerauer (1941 - 2017), Phillipe Roussel und Robert Kowalski (geb. 1941) begründeten ab 1972 die logische Programmierung, die in mehreren Realisierungen der Sprache PROLOG zum Ausdruck kommt.

4.3.5. Die 1980er Jahre

In den 1970er Jahren äußerte sich das US-Verteidigungsministerium besorgt über die Anzahl der in seinen Projekten verwendeten Programmiersprachen, die über 450 betrug. Viele der Programmiersprachen waren auch nicht standardisiert, sondern eher herstellerabhängig. Eine Arbeitsgruppe wurde damit beauftragt, diesen Dschungel zu lichten und eine Sprache zu finden, die den militärischen Anforderungen des Ministeriums entsprach. Viele bestehende Sprachen wurden geprüft, aber 1977 kam die Arbeitsgruppe zu dem Schluss, dass keine der bestehenden Sprachen geeignet war. Nachdem man Angebote für vier Sprachentwürfe eingeholt hatte, entschied man sich

4. Die historische Entwicklung

1980 für die Sprache ADA, die aus den besten Ideen der Entwürfe zusammengestellt wurde. Dieser Entwurf

wurde unter der Bezeichnung MIL-STD 1815 standardisiert, da 1815 die Namensgeberin Ada Lovelace (1815 - 1852) geboren wurde. Das US-Verteidigungsministerium schrieb vorübergehend vor, dass jedes Softwareprojekt mit mehr als 30 % neuem Code in ADA geschrieben werden muss. Um die Verbreitung des Standards zu unterstützen, finanzierte die US Air Force die Entwicklung des kostenlosen GNAT-Compilers. Die Zahl der verschiedenen Programmiersprachen im Verteidigungsministerium reduzierte sich schließlich auf 36.

Die objektorientierte Programmierung begann Mitte der 1980er Jahre an Popularität zu gewinnen, was vor allem auf den Einfluss von C++ zurückzuführen ist, das als syntaktische Erweiterung der Sprache C konzipiert wurde. Bjarne Stroustrup (geb. 1950) hatte C++ im Jahr 1983 vorgestellt. Seitdem haben viele bestehende Programmiersprachen objektorientierte Erweiterungen erhalten, z. B. PASCAL oder LISP.

Speziell für die Entwicklung der künstlichen Intelligenz waren die Sprachen PROLOG und LISP gedacht. PROLOG realisiert eine logische, auf Fakten und Regeln basierende Programmierung, LISP realisiert eine funktionale Programmierung, sie wird für Probleme verwendet, bei denen schnell ein Prototyp der Lösung erstellt werden muss.

4.3.6. Die weitere Entwicklung

- Linus Torvalds Linus Torvalds (* 1969) schuf LINUX in seinem Zimmer auf dem Campus der Universität von Helsinki. Heute wird das Open-Source-Betriebssystem nicht nur von Computerfreaks, sondern vor allem in Rechenzentren oder Serverfarmen eingesetzt. Bis heute koordiniert er die Entwicklung des Linux-Kernels. Darüber hinaus gilt er als einer der zentralen Entwickler des Versionsverwaltungssystems Git.

- Brendan Eich

Der ehemalige Mozilla-CTO Brendan Eich entwickelte den JavaScript-Vorläufer *Live-Script*. JavaScript ist derzeit der De-facto-Standard für die Entwicklung von Internet-Seiten.

- Tim Berners-Lee

Der britische Computerwissenschaftler Tim Berners-Lee gilt als Erfinder von HTML und damit als Begründer des heutigen Internets (World Wide Web). Im Jahr 2004 wurde er von Königin Elisabeth II. für seine Leistungen zum Ritter geschlagen. Sir Tim Berners-Lee leitet derzeit das World Wide Web Consortium (W3C) und lehrt als Professor am Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Der erste Webserver der Welt wurde von Berners-Lee auf einem NeXTcube-Computer entwickelt und implementiert. Ein Problem am CERN bestand darin, dass ein Teil der Laboratorien auf französischem und ein anderer auf schweizerischem Staatsgebiet lag. Die beiden Länder hatten unterschiedliche

4. Die historische Entwicklung

Netzinfrastrukturen, was den Informationsaustausch erschwerte. Am 12. März 1989 schlug Berners-Lee seinem Arbeitgeber, dem CERN, ein Projekt vor

basierend auf dem Prinzip des Hypertextes, der den weltweiten Austausch und die Aktualisierung von Informationen zwischen Wissenschaftlern erleichtern würde. Im Jahr 1990 veröffentlichte er mit Robert Cailliau ein Konzept für ein weltweites Hypertext-Projekt, das Computerprogramm Enquire. In der Folge entwickelte Berners-Lee die Seitenbeschreibungssprache HTML, das Übertragungsprotokoll HTTP, die URL, den ersten Browser und den ersten Webserver CERN httpd.

Berners-Lee schuf den ersten Internetauftritt, `info.cern.ch`. Diese Website existiert heute noch, allerdings ist vom ursprünglichen Inhalt nur noch eine Kopie von 1992 vorhanden. Sie erklärte unter anderem,

- was das World Wide Web sein sollte,
- wie man einen Webbrowser bekommt,
- wie man einen Webserver einrichtet.

Ursprünglich war dies auch die erste einfache Suchmaschine, da Berners-Lee neben seiner eigenen auch andere Websites betreute. Die Grundideen des World Wide Web sind vergleichsweise einfach, aber Berners-Lee hat sie in einer Weise gesehen und verknüpft, deren Möglichkeiten bis heute nicht voll ausgeschöpft sind.

Im Jahr 1994 gründete Berners-Lee das World Wide Web Consortium (W3C) an der Massachusetts Institute of Technology. Wichtig war, dass er seine Ideen und technischen Umsetzungen nicht patentierte, sondern frei weitergab. Er hatte auch starken Einfluss auf die Maxime des "World Wide Web Consortium", nur patentfreie Standards zu übernehmen. In seinem Buch "Weaving the Web" wird beispielsweise betont, dass die Möglichkeit, das Web zu bearbeiten, genauso wichtig ist wie die Möglichkeit, im Web zu surfen. Computer können Aufgaben im Hintergrund übernehmen, damit Gruppen besser zusammenarbeiten können. Jeder Bereich des Webs sollte eher eine Netzwerkstruktur als eine Baumstruktur haben. Bemerkenswerte Ausnahmen sind das Domänennamensystem und die Regeln der ICANN für die Vergabe von Domänennamen. Informatiker haben nicht nur eine technische, sondern auch eine moralische Verantwortung.

4.4. Die Turing-Maschine

Viele Fragen im Zusammenhang mit Algorithmen erfordern eine genaue mathematische Definition eines Algorithmus. Alan Mathison Turing (1912 - 1954 - Abb. 4.11) war ein britischer Logiker, Mathematiker, Kryptoanalytiker und Computerwissenschaftler. Er gilt heute als einer der einflussreichsten Theoretiker der frühen Computerentwicklung und der Computerwissenschaft. Turing schuf einen Großteil der theoretischen Grundlagen für die moderne Informations- und Computertechnologie. Auch seine Beiträge zur theoretischen Biologie waren bahnbrechend.

4. Die historische Entwicklung

Das von ihm entwickelte Berechenbarkeitsmodell der Turing-Maschine bildet eine der Grundlagen der Theoretischen Informatik. Während des Zweiten Weltkriegs war er

maßgeblich an der Entschlüsselung deutscher Funksprüche beteiligt, die mit der deutschen Rotorchiffriermaschine Enigma verschlüsselt wurden. Der größte Teil seiner Arbeit blieb auch nach dem Ende des Krieges geheim. Die Erkenntnisse, die

Turing bei der Kryptoanalyse von Fish-Chiffren gewann, halfen später bei der Entwicklung des ersten digitalen, programmierbaren elektronischen Röhrencomputers

ENIAC. 1953 entwickelte Turing eines der ersten Schachprogramme, dessen

Berechnungen er aus Mangel an Hardware selbst durchführte. er Turing

Award, die wichtigste Auszeichnung in der Informatik, ist nach ihm benannt, ebenso

wie der Turing-Test zum Nachweis der

die Existenz der künstlichen Intelligenz.

Im März 1952 wurde Turing wegen seiner Homosexualität, die damals noch als Straftat verfolgt wurde, zu einer chemischen Kastration verurteilt. Als Folge der Hormonbehandlung erkrankte Turing an Depressionen und starb etwa zwei Jahre später durch Selbstmord. Im Jahr 2009 entschuldigte sich der damalige britische Premierminister Gordon Brown im Namen der Regierung offiziell für Turings "abscheuliche Behandlung" und würdigte seine "außerordentlichen Verdienste" während des Krieges; eine Begnadigung wurde jedoch trotz einer Petition auch 2011 noch abgelehnt.



Abb. 4.10 ENIGMA - die Dekodiereinrichtung

Turings Beteiligung als einer der wichtigsten Codeknacker an der Entschlüsselung der Enigma war bis in die 1970er Jahre geheim; nicht einmal seine engsten Freunde wussten davon. Die Entschlüsselung der geheimen deutschen Funksprüche war ein kriegsentscheidendes Element für den Sieg der Alliierten im U-Boot-Krieg und im Afrikafeldzug.

4.5. Die ersten Computer - der Turing-Test - die Einband-Turing-Maschine

Von 1945 bis 1948 war Turing am National Physical Laboratory in Teddington beschäftigt, wo er an der Entwicklung der ACE (Automatic Computing Engine) arbeitete. Der Name der Maschine ist von der Analytical Engine des Mathematikers Charles Babbage abgeleitet, dessen Arbeit Turing zeitlebens bewunderte.

1948 lehrte Turing an der Universität von Manchester und wurde 1949

4. Die historische Entwicklung

stellvertretender Leiter der Computerabteilung. Hier arbeitete er an der Software für einen der ersten echten Computer, den Manchester Mark I, und schrieb weiterhin verschiedene theoretische Arbeiten. In "Computing Machinery and Intelligence" (Mind, Oktober 1950), schrieb Turing



Abb. 4.11 Alan Turing (1912 - 1954)

griff das Problem der künstlichen Intelligenz auf und schlug den Turing-Test als Kriterium dafür vor, ob eine Maschine in der Lage ist, wie ein Mensch zu denken. Da sich der Denkprozess nicht formalisieren lässt, betrachtet der Test nur die Antworten einer Maschine im Dialog mit einem Menschen, d.h. das kommunikative Verhalten der Maschine. Erscheint dieses ununterscheidbar vom menschlichen Verhalten, sollte man von maschineller Intelligenz sprechen. Mit seiner Veröffentlichung hat er die Entwicklung der Künstlichen Intelligenz maßgeblich beeinflusst. Im Jahr 1952 schrieb er das Schachprogramm Turochamp. Da es keine Computer mit ausreichender Leistung gab, um es auszuführen, übernahm Turing dessen Funktion und berechnete jeden Zug selbst. Dies dauerte bis zu 30 Minuten pro Zug. Die einzige schriftlich dokumentierte Partie verlor er gegen einen Kollegen.

Von 1952 bis zu seinem Tod im Jahr 1954 arbeitete Turing an mathematischen Problemen der theoretischen Biologie. Im Jahr 1952 veröffentlichte er eine Arbeit über die chemischen Grundlagen der Morphogenese. In dieser Arbeit beschrieb er zum ersten Mal einen Mechanismus, durch den Reaktions-Diffusions-Systeme spontan Strukturen entwickeln können. Dieser Prozess, der als Turing-Mechanismus bekannt ist, steht auch heute noch im Mittelpunkt vieler chemisch-biologischer Theorien zur Strukturbildung. Ein weiteres Interesse Turings galt dem Auftreten von Fibonacci-Zahlen in der Struktur von Pflanzen. Spätere Arbeiten blieben bis zur Veröffentlichung seiner gesammelten Werke im Jahr 1992 unveröffentlicht.

Eine Möglichkeit, den Begriff des Algorithmus mathematisch präzise zu definieren, ist die einbandige Turingmaschine (Abb. 4.12). Sie hat eine Texteinheit, die das Programm enthält, und besteht außerdem aus einem unendlich langen Speicherband mit einer unendlichen Anzahl von sequentiell angeordneten Feldern. In jedem Feld kann genau ein Zeichen aus einem vordefinierten Alphabet gespeichert werden. Als zusätzliches Zeichen ist ein Leerzeichen erlaubt, das einem leeren Feld auf dem Speicherband entspricht. Ein programmgesteuerter Lese- und Schreibkopf kann sich auf dem Speicherband von Feld zu Feld bewegen und die Zeichen verändern. Eine

Berechnung für

ein Eingabewort beginnt mit dem Eingabewort auf dem Band und dem Lese- und Schreibkopf auf dem ersten Symbol des Eingabeworts. Die Turing-Maschine verarbeitet dann die Eingabe auf dem Band Schritt für Schritt nach dem vorgegebenen Programm.

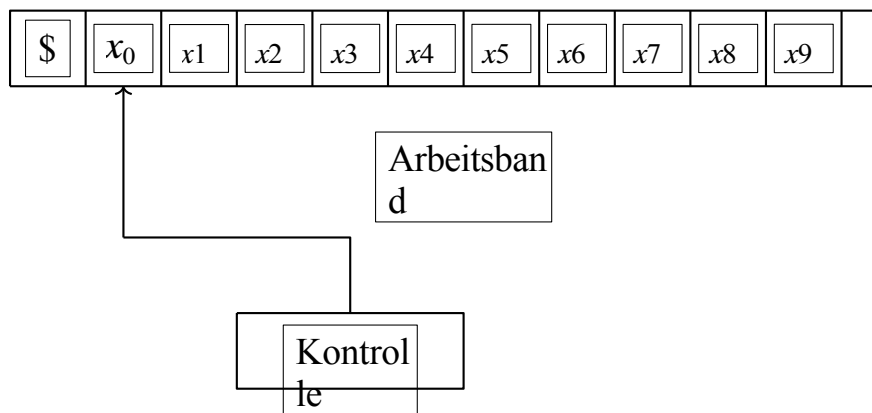


Abb. 4.12 Eine Ein-Band-Turing-Maschine

Bei jedem Schritt liest der Schreib-Lese-Kopf das aktuelle Zeichen, überschreibt es mit einem anderen oder demselben Zeichen und bewegt sich dann nach links oder rechts oder bleibt stehen. Welches Zeichen geschrieben und welche Bewegung ausgeführt wird, hängt von dem Zeichen ab, das an der aktuellen Position gefunden wird, und von dem Zustand, in dem sich die Turingmaschine gerade befindet. Zu Beginn befindet sich die Turingmaschine in einem bestimmten Startzustand und wechselt bei jedem Schritt in einen neuen Zustand. Die Anzahl der Zustände, in denen sich die Turing-Maschine befinden kann, ist endlich. Ein Zustand kann mehrmals durchlaufen werden, er sagt nichts über die auf dem Band vorhandenen Zeichen aus.

Eine Turingmaschine hält an, wenn für den aktuellen Zustand und das gelesene Bandzeichen kein Übergang zu einem neuen Zustand definiert ist. Im Allgemeinen hängt es also von der Kombination aus Zustand und Symbol ab, ob die Turingmaschine weiterrechnet oder anhält. Zustände, in denen die Turingmaschine unabhängig vom gelesenen Bandzeichen anhält, nennt man Endzustände. Es gibt aber auch Turing-Maschinen, die bei bestimmten Eingaben nie anhalten.

Eine Turingmaschine ist ein Tupel

$$M = (Z, E, A, d, q, F)$$

mit

- Z eine endliche, nicht leere Menge von Zuständen des Steuerungssystems,
- E das Eingabealphabet,
- A das Arbeitsalphabet mit $E \subseteq A$,
- d die Übergangsbeziehung, $d \subseteq Z \times A \times A' \times Z$; wobei $A' = A \cup \{L, R\}$,

4. Die historische Entwicklung

- $q \in Z$ ist der Ausgangszustand,
- $F \subseteq Z$ die Menge der Endzustände.

Das Arbeitsalphabet A enthält die Sonderzeichen $\$$ und das Leerzeichen; sie kommen im Eingabealphabet nicht vor. Die Zeichen L und R kommen nicht als Alphabetzeichen vor.

- $E \subseteq A$ bedeutet, dass jedes Element der Menge E ein Element der Menge A ist; eventuell, als Grenzfall, $E = A$.
- Das Zeichen \cup bedeutet die Vereinigung zweier Mengen; man erhält die Menge A' , wenn man zur Menge A die Sätze L (links) und R (rechts) hinzufügt.

Neben der Berechnung von Funktionen wird die Turingmaschine auch für Entscheidungsprobleme verwendet, d.h. für Fragen, die mit "ja" oder "nein" beantwortet werden müssen. Bestimmte Endzustände sind als "akzeptierend" definiert, andere als "nicht akzeptierend". Die Eingabe wird genau dann akzeptiert, wenn die Turing-Maschine in einem akzeptierenden Endzustand endet.

Mit seinem Modell definierte Turing die Begriffe "Algorithmus" und "Berechenbarkeit" als mathematische Konzepte. Es wird allgemein angenommen, dass Turings Berechenbarkeit dem intuitiven Verständnis von Berechenbarkeit entspricht; diese Aussage ist als Church-Turing-These bekannt. Das charakteristische Merkmal einer Turing-Maschine ist ihre strukturelle Einfachheit. Sie benötigt nur drei Operationen (Lesen, Schreiben und Bewegen des Schreib-Lese-Kopfes), um alle Operationen eines gewöhnlichen Computerprogramms zu simulieren.

4.6. LaTeX

Wissenschaftliche Arbeiten sind oft sehr schwierig zu schreiben. Hier finden wir zwei Sprachen, die sehr wichtig sind. LaTeX beschreibt Dokumente sehr genau und in allen Details. Das Basisprogramm von LaTeX ist TeX und wurde von Donald E. Knuth während seiner Zeit als Informatikprofessor an der Stanford University entwickelt. Aufbauend auf TeX entwickelte Leslie Lamport in den frühen 1980er Jahren LaTeX, eine Sammlung von TeX-Makros, die die Benutzung für den durchschnittlichen Benutzer im Vergleich zu TeX vereinfachten und verbesserten. Der Name LaTeX ist eine Abkürzung für La - import - TeX. Die Details des Dokuments werden beschrieben und von TeX in das Dokument umgewandelt, in eine Form, in der es dann präsentiert werden soll. Um die Erstellung der Beschreibung zu unterstützen, wird noch ein Editor benötigt, der die Eingabe des LaTeX-Textes unterstützt. Für dieses Buch wurde MiKTeX als Übersetzungsprogramm verwendet, TeXnicCenter ist der verwendete Editor. Es gibt jedoch auch andere gleichwertige Systeme. Sie werden alle kostenlos im Internet angeboten. Im Gegensatz zu anderen Textverarbeitungsprogrammen, die nach dem Prinzip *what-you-see-is-what-you-get* arbeiten, arbeitet LaTeX mit Textdateien, in denen mit speziellen Befehlen anders zu formatierende Passagen oder Überschriften innerhalb eines Textes beschrieben werden.

Bevor das LaTeX-System den Text entsprechend setzen kann, muss es den

4. Die historische Entwicklung

Quellcode verarbeiten. Das dabei von LaTeX erzeugte Layout ist sehr sauber und der Formelsatz ist von hoher Qualität. Darüber hinaus ist die Ausgabe in PDF, HTML und PostScript möglich. LaTeX eignet sich besonders für umfangreiche Arbeiten wie Diplomarbeiten und Dissertationen,

die oft strengen typografischen Anforderungen genügen müssen. Gerade in der Mathematik und den Naturwissenschaften erleichtert LaTeX die Erstellung von Dokumenten durch seine komfortablen Formulierungsmöglichkeiten im Vergleich zu herkömmlichen Textverarbeitungssystemen. Das schrittweise Arbeiten erfordert vordergründig im Vergleich zu herkömmlichen Textverarbeitungssystemen einerseits eine längere Einarbeitungszeit, andererseits kann das Aussehen des Ergebnisses genau vorgegeben werden. Die längere Einarbeitungszeit kann sich jedoch lohnen, insbesondere bei Folgeprojekten mit vergleichbarem Umfang oder ähnlichen Anforderungen. Inzwischen gibt es auch grafische Editoren, die mit LaTeX arbeiten können und WYSIWYG oder WYSIWYM (What you see is what you mean.) bieten und kann unerfahrenen Benutzern den Einstieg erheblich erleichtern (Abb. 4.13).

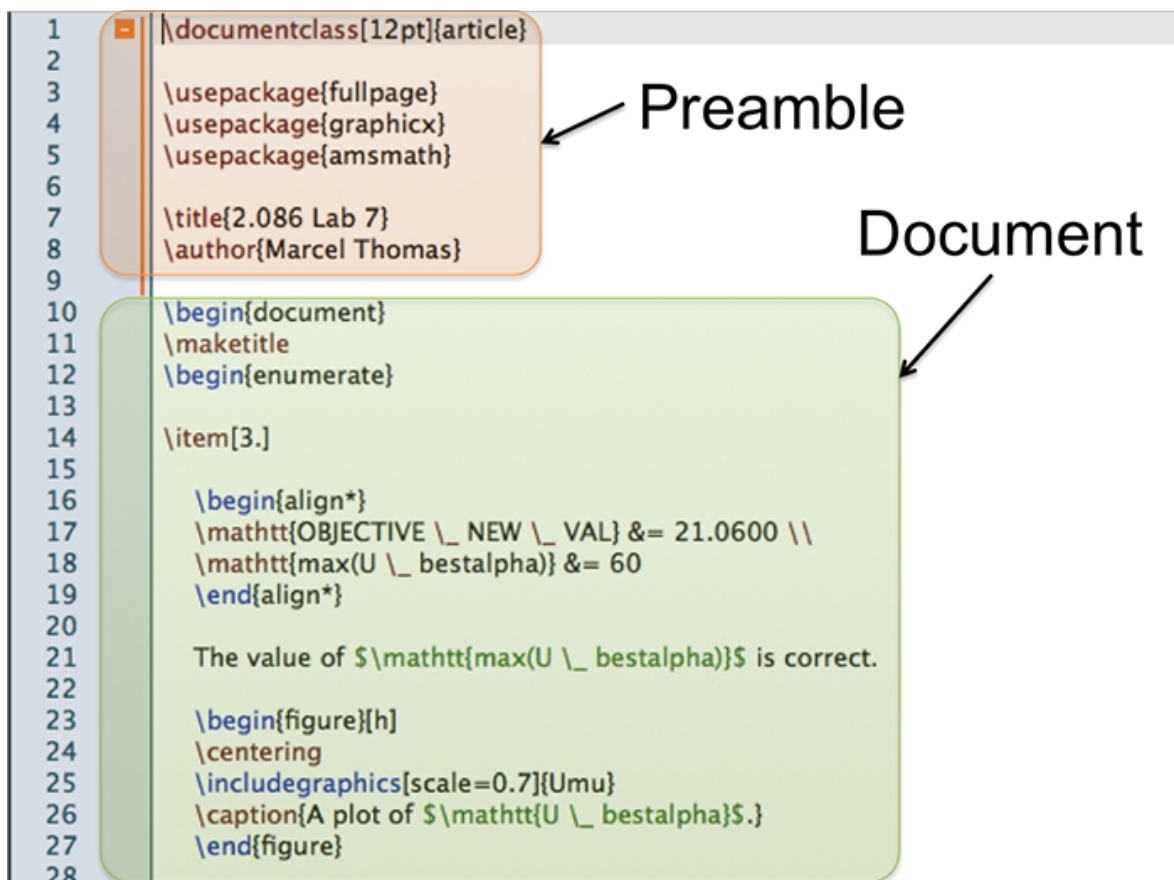
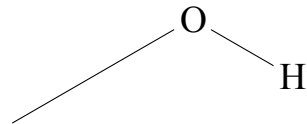


Abb. 4.13 Ein kurzer Ausschnitt aus einem LaTeX-Text

LaTeX ist ein hervorragendes Beispiel für kollektive Intelligenz. Die Grundfunktionen werden durch Pakete (Packages) erweitert, von denen jedes einen bestimmten Zweck erfüllt. Derzeit sind 4000 Pakete verfügbar. Wann immer jemand eine bestimmte Funktion vermisst, kann er diese Funktion in ein Paket einbetten und dieses Paket der Allgemeinheit zur Verfügung stellen.

Auch chemische Formeln werden einfach und elegant beschrieben.

Eine äußerst elegante und hilfreiche Erweiterung von LATEX heißt TikZ. Es ist wahrscheinlich das komplexeste und leistungsfähigste Werkzeug zur Erstellung von grafischen Elementen in LATEX. Wir fügen ein weiteres Beispiel hinzu. Eine nützliche Sammlung von Beispielen finden Sie unter [143].



HTDie Formel für Wasser

Der Einführung des Euro-Zeichens wurde schnell Rechnung getragen, da es anfangs nicht auf den Tastaturen vorhanden war: man schreibt einfach `\euro{ }` und erhält €. Es gibt reichlich Lehrmaterial im Internet, man muss es Schritt für Schritt lernen.

4.7. Die Entwicklung der Computer

Das Mooresche Gesetz zeigt, dass die Rechenleistung ständig zunimmt. Wo sind wir jetzt angelangt? Laut Wikipedia [47] liegt der japanische Computer Fugaku RIKEN vom Center for Computational Science, Kobe, (Japan) mit 415.530,00 Teraflops an erster Stelle. Dahinter folgen zwei amerikanische und zwei chinesische Systeme. Das deutsche System Hawk steht in Stuttgart (Deutschland) und hat eine Leistung von 26.000 Teraflops.

Auf der Supercomputing-Messe SC21 wird bestätigt, dass China die ersten beiden Exascale-Supercomputer der Welt betreibt: OceanLight und Tianhe-3. Demnach erreicht OceanLight im Linpack-Benchmark eine Spitzenrechenleistung von 1,3 ExaFlops mit doppelter Genauigkeit (FP64) - über einen längeren Zeitraum sind 1,05 Exa- Flops möglich. Würde das National Research Center of Parallel Computer Engineering and Technology (NRCPC) den Supercomputer in seine Top500-Liste aufnehmen, wäre er etwa doppelt so schnell wie der bisherige Spitzenreiter, der japanische Fugaku. Die Entwicklung in den USA verläuft in etwa auf die gleiche Weise. Es hat sich eine Art Wettrennen und Prestigedenken entwickelt (siehe Abb. 4.14 und Abb. 4.15)[47][48].

Die Kosten sind recht hoch: Die Kosten für den Summit-Supercomputer betrugen etwa 44 Millionen Euro, während die jährlichen Stromkosten bis zu 4 Millionen Euro pro Jahr betragen.

Der nächste Schritt könnten Quantencomputer sein. Im Gegensatz zum klassischen Computer arbeitet er nicht auf der Basis elektrischer, sondern quantenmechanischer Zustände. Hier sind erstens das Superpositionsprinzip und zweitens die Quantenverschränkung von Bedeutung.

Theoretische Studien zeigen, dass durch die Ausnutzung dieser Effekte bestimmte Probleme in der Computerwissenschaft, wie z. B. die Suche in extrem großen Datenbanken und das Faktorisieren großer Zahlen, effizienter gelöst werden können als mit klassischen Computern. Dies würde es ermöglichen, die Rechenzeit für viele mathematische und physikalische Probleme erheblich zu reduzieren.

Der Quantencomputer ist seit langem ein theoretisches Konzept. Es gab verschiedene Vorschläge, wie ein Quantencomputer realisiert werden könnte. In kleinem Maßstab wurden einige dieser Konzepte im Labor getestet und Quantencomputer mit einigen Qubits realisiert. Der Rekord lag bei 127 Qubits für den

4. Die historische Entwicklung

Prozessor im November 2021. Neben der Anzahl der Qubits gibt es jedoch noch weitere wichtige Faktoren

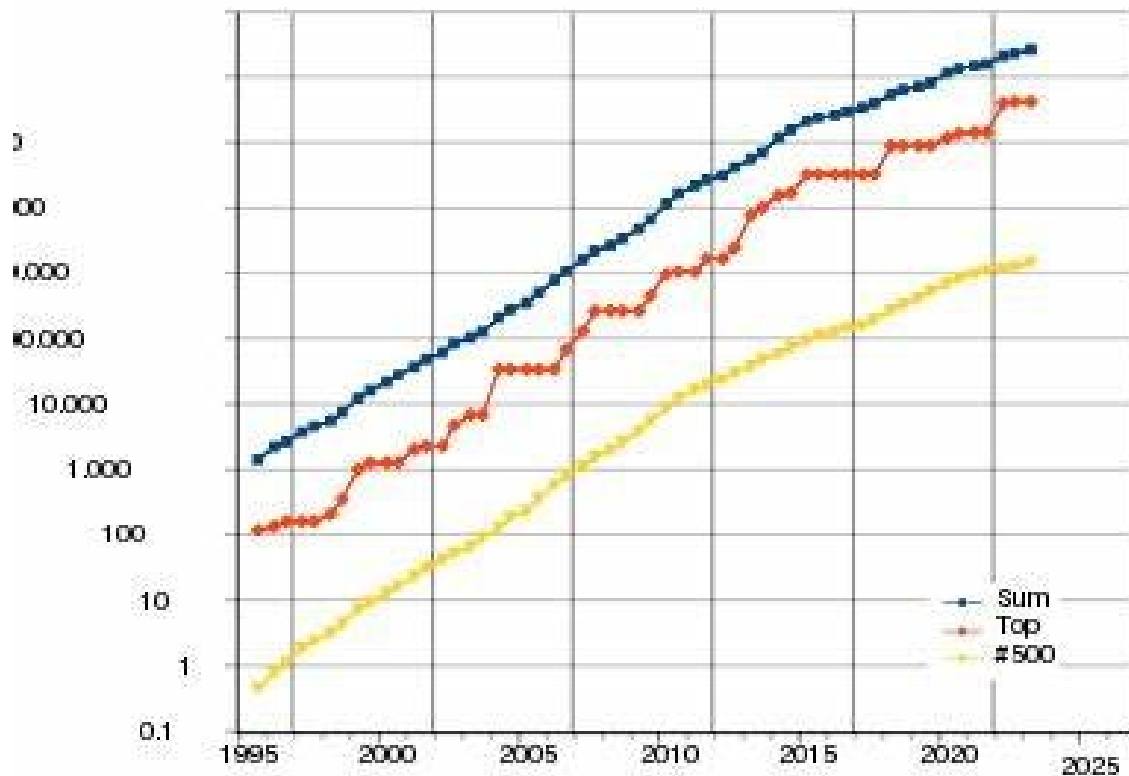


Abb. 4.14 Moore'sches Gesetz für Supercomputer

beispielsweise eine niedrige Fehlerrate beim Berechnen und Auslesen und wie lange die Zustände in den Qubits fehlerfrei gehalten werden können.

Qubits oder Quantenbits sind die Berechnungseinheiten eines Quantencomputers. Im Vergleich zu herkömmlichen Bits in Computern können Qubits mehr Informationen als nur 1 oder 0 speichern. Qubits existieren auch in einer Überlagerung dieser Werte - im Fachjargon als Superposition bezeichnet. Im Gegensatz zu herkömmlichen Bits können Quantenbits eine beliebige Anzahl von Zuständen gleichzeitig annehmen. Quantencomputer erreichen daher mit wenigen Qubits eine große Rechenleistung. Theoretisch steigt die Rechenleistung eines Quantencomputers exponentiell mit der Anzahl der Qubits. Schon mit wenigen Qubits lassen sich komplexe Probleme in sehr kurzer Zeit lösen.

Neben dem Technologieriesen IBM hat auch die Industrie selbst das große Potenzial von Quantencomputern längst erkannt und sich in einem Konsortium zusammengeschlossen. Ziel des Konsortiums mit der Bezeichnung Quantum Technology and Application Consortium (QUTAC) ist es, industrielle Anwendungen mit hohem Potenzial für Quantencomputer zu testen.

Insgesamt wird erwartet, dass Quantencomputer in den folgenden Bereichen eingesetzt werden:

- Logistik

Quantencomputer könnten helfen, begrenzte Ressourcen in der Logistik, im Verkehrsfluss und auf den Transportwegen, in den Netzstrukturen der

4. Die historische Entwicklung
Telekommunikation optimal zu verteilen



Abb. 4.15 Ein Supercomputer besteht aus vielen parallel arbeitenden Prozessoren

oder der Verteilung medizinischer Ressourcen in Krankenhäusern.

- Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen

Laut der Fraunhofer-Allianz "Big Data und Künstliche Intelligenz" könnten Quantencomputer die künstliche Intelligenz und das maschinelle Lernen revolutionieren: "Verfahren der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens können für Quantencomputer so angepasst werden, dass sie mehrere Lösungswege gleichzeitig verfolgen können. Dadurch können Quantencomputer große Datensätze in einem Schritt verarbeiten, Muster in den Daten erkennen, die klassische Computer nicht erkennen können, und auch bei unvollständigen oder unsicheren Daten zuverlässige Ergebnisse liefern."

- Robotik

Das Beispiel von BMW ist nur ein Vorgeschmack auf das Potenzial des Quantencomputings für die Robotik. Quantencomputer könnten die effizientesten Wege für Mitarbeiter oder Roboter (AGVs - Autonomous Guides Vehicles) ermitteln, die durch ein Lagerhaus navigieren.

- Chemie, Pharmazie und Materialwissenschaften

Der Fraunhofer-Exzellenzcluster "Kognitive Internet-Technologien" ist sich sicher: Mit Hilfe der Simulation von Molekülen könnten in Zukunft gezielt Katalysatoren entwickelt werden, um beispielsweise chemische Produktionsprozesse effizienter zu gestalten. Chancen in ähnlicher

4. Die historische Entwicklung
Größenordnung ergeben sich für die

Pharmaindustrie". Und auch die Batterieforschung fällt in den Bereich der quantencomputergestützten Simulationen - die Entwicklung neuer, leistungsfähigerer Batterien für Elektroautos.

- Technik

Sind Materialien mit bestimmten Eigenschaften erwünscht und ist ein Kompromiss zwischen Stabilität und Gewicht wichtig? - Ein Fall für das Quantencomputing! Denn die Eigenschaften eines jeden Materials hängen grundlegend von seinen quantenmechanischen Bausteinen ab.

- Finanzen

Schnellere Finanzsimulationen und bessere Lösungen für die Portfolio-Optimierung sind potenzielle Anwendungen, die das Quantencomputing für die Finanzbranche interessant machen.

- Die Bundesregierung hat insgesamt zwei Milliarden Euro für die Entwicklung von Quantencomputern für den internationalen Wettlauf um das Quantencomputing freigegeben. Ziel ist es, innerhalb der nächsten fünf Jahre einen wettbewerbsfähigen Quantencomputer in Deutschland zu bauen. Bislang gibt es in Deutschland keinen Quantencomputer, der ganz ohne Technologie aus dem Ausland gebaut worden ist. Als führende Kompetenzträger für optische Quantensensoren gelten derzeit die deutschen mittelständischen Unternehmen Trumpf und Sick [94].

Der Weg zu immer leistungsfähigeren Computern ist also noch lange nicht zu Ende. Der Entwurf von Schaltungen, die auf diesem Prinzip beruhen, ist jedoch wesentlich komplizierter.

5. Mathematik am Computer

Die Lösung mathematischer Probleme mit Hilfe eines Computers ist ein sehr ursprüngliches Anliegen der Entwicklung von Rechenmaschinen (Abb. 5.1) und Computern. In dem Maße, wie die Mathematik in vielen Bereichen Anwendung findet, können auch Computer und ihre Programme eingesetzt werden.



Abb. 5.1 Eine mechanische Rechenmaschine aus den 1960er Jahren

Anfangs ging es im Wesentlichen um das Rechnen mit Zahlen, aber sehr schnell wurden die Programme auf das symbolische Rechnen, das Lösen von Gleichungen, die Differential- und Integralrechnung und alle anderen Bereiche der Mathematik erweitert. Inzwischen gibt es eine große Anzahl solcher Systeme, die meist unter dem Namen "Systeme für Computeralgebra" zusammengefasst werden.

Es ist schwierig, sich zu entscheiden. Am besten ist es, mit einem kleineren System anzufangen und sich durchzuarbeiten. Das kostet schon eine Menge Aufwand. Später kann man entscheiden, ob das System schon ausreicht oder ob man ein größeres, ausgefeilteres System braucht. Kleine Systeme haben vor allem den Vorteil, dass man sie ohne Kosten nutzen kann. Die Existenz solcher Systeme wird den Mathematikunterricht in den nächsten Jahren maßgeblich beeinflussen.

Bevor einzelne Softwarepakete, mit denen man arbeiten kann, vorgestellt werden, sei erwähnt, dass man durch eine Suche im Internet wertvolle Informationen erhalten kann. Für alle Teilgebiete der Mathematik werden dort Formeln und Erklärungen angeboten. Ein umsichtiger Schulabgänger kann seine Hausaufgaben in kurzer Zeit erledigen.

5.1. Microsoft-Mathematik

Ein guter Startpunkt ist das System Microsoft Mathematics (Abb. 5.2). Es ist frei erhältlich, die Arbeitsoberfläche ist einem Taschenrechner nachempfunden, aber das System ist viel leistungsfähiger. Es deckt den gesamten Stoff von der achten Klasse über den Schulabschluss bis zum ersten Jahr eines Mathematik- oder Physikstudiums ab. Daraus ergibt sich ein gewisses Dilemma: Einerseits ist es sinnvoll, nicht viel Zeit mit Berechnungen zu verbringen, die ein PC zur Verfügung hat. Andererseits könnte es aber auch sein, dass die eigenständigen Berechnungen den Wissensstand erhöhen.

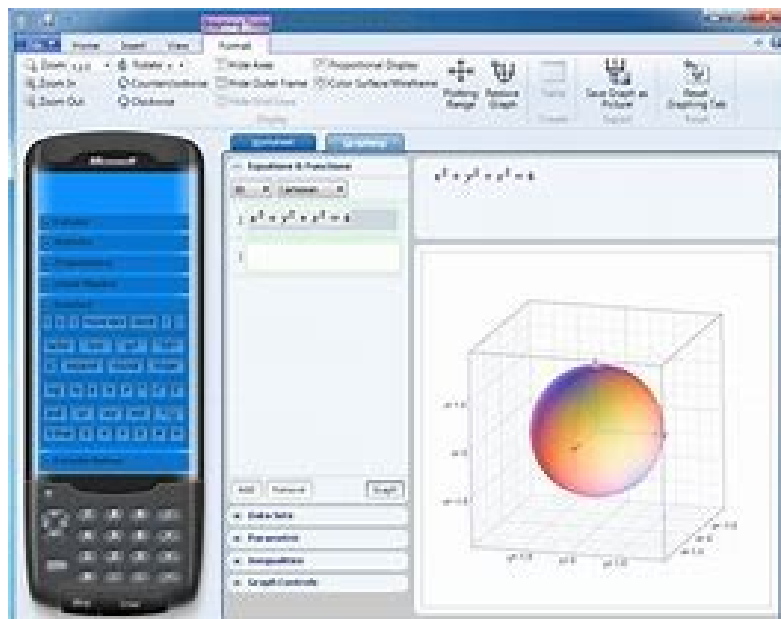


Abb. 5.2 Der Arbeitsbildschirm von Microsoft Mathematics

Man kann aber auch bedenken, dass es auf diese Weise möglich ist, die Mathematik nicht mehr als "Feind" zu betrachten, den man so schnell wie möglich vermeiden muss. Man kann den Unterricht viel interessanter gestalten, indem man die Beziehungen der Mathematik zur Architektur, zur Malerei und zu anderen Bereichen einbezieht. Zu diesem System gibt es auch zwei Lehrbücher [10][11], die man im Internet unter bookboon.com finden kann.

5.2. Mathematica

Mathematica ist ein Softwaresystem der Firma Wolfram Research und stellt eines der am weitesten verbreiteten mathematischen und wissenschaftlichen Programmpakete dar. Der Autor und Firmengründer Stephen Wolfram begann 1986 mit der Entwicklung, und die erste Version von Mathematica wurde 1988 veröffentlicht.

Das Softwarepaket "Mathematica" enthält unter anderem

- ein Computeralgebrasystem zur symbolischen Verarbeitung von Gleichungen und Differentialgleichungen,



Abb. 5.3 Mathematica

- eine numerische Software zur numerischen Lösung oder Auswertung von Gleichungen,
- ein Visualisierungstool zur Anzeige von Diagrammen und 3D/2D-Grafiken,
- eine Programmiersprache, die Elemente der prozeduralen, objektorientierten, funktionalen und regelbasierten Programmierung kombiniert.

Ein fantastisches System, das zu jedem Mathematikkurs gehören sollte. Man spart viel Zeit, die man für Berechnungen aufwenden müsste, und hat viel mehr Zeit, sich dem Verständnis der Konzepte und ihrer Lösungen zu widmen.

5.3. Ahorn

Die erste Version von Maple wurde 1980 von Keith O. Geddes, Gaston H. Gonnet und ihren Mitarbeitern der *Symbolic Computation Group* an der University of Waterloo in der kanadischen Stadt Waterloo (Ontario) programmiert. Ende 1987 lag Maple bereits in der Version 4.2 vor (Abb. 5.4).

Im Jahr 2005 wurde mit Maple 10 ein neuer Dokumentenmodus in die Standardversion von Maple eingeführt. Seitdem ist es möglich, Maple-Eingaben in normaler mathematischer Notation zu bearbeiten. Dabei können Texte und mathematische Symbole in der gleichen Eingabezeile kombiniert werden.

Die Hauptkomponente der grafischen Benutzeroberfläche von Maple ist das jeweilige Arbeitsblatt, in dem interaktiv gearbeitet wird. Es erscheint als ein Fenster, in das Berechnungsanweisungen eingegeben werden. Die Maple-Engine interpretiert diese Anweisungen und gibt entsprechende Ausgaben zurück. Typische Maple-Ausgaben sind numerische Werte,

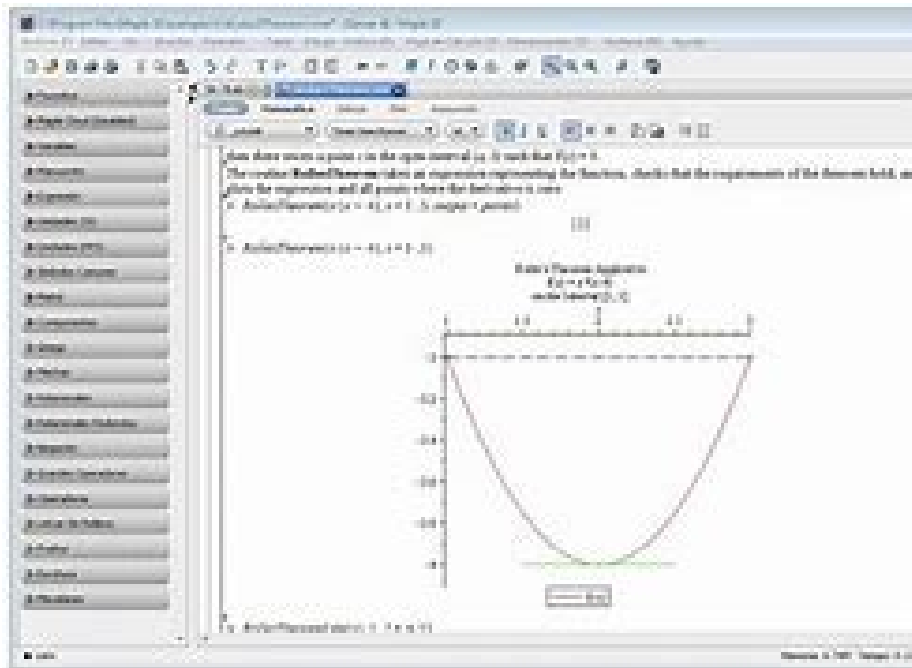


Abb. 5.4 Ahorn

Begriffe, Funktionen, Tabellen, zwei- und dreidimensionale Grafiken, Animationsobjekte und Diagramme.

Maple enthält einen Kern von häufig verwendeten Standard-Rechenanweisungen und zusätzliche Pakete, die zur Laufzeit mit dem Befehl `with` geladen werden können. Es ist berauschend, fast die "gesamte derzeit bekannte Mathematik" auf seinem Computer zu haben. Ein Techniker, Ingenieur, Geologe, Biologe, Arzt usw. steht natürlich vor dem Problem, die für ihn wichtigen Teilgebiete auszuwählen. Daher stößt man in der Praxis bereits auf einige Teilgebiete wie Wirtschaftsmathematik, Finanzmathematik, Statistik usw., aber weitere solche Spezialisierungen und Eingrenzungen werden notwendig sein. Der Unterricht kann sich auf die Vermittlung der grundlegenden Ideen konzentrieren, die Berechnungen selbst und ihre Darstellung können der Computertechnik überlassen werden.

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

6.1. Einleitende Überlegungen

Die in den nächsten Abschnitten und Kapiteln dargestellten Zusammenhänge machen deutlich, dass künstliche Intelligenz immer dann zur Diskussion steht, wenn man es mit komplexen Systemen zu tun hat, deren Erforschung die Fähigkeiten des Menschen weit übersteigt. Die weltweite Globalisierung, die Tatsache, dass jeder mit jedem vernetzt ist, bietet auf der einen Seite große Chancen, birgt aber auch Gefahren. Die Möglichkeiten werden oft in die Ferne geschoben, während bei d e n Risiken sofort Katastrophenszenarien an die Wand gemalt werden.

Der hohe Vernetzungsgrad bedeutet, dass sich eine Veränderung an einem Punkt fast ungehindert im gesamten System ausbreiten kann. Sehr oft tritt ein Schmetterlingseffekt auf. Er besagt, dass in komplexen, nichtlinearen dynamischen Systemen schon kleinste Änderungen der Anfangsbedingungen dazu führen können, dass eine Vorhersagbarkeit hinsichtlich der weiteren Entwicklung eines Systems grundsätzlich ausgeschlossen werden kann. Der Schmetterlingseffekt ist vor allem im Zusammenhang mit dem Thema *Wettervorhersage* bekannt geworden. Damit soll bildlich ausgedrückt werden, dass bereits der Flügelschlag eines Schmetterlings an einem Punkt X auf der Erde das Wettergeschehen an einem anderen Ort Y beeinflussen kann. So erstaunlich dies auf den ersten Blick erscheinen mag,

ist dieser Effekt verständlich. Das einfache Schema *Ursache* → *Wirkung* ist nicht anwendbar auf

In komplexen Systemen können selbst kleine Ursachen eine große Wirkung haben (Abb. 6.1).

Der griffige Begriff Schmetterlingseffekt geht auf den amerikanischen Meteorologen Edward N. Lorenz zurück, der 1972 vor der American Association for the Advancement of Science einen Vortrag mit dem Titel "Predictability: Löst der Flügelschlag eines Schmetterlings in Brasilien einen Tornado in Texas aus?" In seiner ursprünglichen Form wurde jedoch nicht der Schmetterling, sondern der Flügelschlag einer Möwe verwendet.

Die Vorarbeiten zu dieser Theorie wurden von Edward N. Lorenz (1917-2008) mit eine Arbeit von 1963, in der er eine Computer-Wettervorhersageberechnung durchführte. Im Zusammenhang mit langfristigen Wettervorhersagen untersuchte er anhand eines vereinfachten Konvektionsmodells das Verhalten von Flüssigkeiten oder Gasen bei deren Erwärmung: Hier bilden sich zunächst Rollen (heißes Gas steigt auf der einen Seite auf, verliert Wärme und sinkt auf der anderen Seite wieder ab), die bei weiterer Wärmezufuhr instabil werden.

Er charakterisierte dieses Verhalten mit Hilfe von drei verbundenen Differentialgleichungen. Er projizierte das numerische Ergebnis in den Phasenraum und erhielt den seltsamen Attraktor, der

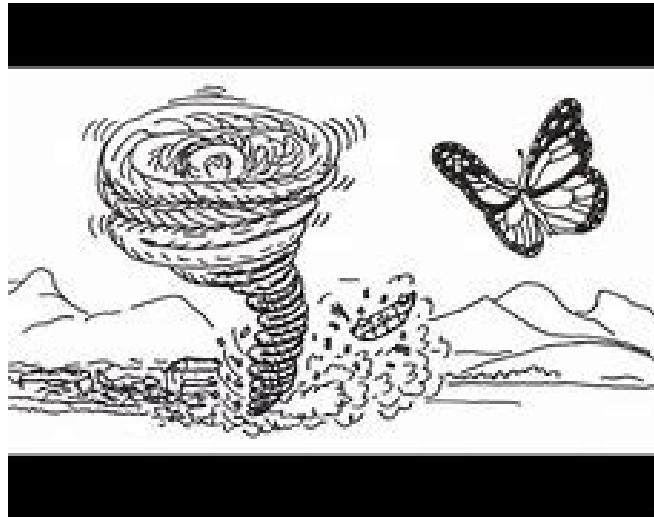


Abb. 6.1 Der Schmetterlingseffekt

wurde später als Lorenz-Attraktor bekannt: eine unendlich lange Bahn im dreidimensionalen Raum, die sich nicht selbst schneidet und die Form von zwei Schmetterlingsflügeln hat.

Lorenz stieß eher zufällig auf das chaotische Verhalten seines Modells. Um Rechenzeit zu sparen, hatte er für die numerische Lösung der Gleichungen Zwischenergebnisse bereits durchgeführter Berechnungen verwendet, dabei aber nur drei Nachkommastellen berücksichtigt, obwohl der Computer mit einer Genauigkeit von sechs Nachkommastellen rechnete. Die Unterschiede zwischen den alten und den neuen Berechnungen wurden immer größer, obwohl sie nur auf Abweichungen in der vierten Stelle beruhen konnten.

Dies führte Lorenz zu seinen Aussagen über die Empfindlichkeit gegenüber den Anfangsbedingungen. Vom nahezu gleichen Ausgangspunkt aus divergierten die Wetterkurven, bis sie schließlich keine Gemeinsamkeiten mehr aufwiesen. In seiner ersten Berechnung gab er einen Anfangswert für eine Iteration an sechs Nachkommastellen (0,506127), bei der zweiten Berechnung auf drei (0,506), und obwohl diese Werte nur um etwa 1/10.000 differierten, wich diese Berechnung im Laufe der Zeit stark von der ersten ab.

Wenn man bedenkt, dass der Umfang der Erde am Äquator 40.000 km beträgt, dann entspricht ein Zehntausendstel davon 4 km. Eine Veränderung der Landschaft entlang dieser Strecke reicht aus, um irgendwo ein chaotisches Ereignis auszulösen.

Die variierenden Trajektorien $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ sind Lösungen des folgenden Differentialgleichungssystems:

$$\frac{dx}{dt} = \sigma - [y(t) - x(t)] \quad (6.1)$$

$$\frac{dy}{dt} = [\rho - x(t)] - [x(t) - z(t)] - y(t) \quad (6.2)$$

$$\frac{dz}{dt} = [x(t) - y(t)] - \beta - z(t). \quad (6.3)$$

Dabei sind σ , ρ und β Parameter, die vorher festgelegt werden müssen. Die Nichtlinearität

kann sein

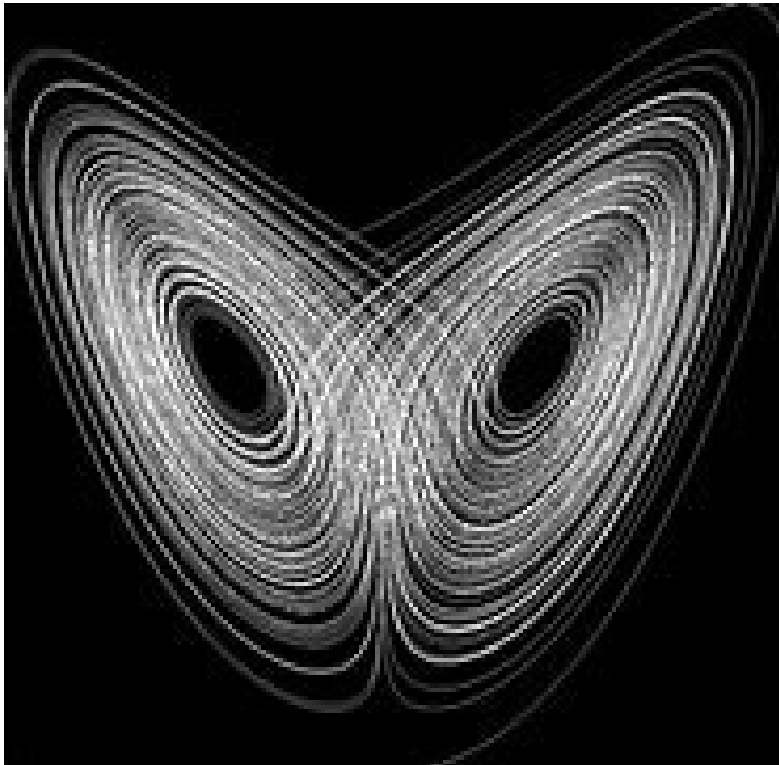


Abb. 6.2 Der Lorenz-

Attraktor in den Termen $[x(t) - z(t)]$ und $[x(t) - y(t)]$.

Wegen der endlichen Mantisse in der Gleitkommadarstellung können Zahlen nicht mit beliebiger Genauigkeit auf einem Computer dargestellt werden. Sie müssen gerundet werden. Anstelle von x verwendet der Computer die Zahl $rd(x)$ für eine andere Berechnung. Heutige Computer arbeiten in der Regel nach IEEE 754. Die Rechengenauigkeit für die dabei verwendeten Datentypen beträgt $\epsilon = 2^{-24} \approx 6 \cdot 10^{-8}$ für einfache Genauigkeit und $\epsilon = 2^{-53} \approx 1,1 \cdot 10^{-16}$.

Wenn man diese Überlegungen weiter ausführt, kommt man zur Chaostheorie.
Chaostheorie

beschreibt das zeitliche Verhalten von Systemen mit deterministischer chaotischer Dynamik. Versucht man, Experimente identisch zu wiederholen, so ist dies in der Praxis nicht möglich, da aufgrund von unvermeidlichen Messungenauigkeiten - und aufgrund von Rauschen - die Ausgangssituation nicht identisch wiederhergestellt werden kann. Ist ein System deterministisch chaotisch, so kann das System nach hinreichend langer Zeit trotz experimentell nahezu identischer (oder möglichst identischer) Ausgangssituationen zu deutlich unterschiedlichen Endzuständen oder Messergebnissen führen.

Entgegen der umgangssprachlichen Verwendung des Begriffs Chaos befasst sich die Chaostheorie nicht mit Systemen, die dem Zufall unterliegen (d.h. stochastischen Systemen), sondern mit dynamischen Systemen, die mathematisch beschreibbar sind und sich prinzipiell deterministisch verhalten. Außerdem ist die Chaostheorie von der Theorie komplexer Systeme zu unterscheiden, da auch sehr einfache Systeme chaotisches Verhalten zeigen können.

6.2. Mathematische Beschreibungen von Komplexität

Wir beginnen mit einem einfachen Beispiel. Wir stellen uns eine Wandtafel mit einer Reihe von Büchern vor. Wenn man nun ein bestimmtes Buch sucht, beginnt man von links und prüft ein Buch nach dem anderen, ob es das gesuchte Buch ist. Wenn man Glück hat, ist es das erste, wenn man Pech hat, ist es das letzte Buch in der Reihe, oder es ist gar nicht da. Die Anzahl der notwendigen Schritte liegt also zwischen 1 und n , wenn n die Anzahl der Bücher auf der Wandtafel ist. Um verschiedene Algorithmen sinnvoll zu vergleichen, verwendet man immer den schlechtesten Fall

(Worst-Case-Komplexität) und sagt, dass die lineare Suche die Komplexität $O(n)$ hat.

Im nächsten Schritt stellen wir uns ein Regal vor, das n Bretter für Bücher enthält. Es gibt also

$n - n$ Bücher gibt, so dass im schlimmsten Fall n^2 Suchschritte erforderlich sind. Die Komplexität der Suche ist von der Ordnung $O(n^2)$. Gehen wir nun in eine Bibliothek, gibt es viele solcher Regale in einer Reihe, nehmen wir wieder an, dass es n Stücke gibt, ist die Komplexität der Suche nun gleich $O(n^3)$. Man kann sich aber auch ein sehr langes Wandregal vorstellen, in dem alle Bücher in einer Reihe stehen, und man verwendet denselben linearen Suchalgorithmus. Daher fassen wir alle diese Probleme in der Menge zusammen, für die die Laufzeit $t(n)$ eines Lösungsalgorithmus durch ein Polynom vom n -ten Grades begrenzt ist:

$$t(n) \leq n^k. \quad (6.4)$$

Polynomielle Zeit wird als Grenze zwischen praktisch lösbaren und praktisch unlösbaren Problemen angesehen. So steht es in allen Lehrbüchern, aber aufgrund der Entwicklung der Rechengeschwindigkeit kann dieses Theorem getrost gestrichen werden.

Ob ein bestimmtes Problem in polynomieller Zeit lösbar ist, ist nicht immer von Anfang an klar. So wurde beispielsweise für das Problem der Entscheidung, ob eine gegebene natürliche Zahl eine Primzahl ist, erst 2002 von Agrawal, Kayal und Saxena ein Algorithmus in polynomieller Zeit entwickelt (AKS-Primzahlentest). Das naive Verfahren, alle möglichen Teiler auszuprobieren, ist nicht in Polynomialzeit durchführbar. Im weiteren Verlauf des Textes wird ein konstruktiverer Standpunkt eingenommen. Es geht nur darum, ob das Problem auf einem gegebenen Computer in angemessener Zeit lösbar ist (wobei "angemessen" auch nicht sehr klar definiert ist).

Ein einfaches Beispiel soll zeigen, dass selbst bei einfachen Sachverhalten eine exponentielle Komplexität auftreten kann. Es sei eine Menge M mit drei Elementen gegeben:

$$M = \{a, b, c\}.$$

Aus irgendeinem Grund sind wir daran interessiert, die Potenzmenge von M zu bestimmen, d. h. die Menge der

alle Teilmengen. Das ist nicht schwierig.

a	b	c	Menge	
0	0	0	\emptyset	
1	0	0	$\{a\}$	I
0	1	0	$\{b\}$	
0	0	1	$\{c\}$	I
1	1	0	$\{a, b\}$	
1	0	1	$\{a, c\}$	
0	1	1	$\{b, c\}$	I
1	1	1	$\{a, b, c\}$	–

Sie bilden eine Matrix, in der jede Zeile vier Positionen hat. Die ersten drei Spalten sind den drei Elementen a , b und c zugeordnet, die letzte Spalte zeigt die durch die Zeile repräsentierte Menge. Der Wert 0 bedeutet, dass das Element nicht zu der Teilmenge gehört; der Wert

Die Zahl 1 bedeutet, dass es zur Teilmenge gehört. Da für jedes Element beide Möglichkeiten möglich sind, gibt es $2 \cdot 2 \cdot 2 = 2^3 = 8$ Möglichkeiten. Im wirklichen Leben kann man dies an einem Stammbaum sehen: Wenn man alle Unglücke und andere Abnormalitäten außer Acht lässt, hat man

- ein Kind,
- zwei Eltern,
- vier Großeltern,
- acht Urgroßeltern...
- sechzehn Ur-Ur-Großeltern, usw.

Hier sieht man also die gleichen Potenzen der Zahl 2 wie zuvor. Allgemeiner ausgedrückt: Die Potenzmenge einer Menge mit n Elementen enthält 2^n Elemente.

Wir betrachten die Funktion

$$f(a, b, c, d) = \overline{ab} \oplus (c \vee d).$$

Hier kommen vier Variablen mit möglichen Werten von 0 oder 1 vor. Eine Tabelle mit den Funktionswerten hat nun $2^4 = 16$ Zeilen. Die Größe der Tabellen für die Werte von binären (logischen) Funktionen wächst also ebenfalls exponentiell.

I	b	c	d	$f(a, b, c, d)$	$d \setminus I$
0	0	0	0	0	
a	0	0	1	1	
0	0	1	0	1	
0	0	1	1	1	
1	1	0	0	0	I
1	1	0	1	1	
1	1	1	0	1	I
1	1	1	1	1	
1	0	0	0	1	I
1	0	0	1	0	
	0	1	0	0	I
	0	1	1	0	
	1	0	0	0	I
1	1	0	1	1	
	1	1	0	1	I
1	1	1	1	1	I

Da im Bereich des Schaltungsentwurfs ausschließlich binäre Funktionen verwendet werden, stößt man dort immer wieder auf exponentielle Komplexität (Abb. 6.3).

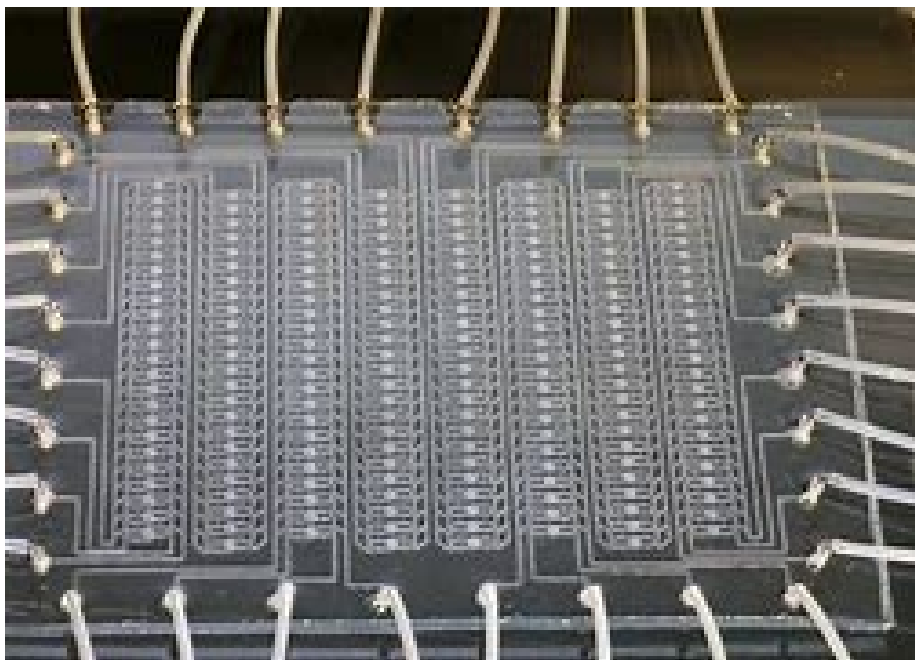


Abb. 6.3 Miniaturisierung von Schaltkreisen

Selbst im Alltag ist man mit exponentieller Komplexität konfrontiert, wie man am Stammbaum eines Menschen leicht erkennen kann (Abb. 6.4).

Ein wichtiges Merkmal von Problemen, die mit Mitteln und Methoden der künstlichen Intelligenz bearbeitet werden, ist, dass sie eine sehr hohe Komplexität aufweisen. Es ist nicht immer bekannt

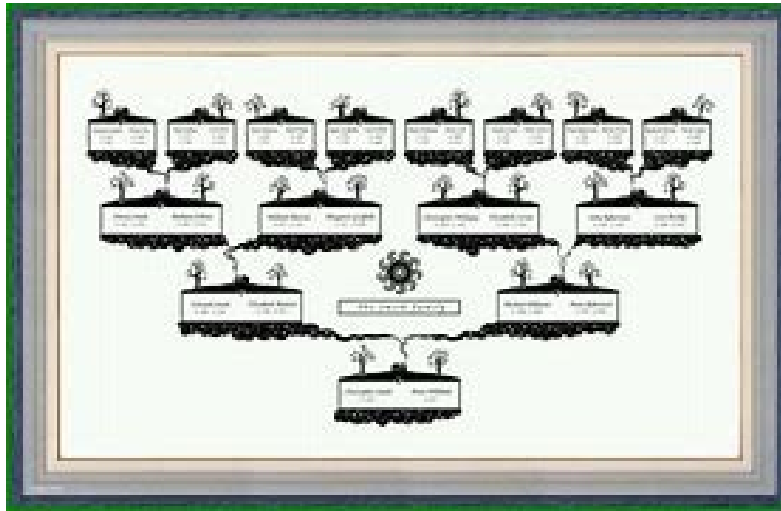


Abb. 6.4 Exponentiale Komplexität eines Stammbaums

welche Funktion die Komplexität beschreibt, in jedem Fall liegt sie weit über der Komplexität von Problemen, die von Menschen gelöst werden können.

6.3. Regeln und Zwänge

Unser Leben ist voll von Regeln [135].

- Am einfachsten ist es, mit den Naturwissenschaften und der Mathematik zu beginnen. Hier funktionieren die Regeln automatisch:

Wenn es regnet, wird die Erde nass.

- Andere Regeln ergeben sich aus den gesellschaftlichen Konventionen.

Die Menschen waschen sich vor dem Essen die Hände. Die Nichteinhaltung führt zu sozialer Ausgrenzung und Kritik.

- Eine weitere Gruppe von Regeln basiert auf dem Recht.

Auf diesem Platz ist das Parken nicht erlaubt.

Die Einhaltung der Vorschriften wird durch die Verhängung geringer, mittlerer oder schwerer Strafen bei Nichteinhaltung durchgesetzt.

- Jedes Spiel basiert auf Regeln.

Die älteste bekannte Gesetzessammlung im Wortlaut ist der "Codex Hammurabi" von König Hammurabi, der im 18. Jahrhundert vor Christus lebte. Das Ziel dieser Gesetze war Gerechtigkeit für alle. Generell haben viele Menschen darüber nachgedacht, was Gerechtigkeit eigentlich ist. Die griechischen Philosophen Platon und Aristoteles kamen etwa 1 400 Jahre später zu der Antwort: Gerechtigkeit bedeutet, Gleiches gleich zu behandeln. Die alten Griechen trugen vor allem zur Weiterentwicklung der Jurisprudenz bei [136].

Das Vertragsrecht ist besonders wichtig für Politik und Wirtschaft. Auf die Verbindung zwischen KI und Recht werden wir in einem eigenen Kapitel zurückkommen.

Das Ergebnis ist ein riesiges Beziehungsgeflecht, bei dem nur einzelne Teile separat durchschaut werden können. Nicht umsonst ziehen sich Gerichtsverfahren über Jahre hin. Erbstreitigkeiten können ganze Familien zerstören und vieles mehr. Und es gibt eine lange und interessante Geschichte, wie solche Regelsysteme geschaffen, eingeführt oder durchgesetzt werden. Leider folgen auch sie nicht immer humanen und korrekten Grundsätzen. Auf jeden Fall kann man sofort erkennen, dass dies das nächste äußerst komplexe Thema ist.

In der Mathematik und den Naturwissenschaften wird die Implikation als eine Funktion zur Formalisierung der Anwendung von Regeln definiert. Linguistisch wird die Implikation durch ein

Auswirkung			
x	y	$x \rightarrow y$	$\bar{x} \vee y$
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	1	1	1

Satz mit der Struktur "wenn Annahme dann Schlussfolgerung".

Wenn man eine Regel als gültig annimmt und die Annahme wahr ist, dann erhält man mit Sicherheit eine wahre Schlussfolgerung, über die man nicht weiter nachdenken muss! Wenn die Prämisse nicht erfüllt ist ($x = 0$), dann darf die Regel nicht angewendet werden.

Eine wissenschaftliche Arbeitsweise besteht darin, dass man eine Reihe von Regeln anwendet und eine Reihe von wahren

Sätzen. Die Anwendung der Regeln führt zu neuen wahren Sätzen, die man der Menge der wahren Sätze hinzufügt, die man bereits hat. Man setzt diesen Prozess fort, bis man ein bestimmtes Ziel erreicht hat.

Und natürlich ist es fraglich, ob ein Satz mit Hilfe der Prämissen wirklich bewiesen werden kann und ob der Beweis auch korrekt ist. Ein berühmtes Beispiel ist der Beweis des letzten Satzes von Fermat durch Andrew Wiles.

Theorem. Keine drei positiven ganzen Zahlen a , b , und c können die Gleichung erfüllen

$$^na + b^n = c^n \quad (6.5)$$

wenn n eine ganze Zahl größer als zwei ist ($n > 2$).

Eine Übersicht über den Beweis findet sich z. B. in [138].

Die Implikation kann mit Hilfe von Disjunktion und Negation ausgedrückt werden:

$$(x \rightarrow y) = (\bar{x} \vee y). \quad (6.6)$$

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

Wenn $x = 0$, d. h. die Annahme ist falsch, aber die Implikation ist wahr und hängt nicht von x ab. Aus einer Prämisse und ihrer Umkehrung ziehen zwei Parteien die gleiche Schlussfolgerung. Was

ist die Auswirkung einer solchen Situation? Die Anwendung dieser Regel ist in dem gegebenen Kontext ohne Bedeutung, die Regel kann übersprungen werden.

Wenn korrekte Annahmen verwendet werden, sollte die Zahl der richtigen Schlussfolgerungen zunehmen.

6.4. Axiome

Insbesondere in der Mathematik ist es üblich, die kleinstmögliche Menge von Aussagen ohne Beweis an die Spitze zu stellen und alles andere daraus abzuleiten. Diese Aussagen werden als Axiome bezeichnet. Ein Axiom, Postulat oder eine Annahme ist eine Aussage, die als wahr angenommen wird und als Prämisse oder Ausgangspunkt für weitere Überlegungen und Argumente dient.

Die genaue Definition variiert je nach Fachgebiet. In der klassischen Philosophie ist ein Axiom eine Aussage, die so offensichtlich oder gut etabliert ist, dass sie ohne Kontroverse oder Frage akzeptiert wird. In der modernen Logik ist ein Axiom eine Prämisse oder ein Ausgangspunkt für Schlussfolgerungen.

In der Mathematik kann ein Axiom ein "logisches Axiom" oder ein "nicht-logisches Axiom" sein. Logische Axiome gelten innerhalb des von ihnen definierten logischen Systems als wahr und werden oft in symbolischer Form dargestellt (z. B. $(A \wedge B) \rightarrow A$), während nicht-logische Axiome (z. B. $a + b = b + a$) sind inhaltliche Aussagen über die Elemente des Bereichs einer bestimmten mathematischen Theorie, wie z. B. die Arithmetik.

Nicht-logische Axiome können auch als "Postulate" oder "Annahmen" bezeichnet werden. In den meisten Fällen ist ein nicht-logisches Axiom einfach ein formaler logischer Ausdruck, der bei der Deduktion zum Aufbau einer mathematischen Theorie verwendet wird, und kann, muss aber nicht selbstverständlich sein (z. B. das Parallelitätspostulat in der euklidischen Geometrie). Ein Wissenssystem zu axiomatisieren bedeutet zu zeigen, dass seine Aussagen aus einer kleinen, wohlverstandenen Menge von Sätzen (den Axiomen) abgeleitet werden können, und in der Regel gibt es viele Möglichkeiten, einen bestimmten mathematischen Bereich zu axiomatisieren.

Jedes Axiom ist eine Aussage, die als Ausgangspunkt dient, von dem aus andere Aussagen logisch abgeleitet werden. Ob es sinnvoll ist (und wenn ja, was es bedeutet), dass ein Axiom wahr ist, ist Gegenstand von Diskussionen in der Philosophie der Mathematik.

Die logisch-deduktive Methode, bei der die Schlussfolgerungen (neues Wissen) aus den Prämissen (altes Wissen) durch die Anwendung stichhaltiger Argumente (Syllogismen, Folgerungsregeln) folgen, wurde von den alten Griechen entwickelt und ist zum Grundprinzip der modernen Mathematik geworden. Tautologien sind ausgeschlossen, nichts kann abgeleitet werden, wenn nichts vorausgesetzt wird. Axiome und Postulate sind somit die Grundannahmen, die einem bestimmten Bestand an deduktivem Wissen zugrunde liegen. Sie werden ohne Beweis akzeptiert. Alle anderen Behauptungen (Theoreme, im Falle der Mathematik) müssen mit Hilfe dieser

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

Grundannahmen bewiesen werden. Die Interpretation des mathematischen Wissens hat sich jedoch von der Antike bis in die Neuzeit verändert, und daher haben die Begriffe Axiom und Postulat für den heutigen Mathematiker eine etwas andere Bedeutung als für Aristoteles und Euklid.

Die alten Griechen betrachteten die Geometrie als eine von mehreren Wissenschaften und stellten die Theoreme der Geometrie auf eine Stufe mit wissenschaftlichen Fakten. Als solche entwickelten und verwendeten sie die logisch-deduktive Methode als Mittel zur Vermeidung von Irrtümern und zur Strukturierung und Vermittlung von Wissen. Aristoteles' posteriore Analytik ist eine maßgebliche Darlegung der klassischen Auffassung.

Am Anfang der verschiedenen Wissenschaften standen bestimmte zusätzliche Hypothesen, die ohne Beweis akzeptiert wurden. Eine solche Hypothese wurde als Postulat bezeichnet. Während die Axiome vielen Wissenschaften gemeinsam waren, waren die Postulate jeder einzelnen Wissenschaft unterschiedlich. Ihre Gültigkeit musste durch reale Erfahrungen nachgewiesen werden. Aristoteles warnt davor, dass der Inhalt einer Wissenschaft nicht erfolgreich vermittelt werden kann, wenn der Lernende Zweifel an der Wahrheit der Postulate hat.

Der klassische Ansatz wird durch Euklids Elemente gut veranschaulicht, in denen eine Liste von Postulaten (geometrische Tatsachen, die aus unserer Erfahrung stammen) gegeben wird, gefolgt von einer Liste allgemeiner Begriffe (sehr grundlegende, selbstverständliche Behauptungen).

- Es ist möglich, eine gerade Linie von einem beliebigen Punkt zu einem beliebigen anderen Punkt zu ziehen.
- Es ist möglich, ein Liniensegment kontinuierlich in beide Richtungen zu verlängern.
- Es ist möglich, einen Kreis mit beliebigem Mittelpunkt und beliebigem Radius zu beschreiben.
- Es ist wahr, dass alle rechten Winkel einander gleich sind.
- (Paralleles Postulat) Es ist wahr, dass, wenn eine Gerade, die auf zwei Geraden fällt, die Innenwinkel auf derselben Seite kleiner als zwei rechte Winkel macht, die beiden Geraden, wenn sie auf unbestimmte Zeit erzeugt werden, sich auf der Seite schneiden, auf der die Winkel kleiner als die beiden rechten Winkel sind.

Durch kleine Änderungen im Axiomensystem kann man ein neues Teilgebiet der Mathematik definieren. Ein eindrucksvolles Beispiel ist die Definition der nicht-euklidischen Geometrie. Die nicht-euklidische Geometrie entsteht durch die Ersetzung des Parallelpostulats durch ein alternatives Postulat. In diesem Fall erhält man eine hyperbolische Geometrie und eine elliptische Geometrie.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts kam es schließlich zu entscheidenden Schritten bei der Entstehung der nichteuklidischen Geometrie. Um 1813 hatten Carl Friedrich Gauß und unabhängig davon um 1818 der deutsche Juraprofessor Ferdinand Karl Schweikart die grundlegenden Ideen der nichteuklidischen Geometrie ausgearbeitet, aber keiner von beiden veröffentlichte Ergebnisse. Schweikarts Neffe Franz Taurinus veröffentlichte zwar in zwei Abhandlungen 1825 und 1826 wichtige Ergebnisse der hyperbolischen Trigonometrie, räumte aber die innere Konsistenz der hyperbolischen

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

Geometrie ein, glaubte aber weiterhin an die besondere Rolle der euklidischen Geometrie.

In den Jahren 1829-1830 veröffentlichten der russische Mathematiker Nikolai Iwanowitsch Lobatschewski und 1832 der ungarische Mathematiker János Bolyai unabhängig voneinander Abhandlungen über hyperbolische Geometrie. Folglich ist die hyperbolische Geometrie

Diese Geometrie wird Lobatschewskische oder Bolyai-Lobatschewskische Geometrie genannt, da beide Mathematiker, unabhängig voneinander, die grundlegenden Autoren der nicht-euklidischen Geometrie sind. Gauß erwähnte gegenüber Bolyais Vater, als er ihm die Arbeit des jüngeren Bolyai zeigte, dass er einige Jahre zuvor eine solche Geometrie entwickelt hatte, die er jedoch nicht veröffentlichte. Während Lobachevsky eine nicht-euklidische Geometrie schuf, indem er das Parallelpostulat negierte, erarbeitete Bolyai eine Geometrie, in der sowohl die euklidische als auch die hyperbolische Geometrie möglich sind, abhängig von einem Parameter k . Bolyai beendet seine Arbeit mit dem Hinweis, dass es nicht möglich ist, allein durch mathematische Überlegungen zu entscheiden, ob die Geometrie des physikalischen Universums euklidisch oder nicht-euklidisch ist; dies ist eine Aufgabe für die Naturwissenschaften. Bernhard Riemann begründete 1854 in einer berühmten Vorlesung das Gebiet der Riemannschen Geometrie und erörterte insbesondere die Ideen, die heute als Mannigfaltigkeiten, Riemannsche Metrik und Krümmung bezeichnet werden. Er konstruierte eine unendliche Familie von nicht-euklidischen Geometrien, indem er eine Formel für eine Familie von Riemannschen Metriken auf der Einheitskugel im euklidischen Raum aufstellte. Die einfachste dieser Geometrien wird als elliptische Geometrie bezeichnet und gilt als nicht-euklidische Geometrie. Geometrie, da es keine parallelen Linien gibt.

Durch die Formulierung der Geometrie in Form eines Krümmungstensors ermöglichte Riemann die Anwendung der nicht-euklidischen Geometrie auf höhere Dimensionen. Beltrami (1868) war der erste, der die Riemannsche Geometrie auf Räume mit negativer Krümmung anwendete.

Es war Gauß, der den Begriff der *nicht-euklidischen Geometrie* prägte. Er bezog sich damit auf seine eigene Arbeit, die wir heute als hyperbolische Geometrie oder Lobatschewskische Geometrie bezeichnen. Mehrere moderne Autoren verwenden immer noch den Oberbegriff nicht-euklidische Geometrie für die hyperbolische Geometrie.

