

Henning Reetz

Artikulatorische
und akustische Phonetik

Henning Reetz

**Artikulatorische
und akustische Phonetik**

 Wissenschaftlicher Verlag Trier

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Reetz, Henning:

Artikulatorische und akustische Phonetik /

Henning Reetz. -

2., verbesserte Auflage

Trier : WVT Wissenschaftlicher Verlag Trier, 2003

ISBN 3-88476-617-1

Umschlaggraphik: Regine Eckardt

Umschlaggestaltung: Brigitta Disseldorf

© WVT Wissenschaftlicher Verlag Trier, 2003

ISBN 3-88476-617-1

Alle Rechte vorbehalten

Nachdruck oder Vervielfältigung nur mit
ausdrücklicher Genehmigung des Verlags

WVT Wissenschaftlicher Verlag Trier

Bergstraße 27, 54295 Trier

Postfach 4005, 54230 Trier

Tel.: (0651) 41503 / 9943344, Fax: 41504

Internet: <http://www.wvttrier.de>

e-mail: wvt@wvttrier.de

Vorwort

Dieses Buch ist nicht von mir alleine angefertigt worden. Die Freihandzeichnungen stammen von Regine Eckardt, und ich wäre froh, eine vergleichbare ästhetische Qualität bei den technischen Zeichnungen liefern zu können. Außerdem sehen ihre Graphiken im Original wesentlich besser aus, als in der hier vorliegenden eingescannten, manipulierten und gedruckten Version. Dorothee Frick, Regina Tödter und Michael Wagner haben den Text Korrektur gelesen, und nachdem ihre zahlreichen Anmerkungen und Kommentare eingearbeitet wurden, habe ich umgehend größere Passagen verändert, um so einer Vielzahl von Fehlern erneut die Existenz zu ermöglichen. Besonders wichtig war die Unterstützung durch Prof. Aditi Lahiri, ohne die dieses Buch nie zustande gekommen wäre, und die Diskussionen mit meiner Kollegin Jennifer Fitzpatrick-Cole haben ebenfalls zum Gesamtbild beigetragen. Ungenannt sind dagegen die zahlreichen Studierenden, deren hartnäckiges Fragen oder auch Unverständnis mich überhaupt veranlasst haben, über viele Details genau nachzudenken und so meiner eigenen Unkenntnis bewusst zu werden.

In der zweiten Ausgabe wurden Tippfehler und drei sinnentstellende Sätze korrigiert. Der Text wurde aber sonst unverändert übernommen.

Inhaltsverzeichnis

1 Für wen ist dieses Buch?	1
1.1 Gegenstand der Phonetik	1
1.2 Aufbau des Buchs	2
1.3 Terminologie	2
2 Akustische Phonetik	3
2.1 Schallwellen	3
2.1.1 Schallwellen sind Luftdruckschwankungen	3
2.1.2 Entstehung und Ausbreitung von Schallwellen	4
2.1.3 Schallgeschwindigkeit	7
2.1.4 Die relative Lage zu einer Schallwelle	8
2.1.5 Longitudinal- und Transversalwellen	9
2.2 Messen von Schallwellen	10
2.2.1 Mikrofon	10
2.2.2 Oszillogramm	12
2.3 Akustische Kenngrößen und ihre Einheiten	14
2.3.1 Frequenz	14
2.3.1.1 Periodendauer	14
2.3.1.2 Periodendauer und Papiergeschwindigkeit	15
2.3.1.3 Periodendauer und Periodenfrequenz	16
2.3.1.4 Periodenfrequenz und Wellenlänge	17
2.3.2 Amplitude	18
2.3.2.1 RMS-Amplitude	19
2.3.2.2 RMS-Amplitude und Lautstärke	22
2.3.2.3 Rechnen mit dB-Werten	26
2.3.2.4 Darstellung von Amplitudenverläufen	27
2.3.3 Phase	30
2.3.4 Resonanz, Dämpfung und Filterung	33
2.3.4.1 Resonanz	33
2.3.4.2 Dämpfung	38
2.3.4.3 Filter	39

2.4 Digitalisierung akustischer Signale	40
2.4.1 Zeit- und Amplitudendigitalisierung	41
2.4.2 Abtastrate	42
2.4.3 Messauflösung	45
2.5 Typen akustischer Signale	48
2.6 Analyse akustischer Signale	52
2.6.1 Fourier-Transformation	52
2.6.1.1 Summieren von Signalen: Fourier-Synthese	52
2.6.1.2 Zerlegen von Signalen: Fourier-Analyse	56
2.6.1.3 Harmonische Frequenzen	59
2.6.1.4 Diskrete Fourier-Transformation und ‘Fast Fourier Transformation’	62
2.6.1.5 Fourier-Transformation für nicht-periodische Signale	63
2.6.2 Was man in einem Spektrum ablesen kann	65
2.6.3 Filter in spektraler Darstellung	65
2.6.4 ‘Windowing’ in der Spektralanalyse	68
2.6.4.1 Zusammenhang zwischen Fensterbreite und spektraler Auflösung	74
2.6.4.2 Zusammenhang zwischen spektraler und zeitlicher Auflösung	76
2.6.5 Andere spektrale Darstellungen: waterfall und Spektrogramm	77
2.6.6 Gleichzeitige Zeit- und Frequenzauflösung	81
2.6.6.1 Wavelets	81
2.6.6.2 Gabor-Spektren	82
2.6.7 Auditive Spektren	83
2.6.8 Geglättete Spektren	84
2.6.8.1 Geglättetes Fourier-Spektrum	84
2.6.8.2 Cepstrum	86
2.6.8.3 LPC-Spektrum	88
2.7 Tonhöhenmessungen	91
2.8 Skalen	94
2.8.1 Lineare Skala	94
2.8.2 Logarithmische Skala	95
2.8.3 mel-Skala	96
2.8.4 Bark-Skala	97
2.8.5 Equivalent Rectangular Bandwidth (ERB) Skala	99

