

**Universität Bielefeld**  
**Fakultät für Linguistik und Literaturwissenschaft**

**Entwicklung, Implementierung und Evaluation eines Instrumentes  
für die akustische Dysarthriediagnostik**

**DISSERTATION ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE  
IM FACH KLINISCHE LINGUISTIK**

Gutachter Prof. Dr. Wolfram Ziegler  
Prof. Dr. Gert Rickheit

vorgelegt von Katrin Johannsen  
Bielefeld, im März 2010

---

## DANKSAGUNG

Eine Promotion ist ein Projekt, das einen lange Zeit begleitet. In diesem Fall waren es fast drei Jahre. Im Laufe dieser Zeit haben mich viele Personen in verschiedenster Art und Weise unterstützt, wofür ich sehr dankbar bin.

Zuallererst möchte ich meinen Eltern herzlich danken, ohne deren langjährige moralische und finanzielle Unterstützung diese Arbeit nicht hätte entstehen können. Außerdem danke ich ihnen für mehrmaliges Korrekturlesen zu verschiedenen Zeitpunkten, das für fachfremde Personen sicherlich nicht der spannendste Zeitvertreib ist.

Natürlich gilt großer Dank meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Wolfram Ziegler für die Bereitstellung des Themas, für kompetente fachliche Unterstützung und die bereitwillige Beantwortung meiner Fragen.

Herrn Prof. Dr. Gert Rickheit möchte ich für die Übernahme der Betreuung und die Beurteilung dieser Arbeit danken.

Jeder, der schon einmal eine empirische Arbeit geschrieben hat und eine Stichprobe mit Patienten zusammenstellen musste, weiß, wie schwierig und langwierig sich dieser Prozess gestalten kann. Ohne kollegiale Hilfe aus Kliniken und Praxen ist dies nicht zu bewältigen. Ich habe diesbezüglich viel Unterstützung erhalten und danke den Sprachtherapeuten der Klinik am Osterbach und der Klinik am Rosengarten, dort insbesondere Sandra Brockmann für ihren Einsatz und ihr Engagement. Auch meinen ehemaligen Kolleginnen der Praxis Logopädie Martens-Wiese in Essen danke ich für die Unterstützung.

Natürlich gilt große Dank auch allen Patienten und Normsprechern, die sich zur Teilnahme bereit erklärt haben und ohne die diese Untersuchung nicht möglich gewesen wäre.

---

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DYSARTHRIE.....</b>	<b>4</b>
2.1	Definition und Abgrenzung.....	4
2.2	Diagnostik.....	7
2.2.1	Diagnostikverfahren.....	7
2.2.2	Vor- und Nachteile der Diagnostikverfahren.....	11
<b>3</b>	<b>DIAGNOSTISCHES KONZEPT: PARAMETER.....</b>	<b>13</b>
3.1	Phonation.....	14
3.1.1	Maximale Phonationsdauer .....	16
3.1.2	Stimmqualität .....	16
3.1.3	Intensität.....	21
3.1.4	Sprechstimmlage .....	22
3.1.5	Stimmstabilität.....	23
3.1.6	Variablenauswahl und Normwerte.....	24
3.2	Vokalartikulation.....	31
3.2.1	Variablenauswahl und Normwerte.....	33
3.3	Diadochokinese.....	34
3.3.1	Variablenauswahl und Normwerte.....	40
3.4	Satzproduktion.....	43
3.4.1	Sprechtempo .....	45
3.4.2	Akzentsetzung und Intonation.....	46
3.4.3	Schweregrad.....	49
3.4.4	Variablenauswahl und Normwerte.....	50
<b>4</b>	<b>IMPLEMENTIERUNG DES KONZEPTS.....</b>	<b>56</b>
4.1	Gehaltene Vokale.....	56
4.2	Vokalartikulation.....	60
4.3	Satzproduktion .....	63
4.3.1	Mittlere Sprechstimmlage.....	66

---

4.3.2	Sprechtempo.....	66
4.3.3	Betonung.....	68
4.4	Diadochokinese.....	69
4.5	Integration der akustischen Analyse ins PhonLab.....	72
<b>5</b>	<b>UNTERSUCHUNG.....</b>	<b>74</b>
5.1	Mikrofonauswahl.....	74
5.2	Stichprobenbeschreibung.....	76
5.3	Versuchsablauf.....	79
5.4	Auswertung der Sprachaufnahmen.....	80
5.4.1	Generelle Schwierigkeiten bei der Auswertung.....	80
5.5	Datenanalyse und statistisches Prozedere.....	81
5.5.1	Auswertung Vokalanalyse.....	82
5.5.1.1	Auswertung Vokalanalyse: männliche Probanden.....	82
5.5.1.2	Auswertung Vokalanalyse: weibliche Probanden.....	89
5.5.1.3	Auswertung Vokalanalyse: Stimmtremor.....	95
5.5.2	Auswertung Vokalartikulation.....	97
5.5.3	Auswertung Diadochokinese.....	103
5.5.4	Auswertung Satzproduktion .....	110
<b>6</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>122</b>
6.1	Vokalanalyse.....	122
6.2	Vokalartikulation.....	130
6.3	Diadochokinese.....	132
6.4	Satzproduktion.....	136
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>144</b>
<b>8</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>146</b>

