

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
----------	-------------------	----------

## Teil I Grundlagen der Linguistik und Phonetik

<b>2</b>	<b>Sprachproduktion</b>	<b>9</b>
2.1	Wörter, Silben und Sprachlaute	9
2.1.1	Konzepte und semantische Netzwerke	9
2.1.2	Mentales Lexikon und mentaler Silbenspeicher	11
2.1.3	Mentaler Silbenspeicher und phonologische Bewusstheit	14
2.2	Die Artikulation	18
2.2.1	Motorische Ablaufpläne und Sprechbewegungseinheiten	18
2.2.2	Artikulatorische Kompensation	22
2.2.3	Artikulatorische Merkmale unterschiedlicher Lautklassen	24
2.3	Das akustische Sprachsignal	29
2.3.1	Phonation	30
2.3.2	Formanten	36
2.3.3	Formantransitionen und sekundäre Schallquellen	40
2.4	Störungen der Sprachproduktion	46
	Literatur	49
<b>3</b>	<b>Sprachwahrnehmung</b>	<b>51</b>
3.1	Verarbeitungsstufen	51
3.1.1	Auditive Lautmerkmale	52
3.1.2	Phonologische Analyse	59
3.1.3	Sprachverstehen: Erkennen von Wörtern und ihrer Bedeutung	61
3.1.4	Aktive vs. passive Theorien der Sprachwahrnehmung	62
3.2	Invarianz und Variabilität des Sprachsignals	64
3.2.1	Unterschiedliche Sprecher	64
3.2.2	Unterschiedliches Sprechtempo	66
3.2.3	Was ist nun invariant bei gesprochener Sprache?	68

3.3	Interaktion von Sprachproduktion und Sprachwahrnehmung . . . . .	69
3.3.1	Das Ziel ist immer die Kommunikation. . . . .	70
3.3.2	Auditive Kontrolle von Sprechbewegungseinheiten . . . . .	70
3.3.3	Somatosensorische Kontrolle von Sprechbewegungseinheiten . . . . .	72
3.4	Störungen der Sprachwahrnehmung . . . . .	73
	Literatur. . . . .	74
<b>4</b>	<b>Spracherwerb . . . . .</b>	<b>75</b>
4.1	Phasen des Spracherwerbs . . . . .	76
4.1.1	Babbeln . . . . .	76
4.1.2	Imitieren. . . . .	77
4.1.3	Aufbau des mentalen Lexikons . . . . .	80
4.1.4	Grammatikerwerb: die Produktion und das Verstehen ganzer Sätze . . . . .	82
4.2	Mechanismen des Spracherwerbs . . . . .	83
4.2.1	Zur Untrennbarkeit von Sprachproduktion, Sprachwahrnehmung und Spracherwerb . . . . .	83
4.2.2	Arten des Lernens . . . . .	84
4.3	Störungen des Spracherwerbs . . . . .	87
	Literatur. . . . .	88

## **Teil II Grundlagen der Neurobiologie und ihrer Computersimulation**

<b>5</b>	<b>Anatomischer Aufbau und funktionale Struktur des Nervensystems . . . . .</b>	<b>91</b>
5.1	Zur funktionalen Struktur des Nervensystems. . . . .	92
5.1.1	Arten von Neuronen im zentralen und peripheren Nervensystem. . . . .	92
5.1.2	Neuronale Netzwerke. . . . .	98
5.1.3	Exzitatorische und inhibitorische synaptische Verbindungen . . . . .	98
5.2	Das Gehirn . . . . .	101
5.2.1	Anatomischer Aufbau des Gehirns . . . . .	101
5.2.2	Die Großhirnrinde . . . . .	102
5.2.3	Der Balken . . . . .	110
5.2.4	Basalganglien und Thalamus . . . . .	111
5.2.5	Das limbische System . . . . .	115
5.2.6	Das Kleinhirn. . . . .	116
5.3	Die afferenten Nervenbahnen: die sensorischen Bahnen. . . . .	117
5.3.1	Die auditive Bahn. . . . .	118
5.3.2	Die visuelle Bahn. . . . .	120
5.3.3	Die somatosensorische Bahn . . . . .	121
5.4	Die efferente Nervenbahn: die motorische Bahn. . . . .	123
5.4.1	Die pyramidale Bahn . . . . .	123
5.4.2	Die extrapyramidale Bahn . . . . .	124

