O'REILLY®

2. Auflage
Aktuell zu
TensorFlow 2

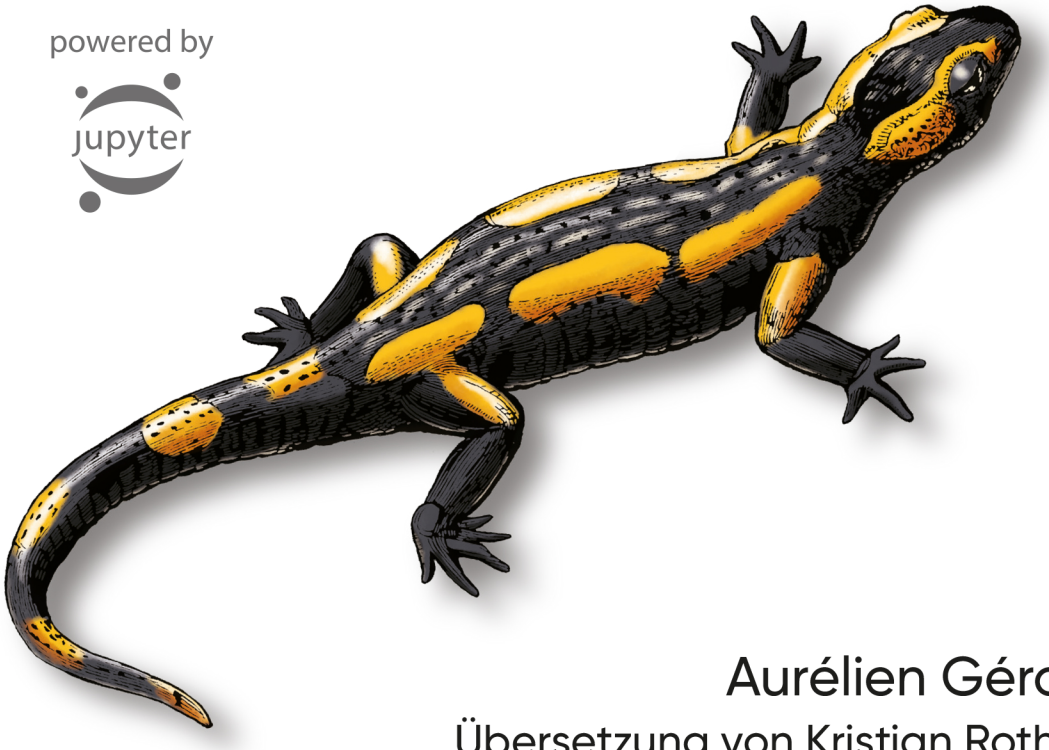
Praxiseinstieg Machine Learning

mit Scikit-Learn, Keras und TensorFlow

Konzepte, Tools und Techniken
für intelligente Systeme

powered by

jupyter



Aurélien Géron

Übersetzung von Kristian Rother
und Thomas Demmig

2. AUFLAGE

Praxiseinstieg Machine Learning mit Scikit-Learn, Keras und TensorFlow

Konzepte, Tools und Techniken für intelligente Systeme

Aurélien Géron

Deutsche Übersetzung von Kristian Rother & Thomas Demmig

O'REILLY®

Aurélien Géron

Lektorat: Alexandra Follenius
Übersetzung: Kristian Rother, Thomas Demmig
Korrektorat: Sibylle Feldmann, *www.richtiger-text.de*
Satz: III-satz, *www.drei-satz.de*
Herstellung: Stefanie Weidner
Umschlaggestaltung: Karen Montgomery, Michael Oréal, *www.oreal.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 978-3-96009-124-0
PDF 978-3-96010-339-4
ePub 978-3-96010-340-0
mobi 978-3-96010-341-7

2. Auflage

Wieblinger Weg 17
69123 Heidelberg

Authorized German translation of the English edition of *Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow, 2nd Edition*, ISBN 9781492032649 © 2019 Kiwisoft S.A.S. This translation is published and sold by permission of O'Reilly Media, Inc., which owns or controls all rights to publish and sell the same.

Dieses Buch erscheint in Kooperation mit O'Reilly Media, Inc. unter dem Imprint »O'REILLY«.
O'REILLY ist ein Markenzeichen und eine eingetragene Marke von O'Reilly Media, Inc. und wird mit Einwilligung des Eigentümers verwendet.

