

Jon Krohn · Grant Beyleveld · Aglaé Bassens

# Deep Learning illustriert

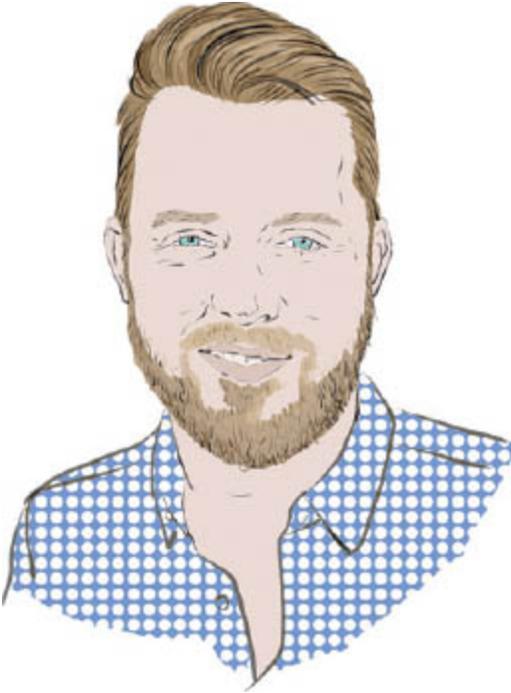
Eine anschauliche Einführung  
in Machine Vision,  
Natural Language Processing  
und Bilderzeugung  
für Programmierer und Datenanalysten



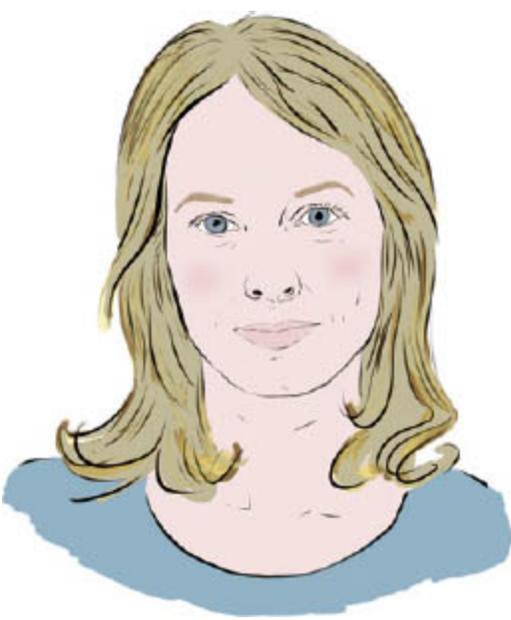
**dpunkt.verlag**



**Jon Krohn** ist Chief Data Scientist beim Machine-Learning-Unternehmen *untapt*. Er präsentiert eine viel gerühmte Serie aus Tutorials, die von Addison-Wesley herausgebracht wurden, darunter *Deep Learning with TensorFlow LiveLessons* und *Deep Learning for Natural Language Processing LiveLessons*. Jon unterrichtet Deep Learning an der *New York City Data Science Academy* und als Gastdozent an der Columbia University. Er besitzt einen Dokortitel in Neurowissenschaften von der Universität Oxford und veröffentlicht seit 2010 Artikel zum Thema Machine Learning in führenden Fachzeitschriften, darunter *Advances in Neural Information Processing Systems*.



**Grant Beyleveld** ist Data Scientist bei *untapt*, wo er auf dem Gebiet der Verarbeitung natürlicher Sprache mittels Deep Learning arbeitet. Er besitzt einen Dokortitel in biomedizinischer Wissenschaft von der *Icahn School of Medicine* am *Mount Sinai Hospital* in New York City, wo er die Beziehung zwischen Viren und ihren Wirten untersuchte. Er ist Gründungsmitglied von [deeplearningstudygroup.org](http://deeplearningstudygroup.org).



**Aglaé Bassens** ist eine in Paris lebende belgische Künstlerin. Sie studierte bildende Kunst an *The Ruskin School of Drawing and Fine Art* der Universität Oxford und an der *Slade School of Fine Arts des University College London*. Neben ihrer Arbeit als Illustratorin malt sie Stillleben und Wandbilder.