5.5	Ein erstes Modell der Sprachverarbeitung und des Spracherwerbs. . . . .	125
5.5.1	Sprachproduktion und Sprachwahrnehmung: die sensorische und motorische Ebene . . . . .	126
5.5.2	Lexikalische Verarbeitung und Satzgenerierung . . . . .	128
5.5.3	Neuronale Lernmechanismen im Spracherwerb . . . . .	132
	Literatur. . . . .	138
<b>6</b>	<b>Neuronale Modellierung: der STAA-Ansatz</b> . . . . .	<b>139</b>
6.1	Knoten: die STAA-Neuronensembles . . . . .	141
6.1.1	Aktivierungslevel, Aktivierungsfunktion und synaptisches Verbindungsgewicht. . . . .	141
6.1.2	Reizintensität und Aktivierungslevel bei Rezeptorneuronen. . . . .	143
6.1.3	Aktivierungslevel und Grad der Muskelkontraktion bei Motoneuronen . . . . .	144
6.2	Konnektionismus: einfache neuronale Netze im STAA-Ansatz . . . . .	146
6.2.1	Zwei- und Drei-Buffer-Netzwerke. . . . .	146
6.2.2	Überwachtes Lernen in einfachen gerichteten Netzwerken. . . . .	150
6.3	Kohonen-Netzwerke: sich selbst organisierende Buffer . . . . .	154
6.3.1	Zur Architektur von Kohonen-Netzwerken . . . . .	154
6.3.2	Nicht überwachtes Lernen und sich selbst organisierende Buffer. . .	157
6.3.3	Ein Beispiel: das Erlernen von phonetischen Vokalkategorien . . . .	159
	Literatur. . . . .	163
<b>7</b>	<b>Neuronale Modellierung: der NEF-Ansatz.</b> . . . .	<b>165</b>
7.1	Einführung in NEF. . . . .	166
7.1.1	LIF-Neuronen im NEF. . . . .	166
7.1.2	Neuronensembles. . . . .	167
7.1.3	Einfache neuronale Transformationen. . . . .	170
7.1.4	Rekurrente Neuronensembles: Kurzzeitspeicherung und Oszillation. . . . .	174
7.2	S-Pointer und S-Pointer-Architektur (SPA). . . . .	177
7.2.1	S-Pointer . . . . .	177
7.2.2	S-Pointer-Architektur (SPA) . . . . .	180
7.2.3	Die Assoziation von S-Pointern: assoziative Speicher. . . . .	188
7.2.4	Binden, inverses Binden und addieren von S-Pointern . . . . .	190
7.3	Zur Ablaufsteuerung neuronaler Prozesse . . . . .	193
7.3.1	Beispiel: Wortproduktion aufgrund visueller und auditiver Initiierung. . . . .	193
7.3.2	Die neuronale Realisierung der Ablaufsteuerung . . . . .	200
7.3.3	Sequenzierung motorischer Ereignisse . . . . .	204
7.4	S-Pointer-Netzwerke . . . . .	207
7.4.1	Semantisches Netzwerk. . . . .	208

7.4.2	Phonologisches Netzwerk .....	209
7.4.3	Berechnung von Ähnlichkeiten von S-Pointern in S-Pointer-Netzwerken .....	212
7.4.4	Koaktivierungen von S-Pointen in gleichen und unterschiedlichen SPA-Buffern .....	212
7.4.5	Beantwortung von Fragen (inverses Binden) in S-Pointer-Netzwerken .....	215
7.4.6	Autoassoziative Speicher und Clean-up-Prozesse .....	217
7.5	Modellierung gestörter neuronaler Prozesse .....	222
7.5.1	Verspäteter Erwerb sprachlicher Fertigkeiten .....	222
7.5.2	Fehlerhaftes Lernen .....	222
7.5.3	Funktionsuntüchtige Neuronen in kortikalen Bereichen .....	223
7.5.4	Abgestorbene kortikale Bereiche .....	223
7.5.5	Untypische Konzentration an Neurotransmittern in den Basalganglien .....	223
	Literatur .....	224

### **Teil III Modelle der Sprachverarbeitung und des Spracherwerbs**

<b>8</b>	<b>Eine Literatúrauswahl an Modellen .....</b>	<b>227</b>
8.1	Datengetriebene Modelle .....	228
8.1.1	Mentales Lexikon und mentaler Silbenspeicher: Levelt .....	228
8.1.2	Aktivierung von Motorplänen und ihre Ausführung: Riecker et al. ....	229
8.1.3	Sensomotorische Steuerung: Price et al. ....	229
8.1.4	Sprachwahrnehmung: Hickok und Poeppel .....	231
8.2	Simulationsmodelle .....	233
8.2.1	Mentales Lexikon: Dell .....	233
8.2.2	Mentales Lexikon und Silbenspeicher: Roelofs .....	234
8.2.3	Sensomotorische Steuerung: Guenther .....	234
8.2.4	Sprachwahrnehmung: McClelland und Elman .....	235
8.2.5	Spracherwerb: Li .....	235
8.2.6	Frühe Phasen des Spracherwerbs: Warlaumont .....	235
8.2.7	Artikulation und Perzeption: Bekolay .....	236
8.3	Perspektiven biologisch basierter Modelle in der Sprachtechnologie .....	237
8.3.1	Sprachsynthese .....	237
8.3.2	Spracherkennung .....	237
	Literatur .....	238
<b>9</b>	<b>Das LS-Modell (Lexikon-Silbenspeicher-Modell) .....</b>	<b>241</b>
9.1	Das LS1-Modell .....	242
9.1.1	Aufbau des Modells .....	242

9.1.2	Simulation des Spracherwerbs. . . . .	244
9.1.3	Simulation der Sprachproduktion und Sprachwahrnehmung . . . . .	252
9.2	Das LS2-Modell als Ausgangspunkt für weitere Arbeiten . . . . .	253
9.3	Das artikulatorisch-akustische Modell: Ansteuerung und Feedback. . . . .	254
9.3.1	Die Ansteuerung: Feedforwardkontrollparameter . . . . .	254
9.3.2	Auditive und somatosensorische Feedbackinformation . . . . .	259
9.3.3	Von Motorplänen zu primärmotorischen Aktivierungen im LS2-Modell. . . . .	260
9.4	Ausblick. . . . .	263
	Literatur. . . . .	264
<b>10</b>	<b>Glossar . . . . .</b>	<b>267</b>
	<b>Stichwortverzeichnis. . . . .</b>	<b>279</b>