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: kommentar@oreilly.de.

5 4 3 2 1 0

Inhalt

Vorwort

Der Machine-Learning-Tsunami

Im Jahr 2006 erschien ein Artikel (*https://homl.info/136*) von Geoffrey Hinton et al.,[1] in dem vorgestellt wurde, wie sich ein neuronales Netz zum Erkennen handgeschriebener Ziffern mit ausgezeichneter Genauigkeit (> 98 %) trainieren lässt. Ein Deep Neural Network ist ein (sehr) vereinfachtes Modell unseres zerebralen Kortex, und es besteht aus einer Folge von Schichten mit künstlichen Neuronen. Die Autoren nannten diese Technik »Deep Learning«. Zu dieser Zeit wurde das Trainieren eines Deep-Learning-Netzes im Allgemeinen als unmöglich angesehen,[2] und die meisten Forscher hatten die Idee in den 1990ern aufgegeben. Dieser Artikel ließ das Interesse der wissenschaftlichen Gemeinde wieder aufleben, und schon nach kurzer Zeit zeigten weitere Artikel, dass Deep Learning nicht nur möglich war, sondern umwerfende Dinge vollbringen konnte, zu denen kein anderes Machine-Learning-(ML-)Verfahren auch nur annähernd in der Lage war (mithilfe enormer Rechenleistung und riesiger Datenmengen). Dieser Enthusiasmus breitete sich schnell auf weitere Teilgebiete des Machine Learning aus.

Zehn Jahre später hat Machine Learning ganze Industriezweige erobert: Es ist zu einem Herzstück heutiger Spitzentechnologien geworden und dient dem Ranking von Suchergebnissen im Web, kümmert sich um die Spracherkennung Ihres Smartphones, gibt Empfehlungen für Videos und schlägt den Weltmeister im Brettspiel Go. Über kurz oder lang wird ML vermutlich auch Ihr Auto steuern.

1 Geoffrey Hinton et al., »A Fast Learning Algorithm for Deep Belief Nets«, *Neural Computation* 18 (2006): 1527–1554.

2 Obwohl die Konvolutionsnetze von Yann Lecun bei der Bilderkennung seit den 1990ern gut funktioniert hatten, auch wenn sie nicht allgemein anwendbar waren.

Machine Learning in Ihren Projekten

Deshalb interessieren Sie sich natürlich auch für Machine Learning und möchten an der Party teilnehmen!

Womöglich möchten Sie Ihrem selbst gebauten Roboter einen eigenen Denkapparat geben? Ihn Gesichter erkennen lassen? Oder lernen lassen, herumzulaufen?

Oder vielleicht besitzt Ihr Unternehmen Unmengen an Daten (Logdateien, Finanzdaten, Produktionsdaten, Sensordaten, Hotline-Statistiken, Personalstatistiken und so weiter), und Sie könnten vermutlich einige verborgene Schätze heben, wenn Sie nur wüssten, wo Sie danach suchen müssten, beispielsweise:

- Kundensegmente finden und für jede Gruppe die beste Marketingstrategie entwickeln.
- Jedem Kunden anhand des Kaufverhaltens ähnlicher Kunden Produktempfehlungen geben.
- Betrügerische Transaktionen mit hoher Wahrscheinlichkeit erkennen.
- Den Unternehmensgewinn im nächsten Jahr vorhersagen.

Was immer der Grund ist, Sie haben beschlossen, Machine Learning zu erlernen und in Ihren Projekten umzusetzen. Eine ausgezeichnete Idee!

Ziel und Ansatz

Dieses Buch geht davon aus, dass Sie noch so gut wie nichts über Machine Learning wissen. Unser Ziel ist es, Ihnen die Grundbegriffe, ein Grundverständnis und die Werkzeuge an die Hand zu geben, mit denen Sie Programme zum *Lernen aus Daten* entwickeln können.

Wir werden eine Vielzahl von Techniken besprechen, von den einfachsten und am häufigsten eingesetzten (wie der linearen Regression) bis zu einigen Deep-Learning-Verfahren, die regelmäßig Wettbewerbe gewinnen.