Papier  
plus<sup>+</sup>  
PDF.

Zu diesem Buch – sowie zu vielen weiteren dpunkt.büchern – können Sie auch das entsprechende E-Book im PDF-Format herunterladen. Werden Sie dazu einfach Mitglied bei dpunkt.plus<sup>+</sup>:

[www.dpunkt.plus](http://www.dpunkt.plus)

**Jon Krohn · Grant Beyleveld · Aglaé Bassens**

# **Deep Learning illustriert**

**Eine anschauliche Einführung in  
Machine Vision, Natural Language  
Processing und Bilderzeugung für  
Programmierer und Datenanalysten**

Aus dem Englischen von Kathrin Lichtenberg



Jon Krohn · Grant Beyleveld · Aglaé Bassens

Lektorat: Gabriel Neumann

Übersetzung: Kathrin Lichtenberg, Ilmenau

Copy-Editing: Friederike Daenecke, Zülpich

Terminologie-Beratung: Marcus Fraaß

Satz: Birgit Bäuerlein

Herstellung: Stefanie Weidner

Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, [www.exclam.de](http://www.exclam.de)

Druck und Bindung: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN:

Print 978-3-86490-663-3

PDF 978-3-96088-751-5

ePub 978-3-96088-752-2

mobi 978-3-96088-753-9

Translation Copyright für die deutschsprachige Ausgabe © 2020 dpunkt.verlag GmbH

Wieblinger Weg 17 · 69123 Heidelberg

Authorized German translation of the English original »Deep Learning Illustrated«. 1st edition by Jon Krohn, Beyleveld Grant, Bassens Aglae, published by Pearson Education, Inc, publishing as Addison-Wesley Professional, Copyright © 2019 Pearson Education, Inc

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

*Hinweis:*

Dieses Buch wurde auf PEFC-zertifiziertem Papier aus nachhaltiger Waldwirtschaft gedruckt. Der Umwelt zuliebe verzichten wir zusätzlich auf die Einschweißfolie.



*Schreiben Sie uns:*

Falls Sie Anregungen, Wünsche und Kommentare haben, lassen Sie es uns wissen: [hallo@dpunkt.de](mailto:hallo@dpunkt.de).

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, ist ohne die schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und daher strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Buch verwendeten Soft- und Hardware-Bezeichnungen sowie Markennamen und Produktbezeichnungen der jeweiligen Firmen im Allgemeinen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz unterliegen.

Alle Angaben und Programme in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt kontrolliert. Weder Autor noch Verlag noch Übersetzer können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.

5 4 3 2 1 0

❖ *Für Gigi* ❖

# Vorwort

Machine Learning gilt vielen Menschen als die Zukunft der Statistik und Computertechnik, da es völlig neue Akzente in Kundendienst, Design, Bankwesen, Medizin, Produktion und in vielen anderen Bereichen und Branchen setzt. Es ist kaum möglich, seinen Einfluss auf die Welt und jene Veränderungen, die Machine Learning in den kommenden Jahren und Jahrzehnten bringen wird, überzubewerten. Von der Vielzahl an Machine-Learning-Methoden, die von Experten eingesetzt werden, etwa *Penalized Regression*, *Random Forest* und *Boosted Trees*, ist *Deep Learning* vermutlich die aufregendste.

Deep Learning hat die Gebiete *Computer Vision* (maschinelles Sehen) und *Natural Language Processing* (Verarbeitung natürlicher Sprache) revolutioniert, und Forscher finden immer neue Bereiche, die sie mit der Macht neuronaler Netze verwandeln wollen. Seine größte und beeindruckendste Wirkung zeigt Deep Learning oft bei den Versuchen, das menschliche Erleben nachzuahmen, wie bei der erwähnten Seh- und Sprachverarbeitung sowie bei der Audiosynthese und bei Übersetzungen. Die Berechnungen und Konzepte, die dem Deep Learning zugrunde liegen, wirken möglicherweise abschreckend und hindern Menschen unnötigerweise daran, sich damit zu befassen.

