

**1. Wie KI entstand.** Dieses E-Book beschreibt die Geschichte der KI. Sie lesen mit welchen Pionieren und mit welchen Ressourcen diese Technologie ab 1960 entwickelt wurde – ein spannender Bericht über die Forschung und Entwicklungen zahlreicher Informatiker und KI-Experten. 300 Seiten.

**2. Im E-Book Per Du mit der KI** finden Sie die Beschreibung von 90 KI-Tools für Ihren Alltag! Hier geht es um die praktischen Aspekte der Künstlichen Intelligenz. Uns überfluten täglich Nachrichten aus Presse, Radio und TV über diese Technologie. Hier finden Sie eine Übersicht über dieses spannende Thema. Und ein Glossar mit allen wichtigen Begriffen. Von Paulo Heitlinger, in Zusammenarbeit mit Ursula Walterscheid. Herbst 2025.

A large, stylized graphic of the letters 'KI' in a dark blue color. The letters are bold and blocky, with a slight shadow effect, set against a light orange background.A large, stylized graphic of the words 'Wie entstand' in a dark red color. The text is bold and blocky, with a slight shadow effect, set against a light orange background.

## Wie benutzt man dieses E-Book?

Dieses digitale Dokument bietet einen hohen Grad von Interaktivität an.

Das [Inhaltsverzeichnis der Themen](#) erlaubt den direkten Sprung zur genannten Seite. Das Register, am Ende des Buches, auch.

Die Navigationsleiste: Ein Mausklick auf «Themen» führt den Leser direkt auf Seite 3 zurück. Klicken Sie auf «Register», um dorthin zu springen.

Die internen Links – die sog. gekreuzten Referenzen – sind ebenfalls interaktiv.

Die externen Hyperlinks (URLs) setzen Ihren Web-Browser in Fahrt und öffnen die entsprechende Web-Seite.

Gute Navigation!

# Wie KI entstand

**D**iese Publikation ist für den persönlichen Gebrauch der Leser bestimmt. Das Buch (oder Teile davon) kann/können ausgedruckt werden.

Die Herstellung einer Backup-Kopie ist sinnvoll, da diese Maßnahme dem Verlust der PDF-Datei vorbeugt.

Die dem Leser eingeräumte Nutzungsrechte berechtigen ihn nicht dazu, Texte oder Bilder an Dritte zu verkaufen. Der Verkauf oder die Schenkung dieses Exemplars an Dritte ist untersagt. Die Weitergabe dieses Exemplars würde mit rechtlichen Schritten geahndet werden. Wenn Sie Bilder erwerben wollen, treten Sie bitte mit dem Verleger ([pheitlinger@gmail.com](mailto:pheitlinger@gmail.com)) in Verbindung.

Die E-Books werden im Format PDF verkauft. Sie werden herausgegeben von Paulo Heitlinger; sie sind auch intellektuelles Eigentum des Verlegers. Dieses Buch enthält 230 Seiten und 230 Bilder. Es wurde im Sommer 2025 aktualisiert.

© Copyright 2024/2025 by Paulo Heitlinger. Dieses Buch wurde nach ausführlichen Recherchen von Paulo Heitlinger verfasst. Doch der Autor kann keine Gewähr für die Richtigkeit der hier gemachten Aussagen übernehmen. Ursula Walterscheid leistete eine wertvolle Hilfe bei der Recherche zu verschiedenen KI-Themen und generierte diverse Bilder in diesem E-Book mit verschiedenen Bildgeneratoren.

**Wie KI entstand**

**Preis: 9,90 Euro**

**Per Du mit der KI**

**Preis: 9,90 Euro**

**Alles über KI = Wie KI entstand +**

**Per Du mit der KI Preis: 19,90 Euro**

Alle drei Varianten sind bei [www.mein-ki.de](http://www.mein-ki.de) erhältlich. Hier erhalten Sie auch die kostenlosen Exemplare zum Probelesen.

# Inhaltsverzeichnis

## Die Themen des Buches

KI .....	1
<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>3</b>
<b>Sie fragen... ..</b>	<b>6</b>
Für wen ist dieses Buch geschrieben? .....	6
Warum beschäftigen wir uns mit der <u>menschlichen</u> Intelligenz? .....	7
<b>Wie denken wir? .....</b>	<b>10</b>
Die Intelligenz formt und steuert unser Leben .....	10
Wie funktioniert das Gehirn? .....	11
Das Hirn, unser komplexestes Organ .....	18
<b>KI–was ist das ? .....</b>	<b>21</b>
Was ist Künstliche Intelligenz?.....	21
Die Grundlagen und die Anwendungen der KI .....	22
Die Künstliche Intelligenz in der Praxis .....	24
<b>Daten: das neue Gold .....</b>	<b>26</b>
Data-Mining: was ist das? .....	26
Der Prozess des Data-Mining .....	28
Spezialisierungen des Data-Mining .....	30
Anwendungsgebiete des Data-Mining.....	31
Rechtliche und moralische Aspekte des Data-Mining.....	32
<b>Neuronale Netze .....</b>	<b>33</b>
Netze aus künstlichen Neuronen .....	33
Lernverfahren für Neuronale Netze.....	36
Anwendungen von KNNs .....	38
Wie Neuronale Netze erforscht wurden .....	39
<b>Computer für KI .....</b>	<b>41</b>
Die Grundlage von KI.....	41
Die Entwicklung der Computer .....	42
PCs – die Erfolgsgeschichte der Personal Computer .....	48
Jetzt rechnen ...mit Licht ! .....	55
Leibniz-Rechenzentrum rechnet jetzt auch mit Licht.....	58
Der Energieverbrauch von KI.....	60
Eine kollektive, andauernde Erfindung .....	62
Photonische Chips: Eine kollektive Innovation .....	63
Photonische Chips aus den USA.....	69
Photonische Chips aus dem MIT .....	71
Der erste europäische Exascale- <b>Superrechner</b> kam nach Jülich.....	72
Was ist ein Quantencomputer? .....	74
Die Quantenprogrammierung .....	78
Der neue Quantencomputer der Goethe-Universität.....	79

Ein Quantencomputer von D-Wave in Jülich.....	80
Quantencomputer aus China: Entwicklungen & Perspektiven .....	82
<b>Smartphones .....</b>	<b>85</b>
Kommunikation für jung und alt .....	86
<b>Das Internet.....</b>	<b>93</b>
Die Bedeutung des Internets für die KI .....	93
Das Netz der Netze (1960er – 2000er).....	95
Die Geschichte des Internets .....	96
Die Kommerzialisierung des Internets .....	106
Ab 1991: Erster Web-Server am CERN .....	110
Der Dotcom-Boom und das 21. Jahrhundert.....	112
SEO, die Suchmaschinenoptimierung .....	113
Wie man erfolgreiches SEO macht .....	114
Das Web ist (fast) unnutzbar .....	115
Semantisches Web? .....	116
<b>Auf und davon... ..</b>	<b>117</b>
Autonomes Fahren.....	118
Fahrerloses Fahren: Wie ist das? .....	122
Die Entwicklung des Autonomen Fahrens.....	124
Die Sensoren für das Autonome Fahren .....	128
Googles Driverless Car .....	130
KI beim Autonomen Fahren .....	133
Selbstfahrende Autos: heute und in Zukunft .....	134
<b>Roboter .....</b>	<b>136</b>
Die Entwicklungsgeschichte der Robotik .....	137
Isaac Asimov, Science-Fiction-Autor .....	142

Roboter und KI: Die technologische Revolution.....	145
Roboter mit Künstlicher Intelligenz.....	147
Die multifunktionale Arbeitsmaschine ‘Roboter’ .....	149
Eine kurze Geschichte der humanoiden Roboter .....	151
Roboter von Boston Dynamics.....	154
Deutsche Industrie-Roboter von Kuka .....	159
<b>KI-Persönlichkeiten .....</b>	<b>162</b>
Viele brillante Köpfe prägen die KI-Entwicklung .....	162
Bill Gates und Microsoft.....	163
KI-Anwendungen von Microsoft .....	167
Apples KI-Initiative: Apple Intelligence.....	168
Elon Musk, herausragende KI-Persönlichkeit .....	170
Mark Zuckerberg schwärmt von der KI-Zukunft bei Meta .....	173
Wer ist Mark Zuckerberg? .....	175
Dr. Fei-Fei Li .....	176
Demis Hassabis, Chef von DeepMind.....	177
Sergey Brin, Informatiker und Milliardär.....	179
Sam Altman, Chef von OpenAi.....	180
Holger Hoos, Forscher des Maschinellen Lernens .....	181
Wolfgang Wahlster: Pionier der deutschen KI-Forschung.....	183
<b>KI-Pioniere .....</b>	<b>185</b>
Einige der Pioniere auf dem Gebiet der KI.....	185
1956: Die Geburt der KI .....	186
Welche war die erste KI-Anwendung? .....	187
Ada Lovelace (1815–1852), die erste Programmiererin .....	188
Charles Babbage, „Großvater des Computers” .....	189
Alan Turing, Code-Knacker .....	191

Sommer 1956: Die Dartmouth Conference .....	193
John McCarthy .....	195
Allen Newell, wichtiger KI-Pionier .....	197
Herbert Simon, Verhaltensforscher .....	199
Konrad Zuse baute Z3, den ersten deutschen Computer .....	201
Marvin Minsky, Forscher des Denkens .....	204
John von Neumann – Ein mathematisches Genie .....	206
Von Neumann zur Quantenmechanik .....	210
John von Neumanns Computer .....	211
Joseph Weizenbaum, Ketzer der Informatik.....	214
„Hello, I am ELIZA” .....	216
Arthur Lee Samuel, Pionier der KI .....	219
Yoshua Bengio, Pionier des Deep Learning .....	221
Yann LeCun, Pionier des Deep Learning.....	223
Shooting-Star Ian Goodfellow .....	225
Geoffrey Hinton’s KNNs .....	226
Andrew Ng, Pionier der KI .....	229
Bei Coursera online lernen.....	230
Daphne Koller .....	231
Judea Pearl .....	232
<b>KI in der Schule lernen .....</b>	<b>233</b>
Die Rolle von KI in der Bildung.....	233
KI in der Schule lernen .....	234
KI lehren .....	234
50 KI-Tools: Eine Sammlung für Schulen .....	235
KI im Schulunterricht.....	240
Telli: KI-Chatbot im Schul-Unterricht .....	243

<b>KI studieren .....</b>	<b>245</b>
KI-Studium in Europa .....	245
KI als Uni-Studium.....	246
Verschiedene KI-Tools für Studenten .....	247
<b>Bald.....</b>	<b>249</b>
Die Zukunft der Künstlichen Intelligenz .....	249
Yuval Harari: Vordenker der KI .....	252
Ray Kurzweil über KI .....	256
Ray Kurzweils Beitrag zur Entwicklung von KI .....	258
Die Umsetzung von Kurzweils Ideen bei Google.....	260
Nick Bostrom, das „schwedische Superhirn” .....	262
Die Selbstverbesserung (!) der Künstlichen Intelligenz .....	265
Einige Mechanismen der KI-Selbstverbesserung.....	266
STaR: Grenzenloses Lernen .....	267
Die verblüffenden Ambitionen des Startups ‚Mechanize’ .....	268
Allgemeine Künstliche Intelligenz: AGI .....	271
<b>Recht und Gesetz .....</b>	<b>274</b>
Warum sind Gesetze wichtig für KI? .....	274
Moral und Künstliche Intelligenz .....	276
<b>Glossar.....</b>	<b>277</b>
Begriffe der KI.....	277
<b>Die Autoren.....</b>	<b>291</b>
Paulo Heitlinger .....	291
Ursula Walterscheid .....	292
<b>Register .....</b>	<b>293</b>
Register .....	293

# Sie fragen...

## Für wen ist dieses Buch geschrieben?

**D**ieses Buch wurde für alle die geschrieben, die sich für die **Ent-stehung und die Entwicklung von Künstlicher Intelligenz interessieren: Schüler, Studenten, Lehrer, Professoren, PC- und Handy-Benutzer, lustige und traurige Menschen – für alle!**

**U**ns ist wohl bekannt, dass etliche Kinder schon mit kleinen Robotern spielen, die sowas wie eine Urform von Künstlicher Intelligenz darstellen. Also: alle, die sich für das Thema interessieren – von 14jährigen Lesern bis zum Leser mit 70, 80, 90, ?? Jahren – werden Spaß an diesem Buch finden und einen Nutzen davon ziehen können.

Allerdings sollten sich Jugendliche klar machen, dass in diesem Buch recht viele technische und computer-spezifische Begriffe vorkommen... Deswegen wurde ein Glossar angehängt, um diese Begriffe zu erklären.



Viele Kinder lieben solches technisches Spielzeug! Hier das Lego-Mobil „Smar Robot Car“ – eine Vorstufe zum Selbstfahrendem Auto.

## Die Sprachen

**D**as E-Book ist auf Deutsch geschrieben, also wurde es erstmals für diejenigen geschrieben, welche diese Sprache beherrschen. P. Heitlinger denkt aber auch an Übersetzungen – ins Englische und ins Portugiesische – und an ein Audio-Book.

Viel von der KI-spezifischen Terminologie wird auf Englisch verwendet – oft finden sie in der Presse AI (Artificial Intelligence), statt KI (Künstliche Intelligenz), Deep Learning (statt Tiefes Lernen), usw., usf. Sie sind uns wahrscheinlich nicht böse, wenn wir ab und zu solche *hype* englische Ausdrücke verwenden...

(Übrigens: Es gibt KI-Tools, die sehr gute Übersetzungen liefern. Ich benutze z.B. die Software DeepL, die Sie hier finden: [deepl.de](https://deepl.de)

Viele Begriffe werden im Glossar erläutert. Diesen finden Sie am Ende dieses Buches. Dort finden Sie auch das Register, wo viele Namen, Ausdrücke und Begriffe aufgelistet sind. Diesen Register finden Sie am Ende des Buches.

Viel Spaß beim Lesen wünschen die Autoren  
*Paulo Heitlinger / Ursula Walterscheid*



# Warum beschäftigen wir uns mit der menschlichen Intelligenz?

**Wir beschäftigen uns – gleich am Anfang dieses Buches – mit der menschlichen Intelligenz, um daraus ein grundsätzliches Verständnis der Künstlichen Intelligenz abzuleiten.**

Viele der Pioniere der Künstlichen Intelligenz haben sich mit der menschlichen Intelligenz beschäftigt – und damit wichtige Erkenntnisse gewonnen. Wir werden im Detail verstehen, wie das sogenannte **Machinelles Lernen** sich aus dem menschlichen Lernen ableitet...

Wenn man sich mit den Themen **Künstliche Intelligenz (KI)** und **Machinelles Lernen** und **Neuronale Netze** auseinandersetzen will, dann sollte man die Grundlagen dieser wichtigen Technologien erläutern.

Das Thema Künstliche Intelligenz (KI) entstand in den 1950er Jahren, als sich einige damalige Informatiker fragten, ob es möglich sei, Aufgaben, welche von Menschen erledigt werden, von **Computer erledigen zu lassen**.

Das erste Einsatzgebiet einer KI war ein **Schachspiel**. Hierfür gaben Programmierer einen Regelsatz vor, um die Aufgabe zu lösen. Daraus folgte die Überlegung, dass man eine KI auf menschliches Niveau brin-

gen kann, indem man ihr einen ausreichend grossen Regelsatz vorgibt. Dieser Ansatz wurde bis Ende der 80er-Jahre verfolgt. Man merkte jedoch recht schnell, dass dies für komplexere Aufgaben nicht ausreichend war. Ein Beispiel hierfür ist die **Bilderkennung** oder das **Übersetzen von Fremdsprachen**. Aus dieser Tatsache entstand das **Machine Learning**.