Arthur Cayley stellte fest, dass der Abstand zwischen Punkten innerhalb eines Kegels mit Hilfe des Logarithmus und der projektiven Kreuzverhältnisfunktion definiert werden kann. Diese Methode wurde als Cayley-Klein-Metrik bezeichnet, weil Felix Klein sie zur Beschreibung der nicht-euklidischen Geometrien in Artikeln von 1871 und 1873 und später in Buchform nutzte. Die Cayley-Klein-Metriken lieferten Arbeitsmodelle für hyperbolische und elliptische metrische Geometrien sowie für die euklidische Geometrie.

Klein ist verantwortlich für die Begriffe *hyperbolisch* und *elliptisch* (in seinem System nannte er die euklidische Geometrie parabolisch, ein Begriff, der im Allgemeinen nicht mehr verwendet wird). Sein Einfluss hat dazu geführt, dass der Begriff nicht-euklidische Geometrie heute entweder für hyperbolische oder elliptische Geometrie verwendet wird.

Die euklidische Geometrie kann auf verschiedene Weise axiomatisch beschrieben werden. Leider gehört Euklids ursprüngliches System von fünf Postulaten (Axiomen) nicht dazu, da seine Beweise auf mehreren unbestätigten Annahmen beruhten, die ebenfalls als Axiome hätten gelten müssen. Hilberts System, das aus 20 Axiomen

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

besteht, kommt dem Ansatz von Euklid am nächsten und liefert die Begründung für alle Beweise von Euklid. Andere Systeme, die andere Mengen von unbestimmten Begriffen verwenden, kommen auf unterschiedlichen Wegen zur gleichen Geometrie. Alle Ansätze haben jedoch ein Axiom, das dem fünften Postulat von Euklid, dem Parallelitätspostulat, logisch gleichwertig ist. Hilbert verwendet die Form des Playfair-Axioms, während Birkhoff zum Beispiel das Axiom verwendet, das besagt, dass *es ein Paar ähnlicher, aber nicht kongruenter Dreiecke gibt*. In jedem dieser Systeme ist die Streichung des einen Axioms gleichbedeutend mit dem Parallelitätspostulat,

in welcher Form auch immer, und unter Beibehaltung aller anderen Axiome, ergibt sich die absolute Geometrie. Da die ersten 28 Sätze von Euklid (in den Elementen) nicht die Verwendung des Parallelpostulats oder etwas Gleichwertiges erfordern, sind sie alle wahre Aussagen in der absoluten Geometrie.

Um eine nicht-euklidische Geometrie zu erhalten, muss das Parallelpostulat (oder seine Entsprechung) durch seine Negation ersetzt werden. Die Negation des Playfair'schen Axioms, das eine zusammengesetzte Aussage ist (... es gibt eine und nur eine ...), kann auf zwei Arten erfolgen:

Entweder gibt es mehr als eine Linie durch den Punkt, die parallel zu der gegebenen Linie verläuft, oder es gibt keine Linien durch den Punkt, die parallel zu der gegebenen Linie verlaufen. Ersetzt man im ersten Fall das Parallelitätspostulat (oder sein Äquivalent) durch die Aussage *In einer Ebene gibt es bei einem Punkt P und einer Linie l , die nicht durch P verläuft, zwei Linien durch P , die l nicht treffen*, und behält alle anderen Axiome bei, so erhält man die hyperbolische Geometrie. Der zweite Fall ist nicht so einfach zu lösen. Ersetzt man das Parallelitätspostulat einfach durch die Aussage, dass *in einer Ebene bei einem Punkt P und einer Linie l , die nicht durch P geht, alle Linien durch P l treffen*, so erhält man keinen konsistenten Satz von Axiomen. Dies folgt daraus, dass es in der absoluten Geometrie parallele Linien gibt, aber diese Aussage besagt, dass es keine parallelen Linien gibt. Dieses Problem war (in anderer Form) Khayyam, Saccheri und Lambert bekannt und war die Grundlage für ihre Ablehnung des so genannten *stumpfen Winkels*. Um einen konsistenten Satz von Axiomen zu erhalten, der dieses Axiom über das Fehlen paralleler Linien enthält, müssen einige andere Axiome angepasst werden. Diese Anpassungen hängen von dem verwendeten Axiomensystem ab. Diese Anpassungen haben unter anderem zur Folge, dass Euklids zweites Postulat von der Aussage, dass Liniensegmente unbegrenzt verlängert werden können, zu der Aussage geändert wird, dass Linien unbegrenzt sind. Die elliptische Geometrie von Riemann erweist sich als die natürlichste Geometrie, die dieses Axiom erfüllt.

Auf einer Kugel ist die Summe der Winkel eines Dreiecks nicht gleich 180° . Die Oberfläche einer Kugel ist kein euklidischer Raum, aber lokal sind die Gesetze der euklidischen Geometrie gute Näherungen. In einem kleinen Dreieck auf der Erdoberfläche beträgt die Summe der Winkel fast 180° . Modelle der nichteuklidischen Geometrie sind mathematische Modelle von Geometrien, die in dem Sinne nichteuklidisch sind, dass nicht genau eine Linie parallel zu einer gegebenen Linie l durch einen Punkt gezogen werden kann, der nicht auf l liegt. In hyperbolischen geometrischen Modellen gibt es dagegen unendlich viele Linien durch A , die parallel zu l verlaufen, und in elliptischen geometrischen Modellen gibt es keine parallelen Linien.

Die euklidische Geometrie wird durch unsere Vorstellung von einer *ebenen Fläche* modelliert. Das einfachste Modell für die elliptische Geometrie ist eine Kugel, in der Linien *Großkreise* sind (wie der Äquator oder die Meridiane auf einem Globus) und einander gegenüberliegende Punkte identifiziert (als gleich angesehen) werden. Die Pseudosphäre hat die geeignete Krümmung, um die hyperbolische Geometrie zu modellieren.

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

Wir stellen hier fest, dass diese Axiomensysteme für die Geometrie verzweigt sind.

Bis in die 1970er Jahre war es völlig selbstverständlich, dass Beweise aus logischen Schritten bestehen sollten, die sich dem zu beweisenden Ziel nähern. Doch plötzlich kamen Computer ins Spiel. Ihre hohe Geschwindigkeit machte es unmöglich, die Schritte einzeln nachzuvollziehen; es zählte nur noch das Ergebnis. Dies war unter Mathematikern zunächst umstritten, aber da eine korrekte

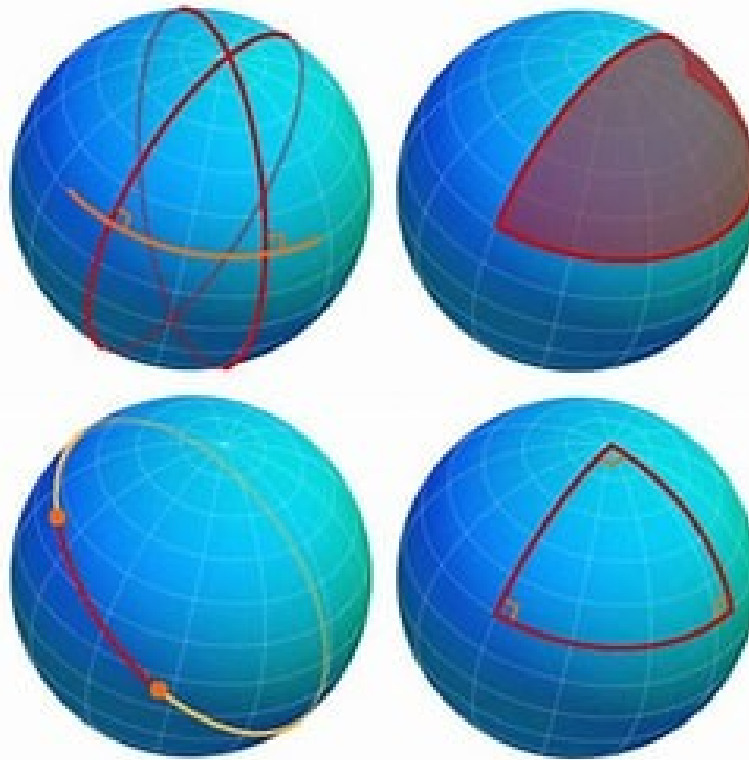


Abb. 6.5 Nicht-euklidische Geometrie auf einer Kugel

Ergebnis im Auge behalten wurde, wurden solche Nachweise später ohne Probleme akzeptiert.

In der Mathematik besagt das Vier-Farben-Theorem oder das Vier-Farben-Karten-Theorem, dass nicht mehr als vier Farben erforderlich sind, um die Regionen einer beliebigen Karte so zu färben, dass keine zwei benachbarten Regionen die gleiche Farbe haben. Angrenzend bedeutet, dass zwei Regionen ein gemeinsames Grenzkurvensegment haben, nicht nur eine Ecke, an der drei oder mehr Regionen zusammentreffen. Es war das erste wichtige Theorem, das mit Hilfe eines Computers bewiesen werden konnte. Ursprünglich wurde dieser Beweis nicht von allen Mathematikern akzeptiert, weil der computergestützte Beweis für einen Menschen nicht von Hand überprüfbar war. Seitdem hat der Beweis eine breite Akzeptanz gefunden, auch wenn es noch einige Zweifler gibt.

Das Vier-Farben-Theorem wurde 1976 von Kenneth Appel und Wolfgang Haken nach vielen falschen Beweisen und Gegenbeispielen bewiesen (im Gegensatz zum Fünf-Farben-Theorem, das in den 1800er Jahren bewiesen wurde und besagt, dass fünf Farben ausreichen, um eine Karte einzufärben). Um alle verbleibenden Zweifel am Appel-Haken-Beweis zu zerstreuen, wurde 1997 von Robertson, Sanders, Seymour und Thomas ein einfacherer Beweis veröffentlicht, der auf denselben Ideen beruht und sich immer noch auf Computer stützt. Im Jahr 2005 wurde das Theorem auch von Georges Gonthier mit einer allgemeinen Software zum Beweisen von Theoremen bewiesen.

Die intuitive Aussage des Vier-Farben-Satzes - *bei einer beliebigen Aufteilung einer Ebene in zusammenhängende Regionen können die Regionen mit höchstens vier Farben eingefärbt werden, so dass keine zwei benachbarten Regionen die gleiche Farbe haben* - muss entsprechend interpretiert werden, um korrekt zu sein.

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

Erstens sind Regionen benachbart, wenn sie ein gemeinsames Grenzsegment haben; zwei Regionen, die sich

nur isolierte Grenzpunkte werden nicht als benachbart betrachtet. (Andernfalls würde eine Karte in Form eines Tortendiagramms eine beliebig große Anzahl von Regionen an einer gemeinsamen Ecke "aneinandergrenzen" und somit eine beliebig große Anzahl von Farben erfordern.) Zweitens sind bizarre Regionen, z. B. solche mit endlicher Fläche, aber unendlich langem Umfang, nicht erlaubt; Karten mit solchen Regionen können mehr als vier Farben erfordern. (Um sicher zu gehen, können wir uns auf Regionen beschränken, deren Grenzen aus endlich vielen geraden Liniensegmenten bestehen. Es ist erlaubt, dass eine Region Enklaven hat, d.h. sie umschließt eine oder mehrere andere Regionen vollständig). Beachten Sie, dass der Begriff der *zusammenhängenden Region* (technisch gesehen: zusammenhängende offene Teilmenge der Ebene) nicht mit dem eines *Landes* auf regulären Karten übereinstimmt, da Länder nicht unbedingt zusammenhängend sein müssen (sie können Exklaven haben, z. B. sind die Provinz Cabinda als Teil von Angola, Nakhchivan als Teil von Aserbaidschan, Kaliningrad als Teil von Russland, Frankreich mit seinen Überseegebieten und Alaska als Teil der Vereinigten Staaten nicht zusammenhängend). Würde man verlangen, dass das gesamte Gebiet eines Landes die gleiche Farbe erhält, so wären vier Farben nicht immer ausreichend[152].

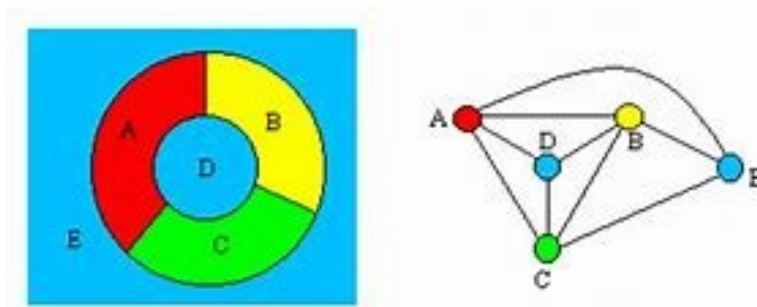


Abb. 6.6 Das Vier-Farben-Problem

Aber auch die Überprüfbarkeit eines Beweises durch Menschen hat ihre Tücken. Dies zeigen die Ergebnisse von A. Wiles beim Beweis des Großen Satzes von Fermat. In der Zahlentheorie besagt Fermats letzter Satz (manchmal auch Fermats Vermutung genannt, insbesondere in älteren Texten), dass keine drei positiven ganzen Zahlen a , b und c die Gleichung

$a^n + b^n = c^n$ für jeden ganzzahligen Wert von n größer als 2. Für die Fälle $n = 1$ und $n = 2$ ist seit der Antike bekannt, dass es unendlich viele Lösungen gibt.

Der Satz wurde erstmals von Pierre de Fermat um 1637 **a m** Rand einer Ausgabe der Arithmetica als Theorem formuliert. Fermat fügte hinzu, er habe einen Beweis, der zu groß sei, um in den Rand zu passen. Obwohl andere Aussagen, die Fermat ohne Beweis behauptete, später von anderen bewiesen und als Theoreme von Fermat anerkannt wurden (z. B. Fermats Satz über die Summen zweier Quadrate), widerstand Fermats letzter Satz dem Beweis, was zu Zweifeln führte, dass Fermat jemals einen korrekten Beweis hatte. Folglich wurde der Satz als Vermutung und nicht als Theorem bekannt. Nach 358 Jahren der Bemühungen von Mathematikern wurde der erste erfolgreiche Beweis 1994 von Andrew Wiles vorgelegt und 1995 offiziell

veröffentlicht. In der Begründung für die Verleihung des Abel-Preises an Wiles im Jahr 2016 wurde er als erstaunlicher Fortschritt bezeichnet. Er bewies auch einen Großteil der Taniyama-Shimura-Vermutung, die später als Modularitätstheorem bekannt wurde, und eröffnete ganze

neue Ansätze für zahlreiche andere Probleme und mathematisch leistungsfähige Techniken zur Aufhebung der Modularität.

Das ungelöste Problem regte die Entwicklung der algebraischen Zahlentheorie im 19. und 20. Jahrhundert an. Es gehört zu den bemerkenswertesten Theoremen in der Geschichte der Mathematik und stand vor seinem Beweis im Guinness-Buch der Rekorde als "schwierigstes mathematisches Problem", unter anderem, weil das Theorem die größte Anzahl erfolgloser Beweise aufweist.

Ab Mitte 1986 wurde aufgrund der sukzessiven Fortschritte der vorangegangenen Jahre von Gerhard Frey, Jean-Pierre Serre und Ken Ribet klar, dass Fermats letzter Satz als Korollar einer begrenzten Form des Modularitätstheorems bewiesen werden konnte (damals unbewiesen und damals als "Taniyama-Shimura-Weil-Vermutung" bekannt). Das Modularitäts-Theorem bezog sich auf elliptische Kurven, die auch Wiles' Spezialgebiet waren.

Die Vermutung wurde von den zeitgenössischen Mathematikern als wichtig, aber außerordentlich schwierig oder vielleicht unmöglich zu beweisen angesehen.

Trotzdem beschloss Wiles, der schon seit seiner Kindheit von Fermats letztem Theorem fasziniert war, sich der Herausforderung zu stellen, die Vermutung zu beweisen, zumindest in dem für die Frey-Kurve erforderlichen Umfang. Mehr als sechs Jahre lang widmete er seine gesamte Forschungszeit diesem Problem in nahezu völliger Geheimhaltung, wobei er seine Bemühungen dadurch verbarg, dass er frühere Arbeiten in kleinen Abschnitten als separate Papiere veröffentlichte. Im Juni 1993 stellte er seinen Beweis auf einer Konferenz in Cambridge zum ersten Mal der Öffentlichkeit vor.

Am Montag, Dienstag und Mittwoch hielt er täglich eine Vorlesung mit dem Titel *Modular Forms, Elliptic Curves and Galois Representations*. Der Titel enthielt keinen Hinweis darauf, dass der letzte Satz von Fermat behandelt werden würde, so Dr. Ribet. Schließlich, am Ende seiner

In der dritten Vorlesung kam Dr. Wiles zu dem Schluss, dass er einen allgemeinen Fall der Taniyama-Vermutung bewiesen habe. Dann bemerkte er scheinbar im Nachhinein, dass dies bedeute, dass Fermats letzter Satz wahr sei. q.e.d.

Im August 1993 wurde entdeckt, dass der Beweis in einem Bereich einen Fehler aufwies. Wiles versuchte über ein Jahr lang erfolglos, seinen Beweis zu reparieren. Laut Wiles kam ihm am 19. September 1994, als er kurz davor war, aufzugeben, die entscheidende Idee, diesen Bereich zu umgehen, anstatt ihn zu schließen. Zusammen mit seinem ehemaligen Studenten Richard Taylor veröffentlichte er eine zweite Arbeit, die das Problem umging und damit den Beweis vervollständigte. Beide Arbeiten wurden im Mai 1995 in einer eigenen Ausgabe der *Annals of Mathematics* veröffentlicht.

Die Probleme mit dem Beweis der *abc-Vermutung* waren noch schwieriger. Die *abc-Vermutung* bezieht sich auf numerische Ausdrücke der Art $a + b = c$. Die Aussage, die es in mehreren leicht unterschiedlichen Versionen gibt, betrifft die Primzahlen, die Jede ganze Zahl lässt sich im Wesentlichen eindeutig als Produkt von Primzahlen ausdrücken, d. h. von Zahlen, die sich nicht weiter in kleinere ganze Zahlen zerlegen lassen: z. B. $15 = 3 \times 5$ oder $84 = 2 \times 2 \times 3 \times 7$. Im Prinzip haben die Primfaktoren von

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

a und b keine Verbindung zu denen ihrer Summe c. Aber die abc-Vermutung verbindet sie miteinander. Sie setzt grob gesagt voraus,

dass, wenn viele kleine Primzahlen a und b teilen, nur wenige große Primzahlen c teilen.

Die Veröffentlichung des Korrekturabzugs umfasste 520 Seiten und ist noch nicht vollständig bestätigt.

6.5. Auffinden von Widersprüchen - Inkonsistenz Beweise

Wenn sehr viele Regeln gleichzeitig gelten sollen, ist es eine außerordentlich schwierige Aufgabe festzustellen, ob dies überhaupt zu etwas führt. Es kann sein, dass keine Anwendung der Regeln zu etwas Wahrem führt.

Viele populäre Antinomien und Paradoxien beziehen sich nicht auf ein Kalkül, sondern beruhen auf intuitiven, undurchsichtigen, unerlaubten Denkweisen. Deshalb ist es wichtig, das logische Denken in Kalkülen zu regeln; erst dann werden die inkonsistenten Schritte, die zu Paradoxien führen, deutlich sichtbar, zum Beispiel im Lügnerparadoxon: "Dieser Satz ist falsch." Der Satz ist genau dann wahr, wenn er falsch ist.

In der Logik gelingt der Beweis des Nicht-Widerspruchs erst im 20. David Hilbert (Abb. 6.7) veröffentlichte ab 1918 sein Programm zum Beweis der Widerspruchsfreiheit der Arithmetik; er skizzierte dazu Methoden, die anspruchsvoller sind, weil Widersprüche für alle möglichen Ableitungen ausgeschlossen werden müssen.

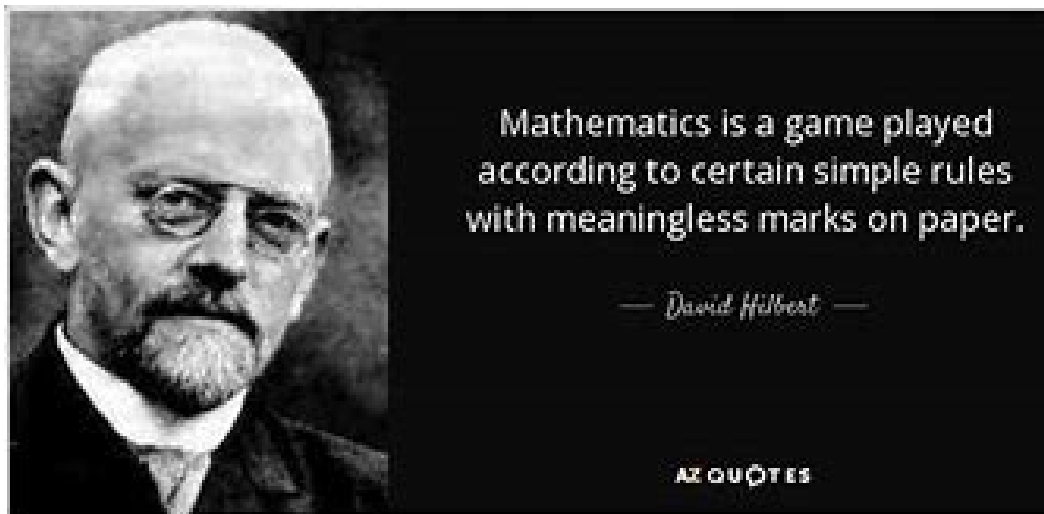


Abb. 6.7 David Hilbert (1862 - 1943)

Dies ist eine ganz grundlegende Erkenntnis von großer Bedeutung. Solange die Aussagen klar definiert und durch propositionale Operatoren verknüpft sind, bewegt man sich auf der sicheren Seite! Daher sind logische Funktionen und Gleichungen ein Kernbereich der künstlichen Intelligenz [8].

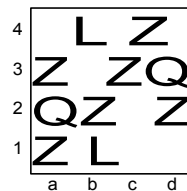
Im täglichen Geschäftsleben ist es immer notwendig, alle einbezogenen Objekte und die entsprechenden Gesetze und Regeln so genau wie möglich zu definieren.

6.6. Probleme aus Kombinatorik

Viele Probleme, die einen kombinatorischen Charakter haben, werden durch Regeln definiert, manchmal sehen sie wie ein Spiel aus. Wenn die Implikationen in Disjunktionen umgewandelt werden, verschwinden die klassischen Suchalgorithmen, und sie können durch logische Gleichungen gelöst werden. Dies ist sehr typisch für die Ergebnisse der Künstlichen Intelligenz, einige Bereiche werden vollständig durch andere Methoden ersetzt.

Beispiel. Wir nehmen ein Schachbrett der Größe 4×4 (Abb. 6.8). Wir wollen vier Damen auf diesem Brett so positionieren, dass keine eine andere bedroht. Wir wissen, dass eine Königin

bewegen sich horizontal, vertikal und diagonal, so dass es in jeder Horizontalen, jeder Vertikalen und jeder Diagonalen nur eine Dame geben darf. Dies kann durch Regeln ausgedrückt werden: $a_1 = 1$ drückt aus, dass sich eine Dame auf diesem Feld befindet, $a_1 = 0$, dass sich keine Dame auf diesem Feld befindet



6.8 Vier Damen auf einem Schachbrett, die sich nicht

gegenseitig bedrohen Dann können die folgenden Gleichungen

aufgestellt werden:

1. Für jede Vertikale schreiben Sie die Möglichkeiten auf, die Sie haben:

$$a_1 \vee a_2 \vee a_3 \vee a_4.$$

In der ersten Reihe a kann die Dame auf einem der vier Felder a1, a2, a3 oder a4 stehen.

2. Man formuliert die Bedingungen, die unzulässige Lösungen ausschließen:

$$\begin{aligned} & \overline{a_1} \overline{a_2} \overline{a_3} \overline{a_4} \vee \overline{a_2} \overline{a_1} \overline{a_3} \overline{a_4} \vee \overline{a_3} \overline{a_1} \overline{a_2} \overline{a_4} \vee \overline{a_4} \overline{a_1} \overline{a_2} \overline{a_3} \\ & \vee \overline{a_1} \overline{b_1} \overline{c_1} \overline{d_1} \vee \overline{a_2} \overline{b_2} \overline{c_2} \overline{d_2} \vee \overline{a_3} \overline{b_3} \overline{c_3} \overline{d_3} \vee \overline{a_4} \overline{b_4} \overline{c_4} \overline{d_4} \\ & \vee \overline{a_1} \overline{b_2} \overline{c_3} \overline{d_4} \vee \overline{a_2} \overline{b_1} \overline{b_3} \overline{c_4} \vee \overline{a_3} \overline{b_2} \overline{c_1} \overline{b_4} \vee \overline{a_4} \overline{b_3} \overline{c_2} \overline{d_1}. \end{aligned}$$

Eine Dame auf a1 verhindert also eine Dame auf einem der Felder a2, a3, a4 b1, c1, d1, b2, c3, d4.

Analog verfährt man mit den anderen Senkrechten b, c und d. Die Konjunktionen für eine Senkrechte sind durch \vee verbunden, die Senkrechten selbst sind durch \wedge verbunden. Wir erhalten also eine Gleichung

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

*dis junction*₁ \wedge *dis junction*₂ \wedge *dis junction*₃ \wedge *dis junction*₄ = 1.

. Wenn wir die Darstellung als Matrix verwenden, ist die Lösung fast gegeben.

Lösungsraum für das Problem mit vier Königinnen															
a1	a2	a3	a4	b1	b2	b3	b4	c1	c2	c3	c4	d1	d2	d3	d4
1	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	-	0
0	1	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-	0	-	-
0	0	1	0	-	0	0	0	0	-	0	-	-	-	0	-
0	0	0	1	-	-	0	0	-	0	-	0	0	-	-	0
0	0	-	-	1	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0	-
0	0	0	-	0	1	0	0	0	0	0	-	-	0	-	0
-	0	0	0	0	0	1	0	-	0	0	0	0	-	0	-
-	-	0	0	0	0	0	1	-	-	0	0	-	0	-	0
0	-	0	0	0	-	-	-	1	0	0	0	0	0	-	-
-	0	-	0	0	0	0	-	0	1	0	0	0	0	0	-
0	-	0	-	-	0	0	0	0	0	1	0	-	0	0	0
-	0	-	0	-	-	0	0	0	0	0	1	-	-	0	0
0	-	-	0	0	-	0	-	0	0	-	-	1	0	0	0
-	0	-	-	-	0	-	0	0	0	0	-	0	1	0	0
-	-	0	-	0	-	0	-	-	0	0	0	0	0	1	0
0	-	-	0	-	0	-	0	-	-	0	0	0	0	0	1

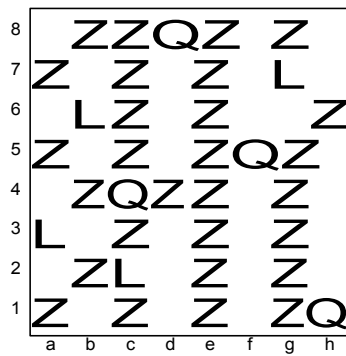
Die Symbole einer Zeile haben eine sehr anschauliche Bedeutung; der Wert 1 kommt in jeder Zeile nur einmal vor und zeigt die Stellung einer Dame an. Der Wert 0 zeigt die Felder an, die durch die Stellung der Dame nicht mehr verfügbar sind. Die Stellungen der Dame auf b2, b3, c2 und c3 lassen nur vier Felder offen, alle anderen Stellungen erlauben noch die Besetzung oder Nichtbesetzung von sechs Feldern.

Verwendet man ein entsprechendes Lösungsprogramm ([11]), so ist dies eine einfache Angelegenheit. Die Suche nach einer Lösung kann sogar von Hand erfolgen.

- Dame auf a1: die nächste Möglichkeit ist eine Dame auf b3; damit kann man nichts auf das senkrechte c stellen.
- Dame auf a2: Die nächste Möglichkeit ist eine Dame auf b4; dadurch ist man an c1 und a3 gebunden und erhält die in Abb. 5.6 gezeigte Lösung.
- Spiegelbildlich erhält man die zweite Lösung Qa3 - Qb1 - Qc4 - Qd1.
- Weitere Möglichkeiten gibt es nicht.

Nach dieser Methode kann man dies auf Schachbretter jeder Größe ausdehnen (Abb. 6.9). Auch Modifikationen des Problems sind möglich (Abb. 6.10).

Man vermutet, dass es keine Lösung mit einer Dame auf a1 oder a2 gibt. Aus Gründen der Symmetrie werden auch die Felder a7 und a8 weggelassen. Eine Abwandlung der Aufgabe lautet,



6.9 Acht Königinnen auf einem Schachbrett, die sich nicht gegenseitig bedrohen

zum Beispiel, um zusätzliche Bauern auf das Brett zu stellen, im ersten Beispiel auf d7, im zweiten auf c3 und e5. Diese Bauern unterbrechen die Aktionslinien der Damen, so dass man vermuten kann, dass sich die Anzahl der Damen auf dem Brett erhöhen könnte. Sie können sehen, dass ein Bauer neun Damen erlaubt, zehn Damen sind mit zwei Bauern möglich. Die Methodik bleibt völlig gleich, nur die entsprechende Gleichung ändert sich.

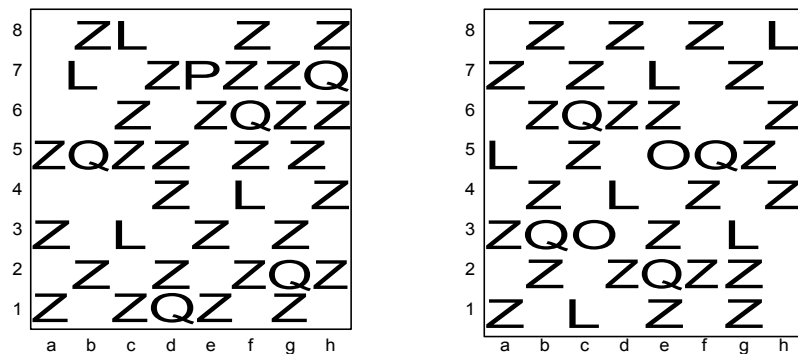


Abb. 6.10 Neun Königinnen und ein Bauer - zehn Königinnen und zwei Bauern

6.7. Ausmalen Probleme

Die folgende Aufgabe zeigt, wie weit die Möglichkeiten von Computern heute reichen. Der Hintergrund ist ein Problem aus der Elektronik. Auf zwei leitenden Schienen befindet sich eine Reihe von Kontakten. Jeder Kontakt der einen Schiene ist mit jedem Kontakt der anderen Schiene leitend verbunden. Jede Verbindung hat eine von vier möglichen Eigenschaften, die durch die vier Farben Rot, Grün, Blau und Amethyst beschrieben wird. Die Schaltung funktioniert nicht, wenn vier Kanten (1 - 2 - 3 - 4 - 1) die gleichen Eigenschaften, d. h. die gleiche Farbe haben. Wichtig ist, dass die letzte Kante zum Ausgangspunkt zurückkehrt, der Kantenzug muss also geschlossen sein (Abb. 6.11).

Im Jahr 2010 war bekannt, dass es bei 16 Kontakten auf beiden Gleisen möglich ist, solche Konflikte zu vermeiden. Es war auch bekannt, dass es bei 19 Kontakten nicht

möglich ist, ohne

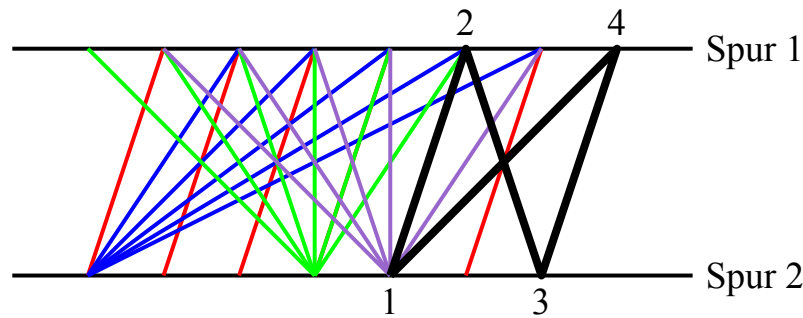


Abb. 6.11 Zu untersuchen ist die Folge 1 - 2 - 3 - 4 - 1

Konflikte. Die interessante Frage war, wie es bei 17 und 18 Kontakten aussieht. Ein logisches Modell für dieses Problem wird auf die folgende Weise mit einer Matrix 18×18 konstruiert:

- die eine Spur ist den Spalten einer Matrix zugeordnet;
- die zweite Spur ist den Zeilen einer Matrix zugeordnet.

Die Schwierigkeit der Lösung ergibt sich aus der exponentiellen Komplexität des Problems: Es gibt $18 \times 18 = 324$ Positionen in der Matrix. Jede Position kann mit einer von vier Farben eingefärbt werden, so dass sich $4^{324} = 2648$ Möglichkeiten für mögliche Einfärbungen ergeben. Diese Zahl ist etwa doppelt so groß wie die Anzahl der Atome im Universum.

Man geht genau so vor wie bei dem Checker-Problem. Man beginnt mit einer Matrix 18×18 und schreibt zunächst auf, welche Möglichkeiten man hat.

- Für jede Position (m,n) von $(1,1)$ bis $(18,18)$ gilt:

$$(x_{m,n} \text{ rot} \vee x_{m,n} \text{ grün} \vee x_{m,n} \text{ blau} \vee x_{m,n} \text{ amethyst})$$

Daraus ergeben sich $4 - 324 = 1296$ Variablen.

- Die Auswahl von zwei horizontalen und zwei vertikalen Linien führt zu

$$\frac{18-17}{2} \cdot \frac{18-17}{2} = 23409$$

Rechtecke.

- Die Eckpunkte eines Rechtecks dürfen nicht die gleiche Farbe haben. Als Beispiel nehmen wir das linke obere Rechteck mit den Punkten 11 - 12 - 21 - 22.

$$\overline{x_{11\text{red}} \wedge x_{12\text{red}} \wedge x_{21\text{red}} \wedge x_{22\text{red}}} = \overline{x_{11\text{red}} \vee x_{12\text{red}} \vee x_{21\text{red}} \vee x_{22\text{red}}} = 1$$

ist die Bedingung, die aufgrund der Regel erfüllt werden muss: kein einziges Rechteck mit derselben Farbe. Das gleiche Verfahren wird für die anderen Farben und alle möglichen Rechtecke angewandt. Die Formeln aller Rechtecke sind wiederum durch \wedge verbunden.

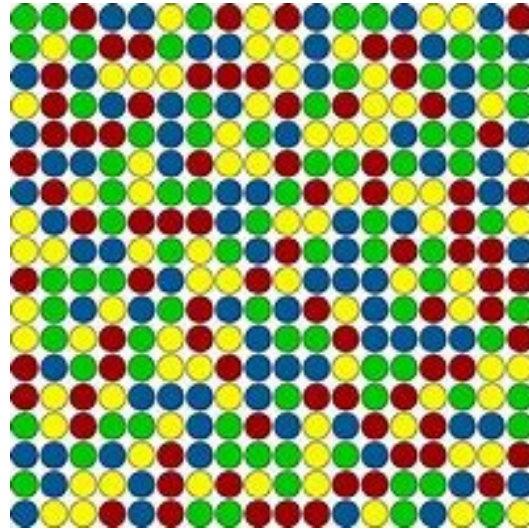


Abb. 6.12 Eine Lösung für die Matrix 18×18

Es ist für eine Person absolut unmöglich, eine Lösung mit Papier und Bleistift zu finden. Aber er kann die Lösung noch überprüfen. Bei anderen Problemen ist selbst das nicht mehr möglich.

Hier wird eine weitere interessante Eigenschaft solcher Probleme deutlich. Jede Lösung für die Matrix 18×18 ist auch eine Lösung für Matrizen, die kleiner sind. Man muss nur die entsprechende Anzahl von Zeilen und Spalten streichen. Die ebenfalls offene Frage für 17×17 musste gar nicht untersucht werden, weil man bei der Lösung für 18×18 nur eine Zeile und eine Spalte streichen muss.

Die Lösungen machen nur einen sehr kleinen Teil aller Möglichkeiten aus, trotzdem gibt es sehr viele Lösungen, denn jedes Vertauschen von Zeilen und Spalten ergibt wieder eine Lösung. Außerdem kann man auch die Farben miteinander vertauschen. Dies ergibt eine Gesamtzahl von

$$18! \times 18! \times 4!$$

Lösungen. Die Lösung des Problems dauerte die Jahre 2010 - 2012. Der grundlegende logische Algorithmus musste noch um viele Feinheiten ergänzt werden, aber am Ende wurde eine Lösung mit erträglichem Aufwand gefunden: 20 parallel arbeitende Grafikprozessoren und eine Woche Rechenzeit reichten für die Lösung aus (Abb. 6.12).

Was bei dieser Lösung herauskommt: Die ursprünglichen Suchalgorithmen für dieses Problem gehören zur KI. Die Entwicklung in diesem Bereich machte es zu einem mathematischen Problem, das durch deterministische Algorithmen gelöst wird. Und dennoch ist eine Menge Computerleistung erforderlich.

Es gibt viele andere kombinatorische Probleme dieser Art.

- Das Problem des reisenden Handlungsreisenden

Abb. 6.13 zeigt die optimale Reiseroute eines Handlungsreisenden durch die 15 größten Städte in Deutschland. Die angegebene Route ist die kürzeste von 43.589.145.600 möglichen Routen. Das Problem des Handlungsreisenden ist ein kombinatorisches Optimierungsproblem aus dem Operations Research

6. *Polynomial- und Exponentialkomplexität*

und der Theoretischen Informatik. Die Aufgabe besteht darin, eine Reihenfolge für den Besuch mehrerer Orte so zu wählen, dass

keine Station außer der ersten mehr als einmal angefahren wird, die gesamte Reisstrecke des Handlungsreisenden so kurz wie möglich ist und die erste Station gleich der letzten ist.

Seit seiner ersten Erwähnung als mathematisches Problem im Jahr 1930 haben sich viele Forscher damit beschäftigt und neue Optimierungsmethoden entwickelt und erprobt, die derzeit auch für andere Optimierungsprobleme eingesetzt werden. Heute steht eine große Zahl heuristischer und exakter Verfahren zur Verfügung, mit denen auch schwierige Fälle mit mehreren tausend Städten optimal gelöst wurden.

Das Traveling-Salesman-Problem taucht in seiner reinen Form bereits in vielen praktischen Anwendungen auf, zum Beispiel bei der Routenplanung oder beim Entwurf von Mikrochips. Noch häufiger tritt es aber als Teilproblem auf, wie z.B. in der Warendistribution, bei der Planung von Touren eines Kunden oder beim Pannendienst (Abb. 6.13). Dabei sind die Begriffe "Stadt" und "Entfernung" nicht wörtlich zu nehmen; vielmehr stehen die Städte z. B. für zu besuchende Kunden oder Ersatzteillager, während die Entfernung für die Reisezeit oder die Kosten steht. In vielen praktischen Anwendungen müssen zusätzliche Randbedingungen wie Zeitfenster oder begrenzte Ressourcen berücksichtigt werden, was die Lösung des Problems erheblich erschwert.

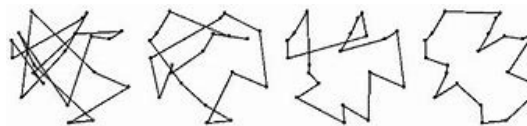


Abb. 6.13 Es gibt viele verschiedene Touren durch dieselben Städte

- Hamilton'sche und Euler'sche Graphen beinhalten ebenfalls Hin- und Rückfahrten, befassen sich aber mit anderen Problemen. Auch hier sind die Standorte und Verbindungen zwischen ihnen angegeben.

Ein Eulerkreis ist ein Zyklus in einem Graphen, der alle Kanten des Graphen enthält; die letzte Kante muss zum Ausgangspunkt zurückführen (Abb. 6.14).

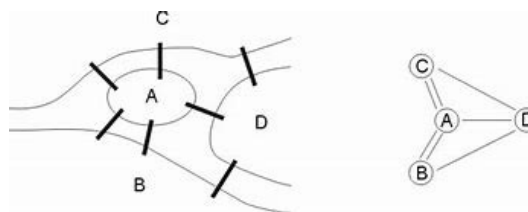


Abb. 6.14 Das Königsberger Brückenproblem

Leonhard Euler war in Königsberg mit dem Problem konfrontiert, ob es möglich ist, alle Brücken von einem Ausgangspunkt aus zu überqueren, ohne eine Brücke zweimal zu benutzen. Deshalb sind solche Wege nach ihm benannt.

In einem Hamilton'schen Graphen wird jeder Ort genau einmal eingegeben,

6. Polynomial- und Exponentialkomplexität

aber es müssen nicht alle Kanten genutzt werden. Der Eulersche Pfad entspricht dem Verhalten eines Briefzustellers, der Hamiltonsche Pfad eher dem Verhalten eines Unternehmens, das liefert

Zweigstellen. Natürlich ist dies heutzutage für einzelne Orte kein ernsthaftes Problem mehr, aber wenn man das Netz von Flughäfen oder Containerbe- und -entladestellen betrachtet, haben diese Probleme eine große wirtschaftliche Bedeutung.

- Das Rucksackproblem

Dieses Problem tritt häufig auf, wenn man sich auf eine Flugreise vorbereitet und weiß, dass nur 20 kg Gepäck pro Person in der Kabine erlaubt sind. Aus einer Menge von Gegenständen, die jeweils ein Gewicht und einen Nutzen haben, soll eine Teilmenge ausgewählt werden, deren Gesamtgewicht eine bestimmte Gewichtsgrenze nicht überschreitet. Unter dieser Einschränkung soll der Nutzen der ausgewählten Objekte maximiert werden.

7. Spieltheorie, Kybernetik und Informationstheorie

7.1. Spiel theorie

Zwei weitere herausragende Wissenschaftler, Norbert Wiener und John von Neumann (Abb. 7.1), ergänzen die Liste berühmter Mathematiker und Informatiker, die auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz von herausragender Bedeutung sind.



Abb. 7.1 John von Neumann (1903 - 1957)

Die Arbeiten zur Quantenmechanik begründeten den Ruf John von Neumanns in Amerika. Ab 1933 arbeitete er am neu gegründeten, anspruchsvollen Institute for Advanced Study in Princeton als Professor für Mathematik. Zu seinen Kollegen dort gehörten Albert Einstein und Hermann Weyl. Wie sie emigrierte von Neumann schließlich nach der Machtergreifung Hitlers in die USA.

John von Neumann leistete in vielen Bereichen der Mathematik herausragende Beiträge. Bereits 1928 hatte ihn ein Aufsatz des Mathematikers Émile Borel über Minimax-Eigenschaften auf Ideen gebracht, die später zu einem seiner originellsten Entwürfe, der Spieltheorie, führten. Von Neumann bewies 1928 das Minimax-Theorem für die Existenz einer optimalen Strategie in "Nullsummenspielen". Nullsummenspiele beschreiben Situationen, in denen die Summe der kombinierten Gewinne und Verluste aller Spieler gleich Null ist. Zusammen mit dem Wirtschaftswissenschaftler Oskar

Morgenstern, er schrieb 1944 den Klassiker "The Theory of Games and Economic Behavior", der sich auch mit der für die Wirtschaftswissenschaften wichtigen Verallgemeinerung auf n-Personen-Spiele beschäftigt. Entscheidend für die Darstellung und Lösung ist der Informationsstand der Spieler. Hier werden drei Begriffe unterschieden: vollständige, perfekte (oder vollkommene) Information und perfektes Gedächtnis, je nachdem, ob der Spieler die Spielregeln, die Züge der anderen Spieler und seine eigenen Informationen aus der Vergangenheit kennt. Standard ist das Spiel mit vollständiger Information und perfektem Gedächtnis. Perfekte Information gehört nicht zu den Standardannahmen, da sie bei der Erklärung vieler einfacher Konflikte hinderlich wäre.

Vollständige Information, d. h. die Kenntnis aller Spieler über die Spielregeln, wird als Voraussetzung für das gemeinsame Spiel in normalen Spielen angesehen. Perfektes Gedächtnis ist das Wissen jedes Spielers um alle Informationen, die ihm bereits in der Vergangenheit zur Verfügung standen. Obwohl diese Annahme zumindest im Prinzip immer erfüllt zu sein scheint, gibt es auch Gegenbeispiele: Handelt es sich bei einem Spiel um ein Team von kooperierenden Spielern, wie beim Skat, kennt der einzelne Spieler zum Zeitpunkt seiner eigenen Entscheidung nicht mehr den Informationszusammenhang vergangener Züge, die ein Partner auf der Grundlage seiner Karten gemacht hat.

7.2. Kybernetik

Norbert Wiener (1894 - 1964) war ein amerikanischer Mathematiker und Philosoph (Abb. 7.2). Er ist als Begründer der Kybernetik bekannt, ein Begriff, den er in seinem Werk "Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine" (1948) prägte. Damit schuf er die wissenschaftliche und mathematische Grundlage für die Regelungstheorie und Regelungstechnik zur Berechnung der Dynamik und Stabilität von rückgekoppelten Systemen und beschrieb deren Analogien zum menschlichen Gehirn (durch Rückkopplung über Sinnesorgane) und zu sozialen Organisationen (durch Rückkopplung über Kommunikation und Beobachtung). Das Buch enthält die folgenden Hauptthemen:

- Newtonsche und Bergsonsche Zeit
- Gruppen und statistische Mechanik
- Zeitreihen, Information und Kommunikation
- Rückkopplung und Oszillation
- Computermaschinen und das Nervensystem
- Gestalt und Universalien
- Kybernetik und Psychopathologie

- Information, Sprache und Gesellschaft

- Über das Lernen und selbstreproduzierende Maschinen
- Gehirnwellen und selbstorganisierende Systeme

Wenn man ein Kapitel besonders hervorheben möchte, ist es vielleicht das Kapitel Rechenmaschinen und Nervensystem. Dort begründet er die Notwendigkeit der Arbeit mit dem dualen System, allerdings aus einem ganz anderen Blickwinkel. Er betrachtet die Kosten für die Speicherung und Verarbeitung von Zahlen und begründet, dass das duale System sowohl in der technischen Umsetzung als auch in der Arbeit am wenigsten kostspielig ist, und das zu einer Zeit, als es noch keine Computer gab!

Er schreibt: "Die ideale Rechenmaschine muss dann alle ihre Daten am Anfang eingefügt haben und muss bis zum Ende so frei wie möglich von menschlichen Eingriffen sein. Das bedeutet, dass nicht nur die numerischen Daten am Anfang eingefügt werden müssen, sondern auch die Regeln für ihre Kombination, in Form von Anweisungen, die jede Situation abdecken, die im Laufe der Berechnung auftreten kann."

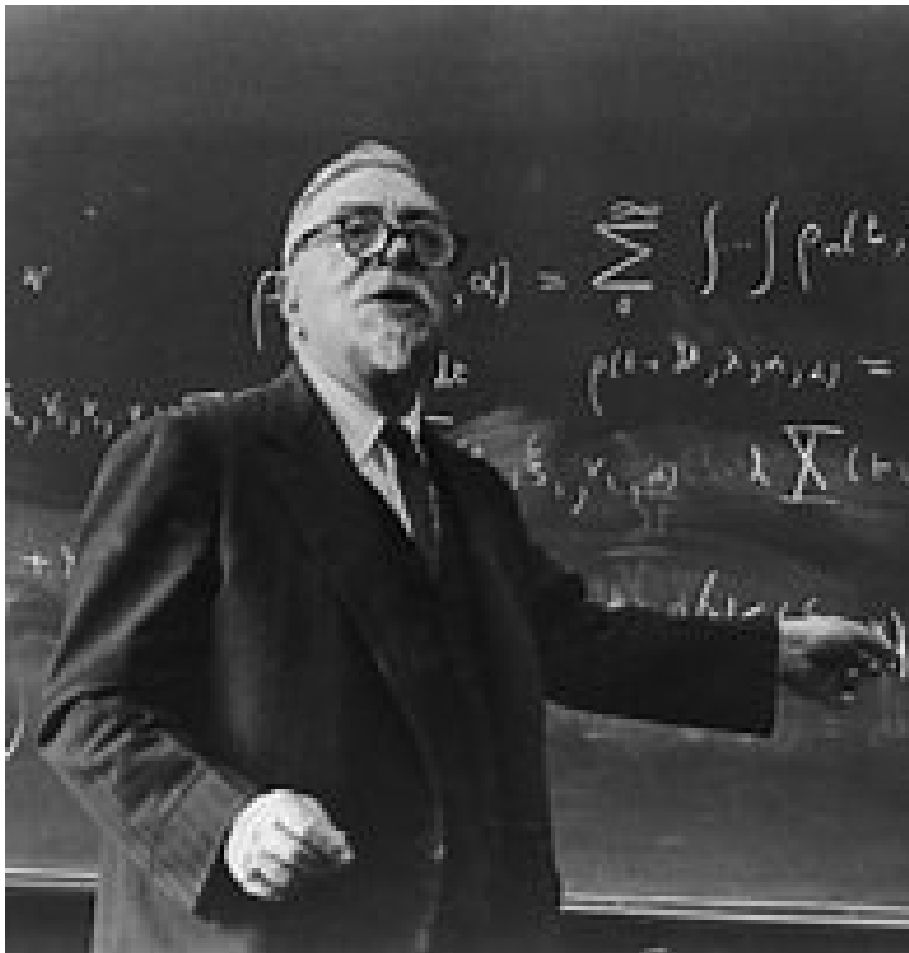


Abb. 7.2 Norbert Wiener (1894 - 1964)

Er rechtfertigt das duale System mit der Funktionsweise der Neuronen (Nervenzellen): Sie befinden sich entweder in einem Ruhezustand, oder wenn sie feuern, machen sie eine Reihe von Veränderungen durch, die fast unabhängig von der Art und Intensität des Reizes sind.

Das Kapitel "Kybernetik und Psychopathologie" ist äußerst interessant und reicht weit in die Zukunft. Er stellt die Frage, "wie das Gehirn grobe Fehler vermeidet, grobe Fehlfunktionen, die aus der Fehlfunktion einzelner Komponenten resultieren." Ähnliche Fragen, die sich auf Rechenmaschinen beziehen, sind von großer praktischer Bedeutung. "Es ist durchaus möglich, dass eine Kette von Rechenoperationen aus ¹⁰⁹ Einzelschritten besteht. Unter diesen Umständen ist die Chance, dass mindestens eine Operation schief geht, alles andere als vernachlässigbar."

Und er scheut sich auch nicht, soziale Probleme anzusprechen; man bedenke, dass diese Sätze vor über 70 Jahren geschrieben wurden:

"Die Psychologie des Narren ist zu einem Thema geworden, das die Aufmerksamkeit von Schurken verdient." Anstatt sein eigenes Interesse im Auge zu behalten, wie es von Neumanns Spieler tut, handelt der Narr auf eine Weise, die im Großen und Ganzen so vorhersehbar ist wie die Kämpfe einer Ratte in einem Labyrinth. Diese Politik der Lügen - oder besser gesagt, der wahrheitsgemäßen Behauptungen - wird ihn dazu bringen, eine bestimmte Zigarettenmarke zu kaufen; diese Politik wird ihn, so hofft die Partei, dazu bringen, für ein bestimmtes Amt zu kandidieren - oder sich an einer politischen Hexenjagd zu beteiligen. Eine bestimmte Mischung aus Religion, Pornografie und Pseudowissenschaft wird eine illustrierte Zeitung verkaufen. Eine bestimmte Mischung aus Anbiederung, Bestechung und Einschüchterung wird einen jungen Wissenschaftler davon überzeugen, an Lenkraketen oder der Atombombe zu arbeiten. Um das herauszufinden, haben wir unsere Maschinerie von Radio-Fan-Ratings, Strohmännchen-Umfragen, Meinungsumfragen und anderen psychologischen Untersuchungen, die den einfachen Menschen zum Gegenstand haben; und es gibt immer Statistiker, Soziologen und Wirtschaftswissenschaftler, die ihre Dienste für diese Unternehmungen anbieten."

Man kann seine enorme Weitsicht nur bewundern. In der Tat ist alles, was er vorausschauend beschrieben hat, eingetreten. Im vorletzten Kapitel, das 1961 geschrieben wurde, schreibt er:

"Es gibt nichts Gefährlicheres als den Dritten Weltkrieg. Es lohnt sich, darüber nachzudenken, ob ein Teil der Gefahr nicht im unbedachten Einsatz von lernenden Maschinen liegt. Immer wieder höre ich die Aussage, dass lernende Maschinen uns keinen neuen Gefahren aussetzen können, weil wir sie abschalten können, wenn uns danach ist. Aber können wir das? Um eine Maschine wirksam abschalten zu können, müssen wir im Besitz von Informationen darüber sein, ob der Gefahrenpunkt erreicht ist. Allein die Tatsache, dass wir die Maschine gebaut haben, garantiert nicht, dass wir die richtigen Informationen dazu haben. Dies ist bereits in der Aussage enthalten, dass die Schach spielende Maschine den Mann, der sie programmiert hat, besiegen kann. Außerdem steht die Geschwindigkeit, mit der moderne digitale Maschinen arbeiten, im Widerspruch zu unserer Fähigkeit, die Anzeichen einer Gefahr zu erkennen und zu durchdenken."

Er erörtert auch die Frage, ob die Maschinen Nachfolger schaffen können, die ein noch höheres Maß an Intelligenz besitzen als ihre Elterngeneration, und seine Antwort lautet: *Ja!* Die intelligenten Systeme können sich von selbst weiterentwickeln.

Alle diese Probleme bestehen auch heute noch und haben sich durch die technischen

7. Spieltheorie, Kybernetik und Informationstheorie
und gesellschaftlichen Entwicklungen von 1948 bis heute um ein Vielfaches
verschärft.

7.3. Informationen Theorie

Wir kehren noch einmal zu C. Shannon zurück, der auch die Informationstheorie begründet hat, eine mathematische Theorie aus dem Bereich der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik. Sie befasst sich mit Begriffen wie Information und Entropie, Informationsübertragung, Datenkompression, Codierung und verwandten Themen. Neben der Mathematik, der Informatik und der Nachrichtentechnik wird die theoretische Betrachtung der Kommunikation durch die Informationstheorie auch zur Beschreibung von Kommunikationssystemen in anderen Bereichen verwendet; als Beispiele seien die Medien im Journalismus, Nervensysteme in der Neurologie, DNA- und Proteinsequenzen in der Molekularbiologie, Wissen in der Informationswissenschaft und Dokumentation genannt. In der Shannonschen Theorie wird der Begriff **Entropie** verwendet, um den Informationsgehalt (auch Informationsdichte genannt) von Nachrichten zu charakterisieren. Je uneinheitlicher die Struktur einer Nachricht ist, desto höher ist ihre Entropie.

Ein technischer Durchbruch erfolgte in den späten 1930er Jahren, als die Puls-Code-Modulation es ermöglichte, eine Nachricht, die als Kontinuum existiert, in zufriedenstellender Annäherung diskret darzustellen. Mit dieser Methode wurde es möglich, Sprache zu telegrafieren. Shannon, der für die Bell Telephone Laboratories arbeitete, war mit der technischen Entwicklung vertraut. Die große Bedeutung seiner Theorie für die Technik liegt darin, dass er die Information als eine physikalische Größe mit einer Mess- oder Zähleinheit, dem Bit, definierte. Dies ermöglichte es, den Aufwand für die technische Übertragung von Informationen in verschiedenen Formen (Töne, Zeichen, Bilder) quantitativ genau zu vergleichen, die Effizienz von Codes sowie die Kapazität von Informationsspeichern und Übertragungskanälen zu bestimmen.

Der Kerngedanke der Informationstheorie ist, dass der *Informationswert einer* übermittelten Nachricht davon abhängt, inwieweit der Inhalt der Nachricht überraschend ist. Tritt ein sehr wahrscheinliches Ereignis ein, enthält die Nachricht nur sehr wenige Informationen. Tritt dagegen ein sehr unwahrscheinliches Ereignis ein, ist die Nachricht sehr viel informativer. Das Wissen, dass eine bestimmte Zahl nicht die Gewinnzahl einer Lotterie sein wird, ist zum Beispiel sehr wenig informativ, da eine bestimmte Zahl mit ziemlicher Sicherheit nicht gewinnen wird. Das Wissen, dass eine bestimmte Zahl in einer Lotterie gewinnen wird, hat jedoch einen hohen Informationswert, da es das Ergebnis eines sehr unwahrscheinlichen Ereignisses mitteilt.

Der Informationsgehalt, auch Surprisal oder Selbstinformation genannt, eines Ereignisses E ist eine Funktion, die zunimmt, wenn die Wahrscheinlichkeit $p(E)$ eines Ereignisses abnimmt. Wenn

$p(E)$ nahe bei 1 liegt, ist die Überraschung des Ereignisses gering, aber wenn $p(E)$ nahe bei 0 liegt, ist die surprisal of the event is high. This relationship is described by the function

$$\log \frac{1}{p(E)} .$$

(7.1)

\log ist die Logarithmusfunktion, die eine Überraschung von 0 ergibt, wenn die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses 1 ist. Tatsächlich ist die Logarithmusfunktion die einzige Funktion, die diese spezifische

Menge der Charakterisierung. Daher können wir die Information oder die Überraschung eines Ereignisses definieren

E durch die *Entropie*

$$I(E) = -\log_2(p(E)).$$

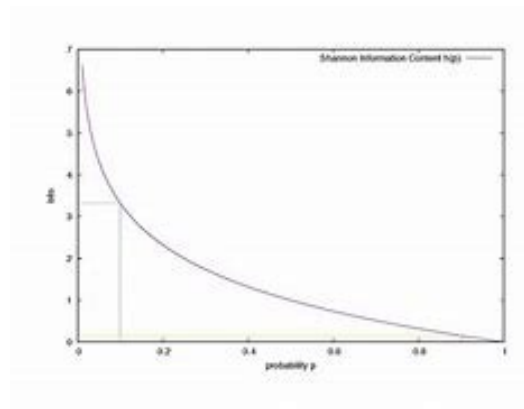


Abb. 8.1 Der Informationsgehalt nähert sich 0 für $p = 1$

Shannon selbst nennt seine Arbeit eine mathematische Theorie der Kommunikation. Er schließt semantische und pragmatische Aspekte der Information, d.h. Aussagen über den "Inhalt" der übermittelten Nachrichten sowie deren Bedeutung für den Empfänger, ausdrücklich aus. Das bedeutet, dass eine sinnvolle Nachricht genauso gewissenhaft übermittelt wird wie eine zufällige Folge von Buchstaben. Obwohl die Shannon-Theorie üblicherweise als Informationstheorie bezeichnet wird, macht sie also keine direkte Aussage über den Informationsgehalt der übermittelten Nachrichten.

Wenn Sie all das Wissen, das bisher vermittelt wurde, zusammenfassen wollen, dann werden Sie sicherlich erstaunt sein, wie viele Dinge zusammenkommen mussten, um diese Ebene zu erreichen. Und das geht so weiter.

8. Maschinelles Lernen und neuronale Netze

In den letzten Jahren wurden durch den Einsatz neuronaler Netze erstaunliche Ergebnisse erzielt. Sie sind derzeit der Schlüssel zu großen Erfolgen in vielen Bereichen, verbunden mit der Hoffnung, weitere wichtige Ergebnisse zu erzielen. Dahinter steht das Bestreben, mathematische Modelle zu entwickeln, die es ermöglichen, die Aktivität von Neuronen zu beschreiben und dann auf Computern nachzubilden.

8.1. Neuronale Netze

Ein neuronales Netz ist ein mathematisches Modell, das die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns nachahmt. Natürlich ist die Nachbildung seiner Funktionsweise auf Computern für die künstliche Intelligenz von Interesse.

Im Jahr 1943 haben die Mathematiker Warren McCulloch (Abb. 8.1) und Walter Pitts (Abb. 8.2)

8.2) wurde das Neuron als logisches Schwellenwertelement mit mehreren Eingängen und einem einzigen Ausgang eingeführt. Es konnte die Zustände wahr und falsch als boolesche Variablen annehmen und feuerte, wenn die Summe der Eingangssignale einen Schwellenwert überschritt.

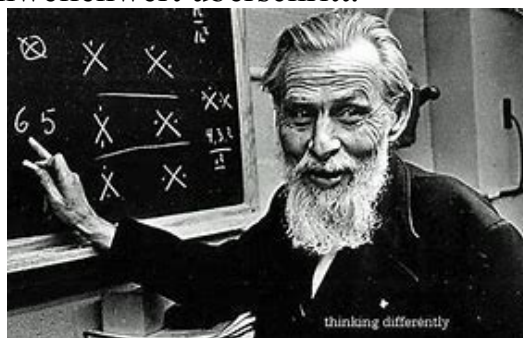


Abb. 8.1 Warren McCulloch (1898 - 1969)

Das Neuron kann in verschiedene Abschnitte unterteilt werden

[71].

- das Neuron,

- Dendriten,
- den Zellkern,



Abb. 8.2 Walter Pitts (1923 - 1969)

- das Soma,
- das Axon,
- dem Axonhügel,
- die Myelinscheide,
- den Ranvier'schen Schnürring,
- die Schwann-Zelle,
- synaptischer Endknopf.

Die *Dendriten* sind Zellfortsätze des Zellkörpers und stellen den Kontakt zu anderen Zellen oder Neuronen her. Sie empfangen die ersten Erregungssignale und leiten sie an den Zellkörper weiter.

Das Soma ist der Zellkörper des Neurons. Er bildet einen mit Zytoplasma gefüllten Bereich, der die wichtigen Zellorganellen enthält. Dazu gehören z. B. der Zellkern, die Mitochondrien, das endoplasmatische Retikulum und der Golgi-Apparat.

Der Axonhügel bildet den Übergang vom Soma zum Axon. Elektrische Signale werden hier gesammelt und summiert, bis ein bestimmter Schwellenwert oder ein Schwellenpotential überschritten wird. Erst dann wird ein Signal an das Axon weitergeleitet. Diese Signale werden als

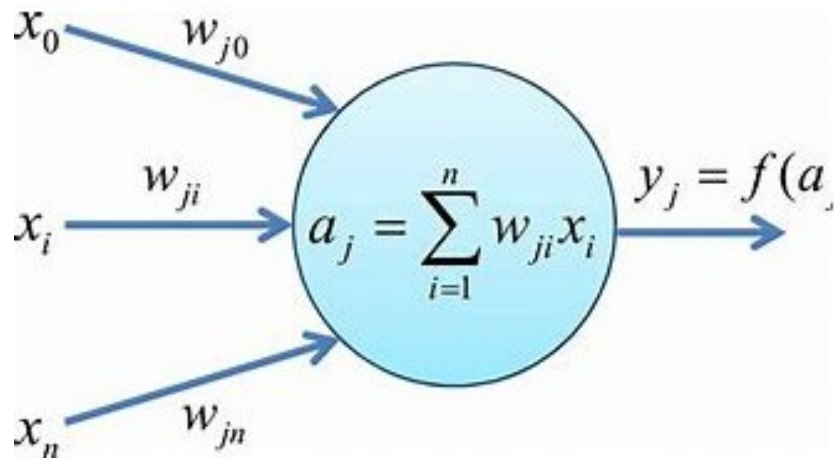


Abb. 8.3 Eine mögliche Struktur eines Perzeptrons

Aktionspotentiale. Dadurch wird verhindert, dass unser Körper auch nur das kleinste Signal weiterleitet. Ohne diesen Filtermechanismus wäre die Verarbeitung der relevanten Reize unmöglich.

Der lange Fortsatz der Nervenzelle, der aus dem Axonhügel austritt, wird Axon oder Neurit genannt. Die Aufgabe des Axons ist es, Aktionspotentiale an Nerven- oder Muskelzellen weiterzuleiten. Damit die Übertragung elektrischer Signale so schnell wie möglich funktioniert

und ohne Verluste ist das Axon wie ein elektrisches Kabel isoliert. Zu diesem Zweck wird der Prozess von Stütz- oder Hüllzellen ummantelt. Im peripheren Nervensystem (außerhalb von Gehirn und Rückenmark) werden sie auch Schwann-Zellen genannt. Im zentralen Nervensystem (Gehirn und Rückenmark) werden sie als Oligodendrozyten bezeichnet.

Als elektrische Isolierschicht bilden die Scheidenzellen eine so genannte Myelinscheide um die Axone. Die Hülle wird immer wieder durch freiliegende Axonbereiche unterbrochen. Der nicht umhüllte Bereich eines Axons wird als Ranvier'scher Schnürring bezeichnet. Durch sie kann die Geschwindigkeit der Erregungsleitung erhöht werden. Dies liegt daran, dass Erregungen auch von einem Schnürring zum nächsten "gesprungen" werden können. Die langen Umhüllungsbereiche werden also einfach überbrückt.

Die synaptischen Endknöpfe bilden das Ende eines Neurons. Hier wird das elektrische Signal an das nächste Neuron oder zum Beispiel an eine Sinnes- oder Muskelzelle weitergeleitet. Zu diesem Zweck wird das elektrische Signal meist in ein chemisches Signal umgewandelt. Die Verbindung am Ende einer Nervenzelle mit einer anderen Zelle wird als *Synapse bezeichnet*. In den meisten Fällen handelt es sich um chemische Synapsen. Der Endknopf bringt chemische Moleküle in den synaptischen Spalt, die Lücke zwischen den beiden Zellen. Dort treffen sie auf Rezeptoren und leiten die Erregung weiter. So werden in der nächsten Nervenzelle wieder elektrische Signale ausgelöst.

Je nach ihrer Funktion lassen sich die Neuronen in drei verschiedene Typen einteilen:

8. *Maschinelles Lernen und neuronale*

- Sensorische Neurone leiten Informationen von Sinnesorganen oder anderen Organen im Körper zum Gehirn;

8. Maschinelles Lernen und neuronale Netze

- Motoneuronen leiten Informationen vom Gehirn oder Rückenmark zu Muskeln oder Drüsen;
- Interneuronen, als Teil des zentralen Nervensystems, verbinden Neuronen miteinander; sie haben eine Vermittlungsfunktion.

Diese Konzepte sind die neurobiologische Entsprechung eines *Aktionspotenzials*, das ein Neuron bei einer kritischen Änderung seines Membranpotenzials aussendet. McCulloch und Pitts zeigten, dass durch geeignete Kombination mehrerer solcher Neuronen jede Aussagefunktion (\wedge , \vee , \neg) realisierbar ist.

1957 veröffentlichte Frank Rosenblatt (Abb. 8.4) das Perzeptron-Modell, das bis heute die Grundlage für künstliche neuronale Netze bildet (Abb. 8.5). Es besteht in der Grundversion (einfaches Perzeptron) aus einem einzelnen künstlichen Neuron mit einstellbaren Gewichten und einer Schwelle.



Abb. 8.4 Frank Rosenblatt

Man geht davon aus, dass ein Mensch 100 Milliarden Dendriten mit einer Gesamtlänge von vielen hundert Kilometern hat. Wir betrachten ein einzelnes Neuron mit Eingangswerten $x_1 \dots x_n$, einem Schwellenwert θ , und Gewichten $w_1 \dots w_n$ für die Verbindungen der Eingabewerte mit der Ausgabe.

$$o = \begin{cases} 1 & \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + b > \theta \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (8.1)$$

Die Anzahl der Synapsen im Gehirn eines Erwachsenen beträgt etwa 100 Billionen (10^{14}) - bezogen auf ein einzelnes Neuron schwankt sie zwischen 1 und 200.000. Trotz dieser großen Zahl ist es auf den ersten Blick erstaunlich, dass diese einfachen linearen Operationen die Grundlage für intelligentes Verhalten bilden.

Beim einschichtigen Perzeptron gibt es nur eine einzige Schicht von künstlichen Neuronen, die auch den Ausgangsvektor darstellt. Jedes Neuron wird durch eine Neuronenfunktion dargestellt und erhält den gesamten Eingangsvektor als Parameter.

In Abb. 8.5 zeigt die gelbe Schicht die Neuronen, die die Eingangsinformationen aus ihrer Umgebung erhalten. Jedes Neuron in dieser Schicht ist mit jedem Neuron in der nächsten Schicht verbunden. Die Werte, die an den Neuronen der roten Schicht ankommen, ergeben dann mit den entsprechenden Gewichten das Ausgangssignal.

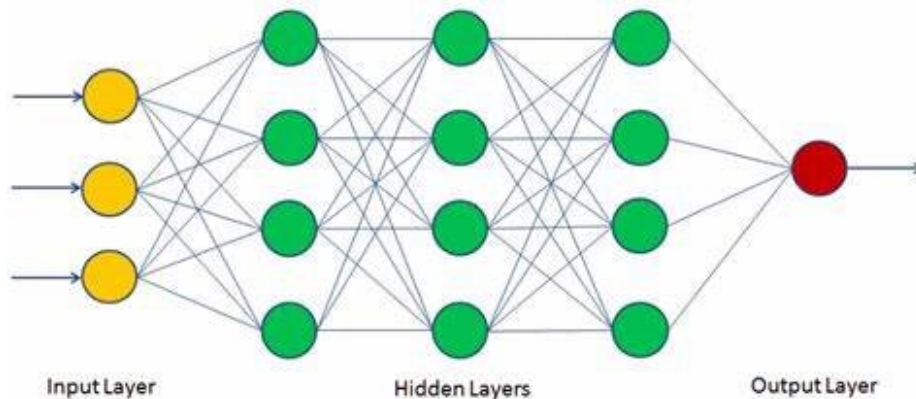


Abb. 8.5 Ein Netz von Perceptrons

Sind die Ausgänge nur mit den Eingängen einer nachfolgenden Schicht verbunden, so dass der Informationsfluss nur in eine Richtung erfolgt, spricht man von Feed-Forward-Netzen. Die folgenden Topologien haben sich bewährt:

- **vollständig verbunden:** Die Neuronen in einer Schicht sind mit allen Neuronen in der unmittelbar folgenden Schicht verbunden.
- **Abkürzungen:** Einige Neuronen sind nicht nur mit allen Neuronen der nächsten Schicht verbunden, sondern darüber hinaus mit weiteren Neuronen der übernächsten Schicht.
- Gibt es in einem Netz Neuronen, deren Ausgänge mit Neuronen der gleichen oder einer vorhergehenden Schicht verbunden sind, handelt es sich um ein rekurrentes neuronales Netz.
- Mehrschichtige Perceptrons erfordern komplexere Lernregeln als einschichtige Perceptrons. Back-Propagation (Rückkopplung) ist ein möglicher Algorithmus für überwachtes Lernen. Die Erweiterung dieser Netztopologien um mehr versteckte Schichten und die Einführung anderer Architekturen (z. B. rekurrente neuronale Netze), die ebenfalls durch Rückkopplung trainiert werden, wird heute unter dem Begriff **Deep Learning** zusammengefasst.

Der Back-Propagation-Algorithmus arbeitet mit überwachtem Lernen: Dem Algorithmus werden Beispiele für die Eingaben und Ausgaben vorgelegt, die das Netz berechnen soll, und dann wird der Fehler berechnet. Der Backpropagation-Algorithmus

8. Maschinelles Lernen und neuronale

beginnt mit zufälligen Gewichten, und das Ziel besteht darin, diese anzupassen, um den Fehler zu verringern, bis das Netz

die Trainingsdaten gelernt hat. Feed-forward-Netze haben oft eine oder mehrere versteckte Schichten von Sigmoid-Neuronen, gefolgt von einer Ausgangsschicht aus linearen Neuronen. Diese Struktur ermöglicht es dem Netz, nichtlineare und lineare Beziehungen zwischen Eingabe- und Ausgabevektoren zu lernen. Die lineare Ausgangsschicht ermöglicht es dem Netz, Werte außerhalb des Bereichs von - 1 bis + 1 zu erhalten (Abb. 8.6).



Abb. 8.6 Ein Ausschnitt aus einem Neuronennetz

Für den Lernprozess müssen die Daten in zwei Sätze aufgeteilt werden: den Trainingsdatensatz, der für die Berechnung der Abweichungen und die Aktualisierung der Gewichte verwendet wird, und den Validierungsdatensatz, der für die Auswahl der optimalen Anzahl von Iterationen verwendet wird. Mit zunehmender Anzahl der Iterationen nimmt der Trainingsfehler ab, während der Fehler des Validierungsdatensatzes zunächst abnimmt, dann ein Minimum erreicht und schließlich zunimmt. Wenn der Lernprozess fortgesetzt wird, nachdem der Validierungsfehler ein Minimum erreicht hat, führt dies zu einer Überlernung. Sobald der Lernprozess abgeschlossen ist, wird ein weiterer Datensatz (Testdatensatz) zur Validierung und Bestätigung der Vorhersagegenauigkeit verwendet (Abb. 8.7).

Die Schwierigkeit, genau zu verstehen, wie sich die Änderung von Gewichten und Verzerrungen auf das Gesamtverhalten eines künstlichen neuronalen Netzes auswirkt, war einer der Faktoren, die bis Anfang der 2000er Jahre eine breitere Anwendung neuronaler Netze verhinderten. Heute werden Backpropagation-Algorithmen in vielen Bereichen der künstlichen Intelligenz eingesetzt, z. B. bei der optischen Zeichenerkennung, der Verarbeitung natürlicher Sprache und der Bildverarbeitung.

So lernt man es als Kind: Nachdem man einmal eine heiße Herdplatte berührt hat, hält man entweder Abstand oder benutzt einen Topflappen, was man wahrscheinlich von seinen Eltern gelernt hat. Nach ein paar Versuchen lernen Tiere, einen Elektrozaun zu meiden. Schmerz wird in vielen biologischen Systemen als unangenehm oder schädlich empfunden, und das neuronale Netz von Mensch und Tier sucht nach einem Ausweg.

8. Maschinelles Lernen und neuronale

Netze
Es gibt verschiedene Arten von neuronalen Netzen, die für unterschiedliche Aufgaben geeignet sind. Ein solcher Typ ist das Faltungsneuronale Netz (Convolutional Neural Networks, CNN). Es ist ein

8. Maschinelles Lernen und neuronale Netze

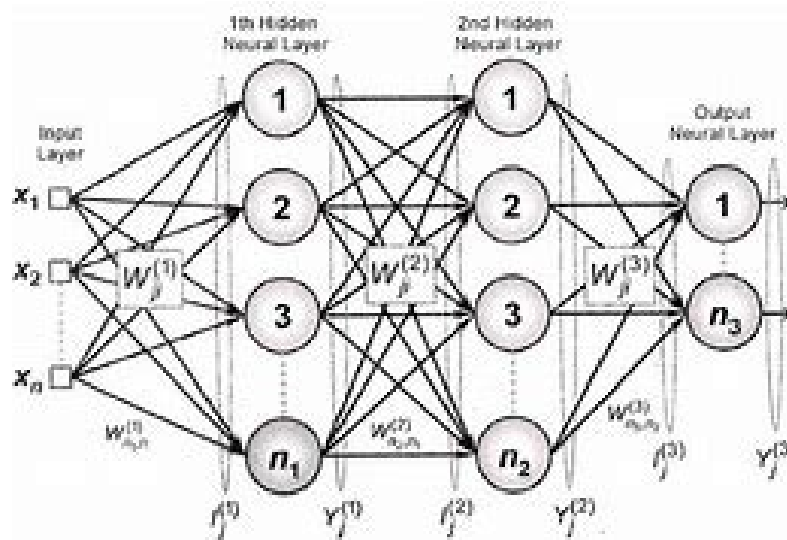


Abb. 8.7 Korrektur der Gewichte von rechts nach links

von biologischen Prozessen inspiriertes Konzept im Bereich des maschinellen Lernens. Es wird vor allem bei der maschinellen Verarbeitung von Bild- oder Audiodaten angewendet.

Yann LeCun (* 1960) gilt als der Begründer der CNNs. Er entwickelte neue Methoden für das maschinelle Lernen, insbesondere für die Bildverarbeitung, die Erkennung von handschriftlichem Text und einzelnen Zeichen.

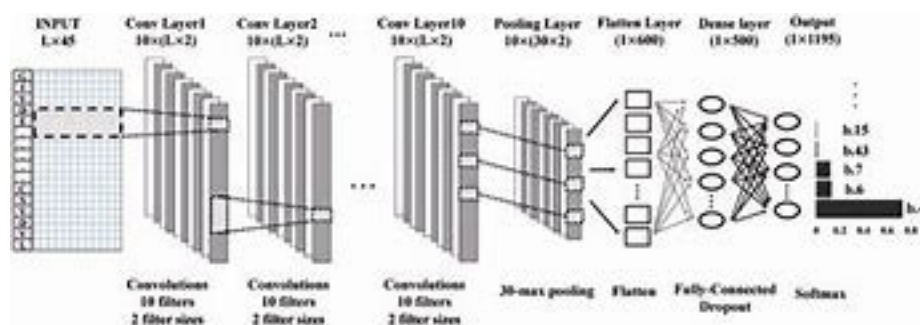


Abb. 8.8 Die Architektur eines tiefen CNN

Die Anordnung in Abb. 8.8 für die Bildklassifizierung zeigt die Struktur eines typischen CNN. Dieses Netz hat mehrere Filterkerne pro Faltungsschicht, was zu Schichten von Merkmalskarten führt, die jeweils den gleichen Input erhalten, aber unterschiedliche Merkmale auf der Grundlage unterschiedlicher Gewichtsmatrizen extrahieren. Architektonisch lassen sich drei wesentliche Unterschiede zum mehrschichtigen Perzeptron feststellen:

- zwei- oder dreidimensionale Anordnung von Neuronen,
- geteilte Gewichte,
- lokale Konnektivität,
- Faltungsschicht.

