

# Inhalt

Materialien zum Buch .....	16
Vorwort zur zweiten Auflage .....	17

## **1      Einleitung** 19

---

<b>1.1</b>	<b>Worum es uns in diesem Buch geht .....</b>	<b>20</b>
<b>1.2</b>	<b>Für wen wir dieses Buch geschrieben haben .....</b>	<b>21</b>
<b>1.3</b>	<b>Aufbau der einzelnen Kapitel .....</b>	<b>22</b>
<b>1.4</b>	<b>Ein Wort an die Programmierunkundigen .....</b>	<b>22</b>
<b>1.5</b>	<b>Beispielprogramme und die Webseite zum Buch .....</b>	<b>23</b>
<b>1.6</b>	<b>Warum wir JavaScript und p5.js verwendet haben .....</b>	<b>25</b>
<b>1.7</b>	<b>Begriffliche Abgrenzung und Fachbegriffe .....</b>	<b>26</b>
<b>1.8</b>	<b>Inhalte, Themen, Kapitel .....</b>	<b>27</b>
<b>1.9</b>	<b>Dank .....</b>	<b>30</b>

## **2      Texte bauen mit Markow** 31

---

<b>2.1</b>	<b>Das Beispielprogramm Nonsense-Texter .....</b>	<b>35</b>
<b>2.2</b>	<b>Der Code des Nonsense-Texters unter der Lupe .....</b>	<b>37</b>
2.2.1	Die Komponenten des Markow-Objekts .....	38
2.2.2	Übergänge lernen .....	38
2.2.3	Nonsense-Texte produzieren .....	40
<b>2.3</b>	<b>Das Beispielprogramm Wörter vorschlagen .....</b>	<b>43</b>
2.3.1	Die Komponenten des Markow-Objekts .....	43
2.3.2	Übergänge und Häufigkeiten lernen .....	44
<b>2.4</b>	<b>Wörter vorschlagen .....</b>	<b>47</b>
<b>2.5</b>	<b>Gewichteter Zufall .....</b>	<b>48</b>
<b>2.6</b>	<b>Ideen zum Weitermachen .....</b>	<b>50</b>
<b>2.7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>51</b>

## **3 Schreibfehler automatisch korrigieren** 53

---

<b>3.1</b>	<b>Das Beispielprogramm Wortvergleich .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2</b>	<b>Die Matrix befüllen .....</b>	<b>57</b>
3.2.1	Die Füllung der oberen Zeile und der linken Spalte .....	57
3.2.2	Die Füllung der verbleibenden Zellen .....	58
3.2.3	Die drei Schritte unter der Lupe .....	62
<b>3.3</b>	<b>Die Umsetzung im Beispielprogramm .....</b>	<b>62</b>
3.3.1	Das Levenshtein-Objekt .....	62
3.3.2	Die Funktion matrix() .....	63
<b>3.4</b>	<b>Das Beispielprogramm Korrekturvorschläge .....</b>	<b>65</b>
<b>3.5</b>	<b>Ideen zum Weitermachen .....</b>	<b>67</b>
<b>3.6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>68</b>

## **4 Wörter gruppieren** 69

---

<b>4.1</b>	<b>Items und Transaktionen .....</b>	<b>71</b>
<b>4.2</b>	<b>Kenngrößen der Assoziationsanalyse .....</b>	<b>72</b>
4.2.1	Support .....	72
4.2.2	Confidence .....	73
4.2.3	Lift .....	74
<b>4.3</b>	<b>Ein Beispiel von Hand gerechnet .....</b>	<b>76</b>
<b>4.4</b>	<b>Das Beispielprogramm Begriffsnetz .....</b>	<b>79</b>
4.4.1	Die Datenquelle .....	81
4.4.2	Beschränkung der Anwendung auf Item-Paare .....	81
<b>4.5</b>	<b>Eine Tour durch den Code .....</b>	<b>82</b>
4.5.1	Die Klasse Begriffsnetz .....	82
4.5.2	Enkodierung der Transaktionen .....	83
4.5.3	Befüllung der Arrays für Support .....	85
4.5.4	Befüllung der Arrays für Confidence und Lift .....	87
4.5.5	Die Funktion assoziationen() .....	87
<b>4.6</b>	<b>Ideen zum Weitermachen .....</b>	<b>88</b>

<b>4.7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>90</b>
4.7.1	Der Apriori-Algorithmus .....	90
4.7.2	Transaktionstabellen .....	90
4.7.3	Eine Übersicht aller Fachbegriffe aus diesem Kapitel .....	91