## Machinelles Lernen

Durch die Veröffentlichung von **Alan Turings** ([siehe S. 191](#)) Papier *Computing Machinery and Intelligence* kam es zu einer entscheidenden Wendung der Konzepte rund um das Thema Künstliche Intelligenz.

Mit der sogenannten *“Lady Lovelace Objection”* kam Turing zu dem Ergebnis, dass Allzweckcomputer in der Lage seien, **selbst zu lernen**. Bei der *Lady Lovelace Objection* geht es um Turings Gegenthese zu einer Aussage von Lady **Ada Lovelace** aus dem Jahre 1843: Sie sagte damals über die Rechenmaschine *Analytical Engine*, welche Charles Babbage erfunden hatte, dass diese nicht das Ziel habe, Neues zu erschaffen.

Dadurch entstand die grundlegende Frage von **Machine Learning**: Kann ein Computer nicht nur auf Basis von vorgegebenen Regeln Entscheidungen tref-

fen, sondern vielleicht auch selbstständig anhand von Daten lernen?

Dabei gibt es Unterschiede zwischen dem klassischen Programmierparadigma und dem des **Machine Learning**: Bei dem klassischen Prinzip werden Daten und Regeln als Input der Applikation vorgegeben. Aus diesem Input werden dann die Antworten erstellt.

Beim **Machinellen Lernen** werden stattdessen Daten und dazugehörigen Antworten mitgegeben. Daraus sollen diejenigen Regeln erkannt werden, welche zu dem Ergebnis führen. Diese **erlernten Regeln** lassen sich dann nämlich auf neue Daten weiter anwenden...

## Deep Learning

Bei Deep Learning handelt es sich um einen Ansatz von **Machinellem Lernen**. Grundsätzlich sind beim Deep Learning immer drei Bestandteile vorhanden: Eingabedaten, Ergebnisse und Weg zum Prüfen der Resultate.

Dabei sollen mit den Daten und dem **Machinellen Lernen**-Algorithmus über mehrere Schichten hinweg immer passendere Repräsentationen gefunden werden. Somit steht das **Deep** dafür, dass mehrere Repräsentati-

onsschichten erstellt und durchgearbeitet werden. Dies beschreibt die *Tiefe* eines Modells.

Beim **Deep Learning** werden die verschiedenen Repräsentationen durch ein Neuronales Netz erlernt. Umso geringer der Wert der Verlustfunktion ist, desto genauer sind die Ergebnisse zu den Zielwerten. Dann spricht man davon, dass ein Neuronales Netz trainiert ist. Der Verlustwert beschreibt die Abweichung zwischen Output und dem gewünschten Ergebnis.

Anwendungsbeispiele:

- Bilderkennung
- Spracherkennung
- Handschrifterkennung
- Übersetzungen
- Digitale Assistenten
- Machine Learning

## Neuronale Netzwerke

Neuronale Netzwerke stellen einen fundamentalen Baustein der Künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernens dar. Es gibt verschiedene Arten von Neuronalen Netzwerken, die sich in ihrer Architektur und in ihren Anwendungen unterscheiden.

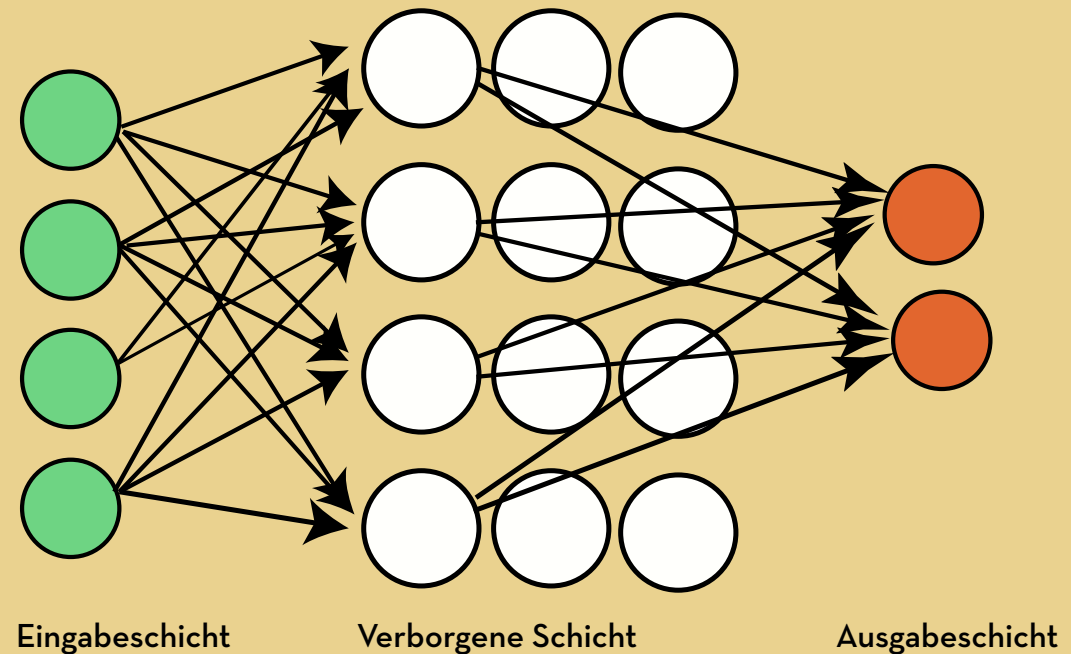
Neuronale Netzwerke finden Anwendung in einer Vielzahl von Bereichen:

- Computer Vision: Bilder erkennen und klassifizieren, Gesichter identifizieren oder Objekte in Videos verfolgen.

- Natürliche Sprachverarbeitung: Textanalyse, maschinelles Übersetzen, Chatbots und Sprachgenerierung.
- Medizin: Fehlerdiagnose, Bildanalysen in der Radiologie und personalisierte Medizin.
- Finanzen: Betrugserkennung, algorithmischer Handel und Risikoanalyse.

Neuronale Netzwerke sind inspiriert durch die Funktionsweise des menschlichen Gehirns und ermöglichen es Maschinen, Muster zu erkennen, zu lernen und Entscheidungen zu treffen.

## NEURONALES NETZWERK



### Die 3 Schichten

Ein Neuronales Netzwerk besteht aus drei Haupttypen von Schichten:

- **Eingabeschicht:** Diese Schicht nimmt die Eingabedaten auf, die verarbeitet werden sollen.
- **Verborgenen Schichten:** Diese Schichten (Hidden Layers) führen die Hauptverarbeitung durch. Ein Netzwerk kann viele verborgene Schichten haben, was die Fähigkeit zur Mustererkennung erhöht.
- **Ausgabeschicht:** Hier werden die Outputs des Netzwerks generiert.



Nun ein detaillierter Einblick in die Struktur, Funktionsweise, Anwendungen sowie Herausforderungen von Neuronalen Netzwerken.

Neuronale Netzwerke bestehen aus miteinander verbundenen Einheiten, den sogenannten **Neuronen**, die in Schichten organisiert sind. Diese Struktur erlaubt es den Netzwerken, komplexe Beziehungen und Muster in Daten zu erfassen.

## Teilgebiete des Machine Learnings

### – Überwachtes Lernen

Dies ist die meistverbreitete Art des Lernens mit Neuronalen Netzen. Dabei werden Eingabedaten anhand von Beispieldaten bestimmten Zielwerten zugeordnet.

Beispiele:

- Binäre Klassifizierung
- Mehrfachklassifizierung
- Skalare Regression
- Sequenzerzeugung: Hinzufügen einer Bildbeschreibung.
- Vorhersage von Syntaxbäumen: Sätze in ihre Bestandteile zerlegen.
- Objekterkennung: Objekt innerhalb eines Bildes erkennen.
- Bildsegmentierung

### – Unüberwachtes Lernen

Dieses Verfahren kommt meist bei der Visualisierung, Komprimierung und Bereinigung von Daten zum Einsatz. Vor allem Datenanalytiker nutzen dies häufig.

### – Selbstüberwachtes Lernen

Dies ist sehr eng mit dem überwachten Lernen verbunden. Der Unterschied ist aber, dass keine Klassenbezeichnungen von Menschen vorgegeben werden. Diese werden stattdessen anhand der Eingabedaten erzeugt. Ein Beispiel hierfür wären **Autoencoder**.

### – Verstärktes Lernen

Aktionen werden beispielsweise dadurch erlernt, dass ein Neuronales Netzwerk einen Bildschirm eines Videospiels beobachtet und für die Maximierung des Punktestandes Steuerungsanweisungen ausgibt.

## Training und Bewertung

Wenn man ein **Neuronales Netzwerk** trainiert, sollte man jedes Mal zwischen Trainingsdaten und Testdaten unterscheiden und diese unterteilen.

Mit den **Trainingsdaten** soll das Netz trainiert werden und passende Regeln erkennen. Mit den Regeln sollen anschliessend Vorhersagen getroffen werden und anhand von Testdaten überprüft werden, wie gut diese Vorhersagen sind.

Benutzt man die Trainingsdaten auch zum **Überprüfen**, werden die Vorhersagen bei neuen Daten schlechter. Dann redet man von einer Überanpassung.

Aus diesem Grund sollte man Daten in Trainings-, Validierungs- und Testdaten aufteilen. Dabei werden die Trainingsdaten für das reine Trainieren verwendet. Die Leistung des Netzes wird mittels der Validierungsmengen überprüft.

Sobald das Training abgeschlossen wird, gibt es einen Testlauf mit Testdaten.

## Auswahl von Trainingsdaten

Beim Auswählen von Trainingsdaten gibt es Dinge, die auf jeden Fall beachtet werden sollten. Vor allem muss es sich bei der Aufteilung um sinnvolle Daten handeln.

Ist ein Neuronales Netzwerk beispielsweise für die Erkennung von Zahlen gedacht und man teilt die Daten so auf, dass in den Trainingsdaten die Ziffern 0-6 und in der Testdaten die Ziffern 7-9 sind, dann sind die Daten nicht wirklich repräsentativ.

Ebenfalls sollte beachtet werden, dass es keine doppelten Daten gibt. In diesem Fall kann es nämlich dazu kommen, dass man mit Trainings- und Testdaten trainiert, was unbedingt zu vermeiden ist.

# Wie denken wir?



Unsere Intelligenz wohnt im Gehirn. Hier ein Bild eines solchen Gehirns, fotografiert in der Ausstellung „Das Gehirn“ in der Kunstaustellungshalle Bonn. Foto: Paulo Heitlinger.

## Die Intelligenz formt und steuert unser Leben

**Die Geschichte, die Gegenwart und die Zukunft der menschlichen Intelligenz...**

Bislang gilt *Intelligenz* als ein Privileg der Menschheit. Denn Leistungen wie das Gravitationsgesetz (von *Isaac Newton* erforscht) oder die Relativitätstheorie ( $E = mc^2$ , von *Albert Einstein* entdeckt) sind brillante Erzeugnisse von phänomenalen Denkern. (Aber nicht jeder Mensch ist in der Lage, so etwas zu erdenken...)

In einem langen Evolutionsprozeß, der Millionen von Jahren andauerte, haben sich unsere Vorfahren – die *Hominiden* – zum *Homo Sapiens* – zum vernunftbegabten Menschen – fortentwickelt. Nun sind wir die „Krone der Schöpfung“, dank der phänomenalen Leistung unseres **Gehirns**.

**W**ir entscheiden über alles, über uns und über die Natur, über unseren Fortschritt und (leider) auch über unsere Rückschritte. Wir entscheiden über was lebt und was sterben muss, wir wählen ob wir in einer Demokratie (wie jetzt) oder in einer Diktatur (wie zu Hitlers Zeiten) leben wollen.

Wir alle wissen es: Der Mensch hat die volle Macht über seine Gegenwart und über seine Zukunft.

In der Tat: Unsere *Intelligenz* – und unser *Gedächtnis* – sind etwas Wunderbares. Sich zu *erinnern*, ist für das Gehirn eine enorme Herausforderung und eine beeindruckende Leistung. Aus der *Erinnerung* schöpfen wir die wichtigen Erkenntnissen über unser Leben – und schlußfolgern, wie wir leben möchten...



## Auf der Suche nach unser Intelligenz

# Wie funktioniert das Gehirn?

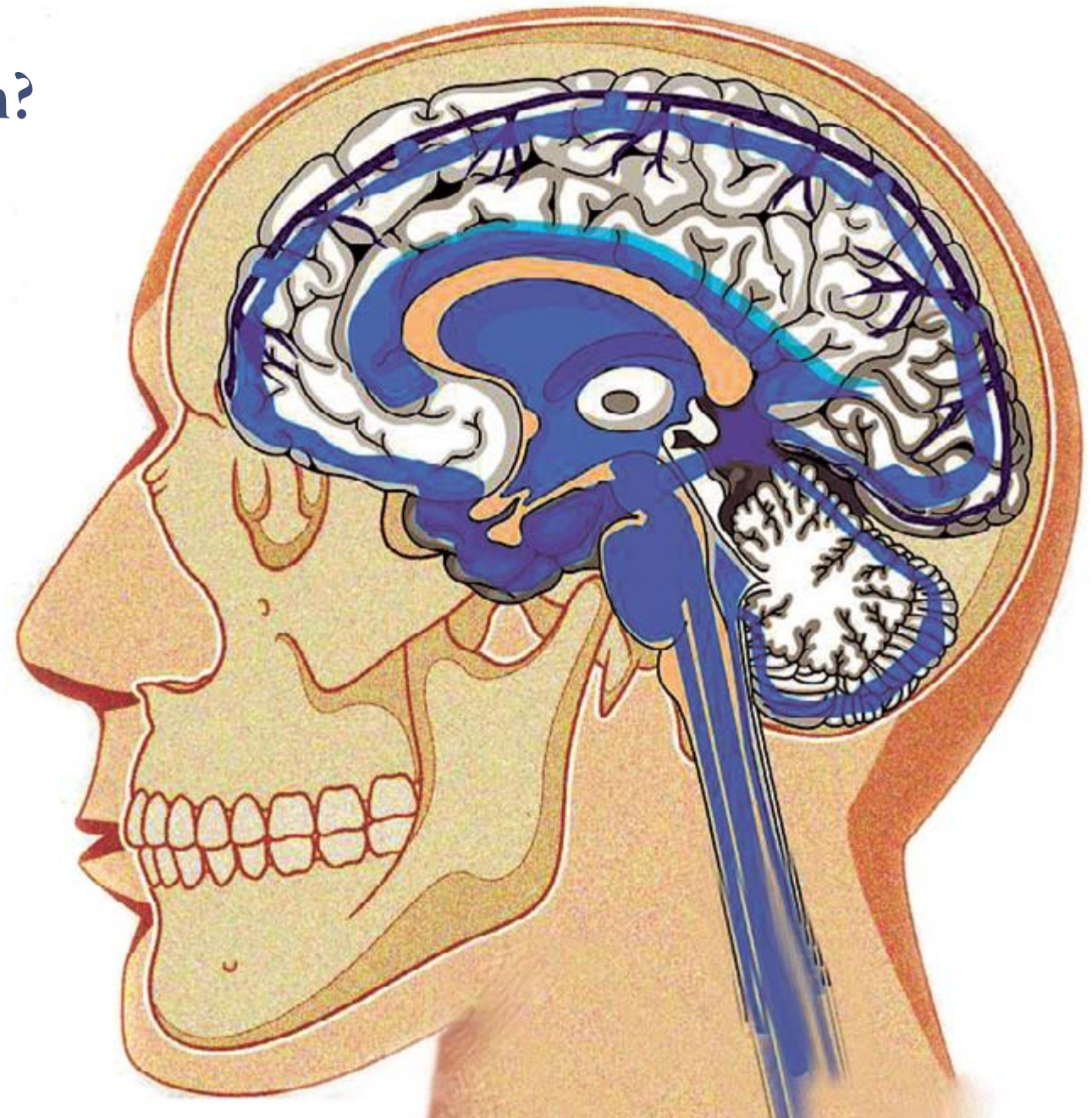
**L**assen Sie uns einen Schädel zersägen, aufmachen und hineingucken. Dann berichten wir Ihnen über die anatomische Struktur, den Aufbau, die Funktionsweise und das Training des Gehirns. Hier das Wichtigste über unsere Schaltzentrale...