Die Autoren von *Deep Learning illustriert* gehen diese traditionell wahrgenommenen Hürden an und vermitteln ihr Wissen ruhig und gelassen – und das entstandene Buch ist eine wahre Freude. Wie die anderen Bücher aus dieser Reihe – *R for Everyone*, *Pandas for Everyone*, *Programming Skills for Data Science* und *Machine Learning with Python for Everyone* – wendet sich dieses Buch an ein breites Publikum mit ganz unterschiedlichem Wissen und Können. Die mathematischen Notationen sind auf ein Minimum beschränkt, und falls dennoch Gleichungen erforderlich sind, werden sie von verständlichem Text begleitet. Die meisten Erkenntnisse werden durch Grafiken, Illustrationen und Keras-Code ergänzt, der in Form leicht nachzuvollziehender Jupyter-Notebooks zur Verfügung steht.

Jon Krohn unterrichtet schon seit vielen Jahren Deep Learning. Besonders denkwürdig war eine Präsentation beim *Open Statistical Programming Meetup* in New York – bei derselben Vereinigung, in der er seine *Deep Learning Study Group* startete. Seine Brillanz in diesem Thema zeigt sich an seinen Texten, die Lesern Bildung vermitteln und ihnen gleichzeitig zeigen, wie spannend und aufregend das Material ist. Für dieses Buch arbeitet er mit Grant Beyleveld und Aglaé Bassens zusammen, die ihr Wissen bei der Anwendung von Deep-Learning-Algorithmen und ihre gekonnten und witzigen Zeichnungen beisteuern.

*Deep Learning illustriert* kombiniert Theorie, Mathematik (dort, wo es nötig ist), Code und Visualisierungen zu einer umfassenden Behandlung des Themas Deep Learning. Das Buch behandelt die volle Breite des Themas, einschließlich vollständig verbundener Netzwerke, Convolutional Neural Networks, Recurrent Neural Networks, Generative Adversarial Networks und Reinforcement Learning sowie deren Anwendungen. Dadurch ist dieses Buch die ideale Wahl für jemanden, der

neuronale Netze kennenlernen und gleichzeitig praktische Hinweise für deren Implementierung haben möchte. Jeder kann und sollte davon profitieren und außerdem seine Zeit beim Lesen mit Jon, Grant und Aglaé genießen.

*Jared Lander*

Herausgeber der Reihe

# Einführung

Milliarden miteinander verbundener Neuronen, gemeinhin als Gehirn bezeichnet, bilden Ihr Nervensystem und erlauben es Ihnen, zu spüren, zu denken und zu handeln. Durch akribisches Einfärben und Untersuchen dünner Scheiben von Gehirnmasse konnte der spanische Arzt Santiago Cajal ([Abbildung 1](#)) als erster<sup>1</sup> Neuronen identifizieren ([Abbildung 2](#)). In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts begannen Forscher zu verstehen, wie diese Zellen arbeiten. In den 1950er-Jahren experimentierten Wissenschaftler, die von unserem zunehmenden Verständnis für das Gehirn inspiriert waren, mit computerbasierten künstlichen Neuronen und verknüpften diese zu künstlichen neuronalen Netzen, die versuchten, die Funktionsweise ihres natürlichen Namensvetters nachzuahmen.

Gewappnet mit dieser kurzen Geschichte der Neuronen, können wir den Begriff Deep Learning täuschend leicht definieren: Deep Learning beinhaltet ein Netzwerk, in dem künstliche Neuronen - üblicherweise Tausende, Millionen oder noch mehr davon - wenigstens mehrere Schichten tief gestapelt sind. Die künstlichen Neuronen in der ersten Schicht übergeben Informationen an die zweite, die zweite Schicht reicht sie an die dritte und so weiter, bis die letzte Schicht irgendwelche Werte ausgibt. Wie wir allerdings im Laufe dieses Buches zeigen werden, kann diese simple