## **5 Spiele für eine Person lösen** 93

---

<b>5.1</b>	<b>Das Spiel Fruchtkräsch .....</b>	<b>93</b>
<b>5.2</b>	<b>Wie findet die KI den besten Zug? .....</b>	<b>95</b>
<b>5.3</b>	<b>Eine vielseitig einsetzbare Spiel-KI .....</b>	<b>98</b>
<b>5.4</b>	<b>Die Klasse Spielzustand .....</b>	<b>99</b>
5.4.1	Züge liefern modifizierte Spielzustände .....	100
5.4.2	Die möglichen Züge .....	100
5.4.3	Die Bewertung eines Spielzustands .....	100
5.4.4	Ein Gedächtnis für Züge .....	101
5.4.5	Die Schnittstelle im Überblick .....	101
<b>5.5</b>	<b>Die Klasse KI .....</b>	<b>102</b>
5.5.1	Alle Folgezustände eines Spielzustands berechnen .....	102
5.5.2	Alle Spielverläufe per Warteschlangenverfahren berechnen .....	103
5.5.3	Die Spielzustände nach Bewertung sortieren .....	106
5.5.4	Die Funktion besterZug() .....	106
5.5.5	Die Funktionen des KI-Objekts im Überblick .....	107
<b>5.6</b>	<b>Ideen zum Weitermachen .....</b>	<b>107</b>
<b>5.7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>108</b>

## **6 Spiele für zwei Personen gewinnen** 109

---

<b>6.1</b>	<b>Das Spiel Reversi .....</b>	<b>110</b>
<b>6.2</b>	<b>Das Beispielprogramm Reversi KI .....</b>	<b>111</b>
<b>6.3</b>	<b>Der Minimax-Algorithmus .....</b>	<b>112</b>
6.3.1	Anwendungsgebiete und Grenzen des Minimax-Algorithmus .....	114

<b>6.4</b>	<b>Tiefensuche und Rekursion</b> .....	115
6.4.1	Breitensuche und Tiefensuche .....	116
6.4.2	Die Paradoxie der Rekursion .....	117
6.4.3	Verzweigte Rekursion .....	121
<b>6.5</b>	<b>Die Klasse Spielzustand</b> .....	123
6.5.1	Die Bewertungsfunktion .....	123
6.5.2	Die Schnittstelle im Überblick .....	125
<b>6.6</b>	<b>Die Klasse KI</b> .....	126
<b>6.7</b>	<b>Beschleunigung mit Alpha-Beta-Pruning</b> .....	130
<b>6.8</b>	<b>Ideen zum Weitermachen</b> .....	131
<b>6.9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	132

## **7 Q-Learning** 133

---

<b>7.1</b>	<b>Das Eichhörnchen und das Nussversteck</b> .....	134
<b>7.2</b>	<b>Umwelt, Agent, Aktion und Belohnung</b> .....	139
7.2.1	Das Verhältnis von Agent und Umwelt .....	140
<b>7.3</b>	<b>Die Q-Tabelle</b> .....	141
7.3.1	Q steht für Qualität .....	142
<b>7.4</b>	<b>Das Beispielprogramm Q-Lerner</b> .....	142
<b>7.5</b>	<b>Die Q-Tabelle befüllen</b> .....	147
7.5.1	Warum funktioniert das? .....	149
<b>7.6</b>	<b>Der Code unter der Lupe</b> .....	150
7.6.1	Die Umwelt .....	150
7.6.2	Der Q-Lerner .....	151
<b>7.7</b>	<b>Gamma bestimmt die Weitsicht</b> .....	152
<b>7.8</b>	<b>Epsilon: Erforschung oder Anwendung</b> .....	154
<b>7.9</b>	<b>Ein zweiter Blick auf den Code</b> .....	156
<b>7.10</b>	<b>Alpha</b> .....	158
<b>7.11</b>	<b>Was wir weggelassen haben</b> .....	159
7.11.1	Komplexere Umwelten .....	160
7.11.2	Kosten für Aktionen .....	160

7.11.3	Belohnungen mit Zustands-Aktions-Paaren verknüpfen .....	160
7.11.4	Mehrere Belohnungszustände .....	160
<b>7.12</b>	<b>Ideen zum Weitermachen .....</b>	<b>161</b>
7.12.1	OpenAI Gym .....	162
7.12.2	Das Buch von Sutton und Barto .....	163
<b>7.13</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>163</b>
7.13.1	Menschliches Lernen vs. Q-Learning .....	163
7.13.2	Die Grenzen des Verfahrens .....	164