**U**nser Gehirn entfacht seit jeher Faszination. Es ist die Schaltzentrale, die unser Denken, Verhalten und Empfinden steuert. Doch trotz langer Forschung bleibt das Gehirn ein Rätsel, das nur teilweise entschlüsselt wurde. In diesem Artikel werfen wir einen genaueren Blick auf unser Gehirn, seine Funktionen und die verschiedenen Gehirnregionen, die eine entscheidende Rolle bei der Steuerung unseres Körpers und unserer kognitiven Fähigkeiten spielen.

### Das menschliche Gehirn: Sein Umfang

Das menschliche Gehirn besteht aus 86 Milliarden von **Neuronen** (=Nervenzellen). Es wiegt durchschnittlich 1,5 Kilogramm, ist so groß wie zwei Fäuste und seine Form erinnert an das Innere einer Walnuss. Es wird in vier Hauptbereiche unterteilt:

- das Großhirn,
- das Kleinhirn,
- das Zwischenhirn
- und den Hirnstamm.



## Das Großhirn

Das **Großhirn**, auch **Cerebrum** genannt, ist der größte Teil des Gehirns und macht 85% des Gesamtvolumens aus. Es besteht aus zwei Hälften, den sogenannten **Hemisphären**, die durch eine tiefe Fissur getrennt sind.

Jede **Hemisphäre** besteht aus vier Lappen:

- dem Frontallappen (dt. Stirnlappen),
- dem Parietallappen (dt. Scheitellappen),
- dem Temporallappen (dt. Schläfenlappen)
- u. dem Okzipitallappen (dt. Hinterhauptlappen).

Durch ihre dichte Vernetzung elektrischer Signalwege ermöglichen diese Regionen komplexe Hirnfunktionen, wie Bewegung, Sinneswahrnehmung, Sprache und Gedächtnis.

## Das Kleinhirn

Das Kleinhirn befindet sich unterhalb des Großhirns und ist für die Koordination von Bewegungen und die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts zuständig. Neue Studien zeigen, dass es außerdem an Lernprozessen und weiteren kognitiven Prozessen beteiligt ist. Es hat eine charakteristische, feine Oberflächenstruktur, die aus vielen kleinen Furchen und Windungen besteht.

## Das Zwischenhirn

Das Zwischenhirn liegt zwischen dem Großhirn und dem Hirnstamm. Seine größte Struktur, der **Thalamus**, filtert eingehende Signale von

unseren Sinnesorganen und leitet sie dann an das Großhirn weiter. Der kleinere Hypothalamus liegt darunter und steuert durch Hormone Funktionen wie unsere Körpertemperatur, Sexualverhalten, Hunger, Durst und Schlaf.

## Der Hirnstamm

Der Hirnstamm befindet sich unterhalb des Zwischenhirns und ist der Übergangsbereich zwischen dem Gehirn und dem Rückenmark. Er umfasst eine Vielzahl von Kerngebieten, die für lebenswichtige Funktionen wie Atmung, Herzfrequenz und Blutdruckregulation verantwortlich sind.

## Gehirnwindungen und Furchen

Die Oberfläche des Großhirns besteht aus zahlreichen Windungen und Furchen, die auch als **Gyri** und **Sulci** bezeichnet werden. Diese komplexe Struktur erhöht die **Oberfläche des Gehirns** und ermöglicht es, eine große Anzahl von Neuronen auf kleinem Raum unterzubringen und somit die Leistungsfähigkeit des Gehirns zu erhöhen.

Die Windungen und Furchen des Gehirns sind nicht gleichmäßig verteilt. Die größten Furchen werden als Längs-, Quer- und Seitenfurchen bezeichnet und als Trennlinien genutzt, um die vier Hirnlappen anatomisch voneinander zu unterscheiden.

## Rechte und linke Hemisphäre

Das Gehirn lässt sich in eine rechte und eine linke Gehirnhälfte unterteilen. Diese beiden Hälften sind über einen dicken Strang Nervenfasern, dem **corpus callosum**, verbunden und arbeiten zusammen.

Jede Hemisphäre besteht aus einer Großhirn-, einer Zwischenhirn- und einer Kleinhirnhälfte, die auf Funktionen spezialisiert sind, aber gleichzeitig kontinuierlich miteinander kommunizieren.

Das **Großhirn** beherbergt den motorischen Kortex, der Signale an die Muskeln sendet und Bewegungen steuert. Hierbei übernimmt jeweils eine Seite des Gehirns eine Hälfte des Körpers.

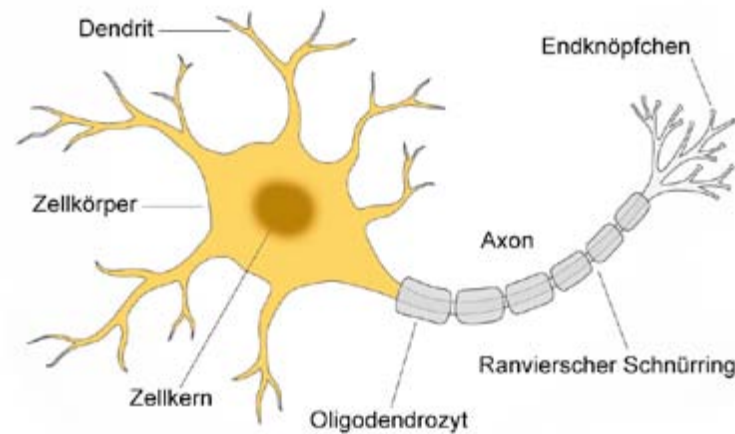
Interessant ist, dass jeweils die entgegengesetzte Seite gesteuert wird. Das heißt, die rechte Gehirnhälfte steuert die linke Seite des Körpers. Diese Organisation führt bei einem **Schlaganfall** dazu, dass es bei einer Schädigung des rechten motorischen Kortex zu einer Lähmung in der linken Körperhälfte kommt.

Von einfachen Handgriffen bis zu komplexen Tanzschritten – das Gehirn steuert alle unsere Bewegungen. Dabei arbeiten die verschiedenen Bereiche des Gehirns nahtlos zusammen.

Auch das **Rückenmark** spielt hierbei eine Schlüsselrolle. Es fungiert als Schnittstelle zwischen dem Gehirn und unserem Körper, leitet Signale an die Muskeln und ist für einfache Reflexe verantwortlich. 🧠



## Aufbau eines Neurons



## Neuronen und Synapsen

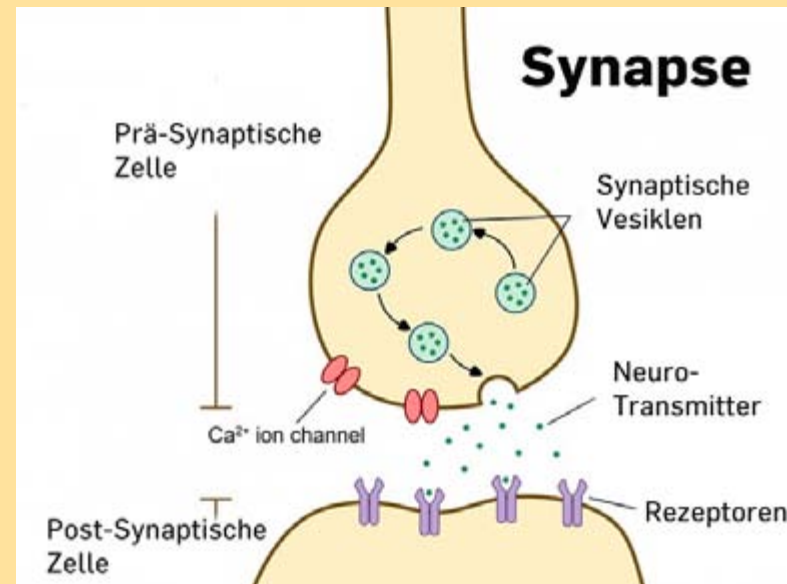
Die vier Komponenten des Gehirns sind miteinander verbunden und kommunizieren über 86 Milliarden von Nervenzellen, die als **Neuronen** bezeichnet werden. Die Kommunikationswege heißen **Synapsen**; mehrere Billiarden Synapsen im Gehirn bilden komplexe Schaltkreise, die für die Verarbeitung von Informationen (Inputs) und die Steuerung von Bewegungen und Verhalten (Outputs) verantwortlich sind.

**Neuronen** sind spezialisierte Zellen, die Signale in Form von elektrischen Impulsen empfangen, verarbeiten und weiterleiten. Sie bestehen aus einem **Zellkörper**, **Dendriten** und einem **Axon**. Die **Dendriten** empfangen Signale von anderen Neuronen und leiten sie an den Zellkörper weiter. Das **Axon** sendet Signale an andere Neuronen –oder an Muskeln oder Drüsen.

**Gliazellen** sind Zellen, die das Gehirn und das Rückenmark umgeben und unterstützen. Sie liefern den **Neuronen** Nährstoffe und Sauerstoff, entfernen Abfallprodukte und helfen, die Neuronen zu schützen. **Gliazellen** tragen auch dazu bei, dass sich Neuronen bei Verletzungen wieder regenerieren.

**Synapsen** sind die Verbindungen zwischen Neuronen. Sie ermöglichen es Neuronen, Signale zu senden und zu empfangen. **Synapsen** funktionieren durch die Freisetzung von Neurotransmittern aus dem "Senderneuron", die an Rezeptoren auf einem "Empfängerneuron" binden.

Diese Signalübermittlung erzeugt ein elektrisches Signal im Empfängerneuron, das in seinem Zellkern mit den Signalen von anderen Synapsen integriert wird. **Synapsen** sind die Verbindungen, mit denen Informationen im Gehirn geleitet werden und Lernen und Gedächtnisbildung stattfinden.



Verschiedene Gehirne besitzen eine verschiedene Anzahl von Nervenzellen (=Neuronen).

Man vergleiche:

- Fruchtfliege: 250.000 Neuronen
- Maus: 71 Millionen Neuronen
- Ratte: 200 Millionen Neuronen
- Makaken-Affe: 6,3 Milliarden Neuronen
- Mensch: 86 Milliarden Neuronen



## Wie Rückenmark und Hirn zusammenarbeiten

Das **Rückenmark** und das Gehirn arbeiten eng zusammen, um das reibungslose Funktionieren des Körpers zu gewährleisten. Das Rückenmark ist Teil des **zentralen Nervensystems** und dient als Verbindung zwischen dem Gehirn und den peripheren Nerven. Es verläuft entlang der Wirbelsäule und besteht aus Nervenfasern, die Signale vom Gehirn zu den Muskeln und Drüsen des Körpers übertragen.

Das Gehirn sendet ständig Signale an das Rückenmark, um Funktionen wie **Atmung**, **Herzschlag**, **Verdauung** und **Bewegung** zu regulieren. Diese Signale werden entlang des Rückenmarks weitergeleitet und führen zur Aktivierung der entsprechenden Muskeln oder Drüsen.

Zusätzlich werden über das Rückenmark auch Signale an das Gehirn gesendet, um Informationen über **Schmerzen**, **Berührungen** und andere sensorische Reize zu übermitteln. Dieses Zusammenspiel zwischen Rückenmark und Gehirn ermöglicht es dem Körper, auf seine Umgebung zu reagieren und seine Funktionen zu regulieren.

Die Verbindung zwischen Gehirn und Körper ist von entscheidender Bedeutung für unser Alltag. Das Gehirn ist das **Kontrollzentrum des Körpers**, welches alle Körperfunktionen steuert – Bewegungen, Sinneswahrnehmung und Organaktivität.

Es kommuniziert mit den Sinnesorganen, den Skelettmuskeln, den Drüsen und der glatten Muskulatur, mit den Blutgefäßen, der Lunge und den Verdauungsorganen.

## Das Gedächtnis

Ein wichtiger Aspekt der kognitiven Funktionen des Gehirns ist das **Gedächtnis**. Das Gehirn ist in der Lage, Erinnerungen zu speichern und abzurufen, indem es verschiedene Formen von Gedächtnissen verwendet:

- Das Arbeitsgedächtnis,
- das Kurzzeitgedächtnis
- und das Langzeitgedächtnis.

## Quellen

- Ausstellung "Das Gehirn", in Bonn.
- <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-funktioniert-das-gehirn.html>
- <https://www.leading-medicine-guide.com/de/anatomie/gehirn>
- <https://www.mpg.de/gehirn>
- Manfred Spitzer. *Künstliche Intelligenz*. 2023. Droemer Verlag

## Die Sprachfunktionen des Gehirns

Das Gehirn ist entscheidend für die Sprachfunktion des Menschen: Sprache(n) verstehen, Worte sprechen und Worte lesen.

Die Sprachfunktionen des Gehirns sind hauptsächlich in der linken Hemisphäre lokalisiert und umfassen verschiedene Regionen, darunter das **Broca-Areal** und das **Wernicke-Areal**.

Das Broca-Areal ist für die Sprachproduktion zuständig, während das Wernicke-Areal das Verständnis von Sprache ermöglicht. Das Broca-Areal liegt im Stirnlappen, während das Wernicke-Areal im Schläfenlappen liegt.

Sie sind durch eine dicke Nervenfaser, den *fasciculus arcuatus*, verbunden. Neuere Forschung zeigt, dass dieses Nervenbündel nur im menschlichen Gehirn so tief in den Schläfenlappen reicht.

Bei anderen Säugetieren, unter anderem unserem nächsten Verwandten, dem **Schimpanse**, ist der *fasciculus arcuatus* kürzer und kann so keine Verbindung zwischen den beiden Arealen herstellen. Dies könnte erklären, wieso der **Mensch als einziges Lebewesen über Sprache kommuniziert**.