In der Regel liegt die Eingabe in Form einer zwei- oder dreidimensionalen Matrix vor (z. B. die Pixel eines Graustufen- oder Farbbildes). Dementsprechend sind die Neuronen in der Faltungsschicht (Convolutional Layer) angeordnet. Der Erfolg von CNNs lässt sich durch die kompakte Darstellung der zu lernenden Gewichte erklären. Diese beruht auf der Annahme, dass ein potenziell interessantes Merkmal, zum Beispiel Kanten, an jeder Stelle des Eingangssignals interessant ist. Während ein klassisches zweischichtiges Perzeptron mit 1000 Neuronen pro Schicht insgesamt 2 Millionen Gewichte benötigt, um ein 32×32 Bild zu verarbeiten, müssen bei einem CNN mit zwei sich wiederholenden Einheiten, die aus insgesamt 13.000 Neuronen bestehen, nur 160.000 (gemeinsame) Gewichte gelernt werden, von denen die meisten in der hinteren (voll verknüpften) Schicht liegen.

8.2. AlphaZero gewinnt bei Schach, Go und Shogi

Die Google-Tochter DeepMind hat mit AlphaZero ein System entwickelt, das selbstständig Schach, Shogi und Go lernte. Schon nach kurzer Zeit spielte es diese Spiele besser als die stärksten bisherigen Programme und besser als menschliche Spieler (Abb. 8.9).



Abb. 8.9 Computer gegen Go - Weltmeister

Schach, Shogi (das japanische Schach) und Xiangqi (das chinesische Schach) stammen alle drei vom indischen Chaturanga ab und gelten zusammen mit Go als die Spiele, die eine große Herausforderung für Menschen und Computer darstellen.

Das Programm lernte die Spiele innerhalb von 24 Stunden, und das mit einer enormen Rechenleistung: Es verwendete 5000 Tensor Processing Units (TPUs) der ersten Generation und 64 TPUs der zweiten Generation. TPUs sind spezielle Chips für die Berechnung von neuronalen Netzen. Die erwähnte erste Generation leistet 92 Tera-Operationen pro Sekunde; über die zweite Generation sind noch keine genauen

Informationen veröffentlicht worden.

Das fertig trainierte neuronale Netz spielt das Spiel dann auf einer einzigen Maschine mit nur vier TPUs, was ein einigermaßen fairer Vergleich mit den jeweils stärksten Schach- und Shogi-Programmen ist, die immerhin 64 CPU-Kerne zur Verfügung hatten. Hier zeigt sich ein wichtiger Gesichtspunkt: Das Training erfordert einen sehr großen Aufwand, aber die Anwendung des fertigen Netzes ist mit viel weniger Aufwand möglich.

Nachdem der Vergleich mit menschlichen Spielern irrelevant geworden ist, bleibt nur noch eine interessante Frage übrig: Gibt es eine optimale Strategie für diese Spiele?

- Kann Weiß zwangsläufig aus der Ausgangsstellung heraus bei jedem Zug von Schwarz gewinnen? Man könnte dies annehmen, da Weiß den ersten Zug macht und bei der Mobilisierung seiner Kräfte immer einen Zug voraus ist;
- Besitzt Schwarz für jeden Zug von Weiß einen Zug, so dass die Partie mit einem Remis endet?
- Kann Schwarz in der Ausgangsstellung bei jedem Zug von Weiß unbedingt gewinnen? Es könnte möglich sein, denn Weiß kann sich im ersten Zug unwiderruflich schwächen.

Die Frage nach einer optimalen Strategie wurde bereits von dem deutschen Mathematiker Georg Cantor (1845 - 1918) beantwortet. Er verwies auf die folgenden Schritte:

- Bauen Sie alle Stellungen, in denen Weiß matt gesetzt hat, nacheinander auf.
- Einen Zug zurück, kann Weiß in einem Zug matt setzen.
- Schwarz nimmt einen Zug zurück, und Weiß wählt wieder einen Zug, in dem er zwangsweise matt setzen kann. Das ergibt eine optimale Strategie. Aber sie lässt sich nicht auf die Ausgangsstellung zurückführen, denn das sind natürlich zu viele Möglichkeiten.

Die ersten Endspieltabellen - für alle 4-teiligen Endspiele - wurden bis Ende der 80er Jahre gebaut. Zu Beginn der 90er Jahre wurde die gleiche Aufgabe für 5-teilige Partien gelöst. Im Jahr 2005 wurden 6-teilige Endspiele in Nalimov-Tablebases gelöst, die jetzt von vielen professionellen Schachprogrammen und -diensten verwendet werden.

Experten rechneten nicht damit, dass 7-teilige Endungen vor 2015 geknackt und katalogisiert werden könnten, aber Convekta Ltd, namentlich die Programmierer Zakharov und Makhnichev, schafften es, diese Aufgabe in nur 6 Monaten zu lösen, indem sie einen neuen Algorithmus verwendeten, der speziell für diesen Zweck entwickelt wurde und auf dem Lomonosov-Supercomputer der Staatlichen Universität Moskau läuft. Lomonossow-Tabellenbasen

Als Ergebnis haben wir nun 525 Tablebases des Typs 4 gegen 3 und 350 Tablebases

8. Maschinelles Lernen und neuronale

des Typs 5 gegen 2. Die Berechnungen für 6 Figuren, die gegen einen einsamen König spielen, wurden nicht durchgeführt, da das Ergebnis ziemlich offensichtlich ist.

Das Gesamtvolumen aller Tablebases beträgt 140 000 Gigabyte, was offensichtlich zu viel für Personal Computer ist. Die Lomonosov-Tablebases werden online über das Aquarium-Interface und über die chessok.com-Website zugänglich sein. Alle Benutzer von ChessOK

Die Produkte Aquarium, Houdini Aquarium und Chess Assistant erhalten für den in der Produktbeschreibung angegebenen Zeitraum kostenlosen Zugang zu diesem Dienst.

Hier tauchen wieder sehr interessante theoretische und mathematische Fragen auf. In allen bisherigen Schachprogrammen wurden die Züge mit Bewertungsfunktionen ausgewählt, deren Komponenten einen schachlichen Hintergrund hatten. Zum Beispiel wurden der Wert der Figuren, die Sicherheit des Königs, die Besetzung des Zentrums usw. bewertet. Der Zug, der dem besten Wert der Bewertungsfunktion entsprach, wurde ausgewählt.

Das Training neuronaler Netze erzeugt die Gewichte w_i , die offensichtlich einen exzellenten Spielstil garantieren, aber wo man nicht weiß, was die einzelnen Gewichte für das Schachspiel bedeuten. Die Forderung, dass die Ergebnisse von KI-Programmen erklärbar sein müssen, lässt sich nicht realisieren. Entweder man glaubt dem Computer und handelt nach seinen Vorschlägen, oder man lässt ihn in Ruhe. Das Ergebnis wird in vielen Bereichen ein Computerglaube sein, von dem wir noch nicht wissen, wohin er führen wird. Auf jeden Fall muss man sich vor Augen halten, dass das gesamte vorhandene Wissen auf einem Gebiet bereits genutzt wurde. Neues Wissen kann leicht hinzugefügt werden, und die fertigen Systeme können im Prinzip mühelos vervielfältigt und einem breiten Benutzerkreis zugänglich gemacht werden.

Der Algorithmus zur Erstellung der Elemente einer Datenbank und zum Nachweis der Existenz einer optimalen Strategie wurde von dem Mathematiker Ernst Zermelo auf einem Mathematikerkongress im Jahr 1912 veröffentlicht. Später fand er sich als Spezialfall in der mathematischen Spieltheorie wieder.

Poker gilt seit jeher als ein Spiel zwischen Menschen. Es unterscheidet sich von anderen Spielen dadurch, dass hier psychologisches Denken eine Rolle spielt, zumindest wenn nur Menschen am Tisch sitzen. In einem Casino in der amerikanischen Stadt Pittsburgh hat ein Computerprogramm vier der besten Pokerspieler der Welt geschlagen. Fast drei Wochen lang verbrachten vier Pokerprofis viele Stunden am Tag damit, gegen die Software namens "Libratus" anzutreten, Chips zu setzen, ihre Strategien zu analysieren und trotzdem zu verlieren. "Es fühlte sich an, als ob ich gegen jemanden spielen würde, der betrügt, als ob er meine Karten sehen könnte", sagte der 28-jährige amerikanisch-koreanische Pokerspieler Dong Kim.

So spielen neuronale Netze eine zentrale Rolle bei der Entwicklung anderer intelligenter Anwendungen. Die strategischen Spiele dienen nur dazu, die Techniken auszuprobieren. Die Ergebnisse sind für den Menschen leicht nachvollziehbar. Man kann nun darauf vertrauen, dass ähnliche Ergebnisse für andere Probleme und andere Bereiche erzielt werden können.

8.3. Übersetzung zwischen verschiedenen Sprachen

Das deutsche Technologieunternehmen DeepL hat DeepL veröffentlicht, ein maschinelles Übersetzungssystem, das Übersetzungen von bisher unerreichter Qualität liefert. Der DeepL - Übersetzer kann unter www.DeepL.com/translators getestet

werden.

Netze

Die Programme für DeepL laufen auf einem Supercomputer in Island mit einer Leistung von 5,1 PetaFLOPS (5 100 000 000 000 Operationen pro Sekunde). Dieser Computer wurde verwendet, um neuronale Netze mit einer Sammlung mehrsprachiger Texte zu trainieren. Die Netze betrachten eine große Anzahl

von Übersetzungen und lernen Sie selbständig, wie man richtig übersetzt und gute Formulierungen wählt. Der DeepL Übersetzer unterstützt derzeit (Juni 2023) 31 Sprachen, die beliebig miteinander kombiniert werden können.

Ein eindrucksvolles Beispiel: Wir nehmen einen zuvor geschriebenen Absatz und geben ihn in DeepL im linken Fenster ein, im rechten Fenster können wir dann eine andere Sprache einstellen.

Deutsch

Die Existenz der maschinellen Übersetzung wird oft entweder übersehen (weil man sich eigentlich längst daran gewöhnt hat und sie benutzt, ohne darüber nachzudenken) oder etwas zu kritisch gesehen (weil sie angeblich alle Übersetzer um ihre Arbeit bringen wird). Der weltweite Übersetzungsmarkt verzeichnet jedes Jahr einen Umsatz von etwa 40 Milliarden Dollar und wird bis 2025 voraussichtlich auf über 60 Milliarden- den Dollar anwachsen. Durch die fortschreitende Globalisierung rücken Regierungen, Unternehmen und sogar Privatpersonen in verschiedenen Ländern immer enger zusam- men, und die ständig steigende Nachfrage nach Übersetzungen kann nicht mehr von Menschen allein gedeckt werden.

Englisch

Die Existenz der maschinellen Übersetzung wird oft entweder übersehen (weil man sich eigentlich längst daran gewöhnt hat und sie benutzt, ohne darüber nachzudenken) oder etwas zu kritisch gesehen (weil sie angeblich alle Übersetzer um ihre Arbeit bringen wird). Der weltweite Übersetzungsmarkt verzeichnet jedes Jahr einen Umsatz von etwa 40 Milliarden Dollar und wird bis 2021 voraussichtlich auf über 60 Milliarden Dollar anwachsen. Durch die fortschreitende Globalisierung rücken Regierungen, Unternehmen und sogar Privatpersonen in verschiedenen Ländern immer enger zusammen, und die ständig steigende Nachfrage nach Übersetzungen kann nicht mehr von Menschen allein gedeckt werden.

Lettisch

Maš⁻intulkošanas pasta⁻ve⁻šana bieži vien tiek vai nu ignore⁻ta (jo cilve⁻ki jau sen pie ta⁻s ir pieraduši un izmanto to, par to nedoma⁻jot), vai ar⁻ī uz to rauga⁻s pa⁻ra⁻k kritiski (jo ta⁻ it ka⁻ atn⁻ems darbu visiem tulkota⁻jiem). Pasaules tulkošanas tirgu⁻ katru gadu tiek reg⁻istre⁻ti aptuveni 40 miljardu dola⁻ru ieņ⁻e⁻mumi, un paredzams, ka l⁻īdz 2025. gadam tie pieaugs l⁻īdz vaira⁻k neka⁻ 80 miljardiem dola⁻ru. Globaliza⁻cijas rezulta⁻ta daža⁻du valstu vald⁻ības, uzņ⁻e⁻mumi un pat priva⁻tpersonas kl⁻u⁻st arvien cieša⁻k saist⁻ītas, un arvien pieaugošo piepras⁻ījumu pe⁻c tulkojumam vairs nevar apmierina⁻t tikai cilve⁻ki.

Ungarisch

A gépi fordítás létezéséről gyakran vagy nem vesznek tudomást (mert az em- berek már régóta hozzászoktak, és gondolkodás nélkül használják), vagy túlságosan kritikusan szemlélik (mert állítólag minden fordítót megfoszt a munkájától). A globális fordítási piac évente mintegy 40 milliárd dollár bevételt könyvel el, és 2025-re várhatóan 80 milliárd dollár fölé nő. A különböző országok kormányai, vállalatai, sőt magánszemélyei is egyre közelebb kerülnek egymáshoz a globalizáció következtében, és a fordítások iránti egyre növekvő igényt már nem lehet egyedül kielégíteni.

8. *Maschinelles Lernen und neuronale*

Übersetzungen ins Japanische und Chinesische sind ebenfalls möglich.

Natürlich gibt es immer noch Probleme, bei denen Verbesserungen notwendig sein könnten:

私のホームページにようこそ。 日本
らのお客様の為に日本語のガイドをお
めですか。 私自身は日本語を話せま
んが、ここに私のガイド仲間をご紹介
ます。皆、ハイデルベルク市観光協会
認の日本語ガイドです。直接コンタク
をおとり下さい。

Abb. 8.10 Eine Übersetzung ins Japanische

李叶的爸爸经常在外面，很少在家。李叶的妈妈是个很好看的女人，她有很多朋友，每天都和朋友一起玩。李叶的爸爸妈妈都很美，他们没有时间理他们的女儿。还有，李叶的妈妈好像一点也不喜欢李叶，她觉得李叶一点也不懂她。李叶出生以后，她就告诉家里的阿姨：“如果你们想让我堕心，就不要让我看到这个孩子。”所以，李叶很少能见到她的爸爸妈妈。

Abb. 8.11 Eine Übersetzung ins Chinesische

- Probleme mit der Fachterminologie und mit der terminologischen Konsistenz,
- Probleme mit Homonymen und Kontexterkenkung.

Und wenn man dann immer noch nicht überzeugt ist, kann man sich im Internet eine chinesische oder japanische Zeitschrift suchen, den Text mit **Strg + C** und **Strg + V** in das DeepL-Fenster übertragen, dort wird er übersetzt und man kann leicht sehen, ob man den Text versteht. Nachdem man dies einige Male gemacht hat, ist man überzeugt, dass solche Systeme bereits ein sehr gutes Niveau haben, das weit über das eines Normalsterblichen hinausgeht. Man kann jetzt (als Wissenschaftler, als Reporter, als jemand, der sich für das Alltagsleben in fremden Ländern interessiert) an Informationen kommen, die früher nur mit enormem Aufwand möglich waren.

Google hat auch viel in Übersetzungsprogramme investiert. Es werden mehr als 100 Sprachen angeboten, darunter viele Sprachen, die sehr selten sind, vor allem aus Afrika und Asien, bis hin zu Xhosa, Yoruba und Zulu. Die Yoruba sind ein westafrikanisches Volk, das hauptsächlich im Südwesten Nigerias lebt. Die Xhosa sind ein südafrikanisches Volk, das sprachlich zu den Bantu gehört. Die Zulu sind eine Untergruppe der Bantu, die heute mit über elf Millionen Menschen die größte ethnische Gruppe Südafrikas bilden.

Wenn Sie nach Afrika reisen, können Sie ziemlich sicher sein, dass Sie auf

Französisch, Spanisch oder Portugiesisch, je nach den ehemaligen Kolonialmächten. Sie werden sehr freundlich empfangen, wenn Sie sich bemühen, die Sprache der Einheimischen zu lernen. Sie schreiben auf Ihrem Computer auf, was Sie wissen wollen, und tragen es dann in der Landessprache vor. Und es gibt auch Gelegenheiten, bei denen man darauf angewiesen ist, sich mit einem Einheimischen zu unterhalten, der keine andere Sprache beherrscht.

- Wo ist die nächste Gelegenheit, hier etwas zu essen oder zu trinken zu kaufen?
- Dab tsi yog qhov tuag nyob rau hauv Gelegenheit, thiab yog dab tsi.
Die Hmong sind eine in Südchina lebende ethnische Gruppe.

- Je! Ni nani aliyepata kufa Gelegenheit, na hii inaweza kusababisha nini?
Suaheli ist in Ostafrika weit verbreitet.

Für Blinde hat sich mit der automatischen Übersetzung in Blindenschrift eine ganz neue Welt aufgetan. Mit Hilfe von Computern können Texte aus vielen Sprachen in die Brailleschrift übersetzt werden und umgekehrt. So ist es für einen blinden Deutschen durchaus möglich, mit einem blinden Japaner zu kommunizieren.

Selbst für Menschen, die ihr Gehör vollständig verloren haben, werden die Möglichkeiten immer größer. Es gibt bereits Smartphone-Apps, die als Übersetzer für die Gebärdensprache, für geschriebene und für gesprochene Texte angeboten werden.

Deep-Learning-Methoden werden derzeit in vielen Bereichen von Wissenschaft, Technik und Kunst sehr erfolgreich eingesetzt. Einige Beispiele werden in den entsprechenden Anwendungswerken vorgestellt. Im Internet findet man auch eine ganze Reihe von Unternehmen, die entsprechende Lösungen anbieten.

Sie können hier sehen, wie sich die Situation in Zukunft verändern wird. Die Zahl derjenigen, die im Rahmen ihrer beruflichen Tätigkeit oder ihres Privatlebens Routine-Texte übersetzen, wird abnehmen. Es wird nur noch wenige Linguisten geben, die hochwertige oder schwierigste Texte bearbeiten. Die Zahl der Menschen, die sich in einer fremden Umgebung zurechtfinden müssen, wird es dagegen viel leichter haben. Kürzlich konnte ich an einem deutschen Bankschalter eine Szene beobachten, in der ein Ausländer sein Anliegen in ein Handy sprach, dort wurde es schriftlich vorgetragen, übersetzt, und der Bankangestellte konnte das Anliegen verstehen und die entsprechenden Maßnahmen ergreifen und die Fragen beantworten.

Es ist leicht zu erkennen, dass diese Möglichkeiten auch Auswirkungen auf die Bildung haben. Das Erlernen von Fremdsprachen wird zu einem Hobby für den Einzelnen.

Eine ganze Reihe von Vorbehalten gegenüber diesen Lernverfahren ist, dass man negative und sehr negative Ziele haben kann. Aber das ist erstens nicht neu in der Geschichte der Menschheit und zweitens hängt es ganz davon ab, welche Ziele vorgegeben werden.

9. Andere Anwendungen

9.1. Datenbanken

Datenbanken stellen ein Grenzgebiet in Bezug auf die künstliche Intelligenz dar. Hier nutzt man die vorhandenen großen Speichermöglichkeiten und die verfügbaren Suchalgorithmen.

Eine Datenbank besteht aus zwei Teilen:

- 1 die Verwaltungssoftware, das Datenbankmanagementsystem (DBMS),
- 2 die Menge der zu verwaltenden Daten, die Datenbank (DB) im engeren Sinne, oft auch "Datenbank" genannt. Die Verwaltungssoftware organisiert intern die strukturierte Speicherung der Daten und steuert alle Lese- und Schreibzugriffe auf die Datenbank.
- 3 Ein Datenbanksystem bietet eine Datenbanksprache zur Abfrage und Verwaltung der Daten. SQL (System Query Language) ist eine Datenbanksprache zur Definition von Datenstrukturen in relationalen Datenbanken und zur Bearbeitung (Einfügen, Ändern, Löschen) der Datensätze.

SQL basiert auf einer relationalen Algebra, seine Syntax ist relativ einfach und lehnt sich im Wesentlichen an die englische Umgangssprache an. Ein gemeinsamer Ausschuss von ISO und IEC standardisiert die Sprache unter Beteiligung nationaler Normungsgremien wie ANSI oder DIN. Die Verwendung von SQL zielt darauf ab, Anwendungen unabhängig vom verwendeten Datenbankmanagementsystem zu machen.

Eine sehr natürliche Form von Datenbanken sind z.B. Wörterbücher. Das Wörterbuch dict.cc [20] bietet für Deutsch als Ausgangssprache 26 Sprachen auf der gegenüberliegenden Seite an. Die entsprechende Seite erlaubt die Auswahl einer Sprache und liefert die Antwort, wenn man ein deutsches Wort eingibt. Der Vorteil solcher Datenbanken liegt auf der Hand. Man spart viel Platz, viel Zeit und viel Geld. Die bei [linguee](https://www.linguee.com) verfügbaren Datenbanken arbeiten eng mit DeepL zusammen.

Das Vorhandensein von Wörterbüchern im Internet hat einen großen Einfluss auf die Geschäftswelt. Es werden weniger Wörterbücher gedruckt, das Internet bietet viel umfangreichere Wörterbücher für viel mehr Sprachen. Der Duden und seine Sonderausgaben gelten nach wie vor als Standardwerk der Rechtschreibung. Allerdings ist auch der Absatz zurückgegangen, da er natürlich auch im Internet unter <https://www.duden.de> zu finden ist.

Seit Generationen steht die "Brockhaus Enzyklopädie" für das gesammelte Wissen

der Welt, für lexikalische Kompetenz auf höchstem Niveau. Sie ist das

9. Andere Anwendungen

Grundlage für Arbeit, Bildung, kulturelles Erleben, für Diskussionen und im täglichen Leben. Aber sie hat sich auch der technischen Entwicklung angepasst: Die "Brockhaus Enzyklopädie Audiothek" ist ein Novum: Über 70 Stunden Hörbeispiele auf zwei Audio-DVDs - eine für den PC, eine für den DVD-Player - machen erstmals hörbar, was sich mit Worten nur bedingt beschreiben lässt: Naturgeräusche, Reden, Musikstücke, Tierstimmen, literarische Vorträge, etc.

Das Online-Portal <https://brockhaus.de> sorgte dafür, dass das gesamte Stichwort erfunden wurde.

Bis Ende 2010 war die Brockhaus Enzyklopädie für Enzyklopädie-Besitzer jederzeit und überall kostenlos zugänglich. Zudem werden hier die Inhalte ständig aktualisiert, so dass die Brockhaus Enzyklopädie nicht nur das umfassendste, sondern auch das aktuellste deutschsprachige Nachschlagewerk ist und bleibt. Das gleiche Prinzip verfolgt auch die Wikipedia im Internet.

Es gibt noch viele weitere Datenbanken im Internet, die viele Geschäftszweige mehr oder weniger überflüssig gemacht haben. Unter www.stampworld.com finden Sie einen Briefmarkenkatalog für alle Länder und alle Zeiten. Die Erstellung dieser relationalen Datenbank war eine gewaltige Arbeit, und es ist keine leichte Aufgabe, sie ständig auf dem neuesten Stand zu halten.[22]

Im einfachsten Fall geht man folgendermaßen vor:

- Gegeben ist ein einzelnes Objekt, das aus einer Menge ähnlicher Objekte ausgewählt wurde. Wir nehmen als Beispiel eine einzelne Briefmarke, die irgendwo und irgendwann herausgegeben wurde. Alle Briefmarken aller Länder und Zeiten bilden die Menge M.



Abb. 9.1 Die erste Briefmarke von Britisch-Guyana

Für Stempel wird nun eine Reihe von Eigenschaften definiert, die einem Stempel zugewiesen werden können. In Abb. 9.1 sind die folgenden Elemente angegeben:

9. Andere Anwendungen

- \emptyset - keine besondere Bezeichnung

9. Andere Anwendungen

- Datum der Ausgabe: Erstausgabe am 1. Juli 1850,
- farbiges Papier,
- kein Wasserzeichen,
- keine Perforation,
- Ausgabe Nummer 1,
- Wert 2 Cent
- Farbe schwarz, Papier dunkelrosa
- Preis unbenutzt € 200.000 ,
- Preis gebraucht € 150.000,
- ein Bild der Briefmarke.

Der Begriff "relationale Datenbank" lässt sich anhand dieser Eigenschaften leicht erklären. Für jeden Punkt gibt es eine Grundmenge. Es gibt eine breite Palette von Namen. Es gibt die Namen von Gedenktagen, Organisationen, Politikern und vielen anderen. Die Nummerierung der Briefmarken eines Landes beginnt immer mit 1, die Obergrenze ist bei British Guyana die Zahl 241. Wenn man diesen Wert kennt, dann ist die Marke sofort identifiziert.

Das Papier kann verschiedene Farben haben, heute ist weiß der Standard. Wasserzeichen sind ein besonderes Merkmal des Papiers, auf dem die Briefmarke gedruckt wurde. Sie sollen als Schutz vor Fälschungen dienen. Auch die Perforation spielt eine gewisse Rolle. Früher hatten die Briefmarken sehr oft keine Zähnung, später haben die Briefmarken in der Regel eine Zähnung, die vorhandenen Zähnungen werden nach ihrem Feingehalt unterschieden.

Danach wird der **Ausgabewert** der Briefmarke in der jeweiligen Landeswährung angegeben. Der Rest der Punkte ist selbstverständlich. Der Preis variiert natürlich in gewissen Grenzen und spiegelt die Seltenheit der Marke wider.

Ein Element der Beziehung ist gegeben, wenn für eine Briefmarke in jeder der gegebenen Mengen ein Element ausgewählt wurde. Obwohl kaum noch Briefe geschrieben werden, ist das Briefmarkensammeln immer noch lebendig; für die

Postverwaltungen vieler Länder ist es eine zusätzliche Geldquelle. Solche

Datenbanken sind weit verbreitet - Autonummern, Kontonummern, Kreditkartennummern, Versicherungspolicennummern, Steuernummern, die Einträge beim Ordnungsamt dienen dem gleichen Zweck der eindeutigen Charakterisierung bestimmter Objekte und ihrer

Zugehörigkeit.

Interessant und wichtig sind vor allem auch die Verknüpfungen zwischen verschiedenen Datenbanken. In der Schweiz sind die medizinischen Informationen mit einer Person verknüpft. Alle Einträge, die ein Arzt für einen Patienten vornimmt, sind

9. Andere

sofort für alle anderen Ärzte, die mit diesen Patienten zu tun haben, verfügbar. So wird eine Benutzergruppe geschaffen. Dies vermeidet doppelte Tests, widersprüchliche

Medikamenten, unnötigen Wegen und Kosten. In den letzten Jahren hat sich auf dieser Grundlage ein neuer Ansatz herausgebildet, das sogenannte Cloud Computing.

Cloud Computing (Computer- oder Datenwolke) beschreibt ein Modell, das eine gemeinsame

Computer - Ressourcen als Dienstleistung, zum Beispiel in Form von Servern, Datenspeichern oder Anwendungen, in einer Cloud auf Abruf - meist über das Internet und geräteunabhängig - zeitnah und mit geringem Aufwand zur Verfügung und rechnet nach Nutzung ab. Das Angebot und die Nutzung dieser Rechenressourcen ist definiert und erfolgt in der Regel über eine Anwendungsprogrammierschnittstelle (API) oder für die Nutzer über eine Website oder App.

9.2. Handel über das Internet

Mit dem Aufkommen und der Entwicklung des Internets sind auch viele neue vernetzte Wirtschaftszweige entstanden, die in hohem Maße von Datenbanken abhängig sind, nun aber viele andere Merkmale - Vor- und Nachteile - miteinander verbinden. Sie werden unter dem Namen "E-Commerce" zusammengefaßt. Das Internet ist die Basis für umfangreiche Vertriebsaktivitäten. Möglicherweise gehört auch das "Online-Banking" dazu, das sich aber bereits zu einer eigenen Branche entwickelt hat. Fast jede Bank hat heute eine Online-Präsenz.

Der elektronische Handel hat sich in den letzten 30 Jahren sehr stark entwickelt und dominiert heute viele Geschäftsbereiche, in denen der traditionelle Einzelhandel stark beeinträchtigt wurde. Ein bekanntes Beispiel ist das "Kindle ebook". Bücher, die dort angeboten werden, sind billiger als in Papierform, und sie benötigen keinen Platz in der Wohnung. Allerdings sind große Bilder und Karten in der Regel nicht sehr übersichtlich, schöne Einbände gehen ebenfalls verloren, und der Beruf des Buchbinders ist mehr oder weniger am Aussterben. Am bekanntesten sind wohl "Amazon" und "eBay", aber jede Branche ist dabei. Viele Hersteller von bestimmten Produkten verkaufen über das Internet, betreiben aber auch Einzelhandelsgeschäfte.

Amazon.com, Inc. (kurz: Amazon) ist ein börsennotiertes US-amerikanisches Online-Versandhandelsunternehmen mit einer breiten Produktpalette. Nach eigenen Angaben verfügt Amazon als Marktführer des Handels im Internet über die weltweit größte Auswahl an Büchern, CDs und Videos. [Über die integrierte Verkaufsplattform "Marketplace" können auch Privatpersonen oder andere Unternehmen neue und gebrauchte Produkte im Rahmen des Online-Handels anbieten. Unter der eigenen Marke vertreibt das Unternehmen den "Amazon Kindle" als Lesegerät für elektronische Bücher, den "Tablet-Computer" Amazon Fire HD, die "Set-Top-Box Fire TV" sowie den "HDMI-Stick Fire TV Stick" und das Spracherkennungssystem "Echo". Mit Amazon Web Services ist das Unternehmen zudem einer der führenden Dienstleister für Cloud Computing. Im Jahr 2020 erwirtschaftete das Unternehmen einen Umsatz von 386 Milliarden Dollar. In Deutschland war Amazon im Jahr 2020 mit einem Umsatz von 29,5 Milliarden Euro das umsatzstärkste Unternehmen der USA. Es ist fast unvorstellbar, dass dieses Unternehmen erst 1994 gegründet wurde

9. Andere

und innerhalb von knapp 30 Jahren das Leistungsniveau erreicht hat.

Die besonderen Merkmale sind *Markttransparenz* und das *Fehlen von Präferenzen*. Bei der Erstellung und Nutzung solcher Systeme ergeben sich viele bisher ungeahnte Probleme. Zum Beispiel ist es für den Absatz eines Produktes von großer Bedeutung, wenn ein Angebot erscheint

9. Andere Anwendungen

im Internet. Untersuchungen haben gezeigt, dass ein Kunde, der nach etwas sucht, sich nur drei bis vier Seiten ansieht und dann eine Entscheidung trifft oder die Suche abbricht und die Entscheidung verschiebt. Deshalb spielt die Werbung im Internet eine entscheidende Rolle. Sie ermöglicht die relativ genaue Messung eines bestimmten Werbeerfolgs. Allerdings hat sie wohl oft ein Stadium erreicht, in dem diese Form außerordentlich überspannt wird. Sie verdrängt aber allmählich die Werbung mit Katalogen, Anzeigen und Prospekten.

Die wichtigsten Vorteile sind folgende:

- neue Möglichkeiten der Kommunikation mit den Kunden,
- Erschließung neuer Vertriebskanäle,
- Gewinnung von Neukunden,
- Steigerung des Umsatzes,
- Effizienzsteigerung,
- automatisierte, arbeitszeitunabhängige Geschäftsprozesse.

Der elektronische Handel hat jedoch auch Nachteile, die sich auf die Kosten auswirken:

- zusätzliche Absatz- oder Beschaffungsrisiken,
- sinkender Kundenwert (wenn kein persönlicher Service geboten wird),
- sinkende Kundenzufriedenheit (Reaktanzreaktionen auf die Erstellung von Kundenprofilen),
- erhöhte Risiken im Zahlungsverkehr (Betrugsrisiko),
- Mehraufwand durch die Aufrechterhaltung einer versandhandelstypischen Organisation (Lagerhaltung, Debitorenbuchhaltung, etc.),
- Rücksendung ohne Kosten für den Kunden.

Es gibt auch eine ganze Reihe kleinerer Unternehmen, die ebenfalls das Internet nutzen, um ihre Produkte zu verkaufen. Internethändler haben den Vorteil, dass sie keinen physischen Verkaufsraum benötigen, der virtuell als Website verfügbar ist. Einige Online-Händler verzichten daher auch auf eigene Lager, die Bestellungen werden direkt an den Hersteller oder Großhändler weitergeleitet, der sich um die Kommissionierung und den Versand der Ware kümmert. Unternehmen, die Waren kostenlos versenden und auch eine schnelle Lieferung anbieten, sind so zu einer ernsthaften Konkurrenz für den stationären Handel geworden. Auch Internetbuchhändler, die in Deutschland der Buchpreisbindung unterliegen und daher

9. Andere

Anwendungen
keine Rabattaktionen durchführen können profitieren davon, indem sie den Kunden bei gleichem Preis den Weg in die Buchhandlung ersparen.

9. Andere Anwendungen

In einigen Fällen dienen die Geschäfte gleichzeitig als stationäres Geschäft und als Abhol- oder Rückgabestation für die vom Kunden im Internet bestellten Waren. Auf diese Weise wird der Service im lokalen Geschäft mit dem Online-Handel verknüpft. Eine Studie von Oktober 2015 bis Januar 2018 zeigte, dass der traditionelle Einzelhandel mit dem Online-Handel konkurrieren kann, insbesondere in Städten.

Bei digitalen Produkten wie Musikdateien, Software oder Online-Büchern kann der Kunde das Produkt direkt nach dem Kauf herunterladen. Der physische Versand entfällt in diesem Fall, und der Kunde kann seinen Kauf sofort nutzen.

Die meisten E-Shop-Systeme haben die folgenden grundlegenden Software-Komponenten:

- Datenbank mit Produktinformationen speichern,
- Verwaltungsdatenbank,
- Präsentationssystem,
- Empfehlungsmaschine für die Empfehlung eines Produkts,
- Zahlungsgateway (Abwicklung des Zahlungsvorgangs),
- andere Funktionalitäten (Werkzeuge),
- Web-Tracking-System.

Amazon geht offensichtlich in zwei Schritten vor: Zunächst wird nach Produkten gesucht, die semantisch grundsätzlich mit der Suchanfrage übereinstimmen. Damit ist ausgeschlossen, dass beispielsweise plötzlich ein Hausschuh angeboten wird, obwohl der Kunde eigentlich nach Motorradzubehör gesucht hat. Im zweiten Schritt werden die auf diese Weise vorgefilterten Produkte dann von einem Algorithmus nach verschiedenen Kriterien sortiert. Die wichtigsten Faktoren sind in diesem Schritt "erste Bewertungen", "Produktbilder" oder "Verfügbarkeit".

Diese Faktoren werden in den Einheiten "Klickrate" und "Konversionshäufigkeit" gemessen. Die Klickrate gibt an, wie viele Personen die Produktseite besucht haben. Der zweite Faktor zeigt, wie viele Personen das Produkt tatsächlich gekauft haben. Bevor Sie sich auf die Suche nach einem Produkt machen, sollten Sie sich selbst Gedanken machen: Was würden Sie eine Verkäuferin im Laden fragen, wenn Sie ein bestimmtes Produkt suchen? Mit dieser Methode können Sie relativ schnell ein paar passende Schlüsselwörter zum Produkt finden und diese Liste weiter ausbauen. Diese Liste kann dann in das Amazon-Suchfeld eingegeben werden, um über die Empfehlungen von Amazon weitere passende Begriffe zu finden.

Einen Platz ganz oben in den Suchergebnissen kann man sich durch Amazons "gesponserte Produkte" sichern, sie basieren auf Schlüsselwörtern und Auktionen. Der Händler mit dem höchsten Gebot erhält den begehrten Platz an der Spitze von Amazons Produktsuche. Jeder, der ein professionelles Amazon-Verkäuferkonto besitzt, hat die Möglichkeit, solche Anzeigen zu schalten.

Das Ziel der Google-Suchmaschine ist es, seinen Nutzern schnell und unkompliziert

9. Andere

die bestmöglichen Informationen zu diesem Zweck werden Milliarden von Webseiten

9. Andere Anwendungen

durchsucht werden. Bei dieser Suche werden zahlreiche Faktoren berücksichtigt: die in einer Suchanfrage verwendeten Wörter, die Relevanz und Nützlichkeit der Seiten, die Kompetenz der Quellen sowie der Standort und die Einstellungen".

Es wird immer deutlicher, dass es vor allem auf große Datenmengen ankommt. Die bestehenden Algorithmen zur Klassifizierung von Daten und zum Auffinden entscheidungsrelevanter Faktoren arbeiten bereits sehr erfolgreich. Es ist fast schon selbstverständlich, dass lernende Programme auch zur ständigen Verbesserung der Werbung eingesetzt werden.

Und natürlich darf man die Unterhaltungsindustrie nicht vergessen. Hier nimmt YouTube eine Spitzenposition ein. YouTube ist ein Videoportal, das 2005 von der US-amerikanischen Firma YouTube, LLC, gegründet wurde, seit 2006 eine Tochtergesellschaft von Google LLC. Nutzer können auf dem Portal kostenlos Videoclips ansehen, bewerten, kommentieren und selbst hochladen. Die Haupteinnahmequelle von YouTube ist Werbung. Es verdient aber auch durch monatliche Abo-Dienste wie YouTube Premium. Im Jahr 2019 erwirtschaftete YouTube einen Jahresumsatz von 15 Milliarden US-Dollar. Der Großteil der Einnahmen wird durch das Abspielen von Werbespots erzielt.

YouTube bietet drei Formen der Zugänglichkeit: *öffentlich*, *nicht aufgelistet* oder *privat*. Öffentliche Videos sind der Standard. Diese können von jedem angesehen und in den Suchergebnissen gefunden werden. Es gibt unendlich viel Material, Bücher, Theaterstücke, klassische Musik, alles, was das Herz begehrt, die Suchzeit ist sehr kurz.

Netflix, Inc. ist ein US-amerikanisches Medienunternehmen, das sich mit dem bezahlten Streaming und der Produktion von Filmen und Serien beschäftigt. Es folgt den gleichen Grundsätzen wie Amazon und eBay, hat aber einen begrenzteren Geschäftsumfang.[72] Das 1997 von Reed Hastings und Marc Randolph in Los Gatos, Kalifornien, gegründete Unternehmen war zunächst als Online-Videothek tätig und lieferte Filme auf DVD und Blu-ray an seine Abonnenten. Im Jahr 2007 stieg Netflix in das Video-on-Demand-Geschäft ein und stellte seine Inhalte den Abonnenten per Streaming zur Verfügung. Bis März 2020 hatte der Mediendienst fast 3.000 Filme und Fernsehsendungen zum Streaming angeboten. Bis Ende Juni 2021 hatte Netflix seit seiner Gründung mehr als 200 Millionen bezahlte Abonnements abgeschlossen, davon mehr als 70 Millionen in den USA und Kanada. Im Jahr 2020 überstieg der Börsenwert des Unternehmens mit knapp 195 Milliarden Dollar erstmals den der Walt Disney Company.

Netflix kategorisiert seine Kunden in *Anfänger*, die nur zwei Minuten eines Films oder einer Serie gesehen haben, in *Zuschauer*, die eine Film- oder Serienepisode nach 70 Prozent abbrechen, und in *Komplettierer*, die Filme oder Serien zu 90 Prozent gesehen haben.

die Zeit. Die Zahlen in den drei Kategorien werden den Produzenten innerhalb der ersten 7 Tage und 28 Tage nach der Veröffentlichung eines neuen Films oder einer neuen Staffel einer Serie zurückgemeldet. Metriken für den Produktionserfolg nach einem Monat nach der Veröffentlichung werden nicht erhoben.

Durch inhaltsbasierte und kollaborative Filterung ist Netflix in der Lage, den

9. Andere

Nutzern auf sie zugeschnittene ~~1/8~~ ^{1/8} Serienempfehlungen zu geben. Zu diesem Zweck werden bei jeder Nutzung von Netflix vielschichtige Daten über das Nutzerverhalten gesammelt. Dazu gehören neben der Handlung, den Schauspielern, dem Drehort usw. auch die genaue Dauer des Filmkonsums.

Jeder Autofahrer schätzt die Datenbank, die in seinem Navigationsgerät steckt. Es kennt jede Stadt, jeden Ort, jede Straße und jede Hausnummer in jedem Land. Es ist schwer

9. Andere Anwendungen

Sie erinnern sich, dass man früher einen Berg von Karten oder einen Autoatlas mit sich führen musste. Doch die Kunst, sich in Karten zurechtzufinden, geht langsam verloren. Das Unternehmen Ebay folgt denselben Grundsätzen: EBay Inc. ist ein US-amerikanisches Unternehmen.

die einen der größten Online-Marktplätze betreibt. Es wurde am 3. September 1995 von Pierre Omidyar in San José (Kalifornien) unter dem Namen AuctionWeb gegründet. Das Unternehmen bietet seine Dienste auch in Europa an, zum Beispiel in Deutschland, der Schweiz und Österreich. Bis zum 17. Juli 2015 gehörte auch der Bezahlendienst PayPal zum Unternehmen, hier kommt also der Auktionscharakter zum Geschäftsansatz von Amazon hinzu. Jeder kann ein Produkt auf Ebay gegen eine bestimmte Provision anbieten, zusammen mit einem Mindestbetrag, zu dem man das Objekt verkaufen möchte. Die Kunden können dann den Preis wie bei einer Auktion erhöhen. Ein Schlusstermin beendet dann diese Auktion, und das höchste Gebot erhält den Zuschlag. Im Laufe der Jahre hat sich das Angebot von einem Marktplatz mit Flohmarktcharakter zu einer Plattform entwickelt, die neben Gebrauchtwaren von privaten Verkäufern auch Neuware von gewerblichen Händlern anbietet. Die Abhängigkeit von Datenbanken und dem Internet ist ganz offensichtlich, und die Intelligenz liegt hier unter anderem in der Geschäftsidee.

Auch die Tourismusbranche ist fest in der Hand des Internets und hat die lokalen Reisebüros stark an den Rand gedrängt. Das amerikanische Unternehmen TripAdvisor ist ein Beispiel dafür. Es handelt sich um eine US-amerikanische Tourismus-Website, die ihren Nutzern individuelle Erfahrungsberichte zur Verfügung stellt, um die Urlaubsplanung zu erleichtern. [27] Es gibt Bewertungen und Erfahrungsberichte zu 1,8 Millionen Geschäften, 4,2 Millionen Restaurants, 1,1 Millionen Hotels und 830.000 Ferienunterkünften sowie 730.000 Attraktionen in 135.000 Reisezielen (Stand: Mitte 2016). Angeboten werden Erfahrungsberichte und Bewertungen von Reisenden, Links zu Berichten aus Zeitungen, Zeitschriften und Reiseführern sowie Reiseforen (elektronische "Schwarze Bretter").

China ist einer der attraktivsten E-Commerce-Märkte der Welt. Im Jahr 2018 erzielte der Online-Handel in China einen Umsatz von rund 530 Milliarden Euro. Die Zahl der Online-Käufer hat sich in den letzten zehn Jahren mehr als verzehnfacht. Heute kaufen bereits fast 85 Prozent der chinesischen Internetnutzer online ein. Das Unternehmen Alibaba ist durchaus vergleichbar mit Amazon.

9.3. Große Daten

Big Data bezeichnet große Datenmengen, die aus Bereichen wie Internet und Mobilfunk, Finanzwirtschaft, Energiewirtschaft, Gesundheitswesen und Verkehr sowie aus Quellen wie intelligenten Agenten, sozialen Medien, Kredit- und Kundenkarten, intelligenten Messsystemen, Assistenzgeräten, Überwachungskameras, Flugzeugen und Fahrzeugen stammen und mit speziellen Lösungen gespeichert, verarbeitet und analysiert werden. Es geht um "Rastersuche", "(Inter-)Abhängigkeitsanalyse",

9. Andere

"Umwelt-" und "Trendforschung" sowie "System-" und "Produktionskontrolle". Das Hauptanliegen ist die Entdeckung von neuem Wissen. Die weltweite Datenmenge ist so stark angeschwollen, dass sich ungeahnte Möglichkeiten eröffnen. Die Vernetzung von Daten

9. Andere

schlichtweg überfordert ist und die dubiose Technik die Menge nicht effizient verarbeiten kann. Beim Umgang mit

9. Andere Anwendungen

Massendaten, ergeben sich besondere technische Anforderungen an die verwendete Software. Nur spezielle Frameworks können die Daten auswerten. Dazu muss die Software in der Lage sein, möglichst viele Datensätze auf einmal zu verarbeiten und große Datenmengen möglichst schnell zu importieren. Außerdem sollte die Software dem Nutzer die Datenmengen möglichst in Echtzeit zur Verfügung stellen und bei Bedarf auch mehrere Datenbankabfragen gleichzeitig beantworten können.

Hier ist es besonders wichtig, sehr große Datenmengen verarbeiten zu können. Um die Korrelation zwischen zwei Datensequenzen zu berechnen, verwendet man z.B. den Korrelationskoeffizienten. Dies ist mathematisch nicht sehr schwierig [28].

Wir gehen von zwei Datensätzen aus $(x_1 \dots x_n)$ und $(y_1 \dots y_n)$. Zunächst berechnen wir die beiden Mittelwerte:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (9.1)$$

Berechnen Sie dann die Kovarianz auf folgende Weise:

$$\text{cov}(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad (9.2)$$

Mit Hilfe der Kovarianz lässt sich feststellen, wie sich die relativen Positionen (Abweichungen vom Mittelwert) von gepaarten Messungen zweier Variablen zueinander verhalten.

- Wenn die Abweichungen vom Mittelwert überwiegend das gleiche Vorzeichen haben, wird die Kovarianz positiv (wenn positive Abweichungen bei einer Variablen in der Regel mit positiven Abweichungen bei der anderen Variablen einhergehen).
- Wenn die Abweichungen vom Mittelwert meist entgegengesetzte Vorzeichen haben, ist die Kovarianz negativ (wenn positive Abweichungen bei einer Variablen meist mit negativen Abweichungen bei der anderen Variablen einhergehen).
- Wenn die Abweichungen unsystematisch variieren, ist die Kovarianz nahe Null (wenn positive Abweichungen bei einer Variablen manchmal von negativen Abweichungen und manchmal von positiven Abweichungen bei der anderen Variablen begleitet werden).

Dann berechnen wir die Standardabweichungen

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (9.3)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (9.4)$$

Schließlich erhalten wir die Produkt-Moment-

Korrelationskoeffizient

*9. Andere
Anwendungen*

$$r(x,y) = \frac{\text{cov}(x,y)}{s_x s_y} \quad (9.5)$$

9. Andere Anwendungen

Der daraus resultierende charakteristische Wert $r(x,y)$ wird als Pearson-Korrelationskoeffizient bezeichnet.

Wie die Kovarianz erlaubt sie eine Interpretation der Richtung der Korrelation. Darüber hinaus liefert er aber auch Informationen über die Stärke der Korrelation. Denn durch die Normierung kann der Korrelationskoeffizient einheitlich interpretiert werden (unabhängig davon, welche Variablen betrachtet werden). Damit ist der Korrelationskoeffizient

$r_{(x,y)}$ kann nur Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei

- der Wert -1 bedeutet eine vollkommen negative Korrelation zwischen den Variablen,
- der Wert +1 zeigt eine vollkommen positive Korrelation zwischen den Variablen an,
- Der Wert 0 bedeutet, dass keine Beziehung zwischen den Variablen besteht.

In den ersten beiden Fällen liegen alle Punkte auf einer Stufe, was in der Praxis jedoch sehr selten der Fall ist. Für die Interpretation der Werte zwischen 0 und 1 bzw. 0 und -1 verwendet man den folgenden Ausdruck:

- von $r = 0,10$ oder $-0,10$ spricht man von einer schwachen Korrelation,
- von $r = 0,30$ oder $-0,30$ nennt man eine mittlere Korrelation,
- von $r = 0,50$ oder $-0,50$ ist eine starke Korrelation.

Sehr oft kommt es jedoch vor, dass die Daten nicht durch Zahlen beschrieben, sondern nur durch Rangfolgen charakterisiert sind. Hier hilft die Pearsonsche Rangkorrelation. Man verwendet die Formel für $r_{(x,y)}$, ersetzt aber die Werte für das x_i durch Rangfolgen [28]. Im Beispiel wird die Laufzeit über 100 m zusammen mit dem Alter angegeben.

Person	Alter	Rang	Laufzeit in Sekunden	Rang in Sekunden
1	59	6	14,61	6
2	35	3	11,80	2
3	43	5	14,34	5
4	23	1	13,03	3
5	42	4	14,18	4
6	27	2	11,02	1

Es ist zu erkennen, dass die durch das Alter bestimmte Reihenfolge von der durch die Laufzeiten gegebenen Reihenfolge abweicht; drei Personen befinden sich nicht auf dem Platz, der ihrem Alter in den Laufzeiten entspricht. Wenn wir den Korrelationskoeffizienten berechnen, erhalten wir $r = 0,73$, was bedeutet, dass das Alter den Platz in diesem Lauf nur in etwa 75 Prozent der Fälle bestimmt. Dieser Wert kann durch die Verwendung zusätzlicher Daten weiter verfeinert werden.

Die Regressionsanalyse bietet sehr umfangreiche Möglichkeiten. Mit all diesen Methoden kann man umfangreiche Korrelationen zwischen sehr unterschiedlichen

9. Andere

Informationen ermitteln. Zum Beispiel hat Google aus mehreren Millionen Suchanfragen 45 Faktoren für das Auftreten einer Epidemie herausgefiltert.

9. Andere Anwendungen

Insgesamt bieten Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie viele ausgefeilte, gut untersuchte Mittel und Methoden zur Auswertung von Massendaten, die sehr genaue Informationen über Beziehungen und erwartete Ereignisse liefern können. Allerdings muss man bei der Interpretation der Ergebnisse sehr vorsichtig sein. Es gibt sehr viele (gewollte oder ungewollte) Fehlinterpretationen. Big Data wird in den verschiedensten Bereichen des Lebens eingesetzt. Selbst alltägliche Dinge, die fast jeder Internetnutzer kennt, basieren darauf. Ein Beispiel für Big-Data-Auswertung aus dem Bereich des Online-Shoppings: Jeder, der schon einmal im Internet eingekauft hat, kennt die Rubrik "Kunden, die das Produkt XY gekauft haben, kauften auch...". Diese Empfehlungen resultieren aus der Auswertung von Millionen von Kaufdaten aus anderen

Kunden.

Andere Bereiche, die von Big Data profitieren:

- 1 Medizinische Forschung: Durch die Analyse von Massendaten können Ärzte die besten Therapielösungen für Patienten finden.
- 2 Industrie: Dank der Nutzung ihrer eigenen Maschinendaten können Unternehmen die Effizienz ihrer Produktion steigern.
- 3 Unternehmen: Big Data ermöglicht es Unternehmen, ihre Kunden gut kennenzulernen und Angebote auf sie zuzuschneiden.
- 4 Energie: Um den Energieverbrauch auf die individuellen Bedürfnisse abzustimmen, muss man diese Bedürfnisse kennen. Gesammelte Verbrauchsdaten gewährleisten langfristig eine angemessene Energieversorgung.
- 5 Marketing: Big Data wird im Marketingbereich häufig zur Ermittlung von Zielen eingesetzt.
In erster Linie geht es darum, die Beziehungen zu den Kunden zu verbessern.
- 6 Verbrechensbekämpfung: Die Regierung und die staatliche Sicherheitsbehörde setzen ebenfalls auf Big Data; der massenhafte Einsatz von Überwachungskameras hat die Kleinkriminalität erheblich reduziert.
- 7 Analysemethode zum Auffinden von Mustern: Sie identifiziert Cluster von Ähnlichkeiten und bildet dann Gruppen von Objekten, die sich in bestimmten Aspekten sehr ähnlich sind; im Gegensatz zur Klassifizierung sind die Gruppen (oder Cluster) nicht vordefiniert und können je nach den analysierten Daten unterschiedliche Formen annehmen.
- 8 Assoziationsanalyse: Sie deckt Korrelationen zwischen zwei oder mehr unabhängigen Faktoren auf, die zwar nicht direkt miteinander verbunden sind, aber immer häufiger zusammen auftreten.
- 9 Regressionsanalyse: Sie deckt Beziehungen zwischen einer abhängigen

9. Andere

Marketingfunktionen und einer oder mehreren unabhängigen Variablen (z. B. Produktpreis oder Kundeneinkommen) auf; sie wird u. a. verwendet, um Vorhersagen über die abhängige Variable (z. B. eine Absatzprognose) zu treffen.

9. Andere Anwendungen

- 10 Prädiktive Analyse: Hierbei handelt es sich um eine übergeordnete Aufgabe, die darauf abzielt, Vorhersagen über zukünftige Trends zu treffen; sie arbeitet mit einer Variablen (Prädiktor), die für Einzelpersonen oder größere Einheiten gemessen wird.

Die Anwendungen im Zusammenhang mit Big Data sind sehr breit gefächert und zeigen manchmal recht überraschende Ergebnisse[15]. Sehr oft gibt es keinen kausalen Zusammenhang zwischen den Phänomenen, aber die Ergebnisse sind überraschend genau.

Im Jahr 2009 wurde das H1N1-Virus (verantwortlich für die Vogel- und Schweinegrippe) in den USA entdeckt. Einige Wochen bevor dieses Virus in die Schlagzeilen geriet, veröffentlichten Ingenieure von Google einen Artikel in der Zeitschrift *Nature*. Darin zeigten die Autoren, wie Google die Ausbreitung des Virus nicht nur auf Landesebene, sondern auch auf Ebene der Bundesstaaten vorhersagen konnte. Sie untersuchten Korrelationen zwischen der Häufigkeit bestimmter Suchanfragen und dem zeitlichen und räumlichen Ausmaß der Infektionen. Die Software fand 45 Suchbegriffe, die in einem mathematischen Modell zusammengeführt wurden. Die auf dieser Grundlage erstellten Vorhersagen und die tatsächlichen nationalen Zahlen stimmten in hohem Maße überein.

Bei dieser Form der Datenanalyse wird nicht nach kausalen Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung gesucht, er lenkt seine Aufmerksamkeit auf die Tatsache, dass viele Faktoren, jeder für sich, zu einer ein kleines bisschen zu den endgültigen Fakten.

Ein Unternehmen namens 23andMe arbeitet seit 2007 im Silicon Valley. Der Name des Unternehmens bezieht sich auf die 23 Chromosomenpaare des Menschen. Seit Dezember 2007 bietet es Privatpersonen eine Untersuchung ihrer genetischen Veranlagung an. Das Angebot richtete sich zunächst nur an Kunden aus den USA, wurde aber im Laufe der Zeit auf zahlreiche andere Länder ausgeweitet. So ist es unter anderem in Deutschland, Österreich und der Schweiz verfügbar.

Die eingesandte Speichelprobe wird auf rund 200 genetische Krankheiten und 99 andere Veranlagungen getestet. Auch Informationen über die geografische Herkunft werden geliefert. Es werden mehr als 960.000 Abschnitte des menschlichen Genoms untersucht, die *einzelne Nukleotid-Polymorphismen* identifizieren und die persönlichen Merkmale bilden [72] [39].

Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz könnten Ärzte bald in der Lage sein, bösartige Tumore bei einer Darmspiegelung genauer zu erkennen und besser von harmlosen Wucherungen zu unterscheiden. Derzeit werden alle Polypen (Wucherungen) entfernt und anschließend histopathologisch untersucht. Mit Hilfe der künstlichen Intelligenz soll eine Beurteilung praktisch in Echtzeit möglich sein. Ein weiterer Vorteil der künstlichen Intelligenz ist, dass sie lernfähig ist. Dadurch kann die Entdeckungsrate von Polypen weiter verbessert werden. Vor allem kleine Adenome sind flach und oft in den Falten der Darmwand versteckt. Sie können selbst mit hochauflösenden Endoskopiegeräten übersehen werden. Der Einsatz von AI dürfte also die Qualität des Screenings insgesamt weiter verbessern. Es ist auch möglich, dass die Zahl der

9. Andere

erforderlichen histopathologischen Untersuchungen abnimmt, was zu einer Senkung der Gesamtkosten des Screenings führt.

Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz könnten Ärzte bald in der Lage sein, bösartige Tumore bei einer Darmspiegelung genauer zu erkennen und besser von harmlosen Wucherungen zu unterscheiden. Derzeit werden alle Polypen (Wucherungen) entfernt und dann untersucht

9. Andere Anwendungen

histopathologisch. Mit Hilfe der künstlichen Intelligenz sollte eine Bewertung praktisch in Echtzeit möglich sein. Ein weiterer Vorteil der künstlichen Intelligenz ist, dass sie lernfähig ist. Dadurch kann die Erkennungsrate von Polypen weiter verbessert werden. Vor allem kleine Adenome sind flach und oft in den Falten der Darmwand versteckt. Sie können selbst mit hochauflösenden Endoskopiegeräten übersehen werden. Der Einsatz von AI dürfte also die Qualität des Screenings insgesamt weiter verbessern. Es ist auch möglich, dass die Zahl der erforderlichen histopathologischen Untersuchungen abnimmt, was zu einer Senkung der Gesamtkosten des Screenings führt.

Mehrere Tools für die Datenanalyse sind bereits verfügbar und werden über das Internet angeboten. Hadoop, MapReduce und Spark sind drei Angebote des Apache Software Projects. Diese und andere Softwarelösungen können für den Einsatz von Big Data in einem Unternehmen verwendet werden.

- **Hadoop** ist eine Open-Source-Softwarelösung für Big Data. Die Hadoop-Tools helfen dabei, die Prozesslast zu verteilen. Dadurch können riesige Datensätze auf vielen separaten Rechnerknoten ausgeführt werden. Anstatt ein Petabyte an Daten an einen kleinen Verarbeitungsort zu übertragen, macht Hadoop das Gegenteil. Auf diese Weise lassen sich die Informationen viel schneller verarbeiten.
- **MapReduce** unterstützt die Ausführung von zwei Funktionen: Zusammenstellen und Organisieren (Mapping) von Datensätzen und anschließendes Verfeinern in kleinere, organisierte Datensätze, um auf Aufgaben oder Abfragen zu reagieren.
- **Spark** ist ebenfalls ein Open-Source-Projekt der Apache Foundation. Es handelt sich um ein ultraschnelles verteiltes Framework für die Verarbeitung großer Datenmengen und maschinelles Lernen. Die Verarbeitungs-Engine von Spark kann wie folgt verwendet werden: Als eigenständige Installation, als Cloud - Service, in allen gängigen verteilten IT - Systemen wie Kubernetes oder Sparks Vorgänger Apache Hadoop.

Die Cloud-Technologien entwickeln sich ständig weiter und führen zu immer größeren Datenfluten. Um zukunftsweisende digitale Lösungen aufbauen zu können, müssen diese Informationen verarbeitet werden. Für virtuelle Transaktionen, Bestände und IT-Infrastrukturen ist daher ein durchdachter Big-Data-Ansatz mit Daten aus zahlreichen Quellen erforderlich. Nur so kann Big Data einen ganzheitlichen Überblick verschaffen. Quellen können sein:

- virtuelle Netzwerkprotokolle,
- sicherheitsrelevante Ereignisse und Muster,
- globale Netzverkehrsmuster,
- Erkennung und Behebung von Anomalien,

9. Andere

- Informationen zur Einhaltung der Vorschriften,

9. Andere Anwendungen

- Verfolgung des Kundenverhaltens und der Kundenpräferenzen,
- Geolokalisierung - Daten,
- Daten aus den sozialen Kanälen für das Tracking von Marken und Stimmungen,
- Bestands- und Sendungsverfolgung.

Ein gutes Beispiel ist die Analyse von Daten, die bei der Nutzung eines Navigationssystems anfallen. Dieses liefert Informationen über Millionen verschiedener Autofahrten und kann minuten- und kilometergenau vorhersagen, wo Staus entstehen, wo im Winter Gefahren lauern, wo Umgehungsstraßen gebaut werden müssen, wo Fahrspuren verbreitert werden müssen usw. Das Gleiche gilt für den Einsatz von Straßenbahnen, Bussen und Eisenbahnen. Hier kann z. B. die Fahrtenfrequenz erhöht oder verringert werden, so dass die Fahrzeuge weder über- noch unterfüllt sind oder die Wartezeit der Fahrgäste minimiert wird.

Selbst vorsichtige Big-Data-Trendanalysen gehen von einem kontinuierlichen Abbau lokaler, physischer Infrastrukturen und einer Zunahme virtueller Technologien aus. Dies schafft eine wachsende Abhängigkeit von verschiedenen Tools und Partnern. Die Nutzung von Big Data wird in Zukunft eher zu- als abnehmen. Die Art und Weise, wie Unternehmen, Organisationen und ihre IT-Experten Aufgaben lösen, wird sich an den Entwicklungen der Daten- und IT-Technologie orientieren. Das bedeutet, dass es immer neue Lösungen geben wird, mit denen Big Data gespeichert, analysiert und verarbeitet werden kann.

Big Data spielte eine wichtige Rolle bei der Prävention und Bekämpfung von COVID-19 in China. Die Software wird für die Verfolgung infizierter Personen, die Überwachung und Frühwarnung an Orten mit vielen Menschen, das Aufspüren von Virusquellen, das Medikamentenscreening, die medizinische Behandlung, die Ressourcenzuweisung und die Produktionswiederherstellung eingesetzt. Es wird erwartet, dass die Investitionsmöglichkeiten für Big-Data-Technologien in China während des Prognosezeitraums (2021 - 2026) um 30 % wachsen werden. Big Data hat ein enormes Potenzial, die chinesische Wirtschaft zu revolutionieren. China hat den größten Verbrauchermarkt der Welt und produziert unzählige Güter für den Export. Big Data kann entscheidende Einblicke in den chinesischen Verbrauchermarkt liefern und chinesischen Unternehmen helfen, wichtige oder notwendige wirtschaftliche Aktivitäten durchzuführen.

Ein weiterer Faktor, der die Bedeutung von Big Data für chinesische Unternehmen unterstreicht, ist die Menge an Daten, die China als zweitgrößte Volkswirtschaft der Welt mittlerweile produziert. Tencent Holdings beispielsweise gibt an, dass sein Datenschatz 15 Mal so viele Informationen enthält wie die größte Bibliothek der Welt. Allein die WeChat-App, das Vorzeigeprodukt von Tencent, hat rund 760 Millionen registrierte Nutzer[31].

WeChat ist Chinas beliebteste Messaging-App mit einer monatlichen Nutzerbasis von mehr als einer Milliarde Menschen. Sie befindet sich im Besitz von Tencent, einem der größten Unternehmen Asiens nach Marktkapitalisierung. Was als

9. Andere

Nachrichtendienst begann, hat sich zu einer App entwickelt, die kann für alles verwendet werden, von Zahlungen über das Anbieten von Mitfahrgelegenheiten bis hin zum Buchen von Flügen. Eine der Hauptanwendungen von WeChat ist das Messaging. Genau wie bei WhatsApp haben Sie eine Liste von Unterhaltungen, an denen Sie beteiligt sind. Sie können Personen auf verschiedene Weise hinzufügen.

9. Andere Anwendungen

Wenn man in China Kontaktinformationen austauscht, sieht man oft, wie eine Person das Telefon der anderen Person scannt. Jeder WeChat-Benutzer hat einen einzigartigen Barcode, den sogenannten QR-Code. Eine Person kann den QR - Code des anderen Benutzers scannen, um ihn zu WeChat hinzuzufügen. Sie können auch eine Telefonnummer oder eine ID verwenden, um eine Person hinzuzufügen und nach Personen in der Nähe zu suchen. WeChat ist eines der wichtigsten Kommunikationsmittel in China. Selbst für geschäftliche Angelegenheiten ziehen die Menschen WeChat der E-Mail vor.

Es gibt auch eine soziale Funktion namens *Moments*. Nutzer können eine Reihe von Bildern oder Videos hochladen und ihre Freunde können die Beiträge ansehen und kommentieren. Von großen Supermärkten bis hin zu den kleinsten Straßenhändlern und Taxis können Sie fast überall in China mit WeChat bezahlen, wenn Sie ein chinesisches Bankkonto haben. Es gibt zwei Möglichkeiten, etwas über die App zu bezahlen. Erstens kann das Geschäft den einzigartigen WeChat-Barcode scannen, oder der Käufer scannt den Barcode des Händlers.

Wenn man in China etwas online kauft, hat man die Möglichkeit, mit WeChat Pay zu bezahlen. Man muss einen Passcode eingeben oder ein biometrisches Authentifizierungstool verwenden, um die Transaktion zu autorisieren. Sofortige Geldüberweisungen an WeChat-Kontakte können auch über die Nachrichtenfunktion getätigt werden, was es einfacher macht, Rechnungen auszutauschen oder Geld in China zu bewegen. Es ist möglich, in China fast bargeldlos zu leben und den ganzen Tag ohne Brieftasche auszugehen.

Der Hauptkonkurrent von WeChat Pay ist Alipay, ein Unternehmen der Alibaba-Tochter Ant Financial.

WeChat und Alipay werden oft als Super-Apps bezeichnet, weil alles in einen einzigen Dienst integriert ist. Unternehmen können sich dafür entscheiden, Mini-Programme - oder Apps innerhalb von WeChat - anstelle einer eigenständigen App zu starten. Das Programm ermöglicht es Unternehmen, Werbebotschaften direkt über WeChat an die Nutzer zu senden und die mehr als eine Milliarde Nutzer der App zu erreichen.

Der chinesische Big-Data-Markt befindet sich in einer hart umkämpften Phase. In den letzten zehn Jahren sind mehrere Start-ups entstanden und haben dem Markt ihren Stempel aufgedrückt. So hat beispielsweise das 2015 gegründete Big-Data-Unternehmen Terark die Terark Database entwickelt, die Berichten zufolge ähnliche Produkte von Facebook und Google übertrifft. Mehrere solcher Start-ups haben die frühere Dominanz einiger weniger großer Anbieter in Frage gestellt und den Markt fragmentiert. Dies hat auch zu einer erheblichen Konsolidierung in dieser Branche geführt, da die großen Akteure versuchen, Marktanteile zu gewinnen, und kleinere Unternehmen versuchen, sich zu vergrößern. Die zunehmende Konkurrenz aus dem Westen hat chinesische Unternehmen auch dazu gezwungen, nach Möglichkeiten auf der ganzen Welt zu suchen, anstatt sich auf China zu beschränken. Einige der jüngsten Entwicklungen:

- April 2019 - ByteDance, bekannt als Muttergesellschaft der Apps TikTok und Toutiao, hat die Übernahme des in Peking ansässigen Big-Data-Unternehmens

9. Andere

Terark für eine ungenannte Summe bekannt gegeben, wodurch das Unternehmen seinen Kundenstamm auf Marktführer wie die Alibaba Group erweitern kann. Terark verfügt über Lösungen zur Komprimierung von Daten auf einem viel kleineren Raum und mit höherer Suchgeschwindigkeit.

- Januar 2019 - Alibaba übernimmt das Berliner Startup Data Artisans für 103 Millionen Dollar. Data Artisans bietet verteilte Systeme und groß angelegte Daten

Streaming-Dienste für Unternehmen. Data Artisans wurde 2014 von dem Team gegründet, das die Entwicklung von Apache Flink, einer weit verbreiteten Open-Source-Technologie für die Verarbeitung von Big Data, leitet.

Die meisten Angebote für Big-Data-Auswertungssoftware gibt es vielleicht in Japan [32], wo allein in der Kategorie Business Intelligence 239 Systeme auf dem Markt sind.

In Singapur gibt es sechs Unternehmen, die Software für Big-Data-Anwendungen herstellen. Auch Afrika und Lateinamerika machen in diesem Bereich große Fortschritte. Afrika wird seine erste Big-Data-Drehscheibe einrichten, die den Wissensaustausch und die Gewinnung von Informationen aus komplexen Datensätzen fördern wird. Das Zentrum wird es dem Kontinent ermöglichen, auf aktuelle Daten im Zusammenhang mit den Zielen für nachhaltige Entwicklung (SDGs) zuzugreifen und diese zu analysieren, um faktenbasierte Entscheidungen zu treffen, sagt Oliver Chinganya, Direktor des Africa Statistics Zentrum bei der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Afrika (UNECA).

Einer Studie zufolge hat Big Data positive Auswirkungen auf fast alle Lebensbereiche, darunter Gesundheit, Luftfahrt, Bankwesen, militärische Aufklärung und Weltraumforschung. Die Studie besagt, dass in Afrika gehostete Big Data ein Schwerpunkt für das Gesundheitswesen sein könnten, um Diagnosen, Behandlungsverordnungen, die Überwachung von Gesundheitssystemen und die digitale Überwachung zur Verfolgung von Epidemien zu unterstützen.

Während der Ebola-Krise in Westafrika nutzten Datenwissenschaftler die umfangreichen Daten von Telefongesellschaften, um die Bevölkerungsbewegungen von Ebola-Patienten zu visualisieren und die Ausbreitung der Krankheit vorherzusagen. Detaillierte Karten mit den Bewegungen von Ebola-Patienten wurden erstellt und von den Behörden genutzt, um die besten Orte für die Einrichtung von Behandlungszentren zu finden und Mittel zur Einschränkung des Reiseverkehrs zu entwickeln, um die Krankheit einzudämmen.

Im Rahmen einer kürzlich unterzeichneten Absichtserklärung zwischen Ruanda und der in Äthiopien ansässigen UNECA wird das Datenzentrum im Nationalen Institut für Statistik von Ruanda (NISR) eingerichtet. "Die Einrichtung dieser Datendrehscheibe wird es Afrika ermöglichen, bei der Datenrevolution nicht zurückzubleiben", sagt Yusuf Murangwa, Generaldirektor des NISR. "Im Moment haben wir in Afrika Probleme mit dem Zugang zu großen Datenmengen". Chinganya erklärt gegenüber SciDev.Net, dass das Zentrum den Wissensaustausch über neu entwickelte statistische Methoden und Werkzeuge fördern und gleichzeitig Schulungen über die Nutzung von Big Data und Datenwissenschaft für die Entwicklung anbieten wird. Zu den Nutzern gehören Mitglieder der regionalen afrikanischen Statistikgemeinschaft, der Privatsektor, akademische Einrichtungen und die Zivilgesellschaft.

"Das Projekt befindet sich noch in der Anfangsphase. Es wird erwartet, dass das Zentrum nach der Fertigstellung der Umsetzungsstrategie bis Ende des zweiten Quartals 2020 betriebsbereit ist, aber das hängt von vielen Faktoren ab, einschließlich der globalen Pandemie COVID-19, die die Bewegungsfreiheit und die Arbeitsmuster

9. Andere Anwendungen

einschränkt."

Das Zentrum in Kigali reiht sich in die Liste der geplanten Zentren in Brasilien, China und den Vereinigten Arabischen Emiraten ein. Dies geht aus einem Bericht der Global Working Group on Big Data for Official Statistics hervor, der im Dezember von der Statistischen Kommission des Wirtschafts- und Sozialrats der Vereinten Nationen veröffentlicht wurde.

Das regionale Zentrum in Ruanda "wird den Aufbau von Kapazitäten im Bereich Big Data für amtliche Statistiken in Afrika in Zusammenarbeit mit internationalen und regionalen Agenturen unterstützen."

9. Andere Anwendungen

Die größte Herausforderung auf dem Gebiet der Datenwissenschaft ist der Mangel an Kapazitäten und geeigneter Infrastruktur zur Unterstützung von Big-Data-Initiativen sowie unzureichende Investitionen. Im Rahmen der globalen Plattform werden viele Datenquellen offen zugänglich sein. Außerdem werden Mechanismen entwickelt, die eine selektive gemeinsame Nutzung von Daten durch die verschiedenen Knotenpunkte ermöglichen.

Das Archiv wird es den Computersystemen ermöglichen, Informationen auszutauschen und zu nutzen; die Wirtschaftskommission für Afrika wird rechtliche Regelungen für den Zugang ausarbeiten. Die Daten werden auf der Grundlage der UN-Grundprinzipien für amtliche Statistiken erhoben, die die bürgerlichen Freiheiten schützen.

Dubai plant den Einsatz neuer Technologien und die Sammlung von Massendaten, um die Mobilität seiner Bürger zu optimieren. Es geht darum, Szenarien zu ermitteln, die einen besseren Verkehrsfluss ermöglichen und gleichzeitig den gesamten Verkehr in der Stadt sauberer machen. Die Roads and Transport Authority (RTA) ist eine unabhängige Regierungsbehörde, die für die Straßen und den Verkehr in Dubai zuständig ist. Sie hat in letzter Zeit mehrere Ankündigungen gemacht, die darauf abzielen, den Verkehrsfluss zu optimieren und den Verkehr im gesamten Emirat sauberer zu machen.[33]

Dieses umfassende Projekt basiert auf der Sammlung aller Arten von Daten, um den öffentlichen und sonstigen Verkehr zu verändern. Durch das Sammeln von Daten über öffentliche Verkehrsmittel, Taxiverkehr oder Hotelbelegung wird das Programm "Dubai in Motion" in der Lage sein, optimierte Mobilitätsszenarien zu erstellen und so Anpassungen vorzunehmen, um die Mobilität der Menschen zu verbessern und einen noch saubereren und nachhaltigeren Verkehr zu entwickeln. Langfristig wird dieses Programm auch dazu beitragen, zukünftige Grünflächen und Infrastrukturen für sanfte Mobilität zu planen.

Aber die RTA bleibt nicht dabei stehen. Die Behörde plant auch den Einsatz künstlicher Intelligenz für ihre Radwege, um die Anzahl der Nutzer zu zählen und die Einhaltung der Verkehrsregeln und grundlegenden Sicherheitsvorschriften zu überwachen. Ein weiteres anstehendes Projekt ist eine neue Generation intelligenter Displays, die den Nutzern öffentlicher Verkehrsmittel Informationen liefern und ihnen helfen sollen, ihre Fahrten besser zu organisieren. Dubai hat sich außerdem zum Ziel gesetzt, bis 2030 25 Prozent seines gesamten Verkehrssystems auf autonome Verkehrsmittel umzustellen, sei es zu Lande oder in der Luft! [118]

Die Corona-Krise beschleunigt den Einsatz von künstlicher Intelligenz in Russland. Die ersten Anwendungen zur Bekämpfung der Pandemie kommen auf den Markt. (Gerit School, Moskau, 29.4.2020)

- Die Pandemie erhöht den Bedarf an digitalen Technologien. Die finanziellen Mittel hierfür könnten im Zuge der Corona-Krise erheblich aufgestockt werden. Der dramatische Verfall der Ölpreise und die pandemiebedingte Notwendigkeit, mobil zu arbeiten, führen in Russland zu einer erhöhten Nachfrage nach digitalen Produkten. Das russische Digitalministerium schlägt

9. Andere

vor, über das geplante ~~Budget~~ ^{Budget} hinaus bis zu 67 Milliarden Rubel (804,4 Millionen Euro) zusätzlich auszugeben.

- Russische Unternehmen haben bereits erste Anwendungen zur Virenbekämpfung vorgestellt. Das Startup-Unternehmen **Promobot** aus Perm bietet Serviceroboter an, die berührungslos die Körpertemperatur messen oder Oberflächen sterilisieren. Die Sberbank hat ähnlich lernfähige Roboter entwickelt, die selbstständig Räume mit UV-Bestrahlung desinfizieren.

9. Andere Anwendungen

- Das größte Finanzinstitut des Landes ist einer der Pioniere. Sie stößt wichtige Innovationen an und stellt gleichzeitig Geld für neue Projekte zur Verfügung. Ihr Partner ist der Russische Direktinvestitionsfonds (RDIF), der nach eigenen Angaben über 2 Milliarden US-Dollar von ausländischen Geldgebern erhalten hat, die in Projekte der künstlichen Intelligenz investieren wollen. Gemeinsam mit Yandex, Gazprom Neft, der Mail.ru Group und dem Mobilfunkbetreiber MTS gründeten die Sberbank und der RDIF im November 2019 eine "Allianz für die Entwicklung der künstlichen Intelligenz".
- Das RDIF will unter anderem in Analysemethoden investieren, die es ermöglichen, zwischen der Covid-19-Krankheit und einer Lungenentzündung zu unterscheiden. Die halbstaatliche Rostelekom-Gruppe hat eine Bilderkennungsmethode vorgestellt, die Röntgenbilder der Lunge auf Symptome der Covid-19-Krankheit auswertet. Die Technologie wird in Zusammenarbeit mit der staatlichen Holding Rostec entwickelt. RDIF plant auch eine Zusammenarbeit mit der Stadt Moskau, um Kameras zur berührungslosen Fiebertemperaturmessung in städtischen Gebieten einzusetzen.
- Das russische Internetunternehmen Yandex und der US-amerikanische Hersteller von Prozessoren und Chipsätzen Nvidia stellen russischen Unternehmen seit Mitte März 2020 Softwarebibliotheken für die Arbeit an künstlicher Intelligenz zur Verfügung. Darunter befindet sich die Anwendung Parabricks zur Genomanalyse, die in der Covid-19-Forschung eingesetzt wird. Yandex plant, mindestens 40 Millionen US-Dollar in den Aufbau von Cloud-Kapazitäten für KI-Anwendungen zu investieren.
- Dass die Corona-Pandemie die Marktdurchdringung von KI-Lösungen in der russischen Industrie beschleunigen könnte, zeigt das Beispiel von Sibur. Das größte Chemieunternehmen des Landes arbeitet mit dem italienischen Softwareanbieter Brochesia zusammen, um Augmented Reality (AR, computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung) in seinen Fabriken einzuführen. Nach Angaben von Sibur können mit der KI-gestützten Datenbrille Produktionsprozesse effizienter überwacht und viele Wartungsaufgaben aus der Ferne durchgeführt werden. Dies hat die Reisetätigkeit der Techniker in Zeiten der Pandemie reduziert.
- Moskau wird ab Sommer 2020 zu einer Pilotregion. Dort sollen Anwendungen zur Kontrolle der Ausreisebeschränkungen während der Corona-Quarantäne eingesetzt werden. Dabei stützt sich die Metropole auf ihr flächendeckendes Kameranetz. Am 1. Juli 2020 begann ein fünfjähriger Versuch mit einem flexiblen Rechtsrahmen, der die Nutzung von KI-Anwendungen erleichtern und gleichzeitig den Schutz personenbezogener Daten gewährleisten soll.
- Laut der "Roadmap für die Entwicklung von KI-Technologien in Russland" wird der Anteil von Produkten im Zusammenhang mit künstlicher Intelligenz am

9. Andere

Bruttoinlandsprodukt deutlich steigern bis 2024 auf 0,8 Prozent und bis 2030 auf 3,6 Prozent, was über dem weltweiten Durchschnitt liegen würde. Nach einer Untersuchung des Marktforschungsunternehmens IDC haben russische Unternehmen rund 139 Millionen US-Dollar in die Entwicklung von KI investiert.