Anstatt eigene Übungsversionen jedes Algorithmus zu entwickeln, werden wir dazu für den Produktionsbetrieb geschaffene Python-Frameworks verwenden:

- Scikit-Learn (*http://scikit-learn.org/*) ist sehr einfach zu verwenden, enthält aber effiziente Implementierungen vieler Machine-Learning-Algorithmen. Damit ist es ein großartiger Ausgangspunkt, um Machine Learning zu erlernen.
- TensorFlow (*http://tensorflow.org/*) ist eine komplexere Bibliothek für verteiltes Rechnen. Mit ihr können Sie sehr große neuronale Netze effizient trainieren und ausführen, indem Sie die Berechnungen auf bis zu Hunderte von Servern mit mehreren GPUs (*Graphics Processing Units*) verlagern. TensorFlow (TF) wurde von Google entwickelt und läuft in vielen großflächigen Machine-Learning-Anwendungen. Die Bibliothek wurde im November 2015 als Open Source veröffentlicht.

- Keras (*https://keras.io/*) ist eine High-Level-Deep-Learning-API, die das Trainieren und Ausführen neuronaler Netze sehr einfach macht. Sie kann auf TensorFlow, Theano oder Microsoft Cognitive Toolkit (früher bekannt als CNTK) aufsetzen. TensorFlow bringt seine eigene Implementierung dieser API namens *tf.keras* mit, die einige der fortgeschritteneren TensorFlow-Features unterstützt (zum Beispiel die Möglichkeit, Daten effizient zu laden).

Dieses Buch verfolgt einen praxisorientierten Ansatz, bei dem Sie ein intuitives Verständnis von Machine Learning entwickeln, indem Sie sich mit konkreten Beispielen und ein klein wenig Theorie beschäftigen. Auch wenn Sie dieses Buch lesen können, ohne Ihren Laptop in die Hand zu nehmen, empfehlen wir Ihnen, mit den als Jupyter-Notebooks unter *https://github.com/ageron/handson-ml2* verfügbaren Codebeispielen herumzuexperimentieren.

Voraussetzungen

Dieses Buch geht davon aus, dass Sie ein wenig Programmiererfahrung mit Python haben und dass Sie mit den wichtigsten wissenschaftlichen Bibliotheken in Python vertraut sind, insbesondere mit NumPy (*http://numpy.org/*), pandas (*http://pandas.pydata.org/*) und Matplotlib (*http://matplotlib.org/*).

Wenn Sie sich dafür interessieren, was hinter den Kulissen passiert, sollten Sie ein Grundverständnis von Oberstufenmathematik haben (Analysis, lineare Algebra, Wahrscheinlichkeiten und Statistik).

Sollten Sie Python noch nicht kennen, ist *http://learnpython.org/* ein ausgezeichneter Ausgangspunkt. Das offizielle Tutorial auf python.org (*https://docs.python.org/3/tutorial/*) ist ebenfalls recht gut.

Falls Sie Jupyter noch nie verwendet haben, führt Sie Kapitel 2 durch die Installation und die Grundlagen: Es ist ein leistungsfähiges Werkzeug in Ihrem Werkzeugkasten.

Und für den Fall, dass Sie mit den wissenschaftlichen Bibliotheken für Python nicht vertraut sind, beinhalten die mitgelieferten Jupyter-Notebooks einige Tutorials. Es gibt dort auch ein kurzes Mathematiktutorial über lineare Algebra.

Wegweiser durch dieses Buch

Dieses Buch ist in zwei Teile aufgeteilt. Teil I behandelt folgende Themen:

- Was ist Machine Learning? Welche Aufgaben lassen sich damit lösen? Welches sind die wichtigsten Kategorien und Grundbegriffe von Machine-Learning-Systemen?
- Die Schritte in einem typischen Machine-Learning-Projekt.
- Lernen durch Anpassen eines Modells an Daten.

- Optimieren einer Kostenfunktion.
- Bearbeiten, Säubern und Vorbereiten von Daten.
- Merkmale auswählen und entwickeln.
- Ein Modell auswählen und dessen Hyperparameter über Kreuzvalidierung optimieren.
- Die Herausforderungen beim Machine Learning, insbesondere Underfitting und Overfitting (das Gleichgewicht zwischen Bias und Varianz).
- Die verbreitetsten Lernalgorithmen: lineare und polynomielle Regression, logistische Regression, k-nächste Nachbarn, Support Vector Machines, Entscheidungsbäume, Random Forests und Ensemble-Methoden.
- Dimensionsreduktion der Trainingsdaten, um dem »Fluch der Dimensionalität« etwas entgegenzusetzen.
- Andere Techniken des unüberwachten Lernens, unter anderem Clustering, Dichteabschätzung und Anomalieerkennung.

