

<b>Vorwort</b> .....	<b>XI</b>
----------------------	-----------

---

## Teil I Einführung ins Generative Deep Learning

<b>1 Generative Modellierung</b> .....	<b>3</b>
Was ist generative Modellierung? .....	3
Vergleich der generativen und diskriminativen Modellierung .....	4
Fortschritte im maschinellen Lernen .....	6
Der Vormarsch der generativen Modellierung .....	7
Das generative Modellierungskonzept .....	10
Wahrscheinlichkeitsbasierte generative Modelle .....	12
Hallo Wrodl! .....	15
Ihr erstes wahrscheinlichkeitsbasiertes generatives Modell .....	16
Das naive Bayes-Modell .....	19
Hallo Wrodl! – Fortsetzung .....	22
Die Herausforderungen der generativen Modellierung .....	23
Representation Learning .....	25
Einrichten Ihrer Arbeitsumgebung .....	28
Zusammenfassung .....	31
<b>2 Deep Learning</b> .....	<b>33</b>
Strukturierte und unstrukturierte Daten .....	33
Tiefe neuronale Netzwerke .....	35
Keras und TensorFlow .....	36
Ihr erstes tiefes neuronales Netzwerk .....	37
Einlesen der Daten .....	37
Erstellen des Modells .....	39
Kompilierung des Modells .....	43

Trainieren des Modells . . . . .	45
Bewertung des Modells . . . . .	46
Verbesserung des Modells . . . . .	48
Konvolutionsschichten . . . . .	49
Batch-Normalisierung . . . . .	54
Drop-out-Schichten . . . . .	56
Zusammenführen aller Teilelemente . . . . .	58
Zusammenfassung . . . . .	61
<b>3 Variational Autoencoder . . . . .</b>	<b>63</b>
Die Kunstaustellung . . . . .	63
Autoencoder . . . . .	66
Ihr erster Autoencoder . . . . .	67
Der Encoder . . . . .	68
Der Decoder . . . . .	69
Verbinden von Encoder und Decoder . . . . .	72
Analyse des Autoencoders . . . . .	73
Die »Variationale« Kunstaustellung . . . . .	76
Erstellen eines Variational Autoencoders . . . . .	78
Der Encoder . . . . .	78
Die Verlustfunktion . . . . .	84
Analyse des Variational Autoencoders . . . . .	85
Erzeugen von Gesichtern mithilfe von VAEs . . . . .	86
Trainieren des VAE . . . . .	87
Analyse des VAE . . . . .	89
Erzeugen neuer Gesichter . . . . .	90
Arithmetik im latenten Raum . . . . .	91
Verschmelzen von Gesichtern . . . . .	93
Zusammenfassung . . . . .	94
<b>4 Generative Adversarial Networks . . . . .</b>	<b>95</b>
Ganimals . . . . .	95
Einführung in GANs . . . . .	97
Ihr erstes GAN . . . . .	98
Der Diskriminator . . . . .	99
Der Generator . . . . .	101
Trainieren des GAN . . . . .	104
GAN-Herausforderungen . . . . .	109
Oszillierender Verlust . . . . .	109
Mode-Collapse . . . . .	110
Uninformativer Verlust . . . . .	111

Hyperparameter .....	111
Bewältigung der GAN-Herausforderungen .....	111
Wasserstein-GAN .....	111
Wasserstein-Verlust .....	112
Die Lipschitz-Bedingung .....	114
Gewichte beschränken .....	115
Training des WGAN .....	115
Analyse des WGAN .....	116
WGAN-GP .....	117
Der Gradient-Penalty-Verlust .....	118
Analyse des WGAN-GP .....	121
Zusammenfassung .....	122

---

## Teil II   **Maschinen das Malen, Schreiben, Komponieren und Spielen beibringen**

<b>5 Malen .....</b>	<b>127</b>
Äpfel und Orangen .....	128
CycleGAN .....	130
Ihr erstes CycleGAN .....	132
Überblick .....	132
Die Generatoren (U-Net) .....	133
Die Diskriminatoren .....	137
Kompilieren des CycleGAN .....	138
Trainieren des CycleGAN .....	140
Analyse des CycleGAN .....	141
Erstellen eines CycleGAN, das wie Monet malt .....	143
Die Generatoren (ResNet) .....	144
Analyse des CycleGAN .....	145
Neuronaler Stiltransfer .....	147
Inhaltsverlust .....	148
Stilverlust .....	150
Gesamt-Varianz-Verlust .....	153
Ausführen des neuronalen Stiltransfers .....	154
Analyse des neuronalen Stiltransfer-Modells .....	155
Zusammenfassung .....	156
<b>6 Schreiben .....</b>	<b>157</b>
Die literarische Gesellschaft für lästige Bösewichte e. V. ....	158
Long-Short-Term-Memory-Netzwerk .....	159