9. Andere Anwendungen

in KI im Jahr 2019 investiert, die Hälfte davon in die Computertechnologie. Der Markt für solche Produkte wird voraussichtlich stark wachsen.

- Die russische Regierung unterstützt die neue Technologie mit der "Nationalen Strategie für die Entwicklung der künstlichen Intelligenz bis 2030". Sie nennt als Hauptziele: Wohlstandsgewinn, höhere Lebensqualität, nationale Sicherheit, Wettbewerbsfähigkeit der russischen Wirtschaft und eine internationale Führungsrolle im Bereich der künstlichen Intelligenz.

Im Rahmen dieser Strategie werden die folgenden Hauptanwendungsbereiche definiert:

- Produktion
- effizientere Planungsprozesse, Optimierung der Lieferkette,
- vorausschauende Wartung von Maschinen und Anlagen,
- Automatisierung der Routineproduktion,
- verstärkter Einsatz von Robotern,
- Verbesserung des Logistikmanagements,
- Verbesserung des Risikomanagements in den Betrieben (weniger Arbeitsunfälle),
- höhere Kundenzufriedenheit durch individualisierte Produkte,
- Optimierung von Arbeits- und Dienstplänen sowie Schulung und Entwicklung der Mitarbeiter,
- Gesundheitswesen,
- Verbesserung der Diagnostik und Prophylaxe durch Evaluierung der bildgebenden Verfahren,
- optimale Dosierung von Arzneimitteln,
- Eindämmung der Pandemierisiken,
- Automatisierung und größere Präzision bei chirurgischen Eingriffen,
- staatliche Maßnahmen zur Förderung der künstlichen Intelligenz,
- langfristige finanzielle Unterstützung für Forschungstätigkeiten,
- Ausstattung von Forschungslaboratorien mit fortschrittlicher Computertechnologie,
- Entwicklung von weltweit zugänglichen Programmbibliotheken für die Anwendung von KI,

9. Andere

- steuerliche Anreize für private Investitionen in KI,

9. Andere Anwendungen

- vereinfachter Zugang zu großen Daten,
- Fachausbildung,
- angemessene Bezahlung der Fachleute,
- Anwerbung internationaler Fachleute auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz (einschließlich finanzieller Anreize für die Rückkehr ausgewanderter russischer Experten),
- Gewährleistung des internationalen Austauschs (Konferenzen, Auslandsaufenthalte, vereinfachte Visaregelungen für ausländische Fachkräfte),
- Exportförderung für russische KI-Technologien,
- verstärkte öffentliche Beschaffung von KI-Produkten,
- Zuschüsse für die Entwicklung leistungstarker energiesparender Prozessoren,
- Bau von Datenverarbeitungszentren, zu denen russische KI-Entwicklungsstudios vergünstigten Zugang haben werden.

Ein interessanter Effekt tritt bei der Realisierung solcher Projekte auf. Zu Beginn müssen erhebliche personelle und finanzielle Ressourcen für die Entwicklung und Inbetriebnahme solcher Systeme aufgewendet werden. Sind sie jedoch erst einmal implementiert, fließen viele finanzielle Mittel zurück und die Arbeit in dem jeweiligen Bereich erreicht ein höheres Niveau. Wichtig ist, dass bei kleineren Anwendern immer darauf geachtet wird, dass genügend Mittel für die Grundausstattung an Hard- und Software vorhanden sind.

Chile wurde dennoch als Beispiel für die Situation in anderen Ländern gewählt. In Chile treiben fast nur Start-ups die künstliche Intelligenz voran. Das Land hat das beste digitale Netzwerk in Lateinamerika [39]. Bergbau, Einzelhandel sowie der Finanz- und Gesundheitssektor geben den Ton an. Als Startup-Hub gilt Santiago als eines der Silicon Valleys Lateinamerikas in der Region. Viele Branchen haben die Notwendigkeit erkannt, in künstliche Intelligenz zu investieren. Die Umsetzung steckt jedoch noch in den Kinderschuhen. Das liegt auch an Defiziten in der digitalen Infrastruktur und dem Angebot an Fachkräften - auch wenn Chile im lateinamerikanischen Vergleich gut abschneidet.

- Die chilenische Regierung plant ein virtuelles Gesundheitssystem [34]. Im Jahr 2015 veröffentlichte sie die Agenda Digital 2020, die 63 Maßnahmen zur Förderung der Digitalisierung enthält. Von diesen hat sie bisher 23 umgesetzt. Neben Projekten zur Konnektivität und zur Stärkung des Wettbewerbs beziehen sich sechs der 63 Projekte auf das Gesundheitssystem. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Erfassung von Gesundheitsdaten, die verschiedenen medizinischen Dienstleistern zur Verfügung stehen [40].

9. Andere

Anwendungen

Im Oktober 2018 kündigte das Gesundheitsministerium das digitale Krankenhaus als eine weitere Initiative an, die andere Gesundheitszentren entlasten soll

9. Andere Anwendungen

im Land: Das Ministerium beabsichtigt, Pflegedienste online anzubieten und die Daten der Patienten in einer Cloud zu sammeln. Außerdem will es in Überwachungsgeräte für chronisch kranke Patienten investieren. Das virtuelle Krankenhaus basiert auf maschinellem Lernen und liefert Berichte und Prognosen in Echtzeit.

- Das Bildungsministerium, das der Nationalen Kommission für wissenschaftliche und technologische Forschung untersteht, bietet CONICYT Finanzierungsmöglichkeiten für technische Ausrüstung für Forschungsprojekte (FONDEQUIP) [41].
- In der Rangliste der digitalen Konnektivität der Economist Intelligence Unit vom Februar 2018 belegte Chile den achten Platz von 86 Ländern, direkt hinter Frankreich und dem Vereinigten Königreich. Im Vergleich zum Vorjahr hatte sich das Land um zwölf Plätze verbessert. Das Andenland liegt immer noch vor Deutschland (Platz 12) und ist innerhalb Lateinamerikas führend. Dennoch verfügen 44 Prozent der chilenischen Haushalte nicht über einen fest installierten Internetanschluss.

Die meisten Chilenen geben ihre Steuernummer ohne Zögern heraus. In Chile fragen Kassierer beim Einkauf im Supermarkt oder in der Apotheke nach der persönlichen Steuernummer. Unternehmen können diese für Marketingzwecke und zur Identifizierung von Zielgruppen nutzen. In der Regel profitiert der Kunde von Bonusprogrammen. In einer von Ceret (Centro de Estudios de Retail), dem Zentrum für Einzelhandelsstudien an der Universität von Chile, durchgeführten Umfrage mit mehr als 2.000 Befragten gaben 70 Prozent an, dass sie ihre Steuernummer im Supermarkt angeben.

- Im Mai 2018 hat der Senat eine Gesetzesreform zum Schutz personenbezogener Daten verabschiedet. Darin wird festgelegt, dass sensible personenbezogene Daten nur mit Zustimmung verwendet werden dürfen. Außerdem wird die Einrichtung einer dem Wirtschaftsministerium unterstellten Datenschutzbehörde geregelt. Demnach gelten die Gewohnheitsmuster der Bürger als sensible Daten.

Bislang galt die Regel, dass veröffentlichte Daten keine sensiblen Informationen darstellen und daher ohne Zustimmung weiterverwendet werden dürfen. Mit der Reform werden bestimmte Datenquellen definiert, für die diese Regel weiterhin gilt. Die Weiterverwendung aller veröffentlichten Daten ist jedoch nicht mehr generell erlaubt.

- Laut der Stiftung für den Fortschritt (Fundación para el Progreso) kennen sich nur 10 Prozent der Fachleute mit technologieorientiertem Hintergrund mit Computer- und Netzwerksicherheit aus. Einer Studie zufolge haben die Universitäten kaum Spezialisten für künstliche Intelligenz ausgebildet, obwohl der Bedarf immens ist. Die Universitäten steigen langsam in das Thema ein: Die Universidad de Chile, die Technische Universität In Acap und die Pontificia Universidad Católica in Valparaíso bieten bereits einen Studiengang für KI an.

9. Andere

Auch die Forschung ist ~~Anwendung~~ ^{Anwendung} sehr weit fortgeschritten. Die meisten staatlichen Programme basieren hauptsächlich auf der Anwendung konventioneller Technologien für kleine und mittlere Unternehmen.

9. Andere Anwendungen

Die Universidad Católica richtete 2018 ein Labor für KI in der Fakultät für Informatik ein. Das Team entwickelte einen Roboter, der den Bestand und die Preise im Supermarkt überprüft. Eine Anwendung soll in Zukunft falsche Nachrichten erkennen. Die Ingenieure wollen die Mechanismen der intelligenten Geräte besser analysieren und Fehler ausmerzen. PwC (PricewaterhouseCoopers) eröffnete im September 2018 das erste Zentrum für KI und angewandte Analytik in Chile als neue Abteilung des multinationalen Beratungskonzerns.

- Startups bieten Lösungen an, die von Personalentscheidungen bis hin zu Glasfaserkabeln reichen. Laut Alejandro Legazcue, Vorsitzender der digitalen Architektur bei der Technologieberatungsfirma everis, sind 63 Prozent der Unternehmen im KI-Sektor Start-ups, die nach 2012 gegründet wurden. Chile ist das Land mit den meisten Start-ups unter den OECD-Ländern (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung), und San Diego ist in der Region als Zentrum für Start-ups bekannt. Allerdings sind die Finanzierungsmöglichkeiten oft begrenzt, da die chilenischen Banken bei der Kreditvergabe an Start-ups zurückhaltend sind.

Das chilenische Start-up DART ist auf Augenheilkunde spezialisiert und optimiert ein Verfahren zur Diagnose der diabetischen Retinopathie, einer der häufigsten Ursachen für den Verlust des Augenlichts. Dazu sammeln Mediziner die Untersuchungsergebnisse von Patienten mit Diabetes mellitus auf einer Internetplattform. Ein Algorithmus ermittelt notwendige Termine und Tests, um Patienten mit Erblindungsrisiko herauszufiltern.

- Eine Studie des Beratungsunternehmens IT Hunter zeigt, dass die Nachfrage nach KI-Experten im Bankwesen und im Einzelhandel am größten ist. Die Banken konzentrieren sich auf digitale, personalisierte Dienstleistungen und maschinelles Lernen. Der Einsatz von Algorithmen des maschinellen Lernens verbessert die Erfolgsquote bei Prognosen um 25 bis 50 Prozent, sagt Leandro Fernández, Präsident der auf KI spezialisierten AIS-Gruppe in Chile.

Für Einzelhändler, die die Produktnachfrage kalkulieren und vorhersagen wollen, erwartet das Beratungsunternehmen Accenture Chile eine deutliche Zunahme des Einsatzes von intelligenten Technologien. Eine Studie von Accenture ergab, dass 42 Prozent der Verbraucher auf neue Standards bei Dienstleistungen und Kommunikation hoffen.

- Im Bergbau spielt die Automatisierung von Prozessen und die Wartung von Maschinen eine große Rolle. Branchenexperten sehen vielversprechende Möglichkeiten in intelligenten Sensoren zur Analyse von Prozessen und Grabungswerkzeugen für umweltfreundlichere Verfahren. Automatisierte Fahrzeuge können die Risiken für die Arbeiter minimieren. Der Vorsitzende der Digitalabteilung von FLSmidth, Mikael Lindholm, berichtet von den großen Vorteilen digitaler Zwillinge von Maschinen zur Simulation von

9. Andere

Prozessen. Verschiedene Szenarien zielen auf die Produktivität ab.

Innovative Technologien werden bereits eingesetzt, um Bergbaugebiete mit geringem Mineraliengehalt zu erschließen. Viele der Unternehmen in Chile sind jedoch konservativ in ihrer Herangehensweise und stehen der Digitalisierung noch nicht offen gegenüber.

- Im Nordosten Santiagos hat die wohlhabende Gemeinde Vitacura im Oktober 2018 Sicherheitsroboter eingeführt, die die Straßen überwachen und den Bewohnern Hilfe leisten. Die Roboter fahren autonom vorprogrammierte Routen ab, und die Bewohner können im Notfall über sie mit der Leitstelle der Gemeinde kommunizieren. Die Gemeinde plant, die Daten für Sicherheitskarten und weitere Analysen zu nutzen.

In Asien nehmen neben China und Taiwan auch Südkorea und Japan eine Vorreiterrolle in der KI-Forschung ein. Japan konzentriert sich u. a. zunehmend auf Pflegeroboter; dies ist in Japan besonders wichtig, weil die japanische Bevölkerung immer älter wird. Im Rahmen eines Pilotprojekts plant Südkorea laut Reuters den Einsatz von Tausenden von Überwachungskameras und Gesichtserkennung, um die Kontakte von Corona-Infizierten zu verfolgen. Der Test wird in der südkoreanischen Stadt Bucheon durchgeführt und soll im Januar 2020 beginnen.

9.4. Die Rolle der Simulation

Dies ist eine hervorragende Methode, um große Mengen an Daten zu erhalten [42]. Man modelliert ein Problem auf dem Computer, wobei der Prozess eine Reihe von Parametern hat, die man ändern kann. Ein großer Satz von Änderungen führt zu ganz unterschiedlichen positiven oder negativen Ergebnissen. Die besten Ergebnisse liefern dann Werte für die Parameter, mit denen man arbeiten kann [35]. Es ist bemerkenswert, dass die Ergebnisse in kurzer Zeit zur Verfügung stehen. Es kann mehrere Gründe für den Einsatz von Simulationen geben: Eine Untersuchung am realen System wäre zu komplex, zu teuer, ethisch nicht vertretbar oder zu gefährlich:

- Fahrsimulator (in der Realität zu gefährlich),
- Flugsimulator für die Pilotenausbildung, Nachstellen von kritischen Szenarien (Triebwerksausfall, Notlandung - in der Realität zu gefährlich),
- medizinische Simulation für die Ausbildung und Schulung des klinischen Personals, insbesondere bei Notfallsituationen oder Komplikationen,
- Simulatoren in der medizinischen Ausbildung (die Ausbildung an echten Patienten ist in einigen Bereichen ethisch nicht vertretbar),
- ein Kraftwerkssimulator, in dem vor allem die Betriebsmannschaften von Kernkraftwerken die Beherrschung von Störfällen bis zum GAU (in der Realität zu gefährlich) trainieren,
- Crashtest (zu gefährlich oder zu kostspielig in der Realität),
- Simulation von Produktionsanlagen vor einem Umbau (mehrere Umbauten der Anlage in der Realität wären zu komplex und zu teuer),

9. Andere Anwendungen

- Simulationsmodelle können viel einfacher geändert werden als das reale System.
- Das reale System gibt es (noch) nicht. Beispiel: Windkanalversuche mit Flugzeugmodellen, bevor das Flugzeug gebaut wird.
- Das reale System kann nicht direkt beobachtet werden.
- Das reale System arbeitet zu schnell: Simulation von Schaltkreisen.
- Das reale System arbeitet zu langsam: Simulation geologischer Prozesse.
- Das reale System wird nicht verstanden oder ist sehr komplex.
- Das reale System wird in seiner elementaren Dynamik verstanden, aber die zeitliche Entwicklung ist zu komplex, bzw. eine exakte Lösung der Bewegungsgleichung ist nicht möglich. Beispiele sind das Dreikörperproblem, das Doppelpendel, die Molekulardynamik, nichtlineare Systeme.
- Die Simulationen sind reproduzierbar.
- Technische Simulationen, z.B. für Festigkeitsberechnungen (Finite-Elemente-Methode), Strömungssimulationen, von Fabrikprozessen und komplexen logistischen Systemen, für virtuelle Inbetriebnahmen oder Schaltungssimulationen.
- Wissenschaftliches Rechnen mit Anwendungen in Physik, Chemie, Biologie, Meteorologie,
- Simulationen für Bildung und Ausbildung, z. B. Unternehmensplanspiele oder medizinische Simulationen,
- Simulationsspiele, z. B. Flugsimulationen, Rennsimulationen, Wirtschaftssimulationen.

Die Simulation kann daher sehr hilfreich sein, wenn es darum geht, spezielle Fähigkeiten zu erwerben. Erst wenn diese Fähigkeiten ausreichend vorhanden sind, geht man zu realen Systemen über. Die Arbeit mit ihnen ist viel teurer. Aber auch im präventiven Katastrophenschutz kann die Simulation sehr gut eingesetzt werden. Es werden Situationen simuliert, in denen spezielle Systemparameter außerhalb des normalen Betriebszustandes liegen und mögliche Schutzmaßnahmen festgelegt werden.

Allgemein verständlich sollte die Simulation der letzten Eiszeit sein [74]. Die zitierte Arbeit ist eine Veröffentlichung des Max-Planck-Instituts: "The Simulation of Ice Age Cycles with a Complex Earth System Model", mit den Autoren Uwe Mikolajewicz, Matthias Gröger, Jochem Marotzke, Schurgers, Guillaume Schurgers, und Vizcaíno, Miren von der Abteilung *Ozean im Erdsystem (Marotzke)* (Prof. Dr. Jochem Marotzke) und dem MPI für Meteorologie, Hamburg.

9. Andere Anwendungen

Warum Eiszeiten und Warmzeiten aufeinander folgen, ist eines der großen ungelösten Rätsel der Erdsystemforschung. Vermutlich tragen die Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Ozean, Eis sowie ozeanischer und terrestrischer Biosphäre entscheidend dazu bei. Wir beschreiben hier die Grundlagen und erste Ergebnisse des derzeit komplexesten Erdsystemmodells zur Simulation langer Zeitskalen. Die interaktive Landvegetation verstärkt Klimaveränderungen, die durch Variationen der Erdbahnparameter verursacht werden, und bewirkt damit selbst in einem komplexen Erdsystemmodell eine positive Rückkopplung.

Die wohl wichtigste Aufgabe der Klimaforschung für die Gesellschaft ist die Vorhersage von Klimaänderungen, die als Folge der anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen zu erwarten sind. Ein großes Problem ist dabei die Validierung der Modelle, mit denen die Vorhersagen gemacht werden. Zum einen sind die vorhandenen Zeitreihen gemessener Klimadaten zu kurz (mit wenigen Ausnahmen kürzer als 100 Jahre), zum anderen decken sie nicht das Ausmaß der erwarteten Klimaänderungen ab. Um ausreichend große Klimasignale zu finden, muss man mindestens bis zur letzten Eiszeit zurückgehen. Für diese Zeit gibt es natürlich keine gemessenen Klimadaten. Diese müssen daher rekonstruiert werden, aus marinen Sedimentkernen, Isotopenverteilungen in Eisbohrkernen oder Pollenverteilungen in limnischen Sedimenten. Zu den Validierungsaspekten der Klimamodelle kommt der wissenschaftlich reizvolle Aspekt hinzu, dass die Gründe für den regelmäßigen Wechsel zwischen langen Eiszeiten und relativ kurzen Warmzeiten nur sehr unvollständig verstanden sind. Es besteht zwar allgemeiner Konsens darüber, dass die Schwankungen der sommerlichen Sonneneinstrahlung in hohen Breiten (und damit die Menge der potenziellen Schneeschmelze) eine wichtige Rolle spielen, doch ist dieser Effekt viel zu schwach, um die Stärke des Klimasignals (etwa 4 °C im globalen Mittel) allein zu erklären. Es ist also immer noch eine starke positive Rückkopplung im Erdsystem erforderlich, die aber auch aus dem Zusammenspiel mehrerer Rückkopplungsmechanismen bestehen kann, um die beobachtete Abkühlung zu erklären.

Die derzeitigen Erdsystemmodelle, die für die Vorhersage des anthropogenen Klimawandels verwendet werden, sind für Simulationen von typischerweise mehreren Jahrhunderten Länge ausgelegt. Die Simulation eines Übergangs von einer Warmzeit zu einer Eiszeit erfordert jedoch etwa 10.000 Jahre Simulationszeit, und die Simulation eines vollständigen Gletscherzyklus erfordert mehr als 100.000 Jahre. Für diese viel längeren Integrationen sind die derzeitigen Erdsystemmodelle viel zu rechenintensiv, um die entsprechenden Experimente auf den heutigen Computern durchzuführen. Darüber hinaus fehlen Schlüsselkomponenten, die für dieses Problem unerlässlich sind, wie z. B. eine explizite Darstellung der Eisschilde oder die Wechselwirkung zwischen dem in der Tiefsee gelösten Kohlenstoff und den Meeressedimenten.

Bisherige Versuche, das Problem zu lösen, wurden mit stark vereinfachten Modellen durchgeführt. So wurde beispielsweise die Abhängigkeit von der geografischen Länge vernachlässigt,

d.h. es wird nur das sogenannte zonale Mittel dargestellt, oder die Atmosphäre wird extrem vereinfacht. Da wahrscheinlich noch nicht alle relevanten

9. Andere

Rückkopplungsmechanismen identifizieren, könnten die Vereinfachungen wichtige Prozesse unterdrücken. Wir verfolgen daher den Ansatz, ein gekoppeltes Erdsystemmodell zu entwickeln, bei dem die einzelnen Komponenten möglichst realistisch sein sollen. Damit sollen alle wichtigen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Teilkomponenten so weit wie möglich erfasst werden.

9. Andere Anwendungen

Unser Modell wird aus den folgenden Komponenten bestehen: dem atmosphärischen Zirkulationsmodell ECHAM, dem ozeanischen Zirkulationsmodell LSG, dem marinen Kohlenstoffkreislaufmodell HAMOCC, dem Eisschildmodell SICOPOLIS und dem terrestrischen dynamischen Vegetationsmodell LPJ. Das Modell wird einen geschlossenen Kohlenstoffkreislauf berücksichtigen. Dies hat insbesondere zur Folge, dass die CO_2 Konzentration der Atmosphäre durch das Modell simuliert (vorhergesagt) wird, im Gegensatz zu den meisten komplexen Modellen, bei denen sie vorgegeben werden muss.

Derzeit befindet sich das Modell noch in der Testphase. Die letzte Zwischeneiszeit (vor etwa 125.000 Jahren) und der anschließende Übergang zu einer Eiszeit werden als Testsimulation verwendet. Die Basissimulation wurde nur mit dem gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modell durchgeführt. Die Parameter der Erdumlaufbahn wurden während der Integration variiert, beginnend mit dem Jahr 132.000 v. Chr. bis 112.000 Jahre v. Chr..

In vielen geologischen Klimaarchiven ist ein im Vergleich zu heute wärmeres Klima auf der Nordhalbkugel vor etwa 125.000 Jahren dokumentiert. Die Exzentrizität und die Neigung der Erde waren leicht erhöht, und die größte Annäherung an die Sonne fand im nördlichen Sommer statt. Dies führt insgesamt zu einer höheren Sonneneinstrahlung im Nordsommer. Auf der Nordhalbkugel wird es dadurch - verglichen mit dem heutigen Zustand - vor allem in der Arktis und auf den Kontinenten überwiegend wärmer. Die Erwärmung ist im Sommer und Herbst am stärksten, was auch der Änderung der Einstrahlung entspricht. Ein wichtiger positiver Rückkopplungsmechanismus ist dabei die Abnahme der Schnee- und Meereisbedeckung. Die dunklere Oberfläche absorbiert einen größeren Teil der auf die Oberfläche treffenden Sonnenstrahlung, was die Erwärmung verstärkt und die Schnee- und Meereisbedeckung weiter reduziert. Diese Wechselwirkung zwischen Eisbedeckung und Albedo ist ein wichtiger positiver Rückkopplungseffekt im Klimasystem. Über der Sahara führt die Erwärmung der Landoberfläche zu einer Intensivierung der Monsun-Niederschläge, insbesondere in der Sahelzone. Ein ähnlicher Effekt tritt in Südasien auf. Die damit einhergehende dichtere Wolkendecke führt zu einer Abkühlung bei etwa $10^\circ N$ bis $20^\circ N$. Die Albedo ist das Maß für die diffuse Reflexion der Sonnenstrahlung und wird auf einer Skala von 0, was einem schwarzen Körper entspricht, der die gesamte einfallende Strahlung absorbiert, bis 1, was einem Körper entspricht, der die gesamte einfallende Strahlung reflektiert, gemessen.

10.000 Jahre später sind die Sonneneinstrahlungsbedingungen fast entgegengesetzt. Die Erde ist im nördlichen Sommer am weitesten von der Sonne entfernt, was zu einer schwachen sommerlichen Sonneneinstrahlung führt. Geologische Daten deuten auch darauf hin, dass zu dieser Zeit die Vergletscherung über Nordamerika beginnt und die Eiszeit einsetzt. In hohen nördlichen Breitengraden sind die Unterschiede zwischen den Jahreszeiten geringer, und der Sommer ist viel kälter. Auf den Landflächen der Nordhalbkugel sind die Sommer im zonalen Durchschnitt typischerweise $5^\circ C$ bis $6^\circ C$ kälter. Infolgedessen schmilzt der Schnee viel später und manchmal überhaupt nicht. Die hellere Oberfläche reflektiert mehr Sonnenlicht, was die Abkühlung noch

verschlimmert. In der Nordpolarregion ist es das ganze Jahr über typischerweise 4°C bis 5°C kälter. Der Monsun über Nordwestafrika und Südasien ist ebenfalls viel schwächer, mit geringeren Niederschlägen über der Sahelzone und Indien.

Bei den bisher beschriebenen Simulationen wurde die Vegetation entsprechend den aktuellen Bedingungen vorgegeben. In kürzeren Testsimulationen mit interaktiver Vegetation zeigen sich deutliche Effekte. Das wärmere Klima vor 125.000 Jahren führt zu einer deutlichen Verschiebung der Vegetationsgrenze in Eurasien und Nordamerika nach Norden. In hohen Breitengraden ist die

9. Andere Anwendungen

Der Wald breitet sich immer weiter nach Norden aus. Dies hat zur Folge, dass die Oberfläche insgesamt dunkler wird. Dieser Effekt wird durch die Tatsache verstärkt, dass Wald unter ähnlichen Bedingungen viel dunkler ist als Grasland, selbst bei starker Schneedecke. Dadurch wird der Albedo-Effekt und damit die Erwärmung erheblich verstärkt, was wiederum dazu führt, dass der Wald weiter nach Norden vordringt. Die interaktive Vegetation führt somit zu einer deutlichen Verstärkung der simulierten Klimasignale. Die Verstärkung des Sommermonsuns führt zur Vegetationsbildung in der Sahara. Bedingt durch die dunklere Oberfläche intensiviert sich die Zunahme des Monsuns deutlich. Es liegt also auch hier ein starker positiver Rückkopplungseffekt vor.

Selbst 10.000 Jahre später bewirkt die interaktive Vegetation eine Verstärkung des Klimasignals, in diesem Fall eine Abkühlung. Die nördliche Waldgrenze verschiebt sich in Nordamerika und über Eurasien nach Süden. Dadurch wird die Oberfläche insgesamt heller, was die Abkühlung weiter verstärkt. Die Verstärkung des Albedo-Effekts durch die Vegetation ist deutlich erkennbar. Zwischen den beiden extremen Experimenten beträgt der Unterschied in der Land-Albedo über Nordamerika etwa 0,15. Mit vorgeschriebener Vegetation wird dieser Unterschied im Sommer nur etwa halb so groß und ist im Winter fast vernachlässigbar. Mit interaktiver Vegetation ist das simulierte Klimasignal im Sommer zwischen 125.000 und 115.000 Jahren um 1,5°C bis 2°C größer. Die Monsunniederschläge über Nordafrika und Südasien sind vor 115.000 Jahren schwächer, und Trockengebiete breiten sich aus (Abb. ??).

Diese ersten Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Entwicklung von einem reinen Klimamodell (Ozean, Meereis und Atmosphäre) zu einem Erdsystemmodell auch zu einer Verbesserung bei der Simulation von Klimasignalen führt. Die Kopplung mit den noch fehlenden Modellkomponenten (Eisschilde, mariner Kohlenstoff) wird wahrscheinlich weitere positive Rückkopplungsmechanismen hinzufügen. Durch das Eisschildmodell ist es prinzipiell möglich, die Schneeakkumulation in Perioden geringer sommerlicher Sonneneinstrahlung über die nächsten Perioden hoher Sonneneinstrahlung aufrecht zu erhalten. Ein ausreichend hoher Eisschild führt aufgrund der größeren Oberfläche zu kälteren Oberflächentemperaturen und verringert somit auch die sommerliche Schmelze. Darüber hinaus ist das Eis bis etwa 115.000 Jahre vor unserer Zeitrechnung entstanden,

wird auch die atmosphärische CO_2 -Konzentration verringert, was die Abkühlung weiter verstärkt. Die Gründe für diese Verringerung sind noch unklar. Wir hoffen, die Antwort in der Erde zu finden

Systemmodell. Es gibt keinen besseren Weg, um den Nutzen von Simulationsmodellen zu zeigen.

Die in Abb. ?? gezeigten Kurven und Flächen weisen eindeutig auf eine fraktale Struktur hin. Es wiederholen sich immer die gleichen Formen, mal sind sie größer, mal kleiner, aber sie verändern sich nicht.

Die globale Erwärmung oder der Klimawandel sind derzeit ein außerordentlich heiß diskutiertes Thema. Deshalb soll hier ein zweites Modell vorgestellt werden, das sogar 3 Millionen Jahre zurückreicht. Diese Arbeit [75] wurde von Matteo Willeit, Paläoklimatologe am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, in Spectrum.de

SciLogs unter dem Titel "3 Millionen Jahre Klimawandel in der Computersimulation" veröffentlicht.

Das Quartär ist die jüngste geologische Periode; sie umfasst die letzten 2,6 Millionen Jahre. Es ist gekennzeichnet durch massive Klimaschwankungen, die Eiszeitzyklen, den dramatischen Wechsel von Wachstum und Zerfall der riesigen kontinentalen Eisschilde auf der Nordhalbkugel. Die Klimaschwankungen des Quartärs lassen sich am besten anhand von Sauerstoffisotopen in Sedimentkernen aus der Tiefsee nachweisen, die die Schwankungen des globalen Eisvolumens und der

9. Andere Anwendungen

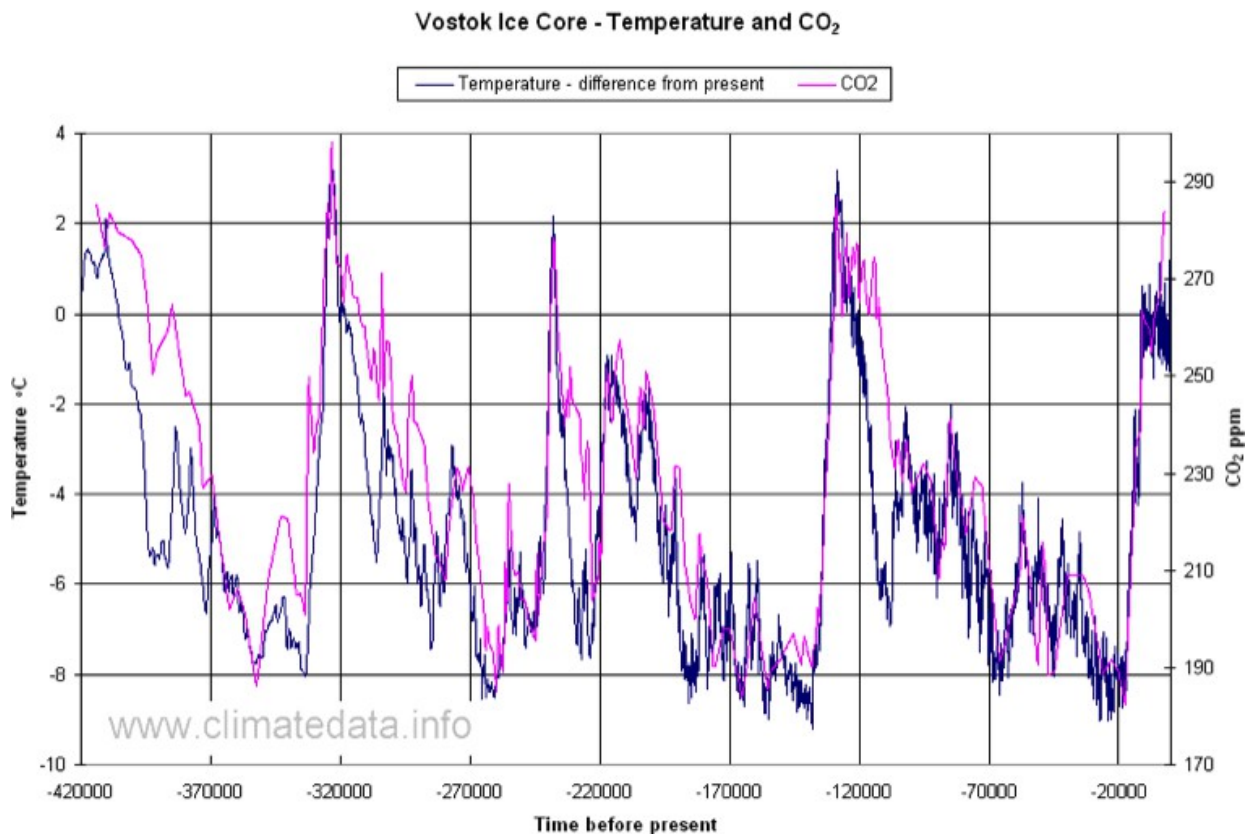


Abb. 9.3 Wellen der Erwärmung und Abkühlung

Temperatur der Ozeane. Diese Daten zeigen deutlich, dass es in den letzten 3 Millionen Jahren einen allgemeinen Trend zu größeren Eisschilden und kühleren Temperaturen gab, begleitet von einer Zunahme der Amplitude der Schwankungen zwischen Eiszeiten (Glazialen) und Zwischeneiszeiten (Interglazialen) sowie einem Übergang vor etwa einer Million Jahren von meist symmetrischen Zyklen mit einer Periodizität von 40.000 Jahren zu stark asymmetrischen 100.000-Jahres-Zyklen. Die Ursachen für diese Übergänge in der Dynamik der Gletscherzyklen sind in der Fachwelt jedoch nach wie vor umstritten.

Unter anderem ist die Rolle der CO_2 -Veränderungen in der Klimadynamik des Quartärs nicht vollständig geklärt, was vor allem an den ungenauen Daten zu den atmosphärischen CO_2 -Konzentrationen für die Zeit vor 800 000 Jahren liegt, der Zeitspanne, für die wir hochwertige Daten haben.

Eiskerndaten.

In einer aktuellen Studie (Willeit et al. 2019) konnten wir die natürliche Klimavariabilität während des gesamten Quartärs mit einem Erdsystemmodell mittlerer Komplexität reproduzieren. Zusätzlich zu Ozean und Atmosphäre umfasst das Modell interaktive Eisschilde für die nördliche Hemisphäre und einen vollständig gekoppelten globalen Kohlenstoffkreislauf. Angetrieben wurde das Modell nur durch Änderungen der Erdbahnkonfiguration (d. h. durch die bekannten Milanković-Zyklen) sowie durch mehrere Szenarien für sich langsam ändernde Randbedingungen, nämlich CO_2 Ausgasungen von Vulkanen als geologische CO_2 Quelle und Änderungen der Sedimentverteilung auf den Kontinenten.

9. Andere Anwendungen

Diese Modellsimulationen liefern eine konsistente Rekonstruktion des CO_2 , des Klimas und der Eisschilde, die mit den verfügbaren Beobachtungsdaten übereinstimmt. Die Tatsache, dass das Modell die wichtigsten Merkmale der Klimageschichte, einschließlich der Daten über die Eismasse der Erde und die Oberflächentemperaturen, reproduzieren kann, gibt uns Vertrauen in unser allgemeines Verständnis der Funktionsweise des Klimasystems und liefert Schätzungen für den Beitrag des externen Antriebs und der internen Rückkopplungen zur Klimavariabilität.

Unsere Ergebnisse zeigen eine starke Empfindlichkeit des Erdsystems gegenüber relativ kleinen Schwankungen des atmosphärischen CO_2 . Ein allmählicher Rückgang von CO_2 auf Werte unter ≈ 350 ppm führte zum Beginn der Vergletscherung Grönlands und, allgemeiner, der nördlichen Hemisphäre zum Zeitpunkt Beginn des Quartärs. Das Anwachsen und Abschmelzen der Eisschilde führte in der Folge zu einer allmählichen Erosion der dicken Schicht loser Sedimente, die sich zuvor durch ungestörte Verwitterung über Millionen von Jahren auf den Kontinenten gebildet hatte. Die Erosion dieser Sedimentschicht - sie wurde im Wesentlichen von den fließenden Gletschern weggeschoben - beeinflusste die Entwicklung der Eiszeitzyklen in mehrfacher Hinsicht. Erstens sind Eisschilde, die auf weichen Sedimenten liegen, im Allgemeinen mobiler als Eisschilde auf hartem Grundgestein, weil das Eis leichter über die Sedimente gleitet als über das Grundgestein. Darüber hinaus entstehen durch den Transport von Sedimenten an die Ränder des Eisschildes erhebliche Mengen an Staub, der, sobald er sich auf der Oberfläche des Eisschildes abgelagert hat, das Schmelzen des Eisschildes fördert, da das Eis schmutziger und damit dunkler wird. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die allmähliche Vergrößerung der Fläche des freiliegenden Gesteins im Laufe der Zeit zu stabileren Eisschilden führte, die weniger auf die Orbitalzyklen der Erde reagierten, und schließlich den Weg für den Übergang zu 100.000-jährigen Zyklen vor etwa einer Million Jahren ebnete.

Die Entwicklung von Eisschilden reagiert sehr empfindlich auf die Temperatur, und der Beginn der Vergletscherung der nördlichen Hemisphäre vor etwa 3 Millionen Jahren wäre im Modell nicht möglich gewesen, wenn die globale Temperatur im frühen Quartär um mehr als $2^\circ C$ gegenüber der vorindustriellen Zeit gestiegen wäre. Da sich gezeigt hat, dass das Modell die Schwankungen des Meeresspiegels in den letzten 400.000 Jahren und auch die räumliche Verteilung der Eisschilde auf dem Höhepunkt der letzten Eiszeit korrekt vorhersagt (Ganopolski & Brovkin 2017), sind wir zuversichtlich, dass die Empfindlichkeit der Eisschilde gegenüber dem Klima im Modell realistisch ist.

Man kann in Abb. ?? sehr deutlich sehen, dass Erwärmung und Abkühlung periodische Funktionen sind. Der derzeitige Kampf um die Verringerung der CO_2 Emissionen macht die Städte sauberer, was sehr wünschenswert ist, aber eine signifikante Auswirkung auf die globale Erwärmung ist nicht erkennbar. Es ist nicht möglich, dies zu beweisen, aber die Simulation dieser Prozesse lässt recht zuverlässige Schlussfolgerungen zu.

Natürlich wurde auch das Problem der Pandemiesimulation sehr schnell angegangen [36]. Pandemie-Simulationen wurden in den 2000er Jahren sehr populär. Spezialisten für biologische Sicherheit und Experten für öffentliche Gesundheit wollten das

9. Andere

öffentliche Gesundheitssystem ~~Einem~~ ^{Einem} Stress test unterziehen und herausfinden, wo Probleme auftraten. Bei der Simulation sitzen Wissenschaftler, Geschäftsleute und Regierungsbeamte zusammen und müssen in Echtzeit Entscheidungen treffen, um mit einer sich ausweitenden Krise umzugehen, die ihnen im Stil der Fernsehnachrichten präsentiert wird. Einige markante Beispiele:

9. Andere Anwendungen

- 2001: Im Rahmen von *Dark Winter* simulieren die Forscher einen Pockenangriff auf die USA - wenige Monate vor einer Reihe von Milzbrandanschlägen in den Vereinigten Staaten.
- 2003: Ausbruch des Schweren Akuten Respiratorischen Syndroms (Sars) in Asien. Ausgelöst durch ein Coronavirus, breitet sich Sars auf ein Dutzend Länder aus.
- 2005: Die WHO überarbeitet ihre Internationalen Gesundheitsvorschriften (IGV). Die Länder verpflichten sich, Krankheitsausbrüche besser zu überwachen und unverzüglich zu melden.
- 2009: Die H1N1-Schweinegrippe tritt in den USA auf.
- 2014: Ein Ebola-Ausbruch wird in Westafrika gemeldet.
- 2015: Das Zika-Virus breitet sich in Brasilien aus.
- 2017: Im Rahmen des Weltwirtschaftsgipfels in Davos wird eine Pandemiesimulation durchgeführt.
- 2018: Ebola bricht zweimal unabhängig voneinander in der Demokratischen Republik Kongo aus.
- 2019: Ereignis 201, eine Simulation einer neuartigen Coronavirus-Pandemie, findet in New York City statt.
- 2020: Die Sars-CoV-2-Pandemie fordert allein in der ersten Hälfte des Jahres 2020 670.000 Menschenleben.

Auch in Deutschland gibt es Bestrebungen, Simulationsprogramme für Pandemien zu erstellen. Der "Lehrstuhl für Innovationsökonomie" an der Universität Hohenheim stellt **e i n** solches Programm [37] mit dem Titel "Agentenbasiertes Modell gesundheitspolitischer Maßnahmen bei der Corona-Epidemie" mit folgendem Text vor:

"Ausstiegsbarrieren und soziale Distanzierung oder Ansteckung? Wie wird der Verlauf der Corona-Pandemie durch politische Maßnahmen beeinflusst? Testen Sie selbst in einem Online-Politiklabor, welchen Einfluss die verschiedenen Instrumente auf den Verlauf der Epidemie haben. Welche Sterblichkeitsraten sind zu erwarten, und wie wird der zeitliche Verlauf der Krise sein? Bitte beachten Sie: Unser Policy Lab liefert keine Prognosen, sondern dient dazu, das Verständnis für komplexe Zusammenhänge zu stärken.

Die Corona-Pandemie beunruhigt uns alle. Seit vielen Tagen verfolgen wir die Veröffentlichungen der Johns Hopkins University und des Robert-Koch-Instituts mit den neuesten Zahlen der mit dem Corona-Virus infizierten Menschen. Weltweit reagieren die Politiker mit unterschiedlichen Instrumenten: Während in den meisten Ländern die Verlangsamung der Infektionsraten zum obersten Ziel erklärt wird, wird andernorts auch über eine mögliche Ansteckungsstrategie diskutiert, um möglichst

9. Andere

schnell eine breite Immunisierung der Bevölkerung zu erreichen. Angesichts der damit zwangsläufig verbundenen Überlastung des Gesundheitswesens und der stark steigenden Sterblichkeitsraten ist diese Strategie jedoch nicht überzeugend.

9. Andere Anwendungen

Weg nach vorn. Aber auch die Verlangsamungsstrategie ist nicht unumstritten, denn es ist unklar, wie lange die Maßnahmen, die das soziale und wirtschaftliche Leben empfindlich stören, durchgeführt werden müssen.

Zwei der Schlüsselbegriffe, die wir in dieser Debatte immer wieder hören, sind das *exponentielle Wachstum der Zahl der Infizierten* und die *kritischen Schwellenwerte*, die im Krankenhaussystem überschritten werden könnten, wodurch ein völliger Zusammenbruch der Leistungserbringung droht. Dies sind die typischen Bestandteile komplexer Systeme, die schwer vorhersehbar und für unerwartete Überraschungen gut sind.

Mit Hilfe moderner Computersimulationen kann man die Entwicklung komplexer Systeme gut beschreiben und ein Gespür für deren scheinbar unvorhersehbare Entwicklungspfade entwickeln. Wir haben ein einfach zu bedienendes Politiklabor entwickelt, mit dem Sie mögliche Entwicklungspfade betrachten können. Sie sehen eine typische europäische Stadt mit ihren verschiedenen Aktivitäten (Arbeitsstätten, Supermärkte, Schulen usw.) sowie Wohngebieten. Die Bewohner der Stadt führen ein ganz normales Leben, das sich gut mit einem Kalender beschreiben lässt. Morgens gehen die Erwachsenen zur Arbeit in ihre Büros und Fabriken, die Kinder gehen zur Schule, und nachmittags treiben sie Sport. In den Einkaufszentren zieht das Geschäft auch in den Nachmittagsstunden an. An allen Orten finden zahlreiche Begegnungen und soziale Interaktionen statt. Für ein Virus wie das hochansteckende Corona-Virus sind das ideale Verbreitungsbedingungen. Am Bildschirm kann man gut beobachten, wie sich ein großer Teil der Menschen nach und nach ansteckt und in einigen Fällen schwer erkrankt oder sogar stirbt. Die Krankenhauskapazitäten in unserer Stadt sind begrenzt, so dass die Todesfälle zunehmen, wenn die Kapazitätsgrenze überschritten wird. Das Virus verschwindet nach einer gewissen Zeit auch ohne Intervention, und die überlebenden Stadtbewohner haben eine Immunität entwickelt. Es gibt viele Todesfälle.

Sie können die Gesundheitspolitik in dieser Stadt gestalten und die daraus resultierenden Veränderungen der Situation auf dem Bildschirm verfolgen. Sie können zum Beispiel die infizierten Menschen in häusliche Quarantäne schicken, die allgemeinen Hygienebedingungen durch Gesundheitserziehung verbessern oder die Schulen schließen. Sie können auch in die Kapazität von Krankenhausbetten investieren. Alle Maßnahmen wirken sich auf die Zahl der schweren Fälle und Todesfälle sowie auf die Dauer und den Verlauf der Epidemie aus. Sehen Sie selbst in unserem Politiklabor, welche großen Unterschiede die verschiedenen Maßnahmen bewirken können, und ziehen Sie Ihre eigenen, dann besser informierten Schlüsse.

Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass der Schwerpunkt des Policy Lab auf sozialen Interaktionen liegt. Epidemiologische und medizinische Interaktionen werden sehr einfach modelliert und nutzen öffentlich zugängliche Wissensquellen. Daraus ergeben sich viele Möglichkeiten zur interdisziplinären Zusammenarbeit. Das Modell bietet viele Möglichkeiten zur Erweiterung. Daran arbeiten wir." Auf einer weiteren Webseite kann man dann direkt mit dem Simulationsmodell arbeiten [38]. Es ist äußerst interessant, die verschiedenen Parameter des Modells zu ändern und zu beobachten, wie sich diese Änderungen auswirken.

10. Digitalisierung

Derzeit ist es möglich, alle Informationen, die es gibt, in digitaler Form zu erfassen. Eine Digitalkamera ist eine Kamera, die anstelle eines Films ein digitales Speichermedium als Aufzeichnungsmedium verwendet; das Bild wird zuvor mit Hilfe eines elektronischen Bildwandlers digitalisiert. Ihr Preis liegt zwischen 100 Euro und 2000 Euro. Die erste Kamera wurde 1975 von Steven J. Sasson, einem US-amerikanischen Ingenieur, bei Kodak entwickelt. Im August 1981 stellte Sony-Chef Akio Morita die erste filmlose Magnetkamera unter dem Namen Mavica vor und erweiterte in den folgenden Jahren die Produktpalette. Abb. 10.1 zeigt ein Beispiel.



Abb. 10.1 Eine Sony-Digitalkamera

Liegen die Informationen in analoger Form vor, können sie mit geeigneten Werkzeugen auch digitalisiert werden. Am bekanntesten ist vielleicht die Möglichkeit des Scannens schriftlicher Dokumente. Es kann davon ausgegangen werden, dass jede Information in digitaler Form vorliegt. Die Möglichkeit der Weiterverarbeitung auf Computersystemen ist ein Prinzip, das allen Erscheinungsformen der Digitalen Revolution und der Digitalen Transformation im Wirtschafts-, Sozial-, Arbeits- und Privatleben gemeinsam ist. Tatsächlich erhöht die technisch vernetzte digitale Kommunikation die Vielfalt der technisch-organisatorischen Lösungsmöglichkeiten erheblich. Sie schafft daher keine langfristig stabilen Strukturen, sondern erhöht deren Flexibilität und Komplexität und reduziert durch die von ihr ausgelösten disruptiven Veränderungsprozesse deren Berechenbarkeit.

10.1. Die Grundlagen der Digitalisierung

Für die Massenspeicherung und -verarbeitung gibt es seit den 1960er Jahren immer leistungsfähigere Speichermedien und seit den 1970er Jahren Mikroprozessoren. Schätzungen zufolge waren im Jahr 2007 94 % der weltweiten technischen Informationskapazität digital (1993 waren es nur 3 %).

Die zu digitalisierende Größe kann alles sein, was mit Sensoren gemessen werden kann. Typische Beispiele sind:

- den Schalldruck bei Tonaufnahmen mit einem Mikrofon,
- die Helligkeit bei Bild- und Videoaufnahmen mit einem Bildsensor,
- die Texte eines gescannten Dokuments,
- die Kräfte, bei denen das Gewicht oder die verursachte Beschleunigung gemessen wird,
- die Temperatur,
- die magnetische oder elektrische Feldstärke.

Ein Sensor misst die physikalische Größe und gibt sie in Form einer elektrischen Spannung oder eines Stroms weiter. Dieser Messwert wird dann mit einem Analog-Digital-Wandler in einen digitalen Wert umgewandelt. Dieser Vorgang kann einmalig oder in regelmäßigen Zeitabständen erfolgen. Von hier an werden die Messwerte digitalisiert und können von einem Computersystem weiterverarbeitet oder gespeichert werden.

Wie die digitalisierten Werte anschließend systemintern dargestellt werden, hängt von dem jeweiligen System ab. Dabei ist zunächst zwischen der speicherunabhängigen Kodierung und dann der Speicherung von Informationsblöcken zu unterscheiden. Die Kodierung und das Format hängen von der Art der Informationen, den verwendeten Programmen und auch der späteren Verwendung ab. Die Speicherung kann im flüchtigen Arbeitsspeicher oder dauerhaft, zum Beispiel in Datenbanksystemen oder direkt als einzelne Datei, in einem Dateisystem erfolgen.

Hier sind Dateiformate, die sowohl die binäre Kodierung als auch die Metadaten standardisieren, unerlässlich. Beispiele sind Textdateien in ASCII- oder Unicode-Kodierung, Bildformate oder Formate für Vektorgrafiken, die z.B. die Koordinaten einer Kurve innerhalb einer Fläche oder eines Raumes beschreiben.

Bei der Prozessdigitalisierung sind die Schnittstellen zwischen der digitalen Welt und der Außenwelt entscheidend. Digitale Informationen werden auf analogen Geräten ausgegeben oder an physischen Gütern angebracht, so dass sie von Menschen oder der gleichen Maschine zeitversetzt oder von anderen Maschinen wieder gelesen werden können. Dazu gehören nicht nur klassische Techniken wie die Ausgabe digitaler Informationen auf Trägermaterialien wie Papier mittels menschenlesbarer Zeichen (und deren Rückwandlung durch Texterkennung), sondern auch spezialisierte Techniken wie Barcodes, 2D-Codes (zum Beispiel der QR-Code) oder

Funknetzwerke, die im Internet der Dinge auch ohne Sichtkontakt und ohne elektrische

Beispiele für die Verwendung des Unicode

Unicode	Symbol	Bedeutung
03E0	Ϡ	Griechischer Buchstabe sampi
0429	Ш	Kyrillischer Großbuchstabe shcha
04BC	Ѹ	Kyrillischer Großbuchstabe Abchasischer
05D8	ט	Hebräischer Buchstabe tet
060F	ﻡ	Arabisches Zeichen misra
0F16	ཨ	Tibetischer Schriftzug lhag rtags
1254	፳	Äthiopische Silbe qhee
14D9	ᓄ	Kanadische Silben y-cree loo
189A	ᠮ	Mongolischer Buchstabe manchu ali gali gha
4F86	來	Chinesisch-japanisch-koreanische Einheitsgrafik
A98B	ꦭꦺꦴꦠꦤ꧀	Javanesischer Buchstabe nga lelet raswadi

Verbindung für die Kommunikation zwischen Geräten (z. B. über drahtlose lokale Netze (WLAN) oder mit Radiofrequenz-Identifikation (RFID)).

Aus realen Objekten oder Prozessen können digitale Zwillinge modelliert werden, mit denen virtuelle Simulationen durchgeführt werden können, ohne die Realität zu beeinflussen.

- Digitale Daten ermöglichen die Nutzung, Bearbeitung, Verbreitung, Indexierung und Reproduktion in elektronischen Datenverarbeitungssystemen.
- Digitale Daten können maschinell und damit schneller verarbeitet, verteilt und vervielfältigt werden.
- Sie können durchsucht werden.
- Der Platzbedarf ist deutlich geringer als bei anderen Formen der Archivierung.
- Selbst bei langen Transportwegen und nach mehrfacher Bearbeitung sind Fehler und Störungen (z. B. Rauschüberlagerungen) im Vergleich zur analogen Bearbeitung gering oder können ganz eliminiert werden. Ein weiterer Grund, analoge Inhalte zu digitalisieren, ist die Langzeitarchivierung. In der Annahme, dass es keinen Datenträger gibt, der ewig hält, ist eine ständige Migration notwendig. Fakt ist auch, dass analoge Inhalte mit jedem Kopiervorgang an Qualität verlieren. Digitale Inhalte hingegen bestehen aus diskreten Werten, die entweder lesbar und damit äquivalent zum digitalen Original sind, oder nicht mehr lesbar, was durch redundante Speicherung der Inhalte oder Fehlerkorrekturalgorithmen verhindert wird. Schließlich können analoge Originale durch die Erstellung digitaler Benutzerkopien erhalten werden. Denn viele Datenträger, darunter Schallplatten, analoge Spielfilme und Farbdias, verlieren allein durch das Abspielen oder auch durch einfache Alterungsprozesse an Qualität. Auch gedruckte Bücher oder Zeitungen und Archivmaterial leiden unter dem Gebrauch und können durch Digitalisierung erhalten werden.

10.2. Einige Anwendungen

Um ein Farbbild digital darzustellen, ist eine höhere Quantisierung erforderlich. Bei digitalisierten Bildern im RGB-Farbraum wird jeder Farbwert eines Pixels in die Werte Rot, Grün und Blau zerlegt, und diese werden einzeln mit der gleichen Quantisierung gespeichert (maximal ein Byte/Farbwert = 24 Bit/Pixel).

Heute ist Freitag. **Darauf folgt das Wochenende.**

Heute ist Freitag. **Darauf folgt das Wochenende.**

Heute ist Freitag. **Darauf folgt das Wochenende.**

Alle Textverarbeitungsprogramme bieten die Möglichkeit, sowohl den Hintergrund als auch den Text einzufärben.

Die Digitalisierung von Audiodaten wird oft als "Sampling" bezeichnet. Die Schallwellen eines Mikrofons, die zuvor in analoge elektronische Schwingungen umgewandelt wurden, werden zufällig gemessen und in schneller Folge als digitale Werte gespeichert. Umgekehrt können diese Werte auch in schneller Folge abgespielt und zu einer analogen Schallwelle zusammengesetzt werden, die dann wieder hörbar gemacht werden kann. Die gemessenen Werte würden bei der Rückwandlung tatsächlich eine Winkelwellenform ergeben: Je niedriger die Abtastfrequenz ist, desto eckiger ist die Wellenform bzw. das Signal. Dies kann durch mathematische Methoden reduziert werden. Bei der Abtastung bezeichnet die Bittiefe den "Raum" für Werte in Bits, die u. a. für die Auflösung des Dynamikbereichs notwendig sind. Ab einer Abtastfrequenz von 44,1 Kilohertz und einer Auflösung von 16 Bit spricht man von CD-Qualität.

Schallplatten können mit Softwareunterstützung berührungslos ausgelesen und digitalisiert werden, indem ein Programm ein hochauflösendes optisches Bild des Tonträgers einscannet. Dieses Verfahren wird bei der Rekonstruktion von historischen Tonaufnahmen eingesetzt. Sie können also Ihre über viele Jahre gesammelten Schallplatten problemlos auf den Flohmarkt bringen oder verschenken, wenn Sie sie vorher digitalisiert haben.

Die Digitalisierung archäologischer Objekte ist die digitale Erfassung von archäologischen Objekten in Schrift und Bild. Alle verfügbaren Informationen (Klassifizierung, Datierung, Dimensionen, Eigenschaften etc.) zu einem archäologischen Objekt (Gefäß, Steinwerkzeug, Schwert) werden digital erfasst, durch elektronische Bilder und Zeichnungen ergänzt und in einer Datenbank gespeichert. Anschließend können die Objekte in Form eines Datenimports in ein Objektportal wie *museum-digital* integriert werden, wo die Objekte von jedermann frei recherchiert werden können (Abb. 10.2). Anlass für die Digitalisierung archäologischer Objekte ist in der Regel die Erfassung größerer Bestände wie archäologischer Sammlungen in Museen oder Denkmalpflegeämtern, um sie der Öffentlichkeit zu präsentieren. Da es im Museumsalltag nie möglich ist, alle Objekte zu zeigen, die Objekte einer Sammlung in Form von Ausstellungen oder Publikationen zu präsentieren, ist die Digitalisierung eine Möglichkeit, die Objekte dennoch einer breiten Öffentlichkeit und auch der Wissenschaft vorzustellen. Darüber hinaus erfolgt

eine elektronische Sicherung der ~~Sammlung~~^{DS-Struktur}, was angesichts des Einsturzes des Historischen Archivs der Stadt Köln nicht unbedeutend ist.

10. Digitalisierung



Abb. 10.2 Ein Museum für digitale Kunst in Tokio

Bereits 1916 postulierte Albert Einstein "Gravitationswellen". Diese Verzerrungen der Raumzeit entstehen als direkte Folge seiner "Allgemeinen Relativitätstheorie". Am 14. September 2015 gelang in den Vereinigten Staaten der erste direkte Nachweis von Gravitationswellen mit den *Advanced LIGO-Detektoren*. Das gemessene Signal stammt von zwei *schwarzen Löchern*, die einander umkreisen, sich immer mehr annähern und schließlich verschmelzen.

Am 17. August 2017 empfingen Astronomen zum ersten Mal sowohl elektromagnetische Strahlung als auch Gravitationswellen von einem Ereignis: In der 130 Millionen Lichtjahre entfernten *Galaxie NGC 4993* waren zwei Neutronensterne kollidiert und verschmolzen. Damit begann eine neue Ära der Gravitationswellenastronomie. Das Ergebnis ihrer Digitalisierung ist in Abb. 10.3 dargestellt.

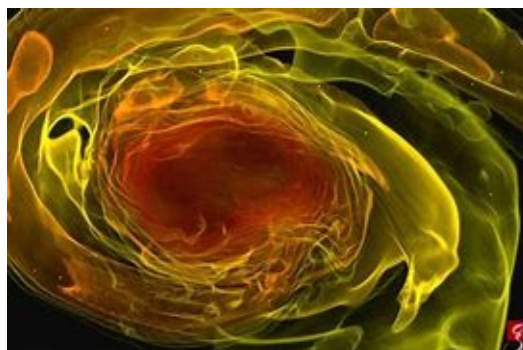


Abb. 10.3 Gravitationswellen

Im Gesundheitswesen bieten digitale Anwendungen der Telemedizin neue Möglichkeiten, die Effektivität und Effizienz von Untersuchungen und Behandlungen zu steigern, die Patientenversorgung zu verbessern und die Transparenz von Leistungs- und Wertschöpfungsprozessen zu erhöhen. Ziel ist es, medizinisches Wissen und

therapeutische Möglichkeiten breiter Digitalisierung zugänglich zu machen

durch intelligente elektronische Datennutzung zur Verfügung zu stellen und Ärzte, Krankenschwestern, Pfleger und andere Leistungserbringer von Verwaltungs- und Routineaufgaben zu entlasten und damit die Qualität der Gesundheitsversorgung auch in ländlichen Gebieten deutlich zu verbessern.

Grundlage der Digitalisierung sind die medizinischen Daten der Versicherten, die dank moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zwischen Ärzten und Patienten sowie zwischen den einzelnen Leistungserbringern ausgetauscht werden. Die Digitalisierung ermöglicht es, die Diagnostik und Behandlung zu modernisieren und entscheidend weiterzuentwickeln. Sie trägt dazu bei, die Kommunikation zwischen den einzelnen Akteuren im Gesundheitswesen zu erleichtern und ermöglicht es dem einzelnen Patienten, seine Gesundheit selbst in die Hand zu nehmen, zum Beispiel durch Apps und Informationen im Internet. Diese Themen verdeutlichen, wie weitreichend der Wandel ist, dem die Digitalisierung in der Medizin unterliegt. Auch die jeweilige Rolle des Patienten, die Beziehung zu seinen Behandlern und das Gesundheitssystem als Ganzes unterliegen diesem Einfluss. Ärztinnen und Ärzte werden spüren, wie sich ihr Berufsbild und auch ihr Selbstverständnis den neuen Gegebenheiten anpassen. Bei der Digitalisierung ist das deutsche Gesundheitssystem im internationalen Vergleich weit abgeschlagen. In anderen Ländern sind Telemonitoring, Videosprechstunden und elektronische Patientenakten längst an der Tagesordnung - in Deutschland werden viele dieser Innovationen nicht oder nur teilweise genutzt [76].

Die Digitalisierung der Produktionstechnik umfasst "Konstruktions- und Codeerstellungsprozesse" (CAD, CAM), "Fertigungsprozesse" (zum Beispiel mit CNC-Maschinen oder 3D-Druck) und Montageprozesse (zum Beispiel mit Industrierobotern). Die zunehmende Vernetzung erfordert die Gestaltung gemeinsamer Standards, um die immer komplexer werdenden Produktionssysteme steuern zu können.

Digital gesteuerte Lagertechnik, Navigationssysteme und digitale Verkehrsleitsysteme stellen besondere Zweige der technischen Entwicklung dar.

Die Digitalisierung in der Landwirtschaft schreitet seit dem Aufkommen des Personal Computers voran. Waren es zunächst Buchhaltung und Felddokumentation im Agrarbüro, die zeitsparend mittels Agrarsoftware erledigt werden konnten, so haben seit den 1990er Jahren verschiedene Entwicklungsschübe wie Precision Farming, Smart Farming und zuletzt Digital Farming dazu geführt, dass die Computer- und Sensortechnik

in der heutigen Landtechnik weit verbreitet sind. Autonome Fahrzeuge, Traktoren und Feldroboter gibt es inzwischen auch in der Landwirtschaft, und zwar nicht nur als Prototypen (Abb. 10.4).

Die landwirtschaftliche Gemeinschaft hat mehrere Jahre damit verbracht, eine Betriebsbeschreibung für die digitale Landwirtschaft zu erstellen. Die Landwirtschaft ist eines der komplexesten Systeme, die analysiert werden können, und das meiste, was bisher vorgeschlagen wurde, sind Lösungen wie Wetter- und Bilddaten. Die digitale Landwirtschaft ist die Anwendung von Präzisionsmethoden zur Standortbestimmung und von entscheidungsrelevanten agronomischen Informationen, um die gesamte

Bandbreite der Anbauprobleme in der Digitalisierung beleuchten, vorherzusagen und zu beeinflussen. Hier ein Blick auf die einzelnen Teile der Definition: Bei der Präzision geht es um Geolokalisierungsdienste, die mit dem Global Positioning System (GPS) und seinen Erweiterungen verbunden sind. Es handelt sich um die Überlagerung dieser Geolokalisierungsdienste auf einer digitalen Karte für Präzisionserfassung, Identifizierung, vorausschauende Entscheidungsfindung und Maßnahmen.

Informationen von hoher Entscheidungsqualität werden zeitnah und innerhalb der



Abb. 10.4 Das Berufsbild ändert sich auch in der Landwirtschaft

Entscheidungsschleife des Ereignisses. Sie wird durch fortschrittliche Sensoren, anschauliche Modelle und prädiktive Algorithmen bereitgestellt, die den erforderlichen Einblick in das agronomische Problem liefern. Der Anbau ist ein durchgängiger, kontinuierlicher Entscheidungsprozess in Echtzeit, der rechtzeitige Entscheidungen und Maßnahmen erfordert. Er erstreckt sich von der Aussaat bis zur Ernte. Heute geht es beim Anbau um die sachkundigen, aber subjektiven Beobachtungsfähigkeiten des Einzelnen. In Zukunft wird es um die objektiven, vorausschauenden Fähigkeiten und die Präzision des digitalen Ökosystems gehen. Die digitale Landwirtschaft muss auch ein System sein, das funktioniert. Aus diesem Grund stellen die folgenden Anforderungen sicher, dass das System auf Millionen von Hektar skalierbar ist, für mehrere Kulturen verwendet werden kann, eine End-to-End-Lösung bietet, in einem Ökosystem existiert und die verschiedenen agronomischen und wirtschaftlichen Bedürfnisse von Hunderten oder sogar Tausenden von Beteiligten gleichzeitig unterstützt.

Die digitale Landwirtschaft auf der nächstniedrigeren Ebene muss die zeitnahe Bereitstellung von Informationen aus den Datenbeständen, aus denen ein Feld besteht, organisieren, analysieren und orchestrieren. Es muss darum gehen, das Feld in differenzierbare, geografisch gelegene und individuell homogene Einheiten von Produktionsmitteln zu unterteilen. Bei dieser Anforderung geht es um jede Einheit als produktives Gut. Die genaue Lokalisierung stellt sicher, dass die über diese Einheit gesammelten Informationen am selben Ort gemessen, aufgezeichnet, analysiert und verarbeitet werden und sich von allen anderen umliegenden Anlagen unterscheiden

lassen. Es geht darum, individuell ~~homogen~~ und identisch in Größe, Ausdehnung und Tiefe zu sein, damit das System dieselbe Einheit auf wiederholbare Weise analysieren kann. Das bedeutet, dass jede Variable für ein produktives

Einheit hat über die gesamte Grundfläche und Tiefe den gleichen variablen Wert.

Für jedes Produktionsmittel können Prognosen und Rezepte erstellt werden, und die Produktion wird individuell überwacht. Jede Produktionseinheit des Betriebes kann separat und präzise identifiziert und analysiert werden. Daraus werden Maßnahmen abgeleitet, die ergriffen werden, um ein prognostiziertes Ergebnis zu erreichen. Die Summe der Ergebnisse für alle diese homogenen Einheiten bildet ein Feld, und die Summe aller Vorhersagen, Vorschriften, Kosten und Erträge ist die Wirtschaftlichkeit des Feldes. Durch die Betrachtung des Feldes als eine Summe produktiver Vermögenswerte kann die digitale Landwirtschaft fortschrittliche Daten und Analysealgorithmen in Echtzeit auf die Verwaltung jedes einzelnen Vermögenswerts und damit auf das Feld als Ganzes anwenden.

Bei der digitalen Landwirtschaft geht es nicht um Genetik, Wettervorhersage usw. Diese Faktoren sind zwar für Vorhersagen äußerst wichtig, werden aber extern generiert und als Inputs verwendet. So würde beispielsweise die Saatgutauswahl auf der Grundlage von Saatgutprofilen getestet, die von Agrarunternehmen entwickelt und produziert werden. Die Bodenbeschaffenheit, der Wassergehalt und andere bekannte Informationen werden von Sensoren oder aus historischen Aufzeichnungen für die Region und das Feld gewonnen. Die Daten der Region und des Feldes sind historisch und gemessen, und diese Daten werden als Grundlage für die Vorhersage verwendet. Bei der digitalen Landwirtschaft geht es darum, bekannte Feld-, Kultur-, Nährstoff-, Schutz- und Hydratationsdaten für Prognosen zu nutzen.

Die Digitalisierung in der Bildung ist sehr umfassend. Die Verwendung von Taschenrechnern, Handys, Tablets und Computern gehört zum Alltag, und die Verwendung von Computern und Mathematiksoftware wurde bereits in einem früheren Kapitel vorgestellt. Der Fernunterricht hat seit der COVID-19-Pandemie an Bedeutung gewonnen und gehört in den meisten Bildungseinrichtungen seit geraumer Zeit zum Alltag.



Die grundlegenden Vorteile der Digitalisierung liegen in der Schnelligkeit und Universalität der

Informationsverbreitung. Durch kostengünstige Hard- und Software zur Digitalisierung und die immer stärkere Vernetzung über das Internet entstehen in rasantem Tempo neue Anwendungsmöglichkeiten in Wirtschaft, Verwaltung und Alltag. Wenn dadurch die Logik von Produktions- und Geschäftsmodellen, Wertschöpfungsketten, Wirtschaftsbereichen, Verwaltungsroutinen, Konsummustern oder auch das alltägliche Miteinander und die Kultur einer Gesellschaft tiefgreifend verändert werden, spricht man von digitaler Transformation. Das birgt Chancen, aber auch Risiken.

Die Digitalisierung stellt neue Anforderungen an das Rechtssystem, obwohl sich die Rechtswissenschaft erst seit wenigen Jahren mit dieser Problematik beschäftigt. Die Theorie des Fuzzy Law geht davon aus, dass sich das Recht als Ganzes in einer digitalisierten Umwelt grundlegend verändert. Die Bedeutung des Rechts als Mittel zur Steuerung der Gesellschaft wird demnach deutlich relativiert, da sich die Ansprüche der Gesellschaft zusätzlich an immateriellen Gütern orientieren, die über nationale Grenzen hinausgehen.

Dank der Fortschritte in der Digitaltechnik können immer bessere Kopien, Reproduktionen und sogar Fälschungen hergestellt werden. Urheberrechtsverletzungen und Fälschungen können zu erheblichen wirtschaftlichen Schäden führen. So wurde Anfang der 1990er Jahre in New York ein international tätiger Fälscherring aufgedeckt, der gefälschte Kunstwerke mit einem Verkaufswert von 1,8 Milliarden Dollar hergestellt hatte. In den gleichen Zeitraum fällt die Krise der Musikindustrie, die 1997 durch unautorisierte Musikdownloads aus dem Internet, die auf CD-Rohlinge gebrannt und damit ebenfalls illegal verbreitet werden können, begann. Die Zahl der CD-Rohlinge stieg in Deutschland zwischen 1999 und 2004 von 58 Millionen auf 303 Millionen, während die Zahl der bespielten Original-CDs im gleichen Zeitraum von 210 Millionen auf 146 Millionen sank.

Neue Arten von Urheberrechtsproblemen werden durch Metamedien wie Suchmaschinen aufgeworfen, die Inhalte (Texte, Bilder usw.) aus Primärmedien auswählen, sie erfassen, neu zusammenstellen und verbreiten. Eine Sammelklage gegen Google Books wurde eingereicht von

US-Verlage und Autoren, aber auch aus europäischen Ländern kommt Kritik am Verhalten des Google-Konzerns. Medien berichten von einem "schleichenden Niedergang der Buchbranche".

Ein weiteres urheberrechtliches Problem ist beim 3D-Druck zu finden: Mit der Erstellung einer 3D-Druckvorlage (meist in Form einer digitalen Vorlage oder eines CAD-Entwurfs) liegt ein Werk im Sinne des Urheberrechts vor und ist geschützt. Die Herstellung einer solchen Vorlage durch einen 3D-Druck stellt eine Vervielfältigung dar. Eine unrechtmäßige Veräußerung durch Dritte (oder ohne Zustimmung des Urhebers) kann eine Verletzung des Urheberrechts darstellen.

Die digitale Revolution hat große Fortschritte in der Wissenschaft auf einer Vielzahl von Gebieten ermöglicht:

- Erfolge bei der Genom-Entschlüsselung,
- Vorhersagen der Klimaforschung,

- komplexe Modelle in Physik und Chemie

10.
Digitalisierung

- Nanotechnologie,
- neurophysiologische Grundlagen der Sprachentwicklung und der kognitiven Funktionen,
- Wirtschaftssimulationen,
- vergleichende Studien zur Sprach- und Literaturwissenschaft.

Eigentlich hat jede wissenschaftliche Disziplin von den Entwicklungen in der Computertechnologie profitiert.

11. Bildbearbeitung

11.1. Vorhersage von Erdbeben

Wir beginnen mit einem sehr interessanten Beispiel: "Dank künstlicher Intelligenz zu verbesserter Erdbebenanalyse"[46]. Weltweit gibt es jeden Tag einige hundert Erdbeben, und jedes Jahr mehr als eine Million. Die meisten sind jedoch mit einer Stärke von 1 bis 2 auf der Richterskala so schwach, dass sie nur mit empfindlichen Instrumenten festgestellt werden können. Erst Beben der Stärke 4 verursachen spürbare Erschütterungen, und bei Stärke 5 kann es zu Schäden an Gebäuden kommen. Beben dieser Stärke ereignen sich mehr als 10.000 Mal pro Jahr. Selbst Beben der Stärke 7 ereignen sich mehr als einmal im Monat, Beben der Stärke 8 etwa einmal im Jahr. Das stärkste jemals gemessene Erdbeben war das Valdivia-Beben, das sich am 22. Mai 1960 in Chile ereignete. Es hatte eine Stärke von 9,5 und löste einen 25 Meter hohen Tsunami aus. Übrigens: Auch in Deutschland bebt die Erde fast täglich. Zwischen dem 1. Januar und dem 30. Mai 2019 wurden 114 Beben mit einer Magnitude zwischen 1 und 2,8 registriert.

Während Beben in Deutschland keine Schäden verursachen, kosten sie Menschen in vielen Ländern nicht nur ihr Eigentum, sondern auch ihr Leben. Doch nicht immer sind es die Hauptbeben, die am stärksten sind und die größten Schäden verursachen, oft sind es die eigentlich schwächeren Nachbeben, die weitaus katastrophalere Auswirkungen haben. Dabei könnten sicherlich viele Schäden gemildert und Menschenleben gerettet werden, wenn diese Beben vorhergesagt werden könnten.



Abb. 11.1 Erdbeben der Magnitude 3,6 in der Schweiz

An einem Ort, der von einem Erdbeben bedroht ist, treffen zwei Arten von seismischen

Wellen ein: Raum

Wellen und Oberflächenwellen. Die zuerst eintreffenden Wellen werden als **Primärwellen** oder P-Wellen bezeichnet. Auf sie folgen die Sekundärwellen oder S-Wellen. Beide Arten von Wellen durchlaufen den gesamten Globus und sind daher Raumwellen. Schließlich ~~kommen~~ die Oberflächenwellen, die in Rayleigh-Wellen und Love-Wellen unterteilt werden.

- P-Wellen verhalten sich im Gestein wie Schallwellen in der Luft. Sie sind jedoch viel schneller als Schallwellen, mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von etwa 5 km pro Sekunde. P-Wellen breiten sich in fester Materie als periodische Stauchung und Dehnung der Materie aus und sind wie Schallwellen sogenannte Longitudinalwellen. Die Teilchen des Gesteins schwingen in der Ausbreitungsrichtung der Welle hin und her.
- Mit etwas weniger als der halben Geschwindigkeit der P-Wellen breiten sich die S-Wellen aus. Da bei ihnen die Gesteinsbrocken in einer Ebene senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingen und eine Biege- oder Scherbewegung erfahren, werden sie Transversal- oder Scherwellen genannt. Sie ähneln den Transversalbewegungen von Lichtwellen. Weder in Flüssigkeiten noch in Gasen können sie sich ausbreiten, da dort keine Scherbewegung möglich ist.
- Einige P- und S-Wellen erreichen die Oberfläche und werden dort reflektiert. Es bilden sich Rayleigh-Wellen. Sie sind Oberflächenwellen und breiten sich entlang der Erdoberfläche aus. Für ihre Schwingungen benötigen sie eine freie Oberfläche, wie die Wellen auf dem Meer. Ihre Ausbreitung erfolgt ellipsenförmig in einer vertikalen Ebene. Sie verursachen die meisten Schäden und sind nach dem Physiker John William Rayleigh (1842-1919) benannt.
- Die Teilchenbewegung der seismischen Oberflächenwellen erfolgt auf einer horizontalen Fläche im rechten Winkel zur Bewegungsrichtung. Es findet keine vertikale Verschiebung statt. Da sie oft große Amplituden haben, d. h. ihre größten Auslenkungen sehr groß sind, verursachen sie schwere Schäden an Gebäuden durch horizontales Abscheren des Untergrunds.
- Die P-Wellen, die zuerst an einem bestimmten Punkt der Oberfläche ankommen, erreichen diesen Punkt in einem steilen Winkel und verursachen vertikale Bodenbewegungen, die jedoch keine größeren Zerstörungen verursachen. Auf sie folgen die S-Wellen mit einer relativ starken seitlichen Erschütterung des Bodens. Gleichzeitig mit ihnen oder kurz nach ihnen treffen die Love-Wellen ein. Der Boden beginnt nun stärker zu beben, und zwar im rechten Winkel zur Wellenausbreitung. Schließlich treffen die Rayleigh-Wellen ein, die Bodenbewegungen sowohl in Längsrichtung als auch in der Vertikalen erzeugen. Sie verursachen die viel beschriebene Rollbewegung des Untergrunds bei großen Erdbeben. Die Abfolge der verschiedenen Oberflächenwellen bildet den wesentlichen und verheerenden Teil eines Erdbebens. Love- und Rayleigh-Wellen dauern fünfmal länger als P- und S-Wellen. Jedes Erdbeben nimmt an Intensität ab, je weiter es sich von seinem Ausgangspunkt, dem Erdbebenherd,

11. Bildbearbeitung

entfernt. Die Reibung zwischen den sich bewegenden Gesteinspartikeln während eines Erdbebens wandelt einen Teil der Wellenenergie allmählich in Wärme um. Daher kommen Gesteinsmassen, die durch seismische Wellen in Schwingung versetzt werden, früher oder später zur Ruhe, je nachdem, wie viel Wellenenergie im Herd erzeugt wird.

Der analoge Datensatz in Abb. 11.1 muss digitalisiert werden, damit er als Bild dargestellt und entsprechend ausgewertet werden kann.