Teil II widmet sich diesen Themen:

- Was sind neuronale Netze? Wofür sind sie geeignet?
- Erstellen und Trainieren neuronaler Netze mit TensorFlow und Keras.
- Die wichtigsten Architekturen neuronaler Netze: Feed-Forward-Netze für Tabellendaten, Convolutional Neural Networks zur Bilderkennung, rekurrente Netze und Long-Short-Term-Memory-(LSTM-)Netze zur Sequenzverarbeitung, Encoder/Decoder und Transformer für die Sprachverarbeitung, Autoencoder und Generative Adversarial Networks (GANs) zum generativen Lernen.
- Techniken zum Trainieren von Deep-Learning-Netzen.
- Wie man einen Agenten erstellt (zum Beispiel einen Bot in einem Spiel), der durch Versuch und Irrtum gute Strategien erlernt und dabei Reinforcement Learning einsetzt.
- Effizientes Laden und Vorverarbeiten großer Datenmengen.
- Trainieren und Deployen von TensorFlow-Modellen im großen Maßstab.

Der erste Teil baut vor allem auf Scikit-Learn auf, der zweite Teil verwendet TensorFlow.

Springen Sie nicht zu schnell ins tiefe Wasser: Auch wenn Deep Learning zweifelsohne eines der aufregendsten Teilgebiete des Machine Learning ist, sollten Sie zuerst Erfahrungen mit den Grundlagen sammeln. Außerdem lassen sich die meisten Aufgabenstellungen recht gut mit einfacheren Techniken wie Random Forests und Ensemble-Methoden lösen (die in Teil I besprochen werden). Deep Learning ist am besten für komplexe Aufgaben wie Bilderkennung, Spracherkennung und Sprachverarbeitung geeignet, vorausgesetzt, Sie haben genug Daten und Geduld.

Änderungen in der zweiten Auflage

Diese zweite Auflage hat sechs zentrale Ziele:

1. Die Behandlung zusätzlicher ML-Themen: weitere Techniken zum unüberwachten Lernen (unter anderem Clustering, Anomalieerkennung, Dichteabschätzung und Mischmodelle), zusätzliche Techniken zum Trainieren von Deep Networks (einschließlich sich selbst normalisierender Netze), weitere Techniken der Bilderkennung (unter anderem Xception, SENet, Objekterkennung mit YOLO und semantische Segmentierung mit R-CNN), das Verarbeiten von Sequenzen mit Convolutional Neural Networks (CNNs, einschließlich WaveNet), Verarbeitung natürlicher Sprache mit rekurrenten neuronalen Netzen (RNNs), CNNs und Transformers, GANs.
2. Zusätzliche Bibliotheken und APIs (Keras, die Data-API, TF-Agents für das Reinforcement Learning) sowie das Trainieren und Deployen von TF-Modellen im großen Maßstab mithilfe der Distribution Strategies API, TF Serving und Google Cloud AI Platform; zudem eine kurze Vorstellung von TF Transform, TFLite, TF Addons/Seq2Seq und TensorFlow.js.
3. Vorstellen einiger der neuesten Forschungsergebnisse aus dem Deep Learning.
4. Migrieren aller TensorFlow-Kapitel nach TensorFlow 2 und Verwenden der TensorFlow-Implementierung der Keras-API (tf.keras), wann immer das möglich ist.
5. Aktualisieren der Codebeispiele auf die neuesten Versionen von Scikit-Learn, NumPy, pandas, Matplotlib und anderer Bibliotheken.
6. Anpassen einiger Abschnitte zum besseren Verständnis und Beheben von Fehlern dank sehr vieler Rückmeldungen von Lesern.

Es wurden ein paar Kapitel hinzugefügt, andere wurden umgeschrieben, und ein paar wurden neu angeordnet. Unter *https://homl.info/changes2* finden Sie detailliertere Angaben darüber, was sich in der zweiten Auflage geändert hat.

Ressourcen im Netz

Es gibt viele ausgezeichnete Ressourcen, mit deren Hilfe sich Machine Learning erlernen lässt. Der ML-Kurs auf Coursera (*https://homl.info/ngcourse*) von Andrew Ng ist faszinierend, auch wenn er einen beträchtlichen Zeitaufwand bedeutet (in Monaten).