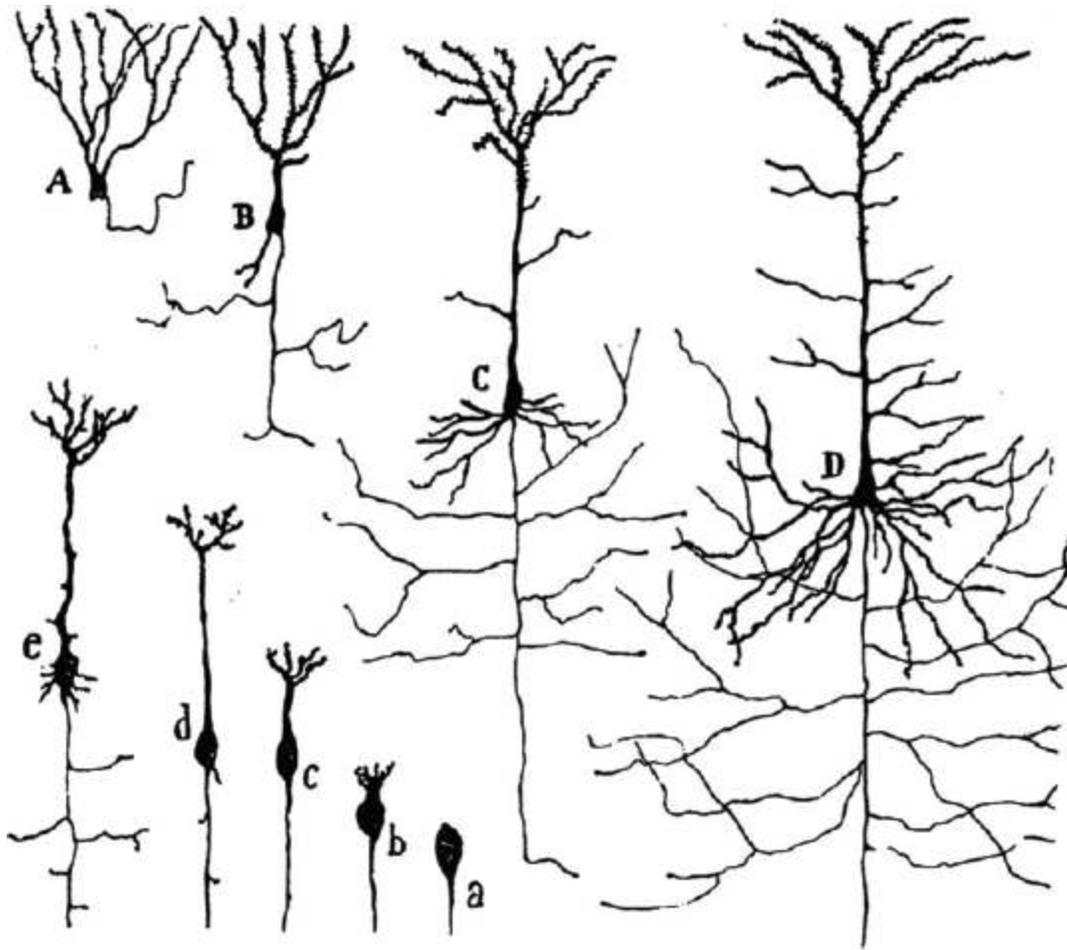
Definition die bemerkenswerte Breite der Funktionalität des Deep Learning sowie seine außerordentlichen Zwischentöne nicht annähernd erfassen.