## Im Gedächtnis: Informationen speichern und erinnern.

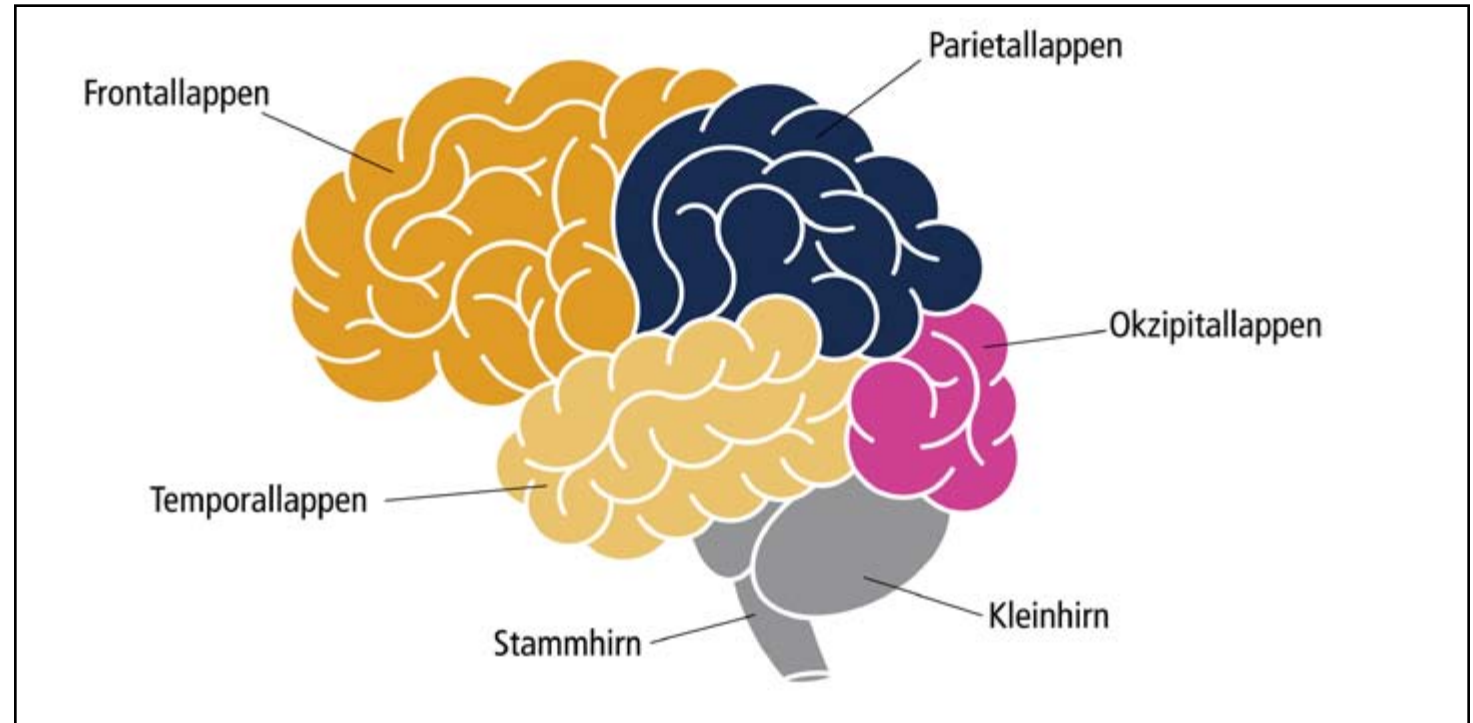
Was ist das Gedächtnis? Man ist in der Lage, sich an Ereignisse und damit verbundene Gefühle zu erinnern, selbst wenn diese Jahre zurückliegen. Oder man lernt Fahrrad fahren oder eine Fremdsprache. Damit das funktioniert, braucht man sein **Gedächtnis**.

Das Gedächtnis (Mnestik) bezeichnet die Fähigkeit unseres Nervensystems, Informationen aufzunehmen, zu speichern und erneut abzurufen (sich erinnern).

Daran sind bewusste und unbewusste Lernprozesse beteiligt. Je nach Art der Informationen und Zeitspanne der Speicherung lassen sich unterschiedliche Gedächtnisarten einteilen.

Je nachdem, wie lange Informationen gespeichert werden, kann man das Gedächtnis in **drei Kategorien** gliedern:

- **Ultrakurzzeitgedächtnis** / sensorisches Gedächtnis: Millisekunden – Sekunden
- **Kurzzeitgedächtnis** / **Arbeitsgedächtnis**: Sekunden-Minuten
- **Langzeitgedächtnis**: Jahre / Das Langzeitgedächtnis besteht wiederum aus:
  - deklarativem (explizitem) Gedächtnis mit episodischem Gedächtnis und semantischem Gedächtnis
  - prozeduralem (implizitem) Gedächtnis



## Drei Gedächtnisarten

Aus den drei Gedächtnisarten entsteht das **Mehrspeichermode**ll (Atkinson & Shiffrin, 1968). Es erklärt, wie unsere Gedächtnisleistung – also **Lernen, Speichern und Wiederabrufen** – funktioniert. Durch das Zusammenwirken von **Ultrakurzzeit-, Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis**.

### Sensorisches Gedächtnis

Das sensorische Gedächtnis, Ultrakurzzeitgedächtnis oder auch Immediatgedächtnis (immediat = sofort) dient der unmittelbaren Aufnahme vieler verschiedener Sinneseindrücke. Wie

der Name ausdrückt, werden Inhalte nur für wenige Millisekunden bis maximal 2 Sekunden gespeichert.

Das reicht gerade aus, um wichtige Wahrnehmungen an das Kurzzeitgedächtnis weiterzuleiten. Danach werden sie direkt wieder von neuen Informationen überschrieben. Da wir mit so vielen Sinneseindrücken konfrontiert werden, muss eine Selektion stattfinden. So dient das Ultrakurzzeitgedächtnis dazu, nach wichtig und unwichtig zu sortieren.

Es geht dabei beispielsweise um Sinneswahrnehmungen wie das **Hören** (echoisches oder auditives Gedächtnis) oder das **Sehen** (visuelles oder ikonisches Gedächtnis).

## Das Kurzzeitgedächtnis

**W**ichtige Informationen gelangen also ins **Kurzzeitgedächtnis**, das man auch Arbeitsgedächtnis nennt. Mithilfe des Kurzzeitgedächtnisses kann man solche Informationen bewusst verarbeiten und für wenige Minuten im Kopf behalten.

So ist es beispielsweise möglich, dass man sich eine Handynummer merkt, bis man sie eingetippt hat.

Oder die Zeilen eines Gedichts auswendig lernt.

Allerdings hat das Arbeitsgedächtnis einen begrenzten Speicherplatz, so dass alles was man sich länger merken will, ins **Langzeitgedächtnis** übertragen werden muss.

## Das Langzeitgedächtnis

**D**as **Langzeitgedächtnis** speichert Daten dauerhaft. Das ist die Form des Gedächtnisses, die als „das Gedächtnis“ bekannt ist. Es ist in der Lage, Informationen Jahre, oder sogar ein Leben lang zu speichern. Solche Informationen sind z.B. Erinnerungen, Faktenwissen oder erworbene Fähigkeiten (Schwimmen, Fahrrad fahren).

Wenn man etwas gelernt und im **Langzeitgedächtnis** gespeichert hast, sind Üben und Wiederholen wichtig, um die Dinge zu festigen und das Gedächtnis zu trainieren. Je stär-

ker man die Inhalte mit Emotionen oder anderem Wissen verknüpft, desto eher bleiben sie im Gedächtnis erhalten.

Beim **Langzeitgedächtnis** werden zwei Formen unterschieden:

— **Deklaratives (explizites) Gedächtnis:** „Wissensgedächtnis“, speichert konkrete, bewusst abrufbare Ereignisse. Es kann weiter unterteilt werden in:

- **episodisches Gedächtnis:** enthält Episoden und Ereignisse aus dem eigenen Leben (autobiografisches Wissen); beispielsweise Name / Aussehen von Freunden, Urlaubserinnerungen...
- **semantisches Gedächtnis:** speichert Fakten-/Allgemeinwissen über die Welt, unabhängig von der eigenen Person; z.B. Berlin ist die Hauptstadt von Deutschland, Gras ist grün...

— **Prozedurales (implizites) Gedächtnis:** „Verhaltensgedächtnis“, prozedurales Lernen beinhaltet das Lernen automatisierter Abläufe und Fertigkeiten; die können dann ohne bewusstes Nachdenken ausgeführt werden; z.B. Autofahren, Fahrrad fahren, Schwimmen, Schnürsenkel binden

— **Perzeptuelles Gedächtnis:** zum Wiedererkennen bestimmter Muster; z.B. erkennen wir verschiedene Katzen als solche anhand ihres Aussehens.

## Wie funktioniert das Gedächtnis?

**W**ie werden die Daten in unserem Gehirn gespeichert? Das Ganze funktioniert mit den etwa 86 Milliarden Nervenzellen (=Neuronen) in unserem Gehirn. Sie **verbinden sich miteinander zu einem Netzwerk** und bilden bis zu 500 Billionen Verknüpfungen!

Solche Verbindungsstellen (**Synapsen**) sind das Ergebnis von **Lernprozessen** und bilden die Grundlage des **Gedächtnisses**.

- Beim Üben und Wiederholen werden die Synapsen viel benutzt und dadurch **verstärkt**.
- Ungenutzte Synapsen hingegen bauen sich langsam ab, so dass Wissen **vergessen** wird.

Das heißt, dass für unsere **Merkfähigkeit** ein riesiges Netzwerk an Nervenzellen zuständig ist. Da es sich über verschiedene Gehirnbereiche erstreckt und oft mehrere Gehirnstrukturen gleichzeitig aktiv sind, ist eine genaue Abgrenzung schwierig.

Eine grobe Zuordnung sieht etwa so aus:

- **Kurzzeitgedächtnis:** präfrontaler Cortex
- **Langzeitgedächtnis:** Cortex und einzelne subkortikale Bereiche
- **episodisches Gedächtnis:** rechter Frontal- und Temporalcortex
- **semantisches Gedächtnis:** Temporallappen
- **prozedurales Gedächtnis:** motorischer / präfrontaler Cortex, Kleinhirn, Basalganglien

Gerade für die Speicherung von Gedächtnisinhalten sind der **Hippocampus** und das **limbische System** besonders wichtig. Für das Lernen ist insbesondere das **Kleinhirn** von Bedeutung.

Die **Amygdala** ist immer dann beteiligt, wenn es um Inhalte mit einer emotionalen Komponente geht, wie beispielsweise Angst (emotionales Gedächtnis).



## Wie lernt das Gehirn?

**W**enn wir etwas Neues lernen, bilden sich im Gehirn neue Verbindungen zwischen Nervenzellen (Neuronen). Durch wiederholtes Üben (=Lernen) werden diese Verbindungen **gestärkt**.

Faktoren, die das Gehirn beeinflussen:

**Genetik:** Unsere genetische Ausstattung beeinflusst die Struktur und Funktion unseres Gehirns.

**Umwelt:** Erfahrungen und Umwelteinflüsse prägen unser Gehirn.

**Alter:** Das Gehirn verändert sich im Laufe des Lebens. Krankheiten wie Alzheimer oder Schlaganfälle können die Gehirnfunktion beeinträchtigen.

Unsere Intelligenz wohnt im Gehirn. Hier ein Bild eines Gehirns, fotografiert in der Ausstellung „Das Gehirn“ in der Kunstaustellungshalle Bonn. Foto: Paulo Heitlinger.



## Gedächtnis-Probleme

**D**as Gedächtnis funktioniert nicht immer einwandfrei, sondern kann beeinträchtigt werden. Gründe für Gedächtnisstörungen sind, zum Beispiel:

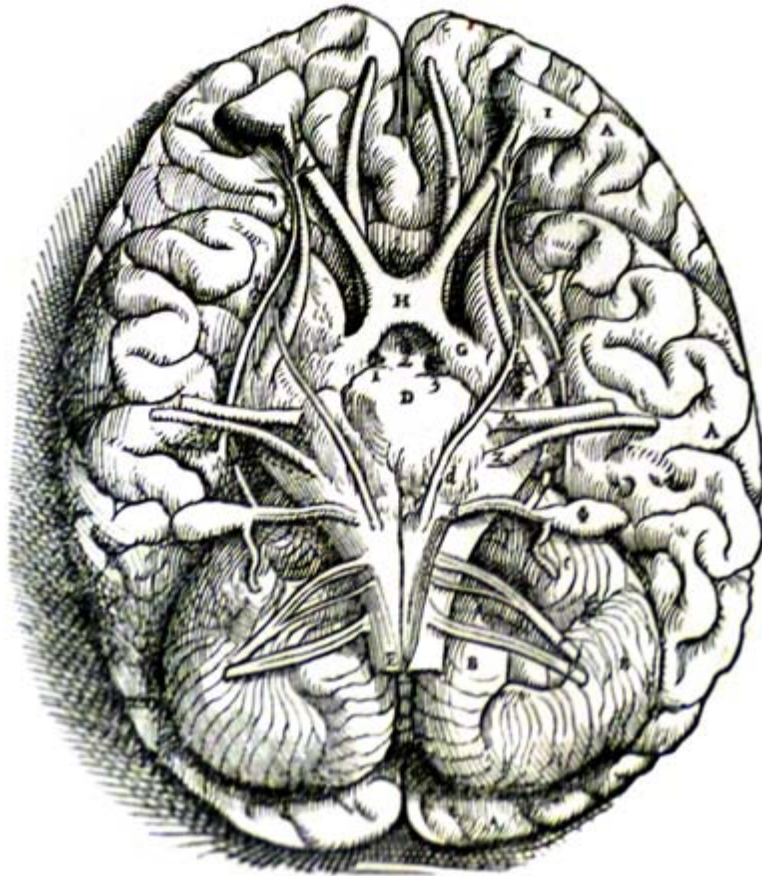
- Verletzungen (Schädel-Hirn-Trauma, Schlaganfall)
- degenerative Erkrankungen (Alzheimer, **Demenz**)
- Medikamente (Neuroleptika / Antipsychotika)
- Alkohol („Filmriss“)

Derart kann es zu Problemen beim Erinnern kommen. (Das bezeichnet man als **Amnesie**.) Dabei beschreibt die retrograde Amnesie das Vergessen von Ereignissen vor der Schädigung.

Dagegen spricht man von einer anterograden Amnesie, wenn ein Gedächtnisverlust nach einem schädigenden Ereignis auftritt.

Ist das **Kurzzeitgedächtnis** beeinträchtigt, werden direkt vorangegangene Ereignisse vergessen. An lange Zurückliegende können sich Patienten jedoch noch gut erinnern. Wenn die **Amygdala** von einer Verletzung betroffen ist, kann sich die entsprechende Person nicht mehr an ihre Emotionen bei bestimmten Ereignissen erinnern.

# Das Hirn, unser komplexestes Organ



**U**nser Gehirn ist das Denk-Organ, das als Schaltzentrale fungiert. Es steuert nicht nur unsere Bewegungen und Körperfunktionen, sondern ist auch Sitz unserer Gedanken, Erinnerungen, Gefühle und Absichten...

**D**as Gehirn ist ein sehr komplexes Organ, dessen Funktionsweise noch nicht vollständig erforscht ist. Dennoch wissen wir, dass es für alles, was wir sind und was wir tun, von entscheidender Bedeutung ist.

## Die Nervenzellen (Neuronen)

Das menschliche Gehirn besteht aus 86 Milliarden Nervenzellen (Neuronen), die miteinander vernetzt sind. Diese Zellen kommunizieren über elektrische und chemische Signale miteinander.

Wieviele Neuronen arbeiten im Gehirn? Aktuell geht man von durchschnittlich etwa **86 Milliarden Neuronen** aus.

Diese Zahl wurde von der brasilianischen Neurowissenschaftlerin *Suzanaerculano-Houzel* und ihrem Team ermittelt und 2009 veröffentlicht. Ihre Zähl-Methode ermöglichte eine wesentlich genauere Zählung der Nervenzellen als frühere Berechnungen.

## Synapsen verbinden

Die Verbindungsstellen zwischen den Nervenzellen nennt man **Synapsen**. Über diese Synapsen werden Informationen ausgetauscht und verarbeitet.