Darüber hinaus finden Sie viele interessante Webseiten über Machine Learning, darunter natürlich den ausgezeichneten User Guide (*https://homl.info/skdoc*) von Scikit-Learn. Auch Dataquest (*https://www.dataquest.io/*), das sehr ansprechende Tutorials und ML-Blogs bietet, sowie die auf Quora (*https://homl.info/1*) aufgeführ-

ten ML-Blogs könnten Ihnen gefallen. Schließlich sind auf der Deep-Learning-Website (*http://deeplearning.net/*) Ressourcen aufgezählt, mit denen Sie mehr lernen können.

Natürlich bieten auch viele andere Bücher eine Einführung in Machine Learning, insbesondere:

- Joel Grus, *Einführung in Data Science: Grundprinzipien der Datenanalyse mit Python (https://www.oreilly.de/buecher/13335/9783960091233-einf%C3%BChrung-in-data-science.html)* (O'Reilly). Dieses Buch stellt die Grundlagen von Machine Learning vor und implementiert die wichtigsten Algorithmen in reinem Python (von null auf).
- Stephen Marsland, *Machine Learning: An Algorithmic Perspective* (Chapman & Hall). Dieses Buch ist eine großartige Einführung in Machine Learning, die viele Themen ausführlich behandelt. Es enthält Codebeispiele in Python (ebenfalls von null auf, aber mit NumPy).
- Sebastian Raschka, *Machine Learning mit Python und Scikit-Learn und TensorFlow: Das umfassende Praxis-Handbuch für Data Science, Predictive Analytics und Deep Learning* (mitp Professional). Eine weitere ausgezeichnete Einführung in Machine Learning. Dieses Buch konzentriert sich auf Open-Source-Bibliotheken in Python (Pylearn 2 und Theano).
- François Chollet, *Deep Learning mit Python und Keras: Das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek* (mitp Professional). Ein sehr praxisnahes Buch, das klar und präzise viele Themen behandelt – wie Sie es vom Autor der ausgezeichneten Keras-Bibliothek erwarten können. Es zieht Codebeispiele der mathematischen Theorie vor.
- Andriy Burkov, *Machine Learning kompakt: Alles, was Sie wissen müssen* (mitp Professional). Dieses sehr kurze Buch behandelt ein beeindruckendes Themenspektrum gut verständlich, scheut dabei aber nicht vor mathematischen Gleichungen zurück.
- Yaser S. Abu-Mostafa, Malik Magdon-Ismail und Hsuan-Tien Lin, *Learning from Data* (AMLBook). Als eher theoretische Abhandlung von ML enthält dieses Buch sehr tiefgehende Erkenntnisse, insbesondere zum Gleichgewicht zwischen Bias und Varianz (siehe Kapitel 4).
- Stuart Russell and Peter Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd Edition* (Pearson). Dieses ausgezeichnete (und umfangreiche) Buch deckt eine unglaubliche Stoffmenge ab, darunter Machine Learning. Es hilft dabei, ML in einem breiteren Kontext zu betrachten.

Eine gute Möglichkeit zum Lernen sind schließlich Webseiten mit ML-Wettbewerben wie Kaggle.com (*https://www.kaggle.com/*). Dort können Sie Ihre Fähigkeiten an echten Aufgaben üben und Hilfe und Tipps von einigen der besten ML-Profis erhalten.

In diesem Buch verwendete Konventionen

Die folgenden typografischen Konventionen werden in diesem Buch verwendet:

Kursiv
: Kennzeichnet neue Begriffe, URLs, E-Mail-Adressen, Dateinamen und Dateiendungen.

`Konstante Zeichenbreite`
: Wird für Programmlistings und für Programmelemente in Textabschnitten wie Namen von Variablen und Funktionen, Datenbanken, Datentypen, Umgebungsvariablen, Anweisungen und Schlüsselwörter verwendet.

`Konstante Zeichenbreite, fett`
: Kennzeichnet Befehle oder anderen Text, den der Nutzer wörtlich eingeben sollte.

`Konstante Zeichenbreite, kursiv`
: Kennzeichnet Text, den der Nutzer je nach Kontext durch entsprechende Werte ersetzen sollte.