Wie wir in [Kapitel 1](#) genauer ausführen werden, war die erste Welle des Deep-Learning-Tsunami, die metaphorisch gesprochen ans Ufer brandete, eine herausragende Leistung in einem wichtigen Machine-Vision-Wettbewerb im Jahre 2012. Sie wurde getrieben und unterstützt durch das Vorhandensein einigermaßen preiswerter Rechenleistung, ausreichend großer Datensätze und einer Handvoll wesentlicher theoretischer Fortschritte. Akademiker und Techniker merkten auf, und in den turbulenten Jahren seither hat das Deep Learning zahlreiche, mittlerweile alltägliche Anwendungen gefunden. Von Teslas Autopilot bis zur Stimmerkennung von Alexa, von Echtzeitübersetzungen zwischen Sprachen bis hin zu seiner Integration in Hunderte von Google-Produkten hat Deep Learning die Genauigkeit vieler durch Computer erledigter Aufgaben von 95 Prozent auf teils mehr als 99 Prozent verbessert – die entscheidenden Prozentpunkte, die dafür sorgen, dass ein automatisierter Dienst sich tatsächlich anfühlt, als würde er von Zauberhand ausgeführt werden. Auch wenn die in diesem Buch gelieferten interaktiven Codebeispiele die vorgebliche Magie entzaubern, verschafft das Deep Learning den Maschinen eine übermenschliche Fähigkeit bei komplexen Aufgaben, die so verschieden sind wie das Erkennen von Gesichtern, das Zusammenfassen von Texten und das Spielen schwieriger Brettspiele.<sup>2</sup> Angesichts dieser markanten Fortschritte überrascht es kaum, dass »Deep Learning« gleichgesetzt wird mit »künstlicher Intelligenz« – in der Presse, am Arbeitsplatz und zu Hause. Es sind aufregende Zeiten, weil – wie Sie in diesem Buch entdecken werden – vermutlich nur einmal im Leben ein einziges Konzept in so kurzer Zeit so umfassende Umstürze

mit sich bringt. Wir sind hocheifrig, dass auch Sie Interesse an Deep Learning gefunden haben, und können es kaum erwarten, unseren Enthusiasmus für diese beispiellose Technik mit Ihnen zu teilen.



**Abb. 1** *Santiago Cajal (1852-1934)*



**Abb. 2** Ein handgezeichnetes Diagramm aus Cajals Veröffentlichung (1894) zeigt das Wachstum eines Neurons (a-e) und verschiedenartige Neuronen eines Frosches (A), einer Eidechse (B), einer Ratte (C) und eines Menschen (D)

## Wie Sie dieses Buch lesen sollten

Dieses Buch besteht aus vier Teilen. [Teil I](#), »[Deep Learning vorgestellt](#)«, eignet sich für alle interessierten Leserinnen und Leser. Es ist ein allgemeiner Überblick, der uns verrät, was Deep Learning eigentlich ist, wie es sich entwickelt hat und wie es mit Konzepten wie KI, Machine Learning und Reinforcement Learning verwandt ist. Voller eigens geschaffener Illustrationen, eingängiger Analogien und auf das Wesentliche konzentrierter Beschreibungen, sollte [Teil I](#) für alle erhellend sein, also auch für diejenigen, die keine besondere Programmiererfahrung mitbringen.

Die [Teile II](#) bis [IV](#) wenden sich hingegen an Softwareentwickler, Data Scientists, Forscher, Analysten und andere, die gern lernen möchten, wie sich Deep-Learning-Techniken auf ihrem Gebiet einsetzen lassen. In diesen Teilen unseres Buches wird die wesentliche zugrunde liegende Theorie behandelt. Hierbei wird der Einsatz mathematischer Formeln auf das Mindestmaß reduziert und stattdessen auf intuitive visuelle Darstellungen und praktische Beispiele in Python gesetzt. Neben dieser Theorie vermitteln funktionierende Codeausschnitte, die in den begleitenden Jupyter-Notebooks<sup>3</sup> zur Verfügung stehen, ein praktisches Verständnis für die wichtigsten Familien der Deep-Learning-Ansätze und -Anwendungen: Maschinelles Sehen (Machine Vision) ([Kapitel 10](#)), Verarbeitung natürlicher Sprache (Natural Language Processing) ([Kapitel 11](#)), Bildherstellung ([Kapitel 12](#)) und Spiele ([Kapitel 13](#)). Damit er besser zu erkennen ist, geben wir Code immer in einer solchen Nichtproportionalschrift (also in einer Schrift mit fester Breite) an. Außerdem verwenden wir in den Codeausschnitten den üblichen Jupyter-Stil (Zahlen in Grün, Strings in Rot usw.).