Wissenschaftler am Geophysikalischen Institut (GPI) des KIT, an der Universität Liverpool und an der Universität Granada haben gezeigt, dass künstliche Intelligenz Daten genauso genau auswerten kann wie der Mensch. Dazu verwendeten sie ein neuronales Faltungsnetzwerk und trainierten es mit einem relativ kleinen Datensatz über 411 Erdbebenereignisse in Nordchile. Das CNN ermittelte dann die Anfangszeiten unbekannter P- und S-Phasen mindestens so genau wie ein erfahrener Seismologe, der die Daten manuell auswählt; es war weitaus genauer als ein klassischer Auswahlalgorithmus.

11.2. Tumore, Alzheimer-Krankheit, Herzkrankheit

Jedes Jahr erkranken in Deutschland etwa 4.500 Menschen an einem Gliom, dem häufigsten und bösartigsten Hirntumor bei Erwachsenen. Da diese Tumorart extrem widerstandsfähig ist, sind Chemo- oder Strahlentherapie nur begrenzt wirksam, und die Tumore können auch durch eine Operation oft nicht vollständig entfernt werden. Aus diesem Grund forschen Wissenschaftler seit langem mit Hochdruck an neuen Behandlungsansätzen.

Einer der wichtigsten Faktoren bei der Beurteilung der Wirksamkeit einer neuen Therapie für Hirntumore ist die Wachstumsdynamik, die mit Hilfe von Standard-Magnetresonanztomographien (MRT) bestimmt wird. Diese Scans sind jedoch fehleranfällig und führen leicht zu abweichenden Ergebnissen, wenn die Tumorausdehnung manuell gemessen wird. "Dies kann sich negativ auf die Beurteilung des Therapieansprechens und damit auf die Reproduzierbarkeit und Präzision wissenschaftlicher Aussagen auf der Basis der Bildgebung auswirken", erklärt Martin Bendszus, Ärztlicher Direktor der Abteilung Neuroradiologie am Universitätsklinikum Heidelberg.

Ein Team des Universitätsklinikums Heidelberg (UKHD) und des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ) hat ein neues, maschinenbasiertes Verfahren zur automatisierten Bildanalyse von Hirntumoren entwickelt. Dazu haben die Wissenschaftler Algorithmen und neuronale Netze entworfen, die das Therapieansprechen von Hirntumoren auf Basis von MRT-Bildern zuverlässiger und präziser abbilden können als herkömmliche radiologische Methoden (Abb. 11.2).

Anhand einer Referenzdatenbank mit MRT-Aufnahmen von fast 500 Hirntumorkranken des Universitätsklinikums Heidelberg lernten die Algorithmen, die Hirntumore automatisch zu erkennen und zu lokalisieren. Darüber hinaus waren die Algorithmen in der Lage, die einzelnen Areale volumetrisch zu vermessen (kontrastverstärkter Tumoranteil, peritumorales Ödem) und das Ansprechen auf die Therapie präzise zu beurteilen.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts wurden in Zusammenarbeit mit der European Organisation for Research and Treatment of Cancer (EORTC) umfassend validiert. "Die Auswertung von mehr als 2.000 MRT-Untersuchungen von 534

11. Bildbearbeitung

Glioblastom-Patienten aus ganz Europa zeigt, dass unser computergestützter Ansatz eine zuverlässigere Beurteilung des Therapieansprechens ermöglicht, als dies mit der herkömmlichen Methode der manuellen Messung möglich wäre", erklärt Philipp Kickingeder von der Abteilung für Neurologie.



Abb. 11.2 Magnetresonanztomographie

Radiologie am Universitätsklinikum Heidelberg. "Wir konnten die Zuverlässigkeit der Bewertung um 36 Prozent verbessern. Dies kann für die bildgebungs-basierte Beurteilung der Therapiewirksamkeit in klinischen Studien entscheidend sein. Auch die Vorhersage des Gesamtüberlebens war mit unserer neuen Methode genauer." Hier wird ein weiteres Problem deutlich. Es ist nicht so einfach, größere Mengen an relevanten Bildern zu erhalten. Hier müssen viele Organisationen zusammenarbeiten!

Die Forscher hoffen, dass diese Technik bald in klinischen Studien und in Zukunft auch in der klinischen Routine zur standardisierten und vollautomatischen Beurteilung des Therapieansprechens von Hirntumoren eingesetzt werden kann. Zu diesem Zweck haben sie eine Software-Infrastruktur entwickelt und evaluiert, mit der das Verfahren in die bestehende radiologische Infrastruktur integriert werden kann. "Damit schaffen wir die Voraussetzungen für einen breiten Einsatz und eine vollautomatische Verarbeitung und Analyse von MRT-Untersuchungen von Hirntumoren innerhalb weniger Minuten", erklärt Klaus Maier-Hein von der Abteilung Medizinische Bildverarbeitung im Deutschen Krebsforschungszentrum.

Derzeit wird die neue Technologie am NCT Heidelberg im Rahmen einer klinischen Studie zur Verbesserung der Behandlung von Glioblastom-Patienten erneut evaluiert. "Für Präzisionstherapien ist eine standardisierte und verlässliche Bewertung der Wirksamkeit neuer Behandlungsansätze von zentraler Bedeutung. Hier kann die von uns entwickelte Technologie einen entscheidenden Beitrag leisten", erklärt Wolfgang Wick, Leiter der Neurologischen Klinik des Universitätsklinikums Heidelberg.

Philipp Kickingeder sagt, dass er und seine Kollegen mit dieser Arbeit das große Potenzial von künstlichen neuronalen Netzen in der radiologischen Diagnostik demonstrieren konnten. Klaus Maier-Hein hofft, die Technologie für die automatisierte Hochdurchsatzanalyse medizinischer Bilddaten weiter voranzutreiben und "neben der Anwendung bei Hirntumoren auch auf andere Erkrankungen wie Hirnmetastasen oder

Multiple Sklerose zu übertragen".

In der Regel wird die Mammographie zur Diagnose von Brustkrebs eingesetzt. Radiologen erkennen etwa 80 Prozent der vorhandenen Tumore - die restlichen 20 Prozent werden aus verschiedenen Gründen übersehen. Tests mit DeepMind haben gezeigt, dass auch die bisher übersehenen Tumore genau erkannt werden können. Vergleichstests haben gezeigt, dass dank DeepMind in den USA rund 9,4 Prozent mehr positive Befunde erhoben werden konnten, in Großbritannien sogar 2,7 Prozent. Auch die Zahl der Fehlalarme konnte reduziert werden. Sie sank in den USA um 5,7 Prozent und in Großbritannien um 1,2 Prozent [79].

Forscher haben eine lernfähige künstliche Intelligenz darauf trainiert, Symptome der Alzheimer-Krankheit zu erkennen. Diese Anzeichen sind in speziellen Gehirnscans sichtbar, können aber von medizinischem Fachpersonal kaum erkannt werden. In einem Pilotprojekt erwies sich die KI mit einer Trefferquote von 100 Prozent als äußerst erfolgreich [78].

Wissenschaftler des Boston Children's Hospital haben einen Katheter entwickelt, der sich selbstständig durch Blutgefäße und das Herz bewegt. Im Herzen angekommen, sucht der Roboter Katheter selbstständig nach dem zuvor von den Ärzten festgelegten Ziel. Dazu verfügt die Spitze des Katheters über taktile Sensoren und eine Miniaturkamera, die eine Orientierung ähnlich wie bei Nagetieren in der Nacht ermöglichen. Die Sensorik, die sich hauptsächlich durch Berührung durch das schlagende Herz bewegt, wird durch selbstlernende Algorithmen gesteuert.

Während der Bewegung zum Ziel berührt die Spitze des Katheters mit seinen taktilen Sensoren regelmäßig die Gefäßwände. Die so gewonnenen Daten werden von einem System mit künstlicher Intelligenz ausgewertet, das anhand des abgetasteten Gewebes erkennt, wo sich der Roboter gerade befindet. Anhand dieser Informationen wird dann die nächste Bewegung berechnet, bis das Ziel im Herzen erreicht ist. Um Verletzungen zu vermeiden, verfügt die Katheterspitze zudem über Drucksensoren, die den Anpressdruck regulieren und so ein Durchstechen der Gefäßwände vermeiden. Die ebenfalls vorhandene Kamera ermöglicht zudem die Überwachung durch den Arzt, der während des Eingriffs normalerweise nicht aktiv werden muss [79].

Laut der in der Zeitschrift Science Robotics veröffentlichten Studie waren die ersten Tierversuche mit dem chirurgischen Roboter sehr erfolgreich. Es wurden Schweine verwendet, deren Herzen dem menschlichen Organ sehr ähnlich sind. Bei den Tests musste der Katheter selbstständig von der Herzspitze durch die linke Herzkammer zu einer defekten Aortenklappe navigieren und dort eine künstliche Herzklappe implantieren. Diese Anwendungsmöglichkeit wurde gewählt, weil defekte Aortenklappen auch in der Humanmedizin ein häufiges Problem sind.

Um die Ergebnisse des Roboters vergleichen zu können, wurde die gleiche Operation parallel von Chirurgen vollständig manuell und über einen extern per Joystick gesteuerten Katheter durchgeführt.

Die Ergebnisse des Roboter Katheters zeigen ein großes Potenzial. 89 von 90 Operationen wurden erfolgreich abgeschlossen, und zwar sogar schneller als die Chirurgen, die ihren Katheter mit einem Joystick durch das Herz navigierten. Nur die Chirurgen, die die Operation vollständig manuell durchführten, waren noch schneller.

Pierre Dupont, Professor für chirurgische Verfahren an der Harvard Medical School

11. Bildbearbeitung

erklärt, dass die Ergebnisse der Experimente recht beeindruckend sind, wenn man bedenkt, dass der Roboter sich im Inneren des blutgefüllten, schlagenden Herzens bewegen und die

ein Ziel erreichen, das nur Millimeter kleiner ist.

Nach Ansicht der Studienautoren kann die transformierende autonome Navigation auch bei anderen minimalinvasiven Eingriffen eingesetzt werden, zum Beispiel in Gefäßen, Atemwegen, im Verdauungstrakt oder im Gehirn. In der Praxis könnte der Roboter das endoskopische Operationswerkzeug zum Ziel navigieren, wo Chirurgen dann die eigentliche Operation übernehmen und durchführen. Dies soll dazu beitragen, dass - ähnlich wie beim Autopiloten in einem Flugzeug - Routineaufgaben automatisiert werden, damit der Mensch genügend Energie für die wirklich schwierigen Teile des Eingriffs hat.

11.3. Erkennung von Viren

Ein DeepBreath-Algorithmus erkennt Covid-19 anhand des Atems, sogar bei Patienten ohne Symptome. Wissenschaftler der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) haben zwei künstliche Intelligenzen vorgestellt, die Covid-19 erkennen können. Laut dem von Mary-Anne Hartley geleiteten Team verwendet DeepChest dazu Ultraschallbilder der Lunge, ähnlich wie eine kürzlich vorgestellte KI, die Parkinson im Frühstadium anhand von Bildern der Netzhaut erkennen kann. DeepChest basiert auf Lungenultraschallbildern von Tausenden von Covid-19-Patienten, die am Universitätsspital Lausanne (CHUV) behandelt wurden [80].

DeepBreath hingegen erkennt Covid-19 anhand von Atemgeräuschen, die mit einem digitalen Stethoskop abgehört werden. Alain Gervaix, Kinderarzt und Infektiologe, analysiert bereits seit 2017 die Atemgeräusche seiner Patienten, um das sogenannte Pneumoscope zu entwickeln, ein intelligentes digitales Stethoskop. Die Idee dazu hatte Gervaix, weil er feststellte, dass er beim Abhören der Lunge anhand der Geräusche Asthma, Bronchitis oder Lungenentzündung erkennen konnte.

Erste Ergebnisse des DeepBreath-Algorithmus deuten darauf hin, dass Veränderungen im Lungengewebe bereits vor dem eigentlichen Ausbruch von Covid-19 auftreten. Dies würde insbesondere bei der Identifizierung von Personen mit asymptomatischer Covid-19-Infektion helfen, die ebenfalls ansteckend ist. Studien zeigen, dass bis zu 80 Prozent der SARS-CoV-2-Infektionen asymptomatisch verlaufen. Hartley: "Die Wissenschaftler wollen robuste und vertrauenswürdige Instrumente schaffen, die auch nach der Pandemie noch nützlich sein werden. Die einsatzbereite DeepBreath-Anwendung soll bis Ende des Jahres verfügbar sein.

11.4. Medizinische Anwendungen

Künstliche Intelligenz hält auch im Bereich der Medizin zunehmend Einzug. Sie soll den Arzt bei Diagnose und Therapie zum Wohle des Patienten unterstützen, ohne ihn aus den Augen zu verlieren. Bei der Koloskopie mit KI-Unterstützung ändert sich für den Patienten nichts. Wie bisher wird das flexible Koloskop nach der Darmreinigung in den Darm eingeführt. Die Bilder aus dem Inneren des Darms werden auf einen Monitor ausgegeben und vom Arzt auf Veränderungen untersucht. Allerdings ist die

Software, die einfach

per Knopfdruck eingeschaltet, erkennt zusätzlich problematische Stellen. Auf diese Weise können bis zu 15 Prozent der vom Arzt nicht bemerkten Veränderungen weiter untersucht und im Zweifelsfall entfernt werden. Es gibt aber auch schon Systeme, die ohne Koloskop auskommen und einen kleinen Roboter mit Kamera und chirurgischen Werkzeugen im sauberen Darm bewegen [128].



Abb. 11.3 Innere Organe des Menschen

Abb. 11.3 zeigt die Anwendung dieses Ansatzes - das Bild stammt aus der "Neuen Zürcher Zeitung". Ein wichtiges Merkmal der Bildverarbeitung durch Computerprogramme ist, dass die Bilder stark vergrößert werden können; sie können die Größe eines Mikroskops erreichen.

Die Kombination aus 3D-Druck und Bildverarbeitung wurde jetzt auf die Herstellung von Kunstherzen ausgedehnt. Wissenschaftler der Universität Tel Aviv haben in der Fachzeitschrift *Advanced Science* einen Prototyp eines Kunstherzens vorgestellt. Das Herz aus dem 3D-Drucker besteht aus menschlichem Gewebe, allerdings können sich die Zellen derzeit noch nicht synchron zusammenziehen. Das Organ hat die Größe eines Kaninchenherzens und weist ansonsten alle Eigenschaften eines menschlichen Herzens auf und verfügt bereits über einzelne Kammern. Es ist das erste vollständige Herz, das die Wissenschaftler aus menschlichem Gewebe in 3D drucken konnten. In Zukunft könnten auf diese Weise hergestellte Organe Menschen helfen, die derzeit auf schwer **z u g ä n g l i c h e** Spenderorgane warten müssen.

Laut Tal Dvir, Biotechnologe und Leiter der Studie, ist das Herz derzeit mit dem Herz eines menschlichen Fötus vergleichbar. Neben der besseren Verfügbarkeit hat das Kunstherz auch den Vorteil, dass es vollständig mit dem Empfänger kompatibel ist. Bei Spenderorganen wird das Organ in vielen Fällen vom Körper abgestoßen und die Funktion des Immunsystems des Empfängers muss unterdrückt werden. Da das Kunstherz aus Fettzellen des zukünftigen Empfängers hergestellt wird, ist eine vollständige Biokompatibilität gewährleistet.

Im Rahmen der Studie entnahmen die Wissenschaftler Fettgewebe aus dem Bauch

11. Bildbearbeitung

eines Patienten und trennten anschließend die zellulären und azellulären Bestandteile. Die Fettzellen wurden dann in pluripotente Stammzellen umprogrammiert, die verschiedene Arten somatischer Zellen enthalten,

einschließlich Herzzellen. Aus dem azellulären Material, wie Glykoproteinen und Kollagen, stellten die Wissenschaftler ein Hydrogel her, das als Stützgewebe für das Kunstherz diente. Aus den Endothel- und Herzmuskelzellen und dem Hydrogel stellten die Wissenschaftler dann eine Biotinte her, aus der der 3D-Drucker Gewebepflaster (Herzpflaster) erzeugte. Diese Gewebepflaster wurden in der Vergangenheit nach Herzinfarkten eingesetzt, um abgestorbene Bereiche des menschlichen Herzens mit neuen Zellen zu versorgen. Jetzt wurden die Patches erstmals in einem erfolgreich zur Schaffung eines komplett neuen Organs eingesetzt.

Laut Dvir ist es "prinzipiell möglich, die Technologie zu nutzen, um auch für Menschen ein größeres Herz herzustellen. Bis Herzen aus dem 3D-Drucker kranken Menschen helfen können, sind jedoch noch mehrere Jahre Forschung nötig. Das derzeit hergestellte Herz sieht bereits wie ein natürliches Herz aus, aber seine Funktion ist noch nicht vollständig.

Im Prinzip zieht sich der künstliche Herzmuskel bereits zusammen, aber die zum Pumpen notwendige Koordination zwischen den einzelnen Herzkammern funktioniert nicht. Sollten die Wissenschaftler dieses Problem lösen, könnten die Herzen aus dem 3D-Drucker auch in der Praxis eingesetzt werden. Die israelischen Wissenschaftler rechnen damit, dass Tierversuche mit Kaninchen und Ratten innerhalb eines Jahres stattfinden können. Klinische Versuche mit Menschen sind erst in einigen Jahren zu erwarten. Derzeit sind Herzkrankheiten eine der häufigsten Todesursachen weltweit und können aufgrund des Mangels an Spenderorganen oft nicht behandelt werden, selbst wenn sie entdeckt werden.

Forscher am Massachusetts Institute of Technology (MIT) haben mithilfe künstlicher Intelligenz ein ganz besonderes Antibiotikum entdeckt, das im Gegensatz zu den meisten Antibiotika keine herkömmliche Variante eines bereits bekannten Medikaments ist. Die Forscher nannten das hochwirksame Antibiotikum Halicin. Der Name ist von dem Computer HAL 9000 aus dem Kultfilm 2001 [82] abgeleitet.

Das Antibiotikum tötet Bakterien ab, indem es ihre Fähigkeit zur Aufrechterhaltung eines elektrochemischen Potenzials einschränkt, das zur Herstellung von Molekülen für die Energiespeicherung verwendet wird. Die Ergebnisse der Tests mit dem entwickelten Mittel sind erstaunlich. So haben E. Coli-Bakterien auch nach 30 Tagen keine Resistenz gegen das neue Antibiotikum entwickelt. Zum Vergleich: Bei dem herkömmlichen Antibiotikum Ciprofloxacin hatten sich die Bakterien bereits nach drei Tagen an das Mittel angepasst.

Die Algorithmen sind in der Lage, Molekülstrukturen mit gewünschten Eigenschaften zu finden, wie in diesem Fall die Abtötung von Bakterien. Die neuronalen Netze des Systems lernen automatisch die Darstellungen der Moleküle und ordnen sie in bestimmte Bereiche ein, was eine sehr genaue Vorhersage des Verhaltens ermöglicht.

Anschließend trainierten die Forscher das System mit 2.500 Molekülen, von denen 1.700 denen von bereits bekannten Medikamenten und die restlichen 800 den Naturstoffen entsprachen. Auf dieser Grundlage entwickelte der Computer eine Bibliothek mit rund 6.000 möglichen Kombinationen, darunter das neu entdeckte Antibiotikum Halicin, das sich im Test tatsächlich als hochwirksam und effizient

erwies.

Die Erfahrung zeigt, dass es noch einige Zeit dauern wird, bis das neue Antibiotikum in der Humanmedizin eingesetzt werden kann. Bei Mäusen hat Halicin jedoch bereits bewiesen, dass es problemlos einen problematischen Bakterienstamm bekämpfen kann, mit dem sich US-Soldaten im Nahen Osten häufig infizieren.

Die Forscher sind sehr zuversichtlich, dass das neue System einen sehr positiven Einfluss auf die künftige Arzneimittelentwicklung haben wird. Um das Potenzial des Systems zu testen, fütterten die Forscher das neuronale Netz mit einer Datenbank von mehr als 100 Millionen Molekülen. Nach nur kurzer Zeit schlug das Programm bereits 23 potenziell hochwirksame neue Medikamente vor. In Zukunft soll das System aber nicht nur völlig neue Medikamente entwickeln, sondern auch bestehende Medikamente so verändern, dass sie weniger Nebenwirkungen haben und eine höhere Wirksamkeit aufweisen.

Ein neues Rechenmodell sagt den Leistungsabfall von Sportlern bis ins hohe Alter genau voraus. Eine Forschergruppe um Bergita Ganse, Stiftungsprofessorin für innovative Implantatentwicklung an der Universität des Saarlandes, hat ein Rechenmodell entwickelt, um den körperlichen Abbau von Menschen im Alter zu bestimmen. "Wir haben uns gefragt, ob es uns gelingen kann, die Leistungsfähigkeit eines Sportlers bis ins hohe Alter anhand einer einzigen Messung vorherzusagen", erklärt Ganse.

Laut der Veröffentlichung in der Fachzeitschrift *Geroscience* trainierten die Wissenschaftler dazu ein Programm mit den Daten von fast 5.000 schwedischen Leichtathleten, deren Leistungen zwischen 1901 und 2021 in der schwedischen Veteranen-Leichtathletik-Datenbank dokumentiert wurden. Insgesamt konnten die Wissenschaftler 21.000 Datenpunkte für ihre Studie nutzen. Im Durchschnitt gab es von jedem Athleten vier Messdatenpunkte. Berücksichtigt wurden nur die Laufdisziplinen, da sich bei anderen Disziplinen wie Speer- oder Diskuswurf das Gewicht der Wurfgeräte je nach Alter der Athleten ändert. Dies erschwert die Vergleichbarkeit und würde eine Vorhersage des Leistungsabfalls mit dem Alter ungenauer machen. "Läufer hingegen laufen 100, 200, 800 Meter, egal ob sie 23, 40 oder 70 Jahre alt sind" [83].

Wie Ganse erläutert, ist es den Wissenschaftlern als zentrales Ergebnis der Studie gelungen, ein Modell zu entwickeln, das den Leistungsabfall von Sportlern bis ins hohe Alter mit hoher Genauigkeit vorhersagt. Die erreichte Genauigkeit ist deutlich höher als bei älteren Modellen, die in den meisten Fällen von einem linearen Leistungsabfall ausgehen. "Wir waren überrascht, dass sehr starke und junge Athleten den größten relativen Leistungsabfall aufwiesen, was auch für ältere Athleten mit geringerer Ausgangsleistung galt. Die geringste Rate des Leistungsabfalls fanden wir bei leistungsstarken Sportlern mit hohem Ausgangsalter. Außerdem zeigt die Studie, dass man auch in höherem Alter noch mit dem Training beginnen sollte. Personen, die im fortgeschrittenen Alter eine gute Zeit in ihrer Disziplin liefen, erbrachten mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in noch höherem Alter deutlich bessere Leistungen als ihr Altersdurchschnitt.

Die Bildverarbeitung hat derzeit die vielleicht größte Bedeutung für das tägliche Leben, für die Medizin, für den Einsatz von Robotern und vieles mehr. Es gibt exzellente Lehrbücher, Softwarepakete, Gerätesysteme und die Möglichkeit einer umfassenden und soliden Weiterbildung.



Abb. 11.4 Straßenverkehrskontrolle

11.5. Weitere Anwendungen

In vielen Städten und Ländern werden wichtige Straßen und Plätze mit Kameras gesichert. Mit Hilfe eines Lernprogramms kann die Steuerung von Ampeln so angepasst werden, dass die Wartezeit der Fahrzeuge verkürzt wird, was die Abgasmenge zum Teil erheblich reduziert. Auch Staus können auf diese Weise vermieden oder reduziert werden (Abb. 11.4).

Singapur macht seinem Ruf als extrem saubere Stadt alle Ehre. Selbst skeptische Naturen werden auf den Straßen oder in den U-Bahnen keinen Müll oder Zigarettensammel finden, nicht einmal in öffentlichen Toiletten. Der Grund dafür ist die rigorose Politik, die der Stadtstaat in Sachen Sauberkeit seit Jahren konsequent verfolgt: Verstöße gegen Vorschriften, die das achtlose Wegwerfen von Zigarettenskippen oder Müll in der Öffentlichkeit unter Strafe stellen, werden mit drakonischen Geldstrafen geahndet. Das Prinzip ist wirksam: Wer Müll auf die Straße wirft, zahlt 1.000 Singapur-Dollar. Ausländer müssen das Land am nächsten Tag verlassen.

- Dank des erreichten Niveaus in der Bildverarbeitung kann blinden Menschen sehr geholfen werden. Sie können mit einer Kamera ausgestattet werden, die die gesamte Umgebung erfasst. Sie erkennt, wenn Straßen überquert werden können oder wenn Hindernisse auf dem Weg auftauchen. Sie führt ihren Träger sicher zum Einstieg in einen Bus oder eine Straßenbahn. Darüber hinaus ist die Kamera mit einem Navigationssystem ausgestattet, das sonst in Autos verwendet wird. Auf diese Weise kann die behinderte Person ihr Ziel relativ leicht erreichen. Ihr Leben ist beschwerlich, aber relativ sicher. Einige solcher Systeme reagieren sogar auf akustische Eingaben.
- Ein modernes Auto verfügt heute über eine größere Anzahl von Kameras und Mikroprozessoren. Beim autonomen Fahren ist diese Ausrüstung vollständig für das sichere Fahren verantwortlich. Insbesondere erkennt es alle Verkehrsschilder

11. Bildbearbeitung

und befolgt sie. Die gleiche Ausrüstung kann auch in ein normales Fahrzeug eingebaut werden. Der Fahrer denkt, er bestimme seine

Die Einhaltung der Gebots- und Verbotsschilder wird jedoch durch das bestehende Computersystem durchgesetzt.

11.6. Die Grundlagen der Bildverarbeitung

Man kann immer von einer Rastergrafik ausgehen; das ist ein Bild, das bereits in digitaler Form vorliegt. Die einzelnen Farbwerte der Rastergrafik werden als **Pixel** bezeichnet, ebenso wie die zur Erfassung oder Darstellung eines Farbwertes notwendigen Flächenelemente bei einem Bildsensor oder einem Bildschirm mit Rasteransteuerung (Abb. 11.5).[13]



Abb. 11.5 Ein typisches Pixelbild

Jedes Pixel ist durch seine Form, seine Koordinaten und seinen Farbwert gekennzeichnet. Die Kodierung der im Pixel verwendeten Farbe wird u. a. durch den Farbraum und die Farbtiefe definiert. Der einfachste Fall ist ein **binäres Bild**, bei dem ein Pixel einen Schwarz- und einen Weißwert speichert. Die Bildschirmauflösung gibt an, aus wie vielen Pixeln sich die Bilddarstellung zusammensetzt. Je größer die **Auflösung** ist, desto mehr Details sind auf dem Bildschirm zu sehen oder desto mehr Platz steht für die Darstellung von Objekten zur Verfügung.

Die Auflösung wird in verschiedenen Bezeichnungen, Werten und Einheiten angegeben. Für eine Digitalkamera werden zum Beispiel 12 Megapixel verwendet. Das ist das Produkt aus den Seitenlängen (**Breite x Höhe**), zum Beispiel 4.256 x 2.848 Pixel. Für die Bildschirmauflösung ist jedoch nicht das Produkt interessant, sondern die Anzahl der Pixel pro Seitenlänge. Da

Wir bevorzugen Widescreen-Displays, d. h. unsere Bildschirme sind breiter als sie hoch sind. Bekannte Bildschirmauflösungen sind VGA (640 x 480), Super VGA (800 x 600) und Full HD (1.920 x 1.080).

Sowohl die Pixeldichte (und damit die lokale Abtastrate) als auch die Größe der im Pixel gespeicherten Informationen (Farbtiefe, Farbkanäle, Position, Form) sind in der Praxis begrenzt, weshalb ein Pixel nur eine Annäherung an die Realität darstellen kann.

Die Pixel eines Bildsensors oder einer Anzeige bestehen in der Regel aus Flächen mit je einer Grundfarbe (rot, grün und blau). Bei Flüssigkristallanzeigen (LCD) wird jedes sichtbare Bildelement durch einen Farbwert gesteuert. Die Bereiche, die für die Grundfarben des Pixels (Subpixel) zuständig sind, sind oft nebeneinander angeordnet. Die im Vergleich zum Pixel feinere Subpixelstruktur kann bei der Rasterung (Subpixel-Rendering) zur Erhöhung der horizontalen Auflösung genutzt werden. Darüber hinaus sind auch dreieckige, unregelmäßig große, abwechselnd angeordnete oder zusätzliche weiße Subpixel möglich.

Die physische Größe eines Pixels hängt vom jeweiligen Gerät ab. Die Pixeldichte eines Bildschirms oder Scanners wird in Pixel pro Zoll (ppi) oder Punkte pro Zoll (dpi) angegeben. Handelsübliche Computerbildschirme erreichen eine Pixeldichte von etwa 100 ppi, was 0,3 Millimetern pro Pixel entspricht. Bei Fernsehgeräten ist die Pixeldichte in der Regel geringer und bei neueren Smartphones um ein Vielfaches höher, während die Sensoren von Scannern und Digitalkameras mehrere tausend ppi erreichen können. Die maximale Anzahl von Pixeln, die in Bildsensoren verwendet werden können, wird oft in Megapixeln angegeben, aber dies bezieht sich normalerweise nur auf die Farbpunkte eines Bayer-Sensors und nicht auf die Pixel. Das Seitenverhältnis eines Pixels auf dem Bildschirm (Pixel-Seitenverhältnis) muss nicht unbedingt 1:1 sein; die meisten Videonormen schreiben unregelmäßige Pixel-Seitenverhältnisse vor. Die Pixelgröße sowie der Pixelabstand im Verhältnis zur Bildauflösung haben einen entscheidenden Einfluss auf die Lesbarkeit und Erkennbarkeit von Texten und Grafiken auf Computermonitoren und Fernsehgeräten.



11.7. Die Verarbeitung von Bildern

Nach dem Scannen eines Bildes liegt eine digitale Form des Bildes vor, die mit Hilfe geeigneter Software weiterverarbeitet werden kann. Scanner sind meist mit einem Drucker integriert. Ihre Qualität ist so gut, dass viele Behörden gescannte Dokumente akzeptieren. Wir erinnern uns an die Darstellung (rot, grün, blau) durch drei Bytes. Ihr Inhalt liegt zwischen (0,0,0) und (256,256,256). (0,0,0) ergibt Schwarz, (256,256,256) entspricht Weiß.

Wenn die Byte-Inhalte gleich sind, ergeben sich unterschiedliche Graustufen. (127,127,127) liegt in der Mitte zwischen ganz schwarz und ganz weiß.

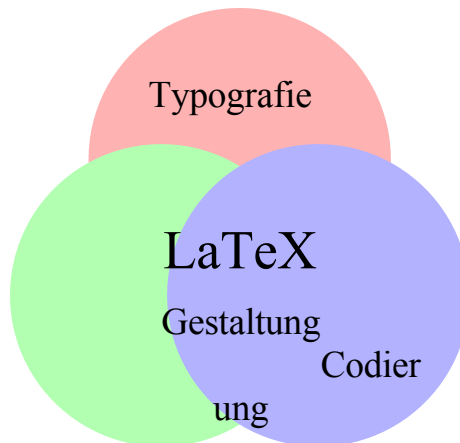


Abb. 11.7 Die Verwendung von Farben mit dem Wert 30

In Abb. 11.7 wurden Rot (oberer Kreis), Grün (linker Kreis) und Blau (rechter Kreis) jeweils mit dem Wert 30 verwendet. Durch die Überlagerung der verschiedenen Farben ergeben sich bereits recht unterschiedliche Farbniveaus. Abb. 11.6 konzentriert sich auf Weiß und Schwarz. Diese Bilder benötigen weniger Speicherplatz.

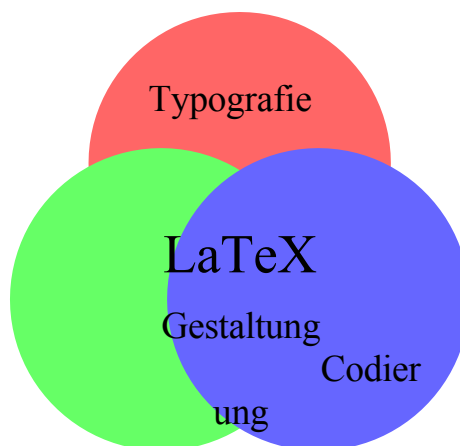


Abb. 11.8 Die Verwendung von Farben mit dem Wert 60

In Abb. 11.8 wurden Rot, Grün und Blau jeweils mit dem Wert 60 verwendet.

In Abb. 11.9 werden die drei Farben mit dem Wert 90 verwendet. Bei diesem Wert treten keine Schattierungen auf, die jeweiligen Farben sind deutlich. Sie können sehen, dass der Kontrast der einzelnen Farben zunimmt.

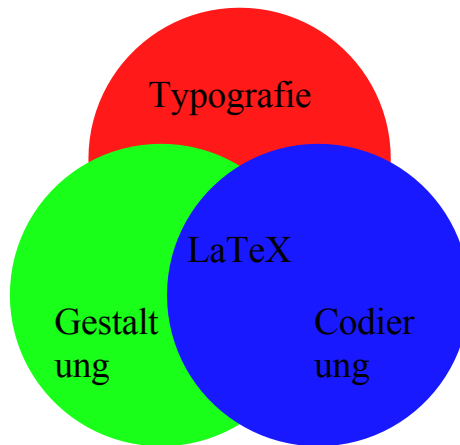


Abb. 11.9 Die Verwendung von Farben mit dem Wert 90

Das in [13] verwendete Programm PixelMath und jedes ähnliche Programm erlaubt verschiedene Operationen. Man kann ein Pixel mit den Bildschirmkoordinaten (x,y) vergrößern oder verkleinern. Zum Beispiel ersetzt man die Werte (x,y) durch $(2 - x, 2 - y)$, um das Bild zu vergrößern, oder man verwendet $(x/2,y/2)$, um das Bild zu verkleinern. Sie können dies auch für die einzelnen Werte tun, also

ersetzen Sie (x, y) durch $(x/2, y)$ und so weiter. Sie können zum Beispiel eine Bildergalerie erstellen, in der alle Bilder die gleiche Größe haben. Aber Sie müssen bedenken, dass die Zahl

Die Anzahl der Pixel nimmt nicht zu, nur der Abstand zwischen ihnen wird kleiner oder größer. Dies kann natürlich zu Effekten führen, die die Bildqualität verändern.

Da ein kartesisches Koordinatensystem vorhanden ist, kann man alle Transformationen durchführen, die sich durch Formeln der analytischen Geometrie ausdrücken lassen. Man kann auch Polarkoordinaten verwenden, da kann man sehr schön Effekte ausdrücken, die kreisförmig von einem Punkt ausgehen. Als Beispiel sehen wir uns die Fischaugenprojektion an.

Verwendet man Kugelkoordinaten, so ist jeder Punkt im Raum durch (r, φ, θ) bestimmt. Der sphärische Radius r hat theoretisch keinen Einfluss auf die Abbildungsfunktion. Somit,

können alle Objekte auf genau eine Entfernung skaliert werden, und es entsteht eine Umgebungskugel. Für den Radius der Umgebungskugel wählt man die Brennweite des

Objektivs ($r = f$). Bei kartesischen Koordinaten liegt die Bildebene bei $z = f$ und berührt die Umgebungskugel am Pol ($\theta = 0$). Die Lage eines

Bildausschnitts wird durch (r, ϕ) beschrieben. Indieser geometrischen Anordnung lassen sich die Abbildungsfunktionen gut darstellen und in der Regel konstruieren.

Die Objektkoordinaten φ (Azimut) und θ (Polarwinkel) werden auf die Bildkoordinaten übertragen

ϕ (Azimut) und r (Radius).

Das Prinzip ist dasselbe wie bei dem azimutalen Kartennetz der Erde. Dort ist $\phi = \varphi$ gültig ist. Im Gegensatz zur Erdkugel wird die umgebende Sphäre jedoch als von innen. Die Vorderseite der Bildebene zeigt dann die Umgebung als Spiegelbild.

11. Bildbearbeitung

Für die hier geforderte Rückwärtssicht sind die Bildkoordinaten (polar und 2D kartesisch) unterschiedlich orientiert, so dass die Azimut-0°-Richtung und der Azimut-Orbit-Sinn zwischen der Umgebung und dem Bild unterschiedlich sein können. Azimutale Winkelabstände werden unverändert abgebildet, und Abbildungsfunktion und Azimut beeinflussen sich nicht gegenseitig. Daher

eine azimutale Abbildung vorhanden ist.

Die Abbildungsfunktion \mathbf{g} beschreibt, wie ein Objekt im Polarwinkel θ auf dem um den Radius r aus dem Zentrum verschobenen Bild erscheint. Das Objektiv hat die (zentrale) Brennweite f . Mit $f = 1$ wird \mathbf{g} zur normierten Abbildungsfunktion \mathbf{h} .

$$r = \mathbf{g}(\theta, f) = f - \mathbf{h}(\theta). \quad (11.1)$$

Seitliche Objekte erscheinen auf dem Bild im Vergleich zur zentralen Position in einer anderen Größe, die sich meist auch meridional und sagittal unterscheidet.

$$\text{meridionale Skalierung: } S_M = \frac{d\mathbf{h}}{d\theta} \quad (11.2)$$

$$\text{sagittale Skalierung: } S_S = \frac{\mathbf{h}(\theta)}{\sin(\theta)}. \quad (11.3)$$

θ

Daraus ergeben sich die Raumwinkelskalierung S_Ω , die lineare (effektive) Skalierung S und die Verformung D abgeleitet werden können:

$$S_\Omega = \sqrt{S_M \cdot S_S} \quad (11.4)$$

$$S = \frac{S_M}{S_\Omega} \quad (11.5)$$

$$D = \frac{S_M}{S_\Omega}. \quad (11.6)$$

Die Fischaugen-Transformation wird durch das folgende Gleichungssystem definiert:

$$\text{eckig wahr: } r = 2 - f - \tan \frac{\theta}{2} \quad (11.7)$$

$$\text{äquidistant: } r = f - \theta \quad (11.8)$$

$$\text{flächentreu: } r = 2 - f - \sin \frac{\theta}{2} \quad (11.9)$$

$$\text{orthographisch: } r = f - \sin(\theta). \quad (11.10)$$

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, die verwendeten Parameter und Winkelfunktionen zu ändern, wodurch eine Vielzahl interessanter Projektionen für viele verschiedene Anwendungen entsteht.

- Wissenschaftler und Ressourcenmanager (z. B. Biologen, Förster, Geographen und Meteorologen) verwenden Fischaugenobjektive, um einen halbkugelförmigen Bereich der Pflanzenvegetation in der Ökophysiologie abzubilden oder um die potenzielle kurzwellige Bestrahlungsstärke aus der Horizonthöhe (Sky-View-Faktor) und die daraus zu entnehmende langwellige

Bestrahlungsstärke vorherzusagen. Aus der Analyse dieser Bilder lassen sich relevante Strukturparameter von Baumkronen wie Blattflächenindex (LAI), Blattwinkelverteilung und bodennahe Lichtverfügbarkeit ableiten.

- Fischaugen-Objektive helfen auch bei der Beurteilung des Gesundheitszustands von Wäldern, beim Aufspüren von Überwinterungsplätzen für Monarchfalter und bei der Bewirtschaftung von Weinbergen.
- In der Topoklimatologie lassen sich anhand der Horizonthöhe von Bodensenken Rückschlüsse auf die Entstehung von Tiefenfrösten bei Inversionswetterlagen ziehen sowie Aussagen über die Ursachen von Kaltluftsee-Phänomenen treffen.
- Anhand von Daten zu den Parametern der Himmelssichtfaktoren, die aus georeferenzierten Fischaugenbildern gewonnen werden, werden meteorologische Korrelationen der Strahlungsbilanz städtischer Wärmeinseln in der Stadtklimatologie untersucht.
- Meteorologen bestimmen die Bewölkung (Grad der Bedeckung des Himmels).
- Astronomen nehmen einen großen Teil des Himmels auf, um Sternbilder, die Milchstraße, Meteore, Polarlichter und Lichtverschmutzung zu erfassen.
- Viele Planetarien verwenden Fisheye-Projektionslinsen, um den Nachthimmel oder andere digitale Inhalte auf das Innere einer Kuppel zu projizieren.
- Überwachungskameras mit Fisheye-Objektiven können einen ganzen Raum auf einmal erfassen. Im Gegensatz zu schwenkbaren Kameras gibt es keine unterbrochene Totzone und keinen anfälligen Antrieb.
- Video-Türsprechanlagen mit extra weitem Blickwinkel (Türspionfunktion).
- Im IMAX-Kuppelsystem (früher "OMNIMAX") erfolgt die Filmaufnahme durch ein kreisförmiges Fischaugenobjektiv, und die Projektion des Kinofilms erfolgt durch eine ähnliche Optik auf eine halbkugelförmige Leinwand.
- Fotografen und Videofilmer verwenden Fischaugenobjektive, um die Kamera bei Action-Aufnahmen so nah wie möglich an den entscheidenden Punkt heranzuführen und gleichzeitig den Gesamtkontext einzufangen. Beim Skateboarden zum Beispiel liegt der Fokus auf dem Brett, und der Skater ist immer noch im Bild.
- Das erste Musikvideo, das vollständig mit einem Fisheye-Objektiv gedreht wurde, war der Song "Shake Your Rump" von den Beastie Boys im Jahr 1989.
- Flugsimulatoren und visuelle Kampfsimulatoren verwenden Fischaugen-Projektionslinsen, um eine nahtlose Umgebung zu schaffen, in der Piloten, Fluglotsen oder militärisches Personal trainieren können.
- In der Computergrafik können kreisförmige Fisheyes verwendet werden, um eine Umgebungsabbildung der physischen Welt zu erstellen. Ein vollständiges 180-Grad-Fisheye-Bild kann mit einem geeigneten Algorithmus die Hälfte einer

11. Bildbearbeitung

kubischen Umgebungskarte ausfüllen. Umgebungskarten können verwendet werden, um 3D-Objekte in virtuellen Panoramen darzustellen.

Viele Bildtransformationen werden in der Malerei verwendet, zum Beispiel die Zylinderanamorphose. Ein auf diese Weise transformiertes Bild sieht normal aus, wenn es in einem zylindrischen Spiegel reflektiert wird. Ein berühmtes Beispiel ist Holbeins Gemälde "Die Gesandten" (Abb. 11.10).



Abb. 11.10 Diagonal darunter befindet sich ein anamorphotisches Bild des stehenden Mannes

- Im 17. Jahrhundert kam es zu einer Wiederbelebung der fantastischen anamorphotischen Bildsprache. Magische und religiöse Konnotationen wurden weitgehend aufgegeben, und die Bilder wurden als wissenschaftliche Kuriositäten verstanden. Zwei wichtige Werke über die Perspektive wurden veröffentlicht: *Perspective* (1612) von Salomon de Caus und *Curious Perspective* (1638) von Jean-Francois Nicéron. Beide enthielten umfangreiche wissenschaftliche und praktische Informationen über anamorphe Bilder. In Nicérons Werk werden drei Arten von großflächigen Anamorphosen erklärt: optische (horizontale Ansicht), anoptische (Blick nach oben) und katoptische (Blick nach unten, z. B. von einem Zwischengeschoss). Auch eine konische Perspektive wird beschrieben. Gegen Ende des Jahrhunderts wurden die Techniken zur Erzeugung anamorpher Bilder durch Charles Ozanams *Mathematische Rekreationen* weithin bekannt.

Zwischen 1669 und 1685 wurden sowohl die Perspektive als auch die Spiegelanamorphose von den Jesuiten bei Kaiser K'ang-hi und den Mönchen

11. Bildbearbeitung

der Peking-Mission in China eingeführt. Die chinesische Produktion anamorpher Bilder fand jedoch bereits während der späten Ming-Dynastie in großem Umfang statt. Anders als das Rasterbild

System, das im Westen verwendet wurde, wurden die Bilder in der Regel freihändig erstellt. Da sich die chinesischen Anamorphosen in erster Linie auf erotische Themen konzentrierten, ist ein jesuitischer Einfluss unwahrscheinlich. Es gilt als wahrscheinlich, dass die chinesischen katoptischen Techniken, die technisch nichts mit der geometrischen Anamorphose zu tun haben, die europäische Spiegelanamorphose beeinflusst haben und nicht umgekehrt.

Barocke Wandmalereien nutzten häufig den Anamorphismus, um tatsächliche architektonische Elemente mit illusorischen gemalten Elementen zu kombinieren und so einen nahtlosen Effekt zu erzielen, wenn man sie von einem bestimmten Ort aus betrachtet. Die Kuppel und das Gewölbe der Kirche St. Ignatius in Rom, gemalt von Andrea Pozzo, stellten den Höhepunkt der Illusion dar. Da sich benachbarte Mönche über Lichtverschmutzung beschwerten, wurde Pozzo beauftragt, die Decke so zu bemalen, dass sie wie das Innere einer Kuppel aussah, anstatt wie eine echte Kuppel. Da die Decke flach ist, gibt es nur eine Stelle, an der die Illusion perfekt ist und eine Kuppel unverzerrt aussieht.

- Im 18. und 19. Jahrhundert hielt der Anamorphismus Einzug in den Bereich der Unterhaltung und des Zeitvertreibe und erlebte die größte Verbreitung der Technik. Im 19. Jahrhundert erwachte das Interesse am Anamorphismus für architektonische Illusionen wieder, und auch klassische Themen kamen in Mode. Nachdrucke von Stichen aus der Renaissance wurden populär, ebenso wie politische, obszöne und populäre Themen. In Edgar Allan Poes Kurzgeschichte "Ligeia" wird ein Raum beschrieben, der mit "einfachen Monstrositäten" gefüllt ist, die sich auf "eine endlose Abfolge von ... grässlichen Formen" reduzieren, während der Erzähler durch den Raum geht. Diese massenhafte Popularisierung sollte sich später auch auf die Surrealisten auswirken (Abb. 11.11).
- Im zwanzigsten Jahrhundert wollten einige Künstler die Technik der Anamorphose aus ästhetischen und konzeptionellen Gründen erneuern. Während des Ersten Weltkriegs verwendete Arthur Mole, ein amerikanischer Werbefotograf, anamorphotische Techniken, um patriotische Bilder von riesigen, versammelten Gruppen von Soldaten und Reservisten zu schaffen. Von einem Turm an ihrer Basis aus betrachtet, lösten sich die versammelten Menschen in erkennbare Bilder auf.

Der surrealistische Künstler Salvador Dalí setzte in seinen Gemälden und Werken extreme Verkürzungen und Anamorphosen ein. Ein Glasboden in einem Raum neben seinem Atelier ermöglichte radikale perspektivische Studien von oben und unten. Im Dalí Theater und Museum gibt es eine dreidimensionale anamorphotische Wohnzimmerinstallation, Mae West Lips Sofa (Abb. 11.12), die aus einem bestimmten Blickwinkel wie das Gesicht des Filmstars aussieht.

- Im zwanzigsten Jahrhundert begannen Künstler mit der Perspektive zu spielen, indem sie *unmögliche Objekte* zeichneten. Zu diesen Objekten gehörten

11. Bildbearbeitung

Treppen, die immer nach oben führen, oder Würfel, bei denen die Rückseite auf die Vorderseite trifft. Derartige Werke wurden von dem Künstler M.

C. Escher und dem Mathematiker Roger Penrose. Obwohl sie als unmögliche Objekte bezeichnet werden, können solche Objekte wie der Necker-Würfel und das Penrose-Dreieck



Abb. 11.11 Monstrositäten

durch anamorphotische Illusion in 3-D modelliert werden. Aus einem bestimmten Blickwinkel betrachtet, erscheinen solche Skulpturen als sogenannte unmögliche Objekte (Abb. 11.13).

- Der Ames-Raum wurde 1946 von dem amerikanischen Wissenschaftler Adelbert Ames Jr. erfunden. Wenn man ihn durch ein Guckloch betrachtet, scheint der Raum eine normale Perspektive zu haben. Aus allen anderen Blickwinkeln kann man jedoch erkennen, dass der Raum aus unregelmäßigen Trapezen besteht. Ähnliche Effekte wurden bereits in der Renaissance durch die Verwendung der beschleunigten Perspektive im Bühnenbild erzielt. Dazu gehören Inszenierungen von Scamozzi (1588-1589), Furtenbach (1625), Sabbattini (1637) und Troili (1672).

Einer der interessantesten Effekte eines Ames-Raums besteht darin, dass die verzerrte Perspektive Personen und Gegenstände viel größer oder kleiner erscheinen lässt, als sie tatsächlich sind. Aus diesem Grund werden Ames-Räume im Kino häufig für praktische Spezialeffekte verwendet. Ein bekanntes Beispiel sind die Häuser im Auenland in den Filmen *Der Herr der Ringe* und *Der Hobbit*. Durch die Verwendung der erzwungenen Perspektive erschien die Figur des Gandalf viel größer als die Figuren von Frodo und Bilbo, ohne dass digitale Effekte eingesetzt wurden (Abb. ??).

- Cinemascope, Panavision, Technirama und andere Breitbildformate nutzen die Anamorphose, um ein breiteres Bild aus einem schmalen Filmrahmen zu

11. Bildbearbeitung

projizieren. Das Unternehmen IMAX verwendet noch extremere anamorphotische Transformationen, um bewegte Bilder zu projizieren.



Abb. 11.12 Mae West Lips Sofa

Das Omnimax- oder IMAX-Dome-Verfahren überträgt Bilder von einem flachen Filmbild auf die Innenseite einer halbkugelförmigen Kuppel.

Die Technik der anamorphotischen Projektion kommt häufig bei Texten zum Einsatz, die in einem sehr flachen Winkel auf die Fahrbahn geschrieben sind, z. B. auf Busspuren oder Kinderüberwegen, so dass sie von Autofahrern, die sonst Schwierigkeiten beim schrägen Lesen hätten, leicht gelesen werden können, wenn sich das Fahrzeug dem Text nähert; wenn das Fahrzeug fast über dem Text steht, kann man seine wahre, ungewöhnlich langgestreckte Form erkennen. In ähnlicher Weise werben viele Sportstadien, insbesondere Rugby-Fußballstadien in Australien, mit auf die Spielfläche gemalten Unternehmensmarken; aus der Sicht der Fernsehkamera erscheinen die Schriftzüge als senkrecht im Feld stehende Buchstaben. Viele Schriftzüge auf Schaufenstern sind im Prinzip anamorphotisch, da sie spiegelbildlich auf die Innenseite des Fensterglases geschrieben wurden [51], [13].

Die Darstellung von mathematischen Formeln bereitet keine Schwierigkeiten: Man berechnet jeweils $x \rightarrow f(x)$, $(x, y) \rightarrow f(x, y)$ und $(x, y, z) \rightarrow f(x, y, z)$.

Die Bildverarbeitung ist an sich ein grenzenloses Gebiet. Hier sind einige weitere Konzepte zum Verständnis vertraut mit,

- Stereogramme
- Autostereogramme
- Steganographie: Der Einsatz der Steganografie zielt auf Geheimhaltung und Vertraulichkeit ab. Informationen werden so versteckt, dass ein Dritter beim Betrachten des Trägermediums nichts vermutet. Damit wird gleichzeitig erreicht, dass die versteckte Information nicht Dritten bekannt wird, d.h. die

Geheimhaltung ist gewährleistet (wie bei der Kryptographie) [52]. Die Steganographie wird üblicherweise in zwei Möglichkeiten unterteilt

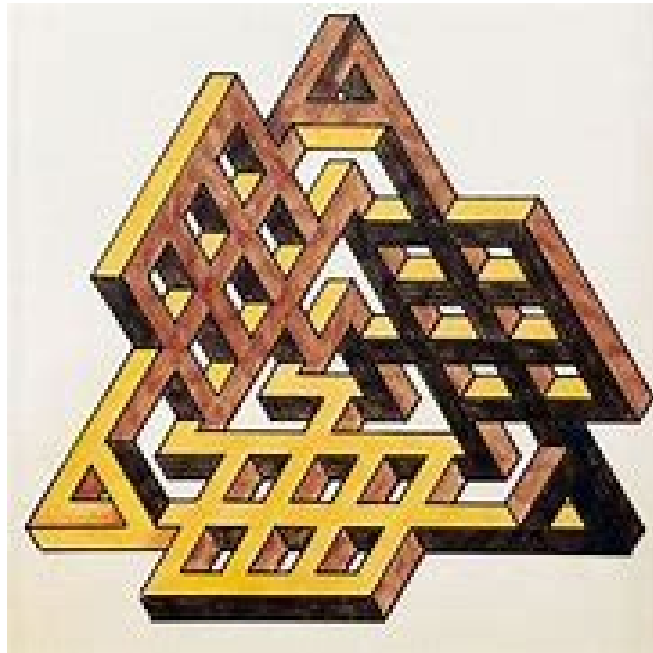


Abb. 11.13 Eine unmögliche geometrische Konstruktion

Wege: Entweder wird sie als ein Unterkapitel der Kryptographie oder als eigenständiges wissenschaftliches Gebiet betrachtet. Für Letzteres spricht, dass das Ziel der Kryptographie (Geheimhaltung) nicht dasselbe ist wie das Ziel der Steganographie (vertrauliche Geheimhaltung durch Verbergen von Geheimnissen). In der Praxis werden Kryptographie und Steganographie oft kombiniert, weil z.B. Chiffretexte für die Steganographie interessante statistische Merkmale aufweisen (Abb. 11.15).

Das Einfügen der Nachricht ist nicht schwierig. [13] Die Pixel der zu versteckenden Nachricht werden nach einer bestimmten, meist durch eine mathematische Funktion definierten Regel in das zweite Bild eingefügt und können dann auf der Empfängerseite wieder zusammengesetzt werden.

- Sehr attraktive Bilder entstehen durch die verschiedenen Fraktale, auch die Bildung von Mosaikbildern ist eine interessante Kunst. Designer arbeiten heute kaum noch mit dem Zeichenbrett, sondern am Bildschirm. Ein wesentlicher Vorteil ist, dass man nicht mehr von vorne anfangen muss, neue Entwürfe zu zeichnen, sondern unfertige Entwürfe, die noch existieren, weiter bearbeiten kann.

Die Bildverarbeitung ist auch für die Arbeit der Polizei sehr wichtig geworden. Mustererkennung, Vergleich von Gesichtern und Fingerabdrücken sind Standard. Überwachungskameras und die Auswertung ihrer Bilder haben die Kleinkriminalität in wichtigen Geschäftsbereichen nahezu eliminiert. Bei längerer Abwesenheit können Überwachungskameras auch zu Hause installiert werden.

Auch Kleidung aller Art wird am Computer entworfen. Die Graphics Suite X5 von CorelDRAW ist ein Programm, das sowohl die Arbeit mit handgezeichneten Grafiken als auch die Erstellung virtueller Textilien ermöglicht. Verschiedene

11. Bildbearbeitung

Funktionen wie das Einfärben gescannter Kleidung

Zeichnungen oder Fotos sowie eine Baukastenfunktion erleichtern die Arbeit



Abb. 11.14 Verzerrungen in alle Richtungen

als Modedesignerin.

Londoner Forscher haben ein Programm auf den Stil von Künstlern trainiert. Damit können sie Werke rekonstruieren, die lange Zeit als unwiederbringlich verloren galten. Pablo Picasso (1881 - 1973) war in der Anfangsphase seiner Karriere offenbar so knapp bei Kasse, dass er sich keine neuen Leinwände leisten konnte. Also übermalte er bestehende Werke. So geschah es auch mit dem Werk "Der einsame kauende Akt", das 1903 hinter dem "Blindenmahl" verschwand. Im Hintergrund von Picassos berühmtem Gemälde "Das Leben" ist die kauende Frau noch zu sehen, aber es sollte mehr als hundert Jahre dauern, bis das Original wieder auftauchte (Abb. 11.16). Ausgangspunkt war eine Durchleuchtung des Originals mittels Röntgenfluoreszenzspektroskopie. Da sich auf diese Weise jedoch nur die Umrisse der kauenden Frau erkennen ließen, war ein weiterer Schritt erforderlich. George Cann und Anthony Bourached, Forscher am University College London und Gründer von Oxia Palus, trainierten ein Convolutional Neural Network mit allen Bildern aus Picassos "Blauer Periode". Daraus generierte die KI Picassos typischen Stil, Pinselstriche und Farbwahl während dieser kreativen Phase und übertrug sie auf die Umrisse. Das Ergebnis wurde dann in Originalgröße auf einem 3D-Drucker ausgedruckt - und fertig war der neue alte Picasso. Nun hat das Londoner Start-up Oxia Palus einen weiteren Schritt in der Rekonstruktion geschafft: Es hat das übermalte Bild rekonstruiert und per 3D-Druck restauriert.

Bereits 2019 entdeckten Cann und Bourached einen weiblichen Akt unter Picassos "altem Gitarrenspieler" und rekonstruierten ihn - damals allerdings ohne ihn auszudrucken. Oxia Palus hat inzwischen nach dem gleichen Prinzip übermalte Bilder von Leonardo da Vinci und Amedeo Modigliani rekonstruiert. Gedruckt wurden die Bilder in Los Angeles von dem Dienstleister Hero Graphics. Modiglianis Werk kann erworben werden über

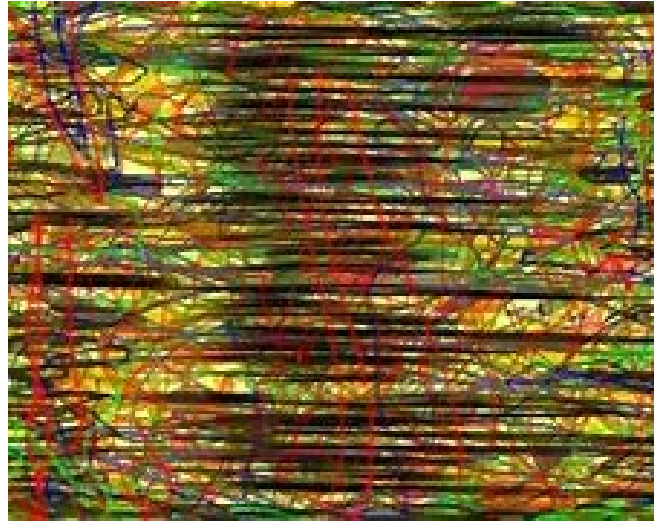


Abb. 11.15 Eine im Bild versteckte Nachricht



Abb. 11.16 Pablo Picasso: Der einsame, kauende Akt

Londoner Morf Gallery in einer limitierten Auflage für 22.222,22 Euro. Die Käufer erhalten nicht nur ein gerahmtes Stück Leinwand, sondern auch eine digitale Dokumentation der Produktion und ein NFT als Echtheitszertifikat (Abb. 11.17). Auf ähnliche Weise können aber auch völlig neue Werke alter Meister entstehen. Im Jahr 2016 hatte eine niederländische Werbeagentur alle 346 bekannten Werke Rembrandts statistisch ausgewertet und aus diesen Daten so etwas wie einen typischen Rembrandt destilliert - das Porträt eines nach rechts blickenden Mannes mittleren Alters [84].

Natürlich ist es gar nicht nötig, sich an früheren Gemälden zu orientieren. Gegenwärtig kann man sehen, dass eine neue Richtung "Malerei auf dem Bildschirm" entsteht [85][86] und alle anderen Künste (Musik, Poesie) in gleicher Weise betrifft. Unmittelbar ersichtlich sind viele Vorteile: Die digitale Kunst benötigt kein weiteres Material, keine Leinwand, keine Farben. Alle Zwischenergebnisse können gespeichert werden und später vielleicht als Vorlage für eine andere Version dienen, und vieles mehr.



Abb. 11.17 Ein Gemälde im Stil von Modigliani (1884 - 1920)

12. Robotik

Roboter sind für viele ein Kernthema der Künstlichen Intelligenz; insbesondere das Thema *selbstfahrende Autos bildet* die Grundlage für Diskussionen über autonome, vom Menschen unabhängige Systeme. Die Meinungen gehen weit auseinander. Das Themengebiet der Robotik befasst sich mit dem Versuch, das Konzept der Interaktion eines Systems mit der physikalischen Welt sowohl auf informationstechnische Prinzipien als auch auf eine technisch machbare Kinetik zu reduzieren. Der Begriff "Roboter" beschreibt ein System, das beide Konzepte vereint, indem es die Interaktion mit der physischen Welt auf der Basis von Sensoren, Aktoren und Informationsverarbeitung realisiert. Der Kernbereich der Robotik ist die Entwicklung und Steuerung solcher Roboter. Sie umfasst Teilgebiete der Informatik, der Elektrotechnik und des Maschinenbaus. Ziel der Robotik ist es, durch Programmierung ein kontrolliertes Zusammenwirken von Roboterelektronik und Robotermechanik herzustellen.

Der Begriff wurde von dem Science-Fiction-Autor Isaac Asimov erfunden und erstmals in seiner Kurzgeschichte Runaround im März 1942 in der Zeitschrift Astounding erwähnt. Nach Asimovs Definition bezieht sich die Robotik auf das Studium von Robotern oder sogar Maschinen.

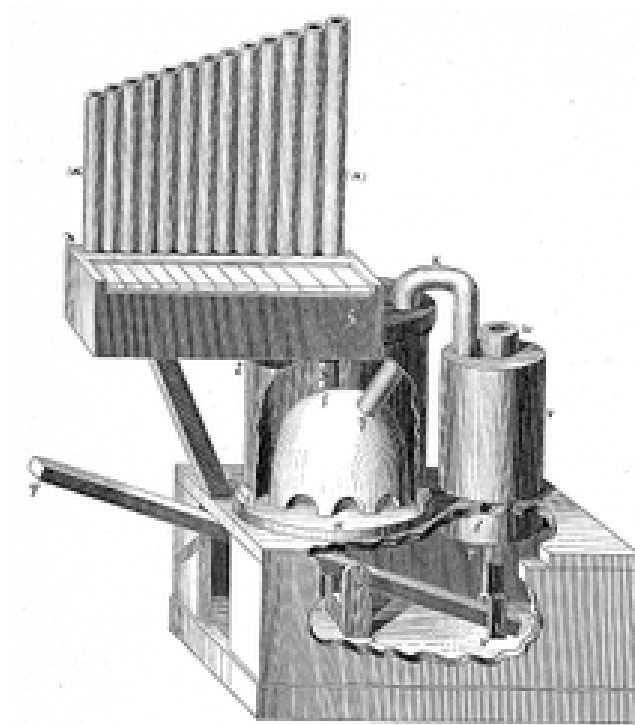


Abb. 12.1 Eine Wasserorgel aus dem Altertum

- Bereits in der Antike wurden erste Experimente mit Automaten durchgeführt (Abb.

12.1). Bekannt sind die automatischen Theater und Musikmaschinen von Heron von Alexandria. Mit dem Niedergang der antiken Zivilisationen verschwanden auch die wissenschaftlichen Kenntnisse dieser Zeit. Um 1205 schrieb Al-Jazarī, ein arabischer Ingenieur und Autor aus dem 12. Jahrhundert, sein Werk über mechanische Geräte, das "Buch des Wissens über sinnvolle mechanische Geräte", das in der westlichen Kultur auch als "Automaten" bekannt wurde. Leonardo da Vinci soll von den klassischen Automaten von Al-Jazarī beeinflusst worden sein. So sind von ihm Aufzeichnungen und Skizzen aus dem 15. Jahrhundert bekannt, die als Pläne für Androiden gedeutet werden können. Der technische Kenntnisstand reichte jedoch nicht aus, um solche Pläne zu verwirklichen. Um 1740 entwarf und baute Jacques de Vaucanson einen Flöte spielenden Automaten, eine automatische Ente und den ersten programmierbaren vollautomatischen Webstuhl.

- Ende des 19. Jahrhunderts wurden verstärkte Anstrengungen im militärischen Bereich unternommen (ferngesteuerte Boote, Torpedosteuerung). Der Schriftsteller Jules Verne (1828 - 1905) schrieb eine Geschichte über eine menschliche Maschine. Im Jahr 1920 führte der Schriftsteller Karel Čapek den Begriff Roboter für einen Androiden ein. Nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs erlebte die Robotik einen rasanten Aufschwung. Ausschlaggebend dafür waren die Erfindung des Transistors im Jahr 1947 in den Bell Laboratories, integrierte Schaltkreise und in der Folge die Entwicklung leistungsfähiger und platzsparender Computer.
- Ab etwa 1955 kamen die ersten NC-Maschinen (Geräte zur Steuerung von Maschinen) auf den Markt, und 1954 meldete George Devol (1912 - 2011) in den USA ein Patent für einen programmierbaren Manipulator an. Dieses Datum gilt als die Geburtsstunde der Entwicklung von Industrierobotern. Devol war auch Mitbegründer der Firma Unimation, die 1960 den ersten hydraulisch betriebenen Industrieroboter vorstellte. Im Jahr 1968 wurde am MIT der erste mobile Roboter entwickelt. In Deutschland wurde die Robotertechnik erst in den frühen 1970er Jahren produktiv eingesetzt. Um 1970 wurde der erste autonome mobile Roboter Shakey (der Wackelige) ebenfalls am Stanford Research Institute entwickelt.
- 1973 wurde an der Waseda-Universität in Tokio mit der Entwicklung des humanoiden Roboters Wabot 1 begonnen. Im selben Jahr baute der deutsche Robotik-Pionier KUKA den ersten Industrieroboter der Welt mit sechs elektromechanisch angetriebenen Achsen, den FAMULUS. Ein Jahr später (1974) stellte das schwedische Unternehmen ASEA seinen vollständig elektrisch angetriebenen Roboter (IRb6) vor.
- Im Jahr 1986 startete Honda das "Forschungs- und Entwicklungsprogramm für humanoide Roboter". Das Ergebnis waren die humanoiden Roboterversionen P1 bis P3. Eine Weiterentwicklung stellte Honda 2004 in Form des humanoiden

12. Robotik

Roboters ASIMO vor. Im Jahr 1997 landete der erste mobile Roboter auf dem Mars (Sojourner).

- Auch die Spielzeugindustrie hat sich der Robotik nicht verschlossen. Beispiele für solche Produkte sind Lego Mindstorms, iPitara, Robonova oder der Roboterhund Aibo von Sony.



Abb. 12.2 Eine Drohne

Die immer weiter fortschreitende Automatisierung und Digitalisierung, verbunden mit der ebenfalls zunehmenden Sammlung und dem Austausch von Daten, erfordert nach Ansicht von Zukunftsforschern und Philosophen grundlegende Fragen nach der Rolle des Menschen in diesem Prozess und in diesen Zusammenhängen. Bereits 1942 formulierte beispielsweise Asimov einen entsprechenden Code, die "Robotergesetze".

- Inzwischen werden Alternativen zum Rad als Fortbewegungsmittel in der menschlichen Umgebung erforscht, etwa das Gehen auf sechs, vier, zwei oder sogar einem Bein. Während Industrieroboter in der Regel manuelle oder Handhabungsaufgaben in einer an sie angepassten Umgebung ausführen, sollen solche Serviceroboter Dienstleistungen für und an Menschen erbringen. Dazu müssen sie in der Lage sein, sich in der menschlichen Umgebung zu bewegen und zurechtzufinden.
- Wie ein Spiel, aber mit ernsthafter wissenschaftlicher Forschung im Hintergrund, sind Roboterfußballspiele zwischen Mannschaften ähnlicher Roboter. Das Ziel der Forscher ist es, bis 2050 eine Fußballmannschaft aus autonomen zweibeinigen Robotern zu entwickeln, die gegen den Fußballweltmeister antreten kann.
- Industrieroboter werden meist in Umgebungen eingesetzt, die für Menschen zu gefährlich oder unzumutbar sind. Heute erledigen moderne Roboter hirnlose Fließbandarbeiten schneller und genauer als ein Mensch und können ihn in immer mehr Bereichen ersetzen. Autos werden heute unter starker Beteiligung von Robotern gebaut, und selbst ein moderner Mikroprozessor wäre ohne Roboter nicht mehr herstellbar. Serviceroboter werden schon seit einiger Zeit eingesetzt, um den Menschen das tägliche Leben zu erleichtern oder sie zu unterhalten, wie z. B. der Robosapien. Es gibt Haushaltsroboter, die staubsaugen, den Boden wischen oder den Rasen mähen können. Sie können

sind auf nur eine Aufgabe spezialisiert, die sie aber relativ autonom ausführen können. Forschungsroboter erkunden unter anderem ferne Planeten oder Katastrophengebiete und dringen in Vulkane oder Abwasserrohre ein. Sie werden auch für verschiedenste Erkundungsmissionen in der Meeresumwelt eingesetzt. Es gibt Konzepte und erste Prototypen für Kryobots und Hydrobots, die in Zukunft in der Raumfahrt eingesetzt werden sollen. Es gibt auch Überlegungen, Roboter für die Probenentnahme und den Asteroidenabbau einzusetzen.

- In der Medizin werden Roboter für Untersuchungen, Operationen und Rehabilitation eingesetzt und übernehmen einfache Aufgaben im Krankenhausalltag.

Ein Prototyp für winzige Nanoroboter, die sich im Blutkreislauf bewegen können, wurde bereits 2004 an der ETH Zürich an einem Auge getestet und wird durch Magnetfelder von außen gesteuert. Der Assistenzroboter FRIEND, entwickelt am Institut für Automatisierungstechnik der Universität Bremen, soll behinderte und ältere Menschen bei Aktivitäten des täglichen Lebens (z.B. bei der Zubereitung einer Mahlzeit) unterstützen und ihnen die Wiedereingliederung ins Berufsleben ermöglichen.

- Erste Unterhaltungsroboter wie der Roboterhund Aibo von Sony sind ein Schritt in Richtung elektronische Haustiere. Neben Aibo gibt es weitere Roboterprodukte aus der Spielzeug- und Unterhaltungsindustrie, die mit einem Computer in einer meist einfachen Sprache so programmiert werden können, dass sie z. B. einer Lichtquelle oder einer Linie auf dem Boden folgen oder farbige Bauklötze sortieren.
- Ein interessantes Hobby ist es, eigene Roboter zu bauen, sei es unterstützt durch vorbereitete Roboterbausätze oder durch freie Phantasie. In diesem Fall muss man z.B. ein autoähnliches Fahrzeug selbst konstruieren, mit geeigneten Sensoren Abstände zum Ziel oder die Farbe des Bodens bestimmen und aus diesen Messergebnissen einen Kurs für das Fahrzeug festlegen. Die eigentliche Aufgabe besteht darin, die Sensordaten mit der Geschwindigkeit und Richtung des Fahrzeugs zu verknüpfen. Dies geschieht in einem Mikrocontroller, der vom Anwender programmiert werden muss. Die dafür notwendige Elektronik wird in verschiedenen Ausführungen angeboten. Bekannte, aber auch sehr aufwendige Vorbilder sind die Rover.
- Roboter sind auch ein beliebtes Science-Fiction-Thema. Dort gibt es menschenähnliche Roboter, die über künstliche Intelligenz verfügen.

Eine weitere Variante des Roboters, die bereits in sehr einfacher Form realisiert wurde, ist der Cyborg als Verschmelzung von Robotertechnologie und menschlicher Anatomie. Androiden, künstliche menschenähnliche Wesen, können Roboter sein, aber Roboter müssen keine Androiden sein. Ein erster weit

12. Robotik

entwickelter Ansatz ist der ASIMO-Roboter von Honda.

- Roboter sind auch im Bildungswesen ein immer wichtigeres Thema. Es gibt Roboter für die Grundschule, Roboter für die Sekundarschule oder für Gymnasien, Roboter für Universitäten und Roboter für die Berufsausbildung. Eine besondere Form der

Bildungsroboter sind Rover, die z.B. im Rahmen der Raumfahrt Ausbildung an Institutionen in Deutschland entwickelt und getestet werden. In der Regel sind diese Spezialroboter als Rover für ein bestimmtes Ziel oder einen Wettbewerb gedacht. Auf der Maker Faire 2016 in Berlin wurde ein Rover namens "EntdeckerRover" ER2 vorgestellt, der für den Bildungs- und Freizeitbereich geeignet ist und auch für verschiedene Bildungsbereiche angepasst werden kann. Andere Systeme sind meist aus Kunststoff von anderen Herstellern und Projekten erhältlich.

- Roboter und die Sonderform Rover unterstützen vor allem die Bildung im Bereich der MINT-Fächer in Deutschland und Österreich. Es geht also auch um die Förderung der naturwissenschaftlich-technischen Bildung bzw. des Technikwissens sowie um die Themen Informatik und Mathematik. Mathematik ist besonders wichtig für anspruchsvolle Roboter und Rover, zum Beispiel im Bereich der Luft- und Raumfahrt.
- Sicherheitsrichtlinien für Roboter ergeben sich aus dem jeweiligen Einsatzgebiet und dem Robotertyp. Industrieroboter werden durch gesetzlich vorgeschriebene Sicherheitsvorkehrungen wie Käfige, Gitter, Lichtschranken oder andere Barrieren abgesichert. Mit zunehmender Autonomie erfordern aktuelle oder zukünftige komplexere Robotersysteme jedoch an die Gegebenheiten angepasste Sicherheitsvorkehrungen. Der vielfältige Einsatz von Robotern macht es jedoch schwierig, universelle Sicherheitsregeln für alle Roboter aufzustellen. Selbst die "drei (oder vier) Regeln der Robotik" (Robotergesetze), die der Science-Fiction-Autor Isaac Asimov in seinen Romanen aufgestellt hat, können nur als ethische Richtlinien für eine mögliche Programmierung verstanden werden, da unvorhersehbare Situationen vom Roboter nicht berechnet werden können. Je autonomer ein Roboter in der menschlichen Umgebung agiert, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Lebewesen oder Gegenstände zu Schaden kommen. Auch die Vorstellung, dass Roboter dem Menschen Schutz bieten können, ist umstritten - nicht zuletzt wegen der Unschärfe des Schutzbegriffs. Dass hier keine absoluten Werte programmiert werden können, zeigt sich parallel in der Diskussion um das Spannungsverhältnis zwischen Schutz und Bevormundung. Diese Problematik wird beispielsweise in dem Film *I, Robot* thematisiert, wo ein Mann aufgrund einer errechneten "Überlebenswahrscheinlichkeit" von einem Roboter aus einem ins Wasser gestürzten Auto gerettet wird, während ein Kind in einem ebenfalls sinkenden Auto ertrinkt.

Anwälte sind bei diesen neuen, sich schnell entwickelnden Technologien sehr gefragt. Erstaunlich ist, dass Gesetze zur Robotik erst seit 2012 verabschiedet wurden, dann aber **i n g r o ß e m** Umfang.

"Ein Roboter ist ein technisches System mit einem eingebetteten Computersystem; die Systeme stehen miteinander in Wechselwirkung. In diesem Zusammenhang hat das Computersystem die Aufgabe, das technische System, in das es eingebettet ist, zu steuern, zu regeln oder zu überwachen" (EuGH, 3. Juli 2012 - C-128/11 = NJW 2012,

2565). Ein eingebettetes System enthält immer "eingebettete Software". Ohne diese Software wäre ein Roboter nicht nutzbar.

Bereits vor der Entscheidung des EuGH (EuGH, 3. Juli 2012 - C-128/11 = NJW 2012, 2565) zum Weiterverkauf gebrauchter Software haben das TRIPS-Abkommen und das WIPO-Urheberrecht

Vertrag (WCT) festgelegt, dass Hardware mit eingebetteter Software frei gehandelt werden darf (Vander, CR 2011, 77 (78-79)). Einigkeit besteht auch darüber, dass eingebettete Software ebenfalls nicht zu den wesentlichen Bestandteilen einer Vermietung zählt und somit für die Vermietung von Hardware (z.B. Roboter), die durch eingebettete Software gesteuert wird, kein Mietrecht im Sinne des § 69 c Abs. 3 UrhG ausdrücklich übertragen werden muss, auch wenn einige Autoren auf eine Einzelfallbetrachtung verweisen (Grützmaker in Wandtke/Bullinger, UrhR, 3. 48). Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass Roboter verkauft und vermietet werden können, ohne dass es zusätzlicher Rechte bedarf.

In Deutschland können Patente durch das Patentgesetz (PatG) geschützt werden, in der EU schützt das Europäische Patentübereinkommen (EPÜ) Patente. Das PatG definiert ein Patent im ersten Abschnitt (§§ 1 - 25 PatG). Nach § 1 (1) PatG werden Patente für Erfindungen auf allen Gebieten der Technik erteilt, sofern sie neu sind, auf einer erfinderischen Tätigkeit beruhen und gewerblich anwendbar sind. Nach § 3 (1) PatG und Art. 54 EPÜ gilt eine Erfindung als neu, wenn sie nicht zum Stand der Technik gehört. Der Stand der Technik umfasst alle Kenntnisse, die der Öffentlichkeit durch schriftliche oder mündliche Beschreibung, durch Benutzung oder in sonstiger Weise vor dem für den Zeitrang der Anmeldung maßgeblichen Tag zugänglich gemacht worden sind; vgl. § 3 Abs. 1 Satz 2 PatG. Bei Robotern muss der Patentanmelder also nachweisen, dass sein Roboter neue Funktionen hat, die nicht zum Stand der Technik gehören (z.B. zur Lauffähigkeit von Robotern).

Außerdem muss es sich um eine Erfindung handeln. Patentfähige Erfindungen sind technische Lehren für planmäßiges Handeln, die mit beherrschbaren Naturkräften ohne Zwischenschaltung geistiger Tätigkeit einen kausal vorhersehbaren Erfolg reproduzierbar herbeiführen (BGH, 27.03.1969 - X ZB 15/67 = BGHZ 52, 74; NJW 1969, 1713; GRUR 1969, 672).

Eine technische Weiterentwicklung eines Roboters ist nur dann eine patentierbare Erfindung, wenn sie sich für den "Durchschnittsfachmann, der den gesamten Stand der Technik kennt" (eine juristische Fiktion, keine reale Person), nicht aus dem Stand der Technik ergibt, vgl. § 4 S. 1 PatG, Art. 56 S. 1 EPÜ. D.h. es fehlt an einer erfinderischen Tätigkeit, wenn der Fachmann mit vertretbarem Aufwand auf der Grundlage des Standes der Technik auf diese Lösung hätte kommen können, ohne erfinderisch zu sein. So sind auf dem Gebiet der Robotik nur Erfindungen patentierbar, die einen wesentlichen Fortschritt in der Entwicklung von Robotertechnologien darstellen. Dies muss sich jedoch nicht auf den Roboter als Ganzes beziehen, sondern kann sich auch auf einzelne Komponenten, wie z. B. einen Roboterarm oder eine Funktionsweise zur Fortbewegung, beziehen.

