

# MENSCH & MASCHINE

Gehirn und KI im Vergleich

## Bewusstsein

Der Geist in der Maschine

## Lernmechanismen

Programm mit Köpfchen

## Informatik

Mit KI das Gehirn verstehen





Antje Findekle  
E-Mail: [findekle@spektrum.de](mailto:findekle@spektrum.de)

Liebe Lesende,  
der Film Ex Machina war 2014 Sciencefiction und ist es noch. Aber würden Sie es merken, ob dieses Editorial von mir stammt – oder von einer künstlichen Intelligenz, die es zusammenfügt aus Wörtern, Satzbausteinen, vielleicht ganzen Absätzen, die sie während des Lernprozesses durchforstet hat? Und was lernen wiederum wir Menschen aus den Ergebnissen und Erfahrungen der KI-Forschung über die Funktionsweise unseres Gehirns? Wo sich Neurowissenschaften, Informatik und auch Philosophie treffen, entstehen spannende Fragen – und Antworten.

Eine interessante Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 30.05.2022

Folgen Sie uns:



**CHEFREDAKTION:** Dr. Daniel Lingenhöhl (v.i.S.d.P.)

**REDAKTIONSLEITUNG:** Alina Schadwinkel (Digital),  
Hartwig Hanser (Print)

**CREATIVE DIRECTOR:** Marc Grove

**LAYOUT:** Oliver Gabriel, Marina Männle

**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.),  
Sigrid Spies, Katharina Werle

**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

**REDAKTION:** Antje Findekle, Dr. Michaela Maya-Mrschik

**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,  
Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel.: 06221 9126-600,

Fax: 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,

USt-IdNr.: DE229038528

**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle

**ASSISTENZ GESCHÄFTSLEITUNG:** Stefanie Lacher

**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.),  
Michaela Knappe (Digital)

**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser,  
Tel.: 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer

**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [anzeigen@spektrum.de](mailto:anzeigen@spektrum.de).

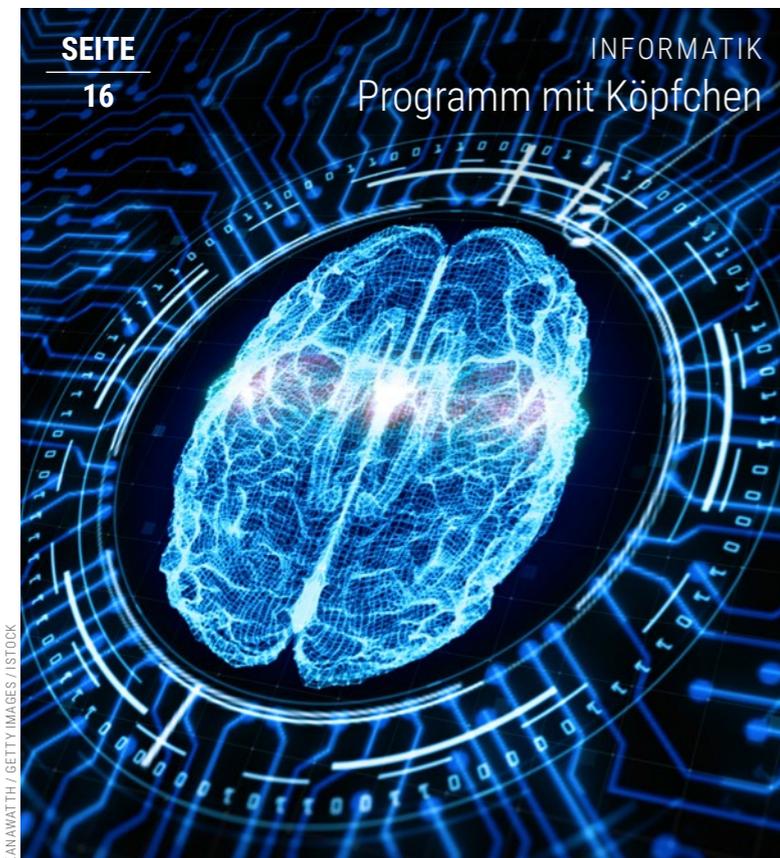
Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2022 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.



