

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort und Danksagung.....	XI
1. Einleitung	1
1.1. Forschungsstand und Motivation.....	1
1.2. Anforderungen an phonetische Modelle der Sprachproduktion und ihre Anwendungsmöglichkeiten.....	1
1.3. Zum Aufbau eines phonetischen Modells der Sprachproduktion.....	2
1.4. Relationen zwischen Artikulation, Akustik und Perzeption aus der Sicht der Sprachproduktion.....	4
1.5. Vollständige und konkrete phonetische Modelle der Sprachproduktion.....	4
1.6. Ziel dieser Arbeit.....	5
I. THEORETISCHER TEIL	
2. Zur Modellierung der Sprechwerkzeuge.....	7
2.1. Supralaryngale Artikulatoremodelle.....	8
2.1.1. Geometrisch orientierte Artikulatoremodelle.....	8
2.1.2. Effektorisch orientierte Artikulatoremodelle.....	10
2.1.3. Statistisch orientierte Artikulatoremodelle.....	12
2.1.4. Physiologisch orientierte Artikulatoremodelle.....	12
2.1.5. Akustisch orientierte Artikulatoremodelle.....	14
2.2. Zur Dreidimensionalität des Sprechtrakts.....	15
2.2.1. Von der Mediosagittalkontur zur Areafunktion.....	15
2.2.2. Die Ansatzrohrlänge.....	17
2.2.3. Dreidimensionale Modelle.....	17
2.3. Modelle des pulmonalen Bereichs.....	18
2.3.1. Das Modell konstanten Drucks.....	19
2.3.2. Das Kolben-Modell von Ohala.....	20
2.3.3. Das physiologische Modell von Rothenberg.....	21
2.3.4. Akustische Modelle des subglottalen Bereichs.....	22
2.4. Larynx- und Glottismodelle.....	22
2.4.1. Physiologische Larynxmodelle.....	23
2.4.2. Selbstschwingende Glottismodelle.....	25
2.4.3. Aerodynamisch-akustische Glottismodelle.....	28
2.4.4. Akustische Modelle der Quelle.....	30
2.5. Akustische und aerodynamische Modellierung des Sprechtraktes.....	31
2.5.1. Akustische Modelle des Sprechtraktes.....	31
2.5.2. Aerodynamische Modelle des Sprechtraktes.....	35
2.5.3. Die Verluste im Sprechtrakt.....	36

2.5.4. Die aerodynamisch-akustischen Mechanismen an der glottalen Konstriktion	41
2.2.5. Die Schallabstrahlung an Mund und Nase	42
2.5.6. Der Nasaltrakt und die Nebenhohlräume des Sprechtraktes	43
2.5.7. Sekundäre Schallquellen	44
3. Zur Steuerung der Sprechwerkzeuge	46
3.1. Das Problem der phonetischen Variabilität	46
3.1.1. Artikulatorische, akustische und perzeptive Variabilität	47
3.1.2. Artikulatorische Invarianz: "Eisberge" und Gesten	48
3.1.3. Motorische Äquivalenz	49
3.2. Konzepte zur Steuerung	51
3.2.1. Artikulatorische und akustische Steuerung	51
3.2.2. Kinematische und dynamische Modelle	53
3.2.3. Das Konzept der Geste	56
3.3. Zur Analyse artikulatorischer Daten in Hinblick auf Modelle der Steuerung	60
3.3.1. Artikulatorische Meßmethoden	60
3.3.2. Die kinematischen Parameter der Sprechbewegungen	62
3.3.3. Die dynamischen Parameter der Sprechbewegungen	63
3.4. Die Modellierung prosodisch bedingter Variabilität	65
3.4.1. Hypo- und Hyperartikulation	66
3.4.2. Artikulatorisch-gestische Korrelate zu Akzentuierung, Sprechtempo- änderung und finaler Längung	67
3.4.3. Reduktionsphänomene: Zur Variabilität diskreter segmentaler Formen in gesprochener Sprache	68
3.5. Segmentale und prosodische Aspekte der laryngalen Artikulation	69
3.5.1. Register und Phonationstypen	69
3.5.2. Laryngale Artikulation zur Lautrealisation	71
3.5.3. Artikulatorische Modelle zur Intonation	72