Darüber hinaus muss die Erfindung auf einem gewerblichen Gebiet anwendbar sein, § 5 (1) PatG, Art. 57 EPÜ. Der Begriff "gewerbliche Anwendbarkeit" wird vom Europäischen Patentamt weit ausgelegt und ist in der Praxis von untergeordneter Bedeutung. Es reicht aus, dass die Erfindung hergestellt oder sonst in einem technischen Betrieb verwendet werden kann. Es kommt auch nicht darauf an, ob man mit der Vorrichtung oder dem Verfahren "Geld verdienen" kann, entscheidend ist allein, dass der beanspruchte Gegenstand außerhalb des privaten Bereichs genutzt

12. Robotik

werden kann. Die meisten Erfindungen auf dem Gebiet der Robotik zielen auf einen kommerziellen Erfolg ab, zum Beispiel bei der Schaffung von Haushaltshelfern oder Betriebsrobotern. Diese

liegt bereits in der Natur der Sache, da die Erfindung von Robotertechnologien enorme Investitionen erfordert und diese von den Investitionsanbietern mit Gewinn zurückverlangt werden. Die maximale Laufzeit eines Patents beträgt 20 Jahre ab dem Tag nach der Anmeldung, gemäß § 16 PatG und Art. 63(1) EPÜ. Allerdings ist nach § 16a PatG, Art. 63 (2) b) EPÜ i.V.m. der Verordnung (EWG) Nr. 1768/92 kann jedoch für Erfindungen, die nur nach umfangreichen Genehmigungsverfahren gewerblich verwertet werden können, ein ergänzendes Schutzzertifikat erteilt werden, das die Laufzeit des Patents um maximal fünf Jahre verlängert.

regelmäßig.

Nach § 1 (2) und (3) des Patentgesetzes und Art. 52 (2) und (3) EPÜ können wissenschaftliche Theorien und mathematische Methoden, wie z. B. Konstruktionspläne für einen Roboter, nicht als Patente geschützt werden. Das Gleiche gilt für das Design und das Aussehen eines Roboters, da ästhetische Formschöpfungen nicht durch Patente geschützt werden können.

Das Fehlverhalten eines Roboters, sei es aus dem Wunsch nach Autonomie oder aus anderen Gründen, zieht immer eine Reihe von Haftungsfragen nach sich. Diese können sich zum einen aus einer vertraglichen Pflichtverletzung nach § 280 Abs. 1 BGB, zum anderen aus dem Deliktsrecht nach § 823 BGB gegenüber Dritten oder auch aus dem Produkthaftungsgesetz ergeben. Wird ein Roboter im Rahmen eines Vertragsverhältnisses (z.B. Vermietung) von einer anderen Vertragspartei eingesetzt und verursacht der Roboter bei dieser Partei einen Schaden, so ist dies sicherlich eine Pflichtverletzung im Sinne des § 280 BGB. Ein durch die Medien bekannt gewordener Fall ist der Einsatz des ROBODOC von Integrated Surgical System, der zu zahlreichen Schadensersatzansprüchen geführt hat (BGH, 13.06.2006 - VI ZR 323/04 = BGHZ 168, 103; NJW 2006, 2477).

Nach § 249 S. 1 BGB hat der zum Schadensersatz verpflichtete Schuldner den Zustand herzustellen, der bestehen würde, wenn der zum Schadensersatz verpflichtende Umstand nicht eingetreten wäre. Dabei hat der Schädiger alle durch das ersatzpflichtige Ergebnis verursachten Schäden zu ersetzen (sog. Totalreparation). Neben der Regel des vollständigen Schadensersatzes ist in § 249 S. 1 BGB ein weiterer Grundsatz des Schadensersatzrechts formuliert, nämlich der Grundsatz des Produktions- oder Naturalersatzes. Hier soll der Schädiger den Zustand in Geld herstellen, der ohne das schädigende Ereignis bestehen würde.

Eine Frage, die in Zukunft sicherlich immer mehr an Bedeutung gewinnen wird, ist die Frage, wer für die Entscheidung eines auf künstlicher Intelligenz basierenden Roboters haftet. So ist es sicherlich vertretbar, dass derjenige, der die Roboter einsetzt, haften muss, da er für die Verkehrssicherheit des eingesetzten Roboters verantwortlich ist und für entsprechende Sicherheitsmaßnahmen sorgen muss. In einem Vertragsverhältnis ergibt sich dies sicherlich aus der allgemeinen Sorgfaltspflicht des Schuldverhältnisses, vgl. § 280 Abs. 1 BGB, gegenüber Dritten freilich aus dem Deliktsrecht, §§ 823 ff BGB. Grundsätzlich könnte der Hersteller nach dem Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG) haften. Die Voraussetzung für eine Produkthaftung nach § 1 Abs. 1 S. 1 ProdHaftG ist u.a., dass ein Fehler der schadensverursachenden Sache (also des Roboters) vorliegt. Ein solcher Fehler könnte

möglicherweise vorliegen, wenn der Hersteller keine geeigneten Sicherheitsmaßnahmen in die Programmierung eingebaut hat

der Steuerungssoftware des Roboters. Der Hersteller haftet jedenfalls dann nicht, wenn der Roboter zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens nicht mit dem schadensverursachenden Fehler behaftet war (Palandt Sprau Kommentar zum BGB 69. Auflage 2009 § 1 ProdHaftG Rn. 17) und der Fehler nach dem Stand von Wissenschaft und Technik zum Zeitpunkt des Inverkehrbringens des Herstellers nicht erkennbar war, vgl.

§ 1 Abs. 2 Nr. 5 ProdHaftG. Dennoch muss der Hersteller von Robotern Sicherheitsvorkehrungen in einen Roboter (und insbesondere in die Software) einbauen, damit auch nach einem KI-Lernprozess kein Schaden entstehen kann. In der Science-Fiction-Literatur wurden zu diesem Zweck zum Beispiel die drei Gesetze der Robotik von Isaac Asimov entwickelt (Asimov All Robot Stories 3rd edition 2011, Kurzgeschichte Herumtreiber S. 276-295). Ob solche eher philosophischen Gesetze ausreichen, kann heute nicht beurteilt werden, sicher ist aber, dass der Hersteller und Entwickler von Robotern eine entsprechende Verkehrssicherungspflicht hat. Die Einhaltung dieser Verkehrssicherungspflichten obliegt dann allerdings nicht mehr dem Hersteller, sondern dem Halter oder Eigentümer des Roboters. Hier gelten die Grundsätze für den Umgang mit gefährlichen Gütern. Ein gefährlicher Gegenstand ist z.B. ein Kraftfahrzeug, von dem ein gewisses Betriebsrisiko ausgeht. Der Hersteller stellt ein Auto her, das den einschlägigen Anforderungen für die Zulassung eines Kraftfahrzeugs entspricht, während der Halter dafür sorgen muss, dass sich das Fahrzeug ständig in einem verkehrssicheren Zustand befindet (BGH, 14. Oktober 1997 - VI ZR 404/96 = NJW 1998, 311). Dies gilt insbesondere im Falle einer Garantenstellung gegenüber Dritten (BGH, 24. April 1979 - VI ZR 73/78 = NJW 1979, 2309). Dies sollte auch für die Herstellung und den Einsatz von Robotern gelten.

Als Hersteller von Robotern und als deren Betreiber müssen Sie also von Zeit zu Zeit einen Anwalt konsultieren und alle auftretenden Probleme besprechen.

Mitarbeiter des Wissenschaftszentrums in der Republik Kabardino-Balkarien haben einen Raupenroboter in Form eines Schildkrötenpanzers entwickelt, berichtet die Nachrichtenagentur RIA Novosti. Dieser soll vor allem der russischen Nationalgarde Rosgwardija helfen, Menschenmengen bei Kundgebungen zu zerstreuen. Nach Angaben der Entwickler soll sich das Fahrzeug schneller bewegen als Fußgänger oder berittene Polizisten.

Der Roboter ist etwa halb so groß wie ein Mensch und mit Betäubungspistolen, Netzwerfern und schnell abbindendem Schaumstoff ausgestattet. Seine stromlinienförmige Form ist so konzipiert, dass Menschen nicht verletzt werden und Demonstranten ihn nicht umkippen können.

Die Wissenschaftler schlagen zwei Optionen vor. Die erste sieht vor, dass sich der Roboter mit 60 Stundenkilometern durch die Menschenmenge bewegt. Bei der zweiten Option fungiert der Roboter als Schildträger, um Barrieren zu errichten und die tobende Menge zu teilen. Die Erfindung soll auch in der Lage sein, sich zu vernetzen und gemeinsam zu handeln, und zwar auf der Grundlage eines Algorithmus, der sich an staatenbildenden Insekten wie Wespen orientiert.

Die meisten Unfälle mit Robotern ereignen sich bei der Wartung oder Programmierung des Roboters, nicht beim kontrollierten Betrieb. Am 21. Juli 1984

12. Robotik

wurde in Michigan, USA, der erste Mensch von einem Industrieroboter getötet. Der Roboter bewegte Werkstücke auf einer Druckgießmaschine. Der 34-jährige Fabrikarbeiter hatte bereits 15 Jahre Berufserfahrung im Druckguss und hatte nur drei Wochen zuvor eine einwöchige Roboterschulung absolviert.

vor dem Unfall. Er wurde zwischen der vermeintlich sicheren Rückseite des Roboters und einem Stahlpfosten zu Tode gequetscht, als er entgegen aller Warnungen in den Gefahrenbereich des Roboters kletterte, um verstreute Produktionsabfälle zu entfernen. Das US-amerikanische "National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)" stellt Richtlinien für die Konstruktion von Robotern sowie für die Schulung und Anleitung von Arbeitnehmern bereit.

Daraus ist ersichtlich, dass die Herstellung und der Einsatz von Robotern zu einem festen Bestandteil der technischen Welt geworden ist. Hier werden die Vorteile des Einsatzes dieser Systeme und die mit ihnen verbundenen Probleme deutlich.

- In vielen Ländern haben Kinder, Jugendliche und Studenten die Möglichkeit, an Robotikprogrammen teilzunehmen. Sie bilden Teams, von denen jedes die Aufgabe hat, einen mit Motoren und Sensoren ausgestatteten Roboter so zu programmieren, dass er auf einem Spielfeld in einem bestimmten Zeitrahmen vorgegebene Aufgaben wie das Sortieren von Gegenständen und deren Transport an bestimmte Orte lösen kann, entweder autonom oder durch Fernsteuerung. Bei einigen Programmen gehört es zu den Aufgaben, den Roboter zu entwerfen und zu bauen; bei anderen werden vorgefertigte Roboter verwendet. Das Ergebnis der Teamarbeit sind Wettbewerbe, von denen viele auf internationaler Ebene ausgetragen werden.
- Von Menschenhand geschaffene künstliche Wesen haben in der Literatur eine lange Tradition, bekannte Beispiele sind der durch Magie geschaffene Golem oder alchemistisch erzeugte Homunculi. Im persischen Epos Shahname des Dichters Firdausi wird eine roboterähnliche Puppe erwähnt, die fälschlicherweise für die Tochter des Kaisers Maurikios vom iranischen Hof gehalten wird.

Die Vorstellung von Robotern im Sinne von Maschinenmenschen oder autonomen Maschinenwesen, die durch menschliche Wissenschaft und Technik realisiert werden, entwickelt sich jedoch erst in der Neuzeit. In der Literatur des 18. Jahrhunderts werden trügerisch menschenähnliche Automaten beschrieben, die durch einen ausgeklügelten Mechanismus zum (scheinbaren) Leben erweckt werden. E. T. A. Hoffmann erzählt in "Die Automate (1819)" von einem mechanischen Orakel, das auf den sogenannten Schachtürken basiert. Der Schachautomat bestand aus der Figur eines türkisch gekleideten Mannes, der hinter einem Tisch mit einem Schachbrett saß. Die Figur spielte mit vielen berühmten Schachspielern der damaligen Zeit und gewann in der Regel. Der Türke begann immer das Spiel, hob seinen linken Arm, bewegte die Schachfigur und legte seinen Arm dann wieder auf ein Kissen. Bei jedem Zug des Gegners schaute er sich auf dem Brett um. Wenn der Zug falsch war, schüttelte er den Kopf und korrigierte die Stellung der Figur. Bei Gardez (Drohung der Dame) nickte er zweimal mit dem Kopf, beim Schach dreimal. Alle Bewegungen wurden von einem Geräusch begleitet, das dem eines herunterlaufenden Uhrwerks ähnelte.

Kempelen, der Erfinder, der gerne bereit war, jedem, der es sehen wollte, das Innere der Maschine und ihre Mechanik zu zeigen, stand während des Spiels ein wenig abseits und schaute in einen kleinen Kasten, der auf einem Tisch stand. Er ließ unausgesprochen die Möglichkeit offen, dass eine Übertragung an die Maschine von einem Menschen vorgenommen wurde, lehnte es aber stets ab, einen Hinweis auf das zugrunde liegende Funktionsprinzip zu geben. Über die Möglichkeit einer magnetischen Übertragung von Zugbefehlen rätselte der

Beobachter, ebenso wie die Möglichkeit, dass die Maschine die Berechnungen selbständig oder zumindest für einen Abschnitt von mehreren Zügen ohne menschliches Zutun durchführen konnte. Da die Maschine sehr stark spielte, muss ein guter Spieler in ihr gesessen haben.

- In den Groschenromanen des späten 19. Jahrhunderts gibt es zum Beispiel die Fiktion eines dampfbetriebenen Maschinenmenschen "The Steam Man of the Prairies" von Edward S. Ellis, 1868). Da der Begriff Roboter für künstliche Menschen noch nicht gebräuchlich ist, werden solche Figuren immer noch als Automaten oder umechanische Menschen bezeichnet. Im Jahr 1886 veröffentlichte der Schriftsteller Auguste de Villiers de L'Isle-Adam den Roman "L' Eve future", in dem ein weiblicher Automat als Begleiterin eines vornehmen Herrn dienen soll.

Zum ersten Mal wurde der von Josef Čapek geprägte Begriff "Roboter" 1921 in dem Drama "R.U.R." verwendet. Die in dem Stück dargestellten Roboti sind künstliche Menschen auf der Grundlage von synthetischem Protoplasma, aber der Begriff wurde bald auf die zeitgenössische Vorstellung von mechanisch konstruierten Automaten übertragen. Einem breiteren Publikum wurde der Begriff Roboter durch die Geschichten von Isaac Asimov bekannt. In "Runaround" beschrieb er 1942 zum ersten Mal die drei Robotergesetze, die auch heute noch häufig in der Science-Fiction-Literatur zu finden sind. Im Jahr 1950 veröffentlichte er "I, the Robot", eine Sammlung von Kurzgeschichten zu diesem Thema. Isaac Asimov war fortschrittsgläubig und sah im Roboter vor allem einen Helfer bei alltäglichen Aufgaben und einen Assistenten, der den Menschen bei der Besiedlung des Universums unterstützen sollte, so zum Beispiel in seinen Kurzgeschichten "Reason" ("Vernunft", 1941) und "Runaround" (1942).

- Jack Williamson beschrieb 1939 mit "After World's End" ("Jenseits von Raum und Zeit") einen humanoiden Roboter, der sich energisch gegen die Menschheit wendet. Jack Williamson begann dann 1947 mit "The Humanoids" oder "With Folded Hands" und 1952 mit "Wing 4" eine Reihe von Romanen über humanoide Roboter, die ihre Aufgabe, dem Menschen zu dienen und ihn zu schützen, ein wenig zu gründlich erfüllen und die menschliche Freiheit stark einschränken.

Philip K. Dick beschrieb 1953 in seiner Kurzgeschichte "Second Variety" (Variante Zwei, verfilmt als *Screamers*) nichthumanoide und humanoide Killerroboter und 1955 in seiner Kurzgeschichte "Autofac" (Autofab oder War of the Automata) eine sich selbst erhaltende Evolution von Roboterfabriken, die um Rohstoffe konkurrieren, zu von Menschen unerwünschten Nanorobotern.

Der polnische Autor Stanisław Lem veröffentlichte in den 1950er Jahren den Erzählzyklus "Kyberiad". Die Hauptfiguren sind Klapauzius und Trurl, zwei menschenähnliche, denkende und fühlende Roboterwesen, die selbst Maschinen konstruieren und in einer überwiegend von Robotern bevölkerten Welt leben.

12. Robotik

- Auch in der Kinderliteratur fanden Roboterfiguren ihren Weg. Im Jahr 1967 wurde das Buch "Robbi, Tobbi und das Fliewatüüt" veröffentlicht, in dem der Roboter ROB

344-66/IIIa und der Erfinder Tobias Findteisen erleben gemeinsam Abenteuer. Ellis Kaut veröffentlichte 1974 das Kinderbuch "Schlupp vom grünen Stern" über einen kleinen Roboter vom Planeten Balda 7/3, der ungewollt eine Seele und Gefühle entwickelt und deshalb auf einen Müllplaneten geschossen werden soll, aber stattdessen auf der Erde landet. Die Augsburger Puppenkiste verfilmte Schlupp 1986 als Puppentheaterstück.

- In dem Roman "Maschinen wie ich" des britischen Autors Ian McEwan, der im Mai 2019 im Diogenes Verlag erscheint, gerät ein junges Liebespaar in ein verworrenes Liebesdreieck mit einem Androiden namens Adam. In dem Roman "Die Nacht war blass, die Lichter blitzten" der Autorin Emma Braslavsky, der im August 2019 bei Suhrkamp erscheint, verkauft ein Robotik-Unternehmen menschenähnliche Roboter als künstliche Lebenspartner, um zivilisatorische Probleme wie soziale Einsamkeit und Beziehungslosigkeit zu bekämpfen. In dem Roman "Klara und die Sonne" freundet sich ein todkrankes Mädchen mit einem weiblichen Androiden namens Klara an. Das Buch, das im März 2021 im Blessing Verlag erscheint, stammt aus der Feder des Autors und Literaturnobelpreisträgers Kazuo Ishiguro. Der Roman ist aus der Ich-Perspektive des Roboters geschrieben, wie der Androide Klara die Welt der Menschen sieht. Der KI-Roman "Die Erfindung des Ungehorsams" (Unionsverlag) von Martina Clavadetscher, der mit dem Schweizer Buchpreis 2021 ausgezeichnet wurde, handelt von einer Frau, die in einer Sexpuppenfabrik in China arbeitet, in der künstliche Frauenkörper hergestellt werden. Für ihren Roman liess sich die Autorin vom Lebenswerk der Mathematikerin Ada Lovelace inspirieren, die sie als Urmutter der Programmierung und des Computers sieht. Der Roman "Dave" der Schriftstellerin Raphaela Edelbauer, der mit dem Österreichischen Buchpreis 2021 ausgezeichnet wurde, handelt von einem Computer, dem Wissenschaftler ein menschliches Bewusstsein geben wollen.

Hier gibt es noch viel Spielraum für die weitere Gestaltung von fantastischen Figuren (Abb. 12.3).

- Der Kurzfilm "Gugusse et l'Automate" des Filmpioniers Georges Méliès aus dem Jahr 1897 war wahrscheinlich der erste, der einen Roboter auf der Kinoleinwand zeigte. Der Film, der heute verschollen ist, handelt von einer Konfrontation zwischen dem Clown Gugusse und einem "Automaten". 1911 wurde der zehnminütige Kurzfilm "The Automatic Motorist" von Walter R. Booth veröffentlicht, in dem ein Roboter als Chauffeur auftritt. In dem 1919 erschienenen Episodenfilm "The Master Mystery" mit dem Zirkusartisten Harry Houdini gibt es ein weiteres frühes Beispiel für das Auftreten eines Roboters. Der italienische Film "L'uomo meccanico" von André Deed aus dem Jahr 1921 handelt von Gaunern, die die Kontrolle über einen ferngesteuerten Roboter übernehmen, um mit seiner Hilfe Verbrechen zu begehen. Zu den berühmtesten Roboterdarstellungen der Stummfilmzeit gehört

12. Robotik

der weibliche Maschinenmensch in Fritz Langs "Metropolis" von 1927. Der erste Roboter, der im Fernsehen auftrat, war I. Tobor in der Science-Fiction-Serie "Captain Video and His Video Rangers" (ab 1949).

- Bekannte Roboterfiguren aus den 1950er Jahren sind der riesige Wächter Gort aus der



Abb. 12.3 Star Trek

Film "Der Tag, an dem die Erde stillstand" (1951) und der Roboter Robby aus "Alarm im Weltraum" (1956). Robby trat in der Folge in zahlreichen Filmen und Fernsehsendungen auf und diente auch als Vorbild für viele Spielzeugroboter. In der Star-Wars-Saga (1977-2005) spielen die Roboter mit R2D2 und C3PO eine komödiantische Rolle. Die beiden Figuren sind gleichzeitig charakteristische Beispiele für unterschiedliche Robotertypen: Während der "Protokolldroide" C3PO ein humanoider Roboter ist, ist R2D2 ein "Astromech-Droide" ohne menschenähnliches Aussehen. In der Serie "Star Trek

- The Next Generation" (1987-1994) ist der Androide Data ein Führungsoffizier, der sich oft mit der Frage nach seiner eigenen Menschlichkeit auseinandersetzt. In "Number 5 Lives!" entwickelt ein Militärroboter eine naive Persönlichkeit. Filme wie "Terminator" und "I, Robot" sind weitere bekannte Beispiele für die Darstellung von Androiden und humanoiden Robotern, die dem Menschen feindlich gesinnt sind oder ihn unterstützen.

- Auch Industrieroboter (nicht-humanoide Roboter) finden ihren Weg auf die Kinoleinwand. KUKA Industrieroboter waren in Filmen wie "James Bond 007 - Stirb an einem anderen Tag", "Thunderbirds", "Tomb Raider - Die Wiege des Lebens" und "Sakrileg" zu sehen. Der Dokumentarfilm "Plug & Pray" befasst sich mit den Auswirkungen des zunehmenden Einsatzes von Robotern auf das Selbstbild des Menschen. Er stellt Roboter wie den japanischen Geminoid von Hiroshi Ishiguro, den italienischen ICub oder den deutschen MuCar-3 vor. Der Spielfilm "Robot & Frank" (2012) von Regisseur Jake Schreier erzählt von der sich entwickelnden Freundschaft zwischen einem älteren Demenzkranken und einem Pflegeroboter.

In der japanischen Stadt Yokohama wacht seit 2020 nach sechsjähriger Entwicklungszeit ein 18 Meter hoher und 25 Tonnen schwerer Riesenroboter namens Gundam als Touristenattraktion über das dortige Hafengebiet. Der Riesenroboter, der über ein Cockpit im Inneren und zwei Meter lange Hände verfügt, basiert auf einer Figur aus einer Science-Fiction-Fernsehserie und kann

12. Robotik

sich bewegen und bis zu den Knien sinken. Der Riesenroboter wurde von der Firma "Gundam Factory" hergestellt.

Yokohama" unter der Leitung von Geschäftsführer Shin Sasaki.

- Das wohl prominenteste Beispiel für den Einsatz des Roboters in der bildenden Kunst ist die Gruppe der "Family of Robots" des koreanischen Videokünstlers Nam June Paik. Bereits 1964 entwickelte Paik zusammen mit dem japanischen Ingenieur Shuya Abe den Roboter K456, der Paik fortan in Performances vertreten sollte - bis K456 in den ersten Unfall des 21. Jahrhunderts verwickelt wurde. In den 1980er Jahren entstand die Familie der Roboter, zunächst mit "Mutter" und "Vater" (1983/86), die durch mehrere Figuren erweitert wurden. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Figuren aus der Geschichte oder der Literatur, wie Albert Einstein, Attila oder Edgar Allan Poe, aber auch um Freunde von Paik: John Cage, Merce Cunningham oder Joseph Beuys.

SHIFZ ist die abgekürzte Selbstbezeichnung der österreichischen Künstlervereinigung Syntharturalist Art Association. Sie wurde 1996 gegründet und beschäftigt sich hauptsächlich mit dem Verhältnis von Mensch und Maschine. Die Kunstgruppen monochrom und Shifz organisieren Veranstaltungen, die sich künstlerisch mit Robotertechnologie auseinandersetzen. Sie sind Mitveranstalter der Roboexotica, dem Festival der Cocktail-Robotik. monochrom ist Gastgeber der Arse Elektronika, dem Festival, das den kreativen Umgang mit Sex und Technik zum Thema hat und dort künstlerische Sexroboter präsentiert.

Der japanische Illustrator Hajime Sorayama zeichnet weibliche, chromglänzende Roboter in erotischen Posen. Die amerikanische Rockband Aerosmith wählte zum Beispiel eine Zeichnung von Hajime Sorayama für das Cover ihres Albums *Just Push Play* aus dem Jahr 2001. Auch die Glam-Metal-Band Autograph verwendete für ihre Platten *Sign in, please* (1984) und *That's the Stuff* (1985) von Sorayama gezeichnete Motive.

Das Werk des Schweizer Malers H. R. Giger, berühmt durch sein Filmdesign für Ridley Scotts *Alien*, ist geprägt von dem von ihm geprägten Konzept der Biomechanoide, einer Verschmelzung von Technik und Mechanik mit dem Kreatürlichen sowie Einflüssen des Phantastischen Realismus.

Vom 12. Juni bis zum 6. Juli 2019 stellt die Barn Gallery des St. John's College, University of Oxford, unter dem Titel "'Unsecured Futures'" verschiedene Zeichnungen und Gemälde des weiblichen Roboters *Ai-Da* aus. Der humanoide Roboter (Zeichnungsroboter-Künstler) mit dem Gesicht einer Frau, der von einem Team aus Informatikern, Robotikern und Designern unterstützt wird, wurde von Galerist *Aidan Meller* entwickelt. Ai-Da zeichnet mit Kreide und malt in Acryl.

- Die deutsche Elektronik-Band Kraftwerk erreichte 1978 mit ihrer Single "Die Roboter" aus dem Album *Die Mensch-Maschine* Platz 18 der deutschen Charts. Für ihre Bühnenshow ließen die Musiker spezielle ferngesteuerte Roboter entwickeln, denen die Gesichter der Bandmitglieder aus Kunststoff nachgebildet

12. Robotik

waren. 1983 erreichte der Song "Mr. Roboto" der Band Styx Platz 8 in Deutschland und Platz 3 in den USA. Er handelt von einem Gefängnis, das von Robotern bewacht wird.

Musik machende und tanzende Roboter unter der Leitung eines verrückten Wissenschaftlers sind in dem Videoclip zum Stück "Zoolook" des französischen Musikers Jean-Michel Jarre von 1984 zu sehen. In Herbie Hancocks Videoclip zu seinem elektronischen Instrumentalstück Rockit von 1983 tanzen Roboterbeine ohne Rüssel, versammeln sich mechanische Puppen um einen Frühstückstisch und zuckt ein humanoides Wesen unruhig unter einer Bettdecke. Regie führte das Duo Godley & Creme, und die Puppen und Roboter wurden von dem Künstler Jim Whiting entworfen, der ab 1988 mit seinem Maschinentheater Unnatural Bodies große Erfolge feierte. Das Instrumentalstück Rockit ist auf Hancocks Album Future Shock zu hören.

- Im Oktober 2018 inszeniert der Schriftsteller Thomas Melle in Zusammenarbeit mit Stefan Kaegi von der Theatergruppe Rimini Protokoll an den Münchner Kammerspielen das Stück "Unheimliches Tal", in dem sich der Autor mit einem auf der Bühne sitzenden Roboter, einer mechanischen Nachbildung seiner selbst, über existenzielle Fragen unterhält.
- Roboter im Sport Im Rahmen der Olympischen Sommerspiele 2020 hat der Automobilhersteller Toyota den Cue3 vorgestellt, einen Basketballroboter, der eine Trefferquote von 100 Prozent hat.

Das alles können Sie hier sicher nicht lesen, sehen oder hören. Aber es zeigt, dass der Fantasie keine Grenzen gesetzt sind und dass sich die Robotertechnik in alle Richtungen entwickelt.

12.1. Roboter in der Chirurgie

Dies ist sicherlich einer der interessantesten und wichtigsten Anwendungsbereiche der Robotik, die sich außerordentlich schnell entwickelt und immer mehr Anforderungen erfüllen kann.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Einführung neuer Technologien ist immer, dass die Kosten für die Anschaffung solcher Geräte gedeckt sind und dass entsprechende Schulungsmöglichkeiten angeboten werden. Die Möglichkeit zur Herstellung solcher Geräte sollte ebenso vorhanden sein wie die IT-Spezialisten zur Programmierung und Wartung dieser Systeme. Es sei auch darauf hingewiesen, dass es bereits Studiengänge "Medizinische Informatik" oder "Digitale Medizin" gibt.

Die Fakultät für Informatik der Universität Augsburg kündigt zum Beispiel folgendes Programm an:

"Der interprofessionelle Studiengang Medizinische Informatik (Medical Information Sciences) baut auf dem gleichnamigen Bachelorstudiengang auf und ist an der Schnittstelle zwischen Informatik, Medizin und der Anwendung dieser beiden Disziplinen im Bereich der medizinischen Informatik angesiedelt."

Die Medizinische Informatik nutzt moderne Informationstechnologien zur organisatorischen und technischen Unterstützung des Gesundheitswesens. Dazu

12. Robotik

entwickelt sie Modelle und Simulationen für eine individualisierte Therapie und Diagnose. Deshalb ist der Studiengang

vermittelt die notwendigen Fähigkeiten, um für konkrete medizinische Fragestellungen geeignete Methoden, Systeme und informationstechnische Werkzeuge zu entwickeln, auszuwählen und anzuwenden. An den meisten Universitäten ist das Studium stark praxisorientiert, um die Studierenden optimal auf ihre spätere Tätigkeit vorzubereiten [57]. Wichtige Studieninhalte der Medizininformatik sind:

- Medizinische Dokumentation,
- Bildgebende Verfahren wie die Computertomographie,
- Wissenschaftliche Modellierung,
- computergestützte Erkennung,
- e-Gesundheit,
- Verarbeitung von Biosignalen,
- Biometrische Daten.

Je nach Hochschule spezialisiert sich das Studium der Medizinischen Informatik auch auf bestimmte Bereiche, zum Beispiel auf die Zahntechnik. Ziel der Dentalinformatik ist es, IT-Anwendungen zu entwickeln, die den Zahnarzt bei der Behandlung aktiv unterstützen. Zahnmedizinische Informatik ist die Anwendung von Computer- und Informationswissenschaften zur Verbesserung der zahnärztlichen Praxis, Forschung, Lehre und Verwaltung. Es wurden bereits zahlreiche Anwendungen zur Unterstützung der klinischen Versorgung, der Ausbildung und der Forschung entwickelt. Die Zahninformatik weist allmählich die Merkmale einer Disziplin auf: Es gibt eine Kernliteratur, ausgebildete Fachleute und Ausbildungsprogramme sind bereits vorhanden.

- Aufbau und Inhalt des Bachelor-Studiengangs Medizinische Informatik: Das Fach befähigt die Absolventinnen und Absolventen, selbstständig IT-Lösungen im medizinischen Bereich zu entwickeln, bildgebende Verfahren in Verbindung mit diagnostischen Verfahren zu realisieren oder die Verwaltung von Patientendaten zu organisieren. Dazu werden die Grundlagen der Informatik vermittelt. Dazu gehören z.B. Programmierung, Mathematik und Statistik, Algorithmen und Datenstrukturen oder die Entwicklung von Datenbanken. Auch Planungskompetenzen für die Entwicklung individueller Programme, das Software Engineering, werden vermittelt. Zur Grundausbildung gehören auch grundlegende Kenntnisse aus der Medizin, wie deren wichtigste Teilgebiete, aber auch Diagnose- und Therapiesysteme.
- Die Bachelor-Studie Analytische und digitale Forensik: Tragisches Schicksal oder Verbrechen? Natürlicher Tod oder Mord? - Bereits im 19. Jahrhundert löste Carl Remigius Fresenius einen aufsehenerregenden Mordfall, der zunächst gar nicht nach einem solchen aussah, indem er eine Vergiftung mit Arsen

12. Robotik

feststellte. Der Gründer der Fachhochschule Fresenius fühlte sich verpflichtet, "für Recht, Wahrheit und Wissenschaft einzutreten".

- und seine Arbeit hatte einen entscheidenden Einfluss auf die forensische Analyse.

Heute sind die Fragestellungen vielfältiger geworden und auch die Analytik ist viel vielfältiger als damals: Der moderne Analytiker kennt nicht nur die wissenschaftlichen Grundlagen, sondern ist vor allem in der digitalen Welt zu Hause. Ob Designerdrogen oder Cyberkriminalität, Umweltverschmutzung oder Hackerangriffe, Genanalyse oder Verschlüsselungstechnologien - moderne Analytik umfasst alle Schritte von der richtigen Fragestellung über die Datenerhebung, -verarbeitung und -analyse bis hin zur Interpretation der Ergebnisse im Hinblick auf verschiedene Fragestellungen.

Analytisches Denken und Handeln, eingebettet in einen wissenschaftlichen Ansatz, sind auch heute noch die Grundlage der Verbrechensbekämpfung. Dabei wachsen die reale und die digitale Welt immer enger zusammen - und erfordern Ermittler, die in beiden Welten zu Hause sind und sich zwischen ihnen bewegen können. Sie können dieser Ermittler werden: Studieren Sie Analytische und Digitale Forensik (B.Sc.) an der Hochschule Fresenius - wo die Forensik seit 1848 zu Hause ist!

In [58] werden 28 Studienprogramme vorgestellt.

Wenn man mit interessierten Menschen über dieses Problem spricht, stößt man oft auf Skepsis oder Ablehnung. Die verschwindet aber oft, wenn man erklärt, dass immer ein Arzt dabei ist. Und natürlich ist es überzeugend, wenn man dann einfach erklärt, dass der Roboter nicht müde wird, dass er 24 Stunden ohne Pause arbeiten kann, dass er nicht zittert, nichts übersieht, und vieles mehr.

12.2. Roboter helfen bei der Pflege

In Science-Fiction-Filmen kommen oft humanoide Roboter vor, die älteren Menschen im Alltag helfen. Sie bewegen sich frei in der Wohnung, spülen, kochen, putzen, helfen Pflegebedürftigen bei der Körperpflege - und können sogar Gespräche führen, ähnlich wie menschliche Pfleger.

In diesen fiktiven Szenarien wird meist der Eindruck erweckt, dass der technische Fortschritt zum Verlust der Menschlichkeit führt und irgendwann alles von Robotern erledigt wird. Tatsächlich ist genau das Gegenteil der Fall: Die Digitalisierung bringt wieder mehr Menschlichkeit in die Pflege.

Neben der immer wieder kritisierten schlechten Bezahlung von Fachkräften ist das größte Problem in der Pflege heute der Zeitfaktor. Gerade für ältere Menschen sind zwischenmenschliche Beziehungen von enormer Bedeutung. Es ist eine Sache, morgens beim Duschen unterstützt zu werden. Aber sich danach mit den Pflegenden über die eigenen Sorgen und Probleme (oder einfach nur über das Wetter) unterhalten zu können, ist etwas ganz anderes. Und genau für diese zwischenmenschliche Kommunikation fehlt meist die Zeit.

Dieses Problem kann durch die Digitalisierung der Pflege deutlich verringert werden. Das fängt bei so einfachen Dingen wie elektronischen Patientenakten, automatisierter Pflegedokumentation oder vernetzter Tourenplanung an. Gerade solche

12. Robotik

Verwaltungsaufgaben sind es, die in der Praxis viel Zeit in Anspruch nehmen. Auch für pflegebedürftige Menschen, die noch in ihren eigenen vier Wänden leben, gibt es eine Menge

des Potenzials der Telebetreuung. Schließlich ist ein 15-minütiges persönliches Gespräch besser als gar kein Kontakt.

Die Idee ist jedoch nicht, dass Roboter menschliche Pflegekräfte ersetzen, sondern sie vielmehr unterstützen. Das fängt bei einfachen Robotern an, die zum Beispiel den Boden reinigen können. Einen ganz anderen Ansatz verfolgen die Macher der Therapierobbe PARO, die speziell für Demenzkranke entwickelt wurde. Der Pflegeroboter Pepper hingegen, unterstützt Fachkräfte in Pflegeeinrichtungen bei der Tagesbetreuung. Er kann Witze erzählen, Märchen vorlesen, Musik abspielen, einfache Fitnessübungen demonstrieren usw. Inzwischen gibt es sogar Lösungen für Privathaushalte, wie den Home Care Robot von Medisana, der Videoanrufe ermöglicht, regelmäßig an Gesundheitstests erinnert und im Notfall schnell Hilfe herbeirufen kann.

"Bewegungsstörungen wie Zittern, Lähmungen oder Muskelspannungsstörungen betreffen viele Patienten, die an Schlaganfällen oder neurodegenerativen Erkrankungen wie Parkinson oder Multipler Sklerose leiden. Die exakte und reproduzierbare Erfassung der Bewegungseinschränkungen ist eine große Herausforderung in der Diagnostik und Therapieüberwachung, da hierfür erfahrene Ärzte benötigt werden, die nicht immer zur Verfügung stehen", erklärt Mathias Bähr, Direktor der Neurologischen Klinik an der Universitätsmedizin Göttingen.

An dieser Stelle setzt das Projekt "Deep Movement Diagnostics" an. Wir werden unser Fachwissen auf den Gebieten der Körper- und Augenbewegungen bei Menschen und Affen, der Neurophysiologie und klinischen Neurologie sowie der Prothetik und Robotik kombinieren", sagt Alexander Gail.

Mit modernsten digitalen Methoden sollen Geh- und Greifbewegungen mit bisher nicht realisierbarer Präzision gemessen und modelliert werden, um sie als Grundlage für Diagnoseinstrumente für individualisierte Therapieansätze, zum Beispiel bei Parkinson- oder Schlaganfallpatienten, zu nutzen. In diesem Zusammenhang spielen motorische Funktionsstudien an Affen eine wichtige Rolle; sie sind die Grundlage für die spätere Anwendung beim Menschen. "Unser Ziel ist es, ein kostengünstiges, einfach zu bedienendes System zu entwickeln, das flächendeckend für die Diagnose und Therapieüberwachung bei Bewegungsstörungen eingesetzt werden kann", sagt Projektleiter Alexander Gail.

"Einfache Handhabung und geringer Aufwand bei der Durchführung der Untersuchungen sind wichtige Faktoren, um die Patientenakzeptanz zu erhöhen", sagt Melanie Wilke, Leiterin des Instituts für Kognitive Neurologie. "Wir erwarten, dass die neuen videobasierten Methoden einen qualitativen Sprung gegenüber den derzeitigen klinischen Untersuchungstechniken darstellen."

Neben der reinen Diagnostik plant das Forscherteam, komplexe Bewegungsmuster bei gesunden Probanden und bei Affen zu untersuchen, um die neurophysiologischen Grundlagen von Bewegungsstörungen besser zu verstehen.

12.3. Weitere interessante Anwendungen

Im Herbst 2018 stellten Wissenschaftler der University of California in San Francisco in der Fachzeitschrift *Radiology* eine Pilotstudie mit tiefen künstlichen neuronalen Netzen vor, die Alzheimer im Durchschnitt sechs Jahre vor der endgültigen Diagnose erkennen können, basierend auf

Gehirnscans. Ärzte diagnostizieren die Alzheimer-Krankheit oft erst, wenn die ersten Symptome auftreten. Selbst erfahrenen Ärzten fällt es schwer, die kleinen Veränderungen im Gehirn, die im Frühstadium auftreten, zu erkennen und richtig einzuordnen. Deshalb könnte die KI-gestützte Erkennung einen wichtigen Beitrag zur Früherkennung und damit zur Behandlung leisten, sagte er. Das Netzwerk erreichte eine Sensitivität von 100 Prozent, bei einer korrekt-negativen Rate von 82 Prozent.

Im Jahr 2020 veröffentlichte das in Wien ansässige KI-Labor Deep Insight ein künstliches neuronales Netzwerk, das darauf trainiert ist, anhand von CT-Scans der Lunge zu klassifizieren, ob ein Patient an COVID-19 erkrankt ist, vorausgesetzt, das Virus hat die Lunge bereits befallen. Das Netzwerk unterscheidet zwischen durch COVID-19 verursachten Veränderungen in der Lunge, anderen pathologischen Befunden und dem Normalzustand (Abb. 12.4).

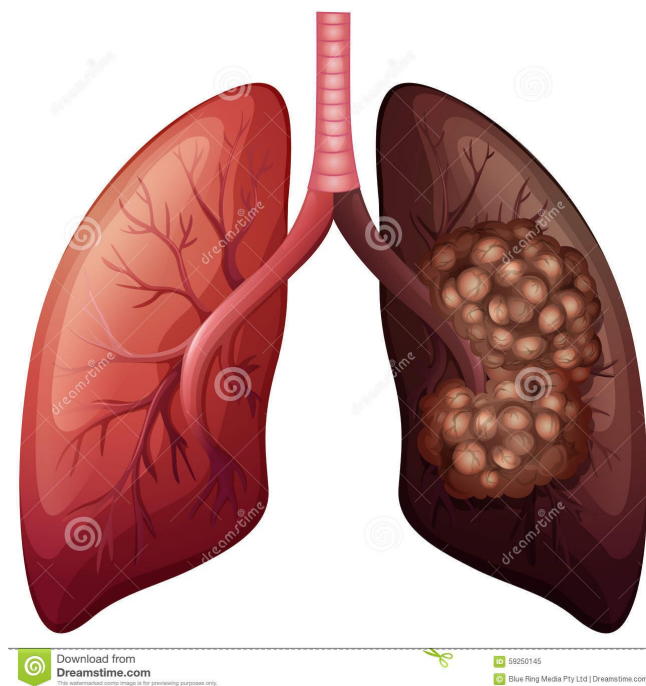


Abb. 12.4 Eine gesunde Lunge und eine von Krebs befallene Lunge

In der Augenheilkunde haben KI-basierte Ansätze gezeigt, dass sie Spezialisten bei einer Reihe von klinisch relevanten Aufgaben überlegen sind. Dazu gehören das Erkennen von Diagnosen auf der Grundlage von Netzhautbildern, die Berechnung der idealen Linsenstärke vor einer Kataraktoperation und das Erkennen von systemischen Risikofaktoren (z. B. Blutdruck) auf der Grundlage von augenärztlichen Bildern. In einem Kopf-an-Kopf-Vergleich zwischen Deep Learning und 13 menschlichen Spezialisten wurden 25.326 Fundusfotos (Fotos des Augenhintergrunds) von Diabetikern einer diagnostischen Bewertung der diabetischen Retinopathie unterzogen. Die Sensitivität des neuronalen Netzwerks lag bei 0,97 (0,74 für Spezialisten) und die Spezifität bei 0,96 (0,98). Das Projekt wurde als Demonstration herausragender menschlicher Leistungen im KI-Indexbericht 2019 als Meilenstein anerkannt. Interessanterweise wurde gezeigt, dass sogar das Geschlecht aus Farbfundusfotos mithilfe von KI identifiziert werden kann. Dies galt in Fachkreisen bisher als

unmöglich. In Folgearbeiten konnte gezeigt werden, dass KI-Anwendungen das Geschlecht identifizieren können.

aus feinen Unterschieden im Verlauf der Schiffe.

In der Kardiologie sind Algorithmen im Einsatz, die Langzeit-EKGs für einen Arzt auswerten und innerhalb von Sekunden wichtige Arrhythmien finden und auflisten. Für den medizinischen Laien gibt es niederschwellige mobile Anwendungen mit Algorithmen, die die Pulsfrequenz mittels Photoplethysmographie (ähnlich der Pulsoxymetrie) messen können. Herzrhythmusstörungen, insbesondere Vorhofflimmern, sind hier von Bedeutung, da sie das Schlaganfallrisiko erhöhen.

Mehrere Projekte zeigen, dass es bei der KI nicht immer darum geht, ob die Maschine besser ist als der Mensch, sondern dass der Arbeitsaufwand für die Diagnose durch Ärzte um fast 20 Prozent reduziert werden kann. So konnte beispielsweise im August 2016 am Medizinischen Institut der Universität Tokio das Computerprogramm IBM Watson eine Fehldiagnose der Ärzte korrigieren. Die Ärzte diagnostizierten bei dem Patienten eine akute myeloische Leukämie. Die Therapie war erfolglos, also baten sie Watson um Hilfe. Die KI benötigte 10 Minuten, um die DNA der Frau mit 20 Millionen Krebsstudien abzugleichen. Watson identifizierte eine sehr seltene Form der Leukämie, an der nur 41 Patienten erkrankt sind und die heilbar ist. Allerdings können die Behandlungsempfehlungen von IBM Watson auch fehlerhaft sein, etwa wenn zu wenig Trainingsdaten zur Verfügung stehen. Entsprechende Berichte über fehlerhafte Empfehlungen, deren Anwendung Patienten gefährdet, wurden 2018 von einem Medizinportal veröffentlicht. Die Fehlfunktion soll laut IBM in einer späteren Version behoben worden sein. Im Januar 2018 stellten Wissenschaftler der Stanford University ein Programm vor, das aus den Krankheitsdaten unheilbar kranker Patienten mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 Prozent berechnen kann, ob sie innerhalb der nächsten 3 bis 12 Monate sterben werden. Dies könnte unheilbar kranken Patienten helfen, ihre letzten Monate in Würde, ohne aggressive Behandlungsmethoden und möglicherweise zu Hause unter palliativer Betreuung zu verbringen, hieß es.

Die Armbanduhr Apple Watch zeichnet unter anderem die Herzfrequenz einer Person auf. Apple gab bekannt, dass die Programme eine 85-prozentige Wahrscheinlichkeit haben, Diabetes mellitus beim Träger der Armbanduhr anhand der Analyse der Herzfrequenz zu erkennen. Die Idee basiert auf der Framingham Heart Study, die bereits 2015 erkannte, dass Diabetes allein anhand der Herzfrequenz diagnostiziert werden kann. Zuvor war es Apple bereits gelungen, anhand der Herzfrequenz mit 97 Prozent Wahrscheinlichkeit einen abnormalen Herzrhythmus, mit 90 Prozent Schlafapnoe und mit 82 Prozent Hypertonie (Bluthochdruck) zu erkennen.

Forscher der Mount Sinai School of Medicine haben im Januar 2018 gezeigt, wie psychologische Interviewprotokolle mit Jugendlichen erkennen können, ob sie in den nächsten zwei Jahren eine Psychose entwickeln werden. Die Verarbeitung natürlicher Sprache half dabei, eine Genauigkeit von bis zu 83 Prozent bei standardisierten Tests zu erreichen, die beispielsweise auf desorganisierten Gedankengängen, ungeschickten Formulierungen, unklaren Assoziationen oder reduzierter Sprachkomplexität basieren. Die subtilen Unterschiede wurden nach dem Training mit vielen solchen Gesprächen deutlich, sagte er.

MIT-Forscher stellten im September 2018 ein Programm vor, das Depressionen bei

Patienten anhand von gesprochenem oder geschriebenem Text diagnostizieren kann. An sich stellen Ärzte und Psychologen den Patienten Fragen zu Lebensgewohnheiten, Verhaltensweisen und Befindlichkeiten, um anhand der Antworten eine Depression zu diagnostizieren. Nach dem Training mit solchen Interviews erkannte das Programm auch Depressionen aus Alltagsgesprächen mit einer Trefferquote von 83 Prozent.

und bei der Einstufung des Schweregrads einer Depression auf einer Skala von 0 bis 27 mit einer Trefferquote von 71 Prozent. Die KI könnte Ärzte unterstützen oder sie als App-Nutzer permanent überwachen, um im Notfall zu alarmieren. Die Forscher wollen in Zukunft auch Demenz anhand von Sprache erkennen.

Die Gesundheits-App **Babylon Health** soll nach Angaben des Herstellers in der Lage, mit Hilfe eines auf KI basierenden Sprachsystems (Chatbot) im Gespräch mit Patienten eine Diagnose zu stellen, die etwa zehnmal genauer ist als die Diagnose eines Hausarztes. Die Entwicklung der App wurde auch vom britischen Gesundheitssystem mitfinanziert. Ziel war es, damit die Kosten zu senken. Obwohl die App die Zahl der Arztbesuche deutlich reduzieren soll, fanden die Patienten schnell heraus, wie sie die App nutzen können, um schneller einen Arzttermin zu bekommen, indem sie die Symptome falsch beschreiben.

Die App **Ada** des Berliner Unternehmens **Ada Health** nutzt ein Programm, das die mit Diagnosen auf der Grundlage von Symptombeschreibungen. Laut Hersteller soll dies der Qualität von gut ausgebildeten westlichen Ärzten entsprechen. Die App **Ada** schickt unautorisierte Marketingfirmen wie **Amplitude** und **Adjust** mit Sitz in **San Francisco (USA)** und verwendet im Zuge der App-Nutzung regelmäßig persönliche Daten von **Facebook.com**, auch wenn Sie kein Facebook-Konto haben. Die App hat Auszeichnungen vom **MIT** erhalten und wird von der **Bill & Melinda Gates Foundation** finanziert. Für 2019 kündigte **Ada Health** eine Zusammenarbeit mit **Sutter Health** an. Vor allem in Entwicklungsländern, in denen es an medizinischem Personal mangelt, kann die App beim Aufbau eines Gesundheitssystems helfen. Geräte oder Software, die künstliche Intelligenz nutzen, müssen in Europa als Medizinprodukte CE-gekennzeichnet und in den USA von der **FDA** zugelassen sein. Ein Vergleich zwischen den U.S.A. und Europa von 2015 bis 2020 ergab eine rasch steigende Zahl von Zulassungen, wobei die CE-Kennzeichnung zahlenmäßig leicht überwiegt (2019: 79 in den USA, 100 in der EU). Häufig erfolgt die CE-Kennzeichnung vor der FDA-Zulassung, was auf ein weniger strenges Verfahren hindeuten kann. Der Schwerpunkt liegt auf der Radiologie. Nur 15 der Produkte richten sich direkt an Privatpersonen (Patienten), der Rest an Fachleute (Ärzte). In diesem Zeitraum betreffen nur 1 % der Zulassungen die höchsten Risikoklassen, z. B. solche für die Diagnose von Brustkrebs[46].

Die Autoren der Studie stellen fest, dass es in Europa noch mehr als in den USA an Transparenz bei der Beschreibung der Geräte und dem Bewertungsprozess mangelt. Darin spiegelt sich die ethische Verantwortung der Regulierungsbehörden ebenso wider wie die der Hersteller. Eine öffentlich zugängliche Datenbank für CE-gekennzeichnete Geräte und Software wird ebenfalls dringend empfohlen.

Geräte oder Software, die künstliche Intelligenz nutzen, müssen in Europa als Medizinprodukte CE-gekennzeichnet und in den USA von der **FDA** zugelassen sein. Ein Vergleich zwischen den USA und Europa von 2015 bis 2020 ergab eine rapide steigende Zahl von Zulassungen, wobei die CE-Kennzeichnung zahlenmäßig leicht überwiegt (2019: USA 79, EU 100). Häufig erfolgt die CE-Kennzeichnung vor der FDA-Zulassung, was auf einen weniger strengen Prozess hindeuten kann. Der Schwerpunkt liegt auf der Radiologie. Nur 15 % der Produkte richten sich direkt an

Privatpersonen (Patienten), der Rest an Fachleute (Ärzte). In diesem Zeitraum entfallen nur 1 % der Zulassungen auf die höchsten Risikoklassen, z. B. für die Diagnose von Brustkrebs[46].

Mehr noch als in Amerika stellen die Autoren der Studie in Europa einen Mangel an Transparenz bei der Gerätebeschreibung und dem Bewertungsprozess fest. Dies spiegelt die

ethische Verantwortung der Regulierungsbehörden und der Hersteller. Eine öffentlich zugängliche Datenbank mit CE-gekennzeichneten Geräten und Software wird ebenfalls dringend empfohlen.

Der Nutzer möchte die Gründe für eine algorithmische Entscheidung verstehen. Im Bereich der Künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens sind Algorithmen oft völlig undurchsichtig ("Black Box"), typischerweise bei neuronalen Netzen und den entsprechenden Lernmethoden. Um dem entgegenzuwirken, entwickelte sich der Bereich der erklärbaren künstlichen Intelligenz. Im Gesundheitswesen werden vertrauenswürdige Modellentwickler, umfangreiche externe Validierung durch Studien und standardisierte Bewertungsverfahren diskutiert.

Boris Babic von der Universität Toronto wendet ein, dass erklärbare künstliche Intelligenz oft nur post-hoc Erklärungen für Black-Box-Algorithmen liefern würde. Diese Erklärungen seien nicht zuverlässig und könnten den Benutzer in die Irre führen. Echte White-Box-Algorithmen, die tatsächlich nachvollziehbare Erklärungen liefern, seien dagegen in ihrer Komplexität deutlich begrenzt und daher für viele Anwendungsfälle kaum geeignet. Er hält es daher für einen Fehler, die Erklärbarkeit von Algorithmen z.B. als Zulassungsvoraussetzung vorzuschreiben, da dies kaum Vorteile bietet, sondern Innovationen bremst und zum Einsatz von Algorithmen mit geringerer Genauigkeit führt. Stattdessen sollten Algorithmen verstärkt in klinischen Studien getestet werden, um ihre Wirksamkeit und Sicherheit zu gewährleisten.

In der pharmazeutischen Forschung hat sich das automatisierte Hochdurchsatzscreening als Methode etabliert, um sogenannte Hits und damit Kandidaten für Leitstrukturen zu finden. Britische Forscher der University of Cambridge haben die Automatisierung weiterentwickelt. Der Forschungsroboter Eve, der 2015 im Journal of the Royal Society Interface vorgestellt wurde, nutzt statistische Modelle und maschinelles Lernen, um Annahmen zu erstellen und zu prüfen, Beobachtungen zu testen, Experimente durchzuführen, Ergebnisse zu interpretieren, Hypothesen zu ändern und dies immer wieder zu wiederholen. Auf diese Weise könne der Roboter vielversprechende Verbindungen vorhersagen und den Prozess der Suche nach Leitstrukturen effizienter gestalten. Mithilfe dieses Roboters fanden die Forscher 2018 heraus, dass Triclosan, das auch in Zahnpasta verwendet wird, Malariainfektionen in zwei kritischen Stadien, dem Befall von Leber und Blut, bekämpfen kann. Mit der Entdeckung durch KI könnte nun ein neues Medikament entwickelt werden.

Das neue Coronavirus Sars-CoV-2 beschäftigt nun auch die künstliche Intelligenz. Sie soll helfen, Infektionen mit dem Virus auf Röntgenbildern der Lunge zu erkennen. Davon ist zumindest der Radiologe Haibo Xu vom Zhongnan-Krankenhaus in Wuhan überzeugt - der Stadt, in der das Virus wahrscheinlich zuerst auf den Menschen übersprungen ist. Jetzt will ein Team testen, ob und wie die Software dem medizinischen Personal helfen kann, neue Fälle zu diagnostizieren. Das Virus ist neu, die Idee jedoch nicht: Im vergangenen Jahr entwickelten deutsche Wissenschaftler einen Algorithmus, der schwarzen Hautkrebs besser erkennen konnte als Ärzte im direkten Vergleich. Ähnliche Ergebnisse gab es bereits 2017 in den USA. In anderen Studien wurde künstliche Intelligenz erfolgreich eingesetzt, um Gewebeproben auf

Brustkrebs und Röntgenbilder auf Lungenentzündung zu analysieren. Schwarzer Hautkrebs ist auch als malignes Melanom bekannt. Zu viel Sonne oder ultraviolettes (UV-)Licht kann das Risiko für schwarzen Hautkrebs erhöhen. Menschen mit heller Haut oder einer besonders großen Anzahl von Muttermalen haben ein erhöhtes Risiko für schwarzen Hautkrebs (Abb. 12.5).



Abb. 12.5 Schwarzer Hautkrebs

13. Künstliche Intelligenz in Finanzen

Anders als in der Physik und vielen Ingenieurwissenschaften gibt es für die Finanzwirtschaft keine geschlossene mathematische Theorie, aus der man alle Regeln und Gesetze ableiten kann. Formeln und Gleichungen gibt es nur für kleine, singuläre Aufgabenstellungen.[17] Man hat immense Datenmengen und versucht, daraus zukünftige günstige oder ungünstige Entwicklungen abzuleiten. Die Digitalisierung aller für die Finanzwelt verfügbaren Informationen und deren sofortige Verfügbarkeit über das Internet dominieren als Grundlage für alle Entscheidungen.

Bei den Aktien sind dies zum Beispiel der DAX, der Dow Jones, der TecDax und der Nasdaq. Bei den Rohstoffen werden die Preise für Gold, Silber, Erdöl und Erdgas angegeben. Die Website <https://www1.oanda.com/currency/converter/> zeigt die Kurse für alle Währungen, die es gibt und die gehandelt werden können. Dann gibt es eine Rubrik HotStuff; diese Tabelle

listet die meistgesuchten Aktien des Tages mit ihren Gewinnen und Verlusten auf. Schon die Titelleiste zeigt die Breite der Informationen: Aktien, Nachrichten, Indizes, Fonds, ETFs, Zertifikate, Hebelprodukte, Anleihen, Rohstoffe, Kryptowährungen und Devisen.

Die künstliche Intelligenz wird weltweit als vielversprechende Innovation für den Finanzsektor angesehen. Hier ist man sicherlich etwas zurückhaltender mit Veröffentlichungen, denn natürlich ist ein effektives System auf der Basis neuronaler Netze in der Branche sehr vorteilhaft. Auf jeden Fall werden neuronale Netze und die damit realisierbaren Systeme eine große Rolle spielen, vor allem wegen der Datenmengen, die über viele Jahre hinweg zur Verfügung stehen werden. Dies wird auch dazu beitragen, Betrug vorzubeugen und ressourcenintensive, sich wiederholende Prozesse und Kundenservices zu automatisieren, ohne dass die Qualität darunter leidet: Banken und Versicherer aus der DACH-Region haben das Potenzial von künstlicher Intelligenz in Zeiten der Digitalisierung erkannt, nutzen es aber noch nicht flächendeckend. Obwohl die Mehrheit der Befragten (62 Prozent) künstliche Intelligenz für eine wichtige Innovation hält, die in den nächsten fünf Jahren im Finanzsektor an Bedeutung gewinnen wird, gibt es noch eine deutliche Diskrepanz zwischen der Vision und dem Ist-Zustand. Derzeit sehen nur neun Prozent der Entscheider ihr Unternehmen digital sehr gut auf den Einsatz von KI-Technologien vorbereitet. Banken und Versicherungen fangen gerade erst an, sich mit konkreten Anwendungsbereichen für diese rasant fortschreitende Technologie zu beschäftigen. Zwischen den Erwartungen und der Umsetzung klafft eine große Lücke. Es gibt viele KI-Pilotprojekte bei Finanzunternehmen - aber nur den wenigsten gelingt es, diese Ideen in das operative Tagesgeschäft zu überführen. Selbst Unternehmen, die selbst bereits über KI-Expertise verfügen, wissen oft nicht, wie sie das Thema sinnvoll

angehen können[90].

Derzeit betrachten Versicherer und Banken in der DACH-Region (Deutschland, Österreich, Schweiz) den möglichen Einsatz von KI-Lösungen in erster Linie aus einer konventionellen Geschäftsperspektive.

Perspektive: 79 % der Befragten wollen Geschäftsprozesse digital effizienter gestalten, fast drei Viertel wollen generell Kosten sparen (73 %), und jedes zweite Unternehmen erwartet, dass KI eingesetzt wird, um die Einhaltung aller bestehenden Vorschriften zu gewährleisten (50 %). Aber auch für neue Bereiche, wie Chatbots, Automatisierung und Predictive Marketing, setzt bereits etwas mehr als die Hälfte der Befragten (55 %) die neue Technologie ein. Viele andere Möglichkeiten bleiben jedoch ungenutzt: So kann beispielsweise die Komplexität von Risikobewertungen und Entscheidungshilfen im Controlling durch Automatisierung stark reduziert werden, wenn die zugrunde liegenden Daten wirklich intelligent analysiert werden.

Um mit dem europäischen Durchschnitt gleichzuziehen, prüfen viele Finanzunternehmen derzeit, welche neuen Projekte sich besonders für den Einsatz von KI eignen. Doch selbst wenn diese identifiziert und definiert sind, ist der Weg bis zur Umsetzung oft noch lang: 69 % der befragten Unternehmen nennen den Mangel an verfügbaren Daten als Hindernis für die Anpassung. Gut zwei Drittel der befragten Unternehmen kämpfen zudem mit Budgetrestriktionen und unzureichenden Finanzmitteln für entsprechende Projekte (67 %), und 64 % der Unternehmen fehlen schlichtweg Mitarbeiter mit Fachwissen, um Fragen zur Etablierung von KI zu beantworten:

- Welcher Geschäftsbereich bietet einen geeigneten Einstiegspunkt für die Einführung von KI-Projekten im operativen Bereich?
- Welche Abteilung finanziert den Integrationsprozess?
- Sind KI-bezogene Projekte als Teilbereich der IT zu betrachten oder als strategisch relevantes Thema auf eigenständige Managementstrukturen angewiesen?[90]

Daten sind in einigen Teilbereichen seit fast 100 Jahren mehr als reichlich vorhanden. Das Problem besteht darin, sie alle in einem System zu erfassen, und zwar in einer angemessenen Zeit und mit einem angemessenen Aufwand. Ob ein Gremium geschaffen werden kann, das bankenübergreifend an diesen Problemen arbeitet, ist derzeit noch nicht klar. Normalerweise befinden sich die verschiedenen Banken in einer Wettbewerbssituation. Eine Zusammenarbeit würde jedoch das Problem der Ressourcen klären. Unabhängige Managementstrukturen sind auf jeden Fall zu empfehlen, da die IT-Abteilungen ohnehin schon mit allen Problemen des Online-Banking beschäftigt sind. Gelingt es einer großen Bank jedoch, diese Probleme zu überwinden, hätte sie einen großen Vorteil gegenüber ihren Konkurrenten.

Die Studie zeigt auch, dass der Einsatz von KI im Tagesgeschäft und in etablierten Prozessen, zum Beispiel im Hinblick auf Personalisierung oder neue Geschäftsmodelle, für Finanzdienstleister bisher eine vergleichsweise geringe Priorität hat. Zudem ist die oft noch geringe allgemeine Verständlichkeit im Finanzsektor eine nicht zu unterschätzende Hürde. Klassische mathematische Anwendungen lassen sich noch mit einem vergleichsweise einfachen Algorithmus abbilden, aber geschlossene Modelle wie tiefe neuronale Netze sind deutlich anspruchsvoller und damit schwerer

13. Künstliche Intelligenz im

zu durchdringen. ~~Finanzwesen~~ ^{Finanz} ergibt sich ein weiteres Problem: Der Finanzdienstleistungssektor ist stark reguliert. Unternehmen sind verpflichtet, ihre Prozesse und Entscheidungen gegenüber Aufsichtsbehörden detailliert zu erläutern

und interne Prüfer. Hier gilt KI immer noch als Blackbox-Technologie, weshalb viele Unternehmen hier zurückhaltend agieren, und das nicht nur im Bankwesen.

Ein weiterer großer Bereich, der durch KI revolutioniert werden könnte, ist die Risikobewertung [91]. Dies ist in vielen Bereichen des Finanzwesens von enormer Bedeutung. KI-Systeme können auf eine Vielzahl von Informationen zurückgreifen, um das Ausfallrisiko von Krediten zu berechnen. Algorithmen können aus Fällen von Kreditentscheidungen und dem Rückzahlungsverhalten von Kunden lernen, daraus Muster erkennen und Profile erstellen. Wird ein neuer Kreditantrag gestellt, vergleicht das System die Daten des Kunden, sucht nach Mustern und stuft seine Kreditwürdigkeit auf der Grundlage der Analyse ein. Die Prüfung kann für Kreditentscheidungen genutzt werden. Die maschinelle Überprüfung bringt nicht nur Erkenntnisse und mehr Sicherheit. Sie kann auch als Argument für die Ablehnung eines Kredits verwendet werden. Die endgültige Entscheidung bleibt beim Kreditgeber. Der Kreditgeber erhält jedoch die Möglichkeit, eine schnelle und datengestützte Entscheidung zu treffen.

Auch in der Marktforschung kann künstliche Intelligenz ein mächtiges Werkzeug sein. Nachrichten aus aller Welt, Medienaktivitäten und Studien können ausgewertet werden, um Prognosen zu erstellen und Investitionstrends frühzeitig zu erkennen. Mit Hilfe solcher Analysetools können geopolitische Ereignisse berücksichtigt und die Stabilität der Märkte eingeschätzt werden. Aus den Analysen lassen sich Bewertungen für Wertpapiere erstellen und den Mitarbeitern für ihre Entscheidungen zur Verfügung stellen. Leistungsfähige Systeme können diese Einschätzung in Echtzeit vornehmen, was ein großes Potenzial für den Hochfrequenzhandel an der Börse birgt.

Know-Your-Customer-Programme können künstliche Intelligenz nutzen, um neue Kunden zu prüfen.

tomers. Die Algorithmen erkennen verdächtige Muster und Aktivitäten und können auf Geldwäsche und Wirtschaftskriminalität hinweisen. Die Vorabprüfung von Kunden ist für viele Unternehmen und Institutionen des Finanzsektors ein entscheidender Schritt. Daher wird viel Zeit und Energie in die Recherche und Überprüfung investiert. Ein weiteres Beispiel ist die Schadensregulierung in der Versicherungsbranche. KI-Systeme können mit Daten aus einer großen Anzahl von Versicherungsfällen, insbesondere Betrugsfällen, trainiert werden. Auffällige Fälle können markiert und den Mitarbeitern zur weiteren Prüfung vorgelegt werden.

Die Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht hat am 15. Juni 2021 aufsichtsrechtliche Grundsätze für den Einsatz von Algorithmen in Entscheidungsprozessen von Finanzunternehmen veröffentlicht. Sie sollen zu einem verantwortungsvollen Umgang mit Big Data und Künstlicher Intelligenz (BDAI) führen und das damit verbundene Risiko beherrschbar machen. Hintergrund des Grundsatzpapiers: Technologien wie BDAI werden zunehmend auch von Unternehmen im Finanzmarkt genutzt. Bereits 2018 hatte die BaFin in ihrer Studie "Big Data meets Artificial Intelligence" darauf hingewiesen, dass sich daraus Chancen für Unternehmen, aber auch für Verbraucher ergeben, aber auch die Risiken, die BDAI-Anwendungen mit sich bringen, beherrscht werden müssen. [122] In dieser Hinsicht besteht ein grundsätzliches Problem bei allen regulatorischen Fragen rund um

13. Künstliche Intelligenz im

BDAI: Es ist nach wie vor schwierig, BDAI-Verfahren von Verfahren der klassischen Statistik zu unterscheiden. Aus der Risikoperspektive lassen sich jedoch drei Merkmale identifizieren, die bei modernen BDAI-Verfahren von besonderer Bedeutung sind:

- Erstens sind die verwendeten Algorithmen oft besonders komplex im Vergleich zu klassischen

statistische Methoden. Dies erschwert oder verhindert ihre Rückverfolgbarkeit.

- Zweitens sind immer kürzere Rekalibrierungszyklen zu beobachten. Dies ist auf die Kombination von ständig lernenden Algorithmen und der Tatsache zurückzuführen, dass fast täglich neue Daten zur Verfügung stehen. Dadurch verschwimmen die Grenzen zwischen Kalibrierung und Validierung zunehmend. Drittens erhöht der Einsatz von BDAI-Methoden den Grad der Automatisierung. Dadurch lassen sich Prozesse immer leichter skalieren, und die Wirkung des einzelnen Algorithmus nimmt zu.

Um die Grundsätze so präzise wie möglich formulieren zu können, wurde der auf Algorithmen basierende Entscheidungsprozess stark vereinfacht in zwei Phasen unterteilt: die Entwicklungsphase und die Anwendungsphase.

In der Entwicklungsphase geht es darum, wie der Algorithmus ausgewählt, kalibriert und validiert wird. Hierfür gibt es Grundsätze zur Datenstrategie und zur Dokumentation der internen und externen Nachvollziehbarkeit. In der Anwendungsphase müssen die Ergebnisse des Algorithmus interpretiert und in Entscheidungsprozesse integriert werden. Dies kann automatisch geschehen, aber auch durch die kontinuierliche Einbeziehung von Experten. In jedem Fall müssen funktionierende Verfahrensregeln etabliert werden, einschließlich ausreichender Kontrollmechanismen und entsprechender Rückkopplung zur Entwicklungsphase. Flankiert werden diese beiden Phasen von übergreifenden Grundsätzen, zum Beispiel zur Notwendigkeit einer klaren Verantwortungsstruktur und eines adäquaten Risiko- und Outsourcing-Managements.

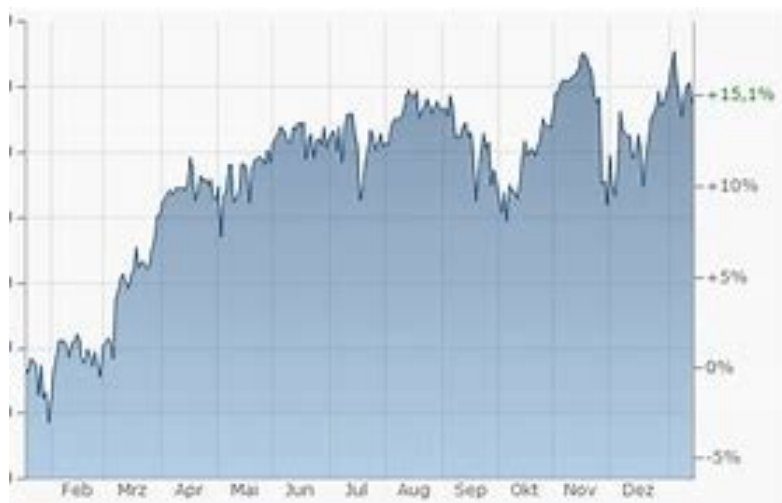


Abb. 13.1 Diese Informationen über den DAX werden in Echtzeit angeboten

Hier sehen Sie den Übergang zur Theorie der fraktalen Systeme. Die DAX - Kurven sind selbstähnlich. Die Kurven sehen immer gleich aus, egal ob die Werte täglich, wöchentlich, monatlich oder jährlich aufgetragen werden. Diese Übertragung der Theorie der Fraktale auf das Finanzwesen geht auf Benoît Mandelbrot zurück (Abb. 13.2). In einer Gründungsserie für das renommierte Journal Quantitative Finance fasste er seine Sicht auf die Märkte zusammen. Hier beschrieb er ein fraktales

13. Künstliche Intelligenz im

rekursives Konstruktionsverfahren für Preiszeitreihen, das Trends rekursiv in kleinere Trends zerlegt (Abb. 13.1).

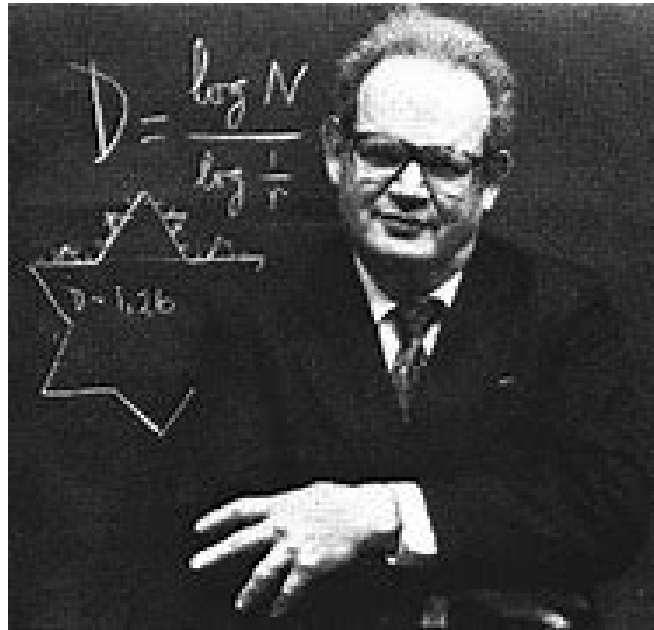


Abb. 13.2 Benoît Mandelbrot (1924 - 2010)

Die Beantwortung der Frage, was ein Trend ist, scheint nicht schwierig zu sein. Mathematisch gesehen ist es jedoch nicht so einfach. Wenn man Trends definieren will, muss man zwei Dinge festlegen: die genaue Messmethode sowie die Skala, die zur Messung verwendet wird. Der gleitende Durchschnitt (auch gleitender Mittelwert) ist eine Methode zur Glättung von Zeit- oder Datenreihen. Die Glättung erfolgt durch das Entfernen von Komponenten mit höherer Frequenz. Als Ergebnis wird ein neuer Datenpunktsatz erstellt, der aus den Durchschnitten gleich großer Teilmengen des ursprünglichen Datenpunktsatzes besteht.

$$m(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x(t-i).$$

Für viele Werte aus dem Börsenalltag werden die Werte $n = 38$ für einen Monat und $n = 200$ für ein halbes Jahr gewählt. Starke Ausschläge der Werte nach oben und unten können sich gegenseitig kompensieren, wenn sie gleich häufig auftreten und etwa die gleiche Größe haben. Die strukturierte monatliche Anlage in Aktien, die in der Vergangenheit im Kurs gestiegen sind, erscheint hier deutlich. Offensichtlich nutzt dieser Effekt überlange Trends in realen Daten aus. [123] Analog dazu können auch Aktienkurse als fraktal angenommen werden. Mandelbrot verallgemeinert 1968 zusammen mit van Ness das für die Finanzmathematik grundlegende Modell des Random Walk, in dem er neben dem Wachstum der Renditen (Drift) und deren Schwankung (Volatilität) einen weiteren Parameter, den sogenannten Hurst-Exponenten, einführt. Dieser Parameter kann zur Beschreibung des Skalierungsverhaltens von Preisen verwendet werden. Dabei werden die Werte $< 0,5$ kann als Mean Reversion interpretiert werden, während Werte $> 0,5$ als Trending verstanden werden können. Nur im Grenzfall, wenn der Hurst-Exponent gleich 0,5 ist, kann man von effizienten Märkten sprechen. In diesem Fall wäre die Zeitreihe statistisch trendfrei, d. h. sie hätte keinen Bezug zur Vergangenheit.

13. Künstliche Intelligenz im Finanzwesen

Gegen Ende seiner Karriere skizziert Mandelbrot ein Konstruktionsprinzip für Trends, das dem Konstruktionsprinzip der Fraktale folgt. Ausgehend von einem Haupttrend wendet er eine Unterteilungsregel an, die diesen Haupttrend in drei kleinere Trends unterteilt. In einem nächsten Schritt werden diese kleineren Segmente wiederum in noch kleinere Trends zerlegt. Das Ganze führt zu einem Fraktal, in dem Trends durch kleinere Trends beschrieben werden können (Abb. 13.3).



Abb. 13.3 Durchschnittliche Trendlängen

In einem Artikel [124] wird gezeigt, dass bekannte Faktorstrategien wie Momentum (stark steigende Aktien), Low Volatility (schwach schwankende Aktien) und Value (Aktien, die aufgrund wirtschaftlicher Kennzahlen als günstig gelten), durch systematische trendbasierte Strategien beschrieben und ersetzt werden können. Dazu wird für alle Aktien nur der letzte sichtbare Trend ausgewertet und dann nach Steigung sortiert. Die Unterschiede in den Strategien lassen sich durch unterschiedliche Wavelet-Skalen beschreiben, die zur Berechnung der letzten sichtbaren Trends verwendet werden.

Diese Betrachtung von Anlagestilen (Faktorinvestments) ist auch nahezu vollständig, d.h. man kann mit diesen Anlagestilen Markttrenditen mit hoher statistischer Güte beschreiben. Diese Stile sind zudem in unterschiedlichen Marktregimes dominant, d.h. sie generieren in unterschiedlichen Phasen Überrenditen. So sind beispielsweise Investitionen in defensive Aktien attraktiv, wenn sich der Markt in einer Abwärtsphase befindet, während Value oft sehr hohe Renditen erzielt, wenn die Märkte als billig gelten und die Marktteilnehmer eine Kurserholung erwarten. Bei Momentum hingegen spielen die Gewinnrevisionen der Unternehmen eine dominierende (aber nicht ausschließliche) Rolle.

- Der Aufstieg der künstlichen Intelligenz erfordert ein neues Denken und neue Inhalte für die Finanzausbildung. KI-Experten sind bereits Mangelware; Finanzunternehmen konkurrieren mit technologiebasierten Unternehmen, Start-ups und anderen Bereichen. Die Anwendung effizienter Algorithmen führt zu Gewinnen, die höher sind als der allgemeine Marktpreis.
- Die algorithmische Kreditwürdigkeitsprüfung kann Kreditentscheidungen unterstützen

13. Künstliche Intelligenz im
oder vollständig automatisieren.

13. Künstliche Intelligenz im Finanzwesen

- Algorithmen können ungewöhnliche Muster erkennen und helfen, Betrug zu erkennen oder sogar zu verhindern.
- Algorithmen können so trainiert werden, dass sie den Derivatehandel optimal ausführen.
- Algorithmen können für die Gestaltung und Verwaltung von Fonds für den Ruhestand verwendet werden.