SEITE  
04

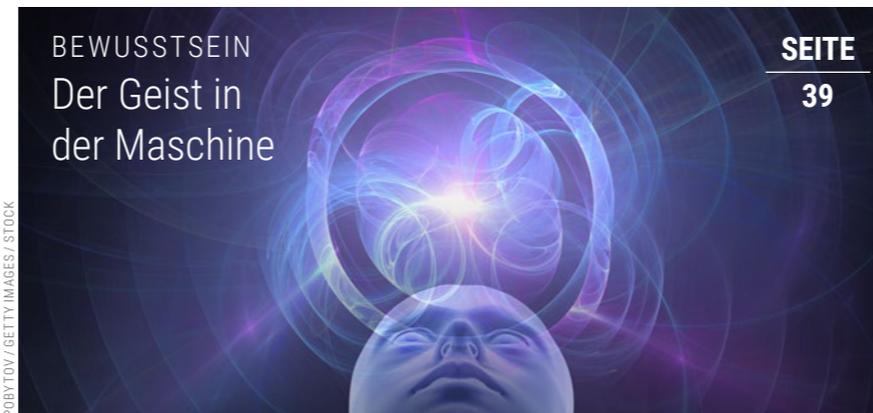
INFORMATIK  
Mit KI das menschliche  
Gehirn verstehen

04	INFORMATIK	Mit KI das menschliche Gehirn verstehen
16	INFORMATIK	Programm mit Köpfchen
26	TIEFE NETZWERKE	Wie komplex sind Neurone wirklich?
32	KOGNITIONSWISSENSCHAFT	Was KI über unsere Intelligenz lehrt
39	BEWUSSTSEIN	Der Geist in der Maschine
51	INTENTIONALITÄT	Warum KI nichts wollen kann
57	REZENSION	Raus aus der Sci-Fi-Ecke



SEITE  
16

INFORMATIK  
Programm mit Köpfchen



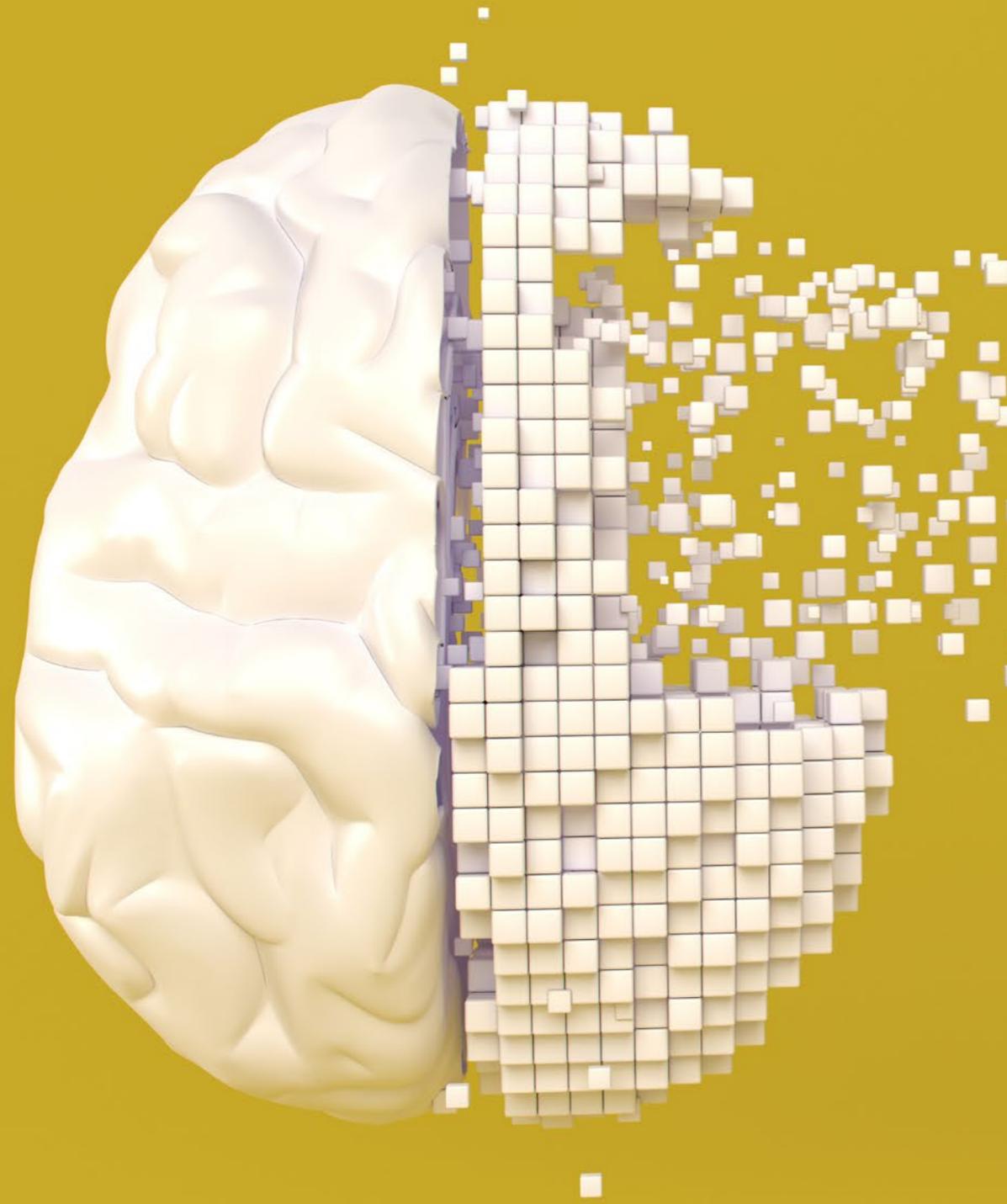
BEWUSSTSEIN  
Der Geist in  
der Maschine