II. EXPERIMENTELLER TEIL

4. Das implementierte phonetische Modell der Sprachproduktion PHOPRO: Die Sprechwerkzeuge	75
4.1. Das hybride Artikulatormodell HYBART	75
4.1.1. Artikulatoren, Steuerparameter und mediosagittale Konturen	76
4.1.2. Akustische Basierung der Extremalkonturen des Zungenrückens	79
4.1.3. Beschreibung der Ansatzrohrkonstriktionen mittels der artikulatorischen Steuerparameter	83
4.1.4. Vokalische und konsonantische Targetwerte	84
4.1.5. Die Berechnung der Arefunktion	85
4.1.6. Eigenschaften des Modells I: Der Zusammenhang zwischen Steuerparameter- einheiten, mediosagittaler Distanz und Querschnittsfläche des Ansatzrohres	87
4.1.7. Eigenschaften des Modells II: Zur Auswahl der artikulatorischen Steuerparameter und zur Generierung von Zungenrückenkonstriktionen	87

4.2. Das Modell des pulmonalen Bereiches und der Trachea PULTRA.....	88
4.2.1. Das Modell.....	89
4.2.2. Eigenschaften des Modells: Pulmonaler und subglottaler Druck und der Effekt der Trägheit der Luftsäule auf den Volumenstromimpuls.....	90
4.2.3. Zur Abschätzung der Konstanten des Modells des pulmonalen Bereichs.....	91
4.3. Das dreidimensionale Larynxmodell LARY3D.....	92
4.3.1. Der mechanisch-geometrische Modellteil.....	92
4.3.2. Der physiologische Modellteil.....	94
4.3.3. Der aerodynamisch-akustische Modellteil.....	96
4.3.4. Eigenschaften des Modells I: Die Steuerparameter und das Schwingungsverhalten der Stimmlippen.....	97
4.3.5. Eigenschaften des Modells II: Zur Erweiterung des Zwei-Massen-Modells.....	100
4.4. Das aerodynamisch-akustische Modell des Sprechtraktes AERAKU.....	101
4.4.1. Die akustische Modellierung.....	102
4.4.2. Die Verlustmechanismen im Sprechtrakt.....	103
4.4.3. Die Schallabstrahlung an Mund und Nase.....	105
4.4.4. Die glottalen Verluste und die Kopplung zum pulmonalen Bereich.....	107
4.4.5. Die Modellierung der sekundären Schallquellen.....	109
4.4.6. Eigenschaften des Modells I: Der Volumenstrom als Funktion der Querschnittsfläche der laryngalen und supralaryngalen Konstriktionen.....	110
4.4.7. Eigenschaften des Modells II: Vergleich mit anderen Modellen.....	111
5. Das implementierte phonetische Modell der Sprachproduktion PHOPRO:.....	
Die Steuerung.....	112
5.1. Das segmentale Modell SEGMOD.....	113
5.1.1. Die Produktionsprinzipien.....	114
5.1.2. Das kinematische Modell zur Realisierung der artikulatorischen Transitionen.....	116
5.1.3. Zur quantitativen Spezifikation der Produktionsmerkmale.....	117
5.1.4. Beschreibung der Produktion unterschiedlicher Lauttypen.....	118
5.1.5. Distinktive Merkmale und Produktionsmerkmale.....	123
5.1.6. Zur Produktion eines konstanten Konstriktionsgrades: Der Effekt der Kontaktbildung.....	124
5.2. Das gestische Modell GESMOD.....	126
5.2.1. Der Aufbau des Modells.....	126
5.2.2. Gestentypen und der Aufbau ganzer Äußerungen.....	127
5.2.3. Das dynamische Modell der Geste und der Parameter Eigenperiodendauer.....	131
5.2.4. Das Abschneiden gestischer Steuerparameterzeitfunktionen und das Konzept der Phase.....	135
5.2.5. Die Generierung der gestischen Partitur: Die intergestischen Steuerparameter und die Phasenregeln.....	136
5.2.6. Zur quantitativen Abschätzung der gestischen Parameter.....	145
5.2.7. Gesteninventar und gestische Unterspezifikation.....	148

