



Auf einen Blick

Einleitung	17
Teil I: Einführung ins Maschinelle Lernen	23
Kapitel 1: Die Welt der KI.....	25
Kapitel 2: Ein kleiner Mathe-Exkurs.....	29
Kapitel 3: Python-Grundlagen.....	55
Kapitel 4: Das Wichtigste: die Daten.....	69
Teil II: Grundlegende Optimierungs- und Lernalgorithmen...	83
Kapitel 5: Einfach besser werden.....	85
Kapitel 6: Natürlich – künstliche Evolution.....	97
Kapitel 7: Clustering.....	115
Kapitel 8: Klassifikation.....	123
Kapitel 9: Regression.....	145
Teil III: Neuronale Netze	153
Kapitel 10: Und was ist mit neuronalen Netzen?.....	155
Kapitel 11: Tiefe Netze.....	193
Kapitel 12: Generative Netze.....	219
Kapitel 13: Rückgekoppelte Netze.....	237
Kapitel 14: Neuronale Netze erklärbar.....	259
Teil IV: Verstärkendes Lernen	271
Kapitel 15: Reinforcement Learning.....	273
Kapitel 16: Reinforcement Learning kombiniert.....	289
Kapitel 17: Ein kleiner Blick in die Zukunft.....	305
Teil V: Der Top-Ten-Teil	313
Kapitel 18: Zehn Tipps, damit es funktioniert.....	315
Kapitel 19: Zehn Kategorien für die Anwendung.....	319
Literaturverzeichnis	327
Abbildungsverzeichnis	329
Stichwortverzeichnis	337







Inhaltsverzeichnis

Einleitung	17
Über dieses Buch	17
Wie Sie dieses Buch verwenden	18
Törichte Annahmen über die Leser	18
Wie dieses Buch aufgebaut ist	18
Teil I: Einführung ins maschinelle Lernen	19
Teil II: Optimierung	19
Teil III: Neuronale Netze	19
Teil IV: Verstärkendes Lernen	19
Teil V: Der Top-Ten-Teil	20
Symbole, die in diesem Buch verwendet werden	20
Über das Buch hinaus	20
Wie geht es weiter?	21
TEIL I	
EINFÜHRUNG INS MASCHINELLE LERNEN	23
Kapitel 1	
Die Welt der KI	25
Was ist eigentlich maschinelles Lernen	25
Lernen im Kontext des maschinellen Lernens	27
Kapitel 2	
Ein kleiner Mathe-Exkurs	29
Vektoren und Matrizen	29
Eigenwerte und Eigenvektoren	32
Singularwertzerlegung	35
Analysis	38
Ableitung	38
Jacobimatrix	42
Taylorreihe	43
Statistische Größen	45
Mittelwert und Erwartungswert	46
Varianz und Standardabweichung	46
Kovarianz und Korrelation	46
Das Bayes'sche Theorem	48
Über Fixpunkte, Oszillatoren und Chaos	49
Kapitel 3	
Python-Grundlagen	55
Was wir noch brauchen	55
Grundlagen	56
If-Bedingungen	57





12 Inhaltsverzeichnis

Schleifen.....	57
Unterprogramme.....	58
Listen und Tupel.....	58
NumPy für Vektoren und Matrizen.....	59
Matplotlib für Graphen.....	63
PyGame zur Visualisierung.....	64
Tensorflow Keras für neuronale Netze.....	65
Scikit-learn für maschinelles Lernen.....	67

Kapitel 4

Das Wichtigste: die Daten.....	69
Daten sammeln und aufbereiten.....	69
Daten normalisieren.....	70
One-Hot-Encodierung.....	72
Zusätzliche Daten erzeugen.....	72
Auswertung und Visualisierung.....	74
Konfusionsmatrix.....	74
Metriken.....	77
Auswahl von Merkmalen.....	79
Heatmap.....	80

TEIL II

GRUNDLEGENDE OPTIMIERUNGS- UND LERNALGORITHMEN 83

Kapitel 5

Einfach besser werden.....	85
Immer bergauf – Hill Climbing.....	85
Abkühlung schadet nicht – Simulated Annealing.....	89
Fluch der Dimensionen.....	93
Fluch Teil 1: Ist das überhaupt ein Optimum?.....	93
Fluch Teil 2: Ist der Raum ausreichend aufgelöst?.....	94
Fluch Teil 3: Was ist mit den Abständen?.....	95

Kapitel 6

Natürlich – künstliche Evolution.....	97
Aus der Biologie lernen.....	97
Fortpflanzung.....	97
Vom Genotyp zum Phänotyp.....	99
Genetische Algorithmen.....	99
Mutation.....	100
Rekombination und Crossing-over.....	101
Evaluation.....	103
Die Selektion.....	103
Selektionsstrategien.....	105
Evolutionäre Strategien.....	108
Der (1+1)-ES-Algorithmus.....	109
CMA-ES.....	112