SEITE  
39



INTENTIONALITÄT  
Warum KI nichts  
wollen kann

SEITE  
51



INFORMATIK

MIT KI DAS  
MENSCHLICHE  
**GEHIRN**  
**VERSTEHEN**

von Anil Ananthaswamy

Die Struktur künstlicher neuronaler Netze kann manchen Hirnarealen von Säugetieren ähneln. Deshalb nutzen Neurowissenschaftler inzwischen auch die Informatik, um die Funktionsweise unseres Denkkorgans besser zu verstehen.

**I**m Winter 2011 arbeitete Daniel Yamins am Massachusetts Institute of Technology (MIT) oftmals bis spät in die Nacht an seinem Forschungsprojekt. Er entwarf in mühevoller Kleinarbeit ein System, das Objekte in Bildern erkennen sollte, unabhängig davon, ob man ihre Größe, Position oder andere Eigenschaften verändert – etwas, was Menschen sehr leicht fällt, woran Maschinen aber damals meist scheiterten. Yamins setzte seine Hoffnung in ein künstliches neuronales Netz, einen Algorithmus, der an den Aufbau der Sehrinde des menschlichen Gehirns angelehnt ist. Eines Nachts fand er schließlich ein Programm, das die anspruchsvolle Aufgabe bewältigen konnte.

Aus Sicht der Informatik stellte Yamins' Arbeit eine bemerkenswerte Errungenschaft dar. Der Forscher verfolgt jedoch weiter reichende Ziele. Zusammen mit seinen Kollegen möchte er die Computermodelle nutzen, um die Funktionsweise des Gehirns zu verstehen.

Damit gehören Yamins, der jetzt sein eigenes Labor an der Stanford University leitet, sowie sein Doktorvater James DiCarlo zu einer Gruppe von Neurowissenschaftlern, die mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze den Aufbau des Denkkorgans untersuchen. Die Forscher interessieren sich vor allem für dessen Spezialisierungen auf verschiedene Aufgaben. Unter anderem möchten sie herausfinden, warum es ein Areal für das Erkennen von Objekten gibt, ein anderes jedoch für die Gesichtseinordnung zuständig ist.

Computer können aber nicht nur den visuellen Kortex von Säugetieren nach-

AUF EINEN BLICK

## Das Gehirn als Vorbild

**01** Inspiriert von der Struktur des Gehirns entwerfen Informatiker Algorithmen für Aufgaben, die Computer sonst überfordern.