## **8 K-nächste-Nachbarn** 167

---

<b>8.1</b>	<b>Häschen, Igel, Vogelspinne oder Hai? .....</b>	<b>168</b>
<b>8.2</b>	<b>Das Beispielprogramm Tiere erkennen .....</b>	<b>169</b>
<b>8.3</b>	<b>Entfernungen bestimmen mit Pythagoras .....</b>	<b>172</b>
<b>8.4</b>	<b>Der Code im Detail .....</b>	<b>175</b>
<b>8.5</b>	<b>Ideen zum Weitermachen .....</b>	<b>178</b>
<b>8.6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>179</b>

## **9 K-means-Clustering** 181

---

<b>9.1</b>	<b>Clusterbildung in Aktion .....</b>	<b>183</b>
9.1.1	Mittelwert, Zentrum, Schwerpunkt .....	183
9.1.2	Die Schrittfolge des k-means-Clustering-Algorithmus .....	185
<b>9.2</b>	<b>Das Beispielprogramm Wetterdaten gruppieren .....</b>	<b>186</b>
<b>9.3</b>	<b>Der Code .....</b>	<b>188</b>
9.3.1	Zentren zufällig setzen .....	189
9.3.2	Datenpunkte zuordnen .....	189
9.3.3	Zentren neu berechnen .....	190
<b>9.4</b>	<b>Grenzen des Verfahrens .....</b>	<b>191</b>
9.4.1	Unsinnige Gruppierungen .....	191
9.4.2	Zu viele Dimensionen .....	192
9.4.3	Linear nicht trennbare Datenpunktmengen .....	194

<b>9.5</b>	<b>Ideen zum Weitermachen .....</b>	<b>195</b>
<b>9.6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>195</b>

## **10 Neuronale Netze I: Das Häschenproblem** 197

---

<b>10.1</b>	<b>Bilderkennung: ein klassisches Problem .....</b>	<b>198</b>
<b>10.2</b>	<b>Was ist ein Modell? .....</b>	<b>199</b>
<b>10.3</b>	<b>Der Aufbau eines neuronalen Netzes .....</b>	<b>201</b>
<b>10.4</b>	<b>Das Häschenneuron und seine Kollegen .....</b>	<b>204</b>
10.4.1	Die biologische Nervenzelle als Vorbild .....	205
10.4.2	Das künstliche Neuron .....	207
10.4.3	b steht für Bias .....	208
10.4.4	Die Aktivierungsfunktion .....	208
<b>10.5</b>	<b>Das Beispielprogramm Tiere erkennen II .....</b>	<b>209</b>
<b>10.6</b>	<b>Der Code .....</b>	<b>211</b>
<b>10.7</b>	<b>Ideen zum Weitermachen .....</b>	<b>211</b>
<b>10.8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>212</b>

## **11 Neuronale Netze II: Auf dem Weg ins Tal** 213

---

<b>11.1</b>	<b>Das überwachte Lernen .....</b>	<b>214</b>
<b>11.2</b>	<b>Die schrittweise Justierung des Modells .....</b>	<b>216</b>
11.2.1	Die grundlegende Idee .....	217
11.2.2	Steigung .....	218
11.2.3	Tangente .....	219
11.2.4	Ableitung .....	219
11.2.5	Der Gradientenabstieg .....	220
11.2.6	Die Lernrate .....	222
<b>11.3</b>	<b>Das Beispielprogramm Gradientenabstieg .....</b>	<b>223</b>
<b>11.4</b>	<b>Der Code .....</b>	<b>225</b>
<b>11.5</b>	<b>Tipps zum Weitermachen .....</b>	<b>226</b>
<b>11.6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>226</b>

12

Neuronale Netze III: Fehler zurückverfolgen mit dem Neuronentrainer

229

---

12.1

Was ist Backpropagation?

230

12.2

Das Beispielprogramm Neuronentrainer

231

12.2.1

Aufgaben und Netzarchitekturen

232

12.2.2

Ein Wiedersehen mit dem Häschenproblem

235

12.2.3

Lineare Trennbarkeit

236

12.3

Validierungsdaten, Überanpassung, Generatoren

237

12.3.1

Validierungsdaten und Überanpassung

238

12.3.2

Generatoren

239

12.4

Weitere Beispielaufgaben

240

12.4.1

Kreis und Hintergrund

240

12.4.2

Quadrat und Hintergrund

241

12.4.3

Farbtunnel sieben Farben

242

12.5

Die Anzahlen der verdeckten Schichten und der Neuronen

244

12.5.1

Viel hilft viel?