3	Aufbau und Funktion des Sprech- und Hörapparats	101
3.1	Sub-glottales System: Lungen, Bronchien und Luftröhre	103
3.1.1	Anatomie des sub-glottalen Systems	103
3.1.2	Bewegungen der Lunge	105
3.1.2.1	Einatmen (Aspiration)	106
3.1.2.2	Ausatmen (Expiration)	107
3.1.3	Lungenvolumina und deren zeitliche Kontrolle	107
3.1.4	Lautstärke und Lungenluftdruck	109
3.2	Aufbau und Vorgänge im Kehlkopf: Phonation	110
3.2.1	Anatomie des Kehlkopfs	110
3.2.2	Schwingen der Stimmlippen	114
3.2.2.1	Bernoulli-Effekt und aero-dynamische Theorie	115
3.2.2.2	Myo-elastische Theorie der Stimmlippenschwingung	118
3.2.2.3	Zwei-Massen-Theorie der Stimmlippenschwingung	121
3.2.2.4	Muco-viscöse-, 'cover body'- und Abrisstheorie	122
3.2.3	Larynxsignal	123
3.2.3.1	Lautstärke und Larynxsignal	125
3.2.3.2	Register	127
3.3	Supra-laryngales System: Vokaltrakt	128
3.3.1	Aufbau des Vokaltrakts	129
3.3.2	Akustische Eigenschaften des Vokaltrakts	131
3.3.2.1	Schallabstrahlung an Lippen und Nase	131
3.3.2.2	Resonanzen des Vokaltrakts	132
3.3.2.3	Formanten	135
3.3.2.4	Formantlagen	138
3.3.2.5	Formantübergänge	140
3.4	Interaktionen zwischen Kehlkopf und Vokaltrakt	142
3.4.1	Intrinsic F_0	142
3.4.2	Bildung eines Plosivs	143

3.5 Gehör	149
3.5.1 Äußeres Ohr	151
3.5.2 Mittelohr	152
3.5.2.1 Druckerhöhung im Mittelohr	153
3.5.2.2 Regelung im Mittelohr	154
3.5.2.3 Druckausgleich in der Paukenhöhle	156
3.5.3 Innenohr	157
3.5.3.1 Druckwellen in der Cochlea	159
3.5.3.2 Basilarmembran als schwingende Membran	160
3.5.3.3 Resonanztheorie	161
3.5.3.4 Widersprüche zu der Resonanztheorie	162
3.5.3.5 Wanderwellentheorie	163
3.5.4 Aufbau der Basilarmembran	165
3.5.4.1 Äußere Haarzellen	166
3.5.4.2 Otoakustische Emissionen	167
3.5.4.3 Innere Haarzellen	168
3.5.4.4 Die Basilarmembran als Fourier-Transformator?	169
Nachwort	171
Anhang A.1: Masse, Kraft und Druck	173
Anhang A.2: Energie, Intensität und Leistung	175
Anhang B.1: Physikalische Terminologie	179
Anhang B.2: Mathematische Schreibweisen	181
Anhang C.1: Formantwerte	183
Anhang C.2: Grundfrequenzwerte	184
Literaturverzeichnis	185
Index englischer Begriffe	189
Index deutscher Begriffe	193

“Phonetics! - The science of speech!” –

“And is there an earning in that?”

Pygmalion, George Bernard Shaw

1 Für wen ist dieses Buch?

Dieses Buch ist eine Einführung in die akustische und artikulatorische Phonetik – die Wissenschaft, die sich mit den Vorgängen beim Hören und Sprechen beschäftigt. Es werden dabei die physiologischen und technischen Grundlagen behandelt ohne Details einzelner Sprachen zu erörtern. Das Buch ist nicht nur für Studierende der Phonetik gedacht, sondern soll gleichermaßen einen leicht verständlichen Zugang aus angrenzenden Fachbereichen bieten, wie Linguistik, Psycholinguistik, Psychologie, Medizin, Informatik, Logopädie usw. Und es soll natürlich für jede andere Person geeignet sein, die etwas über das Hören und Sprechen wissen möchte.