Die Algorithmen arbeiten aufgrund der folgenden Faktoren besser und effektiver als Menschen:

- Es ist möglich, große Datenmengen zu bewältigen.
- Die Instabilität der Finanzmärkte folgt keinen festen Gesetzen.
- Viele der auftretenden Beziehungen sind nichtlinear. Winzige Veränderungen in den Ausgangsdaten können zu erheblichen Veränderungen auf dem Markt führen.
- Die hohe Dimensionalität vieler Probleme kann durch Programme bewältigt werden.
- Die traditionelle Ökonometrie befasst sich hauptsächlich mit Regressionsproblemen. Klassifizierungsprobleme können jedoch viel besser durch Lernverfahren gelöst werden.
- Die Lerntechniken der künstlichen Intelligenz können strukturierte und unstrukturierte Daten gleichzeitig verarbeiten.

Ein wichtiger Fortschritt bei der Hardware war die Entwicklung von Grafikprozessoren (GPU). GPUs übernehmen die Berechnungen für 2D- und 3D-Grafiken. Dies entlastet die CPU (Central Processor Unit). Diese kümmert sich um alle Rechenaufgaben, die nichts mit Grafik zu tun haben. Im Vergleich zu GPU und CPU ist eine GPU in der Regel auf sehr vielen Rechenkernen aufgebaut, um viele Aufgaben gleichzeitig erledigen zu können. Die Berechnung von einzelnen Pixeln ist im Vergleich dazu nicht sehr komplex, aber Millionen von Pixeln müssen gleichzeitig berechnet werden. Der Grafikprozessor wird entweder direkt auf der CPU, auf der Hauptplatine oder als Einsteckkarte für den Computer installiert. Es können auch mehrere GPUs auf einer Steckkarte installiert werden - zum Beispiel die PowerColor Radeon R9. Heute teilen sich drei große Hersteller den Markt für die Produktion von GPUs: Intel, AMD und Nvidia.

Für die Zukunft werden drei Möglichkeiten genannt.

- Das **Monopol**: Ein Finanzinstitut erlangt eine marktbeherrschende Stellung, weil es als erstes in der Lage ist, hochwertige KI-Methoden als erstes anzuwenden.
- Das **Oligopol**: eine Marktform, die durch wenige Marktteilnehmer gekennzeichnet ist. An den folgenden Problemen wird derzeit intensiv

gearbeitet:

- *Datenschutz*: Die groß angelegte Anwendung von KI-Methoden erfordert die Verwendung privater Daten. Dies birgt das Risiko, dass Daten gestohlen oder missbräuchlich verwendet werden.

13. Künstliche Intelligenz im Finanzwesen

- *Verzerrung*: Die Algorithmen können diese Merkmale übernehmen, wenn sie bereits in den Daten vorhanden sind.
- *Die Erklärbarkeit* der Ergebnisse ist ein großes Problem. In einigen Fällen wird sie von den Investoren verlangt, in anderen ist sie gesetzlich vorgeschrieben. Obwohl in diesem Bereich intensiv geforscht wird, sind derzeit keine Fortschritte zu erkennen.
- *Gewöhnungseffekt*: Dieser Effekt kann auftreten, wenn viele das Gleiche tun. Diesbezüglich kann man die Materialien zur Finanzkrise 2008 studieren. Eine ähnliche Situation kann eintreten, wenn viele Unternehmen die gleichen oder ähnliche Programme verwenden.
- Die Rechtsprechung und die Finanzpolitik müssen mit diesen Entwicklungen Schritt halten und dürfen ihnen nicht hinterherhinken.

14. Künstliche Intelligenz und Bildung

14.1. Ausbildung von KI-Fachleuten

Das Hauptproblem bei der Entwicklung intelligenter Systeme ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Institutionen, um eine kritische Masse an Ressourcen und Wissen zu erreichen. Abgesehen von der Hardware bleibt das Problem, dass es in einem bestimmten Bereich, in dem man intelligente Systeme einführen will, genügend Experten gibt, die die Probleme des Bereichs in einer für die Informatik geeigneten Weise modellieren und programmieren können. Darüber hinaus muss die Einführung solcher Systeme sehr umsichtig erfolgen. Sehr schnell kommt man in die Situation, dass das alte System nicht mehr da ist, das neue aber noch nicht funktioniert. Das kann eine verlustbringende Situation sein.

Das DFKI nimmt hier eine gute Position ein [92]. Es bietet zum Beispiel das folgende Zertifikat an:

"Künstliche Intelligenz (KI), maschinelles Lernen und autonome Systeme werden die Entwicklung von Unternehmen in den kommenden Jahren entscheidend beeinflussen. Was bedeutet das für Ihr eigenes Unternehmen? Kann KI genutzt werden, um die zukünftige Wertschöpfung eines Unternehmens zu unterstützen? Welche KI-Konzepte, welche Grundlagen, Methoden und konkreten Anwendungen verbergen sich hinter den oft strapazierten Buzzwords? Welche Grundlagen müssen Sie beherrschen, mit welchen Forschungsinstituten und Unternehmen können Sie im Bereich der Künstlichen Intelligenz zusammenarbeiten und wo gibt es bereits erfahrene Beispiele guter Praxis? Antworten auf diese Fragen gibt der bisher einmalige Zertifikatskurs "Ausbildung zum KI-Manager" in Berlin - die erste Ausbildung im Bereich der Künstlichen Intelligenz mit Zertifikat."

Der praxisorientierte Zertifikatskurs wird von führenden Experten des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz DFKI, SAP, IBM Watson und ausgewählten Partnerinstitutionen durchgeführt.

Der Kurs wird in einer digitalen Lernumgebung durchgeführt. Die Teilnehmer können thematische Schwerpunkte setzen und diese mit den Dozenten in den jeweiligen Modulen diskutieren und bearbeiten. Die Wissensvermittlung wird durch vielseitige praktische Übungen und Gruppenarbeiten abgerundet und sichergestellt. So werden die Teilnehmer in die Lage versetzt, das erworbene Wissen im eigenen Unternehmensalltag anzuwenden. Nach erfolgreichem Abschluss der Prüfung erhalten die Teilnehmer ein persönliches Bitkom-Zertifikat.

Der berufsbegleitende Zertifikatskurs "Ausbildung zum KI-Manager" besteht aus fünf

Modulen

in dem den Teilnehmern die Grundlagen der Künstlichen Intelligenz und der hybriden Wertschöpfung durch Heuristiken, wissensbasierte Systeme und maschinelles Lernen vermittelt werden. Anwendungsbeispiele zu Künstlicher Intelligenz und Praxiserfahrungen aus Forschung und Entwicklung sowie aus Unternehmen und Startups sind fester Bestandteil der Ausbildung. Die Teilnehmer testen KI-Dienste im Internet, reflektieren diese vor dem Hintergrund ihrer eigenen Geschäftsfelder und werden befähigt, Anwendungsfälle zur Generierung von KI-basierter hybrider Wertschöpfung für das eigene Unternehmen zu entwerfen und kritisch zu reflektieren.

Die fünf Module der AI-Manager-Schulung:

- Was ist Künstliche Intelligenz: Geschichte, Beispiele, Gesellschaft, Ethik (2 Tage).
- Grundlagen und Voraussetzungen der KI: Methoden, Werkzeuge, praktische Übungen, maschinelles Lernen, Data Mining (2 Tage)
- Hybride Wertschöpfung durch KI - Grundlagen, Methoden. Anwendungen Industrie 4.0 und Smart Services (1 Tag)
- Künstliche Intelligenz in Forschung und (Geschäfts-)Anwendung. Cognitive AR, Retail Solutions, Watson, Leonardo (2 Tage).
- Entwicklung von Geschäftsfeldern, Veränderung der Unternehmenskultur, Gestaltung von Transformationsprozessen (1 Tag).

Die Industrie- und Handelskammer (IHK) hält über die IHK-Akademie in München und Oberbayern sowie über die verschiedenen regionalen Standorte eine Reihe von Angeboten zur technischen Aus- und Weiterbildung bereit - darunter auch KI und Themen rund um den Umgang mit Daten. Die IHK Region Stuttgart hat bereits zu einer Reihe von Workcamps und anderen Veranstaltungen zu KI im Jahr 2019 eingeladen.

Die Industrie- und Handelskammer Rhein-Neckar hat sich mit KI und Analyseplattformen sowie "From Big Data to Smart Data" beschäftigt. Der Arbeitskreis Künstliche Intelligenz (AKKI) der IHK Lübeck hat gemeinsam mit der örtlichen Hochschule und MEVIS mehrere Vortragsreihen zum Thema durchgeführt. Ein Blick auf die entsprechenden Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen der örtlichen IHK kann sich also auch für kleinere Unternehmen lohnen.

Wenn Sie über eine höhere Qualifikation für den entsprechenden Unternehmensbereich verfügen - zum Beispiel einen Abschluss in Betriebswirtschaft - lohnt sich ein vollwertiges Informatikstudium mit Spezialisierung auf KI kaum, wohl aber für den einen oder anderen Nachwuchskraft in der IT-Abteilung. Die WirtschaftsWoche hat eine Liste der deutschen Hochschulen zusammengestellt, die solche Studiengänge anbieten. Die Berliner Beuth Hochschule für Technik wirbt sogar auf YouTube für ihren neuen Studiengang Humanoide Robotik.

Die Technische Universität München (TUM) hat kürzlich den interdisziplinären Masterstudiengang "Robotik, Kognition, Intelligenz" eingeführt. Die Bergische Universität Wuppertal hat ein "Interdisziplinäres Zentrum Maschinelles Lernen und

14. Künstliche Intelligenz und Bildung

Datenanalytik", kurz IZMD, eingerichtet. Bachelor-Studiengänge mit KI-Schwerpunkt gibt es in

Stuttgart, Marburg, Göttingen, Karlsruhe, Deggendorf sowie an der Beuth Hochschule für Technik in Berlin. Masterstudiengänge gibt es an der LMU München, der Hochschule Darmstadt, den Universitäten Marburg, Potsdam und Bielefeld, der Technischen Universität Chemnitz und der Hochschule der Medien Stuttgart.

Seminare und Unterstützung im Bereich KI und Data Science bieten auch Beratungsunternehmen wie die All for One Group mit Hauptsitz in Filderstadt bei Stuttgart. Zu der führenden IT- und Beratungsgruppe in der DACH-Region gehören eine Reihe von Tochterunternehmen und Niederlassungen, darunter B4B Solutions und die Allfoye Managementberatung GmbH, die Firmenkunden in Sachen Change Management unterstützen, um die Herausforderungen der digitalen Transformation zu meistern.

14.2. Die Anwendung von künstlicher Intelligenz in der Bildung

Dieser Bereich ist sehr umstritten und umfangreich. Es werden nur einige Beispiele angeführt, die sich direkt auf die Bildung in einem bestimmten Fach beziehen.

Der 3D-Druck von Körperteilen läutet eine neue Ära in der Anatomieausbildung ein. Insbesondere in Ländern, in denen die Exhumierung von Leichen ein Problem darstellt, kann der 3D-Drucker die medizinische Ausbildung grundlegend verändern. Das erste Produkt für diese Anwendung wird wahrscheinlich die 3D Printed Anatomy Series" der Monash University sein. [43] Die mit einem 3D-Drucker erstellte Serie von Körperteilen kommt ohne Körperteile von Verstorbenen aus, bietet aber dennoch alle wichtigen Teile eines Körpers, die für die wissenschaftliche Lehre in der Anatomie benötigt werden (Sehnen, Bänder, Muskeln, Knochen usw.).

Laut Professor Paul McMenamin, Direktor des Centre for Human Anatomy Education an der Monash University, wird der Einsatz des kostengünstigen Anatomie-Kits die Kenntnisse künftiger Ärzte und anderer medizinischer Fachkräfte verbessern. Er sagt, die Technologie könnte sogar zur Entwicklung neuer chirurgischer Behandlungsverfahren führen.



Abb. 14.1 Die 3D-Nachbildung einer Hand

Das Anatomie-Kit dürfte vor allem in Entwicklungsländern auf großes Interesse

stoßen. Dort ist der Umgang mit Leichen aus religiösen oder kulturellen Gründen oft problematisch

Gründe. Die 3D-gedruckten Körpermodelle aus dem Anatomiebaukasten sind schnell und relativ kostengünstig herzustellen. Außerdem unterliegen sie nicht dem ständigen Wandel. Das bedeutet, dass mit der Anschaffung eines 3D-Druckers und den digitalen CAD-Dateien jederzeit weltweit neue Modelle hergestellt werden können (Abb. 14.1).

In einem ersten Schritt werden echte Körperteile mit einem Computertomographen oder einem Oberflächen-Laserscanner gescannt. Dann werden die Körperteile aus einem gipsähnlichen Pulver oder Kunststoff mit naturgetreuen Farben in höherer Auflösung gedruckt.



Abb. 14.2 Komplizierte Formen bereiten keine Schwierigkeiten

Die Kombination aus künstlicher Intelligenz und 3D-Druck kann auch dazu beitragen, die Palette der kompatiblen Materialien zu erweitern, um den Anforderungen von Branchen wie der Luft- und Raumfahrt gerecht zu werden, die meist Hochtemperaturmaterialien benötigen. Das 2017 vom Fraunhofer-Institut IWS gestartete Projekt "futureAM" ist ein perfektes Beispiel dafür. Professor Dr. Ing. Frank Brückner, Leiter des Geschäftsfelds "Generieren und Drucken" am Fraunhofer IWS und AMCD (Additive Manufacturing Center Dresden), erklärt: "Flugzeugtriebwerke könnten bei höheren Temperaturen viel effizienter arbeiten, wenn die meisten Werkstoffe bei Temperaturen über 1.200 Grad nicht versagen würden."

Wo also kommt die KI ins Spiel? Prof. Dr.-Ing. Frank Brückner erklärt uns das wie folgt: Die Verarbeitung von neuen Hochleistungsmaterialien ist sehr komplex und erfordert eine Feinabstimmung aller Prozessparameter. Deshalb überwachen wir den 3D-Druckprozess mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren. Mit Hilfe von KI werten wir dann diese Datenflut aus und identifizieren versteckte Zusammenhänge, die für den Menschen nicht erkennbar sind." Genau das ist der Vorteil der künstlichen Intelligenz: Sie kann ein Vielfaches an Daten verarbeiten als der Mensch - und das alles viel schneller. Dank dieser Arbeit können die Forscher komplexe Legierungen verarbeiten und die genauen Eigenschaften der Materialien ermitteln. KI kann auch helfen, den 3D-Druckprozess zu verbessern. So kann beispielsweise die Druckbarkeit eines Objekts analysiert werden, bevor es gedruckt wird, um sicherzustellen, dass es

14. Künstliche Intelligenz und Bildung
für den 3D-Druck geeignet ist. Aber auch die Qualitätsvorhersage sowie die
Qualitätskontrolle des Druckprozesses können verhindern

Fehler im Endprodukt zu vermeiden und somit ein besseres Ergebnis zu erzielen (Abb. 14.2).

Das Startup **Printsyst** versucht, dies mit Hilfe seiner KI-Engine zu realisieren - in diesem Fall speziell in der Luft- und Raumfahrtindustrie. Ziel des patentierten KI-Algorithmus des Unternehmens ist es, die Funktionalität von Teilen zu erkennen und die Erfolgsquote beim Drucken zu verbessern. Dabei lernt die integrierte Lösung von Printsyst grundsätzlich aus den Erfahrungen früherer Projekte, bei denen Objekte additiv gefertigt wurden. Um die sehr strengen Industriespezifikationen zu erfüllen, die in der Luft- und Raumfahrt gelten, schlägt sie spezifische Druckparameter vor, die sich in der Vergangenheit bei bereits gedruckten Teilen bewährt haben und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in Zukunft einen erfolgreichen ersten Druck liefern werden. Ebenfalls auf der Grundlage gesammelter Erfahrungsdaten kann die Printsyst-Lösung die Kosten für die benötigten Komponenten genau abschätzen und so nicht nur die Produktivität, sondern auch die Lieferbereitschaft zu möglichst niedrigen Kosten steigern.

Eitan Yona, Mitbegründer von Printsyst, erklärt dies anhand eines Beispiels: "Wir reduzieren den durchschnittlichen 3D-Druckvorbereitungsprozess von 30 Minuten auf 5 Sekunden für jeden Auftrag. Durch die Reduzierung dieser Zeit erhöhen wir die Auslastung des Druckers, und durch die Beseitigung von Fehlern reduzieren wir die Anzahl der Wiederholungen." Wir sehen also, dass aufgrund der hohen Komplexität, die ein manueller Prozess mit sich bringen kann, der Einsatz von KI absolut sinnvoll ist. So können beispielsweise alle Parameter vom Algorithmus in Sekundenschnelle eingestellt und optimiert werden - im Vergleich zur manuellen Bearbeitung lassen sich mit Hilfe von KI also deutlich bessere Ergebnisse erzielen.

Ein weiteres Anwendungsfeld im Bereich der Qualitätsoptimierung ist die bereits oben erwähnte Druckbarkeitsanalyse (Teilebewertung), die vor dem Druck stattfindet. Die bereits erwähnte Firma AMFG hat in ihrem umfangreichen Softwarepaket eine Funktion implementiert, die sicherstellt, dass ein 3D-gedrucktes Teil letztlich auch wirklich für den 3D-Druck geeignet ist. Dies ist besonders wichtig für Unternehmen, die effizient mit additiver Fertigung arbeiten. Auch hier werden zuvor gewonnene Daten verarbeitet und so die Druckbarkeit eines Teils vorhergesagt. Weist das Teil beispielsweise viele Schwachstellen in Bezug auf Stabilität, Form oder auch Belastbarkeit auf, kann das Verhindern des Drucks enorme Kosten sparen.

Es gibt viele kleinere Systeme für die Ausbildung in verschiedenen Fächern (Chemie, Physik, Biologie, Fremdsprachen). Diese werden im Wesentlichen im Selbststudium von Einzelpersonen verwendet. Oft fehlt es an einer allgemeinen Anwendung in den Schulen von Klasse 1 bis Klasse 12 oder 13. Es besteht die dringende Notwendigkeit, eine geeignete Didaktik zu erarbeiten und die Systeme in die Schulen zu bringen.

15. Künstliche Intelligenz in der Kunst

Die Anwendung intelligenter Software in der Malerei und im Zeichnen wurde bereits im Kapitel über die Bildverarbeitung eingehend erörtert. Daher wird in diesem Kapitel nur auf die Anwendungen von Methoden der künstlichen Intelligenz in der Musik und der Architektur eingegangen.

15.1. Künstliche Intelligenz und Musik

Musik ist die lebendigste und sinnlichste aller menschlichen Künste. Kein Wunder also, dass die Informatik schon sehr früh versucht hat, mit Hilfe von Maschinen Klänge zu erzeugen oder künstliche Intelligenzen zu lehren, Melodien zu komponieren. Der Einsatz von Computern und Algorithmen zur Musikproduktion hat eine lange Geschichte.

Mit der Weiterentwicklung der künstlichen Intelligenz und des maschinellen Lernens steigen auch die Möglichkeiten der maschinell erzeugten Musik. Computer können Regeln und Richtlinien aus echten, menschlichen Musikbeispielen ableiten.

Die Illiac Suite, die später in Streichquartett Nr. 4 umbenannt wurde, ist eine Komposition aus dem Jahr 1957 und gilt als die erste von einem elektronischen Computer komponierte Partitur. Sie wurde von dem Forscher Lejaren Hiller in Zusammenarbeit mit Leonard Issacson, beide Professoren an der Universität von Illinois, programmiert. Sie benutzten dazu den Computer ILLIAC I (Illinois Automatic Computer).

Die Illiac Suite besteht aus vier Sätzen, die vier Experimenten entsprechen: Im ersten geht es um die Erzeugung von Cantus Firmi, im zweiten werden vierstimmige Segmente mit verschiedenen Regeln erzeugt, im dritten geht es um Rhythmus, Dynamik und Spielanweisungen, und im vierten um verschiedene Modelle und Wahrscheinlichkeiten für generative Grammatiken oder Markov-Ketten. Auf dem Papier war die Illiac Suite ein echtes Meisterwerk, aber in Wirklichkeit klingt das Stück sehr gequält und nicht ganz ausgereift.

- 1965 stellte der Erfinder Ray Kurzweil ein Klavierstück vor, das von einem Computer erzeugt wurde, der in der Lage war, Muster in verschiedenen Kompositionen zu erkennen, zu analysieren und neue Melodien zu erzeugen. Dieser Computer wurde erstmals in Steve Allens CBS-Spielshow "I've Got a Secret" eingesetzt.
- Im Jahr 1980 entwickelte der Professor und Komponist David Cope an der

Universität von Kalifornien ein System namens EMI (Experiments in Musical Intelligence). Es basierte auf der Idee der Markov-Ketten, d. h. auf der Angabe von Wahrscheinlichkeiten für die

iCope nutzte ein Programm, das bestehende Musikstücke analysierte und daraus neue Stücke schuf, was als echter Durchbruch angesehen wurde. Durch die Analyse verschiedener Werke war EMI in der Lage, einzigartige strukturierte Kompositionen im Rahmen verschiedener Genres zu erstellen. Insgesamt schuf das System über tausend Werke, die auf den Werken von 39 Komponisten mit unterschiedlichen Musikstilen basierten.

- **Aiva Technologies** ist eines der führenden Unternehmen auf dem Gebiet der Musikkomposition. Es wurde 2016 in Luxemburg und London von Pierre Barreau, Denis Shtefan, Arnaud Decker und Vincent Barreau gegründet. Ihre KI heißt "Aiva" (Artificial Intelligence Virtual Artist), der das Komponieren von klassischer Musik beigebracht wurde. Nach der Veröffentlichung ihres ersten Albums "Genesis" und zahlreicher Einzeltitel hat Aiva bereits offiziell den Status eines weltweiten Komponisten erlangt. Sie wurde bei der französischen und luxemburgischen Gesellschaft für Urheberrecht (SACEM) registriert, wo alle ihre Werke mit einem Copyright auf ihren eigenen Namen eingetragen sind.
- **Shimon** ist ein marimbaspieldender Roboter von Gil Weinberg, Professor an der Georgia Tech, der singt, tanzt, Texte schreibt und sogar einige Melodien komponieren kann. Weinberg und seine Studenten trainierten Shimon mit Datensätzen von 50.000 Liedtexten aus Jazz, Prog-Rock und Hip-Hop.
- **Noah 9000** ist ein Musikprojekt von Michael Katzlberger, Geschäftsführer der Wiener Kreativagentur TUNNEL23. 9000 ist eine Anspielung auf die neurotische künstliche Intelligenz "HAL 9000" aus Stanley Kubricks Meisterwerk "2001: Odyssee im Weltraum" von 1968.

Für dieses Projekt wurde das Programm u. a. mit Klaviersonaten von Ludwig van Beethoven trainiert. Um ein perfektes Stück zu schaffen, braucht es manchmal viele Hunderte oder Tausende von Wiederholungen, bis die richtigen, wohlklingenden Töne für das menschliche Ohr erzeugt sind. Denn die wohl interessanteste Herausforderung bei der Produktion moderner Musik liegt nicht nur in der Komposition selbst, sondern auch in der Instrumentierung und im Sounddesign. Katzlberger hat als Kurator aus rund 2000 KI-Kompositionen 10 programmgenerierte Tracks für das Album Spring 9000 ausgewählt. Es ist ein Versuch, künstliche Intelligenz zu nutzen, um Musik zu schaffen, die sich menschlich anfühlt.

Jeder kann das Steelpan über Virtual Piano spielen. Sie müssen weder Noten lesen können, noch müssen Sie jemals Steelpan gespielt haben. Die Notenblätter von Virtual Piano enthalten Buchstaben, die den Tasten einer QWERTY-Tastatur entsprechen. So ist es schnell und einfach zu erlernen. Sie können sofort anfangen, Steelpan [99] zu spielen.

Die Plattform virtualpiano.net ermöglicht es Ihnen, auf Ihrem Computer Klavier zu spielen

15. Künstliche Intelligenz in der
Tastatur, Handy oder ein Tablet [100].

15.2. Künstliche Intelligenz und Architektur

Künstliche Intelligenz verändert den Bereich der Architektur in vielerlei Hinsicht [101].

- Programme können Gebäudeberechnungen und Umweltanalysen zu einer einfachen Aufgabe machen. Einem Architekten stehen heute so viele Daten zur Verfügung, dass die Abfrage von Informationen wie Temperatur- und Wetterdaten, Materialkennwerten usw., deren Zusammenstellung sonst viel Zeit in Anspruch nehmen würde, viel einfacher ist.
- Die Anwendung intelligenter Systeme kann die Zeit, die für die Planung und den Entwurf eines Bauwerks benötigt wird, durch Building Information Modeling (BIM) erheblich reduzieren.
- Computer Aided Design (CAD) hat bei der Erstellung von 2-D- und 3-D-Modellen von Gebäuden eine wichtige Rolle gespielt. BIM geht noch einen Schritt weiter und integriert Produktinformationen, Zeit und Kosten, um einem Architekten den vollen Umfang eines Projekts zu vermitteln. BIM arbeitet mit anderen Konstruktionssoftwareprogrammen zusammen, um ein vollständiges Bild eines Bauwerks zu erstellen, einschließlich konzeptionellem Entwurf, detailliertem Entwurf, Analyse, Dokumentation, Fertigung, Konstruktion, Betrieb und Wartung nach dem Bau des Gebäudes sowie Renovierungs- oder Abrissplänen.
- Bei richtiger Anwendung können Programme diese Daten nutzen und Trends oder Ineffizienzen erkennen. So können Architekten bessere und langlebigere Projekte entwerfen, ohne viel Zeit mit der Datenanalyse zu verbringen.
- Intelligente Technologie gibt Architekten auch die Möglichkeit, intelligente Beleuchtungs- oder Regenwasserbewirtschaftungssysteme in ihre Pläne einzubeziehen. All dies war vor einem Jahrzehnt noch nicht möglich. Die Verbreitung der Technologie ermöglicht es kleineren Büros, größere Projekte zu übernehmen, da sie das Internet und alle ihnen zur Verfügung stehenden Ressourcen nutzen können, um Vorschläge zu entwickeln.
- Etwa sieben Prozent der weltweit Beschäftigten sind im Baugewerbe tätig, das jedoch traditionell zu den technologisch am wenigsten fortschrittlichen Sektoren gehört. Es gibt jedoch ein großes Potenzial für die Integration von KI in das Bauwesen, das die Baukosten um bis zu 20 Prozent senken könnte.
- Videosicherheit wird seit langem in Unternehmen, Büros und auf dem Campus eingesetzt, um zu überwachen, wer kommt und geht. Aufgrund der großen Menge an gesammeltem Filmmaterial können jedoch Dinge übersehen werden, wenn sich niemand das Video ansieht. Ein intelligentes, in ein Gebäude integriertes Sicherheitssystem kann dagegen schnell scannen, verdächtige

15. Künstliche Intelligenz in der

Aktivitäten automatisch erkennen und Warnmeldungen an den Gebäudeeigentümer senden.

- KI-basierte Energiemanagementplattformen können Nutzungsmuster so einstellen, dass ideale Bedingungen für die Mieter geschaffen werden und diese sowohl Energie als auch Geld sparen. Der Nest-Thermostat ist ein Beispiel für ein solches System, das bei den Verbrauchern sehr beliebt ist. Er sorgt für eine sichere und optimale Temperatur in einem Gebäude und kann den Nutzer warnen, wenn die Temperatur auf ein gefährliches Niveau fällt oder steigt. KI-Geräte können auch Daten von Sensoren übernehmen und analysieren, um auf Lecks oder Fehlfunktionen zu achten. Sie machen es einfacher denn je, die Leistung und Effizienz eines Gebäudes im Auge zu behalten.

KI kann auch in Form von intelligenten Schließsystemen eingesetzt werden, die den Zugang zu bestimmten Bereichen beschränken können, wenn der Benutzer keine Schlüsselkarte oder keinen Code besitzt. Neben dem Einsatz autonomer oder halbautonomer Baumaschinen zur Unterstützung von Aushub- und Vorbereitungsarbeiten können Computer Baustellen analysieren und potenzielle Risikofaktoren erkennen, wodurch Sicherheitsrisiken und damit verbundene Verzögerungen verringert werden.

Videoübertragungen werden genutzt, um Daten über menschliches Verhalten und Nutzungsmuster auf der ganzen Welt zu sammeln. So wird KI bereits eingesetzt, um den Betrieb in Museen und Flughäfen zu optimieren. Unternehmen könnten Gebäude entwerfen, die so integriert sind, dass ganze intelligente Städte entstehen, die darauf basieren, wie Menschen mit ihrer Umgebung interagieren und wie sie öffentliche Räume wahrnehmen.

Von der Chinesischen Mauer bis zu den ägyptischen Pyramiden ging es bei architektonischen Innovationen immer darum, das Beste aus der verfügbaren Technologie herauszuholen. In dem Maße, wie sich menschliche Bedürfnisse und Technologien weiterentwickeln, wird die KI die architektonischen Errungenschaften der Menschheit auf die nächste Stufe heben (Abb. 15.1).



Abb. 15.1 Die Architektur der Zukunft

16. Künstliche Intelligenz in Recht

Auch das Rechtssystem beginnt, künstliche Intelligenz in seine Überlegungen einzubeziehen, in Deutschland relativ zögerlich und vorsichtig, obwohl es auch auf diesem Gebiet bereits Forschungen gibt, die vor mehr als 30 Jahren begannen und mit der Person von Professor J. van den Herik aus den Niederlanden verbunden sind. Gegenwärtig kann die Universität Leiden als ein Zentrum der Verbindung von künstlicher Intelligenz und Recht angesehen werden.

In Leiden gibt es die folgenden Institute:

- Recht
- Institut für das interdisziplinäre Studium des Rechts
- Van-Vollenhoven-Institut
- Verfassungs- und Verwaltungsrecht
- Institut für Privatrecht
- Kinderrecht
- eLaw - Zentrum für Recht und digitale Technologien
- Europa-Institut



Abb. 16.1 Computer und Recht

- Welche Chancen und Gefahren ergeben sich aus der institutionellen und normativen Vielfalt im Bereich der Grundrechte für einen wirksamen Schutz dieser Rechte in einer pluralistischen Welt?[110]

Das Forschungsprogramm "Effective Protection of Fundamental Rights in a Pluralistic World" (EPFR) wurde in seiner jetzigen Form 2015 ins Leben gerufen. Es baut auf einer starken Tradition anregender und qualitativ hochwertiger Menschenrechtsforschung an der Universität Leiden auf und versucht, diesen Forschungszweig weiter auszubauen und zu stärken. Das Programm ist einzigartig in den Niederlanden, da es das einzige eigenständige Forschungsprogramm zu Grundrechten an einer niederländischen juristischen Fakultät ist.

Das EPFR-Programm erforscht die Dynamik der institutionellen und normativen Diversität im Bereich des Grundrechtsschutzes vor dem Hintergrund des soziokulturellen, politischen und wirtschaftlichen Pluralismus, der ein herausragendes Merkmal der heutigen Welt ist, sowohl global als auch lokal. Das Programm wird sich auf die folgenden aktuellen und sich überschneidenden Themen konzentrieren:

- Viele handschriftliche und illustrierte Archive enthalten eine Fülle von Informationen, sind aber weitgehend unerforscht, weil sie komplex und für Computer schwer zu entziffern sind. Das Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung einer digitalen Umgebung, die diese Herausforderung löst und heterogene Archivinhalte mit anderen digitalen Quellen verbindet [112].

Das Projekt wird sich auf eine der wichtigsten Sammlungen des Naturalis Biodiversity Center konzentrieren: das Archiv und die Sammlung der Natuurkundige Commissie, die umfangreiche verbale und bildliche Aufzeichnungen über die Natur, die Kulturen und die Wirtschaft des indonesischen Archipels (1820-1850) enthält. Die Forscher werden ein fortschrittliches Handschriften- und Bilderkennungs-System (Monk) einsetzen, das durch kontextbezogene Informationen über Arten, Standorte und Lebensräume ergänzt wird. Das taxonomische Fachwissen von Naturalis wird in Kombination mit Methoden aus der Wissenschaftsgeschichte genutzt, um das System weiter zu verfeinern. Das Ergebnis des Projekts wird Brill in die Lage versetzen, das System als Online-Kulturerbe-Service anzubieten. Dies wird sowohl den Kuratoren von illustrierten Manuskriptarchiven als auch den Forschern dienen, die das Verständnis dieser Sammlungen fördern wollen.

Mit der fortschreitenden Digitalisierung verändert sich auch das juristische Arbeitsumfeld weiter [109], von der Einführung elektronischer Akten in der Verwaltung über ausgefeilte Softwarelösungen bis hin zur Verwendung spezialisierter Algorithmen. [111]

Laut einer Umfrage des Freien Fachinformation Verlags aus dem Jahr 2020 ist die größte Motivation der Anwälte, sich mit Legal Tech zu beschäftigen, die Steigerung

16. Künstliche Intelligenz im

der Effizienz bei ~~gleich~~ gleichzeitiger Kostensenkung und Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit. Gleichzeitig gaben rund 30 Prozent der Befragten konkret an, dass sie die Einführung einzelner Legal-Tech-Lösungen planen. Dies zeigt, dass an Legal Tech kein Weg vorbeiführt. Gerade in der Corona-Krise konnten einige der Legal-Tech-Startups

einen erheblichen Zuwachs verzeichnen. Annullierte Flüge, Zugfahrten oder Pauschalreisen führten dazu, dass immer mehr Verbraucher ihre Rechte durchsetzen wollten - und das mit m ö g l i c h s t geringen Kosten und Risiken.

Legal Tech steht allgemein für IT-gestützte Anwendungen, die juristische Arbeitsprozesse unterstützen. Ziel ist es, Arbeitsabläufe effizienter und damit kostengünstiger zu gestalten. Der Einsatz von verschiedenen Softwareprogrammen und Datenbanken ist in vielen Kanzleien mittlerweile üblich. Die Software arbeitet weitgehend mit Wenn-Dann-Regeln. Künstliche Intelligenz geht noch einen Schritt weiter: Künstliche Intelligenz beschäftigt sich mit der Automatisierung von intelligentem Verhalten und maschinellem Lernen. Auch hier arbeiten Algorithmen zunächst mit Regeln, doch im Gegensatz zu Software passen sie diese auf der Grundlage bereits gelöster Probleme und Daten immer wieder an und versuchen, Muster zu erkennen. Auf diese Weise lassen sich sogar komplette juristische Dienstleistungen abbilden und menschliche oder juristische Entscheidungsprozesse nachbilden.

Eine Vielzahl junger Unternehmen hat das Thema entdeckt und weiß es kommerziell zu nutzen. Plattformen wie *flightright.de*, die sich auf Fluggastentschädigungen spezialisiert haben, oder *wenigermiete.de*, deren Kerngeschäft unrechtmäßige Mieterhöhungen sind, drängen auf den Rechtsmarkt. Die Sperrung mit ihren Folgen hat ihren Teil dazu beigetragen, dass Rechtsportale bei den Verbrauchern sehr beliebt sind. So wirbt die Firma *RightNow* für die Erstattung von Fitnessstudiogebühren während des pandemiebedingten Ausfalls oder für Schadenersatzansprüche wegen Datenpannen im Impfzentrum.

Die Vorteile für die Verbraucher liegen auf der Hand: Sie erhalten eine schnelle Einschätzung ihrer Erfolgsaussichten bei der Durchsetzung ihrer Ansprüche zu geringen Kosten oder sogar völlig kostenlos. Der kritische Punkt dabei ist, dass diese Programme eine Erstberatung durch einen Anwalt nicht ersetzen können, was den Kunden aber nicht unbedingt bewusst ist. Gleichzeitig sind sie deutlich günstiger und daher auch verlockend. Verbraucherschützer bemängeln auch die teilweise fehlende Kostentransparenz. Die im Erfolgsfall fälligen Provisionen sind auf den Webseiten nicht immer transparent und können sogar höher sein als bei einer Anwaltskanzlei.

Die IT-Kenntnisse von Anwälten werden sich im Einklang mit der technologischen Entwicklung weiterentwickeln. IT-Kenntnisse werden weit über die Bedienung eines Computers hinausgehen und zu einem wesentlichen Bestandteil des Anwaltsberufs werden. Juristen sind genauso technikaffin wie andere Berufe. Die jungen Menschen, die heute an den Universitäten studieren, gehören zur Gruppe der *Digital Natives* und sind mit den neuen Technologien aufgewachsen. Bildung sollte mehr sein interdisziplinär. Insbesondere die juristischen Fakultäten müssen das Thema Digitalisierung direkt in den Lehrplan integrieren.

Letztlich sind noch nicht alle regulatorischen Fragen für den Einsatz von Deep-Learning-Systemen geklärt. Erst im April dieses Jahres hat die EU-Kommission einen Entwurf für eine Verordnung mit harmonisierten Regeln für KI veröffentlicht. Die Bundesrechtsanwaltskammer sieht darin einen ersten wichtigen Schritt, mahnt aber auch weiteren Klärungsbedarf an.

16. Künstliche Intelligenz im

Recht
Auf dem Rechtsmarkt ~~schwebt~~ derzeit der Streit zwischen Legal-Tech-Unternehmen und Anwaltskammern weiter, da insbesondere Beratungsleistungen zum Schutz vor unqualifizierter Rechtsberatung nur von Rechtsanwälten erbracht werden dürfen. Die Tatsache, dass dies

nicht immer eindeutig ist, zeigt das jüngste Urteil des Bundesgerichtshofs zu Online-Vertragsangeboten von Smartlaw. Der BGH entschied zugunsten des Online-Vertragsanbieters, während die klagende Rechtsanwaltskammer weiterhin die Gefahr einer Falschberatung für Verbraucher sieht. Und auch wenn das Urteil ein kleiner Sieg für die Anbieter von automatisierten Vertragsangeboten sein mag, machte der BGH deutlich, dass dies kein Ersatz für die Rechtsberatung durch einen Anwalt sei. Auch wenn einige Legal-Tech-Firmen in Zukunft ebenfalls konsolidiert werden oder teilweise verschwinden: Es bringt Bewegung in den Markt.

Langfristig werden KI und Algorithmen sicherlich in der Lage sein, in bestimmten Rechtsangelegenheiten mit Anwaltskanzleien zu konkurrieren. Sie werden sie aber nicht ersetzen. Es geht darum, die Entwicklung von KI im Einsatz in der Anwaltschaft aktiv zu gestalten - technisch, ethisch, regulatorisch und kulturell. Gerade während der Corona-Krise wurden viele Prozesse im Rechtsbereich digitalisiert, die sonst viel länger gedauert hätten. Dieser Effekt muss weiter genutzt werden. Denn letztlich wird es auf eine Kombination aus Mensch und Maschine ankommen, die sich gegenseitig ergänzen.

Um dieses Ziel zu erreichen, braucht es vor allem Experten und Spezialisten auf diesem Gebiet, die die Kanzleien auf diesem Weg unterstützen. Gut ausgebildetes Personal und Know-how werden also auch in Zukunft die Innovationstreiber bleiben - nur die Art und Weise, wie dies eingesetzt wird, wird sich ändern. LawBot, der Chatbot für Rechtsfragen, der von einer Gruppe von Jurastudenten der Universität Cambridge ins Leben gerufen wurde, erweitert seine Fähigkeiten durch den Start in sieben Ländern und fügt eine Funktion zur Vorhersage des Ausgangs eines Falles hinzu, mit der sich die Gewinnchancen in einem vom Bot analysierter Rechtsfall.

LawBot-X konzentrierte sich bisher auf das englische Strafrecht, aber die neue Version unterstützt jetzt auch die USA, Kanada, Hongkong, Singapur, Australien und Neuseeland sowie eine chinesische Sprachoption. LawBot-X kann auch die von den Nutzern zur Verfügung gestellten Informationen analysieren, bevor es mit Hilfe von Data-Science-Techniken die Gewinnchancen eines Prozesses berechnet. Nach Angaben von CEO Ludwig Bull sagt das System derzeit den Ausgang des Rechtsstreits mit 71 % voraus.

% Genauigkeit.

"Wir sind stolz darauf, diesen Dienst der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. LawBot-X ist sowohl für die Grundlagenforschung zur Anwendung von KI auf juristische Dienstleistungen als auch für die Förderung der Rechtsstaatlichkeit von Bedeutung." Das bedeutet, dass die KI, sobald sie die Situation des Nutzers kennt, in der Lage sein wird, tatsächliche Anwälte im richtigen Land oder der richtigen Gerichtsbarkeit auszuwählen, die Hilfe leisten können.

Rebecca Agliolo, Marketingleiterin von LawBot, sagte: "Nach dem Erfolg des ersten Pilotprojekts von LawBot freuen wir uns, eine Plattform auf den Markt zu bringen, die die Qualität der Ansprüche der Nutzer analysiert. Wir haben uns von Entscheidungsbäumen zu datengesteuerter Intelligenz entwickelt." LawBot wurde gegründet, um das komplexe Recht rund um Sexualdelikte zu erklären. Es wurde dann

16. Künstliche Intelligenz im

auf insgesamt 26 schwere Straftaten erweitert.

In den USA gibt es auch umfangreiche Bemühungen, KI im Rechtssektor einzusetzen. Anfang des Jahres sagte Ginni Rometty, Vorsitzende, Präsidentin und CEO von IBM, auf der @Work Talent + HR Conference von CNBC: "Ich erwarte, dass KI in den nächsten fünf bis zehn Jahren 100 Prozent der Arbeitsplätze verändern wird. Dies wird einen massiven Ausbau der Kompetenzen erfordern, und die Unternehmen müssen dies auf eine Art und Weise tun, die alle einbezieht - auch Menschen, die vielleicht keinen vierjährigen Hochschulabschluss haben. Das letzte Mal, als wir eine so große

Paradigmenwechsel war die Einführung des Internets. Die Entwicklung ist nicht wirklich eine Frage des *Ob*, sondern eher des *Wann und des Wie*.

"Viele mögen keine Veränderungen. Vor allem Anwälte sind dafür berüchtigt. In den zwei Jahrzehnten, in denen ich mit Anwälten aus den gesamten Vereinigten Staaten zusammenarbeite, habe ich festgestellt, dass Anwälte unter allen professionellen Dienstleistern zu denjenigen gehören, die sich am meisten gegen Veränderungen sträuben. Ich finde es faszinierend, dass eine Gruppe von ausgebildeten Logikern nicht immer den Unterschied zwischen fakultativen und obligatorischen Änderungen erkennt. Ob es ihnen nun gefällt oder nicht, Anwaltskanzleien sind Unternehmen, und die erfolgreichsten Anwaltskanzleien achten auf betriebswirtschaftliche Grundlagen wie Kapitalrendite (ROI), Marketing usw. [114]."

Das Erkennen und Anpassen an Veränderungen war schon immer - und wird auch in Zukunft - das Markenzeichen erfolgreicher Unternehmen sein. Nehmen Sie zum Beispiel E-Discovery. Es gab eine Zeit, in der der Einsatz von E-Discovery-Tools in Unternehmen selten war. Es war einfach undenkbar, dass ein Unternehmen, das über ein wahres Lager von Mitarbeitern verfügte, die Dokumente durchsuchten, jemals von einem Unternehmen überholt werden könnte, das E-Discovery-Technologie einsetzte. Heute ist genau das Gegenteil der Fall: Ein Unternehmen, das große Mengen von Dokumenten prüft und keine Technologie einsetzt, wäre der Außenseiter. Das E-Discovery-Muster hat sich relativ schnell geändert.

Im Juni 2007 brachte Apple sein erstes iPhone auf den Markt. Bis dahin war Apple vor allem für Computer und iPods bekannt. Steve Jobs erkannte jedoch schon früh den Wert der Kombination von Computertechnologie und Smartphones. Im Geschäftsjahr 2007 erwirtschaftete Apple

24,6 Milliarden Dollar Umsatz, wobei das noch junge iPhone einen relativ geringen Anteil ausmachte. Im Gegensatz dazu erwirtschaftete Apple allein im vierten Quartal 2019 einen Umsatz von fast 63 Milliarden US-Dollar. Heute, nur 12 Jahre nach der Markteinführung, macht das iPhone fast 70 Prozent des Umsatzes von Apple aus (schätzungsweise mehr als 400 Milliarden US-Dollar). Die Fähigkeit, den kommenden Wandel zu erkennen und proaktiv darauf zu reagieren, hat Apple zu einem Powerhouse-Unternehmen gemacht. Apple hätte den Kopf in den Sand stecken und sich weiterhin auf iPods und Macs konzentrieren können. Hätte es das getan, wäre Apple heute vielleicht gar nicht mehr im Geschäft. Das iPhone war zunächst ein iPod in einem Telefon. Jetzt bietet es den Nutzern Zugang zu Siri, einer nahen Anwendung von KI.

Von Dienstleistungen wie der Zeiterfassung über die Vertragsprüfung bis hin zu Kurzanalysen und Recherchen entstehen ständig neue Technologieunternehmen, die auf die Bedürfnisse von Anwälten eingehen. Einige dieser Technologieunternehmen gehen schnell unter, und das, obwohl ihre Ideen oft vielversprechenden Ideen voraus sind. Hinzu kommt die weit verbreitete Angst der Anwälte vor Veränderungen. Das Ergebnis ist, dass die Fortschritte, die der Rechtsbereich machen könnte, um seine Gesamteffizienz zu steigern, fast nicht vorhanden sind.

LawGeex ist eine automatisierte Plattform zur Vertragsprüfung, die mithilfe von KI die einfachen Fragen

16. Künstliche Intelligenz im

Rechtschreiben". Die Idee ist einfach: Ein Vertrag wird an ein Unternehmen geschickt und auf die KI von LawGeex hochgeladen, die den Vertrag dann überprüft. Werden Probleme festgestellt, wird der Vertrag an ein Rechtsteam weitergeleitet, das die fraglichen Formulierungen hervorhebt. Die Zeitersparnis ist immens. Und was noch wichtiger ist: Die Genauigkeit ist unvergleichlich. In einer Studie über Vertraulichkeitsvereinbarungen (NDAs) wurden fünf Verträge von 20 erfahrenen Anwälten analysiert.

In Hongkong gibt es mehr als zweieinhalbtausend Start-ups, die fast 10.000 Menschen beschäftigen. Unternehmen wie Zegal zapfen diesen großen Pool an Talenten an und verändern das Spiel für Unternehmen, die bisher vor komplexen Rechtsdokumenten zurückgeschreckt sind [117].

"In der Vergangenheit war das Rechtswesen für einzelne Unternehmen, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen und Anwaltskanzleien, ein einschüchternder Bereich", sagt Tai Hung-Chou, CTO von Zegal. "Wir bieten einen Ort, an dem Kunden und Anwälte zusammenarbeiten können, um Verträge zu entwerfen und auszuführen - alles online. In Zukunft werden wir fortschrittliche natürliche Sprachverarbeitung und künstliche Intelligenz nutzen, um Zugang zu einer Vielzahl von Präzedenzfällen zu bieten, die während des Entwurfsprozesses eingefügt werden können."

In den folgenden Jahrzehnten kamen zu den Case Reportern eine Fülle von Sekundärquellen hinzu, darunter Abhandlungen, Neuauflagen und verschiedene juristische Fachzeitschriften. Die Case Reporter selbst wurden durch Pocket Parts ergänzt, Broschüren, die in spezielle Taschen im hinteren Teil der Reporter eingelegt wurden und die die im Reporter enthaltenen Fälle aktualisierten. Juristen eines gewissen Alters werden sich an die Pocket Parts erinnern, vielleicht mit Nostalgie oder vielleicht mit Schrecken [115].

Aber im Großen und Ganzen, so erklärt Don MacLeod von Debevoise, hat sich die Dinge die längste Zeit nicht allzu sehr verändert. Das Recht war in Büchern zu finden, die in staubigen Regalen in der juristischen Fakultät, in der Anwaltskammer oder in der juristischen Bezirksbibliothek standen. Dort und in den Köpfen erfahrener Anwälte wurde das Wissen aufbewahrt. Junior Associates mussten in die Bibliothek gehen, sich ins Auto setzen, die Bücher durchgehen und den Partnern Bericht erstatten.

Dann, so MacLeod, schlug der Asteroid ein, nämlich das Aufkommen computergestützter juristischer Datenbanken wie Westlaw und LexisNexis, in denen Fälle kontinuierlich veröffentlicht, aktualisiert und mit Anmerkungen versehen wurden. Diese Dienste kamen in den 1970er Jahren auf den Markt und erfreuten sich während der PC-Revolution in den 1980er Jahren großer Beliebtheit.

Heute dominieren juristische Online-Recherchedienste, die über das Internet angeboten werden (im Gegensatz zu speziellen Terminals), die Landschaft. Jurastudenten und Anwälte recherchieren den größten Teil ihrer Rechtsfragen online. Ein Aufenthalt in der Bibliothek ist nicht mehr notwendig. "Heute können wir auf eine breite Palette von Informationen zugreifen und sie schnell und umfassend analysieren, was früher nicht möglich war", sagt MacLeod. "Und jetzt können wir rund um die Uhr und mobil auf Informationen zugreifen, egal wo wir sind. Online-Recherchedienste haben die Arbeit von Anwälten in einem Maße verändert, wie es sich die Kunden von John B. West nie hätten vorstellen können. Man kann mit Fug und Recht behaupten, dass die juristische Recherche heute insgesamt schneller, einfacher und genauer ist als je zuvor. Doch leistungsstarke neue Tools bringen auch neue Herausforderungen und Chancen mit sich, denen wir uns nun zuwenden."

Die juristische Suche wird immer komplexer und anspruchsvoller sein als die Suche für Verbraucher. Aber diese höheren Erwartungen aus dem Verbraucherbereich

16. Künstliche Intelligenz im

wandern in den juristischen Bereich, was Anwälte dazu veranlasst, nach Suchwerkzeugen zu suchen, die schneller und intuitiver sind. "Es gibt so viel neues maschinelles Lernen, das jetzt in das einfließt, was Sie in die Suchleiste eingeben", sagt Tonya Custis. "Mit Westlaw Edge analysieren wir Ihre Suche linguistisch. Sind Sie auf der Suche nach einer Gruppe von Fällen zu einem bestimmten Thema? Sind Sie auf der Suche nach einem ALR-Artikel mit einer Frage im Titel? Suchen Sie nach der Antwort

auf eine bestimmte, enge Frage? Wir haben intelligente Programme eingesetzt, um die Absicht der Nutzer herauszufinden, damit Sie genau das bekommen, wonach Sie suchen".

Mit anderen Worten, laut Khalid Al-Kofahi ist Westlaw Edge besser in der Lage zwischen verschiedenen Arten von Anfragen zu unterscheiden und entsprechend zu reagieren. Aber das ist noch nicht alles, fährt Al-Kofahi fort. Westlaw Edge unterstützt die Rechercheure bei der Formulierung der richtigen Fragen und hilft Anwälten dabei, das schwer fassbare Thema oder die Entscheidung zu finden, die ihnen auf der Zunge liegt und an die sie im Moment nicht denken können - das ist nur eine Möglichkeit, wie Westlaw Edge Anwälten Zeit spart und ihr Vertrauen in ihre Recherche erhöht.

Natürlich erhält Westlaw Edge einen großen Teil seiner Leistungsfähigkeit durch die Verbesserungen, die ein Team von Anwaltsredakteuren an den Fällen vorgenommen hat. Andere juristische Recherchertools nutzen ebenfalls künstliche Intelligenz, aber sie wenden keine künstliche Intelligenz auf die Informationen an, die durch die Organisation und Kommentierung durch Hunderte von hochqualifizierten und erfahrenen Anwaltsredakteuren, die für Thomson Reuters arbeiten, verbessert wurden.

Ein Beispiel dafür ist die prädiktive Typeahead-Funktion von Westlaw Edge, bei der ein Benutzer eine Abfrage in natürlicher Sprache eingibt und Vorschläge für Recherchefragen erhält, die den Benutzer dann zu genau dem Teil des Dokuments führen, der die Fragen beantwortet. Manchmal enthalten die Antworten auch West-Headnotes, was nur eine Möglichkeit ist, wie Westlaw Edge künstliche und menschliche Intelligenz kombiniert. "Die Technologie würde ohne die redaktionellen Erweiterungen von Westlaw nicht auf die gleiche Weise funktionieren", erklärt Leann Blanchfield. "Wenn man die Technologie hat, sie aber mit Inhalten ohne Erweiterungen vergleicht, erhält man nicht die gleichen Ergebnisse. Der Kreislauf funktioniert in beide Richtungen: Die Datenverbesserung hilft der Technologie, und die Technologie hilft der Datenverbesserung. Mithilfe von künstlicher Intelligenz und anderen Tools können Blanchfield und ihr Content-Team den riesigen Ozean juristischer Inhalte schneller durchforsten und Fälle und andere Autoritäten genauer und einheitlicher kennzeichnen.

Litigation Analytics nutzt künstliche Intelligenz, um eine riesige Menge an Daten zu durchsuchen.

So erhalten Anwälte ein umfassendes Bild davon, wie ein Richter über eine bestimmte Forderung entscheiden könnte, wie lange eine solche Entscheidung dauern könnte und eine ganze Reihe anderer Faktoren, die Anwälten dabei helfen können, eine Prozessstrategie zu entwickeln und ihre Mandanten zu beraten, wie sie vorgehen sollen. Das Tool nutzt Grafiken und Datenvisualisierung, um Anwälten diese Informationen in einem ästhetisch ansprechenden, leicht verständlichen Format zu präsentieren.

"Anwälte formulieren ihre Prozessstrategie oft auf der Grundlage ihrer eigenen Erfahrungen und Erkenntnisse", erklärt Khalid Al-Kofahi. "Das ist in Ordnung, aber wir glauben, dass wir es besser machen können." Bei Legal Analytics geht es darum, Anwälten neben persönlichen Erkenntnissen auch Daten an die Hand zu geben. Es geht darum, Anwälten Statistiken zur Verfügung zu stellen, die sich auf die

Recht, dass ein Gericht oder ein Richter einem Antrag stattgibt, einen Antrag ablehnt, innerhalb eines bestimmten Zeitraums über einen Antrag entscheidet - was auch immer."

Die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Entscheidung war in der Vergangenheit aufgrund der schieren Datenmenge, die analysiert werden muss, eine Herausforderung, so Barb McGivern, Vice President of Strategy and Marketing bei Thomson Reuters: "Stellen Sie sich viele Räume vor, die vom Boden bis zur Decke mit Papierstücken gefüllt sind: Gerichtsprotokolle. Sie wollen wissen, wie der Richter über Ihren Antrag entscheiden wird, und irgendwo in diesen riesigen Räumen liegt Ihre Antwort. Das war das Problem mit Big Data im Rechtswesen. Aber jetzt, mit den neuesten Technologien, ist es möglich,

Legal Analytics kann diese Erkenntnisse aufzeigen und sie mit Hilfe von Visualisierungs- und anderen Tools übersichtlich darstellen."

"Ich freue mich sehr darauf, mit Kunden über Litigation Analytics zu sprechen", sagt Jon Meyer. "Heutzutage versuchen Anwälte anhand von anekdotischen Beweisen herauszufinden, wie erfolgreich ein bestimmtes Argument bei einem bestimmten Gericht oder Richter sein könnte - aber mit Litigation Analytics haben wir jetzt die Daten, um fundierte Entscheidungen zu treffen."

Mit Litigation Analytics können Anwälte schnell und mit viel größerer Sicherheit nachvollziehen, wie Richter entscheiden könnten - und zwar auf der Grundlage umfassender, empirischer Informationen und nicht auf der Basis von Ahnungen oder Bauchgefühlen.

Ein weiterer Bereich, der Anwälten Sorgen bereitet: ob sie gutes Recht zitieren. Seit vielen Jahren weist KeyCite, der Zitationsdienst von Westlaw, auf mögliche Probleme hin. Eine rote Flagge in KeyCite zeigt an, dass der betreffende Fall nicht mehr geltendes Recht ist (in mindestens einer Rechtsfrage), und eine gelbe Flagge in KeyCite bedeutet, dass der Fall eine negative Vorgeschichte hat, z. B. Kritik von einem anderen Gericht. KeyCite Overruling Risk, eine weitere Funktion, die in Westlaw Edge hinzugefügt wurde, führt ein orangefarbenes Warnsymbol ein: ein Indikator dafür, dass ein Fall implizit überstimmt werden kann, weil er sich auf eine überstimmt oder anderweitig ungültige frühere Entscheidung stützt. Diese Funktion ermöglicht es Anwälten, den Status eines Falles auf eine Weise zu überprüfen, die vorher nicht möglich war.

In der Vergangenheit, so Mike Dahn, Senior Vice President von Westlaw Product Management,

ein Statuskennzeichen erforderte einen ausdrücklichen Verweis auf den gekennzeichneten Fall in einer nachfolgenden Instanz. Dies war gut, um Fälle zu erfassen, die direkt aufgehoben oder ausdrücklich verworfen wurden. Aber es erfasste nicht die vielen Fälle, in denen spätere Entwicklungen in der Rechtsprechung diesen Fall in schlechtes Recht verwandelten. Dank KeyCite Overruling Risk werden Anwälte nun auf Situationen aufmerksam gemacht, in denen ein Fall aufgrund neuer Entwicklungen in der Rechtsprechung möglicherweise nicht mehr gültig ist. Die Anwälte werden auf die Behörden verwiesen, die ihren Fall anfechten, so dass sie feststellen können, ob diese Behörden korrekt sind - und das Risiko, schlechtes Recht zu zitieren, wird drastisch reduziert.

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik

Ausgehend von meiner Arbeit an der University of The West Indies möchte ich noch einige Bemerkungen zur künstlichen Intelligenz in dieser Region machen. Dies ist ein weiteres Merkmal der KI, das noch nicht erwähnt wurde, das aber von größter Bedeutung ist, insbesondere in so kleinen Ländern wie den karibischen Inseln. Man entwickelt ein qualitativ hochwertiges System an einem Ort und kann es sofort und problemlos an andere weitergeben. Mit einer guten Arbeitsteilung kann man mehrere Länder auf ein hohes Niveau bringen.

"Ein Teil des Anstoßes für die Einführung von KI in diesen Ländern kommt von Akademikern und Forschern, wie z. B. von der Universität von Sao Paulo, die KI entwickeln, um die Anfälligkeit von Patienten für den Ausbruch von Krankheiten zu bestimmen; oder von der Nationalen Technischen Universität von Peru, wo Roboter bei der Erkundung von Minen eingesetzt werden, um Gase aufzuspüren; oder vom Nationalen Wissenschaftlichen und Technischen Forschungsrat von Argentinien, wo KI-Software die früh einsetzende Differenzierung pluripotenter Stammzellen vorhersagt.

Diese und andere Wahrheiten erfuhr ich auf einem Workshop über künstliche Intelligenz in Lateinamerika und der Karibik (LAC), der von Facebook und der Interamerikanischen Entwicklungsbank in Montevideo, Uruguay, im November dieses Jahres organisiert wurde. Ich war der einzige Teilnehmer aus der Karibik und präsentierte mein Papier mit dem Titel: AI & The Caribbean: A Discussion on Potential Applications & Ethical Considerations, im Namen des Shridath Ramphal Centre (UWI, Cave Hill)". [149]

Was geschieht also hier in der Karibik?

Die künstliche Intelligenz befindet sich bestenfalls im Anfangsstadium, mit begrenzter Forschung und Entwicklung. Berichte über ihre begrenzte Anwendung auf den Bahamas, in Belize und Guyana und das Fehlen politischer Diskussionen lassen das große Potenzial der KI in diesem Land nicht erkennen.

Wir könnten davon träumen, dass Fedo, ein KI-Risikostratifizierungssystem zur Vorhersage der Anfälligkeit von Patienten für nicht übertragbare Krankheiten (NCDs), eines Tages im karibischen Gesundheitssektor eingesetzt wird, wo die NCD-Mortalität auf dem amerikanischen Kontinent am höchsten ist. Oder wenn Dragon Medical Virtual Assistants den kritischen Mangel an Krankenschwestern in der Region beheben, der 2010 bei 1,25 Krankenschwestern pro 1000 Menschen lag. Wie wäre es mit See & Spray, einem KI-Roboter zur Unkrautbekämpfung, der die Ausgaben für Herbizide um 90 % senken könnte? Oder mit KI-Ernterobotern, die 30 Arbeiter im

karibischen Landwirtschaftssektor ersetzen, wo die Kosten für Lebensmittelimporte bis 2020 voraussichtlich 8-10 Mrd. USD erreichen werden? Könnten wir jemals sehen, dass KI-Systeme entwickelt werden

von Google, Harvard und der NASA, die Nachbeben, Überschwemmungen und Wirbelstürme im Rahmen des Katastrophenmanagements und der Schadensbegrenzung in der Karibik vorhersagen, um Leben zu retten und potenzielle Schäden zu begrenzen?

Anstatt zu träumen, schlage ich die folgenden drei Schritte vor, die die Karibik unternehmen kann, um sich besser zu positionieren und das Potenzial der KI zu nutzen.

- Erstens müssen wir den Appetit auf solche Technologien wecken.

Das Engagement Südamerikas in diesem Bereich ist ein Beweis für die Innovationsfähigkeit und den Appetit der Region auf solche Technologien. Dies kann nicht ohne Unternehmen und Regierungen geschehen, die bereit sind, diese Systeme bei der Bereitstellung von Waren und Dienstleistungen zu übernehmen und zu nutzen. Darüber hinaus brauchen wir Forschung und Studien, die zeigen, wie KI zur Lösung einiger der Entwicklungsprobleme der Region genutzt werden kann. Es ist Aufgabe der akademischen Welt und des Privatsektors in der Region, innovative KI-Lösungen zu finden und die Nachfrage nach deren Entwicklung und Einführung zu steigern.

- Zweitens müssen wir strategische Partnerschaften eingehen.

Google entwickelt ein KI-System zur Vorhersage und Versendung von Flutwarnungen in Indien; Unilever testet verschiedene KI-Lösungen in Südamerika; MIT und Harvard veranstalten KI-F&E-Konferenzen in Uruguay, aber mit wem arbeiten wir in der Karibik zusammen?

Das Erkennen der Bedeutung strategischer Partnerschaften und das Ergreifen von Maßnahmen, um Organisationen wie die IDB für die Finanzierung solcher Initiativen zu gewinnen, oder Unternehmen wie Facebook und Google für die Entwicklung und Erprobung von KI-Lösungen in der Region, oder KI-Forschungs- und Entwicklungszentren und Universitäten, mit denen wir zusammenarbeiten können, sind alles potenzielle Wege zur Überwindung bestehender finanzieller und ressourcenbezogener Beschränkungen, die unseren Fortschritt in diesem Bereich behindern.

- Drittens müssen wir politische Diskussionen über KI anstoßen.

In Anbetracht der umfassenderen ethischen und rechtlichen Erwägungen, die sich aus der Anwendung von KI ergeben, müssen wir uns folgende Fragen stellen: Sind die bestehenden Rahmenwerke in der Lage, unseren Bedenken Rechnung zu tragen? Und wie können wir die Risiken mindern und das Vertrauen der Öffentlichkeit in diese Technologien stärken?

Neben Technologen wie Ingenieuren und Entwicklern müssen auch politische Entscheidungsträger in die Diskussion einbezogen werden, die bei der Entwicklung von adaptiven und antizipatorischen Rahmenwerken an vorderster Front stehen müssen. Ähnlich wie bei Mexikos Entwicklung einer KI-Strategie, die darauf abzielt, das Land von einem Beobachter zu einem wichtigen Akteur zu machen, müssen wir uns um die Entwicklung ganzheitlicher Ansätze

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik
bemühen.

Diese Liste von Empfehlungen ist zwar nicht erschöpfend, aber ein Anfang, um auf der KI-Welle zu reiten. Es liegt nun an uns, entweder zu lernen, wie man sie reitet, wie es unsere südamerikanischen Nachbarn tun, oder wir werden an Land gespült.

17.1. Guyana

"v75 Inc., ein lokales Technologieunternehmen, hat sich mit Professor Jason Mars, dem Schöpfer von Jaseci - einem führenden Programm für künstliche Intelligenz - zusammengetan, um Guyanas eigenes Silicon Valley zu schaffen. Sobald es gegründet ist, werden die talentierten jungen Köpfe Guyanas in der Lage sein, ihre eigenen KI-Produkte zu entwickeln, die dann an führende Unternehmen in der ganzen Welt vermarktet und verkauft werden. Ein Team von fünf Ingenieuren aus Guyana, die vor kurzem ein Ausbildungsprogramm abgeschlossen haben, sind bereits bei Jaseci beschäftigt und entwickeln ihre eigenen KI-Produkte. Ein Teil der umfassenderen Absicht ist es, Guyaner im Bereich der KI weiterzubilden und greifbare Möglichkeiten zu schaffen, um diese Personen hier zu halten"[145].

- Überwachung von Kulturen und Böden

Mikro- und Makronährstoffe im Boden sind entscheidende Faktoren für die Gesundheit der Pflanzen und für die Quantität und Qualität der Erträge. Sobald die Pflanzen im Boden sind, ist die Überwachung der Wachstumsstadien ebenfalls von entscheidender Bedeutung für die Optimierung der Produktionseffizienz. Es ist von entscheidender Bedeutung, die Wechselwirkungen zwischen Pflanzenwachstum und Umwelt zu verstehen, um Anpassungen für eine bessere Pflanzengesundheit vornehmen zu können.

Traditionell wurden die Bodenqualität und die Gesundheit der Pflanzen durch menschliche Beobachtung und Beurteilung bestimmt. Doch diese Methode ist weder genau noch zeitnah. Stattdessen können wir jetzt Drohnen (UAVs) einsetzen, um Luftbilddaten zu erfassen und Computer-Vision-Modelle zu trainieren, um diese für eine intelligente Überwachung der Ernte- und Bodenbedingungen zu nutzen.

- Pflanzenreife Die manuelle Beobachtung der Wachstumsstadien von Weizenköpfen ist genau die Art von arbeitsintensivem Prozess, bei dem die KI in der Präzisionslandwirtschaft helfen kann. Die Forscher sammelten in drei Jahren und bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen Bilder von Weizen in verschiedenen Stadien des Kopfwachstums und konnten so einen "zweistufigen Mechanismus zur Erkennung grober bis feiner Weizenähren" entwickeln.

Dieses Computer-Vision-Modell war dann in der Lage, die menschliche Beobachtung bei der genauen Erkennung der Wachstumsstadien des Weizens zu übertreffen, so dass die Landwirte nicht mehr täglich auf die Felder gehen mussten, um ihre Ernte zu untersuchen.

In einer anderen Studie wurde untersucht, wie gut die Computer Vision den Reifegrad von Tomaten erkennen kann. Die Forscher entwickelten einen Algorithmus, der die Farbe von fünf verschiedenen Teilen der Tomate analysierte und auf der Grundlage dieser Daten eine Einschätzung des Reifegrads vornahm. Der Algorithmus erreichte eine erfolgreiche Erkennungs-

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik
und Klassifizierungsrate von 99,31 %.

Die Beobachtung und Einschätzung des Wachstums und der Reife von Pflanzen ist für Landwirte eine harte, arbeitsintensive Arbeit. Doch die KI ist in der Lage, einen Großteil dieser Arbeit mit Leichtigkeit und beeindruckender Genauigkeit zu erledigen.

- Die Gesundheit der Pflanzen verfolgen Um auf die Bedeutung des Bodens zurückzukommen, wurde in einer anderen Studie **u n t e r s u c h t**, wie gut sich die Bodenbeschaffenheit und die organische Substanz des Bodens (SOM) mit Hilfe von Computer Vision charakterisieren lassen.

Normalerweise müssen Landwirte für die Bewertung von Böden Proben ausgraben und sie für eine zeit- und energieaufwändige Analyse in ein Labor bringen. Stattdessen wollten die Forscher herausfinden, ob die Bilddaten eines preiswerten Handmikroskops verwendet werden können, um einen Algorithmus zu trainieren, der dasselbe tut. Tatsächlich gelang es dem Computer-Vision-Modell, den Sandgehalt und die SOM mit einer Genauigkeit zu schätzen, die mit der kostspieligen Verarbeitung im Labor vergleichbar war.

Mit Hilfe der Computervision kann also nicht nur ein großer Teil der schwierigen, manuellen Arbeit bei der Überwachung von Pflanzen und Böden entfallen, sondern sie ist in vielen Fällen auch effektiver als der Mensch.

- Finden von Fehlern mit Code.

Und wenn Sie nicht nur wissen wollen, ob Ihre Pflanzen von Schädlingen befallen sind, sondern auch, wie viele es sind, können Sie dies mit Hilfe von Computer-Vision-Systemen für die Insektenerkennung tun.



Abb. 17.1 Kartoffelkäfer

Das gilt auch für Fluginsekten. Es macht sicher nicht so viel Spaß, sie zu fangen und von Hand zu zählen.

Die Forscher stellten zunächst eine Klebstofffalle auf, um sechs verschiedene Arten von Fluginsekten zu fangen und Echtzeitbilder zu sammeln. Anschließend stützten sie sich bei der Erkennung und Grobzählung auf die YOLO-Objekterkennung und bei der Klassifizierung und Feinzählung auf Support Vector Machines (SVM) mit globalen Merkmalen.

Am Ende war ihr Computer-Vision-Modell in der Lage, Bienen, Fliegen, Mücken, Motten, Scheuerfliegen und Fruchtfliegen mit einer Genauigkeit von 90,18 % zu identifizieren und sie mit 92,5 % Genauigkeit zu zählen.

Diese Studien zeigen, dass die Zukunft der KI-Computervision für die Überwachung der Gesundheit unserer Lebensmittelsysteme vielversprechend ist. Sie kann nicht nur ineffiziente Arbeitsabläufe reduzieren, sondern auch die

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik
Zuverlässigkeit der Beobachtungen gewährleisten.

- Überwachung des Gesundheitszustands des Viehs

Bisher haben wir uns vor allem mit Pflanzen beschäftigt, aber die Landwirtschaft besteht aus mehr als Weizen, Tomaten und Äpfeln.

Tiere sind ein weiterer wichtiger Bestandteil unserer landwirtschaftlichen Systeme, und sie benötigen in der Regel ein wenig mehr Überwachung als Pflanzen. Kann die Computervision mit Kühen, Hühnern und Schweinen mithalten, die sich bewegen?

Nun, wenn sie eine Fliege verfolgen kann, kann sie sicher auch eine Kuh verfolgen.

Die Trainingsdaten von CattleEye ermöglichen die Verfolgung und Kommentierung von Rindern mit Hilfe von Bounding Boxes und Key Points.

Die Algorithmen sind darauf trainiert, Videodaten auszuwerten und festzustellen, was die Hühner gerade tun - ob sie trinken, fressen, schlafen oder etwas Seltsames tun, das auf eine Krankheit oder ein Verhaltensproblem hinweisen könnte.

- Intelligentes Sprühen

Wir haben gesehen, dass die Computervision gut geeignet ist, Störungen in der Landwirtschaft zu erkennen, aber sie kann auch dazu beitragen, sie zu verhindern.

Mit KI ausgestattete Drohnen ermöglichen es, das Sprühen von Pestiziden oder Düngemitteln gleichmäßig über ein Feld zu automatisieren.

Dank der Echtzeit-Erkennung von Zielflächen können Drohnensprühgeräte sowohl in Bezug auf die Fläche als auch auf die zu versprühende Menge mit hoher Präzision arbeiten. Dadurch wird das Risiko der Kontaminierung von Nutzpflanzen, Menschen, Tieren und Wasserressourcen erheblich verringert.

Obwohl das Potenzial hier groß ist, gibt es derzeit noch einige Herausforderungen. Zum Beispiel ist das Besprühen eines großen Feldes mit mehreren UAVs viel effizienter, aber die Zuweisung spezifischer Aufgabenabfolgen und Flugbahnen für die einzelnen Fluggeräte kann schwierig sein.

Das bedeutet jedoch nicht, dass das Spiel mit dem intelligenten Sprühen vorbei ist.

Forscher der Virginia Tech haben ein intelligentes Sprühsystem entwickelt, das auf servomotorgesteuerten Sprühgeräten basiert, die mit Hilfe von Computer Vision Unkraut erkennen. Eine am Sprühgerät angebrachte Kamera zeichnet die geografische Position von Unkraut auf und analysiert Größe, Form und Farbe jeder lästigen Pflanze, um präzise Mengen an Herbizid zielgenau auszubringen.

Mit anderen Worten, es ist eine Art Unkrautvertilger. Aber im Gegensatz zum Terminator kann das Computer-Vision-System so genau sprühen, dass es keine Kollateralschäden an Pflanzen oder der Umwelt verursacht.

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik

- Automatisches Unkrautjäten

Intelligente Sprühgeräte sind nicht die einzige KI, die sich mit dem Unkrautjäten beschäftigt. Es gibt andere Computer-Vision-Roboter, die einen noch direkteren Ansatz zur Beseitigung unerwünschter Pflanzen verfolgen.

Das Erkennen eines Unkrauts auf die gleiche Weise wie das Erkennen eines Insekts oder eines sich seltsam verhaltenden Huhns durch Computer Vision nimmt dem Landwirt nicht wirklich viel Arbeit ab. Um eine noch größere Hilfe zu sein, muss die KI das Unkraut sowohl finden als auch entfernen.

Die Möglichkeit, Unkraut physisch zu entfernen, erspart dem Landwirt nicht nur eine Menge Arbeit, sondern verringert auch den Bedarf an Herbiziden und macht den gesamten landwirtschaftlichen Betrieb somit wesentlich umweltfreundlicher und nachhaltiger.

- Roboter im Unkraut

Glücklicherweise ist die Objekterkennung in der Lage, Unkraut zu erkennen und es von den Pflanzen zu unterscheiden. Richtig leistungsfähig wird es aber erst, wenn Bildverarbeitungsalgorithmen mit maschinellem Lernen kombiniert werden, um Roboter zu bauen, die das Unkraut automatisch jäten.

All dies stellt BoniRob vor, einen Landwirtschaftsroboter, der mit Hilfe von Kamera- und Bilderkennungstechnologie Unkraut aufspürt und es entfernt, indem er einen Bolzen in die Erde treibt.

Er lernt durch Bildtraining anhand von Blattgröße, -form und -farbe, zwischen Unkraut und Nutzpflanzen zu unterscheiden. Auf diese Weise kann BoniRob durch ein Feld rollen und unerwünschte Pflanzen beseitigen, ohne das Risiko einzugehen, etwas Wertvolles zu zerstören.

Und während unsere KI-Freunde ohnehin auf den Feldern unterwegs sind, gibt es vielleicht andere Aufgaben, die sie übernehmen könnten.

Eine Gruppe von Wissenschaftlern arbeitet daran, dies Wirklichkeit werden zu lassen, indem sie Agrarroboter entwickeln, die sowohl Unkraut als auch den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens erkennen. Auf diese Weise können sie sich durch ein Feld bewegen, Unkraut entfernen und den Boden mit einer angemessenen Menge Wasser versorgen, während sie unterwegs sind.

Die Versuchsergebnisse für dieses System zeigen, dass sowohl die Pflanzenklassifizierung als auch die Unkrautbekämpfungsraten bei 90 % oder darüber liegen, während der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens in der Tiefe bei 80 ± 10 % gehalten wird.

KI-gesteuerte Landwirtschaftsroboter entwickeln einen beeindruckenden Lebenslauf!

- Luftbildvermessung und Bildgebung

An dieser Stelle ist es wahrscheinlich nicht überraschend, dass die Computer Vision auch einige großartige Anwendungen für die Landvermessung und die Überwachung von Ernten und Viehbeständen bietet.

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik
Das macht sie aber nicht weniger wichtig für die intelligente Landwirtschaft.

KI kann Bilder von Drohnen und Satelliten analysieren, um Landwirte bei der Überwachung von Ernten und Herden zu unterstützen. Auf diese Weise können sie sofort benachrichtigt werden, wenn etwas nicht in Ordnung zu sein scheint, ohne die Felder ständig selbst beobachten zu müssen.

Luftaufnahmen sind auch nützlich, um die Präzision und Effizienz des Sprühens von Pestiziden zu verbessern. Wie bereits erwähnt, spart man Geld und schont die Umwelt, wenn man sicherstellt, dass die Pestizide nur dort eingesetzt werden, wo sie vorgesehen sind.

- Klassifizierung und Sortierung von Erzeugnissen

Und schließlich kann die künstliche Intelligenz den Landwirten auch dann noch helfen, wenn die Ernte bereits eingebracht ist.

Genauso wie sie in der Lage sind, Defekte, Krankheiten und Schädlinge während des Wachstums der Pflanzen zu erkennen, können Bildgebungsalgorithmen auch eingesetzt werden, um "gute" Produkte von defekten oder einfach nur hässlichen zu trennen.

Durch die Prüfung von Obst und Gemüse auf Größe, Form, Farbe und Volumen kann die Computervision den Sortier- und Klassifizierungsprozess mit einer Genauigkeit und Geschwindigkeit automatisieren, die selbst geschulte Fachkräfte übertreffen.

Nehmen wir zum Beispiel das Sortieren von Möhren. Das ist mühsam und wird normalerweise von Hand gemacht. Forscher haben jedoch ein automatisches Sortiersystem entwickelt, das mit Hilfe von Computer Vision Karotten aussortiert, die Oberflächenfehler aufweisen oder nicht die richtige Form und Länge haben. Eine gute Karotte ist also eine, die die richtige Form (ein konvexes Vieleck) hat und keine faserigen Wurzeln oder Oberflächenrisse aufweist.

Nach diesen drei Kriterien konnte das Computer-Vision-Modell die Karotten mit einer Genauigkeit von 95,5 %, 98 % bzw. 88,3 % sortieren und bewerten.

In einer anderen Studie wurde festgestellt, dass KI mit maschinellem Lernen in der Lage war, Bilddaten mit sieben Eingangsmerkmalen zu verwenden, um die Qualität von Tomaten mit einer Genauigkeit von 95,5 % zu bewerten.

In beiden Fällen ist die Ersparnis an mühsamer Handarbeit enorm. Und das alles dank eines kleinen KI-Trainings, das zeigt, wie eine gute Karotte oder Tomate aussieht.

- Die Zukunft der KI in der Landwirtschaft: Landwirte als KI-Ingenieure? Im Laufe der Menschheitsgeschichte wurde in der Landwirtschaft schon immer Technologie eingesetzt, um die Effizienz zu verbessern und die intensive menschliche Arbeit in der Landwirtschaft zu reduzieren. Von verbesserten Pflügen über Bewässerung und Traktoren bis hin zu moderner KI haben sich Mensch und Landwirtschaft seit der Erfindung der Landwirtschaft weiterentwickelt.