## Die Hirnregionen

Das Gehirn ist in verschiedene Bereiche unterteilt, die jeweils spezifische Funktionen haben.

Zum Beispiel ist der **Frontallappen** für höhere kognitive Funktionen wie Planung und Entscheidungsfindung zuständig, während der **Temporallappen** für das Hören und das Sprachverständnis wichtig ist.

## Plastizität

**D**as Gehirn ist ein plastisches Organ, das sich im Laufe des Lebens verändern kann. **Neue Verbindungen zwischen Nervenzellen** können gebildet werden, und bestehende können verstärkt oder geschwächt werden. Diese Plastizität ist die Grundlage für **Lernen** und **Gedächtnis**.

## Wichtige Funktionen des Gehirns:

**Wahrnehmung:** Das Gehirn verarbeitet Informationen aus den Sinnesorganen und erzeugt so unsere Wahrnehmung der Welt.

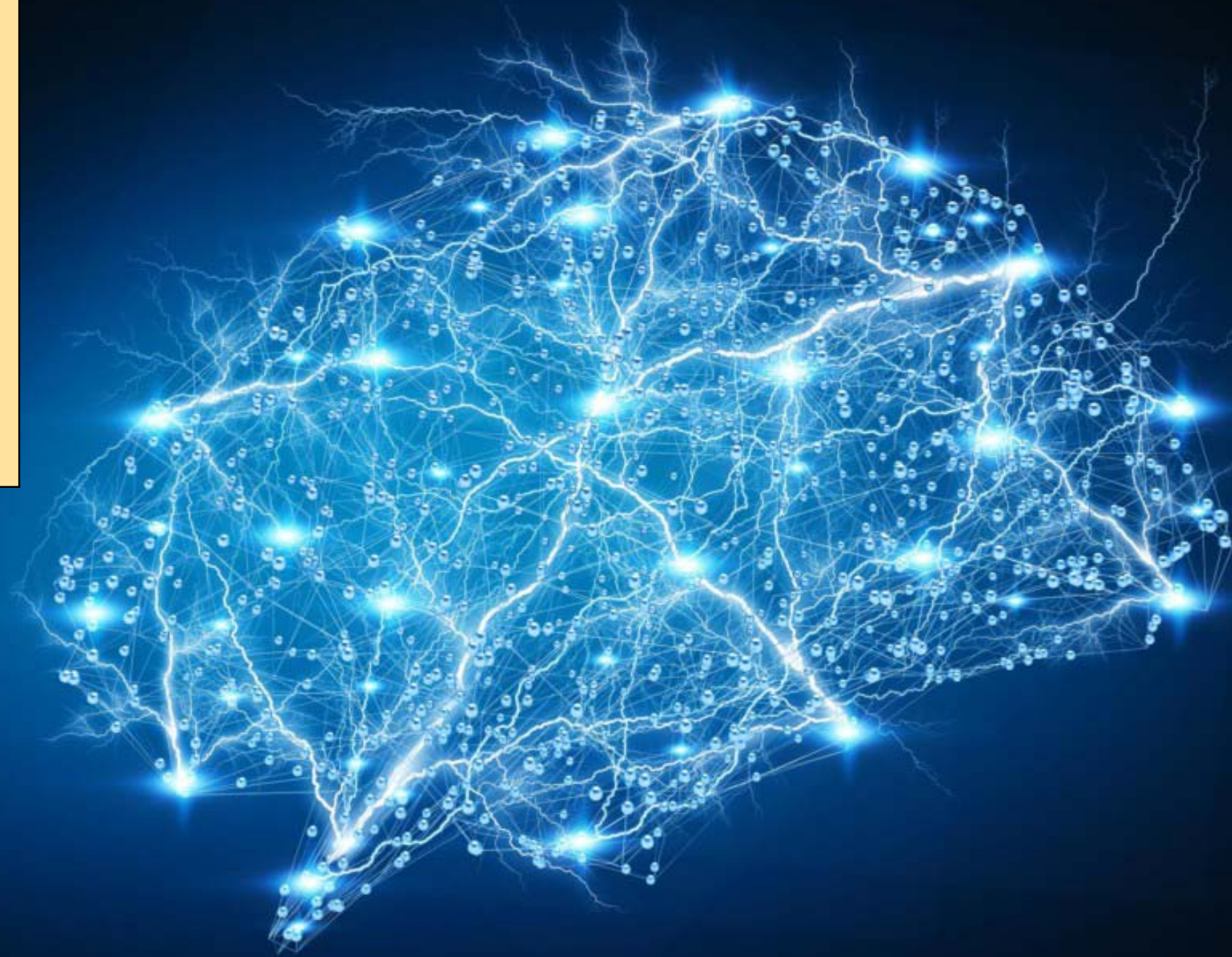
- **Bewegung:** Über motorische Befehle steuert das Gehirn unsere Bewegungen.
- **Gedächtnis:** Erinnerungen werden im Gehirn gespeichert und können später abgerufen werden.
- **Emotionen:** Das Gehirn ist für unsere Gefühle und Emotionen zuständig.
- **Sprachverarbeitung:** Das Gehirn ermöglicht es uns, Sprache zu verstehen und zu produzieren.
- **Denken und Problemlösen:** Das Gehirn ist die Grundlage für unser Denken und unsere Fähigkeit, Probleme zu lösen.



## Das Netzwerk der Neuronen

Das menschliche Gehirn besteht aus 86 Milliarden von Nervenzellen (**Neuronen**), die miteinander vernetzt sind. Diese Zellen kommunizieren über elektrische und chemische Signale miteinander.

Diese Signale werden über die **Synapsen** übermittelt. Das Gehirn arbeitet ständig, zu 100%iger Last. Von morgens früh bis spät abends; es macht weder Unterbrechungen noch Pausen – auch wenn wir manchmal das Gefühl haben, eine „Denkpause“ einzulegen...



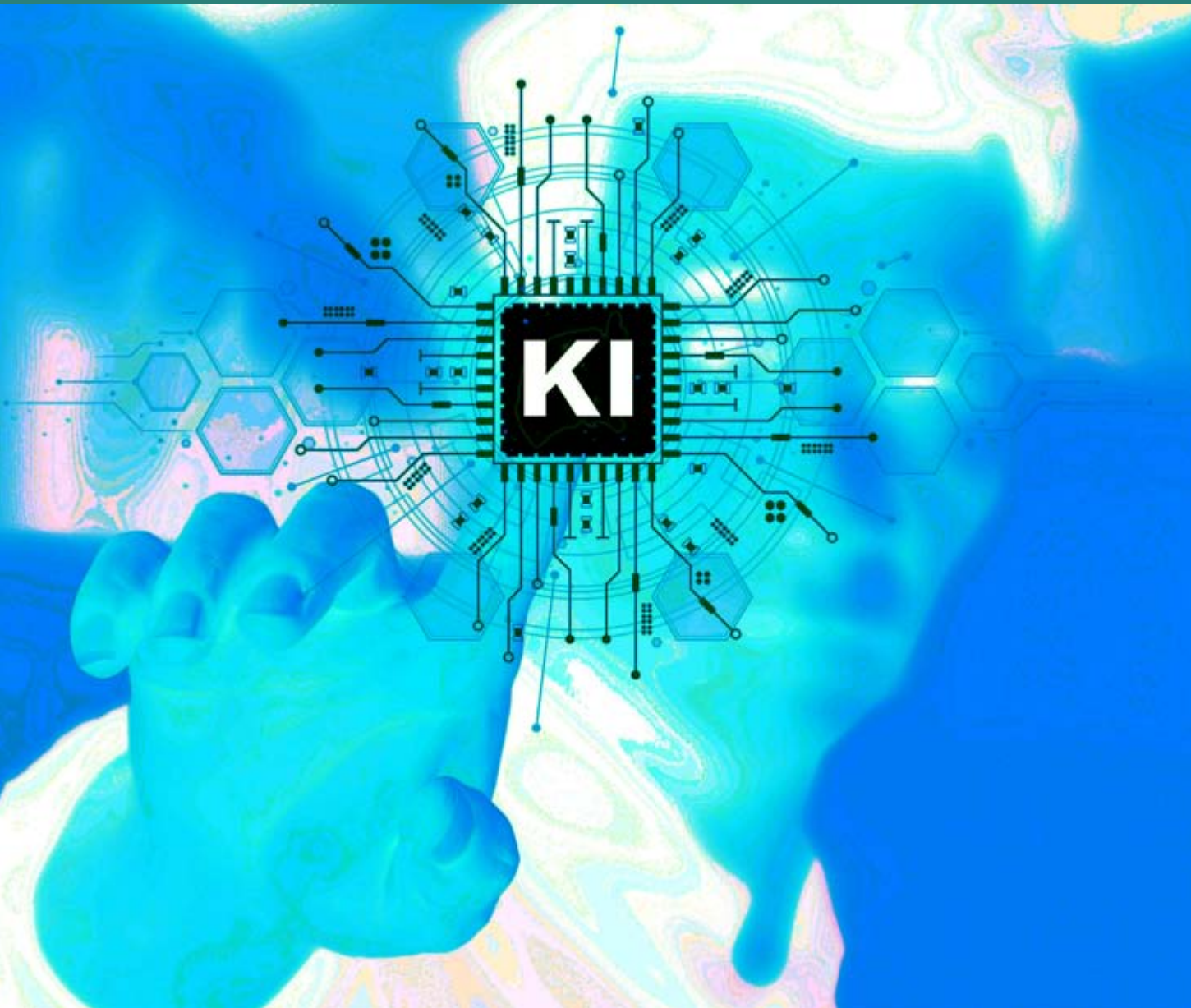


Die Oberfläche des Großhirns besteht aus zahlreichen Windungen und Furchen, die auch als **Gyri** und **Sulci** bezeichnet werden.

Diese komplexe Struktur erhöht die Oberfläche des Gehirns und ermöglicht es, eine große Anzahl von Neuronen – 96 Milliarden – auf kleinem Raum unterzubringen und somit die Leistungsfähigkeit des Gehirns zu erhöhen.



# KI—was ist das ?



## Was ist Künstliche Intelligenz?

**K**I beschreibt die Fähigkeit von Computern, Aufgaben zu erledigen, die bislang dem intelligentem Menschen vorbehalten waren. Dazu gehören die Fähigkeiten Schlussfolgerungen zu ziehen, Bedeutungen zu erkennen, Umgebungsparameter wahrzunehmen, zu verallgemeinern. Oder aus der Vergangenheit zu lernen und daraus Schlüsse für künftige Entwicklungen zu ziehen.

Die Auswirkungen von KI auf unser tägliches Leben sind beachtlich – auch wenn man den Hype abzieht, welchen die Medien um diese Technologie weben.

**V**on Anwendungen wie **Suchalgorithmen** und **Empfehlungssystemen** bis hin zu hochkomplexen Anwendungen wie **Autonome Fahrzeuge** und **KI-Übersetzern** – KI ist zu einem festen Bestandteil unserer Welt geworden.



# Die Grundlagen und die Anwendungen der KI

**Wir erleben eine neue technologische Revolution; die Geschwindigkeit, mit der sie vollzogen wird, lässt uns an das Internet und an seine Veränderungen denken. Künstliche Intelligenz markiert eine neuen Ära des Fortschritts (!?) Sie öffnet uns den Zugang zu einer Fülle von Möglichkeiten, von denen wir vor wenigen Jahren keine Vorstellung hatten...**

KI erweitert die Grenzen dessen, was wir für möglich halten und ebnet den Weg für zukünftige Entwicklungen und Innovationen. Künstliche Intelligenz beschäftigt uns mit neuen Anwendungen; das sind Tools wie z.B. *ChatGPT*.

Ziel dieses E-Books ist es, Klarheit zu schaffen. Ich möchte zunächst die verschiedenen Aspekte der Künstlichen Intelligenz erklären, um anschließend einige wichtige Anwendungsfelder vorzustellen.

Wir werden in Grundzügen aufzeigen, wie sie funktioniert, wie sie sich entwickelt hat und welche Richtung sie in Zukunft nehmen kann.

Spätestens das Unternehmen OpenAI mit seiner Anwendung *ChatGPT* hat Millionen von Personen gezeigt, was heute mit KI möglich ist. Aber Künstliche Intelligenz ist nicht erst seit dieser ein-

drucksvollen Software Teil unseres Alltags geworden. KI ist ein integrierter Bestandteil unserer Lebenswelt geworden – ob als hilfreicher digitaler Assistent in der Internetwelt, in unserem Smartphone oder als effiziente automatisierte Roboter in den Fertigungsanlagen der Industrie.

## Das Konzept der KI

Was verbirgt sich hinter dem Konzept der Künstlichen Intelligenz? Die Definition von KI ist vielfältig. Je nachdem aus welcher Perspektive man sie betrachtet, können unterschiedliche Aspekte sichtbar werden. Aber eines der gemeinsamen Nenner bleibt: Künstliche Intelligenz ist eine Technologie, die darauf abzielt, Maschinen („Systemen“) das **Lernen** zu ermöglichen, ähnlich wie der menschliche Verstand. (Menschen entwickeln sich, in dem sie Neues lernen).

Ein weiterer wichtiger Aspekt der KI ist das *maschinelle Lernen*. Dieser Bereich der KI gibt Computern die Fähigkeit, aus Daten zu lernen, ohne explizit programmiert zu werden. Es ist, als ob die Maschine die Fähigkeit erhält, ihre eigene Intuition zu entwickeln und auf dieser Grundlage Entscheidungen zu treffen.

Dabei zielt KI nicht darauf ab, den menschlichen Verstand zu kopieren, um ihn zu ersetzen; vielmehr

## Was genau ist KI?

Bei der Künstlichen Intelligenz (KI) geht es darum, Software so zu programmieren, dass sie lernt, Muster zu erkennen, Informationen zu verarbeiten und daraus Schlussfolgerungen zu ziehen, ähnlich wie wir Menschen es tun.

Stellen Sie sich vor, Sie möchten einem Computer beibringen, wie man Bilder von Katzen erkennt. Anstatt ihm alle möglichen Regeln zu sagen, wie eine Katze aussieht, kann die KI-Technologie den Computer dazu bringen, viele (sehr viele) Bilder von Katzen anzusehen und daraus zu lernen.

Der Computer analysiert diese Bilder und identifiziert wiederkehrende Muster, wie zum Beispiel die Form der Ohren oder die Anordnung der Augen. Basierend auf diesen Mustern kann der Computer dann feststellen, ob ein neues Bild eine Katze zeigt – oder nicht.

KI kann in vielen Bereichen eingesetzt werden, von der Bilderkennung über die Sprachverarbeitung bis hin zur Übersetzung. Sie ermöglicht es Computern, komplexe Aufgaben zu bewältigen und sogar zu lernen, wie man besser wird, je mehr Daten sie erhalten...

geht es darum, Werkzeuge und Systeme zu schaffen, die das menschliche Denken *ergänzen* und bestimmte Aufgaben effizienter und präziser ausführen können.

In diesem Sinne ist KI also ein Werkzeug, das uns hilft, unser Potential, unsere Möglichkeiten zu erweitern. Im 21. Jahrhundert hat die KI-Forschung eine neue Blütezeit erlebt, getrieben durch den Aufstieg von Big Data und fortgeschrittenen Algorithmen wie Deep Learning.