5.2.8. Prioritätsregeln bei zeitlich überlappenden Gesten.....	149
5.3. Vergleich des gestischen und des segmentalen Ansatzes.....	151
5.3.1. Vergleich der zugrundeliegenden Konzepte.....	151
5.3.2. Vergleich der generierten Steuerparameterzeitfunktionen.....	152
6. Experimentelle Untersuchungen I: Perzeptive Evaluierung und akustische Analysen.....	153
6.1. Perzeptive Analyse des segmentalen Modells SEGMOD.....	153
6.1.1. Zum Begriff der Sprachqualität und die Testmethoden.....	153
6.1.2. Die globale Evaluierung des Synthesystems.....	153
6.1.3. Diskussion der Ergebnisse und Ausblick.....	155
6.2. Perzeptive Evaluierung von reduzierten Formen des Deutschen im gestischen Modell GESMOD.....	156
6.2.1. Qualitative perzeptive Analysen einer segmentalen Änderung aufgrund einer gestischen Verschiebung innerhalb einer Äußerung.....	156
6.2.2. Quantitative perzeptive Analyse zur regressiven und progressiven Assimilation des Artikulationsortes.....	162
6.2.3. Qualitative perzeptive Analysen mehrerer segmentaler Änderungen aufgrund von gestischen Verschiebungen und aufgrund von gestischer Reorganisation am Beispiel "mit dem".....	165
6.2.4. Quantitative perzeptive Analyse segmentaler Änderungen am Beispiel "mit dem".....	169
6.2.5. Diskussion der Ergebnisse der Perzeptionstests zur Reduktion.....	170
6.3. Akustische Analyse des Larynxmodells LARY3D.....	172
6.3.1. Hintergrund der Untersuchung.....	172
6.3.2. Grundfrequenz und Intensität als Funktion von Stimmlippen- spannung und Glottisöffnung.....	172
6.3.3. Diskussion der Meßergebnisse.....	174
7. Experimentelle Untersuchungen II: Messung von Artikulatorbewegungen.....	175
7.1. Vorbemerkungen zur Abschätzung gestischer Parameter anhand artikula- torischer Meßdaten.....	175
7.1.1. Das Meßverfahren.....	175
7.1.2. Erste gestische Analysen artikulatorischer Daten.....	177
7.2. Ein erweitertes gestisches Modell und das Meßverfahren zur Abschätzung gestischer Parameter.....	181
7.2.1. Das Sechs-Parameter-Modell der Geste.....	181
7.2.2. Die Aufgabe des Anpassungsverfahrens und das Minimierungskriterium.....	183
7.2.3. Die Prozeduren des Anpassungsverfahrens.....	184
7.2.4. Die Anfangsbedingungen der Anpassung.....	186
7.2.5. Die Abschätzung gestischer Phasenwerte.....	187
7.3. Evaluierung des Anpassungsverfahrens zur Messung gestischer Parameter.....	188
7.3.1. Das Sprachdatenmaterial des Korpus I bis III.....	188

7.3.2. Die Anpassungsgüte der Zeitfunktionen des Sechs-Parameter-Modells und die Genauigkeit der Parameterschätzung.....	189
7.3.3. Die Abschätzung der Targetposition.....	191
7.3.4. Die Abschätzung der zeitlichen Lage des Anklingintervalls und der Eigenperiodendauer.....	193
7.4. Die Änderung gestischer Parameter aufgrund prosodischer Faktoren.....	195
7.4.1. Das Sprachdatenmaterial des Korpus IV bis VII und die Analyseparameter.....	196
7.4.2. Die Änderung gestischer Parameter durch den prosodischen Faktor Akzentuierung.....	197
7.4.3. Die Änderung gestischer Parameter durch die prosodischen Faktoren Akzentuierung und Sprechgeschwindigkeit.....	200
7.4.4. Die Änderung gestischer Parameter durch den prosodischen Faktor Finalität.....	209
7.4.5. Zur Gewichtung der Änderungen der gestischen Parameter durch die unterschiedlichen prosodischen Faktoren.....	212
7.4.6. Zur Interpretation der Änderung der gestischen Parameter aufgrund prosodischer Faktoren aus der Sicht der Steuerung.....	219