244

12.6

Was wir weggelassen haben

245

12.6.1

Dynamisierung der Lernrate

245

12.6.2

Batch und Epoche

245

12.6.3

Verlustfunktionen und Softmax

245

12.7

Ideen zum Weitermachen

246

12.8

Zusammenfassung und Ausblick

248

13

Neuronale Netze IV: Faltungsnetze, Autoencoder, GANs und DQL

249

---

13.1

Faltungsnetze

249

13.1.1

Das Beispielprogramm Filterlabor I

250

13.1.2

Der Filterkernel in Aktion

251

13.1.3

Padding und Striding

253

13.1.4

Das Beispielprogramm Filterlabor II

254

13.1.5

Eine Filterkombination, die den Buchstaben K erkennt

255

13.1.6

Die Struktur eines Faltungsnetzes

256

13.1.7

Faltungsnetze trainieren

257

<b>13.2</b>	<b>Modelle, die Bilder erzeugen</b>	258
<b>13.3</b>	<b>Autoencoder</b>	260
13.3.1	Dimensionsreduktion	260
13.3.2	Daten ausdenken	261
<b>13.4</b>	<b>Generative Adversarial Networks</b>	261
<b>13.5</b>	<b>Deep Q-Learning</b>	264
13.5.1	Wie kommt die Umwelt ins Modell?	265
<b>13.6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	265

---

## 14 Transformer verstehen 267

---

<b>14.1</b>	<b>Ein Sprachmodell von außen betrachtet</b>	267
14.1.1	Unterschiede zum Markow-Prozess	268
<b>14.2</b>	<b>Wörter in Zahlen codieren für Fortgeschrittene</b>	269
<b>14.3</b>	<b>Worteinbettungen</b>	270
14.3.1	Relationen übertragen	274
<b>14.4</b>	<b>Das Beispielprogramm Wort-Navigator</b>	276
14.4.1	Textquelle I: Dünstende Köchinnen und frittierende Konditoren	276
14.4.2	Die Bedienoberfläche	277
14.4.3	Relationen übertragen im Wort-Navigator	279
<b>14.5</b>	<b>Vom Text zur Worteinbettung</b>	282
14.5.1	One Hot Encoding	283
14.5.2	Paare aus Ziel- und Kontextwörtern	284
14.5.3	Das Training	286
14.5.4	Vom Training zur Worteinbettung	287
14.5.5	Warum funktioniert das?	288
14.5.6	Kosinus-Ähnlichkeit	289
<b>14.6</b>	<b>Vom Wort zum Satz zum Text: Sequenzeinbettungen</b>	290
<b>14.7</b>	<b>Das Beispielprogramm Sequenz-Navigator</b>	292
14.7.1	Textquelle II: Ein Tag im Leben von Kati Katzenstein	292
14.7.2	Die Bedienoberfläche	294
14.7.3	Relationen zwischen Sequenzen	296



- 14.8 Transformer am Horizont** ..... 297
  - 14.8.1 Ein verbesserter Markow-Prozess ..... 297
  - 14.8.2 Und täglich grüßt Frau Katzenstein ..... 298
  - 14.8.3 Positional Encodings ..... 299
  - 14.8.4 Gewichtungen ..... 299
  - 14.8.5 Sprache ist Kontext ..... 299
  - 14.8.6 Aufmerksamkeit ..... 300
- 14.9 Zusammenfassung und Ausblick** ..... 301
  - 14.9.1 Was wir ausgelassen haben ..... 301
  - 14.9.2 Unterschiede zu ausgewachsenen Transformern ..... 302
  - 14.9.3 Das erstaunliche Abstraktionsvermögen von Transformern ..... 303
- 14.10 Ideen zum Weitermachen** ..... 304

**Nachwort: Auf der Suche nach Trurls Elektrobarden** 305

---

**Anhang** 313

---

- A Eine kurze Einführung in JavaScript und p5.js** ..... 315
- B Glossar** ..... 359
- C Quellen und weiterführende Literatur** ..... 369
- D Abbildungsverzeichnis** ..... 373
- 
- Index** ..... 377