Die Fähigkeiten der KI haben neue Höhen erreicht, wie zum Beispiel die Errungenschaft von *IBM's Watson*, der 2011 die menschlichen Champions im Quizspiel *Jeopardy* besiegte, oder die Leistung von AlphaGo, einem KI-Programm von Google *DeepMind*, das 2016 den menschlichen Weltmeister im Brettspiel Go besiegte, eine Aufgabe, die als wesentlich komplexer als Schach angesehen wurde.

## Grundlegende Konzepte der KI

Um das facettenreiche Feld der **Künstlichen Intelligenz** in vollem Umfang zu begreifen, ist es unabdingbar, sich mit ihren grundlegenden Konzepten vertraut zu machen. Also beginnen wir damit!

## Algorithmen

Die Künstliche Intelligenz bedient sich der *Algorithmen* zur Lösung vorgegebener Probleme. Von Künstlicher Intelligenz wird aber nur gesprochen, wenn zusätzlich auf einen Vorrat zuvor

erlernten Wissens zugegriffen wird, wobei in der Lernphase charakteristische Muster identifiziert und eingeordnet werden.

Mit einer passenden Wissensbasis ist es geeigneten Algorithmen beispielsweise möglich, natürliche geschriebene und gesprochene Sprache zu verarbeiten, Gesichter oder beliebige Objekte zu identifizieren, oder Texte zu formulieren.

## Natural Language Processing

Die *Natürliche Sprachverarbeitung* (Natural Language Processing, NLP) ist ein Konzept, das sich auf die Interaktion zwischen Computern und menschlicher Sprache konzentriert.

NLP ermöglicht es Computer, menschliche Sprache zu verstehen, zu interpretieren und zu generieren, und spielt eine zentrale Rolle in Anwendungen wie automatischen Übersetzungsprogrammen und Sprachassistenten.

KI-Modelle wie **GPT-4** haben Fortschritte in der Erzeugung von Texten gemacht; derartige Modelle können Aufgaben wie Übersetzen, Artikel schreiben und Fragen beantworten mit einer Genauigkeit durchführen, die oftmals mit menschlicher Leistung konkurriert.

Dies ist ein großer Fortschritt, da die Fähigkeit, natürliche Sprache zu verstehen und zu generieren, eine der komplexesten kognitiven Aufgaben ist, die Menschen beherrschen.

Laut der *Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI)* bezieht sich Künstliche Intelligenz auf „das wissenschaftliche Verständnis der Mechanismen, die intelligentes Verhalten erzeugen, und ihre Verkörperung in Maschinen“.

Hierbei geht es darum, Maschinen zu entwickeln, die Aufgaben erledigen können, die normalerweise menschliches Denken erfordern – wie zum Beispiel das Erkennen von Sprache, das Lösen von Problemen oder das Lernen aus Erfahrungen.

Mit der weiteren Entwicklung dieser Technologien könnten wir in einer Welt leben, in der KI-Systeme in der Lage sind, komplexe Texte zu schreiben, zu verstehen und sogar menschenähnliche Konversationen zu führen.



# Die Künstliche Intelligenz in der Praxis

**Die Auswirkungen der KI auf das tägliche Leben und die heutige Arbeitswelt sind beachtlich. Zum Beispiel in der Bildung, in der Wirtschaft, in der Medizin, in der Wetterprognose und in der Produktion hat KI weitreichende Anwendungen.**

Mit **maschinellern Lernen** können Unternehmen komplexe Datenmuster erkennen und so das Verhalten ihrer Kunden vorhersagen. Dies ermöglicht es ihnen, gezielt auf die individuellen Vorlieben der Verbraucher einzugehen:

Online-Händler **Amazon** nutzt zum Beispiel KI, um personalisierte Produktvorschläge zu machen (und dadurch die Kundenbindung zu erhöhen).

## KI-gesteuerte Roboter

Auch im Bereich der Produktion findet KI Anwendung, etwa durch KI-gesteuerte **Roboter** zur Automatisierung von Prozessen. So setzt **Tesla** auf KI-gesteuerte Roboter, um Autos effizienter und präziser zu bauen.

In der **Logistik** spielt KI eine wesentliche Rolle bei der Effizienzsteigerung. Ein Beispiel dafür ist die Verwendung von KI durch das Lieferunternehmen UPS, um optimale Lieferwege zu ermitteln und die Effizienz ihrer Flotte zu maximieren.

## Bildanalyse in der Medizin

Auch im Gesundheitswesen hat KI Fortschritte ermöglicht. Ein Beispiel dafür ist die Nutzung von KI zur Analyse von medizinischen Bildern. Google DeepMind hat ein KI-System entwickelt, das Augenkrankheiten auf der Grundlage von Augenscans erkennen kann, was es zu einem wertvollen Werkzeug für Augenärzte macht.

Ein weiteres Beispiel ist IBM *Watson Health*, ein System, das riesige Mengen medizinischer Daten analysiert, um Behandlungsempfehlungen abzugeben und das Patientenrisiko zu bewerten.

## Autonome Fahrzeuge

Wir sehen den zunehmenden Einsatz von autonomen Fahrzeugen. Unternehmen wie Waymo und Uber testen selbstfahrende LKWs.

## KI-basierte Bildung

Im Bereich der **Bildung** ermöglichen KI-Systeme individualisierte Lernwege. Ein Beispiel dafür ist das KI-gestützte System *Knewton*, das das Lernverhalten der Schüler analysiert und personalisierte Lernpfade erstellt. Auch im Bereich der Kontrolle und der Bewertung gibt es KI-basierte Lösungen, wie z.B. das Programm *Turnitin*, das Plagiate in Schülerarbeiten erkennt.

## Künstliche Intelligenz global

Heute steht die KI-Forschung auf vielen Standbeinen über den gesamten Globus verteilt, mit einer Fülle von Technologien und Methoden, die auf einem halben Jahrhundert kontinuierlicher Forschung und Entwicklung aufbauen.

Mit der Weiterentwicklung von Technologien wie *Cloud Computing*, *Big Data* und fortschrittlichen Algorithmen wird die KI künftig stärker in unser tägliches Leben integriert werden und das Potential haben, zahlreiche Aspekte unserer Gesellschaft zu transformieren.

Forscher auf der ganzen Welt arbeiten ständig an der Verbesserung vorhandener Methoden und der Entwicklung neuer Ansätze für KI. Gleichzeitig gibt es zahlreiche offene Fragen und Herausforderungen in Bezug auf die ethischen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen der KI, die weiterhin intensiv diskutiert und erforscht werden müssen.

In diesem E-Book haben wir zwei Kapitel dem Lernen gewidmet:

- KI in der Schule lernen
- KI-Studium an Hochschulen

Auch im juristischen Bereich kommen KI-Systeme zum Einsatz, um große Mengen von Rechtsdokumenten zu durchsuchen und rele-

vante Informationen zu extrahieren, was Anwälten eine erhebliche Zeitersparnis bringt.

Finanzmakler setzen auf KI – zur Vorhersage von Aktienmarkttrends, zur Erkennung von betrügerischen Aktivitäten und zur Automatisierung von Kundendienstaufgaben.

Sie nutzen KI, um automatisierte Finanzberatung zu bieten und Investitionsportfolios basierend auf den individuellen Zielen und Risikotoleranzen der Nutzer zu verwalten.

Mit den stetigen Fortschritten in der KI-Forschung und -Entwicklung können wir erwarten, dass KI in der Zukunft noch tiefgreifendere Auswirkungen auf unser Leben haben wird.

## Fairness und Vorurteile

Das Thema Fairness und Vorurteile ist ebenfalls von zentraler Bedeutung. KI-Systeme lernen aus den Daten, mit denen sie trainiert werden, und wenn diese Daten Vorurteile enthalten, kann die KI diese unbewußt reproduzieren und sogar verstärken.

Es wurden Fälle bekannt, in denen KI-Systeme, die für das **Recruiting** oder die **Kreditvergabe** verwendet wurden, diskriminierende Ergebnisse produzierten. Es ist daher dringend wichtig, Strategien zur Erkennung und Beseitigung von Vorurteilen in KI-Systemen zu entwickeln.

Um den ethischen Herausforderungen zu begegnen, haben mehrere Organisationen und Institutionen Leitlinien und Prinzipien für die ethische Nutzung von KI vorgeschlagen.

Dazu gehören das High-Level *Expert Group on Artificial Intelligence* der Europäischen Union, das *AI Now Institute* und das *Future of Life Institute*, die alle Richtlinien zur Förderung einer gerechten, transparenten und verantwortungsvollen Nutzung von KI vorschlagen.

Forschung und Diskussion über KI-Ethik sind entscheidend, um sicherzustellen, dass die Vorteile von KI genutzt und gleichzeitig potentielle Risiken und Schäden minimiert werden. Künstliche Intelligenz hat das Potential, nicht nur bedeutende Vorteile als auch tiefgreifende Herausforderungen für die Gesellschaft mit sich zu bringen. Mit der Zunahme der Fähigkeiten und der Verbreitung von KI-Systemen steigt auch die Notwendigkeit, die ethischen Implikationen ihrer Verwendung zu berücksichtigen.

Mit der Entwicklung und Verbreitung von KI wird die Wichtigkeit der KI-Ethik in den kommenden Jahren weiter zunehmen.

## Ethische Fragen

Eine grundlegende Frage im Bereich der KI-Ethik betrifft den Umgang mit Daten. KI-Systeme, die auf Maschinellern basieren, benötigen *große Mengen an Daten*, um effektiv zu funktionieren. Dabei handelt es sich häufig um persönliche oder sensible Daten, was Fragen zur Privatsphäre und zum **Datenmissbrauch** aufwirft.

Wie gehen wir mit dem Sammeln, Speichern und Teilen dieser Daten um?

Wie schützen wir die Privatsphäre der Menschen und verhindern gleichzeitig den Missbrauch von Daten?

Es ist wichtig, Richtlinien und Standards zu entwickeln, die den Datenschutz sicherstellen und gleichzeitig die Möglichkeiten nutzen, die KI bietet.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Verantwortlichkeit. Wenn ein KI-System einen Fehler macht oder Schaden verursacht, wer ist dann verantwortlich?

- Ist es der **Entwickler** der KI,
- der **Nutzer**, der die KI einsetzt,
- oder sogar die **KI selbst**?

Diese Frage wird besonders relevant, wenn man an autonome Systeme denkt, wie z.B. **selbstfahrende Autos**. Im Falle eines Unfalls müssen klare Richtlinien festgelegt werden, um die Verantwortung zu klären.

# Daten: das neue Gold

## Data-Mining: was ist das?

**D**ata Mining bezeichnet das **Verarbeiten von großen Datenmengen mit dem Ziel, nicht triviale bzw. nicht offensichtliche Informationen über die Daten zu erhalten.**

**U**nter **Data-Mining** (=Daten fördern) versteht man die systematische Anwendung statistischer Methoden auf große Datenbestände („**Big Data**“) = Massendaten) mit dem Ziel, neue Querverbindungen und Trends zu erkennen.

Solche Datenbestände werden – aufgrund ihrer Größe – immer mittels computergestützter Methoden verarbeitet.

Der Unterbegriff **Data-Mining**, auf den gesamten Prozess der sogenannten **Knowledge Discovery in Databases** (Wissensentdeckung in Datenbanken) übertragen, der auch Schritte wie die Vorverarbeitung und Auswertung beinhaltet, während Data-Mining im engeren Sinne nur den eigentlichen Verarbeitungsschritt des Prozesses bezeichnet.

**B**eim **Data-Mining** geht es um die **Gewinnung von Wissen aus vorhandenen Daten** (und nicht um die Generierung von Daten selbst). Die Erfassung, Speicherung und Verarbeitung von großen Datenmengen wird gelegentlich ebenfalls mit **Data-Mining** bezeichnet.

Im wissenschaftlichen Kontext bezeichnet es primär die Extraktion von Wissen, das „gültig, bisher unbekannt und potentiell nützlich“ ist „zur Bestimmung bestimmter Regelmäßigkeiten, Gesetzmäßigkeiten und verborgener Zusammenhänge“.

Usama Fayyad<sup>1</sup> definiert es als „ein[en] Schritt des KDD-Prozesses, der darin besteht, Datenanalyse- und Entdeckungsalgorithmen anzuwenden, die unter akzeptablen Effizienzbegrenzungen eine spezielle Auflistung von Mustern (...) der Daten liefern“.

---

<sup>1</sup> **Usama Fayyad** ist einer der weltweit führenden Pioniere im Bereich Data-Mining und Knowledge Discovery in Databases (KDD). Er gründete und leitete als Chefredakteur die Fachzeitschrift *Data Mining and Knowledge Discovery*.

## Abgrenzung von anderen Fachbereichen

**V**iele der im Data-Mining eingesetzten Verfahren stammen aus der Statistik und werden oft nur in ihrer Komplexität für die Anwendung im Data-Mining angepasst, oft dabei zu Ungunsten der Genauigkeit approximiert.

**D**er Verlust an Genauigkeit geht oft mit einem Verlust an statistischer Gültigkeit einher, so dass die Verfahren aus einer rein statistischen Sicht mitunter sogar „falsch“ sein können. Für die Anwendung im Data-Mining sind oft jedoch der experimentell verifizierte Nutzen und die akzeptable Laufzeit entscheidender als eine statistisch bewiesene Korrektheit.

Ebenfalls eng verwandt ist das **Maschinelle Lernen**, jedoch ist bei Data-Mining der Fokus auf dem Finden neuer Muster, während im Maschinellen Lernen primär bekannte Muster vom Computer automatisch in neuen Daten wiedererkannt werden sollen.

Eine einfache Trennung ist hier nicht immer möglich: Werden beispielsweise Assoziationsregeln aus den Daten extrahiert, so ist das ein Prozess, der den typischen Data-Mining-Aufgaben entspricht; die extra-

hierten Regeln erfüllen aber auch die Ziele des maschinellen Lernens.

Umgekehrt ist der Teilbereich des **unüberwachten Lernens** aus dem **Maschinellen Lernen** sehr eng mit Data-Mining verwandt. Verfahren aus dem **Maschinellen Lernen** finden oft im **Data-Mining** Anwendung und umgekehrt.

Die Forschung im Bereich der Datenbanksysteme, insbesondere von Indexstrukturen spielt für das Data-Mining eine große Rolle, wenn es darum geht, die Komplexität zu reduzieren.

Typische Aufgaben wie Nächste-Nachbarn-Suche können mit Hilfe eines geeigneten Datenbankindexes wesentlich beschleunigt werden und die Laufzeit eines Data-Mining-Algorithmus dadurch verbessert werden.

## Information Retrieval (IR)

Das **Information Retrieval (IR)** ist ein weiteres Fachgebiet, das von Erkenntnissen des **Data-Mining** profitiert. Hier geht es vereinfacht gesprochen um die computergestützte Suche nach komplexen Inhalten, aber auch um die Präsentation für den Nutzer.

Data-Mining-Verfahren wie die Clusteranalyse finden hier Anwendung, um die Suchergebnisse und ihre Präsentation für den Nutzer zu verbessern, beispielsweise indem man ähnliche Suchergebnisse gruppiert.

**Text-Mining** und **Web-Mining** sind zwei Spezialisierungen des **Data-Mining**, die eng mit dem **Information Retrieval** verbunden sind.

## Deutsche Bezeichnung für Data-Mining

Eine etablierte deutsche Übersetzung für den englischen Terminus Data-Mining existiert bislang nicht. Es gibt verschiedene Versuche, eine sachlich in allen Aspekten zutreffende deutsche Bezeichnung für den ungenauen englischen Ausdruck zu finden.