Dieses Symbol steht für einen Tipp oder eine Empfehlung.

Dieses Symbol steht für einen allgemeinen Hinweis.

Dieses Symbol steht für eine Warnung oder erhöhte Aufmerksamkeit.

Codebeispiele

Es gibt eine Reihe von Jupyter-Notebooks voll mit zusätzlichem Material, wie Codebeispielen und Übungen, die zum Herunterladen unter *https://github.com/ageron/handson-ml2* bereitstehen.

Einige der Codebeispiele im Buch lassen sich wiederholende Abschnitte oder Details weg, die offensichtlich sind oder nichts mit Machine Learning zu tun haben. Das sorgt dafür, dass Sie sich auf die wichtigen Teile des Codes konzentrieren können, und spart Platz, um mehr Themen unterzubringen. Wollen Sie sich die vollständigen Codebeispiele betrachten, finden Sie diese in den Jupyter-Notebooks.

Geben die Codebeispiele etwas aus, wird dies mit Python-Prompts (`>>>` und `...`) wie in einer Python-Shell dargestellt, um den Code deutlich von den Ausgaben trennen zu können. So definiert beispielsweise folgender Code die Funktion `square()`, rechnet dann damit und gibt das Quadrat von 3 aus:

```
>>> def square(x):
...     return x ** 2
...
>>> result = square(3)
>>> result
9
```

Gibt Code nichts aus, werden keine Prompts verwendet. Aber das Ergebnis wird manchmal als Kommentar angegeben, wie zum Beispiel hier:

```
def square(x):
    return x ** 2

result = square(3)  # Ergebnis ist 9
```

Verwenden von Codebeispielen

Dieses Buch ist dazu da, Ihnen beim Erledigen Ihrer Arbeit zu helfen. Im Allgemeinen dürfen Sie die Codebeispiele aus diesem Buch in Ihren eigenen Programmen und der dazugehörigen Dokumentation verwenden. Sie müssen uns dazu nicht um Erlaubnis fragen, solange Sie nicht einen beträchtlichen Teil des Codes reproduzieren. Beispielsweise benötigen Sie keine Erlaubnis, um ein Programm zu schreiben, in dem mehrere Codefragmente aus diesem Buch vorkommen. Wollen Sie dagegen eine CD-ROM mit Beispielen aus Büchern von O'Reilly verkaufen oder verteilen, benötigen Sie eine Erlaubnis. Eine Frage zu beantworten, indem Sie aus diesem Buch zitieren und ein Codebeispiel wiedergeben, benötigt keine Erlaubnis. Eine beträchtliche Menge Beispielcode aus diesem Buch in die Dokumentation Ihres Produkts aufzunehmen, bedarf hingegen einer Erlaubnis.

Wir freuen uns über Zitate, verlangen diese aber nicht. Ein Zitat enthält Titel, Autor, Verlag und ISBN. Beispiel: »*Praxiseinstieg Machine Learning mit Scikit-Learn, Keras und TensorFlow* von Aurélien Géron (O'Reilly). Copyright 2020, ISBN 978-3-96009-124-0.«

Wenn Sie glauben, dass Ihre Verwendung von Codebeispielen über die übliche Nutzung hinausgeht oder außerhalb der oben vorgestellten Nutzungsbedingungen liegt, kontaktieren Sie uns bitte unter *kommentar@oreilly.de*.

Danksagungen

In meinen wildesten Träumen hätte ich mir niemals vorgestellt, dass die erste Auflage dieses Buchs solch eine Verbreitung finden würde. Ich habe so viele Nachrich-

ten von Lesern erhalten – oft mit Fragen, manche mit freundlichen Hinweisen auf Fehler und die meisten mit ermutigenden Worten. Ich kann gar nicht sagen, wie dankbar ich all diesen Lesern für ihre Unterstützung bin. Vielen, vielen Dank! Scheuen Sie sich nicht, sich auf GitHub (*https://homl.info/issues2*) zu melden, wenn Sie Fehler in den Codebeispielen finden (oder einfach etwas fragen wollen) oder um auf Fehler im Text aufmerksam (*https://homl.info/errata2*) zu machen. Manche Leser haben mir auch geschrieben, wie dieses Buch ihnen dabei geholfen hat, ihren ersten Job zu bekommen oder ein konkretes Problem zu lösen, an dem sie gearbeitet haben. Ich finde ein solches Feedback unglaublich motivierend. Hat Ihnen dieses Buch geholfen, würde ich mich freuen, wenn Sie mir Ihre Geschichte erzählen würden – entweder privat (zum Beispiel über LinkedIn (*https://www.linkedin.com/in/aurelien-geron/*)) oder öffentlich (beispielsweise in einem Tweet oder über ein Amazon-Review (*https://homl.info/amazon2*)).