Falls Sie sich nach detaillierteren Erklärungen der mathematischen und statistischen Grundlagen des Deep

Learning sehen, als wir in diesem Buch anbieten, könnten Sie sich unsere Tipps für weitere Studien anschauen:

1. Michael Nielsens E-Book *Neural Networks and Deep Learning*<sup>4</sup>, das kurz ist, Konzepte mithilfe netter interaktiver Applets demonstriert und eine ähnliche mathematische Notation verwendet wie wir
2. Das Buch *Deep Learning*<sup>5</sup> von Ian Goodfellow (vorgestellt in [Kapitel 3](#)), Yoshua Bengio ([Abbildung 1-10](#)) und Aaron Courville, das ausführlich die mathematischen Grundlagen neuronaler Netzwerktechniken behandelt

Überall im Buch finden Sie freundliche Trilobiten, die Ihnen gern kleine Schnipsel nicht ganz so notwendiger Informationen anbieten möchten, die für Sie vielleicht dennoch interessant oder hilfreich sein könnten. Der *lesende Trilobit* (wie in [Abbildung 3](#)) ist ein Bücherwurm, der Freude daran hat, Ihr Wissen zu erweitern. Der Trilobit, der um Ihre Aufmerksamkeit bittet (wie in [Abbildung 4](#)), hat eine Textpassage bemerkt, die möglicherweise problematisch für Sie ist, und würde in dieser Situation gern helfen. Zusätzlich zu den Trilobiten, die die Kästen bevölkern, haben wir reichlich Gebrauch von Fußnoten gemacht. Diese müssen Sie nicht unbedingt lesen, aber sie enthalten kurze Erklärungen neuer Begriffe und Abkürzungen sowie Quellenangaben zu wichtigen Artikeln, Büchern und anderen Referenzen, die Sie bei Interesse bemühen können.



**Abb. 3** *Der lesende Trilobit hat Freude daran, Ihr Wissen zu erweitern.*



**Abb. 4** *Dieser Trilobit möchte Ihre Aufmerksamkeit auf eine schwierige Textpassage lenken. Achten Sie auf ihn!*

Für einen Großteil des Inhalts dieses Buches gibt es begleitende Video-Tutorials in englischer Sprache. Dieses Buch bot uns die Möglichkeit, die theoretischen Konzepte gründlicher darzustellen, und die Videos erlauben es Ihnen, sich aus einer anderen Perspektive mit den Jupyter-Notebooks vertraut zu machen: Hier wird die Bedeutung der einzelnen Codezeilen bereits beim Eintippen beschrieben.<sup>6</sup> Die Serie der Video-Tutorials verteilt sich über drei Titel, die jeweils bestimmte Kapitel dieses Buches begleiten:

1. *Deep Learning with TensorFlow LiveLessons:*<sup>7</sup>  
[Kapitel 1](#) und [Kapitel 5 bis 10](#)
2. *Deep Learning for Natural Language Processing LiveLessons:*<sup>8</sup>  
[Kapitel 2](#) und [11](#)
3. *Deep Reinforcement Learning and GANs LiveLessons:*<sup>9</sup>  
[Kapitel 3, 4, 12](#) und [13](#)

# Danksagungen

Wir danken dem Team bei *untapt*, vor allem Andrew Vlahutin, Sam Kenny und Vince Petaccio II, die uns unterstützten, während wir dieses Buch schrieben. Besonders erwähnen wollen wir Ed Donner, der neuronale Netze liebt und uns pausenlos ermutigte, unserer Leidenschaft auf dem Gebiet des Deep Learning zu folgen.

Außerdem danken wir den Mitgliedern der *Deep Learning Study Group*<sup>1</sup>, die regelmäßig unsere stimulierenden und lebhaften Treffen im New Yorker Büro von *untapt* besuchen. Da dieses Buch aufgrund der Diskussionen unserer Study Group entstand, kann man sich kaum vorstellen, wie es ohne diese Treffen zustande gekommen wäre.

