

Einführung	9
1 Wie neuronale Netze arbeiten	15
Leicht für mich – schwer für dich	15
Eine einfache Vorhersagemaschine	17
Klassifizieren unterscheidet sich nicht sehr vom Vorhersagen	22
Einen einfachen Klassifizierer trainieren	28
Manchmal ist ein Klassifizierer nicht genug	38
Neuronen – die Rechenmaschinen der Natur	44
Signalen durch ein neuronales Netz folgen	53
Matrizenmultiplikation ist nützlich – ehrlich!	58
Beispiel: Ein dreischichtiges Netz mit Matrizenmultiplikation	65
Gewichte von mehr als einem Knoten lernen	73
Fehler von mehreren Ausgabeknoten zurückführen	75
Fehler auf mehrere Schichten zurückführen	77
Backpropagierung von Fehlern mit Matrizenmultiplikation	81
Wie aktualisieren wir eigentlich die Gewichte?	84
Gewichtsaktualisierung am konkreten Beispiel	102
Die Daten vorbereiten	103
Eingaben	103
Ausgaben	104
Zufällige Anfangswerte	105
2 Do it yourself mit Python	109
Python	109
Interaktives Python = IPython	110
Ein sehr sanfter Start mit Python	111
Notebooks	111
Einfaches Python	112

Arbeiten automatisieren	114
Kommentare	117
Funktionen	117
Arrays	120
Arrays grafisch darstellen	124
Objekte	125
Neuronales Netz mit Python	132
Der Gerüstcode	132
Das Netz initialisieren	133
Gewichte – das Herz des Netzes	135
Optional: differenzierte Initialisierung der Gewichte	137
Das Netz abfragen	137
Der aktuelle Stand des Codes	140
Das Netz trainieren	142
Der vollständige Code für das neuronale Netz	145
Die MNIST-Datenbank mit handgeschriebenen Ziffern	147
Die MNIST-Trainingsdaten vorbereiten	154
Das Netz testen	161
Mit sämtlichen Datensätzen trainieren und testen	165
Verbesserungen: Optimieren der Lernrate	166
Verbesserungen: Mehrere Läufe	168
Die Gestalt des Netzes ändern	171
Gute Arbeit!	173
Der endgültige Code	173
3 Just for fun: Das neuronale Netz tunen	177
Ihre eigene Handschrift	177
Das Gedächtnis eines neuronalen Netzes	180
Geheimnisvolle Blackbox	180
Rückwärtsabfrage	181
Die Kennung »0«	182
Weitere Hirnscans	183
Neue Trainingsdaten erzeugen: Drehungen	185
4 Neuronale Netze mit PyTorch	189
PyTorch	189
Colab-Notebooks	190
Die MNIST-Daten hochladen	191
Ein Blick auf die Daten	192
Entwurf neuronaler Netze	195
Unser neuronales Netz definieren	196
Unser neuronales Netz trainieren	200

Das Training visualisieren	201
Die Klasse für das MNIST-Datenset	202
Den Klassifizierer trainieren	205
Unser neuronales Netz abfragen	207
Performance einfacher Klassifizierer	209
Verfeinerungen	210
Verlustfunktion	210
Aktivierungsfunktion	212
Optimierungsmethode	215
Normalisierung	216
Kombinierte Verfeinerungen	218
Epilog	221
Anhang: Eine leicht verständliche Einführung in die Analysis	223
Eine Gerade	224
Eine schräg verlaufende Gerade	226
Eine gekrümmte Kurve	228
Analysis per Hand	230
Analysis nicht per Hand	232
Analysis, ohne Graphen zu zeichnen	235
Muster	238
Funktionen von Funktionen	240
Sie können Analysis betreiben!	243
Index	245