Ich bin all den fantastischen Menschen unglaublich dankbar, die in ihrem geschäftigen Leben die Zeit gefunden haben, mein Buch im Detail gegenzulesen. Insbesondere möchte ich François Chollet dafür danken, dass er alle Kapitel zu Keras und TensorFlow kontrolliert und mir großartiges und detailliertes Feedback gegeben hat. Da Keras eine meiner wichtigsten Ergänzungen dieser zweiten Auflage ist, war die Review durch den Autor unbezahlbar. Ich empfehle Ihnen François' Buch *Deep Learning mit Python und Keras: Das Praxis-Handbuch vom Entwickler der Keras-Bibliothek* (mitp Professional): Es bietet die Präzision, Klarheit und Tiefe, die auch die Keras-Bibliothek selbst besitzt. Besonderer Dank geht ebenfalls an Ankur Patel, der jedes Kapitel dieser zweiten Auflage begutachtet und mir ausgezeichnetes Feedback gegeben hat, insbesondere zu Kapitel 9, das sich um unüberwachtes Lernen dreht. Er könnte glatt ein ganzes Buch zu dem Thema schreiben ... Moment mal, das hat er ja! Schauen Sie sich mal *Praxisbuch Unsupervised Learning: Machine-Learning-Anwendungen für ungelabelte Daten mit Python programmieren* (*https://www.oreilly.de/buecher/13534/9783960091271-praxisbuch-unsupervised-learning.html*) (O'Reilly) an. Ein großes Dankeschön auch an Olzhas Akpambetov, der alle Kapitel im zweiten Teil des Buchs begutachtet, sehr viel Code getestet und viele großartige Verbesserungsvorschläge gemacht hat. Ich bin dankbar, dass Mark Daoust, Jon Krohn, Dominic Monn und Josh Patterson den zweiten Teil des Buchs so genau begutachtet und ihre Erfahrungen eingebracht haben. Sie ließen keinen Stein auf dem anderen und lieferten ausgezeichnete Hinweise.

Beim Schreiben dieser zweiten Auflage hatte ich das Glück, sehr viel Hilfe von Mitgliedern des TensorFlow-Teams zu bekommen, insbesondere von Martin Wicke, der unermüdlich Dutzende meiner Fragen beantwortet und den Rest an die richtigen Leute weitergeleitet hat, unter anderen an Karmel Allison, Paige Bailey, Eugene Brevdo, William Chargin, Daniel »Wolff« Dobson, Nick Felt, Bruce Fontaine, Goldie Gadde, Sandeep Gupta, Priya Gupta, Kevin Haas, Konstantinos Katsiapis, Viacheslav Kovalevskyi, Allen Lavoie, Clemens Mewald, Dan Moldovan, Sean Morgan, Tom O'Malley, Alexandre Passos, André Susano Pinto, Anthony Platanios, Oscar Ramirez, Anna Revinskaya, Saurabh Saxena, Ryan Sepassi, Jiri Simsa,

Xiaodan Song, Christina Sorokin, Dustin Tran, Todd Wang, Pete Warden (der auch die erste Auflage begutachtet hat), Edd Wilder-James und Yuefeng Zhou, die alle außerordentlich hilfreich waren. Ein großer Dank an euch alle und auch an alle anderen Mitglieder des TensorFlow-Teams – nicht nur für eure Hilfe, sondern auch dafür, dass ihr solch eine tolle Bibliothek geschaffen habt. Ein besonderer Dank geht an Irene Giannoumis und Robert Crowe vom TFCX-Team, die die Kapitel 13 und 19 im Detail durchgearbeitet haben.