---

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Hauptursachen dysarthrischer Störungen (aus: Ziegler 2002).....	4
Tabelle 2: Klinisches Einteilungsschema der Dysarthrien (Huber 2002).....	5
Tabelle 3: Normwerte: maximale Tonhaldedauer von /a/ (Kent et al. 1987).....	25
Tabelle 4: Normwerte: Jitter local.....	26
Tabelle 5: Normwerte: Jitter RAP.....	27
Tabelle 6: Normwerte: Jitter PPQ .....	27
Tabelle 7: Normwerte: Shimmer in dB.....	28
Tabelle 8: Normwerte: H/N-Quotient.....	29
Tabelle 9: Tremorfrequenzen.....	30
Tabelle 10: Normwerte: Formantwerte der einzelnen Vokale (Sendlmeier & Seebode 2006).....	34
Tabelle 11: Normwerte: Formantdifferenzen.....	34
Tabelle 12: Normwerte: Diadochokinese.....	41
Tabelle 13: Normwerte: DDK Silbenraten (Median, Minimum, Maximum) (Ziegler & Vogel 2002).....	42
Tabelle 14: Normwerte: Klassifikation der Sprechgeschwindigkeit (Ziegler & Vogel 2002).....	53
Tabelle 15: Normwerte: mittlere Sprechstimmlage.....	54
Tabelle 16: Settings bei der Vokalauswertung.....	57
Tabelle 17: Vokalanalyse: Variablen und Variablenbezeichnungen.....	59
Tabelle 18: Vokalartikulation: Variablen und Variablenbezeichnungen.....	62
Tabelle 19: Satzproduktion: Variablen und Variablenbezeichnungen.....	67
Tabelle 20: Satzproduktion: Variablen und Variablenbezeichnungen bei der Betonungsauswertung.....	68
Tabelle 21: Spektrogrammsettings bei der Analyse der Betonung.....	68
Tabelle 22: Spektrogrammsettings bei der Diadochokinese.....	70
Tabelle 23: Diadochokinese: Variablen und Variablenbezeichnungen.....	71
Tabelle 24: Eigenschaften des verwendeten Mikrofons.....	75
Tabelle 25: Übersicht Normsprecher.....	77
Tabelle 26: Übersicht Patienten.....	78
Tabelle 27: Einteilung nach Schweregrad.....	79
Tabelle 28: Vokalanalyse: Deskriptive Statistik, Männer, Norm, /a/.....	82
Tabelle 29: Vokalanalyse: Deskriptive Statistik, Männer, Patienten, /a/.....	83

---

Tabelle 30: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich Männer, Norm vs. Patient, Vokal /a/.....	84
Tabelle 31: Vokalanalyse: Mittelwertvergleiche Männer, Schweregrade, Vokal /a/.....	85
Tabelle 32: Vokalanalyse: männliche Probanden, Korrelation JitterPPQ und Schweregrad.....	85
Tabelle 33: Vokalanalyse: Männer, Korrelation VK F0 und Schweregrad beim /a/.....	86
Tabelle 34: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich Männer, Schweregrade, alle Vokale.....	87
Tabelle 35: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Männer, Norm versus leicht Betroffene, alle Vokale.....	87
Tabelle 36: Vokalanalyse: Diskriminanzanalyse, Männer, Norm vs. Patient .....	88
Tabelle 37: Vokalanalyse: Diskriminanzanalyse, Männer, Schweregrade.....	89
Tabelle 38: Vokalanalyse: Deskriptive Statistiken, Frauen, Norm, /a/.....	89
Tabelle 39: Vokalanalyse: Deskriptive Statistiken, Frauen, Patienten, /a/.....	90
Tabelle 40: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Norm vs. Patient, /a/.....	90
Tabelle 41: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Schweregrade, /a/.....	91
Tabelle 42: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Norm vs. Patient, alle Vokale .....	92
Tabelle 43: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Schweregradstufen, alle Vokale.....	92
Tabelle 44: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Norm versus leicht Betroffene, alle Vokale.....	93
Tabelle 45: Vokalanalyse: Diskriminanzfunktionskoeffizienten, Frauen, Norm versus Patient..	94
Tabelle 46: Vokalanalyse: Diskriminanzanalyse, Frauen, Norm versus Patient.....	94
Tabelle 47: Vokalanalyse: Stimmtremor bei Patienten.....	95
Tabelle 48: Vokalanalyse: Stimmtremor bei Normsprechern.....	96
Tabelle 49: Vokalartikulation: Deskriptive Statistik, männliche Normsprecher.....	97
Tabelle 50: Vokalartikulation: Deskriptive Statistik, weibliche Normsprecher.....	97
Tabelle 51: Vokalartikulation: Deskriptive Statistik, männliche Patienten.....	98
Tabelle 52: Vokalartikulation: Deskriptive Statistik, weibliche Patienten.....	98
Tabelle 53: Vokalartikulation: Mittelwertvergleiche, Männer, Norm vs. Patient, /a/.....	100
Tabelle 54: Vokalartikulation: Mittelwertvergleich, Männer, Norm vs. Patient, /u/ .....	100
Tabelle 55: Vokalartikulation: Mittelwertvergleiche, Männer, Schweregradeinteilung, /a/ .....	100
Tabelle 56: Vokalartikulation: Frauen, Norm vs. Patient, F2/i/ - F2 /y/.....	101
Tabelle 57: Vokalartikulation: Frauen, Schweregrad, F2/i/-F2/y/.....	101
Tabelle 58: Vokalartikulation: Diskriminanzanalyse, Männer, Norm vs. Patient.....	102
Tabelle 59: Vokalartikulation: Frauen, Norm vs. Patient.....	102