1.1 Gegenstand der Phonetik

Die Phonetik beschreibt und untersucht akustische Sprachsignale, die vom Sprechapparat erzeugt, durch die Luft übertragen und letztendlich gehört werden. Dabei kann das Sprachmaterial beschrieben und aufgezeichnet oder mit analytischen Methoden untersucht werden. Das Beschreiben und die Darstellung mit Schriftsymbolen (Transkription) der sprachlichen Laute wird in der Symbolphonetik behandelt, wo durch genaues Hinhören und Introspektion einzelne Laute und höhere sprachliche Einheiten erkannt und festgehalten werden. Die experimentelle Signalphonetik dagegen versucht, physiologische Vorgänge beim Sprechen in Untersuchungen zur artikulatorischen Produktion und beim Hören in Untersuchungen zur Perzeption zu erfassen sowie die akustischen Ereignisse bei der Schallübertragung physikalisch zu beschreiben. Genau diese Signalphonetik wird in diesem Buch behandelt.

Obwohl ein großer Bereich der modernen Phonetik von naturwissenschaftlichen Methoden geprägt ist, wird an den Universitäten die Phonetik den Geisteswissenschaften zugeordnet, wo die Symbolphonetik historisch angesiedelt war. Damit haben viele Personen, die sich mit der Phonetik beschäftigen wollen, einen eher geisteswissenschaftlichen Hintergrund und besitzen häufig nicht das technische Rüstzeug, um allen Argumenten in der Phonetik einfach folgen zu können. Genau hier setzt dieses Buch an. Das notwendige Wissen in diesen Bereichen wird sehr sorgfältig dargestellt, ohne dass technisches Vorwissen vorausgesetzt wird. Dabei steht nicht das Auswendiglernen der Sachverhalte im Vordergrund, sondern die Sachverhalte werden mit Beispielen aus dem Alltag vertraut gemacht. Auf diese Weise kann man ein Verständnis für sie entwickeln, das sonst nur mit technisch-physikalischem Hintergrund zu erlangen ist. Die zentrale Idee dabei ist, dass eine Person, die einen Sachverhalt gut verstanden hat, ihn beherrscht und viel über ihn weiß, ohne je etwas auswendiggeleitet zu haben.

1.2 Aufbau des Buchs

Dieses Buch besteht aus zwei Hauptteilen, die verschiedene Aspekte der Signalphonetik darstellen:

- 1) Der erste Hauptteil behandelt die akustische Phonetik, die sich mit den Eigenschaften von Schallwellen beschäftigt. Diese Darstellung der Akustik setzt kein technisches oder physikalisches Wissen voraus und führt in die Denkweisen der Akustik ein. Hier werden auch die Methoden vorgestellt, mit denen akustische Eigenschaften gemessen und analysiert werden können.
- 2) Der zweite Hauptteil behandelt die artikulatorische Phonetik, die die anatomischen und physiologischen Vorgänge beim Sprechen und Hören untersucht. Dabei werden vor allem funktionelle Zusammenhänge erläutert, und es steht weniger die Auflistung anatomischer Fakten im Vordergrund.

Es ist nicht zwingend notwendig, das Buch in dieser Reihenfolge zu lesen, und einzelne Kapitel sollten verständlich sein, ohne die Vorhergegangenen gelesen zu haben. Dabei wird eine Art erzählender Text verwendet, der mit Metaphern und Beispielen aus dem täglichen Leben versucht die Inhalte verständlich zu machen. Dabei werden nur elementare akustische und physiologische Sachverhalte dargestellt, wobei die Anwendungen dieser Kenntnisse fast vollständig außen vor bleiben. Aber wären diese mit derselben Ausführlichkeit beschrieben worden wie die Grundlagen, dann wäre dieses Buch wesentlich umfangreicher. Nur das Kapitel 3.4 skizziert kurz einige Anwendungen. Dagegen sind die Entwicklungen der Theorien über die Vorgänge an den Stimmlippen (Kap. 3.2.2) und über die Bewegung der Basilarmembran im Innenohr (Kap. 3.5.3) ausführlicher dargestellt worden, um exemplarisch eine kritische Herangehensweise an scheinbar 'offensichtliche' Befunde vorzustellen.

Es ist hilfreich, die numerischen Beispiele nachzuvollziehen, aber es ist für das Verständnis des Buchs nicht zwingend notwendig. Wenn man die Beispiele mit dem Taschenrechner nachrechnet, wird man feststellen, dass immer mit gerundeten Werten gearbeitet wird und nicht die exakten Werte eingetragen sind, wie sie auf dem Taschenrechner erscheinen.

1.3 Terminologie

Die heutige Wissenschaftsliteratur ist größtenteils in englischer Sprache verfasst. Dadurch kann man aus verschiedenen Sprachen auf die gleichen Begriffe zurückgreifen und es gibt keine Missverständnisse über ihre Bedeutung. Deswegen werden im Text für die deutschen Begriffe in Klammern die englischen Terme in Schrägschrift mitgeliefert. Außerdem wird die Herkunft der Wörter in Fußnoten angegeben, um sie etwas plausibler zu machen. Da die meisten Studierenden in der Phonetik und der angrenzenden Gebiete Studentinnen sind, werden in diesem Buch weibliche Personenbezeichnungen benutzt, wenn eine neutrale Benennung nicht möglich war.