

1 Einführung	1
1.1 Was ist maschinelles Lernen	1
1.2 Überwachtes Lernen	2
1.2.1 Klassifikation und Regression	3
1.2.2 Generalisierung, Überanpassung und Unteranpassung	4
1.3 Unüberwachtes Lernen	5
1.4 Bestärkendes Lernen	5
1.5 Teilüberwachtes Lernen	6
1.6 Herausforderungen des maschinellen Lernens	7
1.6.1 Unzureichende Menge an Trainingsdaten	7
1.6.2 Nicht repräsentative Trainingsdaten	8
1.6.3 Daten von schlechter Qualität	9
1.6.4 Irrelevante Merkmale	9
1.6.5 Explainable Artificial Intelligence	10
1.7 Bewertung und Vergleich von Algorithmen	11
1.7.1 Kreuzvalidierung	12
1.7.2 Messfehler	13
1.7.3 Intervallschätzung	15
1.7.4 Hypothesenprüfung	15
1.8 Werkzeuge und Ressourcen	16
1.8.1 Installation von Python mit Anaconda	16
1.8.2 Entwicklungsumgebungen	17
1.8.3 Python-Bibliotheken	18
1.8.4 Grundlagen in Python	19
2 Lineare Algebra	25
2.1 Skalare, Vektoren und Matrizen	25
2.1.1 Operationen mit Skalaren und Vektoren	27
2.1.2 Operationen mit Vektoren und Matrizen	29
2.1.3 Die Inverse einer Matrix	30
2.2 Lineare Gleichungssysteme	31
2.2.1 Gauß-Algorithmus	31
2.2.2 Numerische Lösungsmethoden linearer Gleichungssysteme	32

3	Wahrscheinlichkeit und Statistik	35
3.1	Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeit	35
3.2	Zufallsgrößen und Verteilungsfunktionen	37
3.3	Momente einer Verteilung	38
3.3.1	Erwartungswert und Streuung	39
3.3.2	Schiefe und Exzess	40
3.4	Bedingte Wahrscheinlichkeiten	41
3.5	Deskriptive Statistik	42
3.6	Einfache statistische Tests	44
3.6.1	Ablauf eines statistischen Tests	45
3.6.2	Parametertests bei normalverteilter Grundgesamtheit	46
3.6.3	Mittelwerttest	46
3.6.4	χ^2 -Streuungstest	47
4	Optimierung	49
4.1	Grundlagen der Optimierung	49
4.1.1	Univariate Optimierung	50
4.1.2	Bivariate Optimierung	50
4.1.3	Multivariate Optimierung	51
4.2	Gradient Descent	52
4.2.1	Momentum-Based Learning	54
4.2.2	AdaGrad	55
4.2.3	Adam	57
4.3	Newton-Methode	59
5	Parametrische Methoden	61
5.1	Regressionsanalyse	61
5.1.1	Lineare Regression	62
5.1.2	Logistische Regression	66
5.2	Lineare Support Vector Machines	71
5.2.1	Die optimale Trennebene	72
5.2.2	Soft-Margin	75
5.2.3	Kernfunktionen	76
5.3	Der Bayes'sche Schätzer	77
5.3.1	Stochastische Unabhängigkeit	81
5.3.2	Bayes'sche Netze	82
5.4	Neuronale Netze	84
5.4.1	Das künstliche Neuron	84
5.4.2	Mehrschichtige neuronale Netze	85
5.4.3	Lernvorgang	87
5.5	Deep Learning	96
5.5.1	Convolutional Neural Networks	97
5.5.2	Rekurrent Neural Networks	100
5.5.3	Generative Modelle	102

6 Nichtparametrische Methoden	103
6.1 Nichtparametrische Dichteschätzung	103
6.1.1 Histogrammschätzer	104
6.1.2 Kernschätzer	105
6.1.3 k -Nächste-Nachbarn-Schätzer	106
6.2 Entscheidungsbäume	109
6.2.1 Univariate Bäume	111
6.2.2 Multivariate Bäume	118
6.2.3 Pruning	119
6.2.4 Random Forest	120
7 Bestärkendes Lernen	123
7.1 Was ist bestärkendes Lernen?	123
7.1.1 Belohnung	124
7.1.2 Der Agent	125
7.1.3 Die Umgebung	127
7.1.4 Aktionen	129
7.1.5 Beobachtungen	131
7.2 Theoretische Grundlagen	132
7.2.1 Markov-Entscheidungsprozesse	132
7.2.2 Markov-Prozess	133
7.2.3 Markov-Belohnungsprozess	133
7.2.4 Policy	134
7.3 Wertebasierte Verfahren	135
7.3.1 Grundlagen der Wertefunktion und der Bellman-Gleichung	135
7.3.2 Q-Learning	136
7.3.3 SARSA	137
7.3.4 Deep Q-Networks (DQN)	138
7.4 Policy-basierte Verfahren	139
7.4.1 Policy Gradient	139
7.4.2 Actor-Critic-Verfahren	141
7.4.3 Soft Actor-Critic (SAC)	143
8 Clusteranalyse	147
8.1 k -Means-Clustermethode	147
8.2 Hierarchische Clustermethode	150
8.3 Gauß'sche Mischmodelle	152
9 Anwendungen	155
9.1 Regelungstechnik	155
9.1.1 Systemidentifikation	156
9.1.2 Neuronaler Regler	164
9.1.3 Regelung eines inversen Pendels	170
9.2 Bildverarbeitung	177
9.2.1 Klassifikation von Zahlen	177

9.2.2	Segmentierung von Bruchflächen	181
9.2.3	Objekterkennung mit Vision Transformers	188
9.2.4	Künstliche Generierung von Bildern	196
9.2.5	Interpretierbarkeit von Vision-Modellen mit Grad-CAM	201
9.3	Chemie	205
9.3.1	Klassifizierung von Wein	205
9.3.2	Vorhersage von Eigenschaften organischer Moleküle	207
9.4	Physik	210
9.4.1	Statistische Versuchsplanung optimieren	211
9.4.2	Vorhersage von RANS-Strömungen	212
9.5	Generierung von Text	220
9.5.1	Textgenerierung mit einem Miniatur-GPT	221
9.5.2	Englisch-Spanisch-Übersetzung mit TensorFlow	231
9.6	Audiodatenverarbeitung	244
9.6.1	Automatische Spracherkennung mit CTC	244
9.6.2	Klassifizierung von Sprechern mit FFT	251
Literatur		259
Stichwortverzeichnis		261