Ihr erstes LSTM-Netzwerk . . . . .	160
Tokenisierung . . . . .	160
Erstellen des Datensatzes . . . . .	163
Die Architektur des LSTM-Netzwerks . . . . .	164
Die Embedding-Schicht . . . . .	164
Die LSTM-Schicht . . . . .	166
Die Zelle eines LSTM-Netzwerks . . . . .	167
Einen neuen Text erzeugen . . . . .	170
Erweiterungen von RNNs . . . . .	174
Hintereinandergeschaltete rekurrente Netzwerke . . . . .	174
Gated Recurrent Units . . . . .	174
Bidirektionale Zellen . . . . .	177
Encoder-Decoder-Modelle . . . . .	178
Ein Frage-Antwort-Generator . . . . .	180
Ein Frage-Antwort-Datensatz . . . . .	181
Die Modellarchitektur . . . . .	182
Inferenz . . . . .	186
Modellergebnisse . . . . .	187
Zusammenfassung . . . . .	189
<b>7 Komponieren . . . . .</b>	<b>191</b>
Vorabklärungen . . . . .	192
Musiknotation . . . . .	192
Ihr erstes Musik erzeugendes RNN . . . . .	195
Der Aufmerksamkeitsmechanismus . . . . .	196
Erstellen eines Aufmerksamkeitsmechanismus in Keras . . . . .	198
Analyse des RNN mit Aufmerksamkeitsmechanismus . . . . .	203
Aufmerksamkeit in Encoder-Decoder-Netzwerken . . . . .	207
Erzeugen mehrstimmiger Musiktitel . . . . .	210
Das »Musikorgan« . . . . .	211
Ihr erstes MuseGAN . . . . .	212
Der Generator des MuseGAN . . . . .	215
Akkorde, Stil, Melodie und Groove . . . . .	216
Der Taktgenerator . . . . .	218
Zusammenführen aller Elemente . . . . .	219
Der Kritiker . . . . .	221
Analyse des MuseGAN . . . . .	222
Zusammenfassung . . . . .	224
<b>8 Spielen . . . . .</b>	<b>227</b>
Reinforcement Learning . . . . .	228
OpenAI Gym . . . . .	229

Architektur von World Models . . . . .	231
Der Variational Autoencoder . . . . .	232
Das MDN-RNN . . . . .	232
Der Controller. . . . .	233
Setup . . . . .	234
Überblick über den Trainingsprozess . . . . .	234
Sammeln zufälliger Roll-out-Daten . . . . .	235
Trainieren des VAE . . . . .	238
Die Architektur des VAE. . . . .	239
Untersuchung des VAE. . . . .	239
Sammeln von Daten zum Trainieren des RNN . . . . .	243
Trainieren des MDN-RNN . . . . .	244
Die Architektur des MDN-RNN. . . . .	245
Ziehen des nächsten $z$ und der Belohnung aus dem MDN-RNN. . . . .	246
Die MDN-RNN-Verlustfunktion . . . . .	247
Trainieren des Controllers. . . . .	249
Die Architektur des Controllers . . . . .	249
CMA-ES . . . . .	250
Parallelisierung von CMA-ES . . . . .	252
Ausgabe des Controller-Trainings . . . . .	254
In-Traum-Training . . . . .	255
In-Traum-Training des Controllers . . . . .	257
Herausforderungen des In-Traum-Trainings . . . . .	258
Zusammenfassung. . . . .	259
<b>9 Die Zukunft der generativen Modellierung . . . . .</b>	<b>261</b>
Fünf Jahre Fortschritt . . . . .	261
Der Transformer . . . . .	263
Positionscodierung . . . . .	264
Mehrköpfige Aufmerksamkeit . . . . .	266
Der Decoder . . . . .	268
Analyse des Transformers. . . . .	268
BERT. . . . .	270
GPT-2 . . . . .	270
MuseNet. . . . .	272
Fortschritte bei der Bilderzeugung. . . . .	272
ProGAN . . . . .	272
GAN mit Selbstaufmerksamkeitsmechanismus (SAGAN) . . . . .	274
BigGAN. . . . .	275
StyleGAN . . . . .	276

Anwendungen der generativen Modellierung. ....	279
Durch KI geschaffene Kunst. ....	280
Durch KI geschaffene Musik. ....	281
<b>10 Schlussbemerkung</b> .....	<b>283</b>
<b>Index</b> .....	<b>287</b>