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik

Die wachsende und zunehmend erschwingliche Verfügbarkeit von Computer Vision wird hier ein weiterer wichtiger Schritt nach vorne sein.

Da sich unser Klima, unsere Umwelt und der weltweite Nahrungsmittelbedarf stark verändern, kann die KI die Landwirtschaft des 21. Jahrhunderts verändern: Steigerung der Effizienz von Zeit, Arbeit und Ressourcen,

Verbesserung der ökologischen
Nachhaltigkeit, intelligentere
Ressourcenallokation.

Echtzeit-Überwachung, um die Gesundheit und Qualität der Produkte zu verbessern. Natürlich wird dies einige Veränderungen in der Agrarindustrie erfordern. Das Wissen der Landwirte über ihren Bereich muss in KI-Schulungen umgesetzt werden, und dies wird von größeren technischen und bildungsbezogenen Investitionen innerhalb des Agrarsektors abhängen.

Aber auch in der Landwirtschaft sind Innovation und Anpassung nichts Neues. Computervision und landwirtschaftliche Robotik sind nur die jüngsten Möglichkeiten, wie Landwirte neue Technologien einsetzen können, um den wachsenden globalen Nahrungsmittelbedarf zu decken und die Ernährungssicherheit zu erhöhen.

Wenn Sie mehr über KI-Anwendungen in anderen Branchen erfahren möchten, besuchen Sie: **v7labs**

17.2. Die Karibik

Viele kleine Inselentwicklungsstaaten (SIDS) in der Karibik haben noch keine Strategien und nationalen Maßnahmen entwickelt, um die Auswirkungen der KI auf ihre Gesellschaften zu bewältigen. Die Karibische Initiative für künstliche Intelligenz wird vom UNESCO-Cluster-Büro für die Karibik geleitet und zielt darauf ab, eine subregionale Strategie für den ethischen, integrativen und humanen Einsatz von KI in den karibischen SIDS zu entwickeln. Die Karibische KI-Initiative sensibilisiert, informiert, führt einen offenen Diskurs, stärkt Kapazitäten, produziert und teilt Wissen und sammelt Expertise von verschiedenen Interessenvertretern aus unterschiedlichen Sektoren in den englisch- und niederländischsprachigen karibischen SIDS, um den Weg zur Entwicklung regionaler und nationaler KI-Strategien zu identifizieren. Vor diesem Hintergrund wurde die Karibische KI-Initiative anlässlich der subregionalen Konsultation über den Entwurf einer Empfehlung zur Ethik der KI am 5. August 2020 ins Leben gerufen. [148]

17.3. Belize

Die Entwicklung von KI-Systemen beginnt immer mit der notwendigen Ausbildung. Ein hervorragendes Beispiel ist Belize [150]. Die Webseite dieser Veranstaltung enthält die folgenden Punkte:

- Warum ist eine Zertifizierung für KI-Experten erforderlich?

Künstliche Intelligenz hat in verschiedenen Ländern erheblich an Bedeutung gewonnen. In den letzten Jahren hat es außergewöhnliche Fälle gegeben, in

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik

denen KI in verschiedenen Branchen eingesetzt wird. Dies hat Unternehmen dazu veranlasst, künstliche Intelligenz in ihr System einzubauen. Die Implementierung von KI erfordert Fachleute, die ein tieferes Verständnis der künstlichen Intelligenz und ihrer technischen Zusammenhänge besitzen. Infolgedessen ist die Nachfrage nach Fachkräften gestiegen.

für Fachleute, die ihre Fähigkeiten bei der Anwendung von KI nachweisen können. Um sich von der Masse der KI-Fachleute abzuheben, können Einzelpersonen eine KI-Expertenzertifizierung erwerben.

Die Zertifizierung zum KI-Experten in Belize City hilft Fachleuten dabei, die schwierigen Konzepte der künstlichen Intelligenz und ihre Terminologie zu verstehen. Die Zertifizierung zum Experten für Künstliche Intelligenz basiert auf den 5 wichtigsten KI-Bereichen. Fachleute, die sich ein umfangreiches Wissen über diese Bereiche aneignen, können die Prüfung mit Bravour bestehen und die KI-Expertenzertifizierung in Belize City problemlos abschließen.

- AI-Experten-Zertifizierungsschulung in Belize City

Die AI-Expertenschulung wird von unserem internen Schulungszentrum in Belize City durchgeführt. Die Teilnehmer haben die Möglichkeit, mit ihren Ausbildern zu interagieren, um die Begriffe besser zu verstehen. Die Teilnahme an der KI-Expertenschulung hilft Einzelpersonen, praktische Einblicke in die KI zu erhalten und für die Branche gerüstet zu sein. Die Zertifizierung für Künstliche Intelligenz ist weltweit anerkannt und ermöglicht es Fachleuten, ihre Traumjobs auf globaler Ebene zu verfolgen. Der Besitz einer KI-Experten-Zertifizierung in Belize City berechtigt außerdem dazu, ein höheres Einkommen zu erzielen und Führungspositionen zu bekleiden. Darüber hinaus erlangen KI-Experten Verlässlichkeit und Glaubwürdigkeit unter Gleichgesinnten in der Branche.

- Hauptmerkmale der AI-Expertenzertifizierungsschulung in Belize City

Das AI Expert Certification Training in Belize City wird mit verschiedenen Trainingsmethoden durchgeführt. Personen, die sich für das AI Expert Training anmelden, können an praktischen Übungen wie Fallstudien und Diskussionen teilnehmen. Dies erleichtert es den angehenden KI-Experten, ihre Kompetenzen unter Beweis zu stellen und gleichzeitig ihre Karriereziele zu erreichen. Am Ende des 3-tägigen Trainingsprogramms müssen die Kandidaten die AI Expert Prüfung ablegen. Teilnehmer, die 65 % oder mehr erreichen, können ihre AI-Experten-Zertifizierung von Unichrone erhalten.

Der Zeitplan ist ausgezeichnet. Es ist ein hervorragendes Beispiel für viele Orte in der Karibik und Südamerika!

- Tag eins

Einführungen und Absprachen

Menschliche und künstliche Intelligenz

- Teil I

Menschliche und künstliche Intelligenz - Teil II

Ethik und Nachhaltigkeit - Vertrauenswürdige KI -

Künstliche intelligente Agenten und Robotik

Menschlich, bewußt, kompetent und anpassungsfähig sein

- Zweiter Tag

Was ist ein Roboter?

Anwendung der Vorteile der KI - Herausforderungen und

Risiken Anwendung der Vorteile der KI - Chancen und

Finanzierung

Aufbau einer Toolbox für maschinelles Lernen - Wie lernen wir aus Daten?

Aufbau einer Toolbox für maschinelles Lernen - Arten des maschinellen

Lernens Aufbau einer Toolbox für maschinelles Lernen - Zwei Fallstudien

Aufbau einer Toolbox für maschinelles Lernen - Einführung in die
Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik

Aufbau eines Werkzeugkastens für maschinelles Lernen - Einführung in die
Lineare Algebra und Vektorrechnung

- Tag drei

Aufbau eines Werkzeugkastens für maschinelles Lernen -

Visualisierung von Daten Ein einfaches Schema für ein
neuronales Netzwerk

Open Source ML und Robotersysteme

Maschinelles Lernen und Bewusstheit

Die Zukunft der künstlichen Intelligenz - Der Mensch + Maschine

lernen aus Erfahrung - Agile Projekte

Schlussfolgerung

Ein ausgezeichnete Ansatz, der in ähnlicher Weise auch von vielen anderen Institutionen genutzt werden kann.

Es ist wichtig, Lehrkräfte mit dem erforderlichen Hintergrund zu finden.

17.4. Argentinien und Uruguay

In dieser neuesten Folge der KI-Strategiereihe von Oxford Insights wenden wir uns der lateinamerikanischen Region zu und werfen einen genaueren Blick auf die Herangehensweise zweier Nachbarländer an die künstliche Intelligenz: Argentinien und Uruguay. [151]

Im diesjährigen Government AI Readiness Index führt Uruguay die lateinamerikanische Region mit einer Gesamtpunktzahl von 55,57 an. Argentinien

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik

belegte mit einer Gesamtpunktzahl von 50,75 den vierten Platz in der Region hinter Chile und Kolumbien. Als zwei regionale Vorreiter in diesem Bereich wird die Art und Weise, wie diese benachbarten Regierungen mit KI umgehen, wahrscheinlich Auswirkungen auf die zukünftige digitale und wirtschaftliche Landschaft in Lateinamerika haben.

Es gibt eine Reihe von Parallelen zwischen den KI-Strategien Argentiniens und Uruguays. Sie wurden im Jahr 2019 im Abstand von nur wenigen Monaten veröffentlicht, und beide wurden von früheren Regierungen entworfen, die inzwischen in nationalen Wahlen abgewählt wurden. Doch wie wir in diesem Blog untersuchen, liegen beiden Strategien scheinbar sehr unterschiedliche Prioritäten zugrunde. Für jeden betrachteten Bereich haben wir ermittelt, welche Strategie eines Landes unserer Analyse zufolge den komparativen Vorteil hat.

Argentinien hat eine umfassendere KI-Strategie, die 2019 unter der Regierung des damaligen Präsidenten Mauricio Macri veröffentlicht wurde. Das Dokument zielt unter anderem darauf ab, KI im privaten Sektor zu fördern, ethische Risiken zu minimieren und Talente zu entwickeln. Die KI-Strategie Uruguays, die ebenfalls 2019 unter dem ehemaligen Präsidenten Tabaré Vázquez veröffentlicht wurde, ist wesentlich kürzer und befasst sich vor allem mit der Förderung des Einsatzes von KI in der öffentlichen Verwaltung. Uruguays Agenda Digital 2020, ein weiteres Ergebnis der Vorgängerregierung, betrachtet die digitale Transformation des Landes jedoch viel umfassender und ist in dieser Hinsicht in vielerlei Hinsicht eher mit Argentiniens Strategie vergleichbar. Dieser Blog befasst sich daher auch mit den Dokumenten, Berichten und Agenden, die die KI-Strategien begleiten. Auf diese Weise hoffen wir, einen faireren Vergleich zu erreichen, der den Unterschieden in der Art und Weise Rechnung trägt, wie jedes Land seine strategischen Dokumente strukturiert.

- Hintergrund

Bevor wir uns mit der Analyse der einzelnen Strategien befassen, sollten wir uns den politischen Hintergrund vergegenwärtigen, vor dem sie stehen.

In einem von der Banco Interamericano de Desarrollo (BID) veröffentlichten Bericht wird behauptet, dass die argentinische KI-Strategie ab Mai 2020 als fortzuführen eingestuft werden kann;

d.h. derzeit nicht umgesetzt. Im Oktober wurde die amtierende konservative Regierung von Mauricio Macri von der Linkskoalition Frente de Todos von Alberto Fernández besiegt. Obwohl die Regierung Fernández anfangs eine gewisse Bereitschaft zeigte, sich für die digitale Transformation zu engagieren, indem sie versprach, das argentinische Ministerium für Wissenschaft und Technologien wieder einzurichten - das unter der vorherigen Regierung zu einem Sekretariat degradiert worden war -, wurde Fernández' Mandat seitdem von der Bekämpfung des Coronavirus dominiert.

Bei den Präsidentschaftswahlen 2019 erlebte Uruguay so etwas wie eine Umkehrung der argentinischen Situation, als die amtierende sozialistische Regierung durch einen Mitte-Rechts-Präsidenten, Luis Lacalle Pou, ersetzt wurde. Die Präsidentschaft von Pou scheint bisher reibungsloser verlaufen zu sein als die seines argentinischen Amtskollegen; im Gegensatz zu Argentinien, das mit mehr als 44.000 Todesfällen durch COVID-19 relativ stark von dem Virus betroffen war, wurden in Uruguay zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts nur 231 Todesfälle verzeichnet. Die Digitalisierung bleibt eine Priorität

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik

der Regierung, und im Gegensatz zu Argentinien betrachtet die BID die Strategie Uruguays als ein abgeschlossenes Dokument, das derzeit umgesetzt wird. Uruguay setzte bei seiner Reaktion auf das Virus sofort auf Technologie und schuf Online-Ressourcen, über die die Menschen nach

Beratung und Meldung potenzieller Fälle. Dies erregte die Aufmerksamkeit von Apple und Google, und in der Folge war Uruguay das erste Land in Lateinamerika, das ihre Track-and-Trace-Technologie einführte.

Auch wenn es möglich ist, dass die argentinische Regierung die Strategie für 2019 ignoriert oder abändert, so ist sie doch die aktuellste Vision der künstlichen Intelligenz in Argentinien und daher unser wichtigster Bezugspunkt für diesen Blog.

- Vision: Unentschieden Sowohl die argentinische als auch die uruguayische KI-Strategie formulieren ehrgeizige Ziele für eine digitale Zukunft und erhielten die volle Punktzahl in der Dimension Vision unseres Index. Dennoch haben die Visionen der beiden Strategien etwas unterschiedliche Schwerpunkte. Die wichtigsten Ziele jeder Strategie sind im Folgenden zusammengefasst;

Die argentinische KI-Strategie sieht einen viel stärker auf die Wirtschaft ausgerichteten Ansatz vor, während das uruguayische Pendant den Schwerpunkt auf die Verbesserung der Nutzung von KI in der Verwaltung legt. Diese unterschiedlichen Prioritäten spiegeln sich in unseren Indexergebnissen wider. Wie weiter unten erläutert, erzielte Argentinien höhere Indikatoren für die Bereitschaft des öffentlichen Sektors.

- Einen Markt für KI-Wachstum schaffen: Argentinien (vorerst) Laut unserem Index hat Argentinien im vergangenen Jahr Uruguay in Sachen KI-Reife im Technologiesektor übertroffen. Dies basiert auf Daten, die zeigen, dass es in Argentinien mehr als 6000 Tech-Start-ups gibt, verglichen mit nur 185 in Uruguay. Auch eine von der Banco Interamericano de Desarrollo durchgeführte Analyse kommt zu dem Schluss, dass Argentinien über ein stärkeres unternehmerisches Ökosystem verfügt, da es mehrere technologische Einhörner wie Mercado Libre (ein lateinamerikanisches Äquivalent zu eBay), Despegar (eine Reisebuchungswebsite) oder Globant (ein IT- und Softwareentwicklungsunternehmen) beherbergt.

Die schwankende argentinische Wirtschaft ist kein Unbekannter für hohe Inflationsraten und wirtschaftliche Zusammenbrüche, was bedeutet, dass das Land manchmal als schwieriges Geschäftsumfeld angesehen wird. Nichtsdestotrotz legt die KI-Strategie 2019 großen Wert darauf, den Weg für Tech-Giganten und Start-ups gleichermaßen zu erleichtern, was möglicherweise zum Erfolg Argentiniens in dieser Dimension beiträgt. Die Strategie verweist auf mehrere Initiativen in dieser Hinsicht, darunter;

- Die Schaffung des Nationalen Fonds für Unternehmerkapital (FONDCE) zur Unterstützung von Unternehmensgründungen.

Änderungen in der Gesetzgebung, die es ermöglichen, ein Unternehmen innerhalb von 24 Stunden zu gründen. Steuervorteile für Einzelpersonen, die in Start-ups und KMU investieren.

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik

In der uruguayischen Strategie wird die Wirtschaft dagegen kaum erwähnt, da der Schwerpunkt auf der öffentlichen Verwaltung liegt. Die Agenda Digital 2020 ist etwas stärker kommerziell ausgerichtet, konzentriert sich aber auf die "nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung".

und die Verringerung der wirtschaftlichen Risiken im Zusammenhang mit der künstlichen Intelligenz, wobei sie einen viel sichereren Ton anschlägt als ihr wachstumsorientiertes argentinisches Pendant.

Trotzdem haben viele festgestellt, dass der uruguayische Technologiesektor floriert und neue Einhörner wie dLocal Führungskräfte von Unternehmen mit Sitz in Argentinien abwerben, vor allem seit die Regierung Fernández eine interventionistischere staatliche Kontrolle der Wirtschaft eingeführt hat. Es bleibt daher abzuwarten, ob Argentinien diesen Vorsprung im kommenden Jahr halten kann.

- **Bereitschaft des öffentlichen Sektors: Uruguay**

Während die argentinische Strategie unter einem wirtschaftsorientierten Blickwinkel gut abschneidet, übertrifft die uruguayische Regierung Argentinien bei den Regierungsindikatoren in unserem Index.

Die argentinische KI-Strategie schlägt einige regierungszentrierte Reformen vor, betont die Notwendigkeit der Digitalisierung von Behördendiensten und hebt bestehende Initiativen hervor, wie z. B. Boti, einen virtuellen Assistenten, der den Bürgern die Interaktion mit der Kommunalverwaltung in Buenos Aires ermöglicht.

Die Reform des öffentlichen Sektors tritt jedoch kaum als zentraler Schwerpunkt der Strategie in Erscheinung, wie im Fall der uruguayischen KI-Strategie, die sich in erster Linie auf KI-Reformen im öffentlichen Sektor konzentriert. Die uruguayische Strategie zielt von Anfang an ausdrücklich darauf ab, "eine engere Beziehung zwischen den Menschen und dem Staat zu festigen" und "effizientere und innovativere Dienstleistungen" für die Bürger bereitzustellen, indem die digitalen Kapazitäten innerhalb der Verwaltung ausgebaut werden. Um dies zu erreichen, schlägt die uruguayische Strategie Folgendes vor:

- **Erstellung eines Schulungsprogramms für den Einsatz von KI im öffentlichen Dienst.** Schulung aller Regierungsabteilungen unter Verwendung des oben genannten Programms;

Festlegung von Standards, Leitlinien und Empfehlungen für die Prüfung von Entscheidungsalgorithmen, die in der Verwaltung eingesetzt werden, sowie andere Initiativen.

- **Durchführbarkeit und Umsetzung: Uruguay** Eine weitreichende Vision für Veränderungen zu haben ist eine Sache, aber wie unser erster Blog "Was macht eine gute KI-Strategie aus?" zeigt, müssen KI-Strategien messbare Ziele festlegen, wenn sie ehrgeizige Ideen in praktische Veränderungen umsetzen sollen.

Das ist etwas, was die uruguayische Strategie und ihre begleitenden Initiativen besonders gut können. Auf der Website von Uruguay Digital können Besucher

17. Die Entwicklung in Süd- und Mittelamerika und der Karibik

nach bestimmten digitalen Initiativen suchen, die in der Agenda Digital 2020 vorgeschlagen werden, und sehen, wie nah sie an der vollständigen Umsetzung sind, gemessen in Prozentpunkten. An anderer Stelle legt AGESIC, das Ministerium für digitale Regierung und Gesellschaft, das für die Erstellung der uruguayischen KI-Strategie verantwortlich ist, großen Wert auf die "tatsächliche Umsetzung der Dinge" und die "Verbesserung des Verbesserbaren" - was darauf hindeutet, dass die uruguayische

Die Digitalabteilungen der Regierung haben die Bedeutung einer Kultur des greifbaren Wandels erkannt.

Beispiel für Fortschrittsmarker auf der Website von

Uruguay Digital. Quelle: <https://uruguaydigital.gub.uy>.

Die argentinische Regierung verfügt nicht über ein ähnliches Instrument, so dass es schwierig ist, die Fortschritte bei einigen der in der KI-Strategie aufgestellten Forderungen zu verfolgen. Zugegeben, viele der in der Strategie vorgeschlagenen Ziele haben klare Marker. So hat die vorherige argentinische Regierung versucht, ihre Investitionen in Humankapital und digitale Bildung zu messen, indem sie unter anderem die Anzahl der verfügbaren KI-bezogenen Studienabschlüsse, Stipendienprogramme im Ausland und veröffentlichte Arbeiten verfolgte. Die Regierung scheint jedoch keine Daten darüber veröffentlicht zu haben, ob diese Ziele erreicht werden, was wahrscheinlich auf die institutionelle Diskontinuität zurückzuführen ist.

- Abschließende Schlussfolgerungen

Hinter den KI-Strategien Argentiniens und Uruguays stehen viele Fragezeichen. Sind sie einfach nur Überbleibsel alter Regierungen, wie die offensichtliche Aufgabe der argentinischen Strategie nahe zu legen scheint? Wie werden die neuen Regierungen der beiden Länder die mit der KI verbundenen Herausforderungen und Chancen angehen?

Bislang scheint die relativ neue uruguayische Regierung unter Luis Lacalle Pou den Staffelpstab in Sachen KI schneller in die Hand genommen zu haben als ihr argentinisches Pendant und hat KI in eine international gelobte Reaktion auf das Coronavirus integriert. In der Zwischenzeit sind nach dem Regierungswechsel nur sehr wenige Informationen über den Ansatz der Regierung Fernández in Bezug auf KI verfügbar; die argentinische KI-Strategie, die von der ArgenIA-Gruppe 2019 veröffentlicht wurde, wurde von der neuen Regierung noch nicht in einer Entschließung angenommen.

Wie der Fall Uruguays zeigt, kann KI ein leistungsfähiges Instrument für Regierungen sein, die eine Reaktion der öffentlichen Gesundheit auf das Virus koordinieren. Doch auch in Zukunft wird der digitale Sektor für die Verwaltungen von entscheidender Bedeutung sein, wenn es darum geht, die Wirtschaft im Gefolge der Krise wieder anzukurbeln. Da sich die Inflation in Argentinien 40 % nähert und der argentinischen Zentralbank die Dollars ausgehen, hat die Art und Weise, wie die argentinische Regierung in den kommenden Jahren mit KI umgeht, das Potenzial, den wirtschaftlichen Kurs des Landes zu bestimmen. Wir von Oxford Insights sind gespannt darauf, wie die beiden Regierungen in Argentinien und Uruguay ihre nationalen KI-Strategien prägen werden, wenn sie sich dem ersten Jahr ihrer Amtszeit nähern.[151]

18. Künftige Entwicklungen

Schon jetzt erleben wir große Veränderungen in allen Bereichen. Diese Entwicklungen werden sich fortsetzen und zu tiefgreifenden Veränderungen in allen Lebensbereichen führen.

"Angesichts dieser Entwicklungen ist es nicht verwunderlich, dass derzeit 62 Prozent der Personalverantwortlichen erwarten, dass KI das Arbeitsleben in den nächsten fünf Jahren grundlegend verändern wird. Unsere Arbeitswelt und Berufsbilder werden sich dramatisch verändern. So haben Untersuchungen von Erik Brynjolfsson, Direktor der Massachusetts Institute of Technology (MIT) Initiative on the Digital Economy, ergeben, dass maschinelles Lernen selten ganze Berufe ersetzt. Stattdessen übernimmt oder verändert es bestimmte Arbeitsabläufe innerhalb eines Berufsbildes. Einzelne Jobs werden sicherlich verschwinden. Überwiegend werden aber viele Aufgaben gemeinsam von Mensch und KI erledigt werden, ganz im Sinne von KI als persönlicher Assistent. Maschinen können zwar Aufgaben mit hoher Arbeitsbelastung und Routineaufgaben übernehmen. Weniger gut funktionieren sie jedoch bei abstrakten Prozessen, bei denen Fähigkeiten wie Empathie, Urteilsvermögen, Kreativität, Inspiration und Führung gefragt sind. Dazu gehören Bereiche wie Innovation und Personalmanagement." [129]

In Anbetracht dieser Entwicklungen wird deutlich, wie wichtig es ist, dass die Mitarbeiter flexibel und offen für neue Aufgaben sowie für kontinuierliches Lernen sind. Mit der Weiterentwicklung der KI muss auch die Kompetenz der Mitarbeiter diesen Fortschritten folgen. Es ist daher notwendig, Weiterbildungsstrategien zu entwickeln, um das Potenzial der KI auch nutzen zu können. Dies ist nicht nur eine Angelegenheit der IT-Mitarbeiter, sondern auch der Fachabteilungen. Salesforce zum Beispiel bietet zahlreiche kostenlose Trainingsmöglichkeiten an über eine Lernplattform Trailhead. Je mehr diese Technologien unsere Arbeit am besten unterstützen können

Je mehr wir uns um die Schaffung besserer Arbeitsplätze und Lebensbedingungen bemühen, desto erfolgreicher werden Unternehmen und fortschrittliche Gesellschaften sein.

Die Auswirkungen der Weiterentwicklung der künstlichen Intelligenz können sehr vielfältig sein und werden je nach wirtschaftlichem und gesellschaftlichem Kontext in den kommenden Jahrzehnten sehr unterschiedlich bewertet werden. In den meisten industrialisierten Volkswirtschaften ist ein (bedingungsloses) Grundeinkommen sehr wahrscheinlich - nicht zuletzt, weil es sogar von der aktuellen Wirtschaftselite forciert wird. Wer zahlt die Steuern? Na, die Roboter und Algorithmen! [130]

Das Bild der Zukunft im technologischen Bereich wird oft als "transmoderne Freiheit" bezeichnet. Der Begriff setzt sich aus den Elementen einer transmodernen

Gesellschaft sowie einer neuen Qualität des Freiheitsbegriffs zusammen und ist eine optimistische Version der Zukunft. Mein Szenario umfasst unter anderem die folgenden Aspekte:

- Technologie macht den Menschen menschlich.

Was sich widersprüchlich anhört, ist mir völlig ernst. Die richtige Verwendung von

18. Künftige Entwicklungen

Technologie, vor allem künstliche Intelligenz, könnte im besten Fall dazu führen, dass alle Menschen zum ersten Mal in der Geschichte der Menschheit Mensch sein dürfen. Was bedeutet Menschsein? Für mich bedeutet es, sich nicht um die tägliche Versorgung mit existenziellen Bedürfnissen kümmern zu müssen. Dieses Privileg ist seit Anbeginn der Menschheit (wenn überhaupt) einer kleinen Elite vorbehalten gewesen. Wenn aber die Grundbedürfnisse durch automatisierte Prozesse befriedigt werden können, besteht zumindest die Möglichkeit, dass die Erwerbsarbeit obsolet wird - stattdessen gehen die Menschen arbeiten, weil es ihren individuellen Stärken und Interessen entspricht und sie damit einen Beitrag zur Gesellschaft leisten.

- Sapiens 2.0 ist geboren.

- Technologie macht Menschen menschlich.

"In meinen Vorträgen spreche ich oft vom Homo Prospectus als einem zukunftsorientierten Menschen. Dieser ist Bestandteil einer neuen Form des Menschseins; damit sind nicht genetisch optimierte Menschen gemeint, sondern solche mit einer kosmopolitischen Denkweise und einem Verständnis von transmoderner Freiheit. Sie basieren auf einer aktualisierten Version der Aufklärung und des Humanismus, erkennen alles Leben als gleichwertig an und sind frei, ihre eigene Biografie ohne äußere Zwänge zu entfalten."

- Automatisierung von Diplomatie und Global Governance:

Neben der Produktion von Gütern des täglichen Bedarfs und der Infrastruktur muss natürlich auch die Regierungsführung automatisiert werden. Wem nützt es, wenn innerhalb einiger weniger geschlossener Nationalstaaten die Wirtschaft automatisiert ist, aber der Nachbarstaat regelmäßig diplomatische Krisen verursacht? Hier sehen wir zunehmend den Trend zu einem echten Tianxia, d.h. einem global inklusiven politischen System: Es erkennt einerseits die kulturellen und historischen Unterschiede von Menschen und Territorien an, gleicht aber andererseits menschliche Abgründe wie Gier, Hass oder Rache durch geschickte Diplomatie aus. Wenn ein Computer im Go-Spiel gegen einen Menschen gewinnt, wird er bald in der Lage sein, eine diplomatische Krise zu schlichten. Fragen Sie einfach die Menschen in Krisen- und Kriegsgebieten, die haben schon jetzt keine Lust mehr auf Terror."

- Zurück in die Gegenwart:

Künstliche Intelligenz wird die Welt mindestens so sehr verändern wie die Elektrizität oder die Zähmung des Feuers. Das sage nicht ich, das sagt Google-CEO Sundar Pichai 2018, aber ich stimme ihm zu. Gleichzeitig setze ich mich dafür ein, mehr Aufklärung zu betreiben und das Thema zu entmystifizieren. Die Erwartungen an das aktuelle Jahrzehnt reichen von der Angst vor einem Terminator-Szenario oder der vollständigen Automatisierung über Unverständnis für das *nervige Informatik-Geschwätz* bis hin zum

18. Künftige

verheerenden Digitalisierungsentwicklungen in Deutschland. Das muss endlich ein Ende haben. Wir brauchen mehr Aufklärung, bessere Bildung, mehr Information, aber auch temperamentvolle Diskussionen zur besten Sendezeit.[132]

Die "Sieben Todsünden" der zukünftigen Entwicklung:[132]

18. Künftige Entwicklungen

- Sünde 1: Überschätzung und Unterschätzung
- Sünde 2: Magische Ideen
- Sünde 3: Konkrete Leistung versus allgemeine Kompetenz
- sin 4: Ein Wort - ein Koffer voller Bedeutungen
- Sünde 5: Exponentialismus
- Sünde 6: Hollywood-Szenarien
- Sünde 7: Das Tempo der Umsetzung

Hollywood-Szenarien haben in den letzten Jahrzehnten viel Raum in Film und Fernsehen eingenommen. In [105] ist von außerirdischen Rassen die Rede (Abb. 18.1). Zu einer ersten Gruppe außerirdischer Rassen gehören die Grauen aus dem Sternsystem Zeta Reticulum und dem Orion-Sternbild, die in den Darstellungen von ETs allgegenwärtig sind. Sie werden in den meisten Untersuchungen im Zusammenhang mit Entführungen und UFO-Abstürzen erwähnt.

Das Forscherteam, das bereits die ersten lebenden Roboter (so genannte Xenobots, die aus Froschzellen bestehen und einfache Aufgaben erfüllen können) entwickelt hatte, entdeckte nun, dass die am Computer entworfenen und von Hand zusammengesetzten Organismen in einer Petrischale herumschwimmen und einzelne Zellen finden können. Darüber hinaus können sie Hunderte dieser Zellen zusammentreiben und mit ihrem Mund, der an die Computerspielfigur Pac-Man erinnert, zu Mini-Xenobotern zusammensetzen. Innerhalb weniger Tage entwickeln sich diese zu neuen Xenobots, die genauso aussehen und sich genauso bewegen.

Außerdem können diese neuen Xenobots auch herumschwimmen, Zellen finden und Kopien von sich selbst bauen.

Dieser Prozess kann beliebig oft wiederholt werden, wie die Wissenschaftler in ihrer Arbeit beschreiben, die in der Zeitschrift *Proceedings of the National Academy of Sciences* veröffentlicht wurde. Joshua Bongard, ein Robotikexperte und einer der Leiter der Studie, erklärte, dass sich die Xenobots mit dem richtigen Design spontan selbst replizieren können. Normalerweise würden sich diese embryonalen Stammzellen zu der Hautschicht eines Krallenfroschs (*Xenopus laevis*) entwickeln. Diese Zellen würden dann normalerweise an der Außenseite der Kaulquappe sitzen, Krankheitserreger abwehren und Schleim absondern. In ihrem Versuchsplan setzten die Forscher die Zellen jedoch einer neuen Umgebung und einem neuen Kontext aus. Michael Levin, einer der Forscher, erklärte, dass dies den Stammzellen die Möglichkeit eröffnet, sich an den genetischen Code zu erinnern, so dass sie sich zu anderen Zellen entwickeln können. Sam Kriegmann, ein weiterer an der Studie beteiligter Wissenschaftler, erklärte:

"Dies sind Froschzellen, die sich auf eine Weise replizieren, die sich von der Art und Weise, wie Frösche dies tun, stark unterscheidet. Kein Tier und keine Pflanze, die der

18. Künftige

Wissenschaft bekannt ist, replizieren und in dieser Weise."

Lange Zeit glaubte man, dass alle Möglichkeiten der Fortpflanzung von Lebensformen erforscht und bekannt seien. Doch den Wissenschaftlern zufolge ist dies etwas, das bisher noch nie beobachtet wurde. Die Zellen haben das Genom eines Frosches, aber da sie sich nicht zu Kaulquappen entwickeln, können sie ihre kollektive Intelligenz nutzen, um etwas zu erreichen



Abb. 18.1 Der Phantasie sind keine Grenzen gesetzt

etwas so Außergewöhnliches. Schon in früheren Experimenten waren die Forscher erstaunt über die Möglichkeit, Xenobots zu entwickeln, die einfache Aufgaben erfüllen. Nun waren die Forscher umso erstaunter, als sie feststellten, dass diese vom Computer entworfene Ansammlung von Zellen begann, sich spontan zu vermehren. Laut Levin gab es im gesamten Froschgenom keinen Hinweis darauf, dass die Zellen zusammenarbeiten und aus den gesammelten Zellen funktionsfähige Kopien von sich selbst kondensieren könnten.

Ein Meilenstein in Richtung Organzucht wurde in China erreicht. Forscher züchteten erstmals Menschen-Affen-Embryonen[120]. Das aus etwa 3.000 Zellen bestehende Elternteil ist kugelförmig und bildet von sich aus Nachkommen. Normalerweise stirbt dieses System schnell ab, so dass es normalerweise schwierig ist, es zur weiteren Fortpflanzung zu bewegen. Doch die Forscher nutzen ein Programm für künstliche Intelligenz auf einem Supercomputer-Cluster und testeten mithilfe eines evolutionären Algorithmus in einer Simulation Milliarden verschiedener Körperformen, von Kugeln über Pyramiden bis hin zur Form von Seesternen. Dabei fanden sie eine Form, die es den Zellen ermöglichte, sich aufgrund ihrer Bewegung möglichst effektiv kinematisch zu vermehren. Wie Kriegmann, einer der Autoren der Studie, erklärt, konnten sie so herausfinden, wie man die Form der ursprünglichen Eltern nachbilden kann:

18. Künftige Entwicklungen

"Die KI hat nach monatelanger Arbeit einige seltsame Designs entwickelt, darunter eines, das an Pac-Man erinnert. Es ist sehr unintuitiv. Es sieht sehr einfach aus, aber es ist nicht etwas, was ein menschlicher Ingenieur sich ausdenken würde. Aber in der Praxis hat sich gezeigt, dass genau dieses System funktioniert: Die elterlichen Xenobots konnten Kinder erzeugen, die wiederum Enkelkinder erzeugten, die wiederum Urenkel erzeugten, die wiederum Urenkel erzeugten. Mit dem richtigen Design könnte die Anzahl der Generationen stark erweitert werden. Bislang war die kinematische Replikation nur auf der Ebene einzelner Moleküle bekannt, wurde aber nie auf der Ebene ganzer Zellen oder Organismen beobachtet. Mit der Arbeit der Forscher hat sich dies nun geändert. Sie haben entdeckt, dass es innerhalb lebender Systeme einen riesigen, bisher unbekannten Raum gibt. Den Forschern zufolge "beherbergt das Leben überraschende Verhaltensweisen direkt unter der Oberfläche.

Stammzellenforscher züchteten Embryonen, die aus Teilen von Menschen und Affen zusammengesetzt waren und erstaunlich lange in der Kulturschale überlebten. Die Züchtung solcher Mischwesen löste eine Debatte über ethische Fragen bei der Forschung an solchen Chimären aus. Bereits vor fast zwei Jahren hatte der Stammzellenforscher Juan Carlos Izpisu'a Belmonte eine Ankündigung gemacht, die für einige Kontroversen sorgte: Im Juli 2019 erzählte Ispizúa der spanischen Zeitung *El País*, dass er mit chinesischen Wissenschaftlern zusammengearbeitet habe, um Embryonen zu züchten, die halb Mensch und halb Affe waren. Nun ist die dazugehörige Veröffentlichung in der Zeitschrift *Cells* erschienen, die die Debatte über ethische Fragen bei dieser Art von Forschung neu entfachen dürfte.

Der Stammzellenforscher hatte mit seinem Team Embryonen von Javaneraffen gezüchtet. Nach sechs Tagen implantierten sie diese mit hochgradig transformierbaren menschlichen Stammzellen. Die Zellen verschmolzen dann tatsächlich, und es entstanden 132 Embryonen aus Teilen von Menschen und Affen. Nach zehn Tagen waren 103 der Mensch-Affen-Chimären noch am Leben, und nach 19 Tagen waren noch drei am Leben.

Das Experiment ist nicht nur wegen der damit verbundenen ethischen Fragen erstaunlich, sondern auch, weil es überhaupt funktioniert hat. Bisher haben Chimären-Embryonen noch nie so lange überlebt. Frühere Versuche mit gemischten Mensch-Maus- und Mensch-Schwein-Embryonen waren gescheitert. Der Grund dafür war wahrscheinlich die hohe Artenschanke. Die Chimäre aus Affe und Mensch hingegen überlebte recht lange. Aber das lässt natürlich auch befürchten, dass diese Entdeckung für ethisch mehr als fragwürdige Zwecke missbraucht werden könnte: Würde der Chimären-Embryo in eine menschliche oder tierische Leihmutter eingepflanzt, könnte sich auf ihm möglicherweise eine neue, eigenständige Lebensform entwickeln.

Izpisu'a versicherte, dass er dies nicht vorhabe; außerdem hätten die Ethikkommissionen seine Experimente zuvor geprüft. Mit seinen Experimenten verfolgt er das Ziel

die Embryonalentwicklung besser zu verstehen. Außerdem arbeitet er seit langem daran, menschliche Organe und Gewebe für kranke Menschen in Schweinen zu züchten, sagte er:

18. Künftige

"Es liegt in unserer Verantwortung als Wissenschaftler, unsere Forschung gut zu durchdenken und alle ethischen, rechtlichen und sozialen Richtlinien zu befolgen."

Nach Ansicht von Stefan Schlatter, Direktor des Zentrums für Reproduktionsmedizin am Universitätsklinikum Münster, stellen die Arbeiten in der Chimärenforschung einen Durchbruch dar. Dank der Grundlagenforschung in diesem Bereich, so Schlatter, werden wir ein viel besseres Verständnis haben

18. Künftige Entwicklungen

der Bildung von Organen und Geweben im menschlichen Embryo. Allerdings müssen solche Studien unter der strikten Maßgabe stattfinden, dass unter keinen Umständen die Geburt eines Hybriden angestrebt wird. Rüdiger Behr, Leiter der Abteilung für degenerative Erkrankungen am Leibniz-Institut für Primatenforschung in Göttingen, sagte der Süddeutschen Zeitung, dass aus menschlichen Stammzellen, die in einen Affenembryo eingebracht werden, möglicherweise Organe mit völlig neuen Eigenschaften entstehen könnten:

Bei solchen Chimären, z. B. Schwein-Mensch-Hybriden, bestünde eine gute Chance, Organe für die Transplantation zu gewinnen. Ob die Rettung solcher unheilbar kranken Menschen eine ausreichende Rechtfertigung für die Schaffung solcher Chimären ist, ist eine offene Frage. Das müsse jeder Einzelne, die Gesellschaft insgesamt und schließlich der Gesetzgeber rechtsverbindlich entscheiden, so Behr.

Doch Michael Coors, Leiter des Instituts für Sozialethik an der Universität Zürich, fordert, dass dieser Entscheidungsprozess nun endlich beginnen muss, denn eine gesetzliche Regelung dieser Art von Forschung sei dringend notwendig. In Anbetracht der Tatsache, dass Izpisu'a seinen Versuch bereits vor zwei Jahren angekündigt hat, sind die Fakten jetzt nicht gerade überraschend. Umso erstaunlicher ist es, dass der Prozess kaum vorangekommen ist. Es ist nicht

Es geht nicht nur um Mischwesen, sondern auch um die Instrumentalisierung der verwendeten Tiere und das potenzielle Leid, das solchen Chimären zugefügt werden kann.

Manche Menschen mögen bei der Vorstellung von sich selbst replizierenden Nanorobotern mit Grausen aufblicken, aber die Wissenschaftler erklärten, dass es ihnen in erster Linie um das Verständnis der damit verbundenen Prozesse geht. Die millimetergroßen lebenden Maschinen, die sich ausschließlich im Labor befinden, sind nach Abschluss der Experimente leicht zu beseitigen und wurden außerdem von Ethikexperten auf verschiedenen Ebenen geprüft. Bongard sagte, dies sei nichts, was ihn nachts wach hält. Andererseits habe man eine moralische Verpflichtung, die Bedingungen zu verstehen, unter denen sich selbstreplizierende Systeme kontrollieren, steuern oder eindämmen lassen. In diesem Zusammenhang verweist er auch auf die Corona-Krise:

"Die Geschwindigkeit, mit der wir Lösungen entwickeln können, ist von großer Bedeutung. Wenn wir Technologien entwickeln können, die von Xenobots lernen, und der KI schnell sagen können: Wir brauchen ein biologisches Werkzeug, das X und Y macht und Z unterdrückt, dann könnte das sehr nützlich sein. Heute dauert das sehr lange."

Die neue Technologie könnte genutzt werden, um die Entwicklung von Problemlösungen in der Zukunft zu beschleunigen - zum Beispiel durch den Einsatz lebender Maschinen zur Entfernung von Mikroplastik aus Gewässern oder zur Entwicklung neuer Medikamente. Das Team sieht seine Forschung auch als vielversprechend für den Bereich der regenerativen Medizin an. Levin erklärt: "Wenn wir wüssten, wie wir Ansammlungen von Zellen dazu bringen können, das zu tun, was wir von ihnen wollen, wäre das letztlich die regenerative Medizin - die Lösung für traumatische Verletzungen, Geburtsfehler, Krebs und Alterung."

18. Künftige

Bislang können wir nicht vorhersagen, wer kontrollieren, welche Zellgruppen sich bilden werden oder welche Probleme in der Medizin daraus resultieren werden. Mit Xenobots haben wir jetzt eine neue Plattform, um dies zu lernen und zu erforschen.

Wir haben bereits den Einsatz von Robotern auf dem Mond und auf dem Mars erlebt, und es wird weitergehen. Irgendwann wird es Fabriken außerhalb der Erde geben, die wiederum Roboter und Raketen bauen werden, die weiter ins All fliegen.

18. Künftige Entwicklungen

Es ist fast unmöglich, die zukünftige Entwicklung etwas genauer vorherzusagen; es ist schon außerordentlich schwierig, die Gegenwart zu verstehen. Wenn man einige Newsletter einschlägiger Zeitschriften abonniert und die Neuauflagen von Büchern verfolgt, dann möchte man jeden Tag einige neue Abschnitte hinzufügen. So habe ich einige Probleme ausgelassen und muss den Leser bitten, die Entwicklung selbst weiter zu verfolgen.

Zum Beispiel habe ich das Programmieren so gut wie ausgelassen. Es wurde nur erwähnt, dass viele KI-Programme in Python programmiert wurden, es könnten aber auch beliebige andere Programmiersprachen verwendet werden. Sicherlich ist es aber selbstverständlich, dass DeepMind das Programmieren selbst zum Gegenstand des Lernens macht[133].

In der Einleitung zu diesem Papier heißt es: "Programmieren ist ein leistungsfähiges und allgegenwärtiges Problemlösungswerkzeug. Die Entwicklung von Systemen, die Programmierer unterstützen oder sogar selbständig Programme erstellen können, könnte das Programmieren produktiver und zugänglicher machen, aber bisher hat sich die Einbeziehung von Innovationen in der KI als schwierig erwiesen. Jüngste groß angelegte Sprachmodelle haben ihre Fähigkeit, Code zu generieren und einfache Programmieraufgaben zu lösen, eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Bei komplexeren, unbekannten Problemen, die Problemlösungsfähigkeiten erfordern, die über das einfache Übersetzen von Anweisungen in Code hinausgehen, schneiden diese Modelle jedoch immer noch schlecht ab. Zum Beispiel, wettbewerbsfähige Programmieraufgaben, die Folgendes erfordern
das Verständnis von Algorithmen und komplexer natürlicher Sprache bleibt eine Herausforderung. Um diese Lücke zu schließen, stellen wir AlphaCode vor, ein System zur Codegenerierung, das neuartige Lösungen für diese Probleme, die ein tieferes Verständnis erfordern, erstellen kann. Bei der Auswertung aktueller Programmierwettbewerbe auf der Codeforces-Plattform erreichte AlphaCode in Programmierwettbewerben mit mehr als 5.000 Teilnehmern eine durchschnittliche Platzierung von 54,3 %. Teilnehmer. Wir haben festgestellt, dass drei Schlüsselkomponenten für eine gute und zuverlässige Leistung entscheidend sind:

- (1) einen großen und sauberen Datensatz für Programmierwettbewerbe zum Trainieren und Bewerten,
- (2) groß angelegte und effiziente, auf Stichproben basierende Architekturen,
- (3) großangelegtes Modell-Sampling zur Erkundung des Suchraums, gefolgt von einer Filterung auf der Grundlage des Programmverhaltens bei einer kleinen Menge von Eingaben".

Das umfassendste Werk über die Zukunft der KI trägt den Titel "I 2041 - Ten Visions of the Future". [134] Es wird sicher interessant sein, dieses Buch in zwanzig Jahren wieder zur Hand zu nehmen.

Diese Studie nutzte die Darstellung unbemannter Systeme, um Militärs mit den Herausforderungen vertraut zu machen, die der Einsatz autonomer Waffen mit sich

18. Künftige

bringen kann, insbesondere im Hinblick auf die ethischen Herausforderungen, die sich daraus ergeben können. Aus den Interviews mit Militärexperten ging hervor, dass sich die Ethik der KI, insbesondere in der Kriegsführung, als ein reizvolles und verwirrendes Thema weiterentwickeln wird. Bemerkenswerterweise wurde die Schärfe des Themas von den Vertretern der Militärethik nicht direkt als moralischer Aspekt beobachtet oder angesprochen. Ethische Fragen werden wahrscheinlich auftauchen und deutlicher werden, wenn die Teilnehmer die Bewaffnung mit KI als ein greifbares Konzept akzeptiert haben.

18. Künftige Entwicklungen

Militärexperten sehen die Entwicklung von KI-gesteuerten Waffensystemen als einen unvermeidlichen und bemerkenswerten Prozess, der künftige bewaffnete Konflikte auf unbestimmte Weise verändern wird. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Befürwortung oder Ablehnung von autonomen Systemen durch die meisten Teilnehmer kontextabhängig und mit Unsicherheiten in der Anwendbarkeit behaftet ist. Vor allem wird angenommen, dass die Entscheidungsfindung durch Maschinen sehr problematisch oder unmöglich sein wird, da selbst Kommandeure mit Entscheidungen bei begrenzter Zeit und Information zu kämpfen haben. Auf der einen Seite könnten autonome Systeme einen erheblichen Vorteil bei der Steigerung des Kampfpotenzials einer Einheit bieten, auf der anderen Seite bergen sie aufgrund des mangelnden Vertrauens des Militärs in KI-eingebettete Systeme ein höheres Risiko. In der Praxis wurde viel Wert auf das Vertrauen in unbemannte Systeme gelegt, während hochrangige Offiziere einräumen, dass die bahnbrechende Technologie ein Umdenken in der militärischen Denkweise und Ausbildung erfordert. Die allgemeine Auffassung war jedoch, dass der künftige Einsatz von AWS die Kriegskunst nicht unbedingt verändern wird. Das Argument ist, dass die Kriegsführung letztlich ein Kampf des Willens ist, und Maschinen haben keinen freien Willen; sie bleibt immer zwischen menschlichen Führern, die ihren Willen schließlich durchsetzen können.

In Bezug auf autonome Unterstützungsfunktionen verwiesen mehrere Teilnehmer in ihren Antworten auf Fragen der Mensch-Maschine-Zusammenarbeit, die als relevant angesehen wird, da davon ausgegangen wird, dass unbemannte Systeme nicht in der Lage sind, Kampferfahrungen auszutauschen und militärische Fragen zu kommunizieren. Daher sind viele der Befragten der Meinung, dass es noch zu früh ist, um über die Übernahme von AWS zu diskutieren, insbesondere wenn sie Soldaten nicht ersetzen können oder mehr Personal für den Betrieb unbemannter Maschinen erfordern. Darüber hinaus wurde der innere Wille und die patriotische Mentalität der Soldaten, für die Freiheit zu kämpfen, hervorgehoben, was für ein autonomes System nicht vorstellbar ist, so dass unbemannte Plattformen kaum mit patriotischen Algorithmen ausgestattet werden können.

Die unbemannte Kriegsführung ist ein relativ neues Thema, weshalb ich mir bewusst bin, dass es bei dieser Studie Einschränkungen gab. Die Teilnehmer mussten sich die Auswirkungen von KI auf die Kriegsführung vorstellen, was zu sehr unterschiedlichen Darstellungen führte, selbst in ein und demselben Fachgebiet, was die Interpretation der Ergebnisse schwierig macht. Obwohl Experteninterviews eine eingehende Untersuchung ermöglichen, reicht ein Fragebogen allein nicht aus, um das Wesen eines neuartigen Themas umfassend zu erfassen. Es wurde jedoch explizit nach Schlüsselkategorien gefragt; den Teilnehmern sollten Fallstudien vorgelegt werden, die diese Kategorien enthalten und die es erleichtern, den Fokus auf ein bestimmtes Thema zu legen. Darüber hinaus könnten derart gestaltete Vignetten kulturelle Unterschiede einbeziehen und für dieses Forschungsfeld charakteristische Perspektiven einfangen. Die Ergebnisse der Studie sollen daher relevante Aspekte der KI aufzeigen, um zu verstehen, wie sie in einem militärischen Bereich verantwortungsvoll eingesetzt werden kann und welche Auswirkungen dies auf die folgende Forschung hat. In dieser Hinsicht kann sie Forschern und Systemingenieuren helfen, die Hauptvorteile und

18. Künftige

Hauptschwachstellen von AWS *Entscheidungen* der Endnutzer zu verstehen.

Die im Rahmen dieser Studie erzeugten und analysierten Datensätze sind nicht öffentlich zugänglich, da es sich um einen Auszug aus der laufenden Forschung handelt; sie sind jedoch auf Anfrage beim entsprechenden Autor erhältlich. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Universität Tartu genehmigt. Die informierte Zustimmung wurde eingeholt

*18. Künftige
Entwicklungen*

von allen an der Studie teilnehmenden Personen.

19. Referenzen

- 1 Yves Hilpisch. *Artificial Intelligence in Finance - A Python-Based Guide*, O'Reilly, Beijing - Boston - Farnham - Sebastopol - Tokyo 2021, 978-1-492-05543-3.
- 2 Claude E. Shannon. *A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits*, Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, 1938, Band 57, Nummer 12, S. 713 - 726.
- 3 Desmond MacHale. *The Life and Work of George Boole: A Prelude to the Digital Edge*, Cork University Press, Cork, UK, 2014, 978-1-78205-004-9.
- 4 George Boole. *The Mathematical Analysis of Logic: Being an Essay Towards a Calculus of Deductive Reasoning (Classic Reprint)*, Forgotten Books, 2016, 978-1-4400-6642-9.
- 5 Armin Biere und Marijn J.H. Heule und Hans vanMaaren und Toby Walsh. *Handbook of Satisfiability*, IOS Press, Feb. 2009, Band 185, 978-1-58603- 929-5, 0922-6389, Series Frontiers in Artificial Intelligence and Applications,
- 6 Christian Posthoff, Bernd Steinbach. *Logic Functions and Equations - Binary Models for Computer Science*, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2004, 978-1441952615-
- 7 Christian Posthoff, Bernd Steinbach. *Logische Funktionen und Gleichungen - Beispiele und Übungen*, Springer Science + Business Media B.V., 2009, 978-1-4020- 9594-8.
- 8 Bernd Steinbach, Christian Posthoff. *Logische Funktionen und Gleichungen - Grundlagen und Anwendungen mit dem XBOOLE-Monitor*, Dritte Auflage, Springer Nature, 2021.
- 9 Noel Kalicharan. *C-Programmierung - Ein Kurs für Fortgeschrittene*, September 2006.
- 10 Christian Posthoff, Bernd Steinbach. *Mathematik - Ohne Sorgen an der Uni I - Nutze Microsoft Mathematik*, bookboon.com, 2017, 978-87-403-1596-7
- 11 Christian Posthoff, Bernd Steinbach. *Mathematik - Ohne Sorgen an der Uni II - Nutze Microsoft Mathematik*, bookboon.com, 2017, 978-87-403-1949-1

- 12 Norbert Wiener. *Cybernetics - Control and Communication in the Animal and the Machine*, Martino Publishing Mansfield Centre, 2013, 978-1-61427-502-2
- 13 Steven L. Tanimoto. *An Interdisciplinary Introduction to Image Processing - Pixels, Numbers, and Programs*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2012, 978-0-262-01716-9
- 14 R. Schwaiger, J. Steinwendner. *Neuronale Netze programmieren mit Python*, Rheinwerk Computing, 2019, 978-3-8362-6142-5
- 15 Viktor Mayer-Schönberger, Kenneth Cukier. *Big Data: The Essential Guide to Work, Life and Learning in the Age of Insight (English Edition)*, John Murray (Publishers), 2017, 978-1-848-54793-3
- 16 David Silver, Thomas Hubert, Julian Schrittwieser, Ioannis Antonoglou, Matthew Lai, Arthur Guez, Marc Lanctot, Laurent Sifre, Dharshan Kumaran, Thore Graepel, Timothy Lillicrap, Karen Simonyan, Demis Hassabis. *Mastering Chess and Shogi by Self-Play with a General Reinforcement Learning Algorithm*, 2017
- 17 Yves Hilpisch. *Artificial Intelligence in Finance - A Python-Based Guide*, O'Reilly, Beijing - Boston - Farnham - Sebastopol - Tokyo 2021, 2021, 978-1-492-05543-3
- 18 <https://www.deepl.com/translator>
- 19 <https://www.w3schools.com/sql>
- 20 <https://browse.dict.cc>
- 21 <https://www.duden.de>
- 22 <https://www.stampworld.com/de>
- 23 <https://www.brockhaus-encyklopaedie.de>
- 24 <https://www.gutenberg.org>
- 25 <https://de.wikipedia.org/wiki/Amazon/Geschichte>
- 26 <https://de.wikipedia.org/wiki/EBay>
- 27 <https://de.wikipedia.org/wiki/Tripadvisor>
- 28 <https://statistikgrundlagen.de/ebook/chapter/korrelation>
- 29 <https://www.crashkurs-statistik.de/spearman-korrelation-rangkorrelation>

- 30 [https://www.kma-online.de/aktuelles/medizin/detail/
Kuenstliche Intelligenz-ermoeslicht-tumorerkennung-in-echtzeit-a-38968](https://www.kma-online.de/aktuelles/medizin/detail/Kuenstliche-Intelligenz-ermoeslicht-tumorerkennung-in-echtzeit-a-38968)
- 31 [https://www.cnbc.com/2019/02/04/
was-ist-wechat-china-grösste-messaging-app.html](https://www.cnbc.com/2019/02/04/was-ist-wechat-china-grösste-messaging-app.html)
- 32 <https://sourceforge.net/software/big-data/japan>
- 33 [https://www.thestar.com.my/tech/tech-news/2021/10/29/
wie-big-data-ist-helping-make-transport-cleaner-in-Dubai](https://www.thestar.com.my/tech/tech-news/2021/10/29/wie-big-data-ist-helping-make-transport-cleaner-in-Dubai)
- 34 [https://www.gtai.de/gtai-de/trade/specials/special/chile/
in-chile-bringen-schnell-nur-start-ups-die-kuenstliche-intelligenz-22598](https://www.gtai.de/gtai-de/trade/specials/special/chile/in-chile-bringen-schnell-nur-start-ups-die-kuenstliche-intelligenz-22598)
- 35 <https://www.softguide.de/software/simulation>
- 36 [https://www.spektrum.de/news/
covid-19-pandemiesimulationen-konnten-uns-nicht-vorbereiten/1761094](https://www.spektrum.de/news/covid-19-pandemiesimulationen-konnten-uns-nicht-vorbereiten/1761094)
- 37 <https://inno.uni-hohenheim.de/corona>
- 38 <https://inno.uni-hohenheim.de/corona-modell>
- 39 <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/specials/special/chile/in-chile>
- 40 <http://www.agendadigital.gob.cl/>
- 41 <https://www.conicyt.cl/fondequip/sobre-fondequip/que-es-fondequip>
- 42 <https://www.softguide.de/software/simulation>
- 43 [https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/zukunft-visionen/
3d-druck-anatomie-ausbildung-chance-dritte-welt-2755963](https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/zukunft-visionen/3d-druck-anatomie-ausbildung-chance-dritte-welt-2755963)
- 44 [https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/forschung/
tauschend-echte-koerperteile-aus-3d-drucker-2751353](https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/forschung/tauschend-echte-koerperteile-aus-3d-drucker-2751353)
- 45 [https://www.precisionag.com/digital-farming/
was-ist-digitale-landwirtschaft-wirklich](https://www.precisionag.com/digital-farming/was-ist-digitale-landwirtschaft-wirklich)
- 46 <https://innovationorigins.com/de/erdbeben-analyse-kuenstliche-intelligenz>
- 47 [https://www.heise.de/news/
China-betreibt-schon-zwei-ExaFlops-Supercomputer-](https://www.heise.de/news/China-betreibt-schon-zwei-ExaFlops-Supercomputer-)
- 48 [https://www.computerbase.de/2021-10/
intel-supercomputer-aurora-soll-2-exaflops-liefern-
zettaflops-schon-2027-kommen](https://www.computerbase.de/2021-10/intel-supercomputer-aurora-soll-2-exaflops-liefern-zettaflops-schon-2027-kommen)

- 49 <http://www.quantencomputer-info.de/quantencomputer/quantencomputer-einfach-erklaert>
- 50 <https://de.wikipedia.org/wiki/Quantencomputer>
- 51 <https://en.wikipedia.org/wiki/Anamorphosis>
- 52 <https://de.wikipedia.org/wiki/Steganographie>
- 53 <https://www.fjhohendorfartist.com/large-multi-view/PRINTS/3220269-4-253652/Malerei/Büffel-Pod.html>
- 54 Gunter Dueck. *Schwarmdumm - So blöd sind wir nur gemeinsam*, Goldmann 2. Auflage, 2018, 978-3-442-15950-5
- 55 <https://de.wikipedia.org/wiki/Robotik>
- 56 https://de.wikipedia.org/wiki/Kulturgeschichte_der_Roboter
- 57 <https://www.studycheck.de/studium/Medizinische-informatik>
- 58 [https://www.studieren-studium.com/studium/Medizinische Informatik](https://www.studieren-studium.com/studium/Medizinische_Informatik)
- 59 <https://www.mta-dialog.de/artikel/ki-basierte-auswertung-medizinischer-bilddaten.html>
- 60 <https://www.mta-dialog.de/artikel/kuenstliche-intelligenz-kann-krebsvorstufen-erkennen.html>
- 61 <https://www.mta-dialog.de/artikel/hirntumoraufnahmen-besser-auswerten-mit-kuenstlicher-intelligenz.html>
- 62 <https://www.mta-dialog.de/artikel/mit-kuenstlicher-intelligenz-seltene-krankheiten-aufspueren.html>
- 63 <https://www.mta-dialog.de/artikel/kuenstliche-intelligenz-krankhafte-bewegungsmuster-erkennen.html>
- 64 <https://www.mta-dialog.de/artikel/brust-mrt-biopsien-um-30-prozent-senken.html>
- 65 <https://der-farang.com/de/pages/ki-und-medizinische-bildgebung>
- 66 <https://healthcare-startups.de/kuenstliche-intelligenz-die-zukunft-der-medizin>

- 67 <https://www.mta-dialog.de/artikel/kuenstliche-intelligenz-schlaegt-hautaerzte-bei-der-diagnose.html>
- 68 <https://www.medical-design.news/news/roboter-therapeuten-brauchen-regeln.165458.html>
- 69 <https://www.jmir.org/2019/5/e13216/>
- 70 <https://christlicheperlen.wordpress.com/2018/03/10/die-zehn-gebote-zum-ausdrucken>
- 71 <https://studyflix.de/biologie/nervenzelle-2737>
- 72 <https://de.wikipedia.org/wiki/Netflix>
- 73 <https://de.wikipedia.org/wiki/23andMe>
- 74 <https://www.mpg.de/847908/forschungsSchwerpunkt>
- 75 <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/3-millionen-jahre-klimawandel-in-der-computersimulation>
- 76 <https://4919758967.naturavitalis.de/Mediathek/Magazine/Wie-viel-Digitalisierung-vertraegt-das-Gesundheitswesen.html>
- 77 <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/medizin/ki-erkennt-alzheimer-bereits-jahre-im-voraus-13372716>
- 78 <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/medizin/google-ki-schlaegt-mediziner-bei-der-frueherkennung-von-brustkrebs-13373664>
- 79 <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/medizin/kuenstliche-intelligenz-bewegt-roboter-katheter-autonom-zum-herzen-13372909>
- 80 <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/medizin/kuenstliche-intelligenz-erkennt-covid-19-fruehzeitig-am-atem-13374406>
- 81 <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/medizin/kuenstliches-herz-per-3d-druck-aus-menschlichem-gewebe-erzeugt-13372851>
- 82 <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/medizin/kuenstliche-intelligenz-entwickelt-hoecheffektives-antibiotikum-13373708>
- 83 <https://www.forschung-und-wissen.de/nachrichten/medizin/kuenstliche-intelligenz-prognostiziert-leistungsverlust-von-sportlern-13375408>

- 84 [*Uebermaltes-Picasso-Werk-durch-3D-Druck-wiederhergestellt-6233298.html*](https://www.heise.de/hintergrund/)
- 85 [*https://www.blitzgedanken.de/kunst/digitale-kunst/was-ist-computerkunst*](https://www.blitzgedanken.de/kunst/digitale-kunst/was-ist-computerkunst)
- 86 [*https://de.wikipedia.org/wiki/Digitale Kunst*](https://de.wikipedia.org/wiki/Digitale_Kunst)
- 87 Christopher J. Bartell, *Data-centric approach to improve machine learning models for inorganic materials*, Patterns, 2021 Department of Materials Science and Engineering, University of California, Berkeley, Berkeley, CA, USA
- 88 [*https://audit-research-center.com/produkt/machine-learning-finance*](https://audit-research-center.com/produkt/machine-learning-finance)
- 89 [*https://www.finanzen100.de/finanznachrichten/wirtschaft/deep-learning-modelle-an-der-boerse*](https://www.finanzen100.de/finanznachrichten/wirtschaft/deep-learning-modelle-an-der-boerse)
- 90 [*https://www.pwc.de/de/finanzdienstleistungen/kuenstliche-intelligenz-im-finanzzektor.html*](https://www.pwc.de/de/finanzdienstleistungen/kuenstliche-intelligenz-im-finanzzektor.html)
- 91 [*https://blog.fintechcube.com/ki-im-finanzwesen*](https://blog.fintechcube.com/ki-im-finanzwesen)
- 92 [*https://www.bitkom-akademie.de/lehrgang/ausbildung-zum-ki-manager*](https://www.bitkom-akademie.de/lehrgang/ausbildung-zum-ki-manager)
- 93 [*https://www.mittelstand-heute.com/artikel/weiterbildung-im-bereich-kuenstliche-intelligenz*](https://www.mittelstand-heute.com/artikel/weiterbildung-im-bereich-kuenstliche-intelligenz)
- 94 [*https://www.mittelstand-heute.com/artikel/zukunft-mittelstand-wo-werden-quantencomputer-eingesetzt*](https://www.mittelstand-heute.com/artikel/zukunft-mittelstand-wo-werden-quantencomputer-eingesetzt)
- 95 [*https://de.rt.com/international/127805-forscher-entwickeln-mittels-kuenstlicher-intelligenz-selbst-reproduzierend-bioroboter*](https://de.rt.com/international/127805-forscher-entwickeln-mittels-kuenstlicher-intelligenz-selbst-reproduzierend-bioroboter)
- 96 [*https://de.rt.com/international/116131-stammzellenforscher-erschaffen-mischwesen-aus-affe-und-mensch*](https://de.rt.com/international/116131-stammzellenforscher-erschaffen-mischwesen-aus-affe-und-mensch)
- 97 Jörg Maxton-Küchenmeister, Jenny Meßinger-Koppelt, *Digitale Medien im naturwissenschaftlichen Unterricht*, Joachim-Herz-Stiftung Verlag Hamburg, 2014
- 98 [*https://www.lehrerfreund.de/schule/Is/computernutzung-schule-deutschland/4590*](https://www.lehrerfreund.de/schule/Is/computernutzung-schule-deutschland/4590)
- 99 [*https://virtualpiano.net/virtual-steelpian*](https://virtualpiano.net/virtual-steelpian)
- 100 [*https://virtualpiano.net*](https://virtualpiano.net)
- 101 [*https://blog.dormakaba.com/de/sieben-wege-wie-kuenstliche-intelligenz-die-architektur-revolutioniert*](https://blog.dormakaba.com/de/sieben-wege-wie-kuenstliche-intelligenz-die-architektur-revolutioniert)

- 102 Thilo Hagendorf. *The Ethics of AI Ethics: Eine Bewertung von Richtlinien, Minds and Machines* (2020) 30:99-120
- 103 , Kleanthous et al.. *Die Wahrnehmung von Fairness bei algorithmischen Entscheidungen: Future developers' perspective*, Patterns (2021), <https://doi.org/10.1016/j.patter.2021.100380>
- 104 <https://linkezeitung.de/2018/10/19/der-grosse-krieg-frieden-mit-russland-ist-unsere-einzige-chance>
- 105 <https://transinformation.net/ein-bericht-ueber-ausserirdische-rassen-die-mit-der-menschheit-in-interaktion-stehen>
- 106 <https://www.lto.de/recht/legal-tech/l/kuenstliche-intelligenz-recht-legal-tech-in-der-praxis>
- 107 <https://www.perconex.de/de/aktuelles-detail/kuenstliche-intelligenz-im-rechtswesen-kurzfristiges-phaenomen-oder-langfristiger-trend.html>
- 108 Prof. Dr. Klaus Heine, <https://handbuch-ki.net/kuenstliche-intelligenz-und-recht>
- 109 <https://www.perconex.de/de/perconex-personaldienstleister.html>
- 110 <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/recht/wirksamer-schutz-der-grundrechte-in-einer-pluralistischen-welt>
- 111 <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/law/die-legitimitaet-und-wirksamkeit-der-rechtsstaatlichen-verwaltung-in-einer-welt-der-multilevels>
- 112 <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-projects/science/bildhafte-handschriftliche-archive-verstehen-lassen>
- 113 <https://www.cambridge-news.co.uk/business/technology/cambridges-lawbot-robot-anwalt-kann-13209877>
- 114 growpath.com/future-of-law-artificial-intelligence-for-lawyers
- 115 <https://abovethelaw.com/law2020/>
Wie Künstliche Intelligenz die juristische Forschung verändert
- 116 <http://industryglobalnews24.com/global-legaltech-artificial-intelligence-market-2021-kennen-die-analyse-und-trends>
- 117 <https://zegal.com/en-hk>

- 118 <https://teletimesinternational.com/2021/rta-digital-dubai-dubai-in-motion-gitex-2021>
- 119 <https://de.rt.com/international/127805-forscher-entwickeln-mittels-kuenstlicher-intelligenz-selbst-reproduzierend-bioroboter>, Dezember 2021
- 120 *Meilenstein in Richtung Organzucht: Forscher züchten in China erstmals Mensch- Affen-Embryo* <https://de.rt.com/asien/90867> de.rt, August 2019
- 122 *Big Data und künstliche Intelligenz: Neues Prinzipienpapier der BaFin*, https://www.bafin.de/SharedDocs/Veroeffentlichungen/DE/Meldung/2021/meldung_210615_Prinzipienpapier_BD_KI.html Ba Fin, Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht, Juni 2021
- 123 https://mandelbrot.de/fraktale_maerkte_i
ineffiziente maerkte mandelbrots alternativ sicht, Teil I, Mandelbrot Asset Management GmbH, 2019
- 124 https://mandelbrot.de/fraktale_maerkte_ii
ineffiziente maerkte mandelbrots alternativ sicht, Teil II, Mandelbrot Asset Management GmbH, 2019
- 125 https://mandelbrot.de/fraktale_maerkte_iii
ineffiziente-maerkte-mandelbrots-alternativ-sicht, Teil III, Mandelbrot Asset Management GmbH, 2019
- 126 Wilhelm Berghorn, Martin T. Schulz, Sascha Otto. *Fraktale Märkte, Grenzen und Faktoren*, International Journal of Financial Research 12(5):104, Juni 202,
- 127 A. Khan, *Computer und Rechtsangelegenheiten*, Ph.D. mit Auszeichnung, The University of The West Indies, 2005
- 128 Volker Watschounek. *Darmspiegelung, unterstützt von Künstlicher Intelligenz* <https://wiesbaden-lebt.de/> 2021
- 129 Frank Engelhard. *Die Zukunft der KI - und ihr Einfluss auf die Geschäftswelt*, Silicon.de, 2019
- 130 Kai Gondlach. <https://www.kaigondlach.de/artikel/wie-wird-kuenstliche-intelligenz-die-zukunft-veraendern>, 2021,
- 131 Rodney Brooks. *Die sieben Todsünden der Prognosen über die Zukunft der KI* 2017
- 132 <https://algorithmenethik.de/>

- 133 *news.mit.edu/2022/new-programming-language-high-performance-computers-0207*
- 134 Kai-Fu Lee, Qiufan Chen, *KI 2041 - Zehn Zukunftsvisionen*, Campus Verlag Frankfurt/New York, 2021, 978-3-593-51549-6
- 135 *<https://www.juraforum.de/lexikon/regel>*
- 136 *<https://kinder.wdr.de/tv/wissen-macht-ah/bibliothek/kuriosah/bibliothek-wer-hat-das-recht-erfunden-100.html>*
- 137 *<https://de.wikipedia.org/wiki/Vertragsrecht>*
- 138 *[https://en.wikipedia.org/wiki/Wilesproof des letzten Satzes von Fermat](https://en.wikipedia.org/wiki/Wilesproof_des_letzten_Satzes_von_Fermat)*
- 139 *<https://www.statworx.com/branchen/data-science-und-ki-in-der-logistik/>*
- 140 *<https://www2.deloitte.com/de/de/pages/finance-transformation/articles/ki-und-strategische-planung.html>*
- 141 *<https://www.ibm.com/topics/quantum-computing>*
- 142 *<https://de.wikipedia.org/wiki/Quantencomputer>*
- 143 *<https://texample.net/tikz/examples/feature/coordinate-calculations/>*
- 144 Janar Pekarev: *Attitudes of military personnel towards unmanned ground vehicles (UGV): a study of in-depth interview*, SpringerLink, Forschung, Open Access, Juni 2023
- 145 *<https://www.jaseci.org/the-future-of-artificial-intelligence-in-guyana/>*
- 146 *<https://www.jaseci.org/guyanese-students-to-be-introduced-to-ai-through-the-jaseci-funken-programm/>*
- 147 *<https://www.v7labs.com/blog/ai-in-agriculture>*
- 148 *<https://en.unesco.org/caribbean-artificial-intelligence-initiative>*
- 149 Chelcee' Brathwaite: *Künstliche Intelligenz (KI) in Südamerika - ein Vorbild für die Karibik*, Caricom Today, JULY 27, 2023
- 150 *<https://unichrone.com/bz/artificial-intelligence-expert-training/belize-city>*
- 151 Jasmine Kendall: *Oxford Insights' AI Strategy Series: Argentinien und Uruguay*, 13/Januar/2021, *<https://www.oxfordinsights.com/insights/2021/1/8/oxford-insights-ai-strategy-series-argentina-and-uruguay>*

152 <https://en.wikipedia.org/wiki/Four-color-theorem>

<https://www.ki-strategie-deutschland.de/home.html>

Index

- Algorithmus, 28
- Algorithmus, 22
- Alphazero, 78
- Alzheimer, 130
- Analytische Geometrie, 139
- Axiome, 50
- Rucksackproblem, 64
- Big Data
 - Alipay, 99
 - Apache-Software-Projekte, 97
 - Assoziationsanalyse, 95
 - Clustering, 95
 - Rabenvogel-19, 98
 - Hadoop, 97
 - MapReduce, 97
 - Prädiktive Analyse, 96
 - Funke, 97
 - Terark, 99
 - WeChat, 99
- Bog Data
 - Regressionsanalyse, 95
- Boolesche Algebra, 17
- Gehirnforschung, 8
- Browser, 28
- Church-Turing-These, 32
- Schaltungen, 20
- Cloud Computing, 87
- Färbungsprobleme, 60
- Kompetenz, 11
- Komplexität, 45
 - Exponentiale Komplexität, 45
 - Lineare Suche, 45
 - Polynomielle Komplexität, 45
- Komplexität, 42
 - Schmetterlingseffekt, 42
 - Exponentiale Komplexität, 42
 - logarithmische Komplexität, 45
 - polynomielle Komplexität, 42
- Berechenbarkeit, 32
- Computeralgebra, 38
 - Mathematica, 39
 - Microsoft Mathematik, 39
- Verbindung, 17
- CorelDRAW, 147
- Korrelationskoeffizient, 94
- Kovarianz, 93
- Covid-19, 131
- Kybernetik, 65, 66
 - Kontrolle, 66
 - Rückmeldung, 66
- Dartmouth-Konferenz, 21
- Datenbank, 84
 - Brockhaus, 84
 - Datenbanksprache, 84
 - Wörterbuch, 84
 - Verwaltungssoftware, 84
 - Verwaltungssystem, 84
 - relationale Datenbank, 85
 - SQL, 84
- Digitalkamera, 116
- Digitale Revolution, 116
- Digitale Transformation, 116
- Digitalisierung
 - Bildung, 123
 - GPS, 121
 - Unicode, 117

- Digitalisierung
 - Landwirtschaft, 121
 - digitale Transformation, 124
 - RGB-Farbraum, 119
- Disjunktion, 17
- duales System, 15
- Elektronischer Handel, 87
 - Marktplatz, 87
 - YouTube, 90
- E-Commerce
 - Amazon, 87
 - Ebay, 91
 - ebay, 87
- e-Commerce
 - Markttransparenz, 87
- Erdbeben, 126
- elektronische Akte, 190
- Gleichwertigkeit, 17
- exklusiv-oder, 17
- Fisheye-Projektion, 139
- Spieltheorie, 65
 - Minimax-Theorem, 65
 - n-Personen-Spiele, 66
- George Boole, 16
- Gravitationswelle, 120
- Gravitationswellen, 120
- HTML, 28
- HTTP, 28
- Bildverarbeitung
 - Hirntumor, 128
- Bildverarbeitungspixel, 136
- Informationstheorie, 65
 - vollständige Informationen, 66
- Intelligenz, 7
 - Künstliche Intelligenz, 7
 - Definition, 7
- Intelligenz
 - kollektive Intelligenz, 9
 - emotionale Intelligenz, 9
 - Umweltintelligenz, 8
 - menschliche Intelligenz, 8
 - vererbte Intelligenz, 8
 - soziale Intelligenz, 9
 - Schwarmintelligenz, 9
- Intelligenzquotient (IQ), 12
- Intelligenztest, 12
- Intelligenztest
 - psychologischer Test, 12
- Internet, 27
 - Javascript, 27
- lambda-Kalkül, 23
- lernen, 76
 - überlernen, 76
 - Vorhersagegenauigkeit, 76
 - Testdatensatz, 76
 - Trainingsdatensatz, 76
 - Validierungsdatensatz, 76
- legal, 189
- Legal Tech, 191
- Leibniz, 14
- LINUX, 27
- Logik, 16
- Magnetresonanztomographie (MRI), 128
- Mersenne-Primzahl, 5
- Mersennes Primzahl, 5
- Moore'sches Gesetz, 4
- Verneinung, 17
- Netflix, 90
- Netzwerk
 - Feed-Forward-Netzwerk, 75
 - Rückmeldung, 75
 - vollständig angeschlossen, 75
 - rekurrentes Netzwerk, 75
 - Abkürzungen, 75
 - Neuronales Netz, 71, 76
 - Faltnetz, 76

Neuronale Netze, 71

- Neuron, 71
 - Aktionspotenzial, 74
 - Membranpotenzial, 74
 - Schwelle, 71
 - Gewicht, 74
- Pearsonsche Rangkorrelation, 94
- Perceptron
 - einzelnes Perzeptron, 74
- Perzeptron, 74
- Polarkoordinaten, 139
- Problem des reisenden Verkäufers, 62
- Programmtest, 22
- Programmierung
 - Objektorientierte Programmierung, 25
- Programmierung, 22
 - logische Programmierung, 26
- Programmiersprache, 22
- Programmiersprache
 - ALGOL, 24
 - Backus-Naur-Form (BNF), 24
 - BASIC, 25
 - C++, 27
 - COBOL, 24
 - FORTRAN, 24
 - LISP, 24
 - SMALLTALK, 26
- Programmiersprache SIMULA, 25
- Programmiersprache, 22, 23
 - ADA, 27
 - C, 25
 - MODULA, 26
 - PASCAL, 25
 - PL/1, 25
 - PROLOG, 26
 - SCHEMA, 25
- Psychologie, 8
 - Kognitionspsychologie, 8
 - Entwicklungspsychologie, 8
 - Differentielle Psychologie, 8
 - Allgemeine Psychologie, 8
 - Neuropsychologie, 8
- Quantencomputer
 - Quantenverschränkung, 34
 - Überlagerungsprinzip, 34
- quantumbit, 35
- Quantencomputer, 35
- Robotik, 150
- Probenahme, 119
 - Bittiefe, 119
- Erfüllbarkeitsproblem, 48
- Shannon, 20
- Standardabweichung, 93
- Supercomputer, 20, 34
- Übersetzung
 - Google, 82
 - Übersetzung, 80
- Blindenschrift, 83
 - DeepL, 80
- Tripadvisor, 91
- Turing-Preis, 29
- Turing-Maschine, 28
- Turing-Maschine
 - Einbandmaschine, 30
- Turing-Maschine
 - Endzustand, 31
 - Start-Zustand, 31
- Turing-Test, 29, 30
- URL, 28
- Webserver, 28