III. EIN GESTISCHER ANSATZ ZUR PROSODISCHEN STEUERUNG

8. Prosodische Aspekte der Steuerung: Modellierung artikulatorischer Phänomene.....	223
8.1. Das Konzept des artikulatorischen Aufwandes.....	223
8.1.1. Definition des artikulatorischen Aufwandes.....	223
8.1.2. Quantifizierung des artikulatorischen Aufwandes.....	224
8.1.3. Abschätzung des artikulatorischen Aufwandes anhand von Meßdaten und seine Korrelation mit der gestischen Maximalgeschwindigkeit.....	226
8.2. Die Änderung gestischer Steuerparameter aufgrund der prosodischen Faktoren Akzentuierung, Sprechgeschwindigkeit und Finalität.....	231
8.2.1. Das gestisch-prosodische Modell der Akzentuierung, der Sprechgeschwindigkeit und der Finalität.....	231
8.2.2. Die Variierung der Targetposition und das Problem der segmentalen Invarianz.....	233
8.2.3. Diskussion des gestisch-prosodischen Modells anhand von Literaturdaten.....	235
8.3. Reduktion und artikulatorischer Aufwand.....	237
8.3.1. Das gestische Modell der Reduktion.....	237
8.3.2. Die gestischen Verschiebungsprozesse.....	239
8.3.3. Der Austausch von Gesten: Assimilation des Artikulationsortes und Glottalisierung im Deutschen.....	240
9. Prosodische Aspekte der Steuerung: Modellierung phonatorischer Phänomene.....	242
9.1. Vorbemerkungen.....	242
9.1.1. Akzentuierung und Intonation als prosodische Kategorien.....	242

9.1.2. Zum Fehlen artikulatorischer Produktionsmodelle zur Akzentuierung und Intonation.....	243
9.1.3. Zugrundeliegende pulmonale und laryngale Steuerparameter.....	244
9.2. Zwei Ansätze zur artikulatorischen Modellierung prosodisch-phonatorischer Phänomene.....	245
9.2.1. Die PS/CT-Steuerung ohne pulmonales Modell.....	245
9.2.2. Die GA/CT-Steuerung mit pulmonalem Modell.....	247
9.2.3. Die Kopplung zur supraglottalen Komponente: Ein prosodisches Gesamtmodell der laryngalen und supralaryngalen Artikulation für die Akzentuierung...	249
9.3. Diskussion der GA/CT-Steuerung.....	250
9.3.1. Grundfrequenz und Intensität als Funktion artikulatorischer Variablen.....	250
9.3.2. Zur Steuerung des subglottalen Drucks.....	251
9.3.3. Akustische Konsequenzen glottaler Abduktion und Adduktion.....	252
10. Diskussion und Ausblick.....	254
10.1. Das hybride Artikulatormodell.....	254
10.2. Das Modell des pulmonalen Bereichs und der Trachea, das Larynxmodell und das aerodynamisch-akustische Modell des Sprechtrakts.....	255
10.3. Die Steuerung.....	256
10.4. Theoretische Aspekte des gestischen Ansatzes.....	257
10.5. Zur akustischen Rigidität und zur Evaluierung der Qualität des artikulatorischen Sprachsynthesystems.....	259
10.6. Gestische Verschiebungs- und Reorganisationsprozesse.....	260
10.7. Zur Ermittlung gestischer Parameter und das quantitative Modell der Geste.....	262
10.8. Zur gestisch-prosodischen Analyse artikulatorischer Daten.....	264
10.9. Zur zeitlichen Steuerung eines artikulatorisch-gestischen Produktionsmodells.....	266
10.10. Das gestische Modell der Reduktion.....	267
10.11. Das phonatorisch-prosodische Modell.....	267
Literaturverzeichnis.....	269
 ANHANG	
A1. Programmaufbau und Dateistruktur des Produktionsmodells.....	286
A1.1. Programmaufbau.....	286
A1.2. Die Kommunikationsdateien.....	287
A1.3. Die Tabellendateien zu ARB_SYMB.EXE.....	298
A2. Zur perzeptiven Analyse des segmentalen Modells.....	306
A2.1. Textvorlagen zur perzeptiven Analyse des segmentalen Modells.....	306
A2.2. Tabelle zur Fehlerhäufigkeit von Wörtern in der perzeptiven Analyse des segmentalen Modells.....	308