Dank geht an unsere technischen Gutachter für ihre wertvollen Ratschläge, die den Inhalt des Buches deutlich verbessert haben: Alex Lipatov, Andrew Vlahutin, Claudia Perlich, Dmitri Nesterenko, Jason Baik, Laura Graesser, Michael Griffiths, Paul Dix und Wah Loon Keng. Danke auch an die Lektoren und Hersteller des Buches – Chris Zahn, Betsy Hardinger, Anna Popick und Julie Nahil –, deren Sorgfalt und Aufmerksamkeit die Qualität, Klarheit und Gestaltung dieses Buches sicherstellten. Dank an Jared Lander, der die New Yorker Open-Statistical-Programming-Gemeinschaft leitet, die sowohl unsere Deep Learning Study Group begründete als auch ein Treffen mit Debra

Williams Cauley in die Wege leitete. Ein besonderer Dank gilt Debra selbst, die unsere fantasievollen Publikationsideen von dem Tag an unterstützt hat, an dem wir sie kennenlernten, und die entscheidend an ihrer Umsetzung beteiligt war. Wir danken auch den Wissenschaftlern und Machine-Learning-Experten, die uns akademisch geleitet haben und uns weiterhin inspirieren, vor allem Jonathan Flint, Felix Agakov und Will Valdar.

Und schließlich geht ein unendlicher Dank an unsere Familien und Freunde, die nicht nur ertragen haben, dass wir auch im Urlaub und an den Wochenenden gearbeitet haben, sondern uns auch selbstlos motiviert haben, es zu tun.

# Inhaltsübersicht

## Teil I **Deep Learning vorgestellt**

---

- 1 Biologisches und maschinelles Sehen**
- 2 Menschen- und Maschinensprache**
- 3 Maschinenkunst**
- 4 Spielende Maschinen**

## Teil II **Die nötige Theorie**

---

- 5 Der (Code-)Karren vor dem (Theorie-)Pferd**
- 6 Künstliche Neuronen, die Hotdogs erkennen**
- 7 Künstliche neuronale Netze**
- 8 Deep Networks trainieren**
- 9 Deep Networks verbessern**

## Teil III **Interaktive Anwendungen des Deep Learning**

---

- 10 Maschinelles Sehen**
- 11 Natural Language Processing**
- 12 Generative Adversarial Networks**
- 13 Deep Reinforcement Learning**

## **Teil IV KI und Sie**

---

- 14 Mit Ihren eigenen Deep-Learning-Projekten beginnen**

## **Anhang**

---

- A Die formale Notation neuronaler Netze**
- B Backpropagation**
- C PyTorch**
- D Bildnachweise**

**Abbildungsverzeichnis**

**Tabellenverzeichnis**

**Beispielverzeichnis**

**Index**

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I **Deep Learning vorgestellt**

---

### **1 Biologisches und maschinelles Sehen**

#### **1.1 Das biologische Sehen**

#### **1.2 Maschinelles Sehen**

##### **1.2.1 Das Neocognitron**

##### **1.2.2 LeNet-5**

##### **1.2.3 Der traditionelle Machine-Learning-Ansatz**

##### **1.2.4 ImageNet und die ILSVRC**

##### **1.2.5 AlexNet**

#### **1.3 TensorFlow Playground**

#### **1.4 Quick, Draw!**

#### **1.5 Zusammenfassung**

### **2 Menschen- und Maschinensprache**

#### **2.1 Deep Learning für Natural Language Processing**

##### **2.1.1 Deep-Learning-Netze lernen Repräsentationen automatisch**

##### **2.1.2 Natural Language Processing**





- 5 Der (Code-)Karren vor dem (Theorie-)Pferd**
    - 5.1 Voraussetzungen**
    - 5.2 Installation**
    - 5.3 Ein flaches Netzwerk in Keras**
      - 5.3.1 Der MNIST-Datensatz handgeschriebener Ziffern**
      - 5.3.2 Ein schematisches Diagramm des Netzwerks**
      - 5.3.3 Die Daten laden**
      - 5.3.4 Die Daten umformatieren**
      - 5.3.5 Die Architektur eines neuronalen Netzes entwerfen**
      - 5.3.6 Trainieren eines Deep-Learning-Modells**
    - 5.4 Zusammenfassung**
  