Ich danke auch den fantastischen Menschen bei O'Reilly, insbesondere Nicole Taché für ihr aufschlussreiches, immer freundliches, ermutigendes und hilfreiches Feedback. Eine bessere Lektorin hätte ich mir nicht vorstellen können. Ein großer Dank geht an Michele Cronin, die zu Beginn dieser zweiten Auflage sehr hilfreich (und geduldig) war, und an Kristen Brown, Production Editor für die zweite Auflage, die sie auf allen Schritten begleitet hat (sie hat auch Korrekturen und Aktualisierungen jedes Nachdrucks der ersten Auflage koordiniert). Ich danke Rachel Monaghan und Amanda Kersey für ihr umfassendes Copyediting (der ersten bzw. zweiten Auflage) und Johnny O'Toole, der die Beziehung zu Amazon gemanagt und viele meiner Fragen beantwortet hat. Dank geht an Marie Beaugureau, Ben Lorica, Mike Loukides und Laurel Ruma dafür, dass sie an dieses Projekt geglaubt und mir geholfen haben, den Rahmen abzustecken. Ich danke Matt Hacker und dem gesamten Atlas-Team für das Beantworten aller meiner technischen Fragen zu Formatierung, AsciiDoc und LaTeX sowie Nick Adams, Rebecca Demarest, Rachel Head, Judith McConville, Helen Monroe, Karen Montgomery, Rachel Roumeliotis und allen bei O'Reilly, die zu diesem Buch beigetragen haben.

Ich möchte auch meinen früheren Kollegen bei Google danken, insbesondere dem Team zur Klassifikation von YouTube-Videos, von denen ich sehr viel über Machine Learning gelernt habe. Ohne sie hätte ich die erste Auflage niemals starten können. Besonderer Dank gebührt meinen persönlichen ML-Gurus: Clément Courbet, Julien Dubois, Mathias Kende, Daniel Kitachewsky, James Pack, Alexander Pak, Anosh Raj, Vitor Sessak, Wiktor Tomczak, Ingrid von Glehn und Rich Washington. Und danke an alle anderen, mit denen ich bei YouTube und in den großartigen Google-Forschungsteams in Mountain View zusammengearbeitet habe. Vielen Dank auch an Martin Andrews, Sam Witteveen und Jason Zaman, dass sie mich in ihre Google-Developer-Experts-Gruppe in Singapur aufgenommen haben – mit freundlicher Unterstützung durch Soonson Kwon – und für all die tollen Diskussionen über Deep Learning und TensorFlow. Jeder, der in Singapur an Deep Learning interessiert ist, sollte auf jeden Fall das Deep Learning Singapore Meetup (*https://homl.info/meetupsg*) besuchen. Jason verdient besonderen Dank für sein TFLite-Know-how, das in Kapitel 19 eingeflossen ist!

Nie werde ich all die netten Leute vergessen, die die erste Auflage dieses Buchs Korrektur gelesen haben, unter anderem David Andrzejewski, Lukas Biewald, Justin Francis, Vincent Guilbeau, Eddy Hung, Karim Matrah, Grégoire Mesnil, Salim Sémaoune, Iain Smears, Michel Tessier, Ingrid von Glehn, Pete Warden und natür-

lich mein lieber Bruder Sylvain. Ein besonderer Dank geht an Haesun Park, der mir sehr viel ausgezeichnetes Feedback gab und viele Fehler fand, während er die koreanische Übersetzung der ersten Auflage schrieb. Er hat auch die Jupyter-Notebooks ins Koreanische übersetzt, nicht zu vergessen die Dokumentation von TensorFlow. Ich spreche kein Koreanisch, aber in Anbetracht der Qualität seines Feedbacks müssen alle seine Übersetzungen wirklich ausgezeichnet sein. Darüber hinaus hat Haesun freundlicherweise ein paar der Lösungen zu den Übungen in dieser zweiten Auflage beigetragen.

Schließlich bin ich meiner geliebten Frau Emmanuelle und unseren drei wunderbaren Kindern Alexandre, Rémi und Gabrielle unendlich dafür dankbar, dass sie mich zur Arbeit an diesem Buch ermutigt haben. Auch danke ich ihnen für ihre unersättliche Neugier: Indem ich einige der schwierigsten Konzepte in diesem Buch meiner Frau und meinen Kindern erklärt habe, konnte ich meine Gedanken ordnen und viele Teile direkt verbessern. Und sie haben mir sogar Kekse und Kaffee vorbeigebracht. Was kann man sich noch mehr wünschen?

TEIL I

Die Grundlagen des Machine Learning