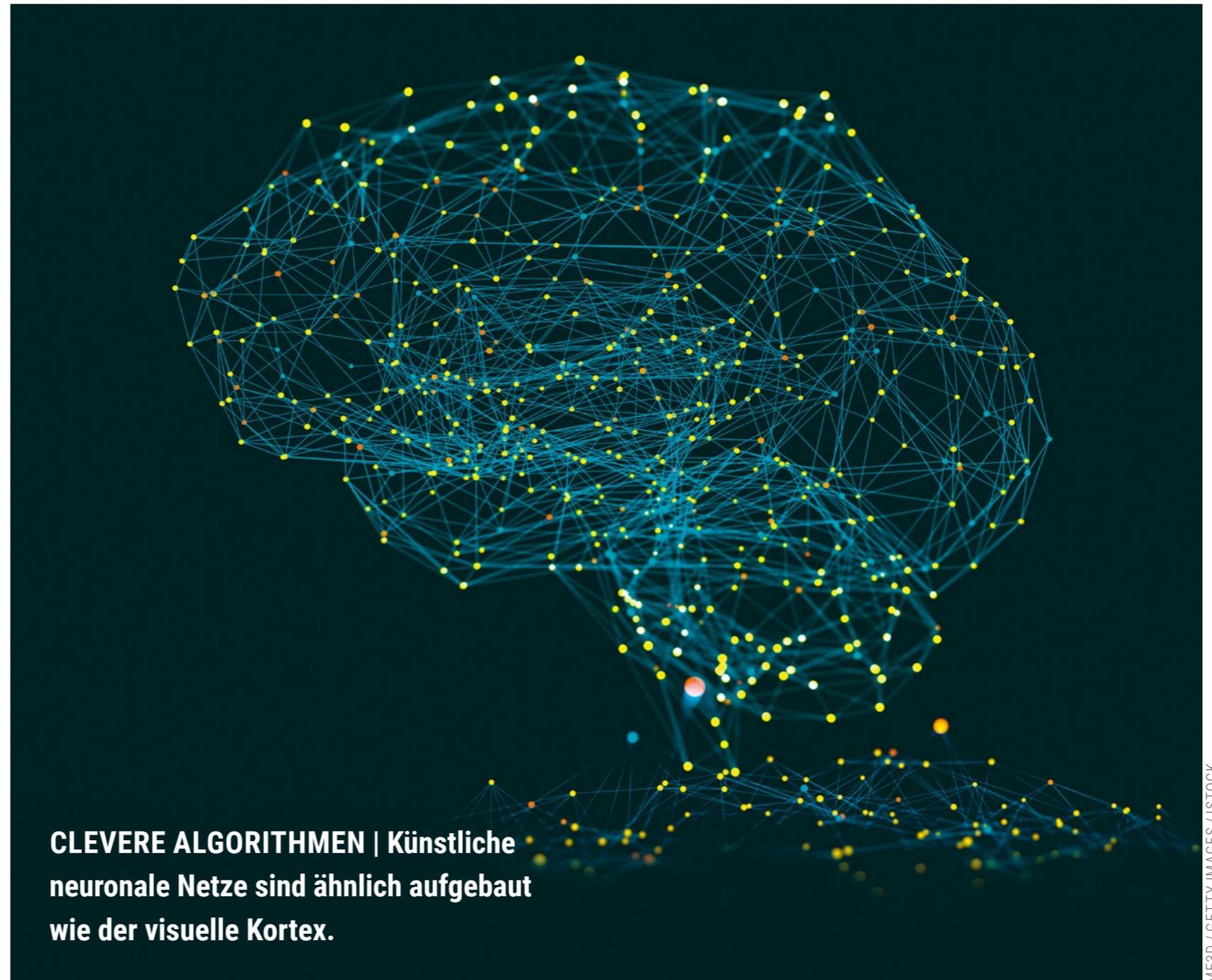
**02** Künstliche neuronale Netze reagieren auf bestimmte Bilder ähnlich wie Nervenzellen im Affenhirn.

**03** Daher verwenden Neurowissenschaftler nun künstliche Intelligenz, um besser nachzuvollziehen, wie unser Gehirn arbeitet.

ahmen. Laut neuen Ergebnissen ähneln jene neuronalen Netze, die Sprache, Musik und simulierte Gerüche am besten klassifizieren, in ihrem Aufbau den auditorischen und olfaktorischen Systemen des Gehirns. Das Gleiche gilt für Programme, die aus einer zweidimensionalen Szene die Eigenschaften der darin enthaltenen dreidimensionalen Objekte ableiten. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die biologischen – genauso wie die künstlichen – Systeme ihre Aufgaben in vieler Hinsicht auf dem bestmöglichen Weg lösen.

Die Erfolge der letzten Jahre erscheinen umso überraschender, als sich Neurowissenschaftler lange skeptisch gegenüber Vergleichen zwischen Gehirnen und künstlicher Intelligenz zeigten, deren genaue Funktionsweise bisweilen undurchschaubar ist. »Ehrlich gesagt hat bis vor Kurzem niemand in meinem Labor mit maschinellem Lernen gearbeitet«, so die Neurowissenschaftlerin Nancy Kanwisher vom MIT. »Jetzt gehört es zum Standardwerkzeug.«

Neuronale Netze bestehen aus miteinander verbundenen Recheneinheiten –



künstlichen Neuronen, die vereinfachte digitale Modelle ihrer biologischen Vorbilder darstellen. Solche Programme enthalten mindestens zwei Schichten: eine

zur Eingabe von Daten, die andere zur Ausgabe. So genannte tiefe neuronale Netzwerke verfügen darüber hinaus über dazwischenliegende Schichten.