  - 6 Künstliche Neuronen, die Hotdogs erkennen**
    - 6.1 Das Einmaleins der biologischen Neuroanatomie**
    - 6.2 Das Perzeptron**
      - 6.2.1 Der Hotdog/Nicht-Hotdog-Detektor**
      - 6.2.2 Die wichtigste Gleichung in diesem Buch**
    - 6.3 Moderne Neuronen und Aktivierungsfunktionen**
      - 6.3.1 Das Sigmoid-Neuron**
      - 6.3.2 Das Tanh-Neuron**
      - 6.3.3 ReLU: Rectified Linear Units**
    - 6.4 Ein Neuron auswählen**
    - 6.5 Zusammenfassung**
- Schlüsselkonzepte**

## **7 Künstliche neuronale Netze**

### **7.1 Die Eingabeschicht**

### **7.2 Vollständig verbundene Schichten**

### **7.3 Ein vollständig verbundenes Netzwerk zum Erkennen von Hotdogs**

#### **7.3.1 Forwardpropagation durch die erste verborgene Schicht**

#### **7.3.2 Forwardpropagation durch nachfolgende Schichten**

### **7.4 Die Softmax-Schicht eines Netzwerks zum Klassifizieren von Fastfood**

### **7.5 Zurück zu unserem flachen Netzwerk**

### **7.6 Zusammenfassung**

### **Schlüsselkonzepte**

## **8 Deep Networks trainieren**

### **8.1 Kostenfunktionen**

#### **8.1.1 Quadratische Kosten**

#### **8.1.2 Gesättigte Neuronen**

#### **8.1.3 Kreuzentropie-Kosten**

### **8.2 Optimierung: Lernen, um die Kosten zu minimieren**

#### **8.2.1 Der Gradientenabstieg**

#### **8.2.2 Die Lernrate**

#### **8.2.3 Batch-Größe und stochastischer Gradientenabstieg**

#### **8.2.4 Dem lokalen Minimum entkommen**

### **8.3 Backpropagation**

**8.4 Die Anzahl der verborgenen Schichten und der Neuronen anpassen**

**8.5 Ein mittleres Netz in Keras**

**8.6 Zusammenfassung**

**Schlüsselkonzepte**

**9 Deep Networks verbessern**

**9.1 Die Initialisierung der Gewichte**

**9.1.1 Xavier-Glorot-Verteilungen**

**9.2 Instabile Gradienten**

**9.2.1 Verschwindende Gradienten**

**9.2.2 Explodierende Gradienten**

**9.2.3 Batch-Normalisierung**

**9.3 Modellgeneralisierung (Überanpassung vermeiden)**

**9.3.1 L1- und L2-Regularisierung**

**9.3.2 Dropout**

**9.3.3 Datenaugmentation**

**9.4 Intelligente Optimierer**

**9.4.1 Momentum**

**9.4.2 Nesterov-Momentum**

**9.4.3 AdaGrad**

**9.4.4 AdaDelta und RMSProp**

**9.4.5 Adam**

**9.5 Ein tiefes neuronales Netz in Keras**

**9.6 Regression**

**9.7 TensorBoard**

**9.8 Zusammenfassung**

## **Schlüsselkonzepte**

### **Teil III Interaktive Anwendungen des Deep Learning**

---

#### **10 Maschinelles Sehen**

##### **10.1 Convolutional Neural Networks**

###### **10.1.1 Die zweidimensionale Struktur der visuellen Bilddarstellung**

###### **10.1.2 Berechnungskomplexität**

###### **10.1.3 Konvolutionsschichten**

###### **10.1.4 Mehrere Filter**

###### **10.1.5 Ein Beispiel für Konvolutionsschichten**

##### **10.2 Hyperparameter von Konvolutionsfiltern**

###### **10.2.1 Kernel-Größe**

###### **10.2.2 Schrittlänge**

###### **10.2.3 Padding**

##### **10.3 Pooling-Schichten**

##### **10.4 LeNet-5 in Keras**

##### **10.5 AlexNet und VGGNet in Keras**

##### **10.6 Residualnetzwerke**

###### **10.6.1 Schwindende Gradienten: Das Grauen der tiefen CNN**

###### **10.6.2 Residualverbindungen**

###### **10.6.3 ResNet**

##### **10.7 Anwendungen des maschinellen Sehens**

###### **10.7.1 Objekterkennung**

###### **10.7.2 Bildsegmentierung**

###### **10.7.3 Transfer-Lernen**