Inhaltsverzeichnis 13

Kapitel 7	
Clustering	115
k-Means-Algorithmus	115
Hierarchisches Clustering.....	117
DBSCAN.....	119
Kapitel 8	
Klassifikation	123
k-Nearest Neighbor.....	123
Support Vector Machines.....	128
Der Kernel-Trick.....	132
Entscheidungsbäume.....	134
Random Forest.....	140
Multinomial-Naive-Bayes-Klassifikator.....	141
Kapitel 9	
Regression	145
Lineare Regression.....	145
Lasso-Regression	147
Ridge-Regression.....	148
Polynomiale Regression.....	149
TEIL III	
NEURONALE NETZE	153
Kapitel 10	
Und was ist mit neuronalen Netzen?	155
Ein kleiner Exkurs: Das biologische Vorbild.....	155
Das biologische Neuron.....	156
Aufbau	156
Lernen in biologischen Neuronen.....	157
Künstliche Neuronen und was sie können.....	158
Die Transferfunktion	161
Aus Fehlern lernen.....	164
Der Fehler fließt durchs Netz.....	168
Backpropagation	168
Warum ist die Handbremse angezogen?.....	171
Die Kreuzentropie als Verlustfunktion.....	179
Training und Test.....	180
Und was ist mit Überanpassung?.....	184
Visualisierung	188
Hinton-Diagramm.....	188
t-SNE (Dimensionsreduktion).....	190



14 Inhaltsverzeichnis

Kapitel 11

Tiefe Netze	193
Von Restricted Boltzman Machines zu Deep Belief Networks	193
Restricted Boltzmann Machines	193
Deep Belief Networks	195
Autoencoder	196
Faltungsnetzwerke (CNN)	198
Layer-Normalisierung	205
Transferlernen	206
Natürliche Sprachverarbeitung	206
Bag-of-Words	207
TF-IDF	207
Wie man Wörter zu Vektoren macht	208
Transformer	210
Der Encoder	211
Der Decoder	212

Kapitel 12

Generative Netze	219
Generative Adversarial Networks	219
Generator	219
Diskriminator	220
Variational Autoencoder	225
Diffusionsmodelle	230
Funktionsweise	231
Denoising mit U-Net	231

Kapitel 13

Rückgekoppelte Netze	237
Hopfield	237
Echo-State-Netze	242
Rückgekoppelte Netze und Eigenwerte	246
LSTM	247
GRU	252
Dualität: Ausgabe- und Gewichtsraum	252
Verfahren zur Transformation	253
Die Methode der kleinsten Fehlerquadrate	255

Kapitel 14

Neuronale Netze erklärbar	259
Den Durchblick behalten	259
Den Durchblick bekommen	260
LIME	261
Shapley-Werte	266



TEIL IV	
VERSTÄRKENDES LERNEN	271
Kapitel 15	
Reinforcement Learning	273
Q-Learning	273
Ziel des Agenten	273
Implementierung	276
Herausforderungen	280
SARSA	280
Deterministisches Q-Learning	281
Experience Replay	282
Lernen mit Modell	287
Kapitel 16	
Reinforcement Learning kombiniert	289
Neuronales Q-Learning – eine Implementierung	290
Deep Reinforcement Learning	293
AlphaGo Zero	294
Monte-Carlo-Methoden	295
Monte Carlo Search	295
Monte Carlo Tree Search	302
AlphaGo Zero – das Zusammenspiel	303
Kapitel 17	
Ein kleiner Blick in die Zukunft	305
Intrinsische Motivation	305
Abstraktion	306
Träumen	307
Bewusstsein	307
AGI – Chancen und Risiken	310
TEIL V	
DER TOP-TEN-TEIL	313
Kapitel 18	
Zehn Tipps, damit es funktioniert	315
Den lernenden Teil vom Problem trennen	315
Zeitliche Reihenfolge beachten	315
Zahl der nötigen Durchläufe abschätzen	316
Initialisierung beachten	316
Parameter optimieren	316
Daten visualisieren	316
Leichten Spezialfall durchspielen	318
Problem vereinfachen	318
Vielfach erprobte Bibliotheken nutzen	318
Nicht aufgeben	318



16 Inhaltsverzeichnis

Kapitel 19

Zehn Kategorien für die Anwendung.....	319
Parameter optimieren	319
Daten klassifizieren	320
Daten gruppieren.....	320
Daten ergänzen	321
Daten rekonstruieren.....	322
Daten vorhersagen.....	322
Anomalien erkennen	323
Empfehlungen aussprechen.....	323
Daten in weniger Dimensionen darstellen	324
Entscheidungen fällen	325
Literaturverzeichnis.....	327
Abbildungsverzeichnis.....	329
Stichwortverzeichnis.....	337