Der Duden beschränkt sich auf den eingedeutschten Anglizismus „Data-Mining“ (engl. „data mining“). Vorschläge zur Eindeutschung sind beispielsweise „Datenmustererkennung“ (was oft als Wiedererkennung bestehender Muster missinterpretiert wird) und „Datenschürfung“ (was der Originalbedeutung nicht vollkommen gerecht wird).

Der Fremdwörter-Duden verwendet als wörtliche Übersetzung „Datenförderung“, kennzeichnet dies aber als nicht passende Übersetzung.

Auch der gezielte Aufruf nach Vorschlägen durch die **Zeitschrift für Künstliche Intelligenz** brachte keine überzeugenden Vorschläge. Keiner dieser Bezeichner konnte nennenswerte Verbreitung erreichen, oft da bestimmte Aspekte des Themas wie die Wissensentdeckung verloren gehen, und falsche Assoziationen wie zur Mustererkennung im Sinne von Bilderkennung entstehen.

Glegentlich wird die deutsche Bezeichnung „Wissensentdeckung in Datenbanken“ (für das englische **Knowledge Discovery in Databases**) verwendet, die den gesamten Prozess umfasst, der auch den Data-Mining-Schritt enthält.

Des Weiteren betont diese Bezeichnung sowohl die wissenschaftlichen Ansprüche, als auch, dass der Prozess in der Datenbank abläuft (und sich eben nicht beispielsweise ein Mensch durch Interpretation eine Meinung aus den Daten bildet).

Die Datenerhebung, also das Erfassen von Informationen in einer systematischen Art und Weise, ist eine wichtige Voraussetzung, um mit Hilfe von Data-Mining gültige Ergebnisse bekommen zu können.

Wurden die Daten statistisch unsauber erhoben, so kann ein systematischer Fehler in den Daten vorliegen, der anschließend im Data-Mining-Schritt gefunden wird. Das Ergebnis ist dann unter Umständen keine

Konsequenz der beobachteten Objekte, sondern verursacht durch die Art, in welcher die Daten erfasst wurden.



# Der Prozess des Data-Mining

**F**ür Interessierte, die Data-Mining genauer verstehen wollen, haben wir diesen Artikel formuliert. Menschen, welche dies nicht brauchen, können getrost diesen Artikel überspringen...

**D**ata-Mining ist der eigentliche Analyseschritt des **Knowledge Discovery in Databases**-Prozesses. Da Data-Mining oft auf große und komplexe Datenmengen angewendet wird, ist eine wichtige Aufgabe auch die **Reduktion dieser Daten** auf eine für den Nutzer handhabbare Menge.

Insbesondere die **Ausreißer-Erkennung** identifiziert hierzu einzelne Objekte, die wichtig sein können; die Clusteranalyse identifiziert Gruppen von Objekten, bei denen es oft reicht, sie nur anhand einer Stichprobe zu untersuchen, was die Anzahl der zu untersuchenden Datenobjekte deutlich reduziert.

Die **Regressionsanalyse** erlaubt es, redundante Informationen zu entfernen und reduziert so die Komplexität der Daten. Klassifikation, Assoziationsanalyse und Regressionsanalyse (zum Teil auch die Clusteranalyse) liefern zudem abstraktere Modelle der Daten.

**M**it Hilfe dieser Ansätze wird sowohl die Analyse der Daten als auch beispielsweise deren Visualisierung (durch Stichproben und geringere Komplexität) vereinfacht. Die Schritte des iterativen Prozesses sind folgende:

- Fokussieren: die Datenerhebung und Selektion, aber auch das Bestimmen bereits vorhandenen Wissens
- Vorverarbeitung: die Datenbereinigung, bei der Quellen integriert und Inkonsistenzen beseitigt werden, beispielsweise durch Entfernen oder Ergänzen von unvollständigen Datensätzen.
- Transformation in das passende Format für den Analyseschritt, beispielsweise durch Selektion von Attributen oder Diskretisierung der Werte
- Data-Mining, der eigentliche Analyseschritt.
- Evaluation der gefundenen Muster durch den Experten und Kontrolle der erreichten Ziele.

In weiteren Iterationen kann nun bereits gefundenes Wissen verwendet („in den Prozess integriert“) werden um in einem erneuten Durchlauf zusätzliche oder genauere Ergebnisse zu erhalten.

## Ausreißer-Erkennung

**I**n dieser Aufgabe werden Datenobjekte gesucht, die inkonsistent zu dem Rest der Daten sind, beispielsweise indem sie ungewöhnliche Attributswerte haben – oder von einem generellen Trend abweichen.

Das Verfahren **Local Outlier Factor** sucht Objekte, die eine von ihren Nachbarn deutlich abweichende Dichte aufweisen, man spricht deswegen hier von einer „dichtebasierte Ausreißer-Erkennung“. Identifizierte Ausreißer werden oft anschließend manuell verifiziert und aus dem Datensatz ausgeblendet, da sie die

## Typische Aufgabenstellungen des Data-Mining

**D**ie Aufgabenstellungen können gegliedert werden in **Beobachtungsprobleme** (Ausreißer-Erkennung, Clusteranalyse) und **Prognoseprobleme** (Klassifikation, Regressionsanalyse).

- Ausreißer-Erkennung: Identifizierung von ungewöhnlichen Datensätzen: Ausreißern, Fehlern, Änderungen
- Clusteranalyse: Gruppierung von Objekten aufgrund von Ähnlichkeiten
- Klassifikation: bisher nicht Klassen zugeordnete Elemente werden den bestehenden Klassen zugeordnet.
- Assoziationsanalyse: Identifizierung von Zusammenhängen und Abhängigkeiten in den Daten in Form von Regeln wie „Aus A und B folgt normalerweise C“.
- Regressionsanalyse: Identifizierung von Beziehungen zwischen (mehreren) abhängigen und unabhängigen Variablen
- Zusammenfassung: Reduktion des Datensatzes auf eine kompaktere Beschreibung ohne wesentlichen Informationsverlust.



Ergebnisse anderer Verfahren verschlechtern können. In manchen Anwendungsfällen wie der Betrugserkennung sind aber gerade die Ausreißer die interessanten Objekte.

## Clusteranalyse

Bei der Clusteranalyse geht es darum, Gruppen von Objekten zu identifizieren, die sich auf eine gewisse Art ähnlicher sind als andere Gruppen. Oft handelt es sich dabei um Häufungen im Datenraum, woher der Begriff Cluster kommt. Bei einer dichtverbundenen Clusteranalyse wie beispielsweise DBSCAN oder OPTICS können die Cluster aber beliebige Formen annehmen. Andere Verfahren wie der EM-Algorithmus oder k-Means-Algorithmus bevorzugen sphärische Cluster.

Objekte, die keinem Cluster zugeordnet wurden, können als Ausreißer im Sinne der zuvor genannten Ausreißer-Erkennung interpretiert werden.

## Klassifikation

Bei der Klassifikation geht es ähnlich der Clusteranalyse darum, Objekte Gruppen (hier als Klassen bezeichnet) zuzuordnen. Im Gegensatz zur Clusteranalyse sind hier aber in der Regel die Klassen vordefiniert (Beispielsweise: Fahrräder, Autos) und es werden Verfahren aus dem maschinellen Lernen eingesetzt um bisher nicht zugeordnete Objekte diesen Klassen zuzuordnen.

## Assoziationsanalyse

In der Assoziationsanalyse werden häufige Zusammenhänge in den Datensätzen gesucht und meist als Schlussregeln formuliert.

Ein beliebtes Beispiel, das in der Fernsehserie *Numbers – Die Logik des Verbrechens* erwähnt wurde, ist folgendes: bei der Warenkorbanalyse wurde festgestellt, dass „Windeln“ und „Bier“ überdurchschnittlich oft zusammen gekauft werden, meist dargestellt in: „Kunde kauft Windeln & Kunde kauft Bier“.

Die Interpretation dieses Ergebnisses war, dass Männer, wenn sie Windeln kaufen geschickt werden, sich gerne noch ein Bier mitnehmen. Durch Platzierung des Bierregals auf dem Weg von den Windeln zur Kasse konnte angeblich der Bierverkauf weiter gesteigert werden.

## Regressionsanalyse

Bei der Regressionsanalyse wird der statistische Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Attributen modelliert. Dies erlaubt unter anderem die Prognose von fehlenden Attributswerten, aber auch die Analyse der Abweichung analog zur Ausreißer-Erkennung.

Verwendet man Erkenntnisse aus der Clusteranalyse und berechnet separate Modelle für jeden Cluster, so können typischerweise bessere Prognosen erstellt werden. Wird ein starker Zusammenhang festgestellt, so kann dieses Wissen auch gut für die Zusammenfassung genutzt werden.

## Literatur

- Martin Ester, Jörg Sander: Knowledge Discovery in Databases. Techniken und Anwendungen. Springer, Berlin 2000, ISBN 3-540-67328-8.
- Ian H. Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall: Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. 3. Auflage. Morgan Kaufmann, Burlington, MA 2011, ISBN 978-0-12-374856-0 (englisch, waikato.ac.nz – Software zum Buch: WEKA).
- Sholom M. Weiss, Nitin Indurkha: Predictive Data Mining. A Practical Guide. Morgan Kaufmann, Burlington, MA 1997, ISBN 1-55860-403-0 (englisch).
- Jiawei Han, Micheline Kamber, Jian Pei: Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann, Burlington, MA 2011, ISBN 978-0-12-381479-1 (englisch).
- Usama M. Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, Padhraic Smyth: From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. In: AI Magazine. Band 17, Nr. 3, 1996, S. 37–54 (englisch, kdnuggets.com [PDF]).

# Spezialisierungen des Data-Mining

**D**ie meisten Data-Mining-Verfahren versuchen, mit allgemeinen Daten umzugehen; doch gibt es auch Spezialisierungen für speziellere Datentypen.

## Text-Mining

**I**m Text-Mining geht es um die Analyse von großen Beständen von Textdaten. Dies kann beispielsweise der **Plagiats-Erkennung** dienen – oder um **Textbestände zu klassifizieren**.

## Web-Mining

**B**eim Web-Mining geht es um die Analyse von verteilten Daten, wie es **Web-Seiten** darstellen. Für die Erkennung von Clustern und Ausreißern werden hier aber nicht nur die Web-Seiten selbst, sondern insbesondere auch die Beziehungen (**Hyperlinks**) der Seiten zueinander betrachtet.

Durch die sich ändernden Inhalte und die nicht garantierte Verfügbarkeit der Daten ergeben sich Herausforderungen. Dieser Themenbereich ist eng mit dem **Information Retrieval** verbunden.

## Zeitreihenanalyse

**I**n der Zeitreihenanalyse spielen die temporalen Aspekte und Beziehungen eine große Rolle. Hier können mittels spezieller Distanzfunktionen wie der **Dynamic-Time-Warping-Distanz** bestehende

Data-Mining-Verfahren verwendet werden, es werden aber auch spezialisierte Verfahren entwickelt.

Eine wichtige Herausforderung besteht darin, Reihen mit einem ähnlichen Verlauf zu erkennen, auch wenn dieser etwas zeitlich versetzt ist, aber dennoch ähnliche Charakteristika aufweist.

## Probleme des Data-Mining

### Daten-Defekte

**V**iele der Probleme bei Data-Mining stammen aus einer ungenügenden Vorverarbeitung der Daten oder aus systematischen Fehlern und Verzerrung bei deren Erfassung. Diese Probleme müssen bereits bei der Erfassung gelöst werden; denn aus nicht repräsentativen Daten können keine repräsentativen Ergebnisse gewonnen werden.

### Parametrisierung

**D**ie im Data-Mining verwendeten Algorithmen haben oft mehrere Parameter, die geeignet zu wählen sind.

Mit allen Parametern liefern sie gültige Ergebnisse, und die Parameter so zu wählen, dass die Ergebnisse auch nützlich sind, ist eine Aufgabe des Benutzers.

Weiterentwickelte Methoden haben oft weniger Parameter – oder diese Parameter sind leichter zu wählen.

## Evaluation

**D**ie Bewertung von Data-Mining-Ergebnissen stellt den Benutzer vor das Problem, dass er zwar neue Erkenntnisse gewinnen möchte, andererseits Verfahren dann nur schwer automatisiert bewerten kann.

Bei Prognoseproblemen wie der Klassifikation, Regressionsanalyse und Assoziationsanalyse lässt sich hier die Prognose auf neuen Daten zur Bewertung verwenden.

Bei Beschreibungsproblemen wie der Ausreißer-Erkennung und der Clusteranalyse ist dies schwieriger. Cluster werden meist intern oder extern bewertet, also anhand ihrer mathematischen Kompaktheit oder ihrer Übereinstimmung mit bekannten Klassen.

## Interpretation

Als statistische Verfahren analysieren die Algorithmen die Daten ohne Hintergrundwissen über deren Bedeutung. Daher können die Verfahren meist nur einfache Modelle wie Gruppen oder Mittelwerte liefern. Oftmals sind die Ergebnisse als solche nicht mehr nachvollziehbar.

Diese maschinell gewonnenen Ergebnisse müssen aber anschließend noch von dem Benutzer interpretiert werden, bevor man sie wirklich als Wissen bezeichnen kann.

# Anwendungsgebiete des Data-Mining

Neben den Anwendungen in verwandten Bereichen der Informatik findet Data-Mining auch zunehmend Einsatz in der Industrie:

## Entscheidungsunterstützungssystem

### Im Finanzsektor:

- Rechnungsprüfung zur Betrugserkennung
- Kreditscoring zur Bestimmung von Ausfallswahrscheinlichkeiten kann als klassisches Beispiel von Data-Mining gesehen werden

### Im Marketing:

- Marktsegmentierung, beispielsweise Kunden in Bezug auf ähnliches Kaufverhalten bzw. Interessen für gezielte Werbemaßnahmen
- Warenkorbanalyse zur Preisoptimierung und Produktplatzierung im Supermarkt
- Zielgruppen-Auswahl für Werbekampagnen
- Kundenprofil-Erstellung zum Management von Kundenbeziehungen in Customer-Relationship-Management-Systemen
- Business Intelligence

### Im Internet:

- Angriffserkennung
- Empfehlungsdienste für Produkte wie beispielsweise Filme und Musik

- Netzwerkanalyse in sozialen Netzwerken
- Web-Usage-Mining um das Nutzerverhalten zu analysieren

## Text-Mining zur Analyse von großen Textbeständen

Arzneimittelüberwachung nach Marktzulassung im Hinblick auf unbekannten unerwünschten Ereignissen:

- Medizin
- Pflegewesen
- Bibliometrie
- Explorative Datenanalyse
- Prozessanalyse und -optimierung:
- Mit Hilfe des Data-Mining lassen sich technische Prozesse analysieren und die Zusammenhänge der einzelnen Prozessgrößen untereinander ermitteln. Dies hilft bei der Steuerung und Optimierung von Prozessen.

Erste erfolgreiche Ansätze konnten bereits in der chemischen Industrie und Kunststoffverarbeitung erreicht werden.

## Analyse von Produktdaten:

Auch Daten aus dem Produktlebenszyklus können mittels Data Mining analysiert werden. Diese Daten fallen insbesondere bei Wartung und Service an. Sie

lassen sich zur Optimierung und Weiterentwicklung des Produktes verwenden und können dazu beitragen, Innovationen zu generieren.

## Educational Data Mining

Data Mining hat auch in der Hochschullehre Eingang erlangt. Im Bildungsbereich spricht man von Educational Data Mining, mit dem in der Pädagogik das Ziel verfolgt wird „aus einer riesigen Datenmenge überschaubare Typen, Profile, Zusammenhänge, Cluster und darauf bezogen typische Abfolgen, Zusammenhänge und kritische Werte zu ermitteln.“

Aus den ermittelten Daten werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, um pädagogische Prozesse planen zu können.



# Rechtliche und moralische Aspekte des Data-Mining

**Data-Mining als wissenschaftliche Disziplin ist zunächst wertneutral. Die Verfahren erlauben die Analyse von Daten aus nahezu beliebigen Quellen, beispielsweise Messwerte von Bauteilen oder die Analyse von historischen Knochenfunden.**

Beziehen sich die analysierten Daten jedoch auf Personen, so entstehen wichtige rechtliche und moralische Probleme; typischerweise aber bereits bei der Erfassung und Speicherung dieser Daten, nicht erst bei der Analyse, und unabhängig von der konkret verwendeten Analysemethode (Statistik, Datenbankabfragen, Data-Mining, ...).

## Rechtliche Aspekte

Daten, die unzulänglich anonymisiert wurden, können möglicherweise durch Datenanalyse wieder konkreten Personen zugeordnet (deanonymisiert) werden.

Typischerweise wird man hier jedoch nicht Data-Mining einsetzen, sondern einfachere und spezialisierte Analysemethoden zur Deanonymisierung. Eine derartige Anwendung – und vor allem die unzulängliche Anonymisierung zuvor – sind dann möglicherweise illegal (nach dem Datenschutzrecht).

So gelang es Forschern beispielsweise anhand weniger Fragen Nutzerprofile eindeutig in einem sozialen Netzwerk zu identifizieren.

Werden beispielsweise Bewegungsdaten nur pseudonymisiert, so kann mit einer einfachen Datenbankabfrage (technisch gesehen kein Data-Mining!) oft der Nutzer identifiziert werden, sobald man seinen Wohnort und Arbeitsplatz kennt: die meisten Personen können anhand der 2–3 Orte, an denen sie am meisten Zeit verbringen, eindeutig identifiziert werden.

Das Datenschutzrecht spricht allgemein von der „Erhebung, Verarbeitung oder Nutzung“ personenbezogener Daten, da diese Problematik nicht erst bei der Verwendung von Data-Mining auftritt, sondern auch bei der Verwendung anderer Analysemethoden (bspw. Statistik).

Ein zuverlässiger Schutz vor einer missbräuchlichen Analyse ist nur möglich, indem die entsprechenden Daten gar nicht erst erfasst und gespeichert werden.

## Moralische Aspekte

Die Anwendung von Data-Mining-Verfahren auf personenbeziehbare Daten wirft auch moralische Fragen auf. Beispielsweise, ob ein Computerprogramm Menschen in „Klassen“ einteilen sollte. Zudem eignen sich viele der Verfahren zur Über-

wachung und für eine fortgeschrittene Rasterfahndung. So stellt beispielsweise der SCHUFA-Score eine durch Statistik, vielleicht auch Data-Mining, gewonnene Einteilung der Menschen in die Klassen „kreditwürdig“ und „nicht kreditwürdig“ dar und wird entsprechend kritisiert.

## Psychologische Aspekte

Data-Mining-Verfahren selbst arbeiten wertneutral und berechnen nur Wahrscheinlichkeiten, ohne die Bedeutung dieser Wahrscheinlichkeit zu kennen.

Werden Menschen jedoch mit dem Ergebnis dieser Berechnungen konfrontiert, so kann das überraschte, beleidigte oder befremdete Reaktionen hervorrufen. Daher ist es wichtig abzuwägen, ob und wie man jemanden mit derartigen Ergebnissen konfrontiert.

Google gewährt seinen Nutzern Einblick in die für sie ermittelten Zielgruppen – sofern kein Opt-out erfolgt ist – und liegt dabei oft falsch. Eine amerikanische Kaufhauskette kann aber anhand des Einkaufsverhaltens erkennen, ob eine Kundin schwanger ist.

Mit Hilfe dieser Information können gezielt Einkaufsgutscheine verschickt werden. Selbst eine Vorhersage des Datums der Geburt ist so möglich.

# Neuronale Netze

## Netze aus künstlichen Neuronen

**K**ünstliche neuronale Netze, auch künstliche neuronale Netzwerke, kurz: KNN (englisch: *artificial neural network*), sind Netze aus künstlichen Neuronen. Sie sind ein wichtiger Zweig der Künstlichen Intelligenz.

**N**euronen sind die Nervenzellen des menschlichen Gehirns. Ein durchschnittlicher Mensch besitzt ca. 86 Milliarden Neuronen, welche für alle Funktionen des Gehirns zuständig sind: Lernen, Gedächtnis, Steuerung der Körperfunktionen.

Künstliche Neuronen haben dieses biologische Netz als Vorbild. Man stellt sie natürlichen neuronalen Netzen gegenüber, die eine Vernetzung von Neuronen im Gehirn eines Menschen sind.

**B**ei Künstliche neuronale Netze (KNNs) geht es mehr um eine Modellbildung von Informationsverarbeitung, weniger um das Nachbilden biologischer neuronaler Netze und Neuronen.

Es ist zu beobachten, dass die Grenzen zwischen diesen Teildisziplinen zunehmend verschwinden, was

auf die nach wie vor große Dynamik und Interdisziplinarität dieses Forschungszweigs zurückzuführen ist.

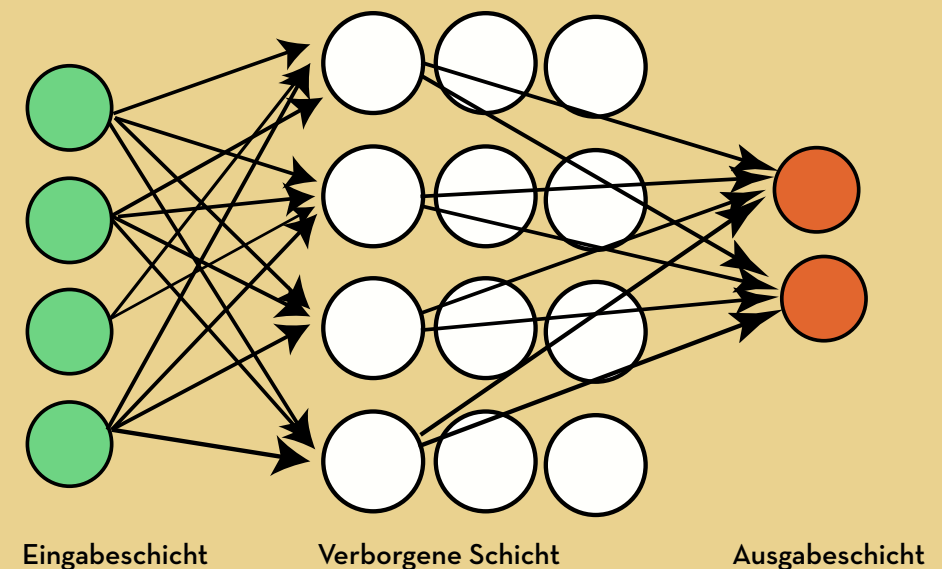
KNNs sind universelle Funktionsapproximatoren. Beim Trainieren des Netzes werden dabei die Gewichte anhand einer Fehlerfunktion aktualisiert.

Künstliche neuronale Netze basieren meist auf der Vernetzung vieler **McCulloch-Pitts-Neuronen** oder leichter Abwandlungen davon.

Die Topologie eines Netzes (die Zuordnung von Verbindungen zu Knoten) muss abhängig von seiner Aufgabe gut durchdacht sein.

Nach der Konstruktion eines Netzes folgt die Trainingsphase,

### NEURONALES NETZWERK



Vereinfachte Darstellung eines künstlichen neuronalen Netzes

in der das Netz „lernt“. Ein Netz kann durch folgende Methoden lernen:

- Entwicklung neuer Verbindungen
- Löschen existierender Verbindungen
- Ändern der Gewichtung
- Anpassen der Schwellenwerte der Neuronen, sofern diese Schwellenwerte besitzen.
- Hinzufügen oder Löschen von Neuronen.
- Modifikation von Aktivierungs-, Propagierungs- oder Ausgabefunktion

## Topologie der Verbindungsnetze

In künstlichen neuronalen Netzen bezeichnet die Topologie die Struktur des Netzes. Damit ist gemeint, wie viele künstliche Neuronen sich auf wie vielen Schichten befinden, und wie diese miteinander verbunden sind. Künstliche Neuronen können auf vielfältige Weise zu einem künstlichen neuronalen Netz verbunden werden.

Dabei werden Neuronen bei vielen Modellen in hintereinander liegenden Schichten (Englisch: *layers*) angeordnet; bei einem Netz mit nur einer trainierbaren Neuronenschicht spricht man von einem einschichtigen Netz.

Unter Verwendung eines Graphen können die Neuronen als Knoten und ihre Verbindungen als Kanten dargestellt werden. Die Eingaben werden gelegentlich auch als Knoten dargestellt.

Die hinterste Schicht des Netzes, deren Neuronenausgaben meist als einzige außerhalb des Netzes sichtbar sind, wird Ausgabeschicht (Englisch: *output layer*) genannt. Davorliegende Schichten werden entsprechend als verborgene Schicht (Englisch: *hidden layer*) bezeichnet.

### Typische Strukturen

Die Struktur eines Netzes hängt unmittelbar mit dem verwendeten Lernverfahren zusammen und umgekehrt; so kann mit der Delta-Regel nur ein einschichtiges Netz trainiert werden, bei mehreren Schichten ist eine leichte Abwandlung vonnöten.

Dabei müssen Netze nicht zwingend homogen sein: es existieren auch Kombinationen aus verschiedenen Modellen, um so unterschiedliche Vorteile zu kombinieren.

Es gibt reine *feedforward-Netze*, bei denen eine Schicht immer nur mit der nächsthöheren Schicht verbunden ist. Darüber hinaus gibt es Netze, in denen Verbindungen in beiden Richtungen erlaubt sind. Die passende Netzstruktur wird meist nach der Methode von Versuch und Irrtum gefunden, was durch evolutionäre Algorithmen und eine Fehlerrückführung unterstützt werden kann.

### Einschichtiges Feedforward-Netz

Einschichtige Netze mit der feedforward-Eigenschaft (Englisch für *vorwärts*) sind die einfachsten Strukturen künstlicher neuronaler Netze. Sie besitzen

### Das Lernverhalten eines Netzes

Praktisch gesehen „lernt“ ein Netz hauptsächlich durch Modifikation der Gewichte der Neuronen. Eine Anpassung des Schwellwertes kann hierbei durch ein on-Neuron miterledigt werden.

Dadurch sind KNNs in der Lage, komplizierte nichtlineare Funktionen über einen „Lern“-Algorithmus, der durch iterative oder rekursive Vorgehensweise aus vorhandenen Ein- und gewünschten Ausgangswerten alle Parameter der Funktion zu bestimmen versucht, zu erlernen.

KNNs sind dabei eine Realisierung des konnektionistischen Paradigmas, da die Funktion aus vielen einfachen gleichartigen Teilen besteht. Erst in ihrer Summe kann das Verhalten im Zusammenspiel sehr vieler beteiligter Teile komplex werden.

lediglich eine Ausgabeschicht. Die feedforward-Eigenschaft besagt, dass Neuronenausgaben nur in Verarbeitungsrichtung geleitet werden und nicht durch eine rekurrente Kante zurückgeführt werden können.

### Mehrschichtiges Feedforward-Netz

Mehrschichtige Netze besitzen neben der Ausgabeschicht auch verdeckte Schichten, deren Ausgabe wie beschrieben, außerhalb des Netzes nicht sichtbar sind. Verdeckte Schichten verbessern die Abstraktion solcher Netze. So kann



erst das mehrschichtige Perzeptron das XOR-Problem lösen.

### Rekurrentes Netz

**R**ekurrente Netze besitzen im Gegensatz dazu auch rückgerichtete (rekurrente) Kanten (englisch feedback loops) und enthalten somit eine Rückkopplung. Solche Kanten werden dann immer mit einer Zeitverzögerung (in der Systemtheorie als Verzögerungsglied bezeichnet) versehen, sodass bei einer schrittweisen Verarbeitung die Neuronenausgaben der vergangenen Einheit wieder als Eingaben angelegt werden können. Diese Rückkopplungen ermöglichen einem Netz ein dynamisches Verhalten und staten es mit einem Gedächtnis aus.

In bestimmten Gehirnregionen von Säugetieren – und auch anderen Wirbeltieren, etwa Singvögeln – werden nicht nur in Entwicklungsstadien, sondern noch im Erwachsenenalter Neuronen neugebildet und in das neuronale Netz integriert.

Im Versuch, solche Prozesse in neuronalen Netzen künstlich nachzubilden, stößt die Modellierung an Grenzen. Zwar kann ein evolutionärer Algorithmus bestimmen, ähnlich einem Moore-Automaten, wie häufig ein Neuron aktiviert werden muss, damit sich in der Umgebung neue Neuronen ausbilden.

**J**edoch muss hier zusätzlich auch festgelegt werden, wie die neuen Neuronen in das vorhandene Netz integriert werden sollen. Künstliche neuronale Netze dieser Art müssen zwangsläufig darauf verzichten, in Schichten aufgebaut zu sein. Sie benötigen eine völlig freie Struktur, für die bestenfalls der Raum begrenzt werden kann, in dem sich die Neuronen befinden dürfen.

### Funktionsweise

Künstliche neuronale Netze dienen als universelle Funktionsapproximatoren. Werte werden dabei von der Eingabe- bis zur Ausgabeschicht propagiert, wobei eine Aktivierungsfunktion für Nichtlinearität sorgt. Beim Trainieren wird ein Fehler bestimmt; mit Hilfe von Fehlerrückführung und einem Optimierungsverfahren werden dabei die Gewichte schichtweise angepasst.

### Optimierung

**M**it der Fehlerrückführung wurden Fehler und Gewichte in einer Funktion abgebildet. Das Lernen korrespondiert nun zu einer Minimierung der Fehlerfunktion, indem die Gewichte angepasst werden.

Das aus der Schule bekannte Optimalitätskriterium 1. Ordnung, das Nullsetzen der Ableitung, ist bei neuronalen Netzen praktisch jedoch ungeeignet. Stattdessen wird mit Gradientenverfahren gearbeitet, um ein lokales Minimum der Fehlerfunktion zu finden.

Der Gradient ist die Richtung des steilsten Anstieges einer Funktion, eine Bewegung entgegen den Gradienten ermöglicht also einen Abstieg auf dem Graphen der Fehlerfunktion.

Eine Iteration des naiven Gradientenverfahrens oder Gradientenabstieges ist also die Berechnung des Gradienten für die aktuelle Wahl der Gewichte, anschließend wird von den Gewichten der Gradient abgezogen und so neue Gewichte mit niedrigerem Fehler erhalten. Das Netz hat somit also „gelernt“.

Zur Berechnung des Gradienten wird die Fehler-rückführung (engl. Backpropagation) verwendet. Das Verfahren wird solange wiederholt, bis ein Abbruchkriterium erfüllt ist, idealerweise durch Konvergenz zu einem lokalen Minimum.

**N**eben dem hier dargestellten naiven Gradientenverfahren werden in der Praxis meist besser entwickelte und leistungsfähigere Variationen des Gradientenabstieges verwendet, z. B. der stochastische Gradientenabstieg oder das ADAM-Verfahren.