---

Tabelle 60: Diadochokinese : Deskriptive Statistik, Normsprecher.....	103
Tabelle 61: Diadochokinese: Deskriptive Statistik, Patienten .....	103
Tabelle 62: Diadochokinese: Mittelwertvergleiche, Norm vs. Patient.....	104
Tabelle 63: Diadochokinese: Mittelwertvergleiche, Prädiktorvariable Schweregrad.....	104
Tabelle 64: Diadochokinese: Korrelationen zwischen Schweregrad und Variablen .....	105
Tabelle 65: Diadochokinese: Diskriminanzfunktionskoeffizienten, Norm vs. Patienten .....	106
Tabelle 66: Diadochokinese: Diskriminanzanalyse, Norm vs. Patient.....	107
Tabelle 67: Diadochokinese: Diskriminanzanalyse, Schweregrad.....	107
Tabelle 68: Diadochokinese: Mittelwertvergleich, Norm vs. leicht Betroffene.....	108
Tabelle 69: Diadochokinese: Einzelfalluntersuchung bei schwerer ataktischer und rigid- hypokinetischer Dysarthrie.....	109
Tabelle 70: Diadochokinese: Vergleich von drei Dysarthriesyndromen.....	110
Tabelle 71: Satzproduktion: Mittelwertvergleich, Norm vs. Patient .....	111
Tabelle 72: Satzproduktion: Mittelwertvergleich, Schweregrade.....	111
Tabelle 73: Satzproduktion: Korrelationen zwischen Schweregrad und den Variablen .....	113
Tabelle 74: Satzproduktion: Diskriminanzanalyse, Norm vs. Patient .....	114
Tabelle 75: Satzproduktion: Diskriminanzanalyse, Schweregrade.....	114
Tabelle 76: Satzproduktion: Mittelwertvergleich, Norm vs. leicht Betroffene.....	114
Tabelle 77: Satzproduktion: F0 Vergleich, männliche Probanden nach Schweregrad.....	115
Tabelle 78: Satzproduktion: F0 Vergleich, weibliche Probanden nach Schweregrad.....	116
Tabelle 79: Satzproduktion: schweregradspezifischer Vergleich der Testsilbendauer.....	117
Tabelle 80: Satzproduktion: Umsetzung der Frageintonation, männliche Probanden.....	119
Tabelle 81: Satzproduktion: Umsetzung der Frageintonation, weibliche Probanden.....	119
Tabelle 82: DDK: Einzelfalluntersuchung.....	119
Tabelle 83: Satzproduktion: Vergleich unterschiedlicher Dysarthriesyndrome (rigid- hypokinetisch, ataktisch, schwer gesamt).....	120
Tabelle 84: Satzproduktion: Parkinson vs. schwere Dysarthrien.....	121

---

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Symptomkette dysarthrischer Störungen und zugeordnete neurophonetische Untersuchungsverfahren (Ziegler & Vogel 2010).....	8
Abbildung 2: Tremorfrequenzen bei unterschiedlicher Pathologie (aus: Kent et al. 1999).....	31
Abbildung 3: Auswertungsfenster Vokalanalyse mit definiertem Auswertungsbereich.....	58
Abbildung 4: Auswertungsfenster Vokalartikulation .....	61
Abbildung 5: Vokalartikulation: Grafische Darstellung der Formantfrequenzen.....	62
Abbildung 6: Auswertungsfenster Satzproduktion.....	64
Abbildung 7: Auswertungsfenster Satzproduktion nach abgeschlossener Auswertung.....	66
Abbildung 8: Auswertungsfenster Diadochokinese.....	69
Abbildung 9: Auswertungsfenster Diadochokinese mit markierten Silbenmaxima.....	70
Abbildung 10: Ablauf der Durchführung einer akustischen Analyse im PhonLab.....	73
Abbildung 11: Vokalanalyse: männliche Probanden, JitterPPQ beim /a/ .....	86
Abbildung 12: Vokalanalyse: VK F0 über alle Vokalproduktionen, männl. Probanden nach Schweregrad.....	87
Abbildung 13: Vokalanalyse: Variationskoeffizient von F1-3 über alle Vokalproduktionen, männliche Normsprecher und leichte Dysarthriker.....	88
Abbildung 14: Vokalanalyse: Stimmabbrüche über alle Vokalproduktionen, männliche Normsprecher und leichte Dysarthriker.....	88
Abbildung 15: Vokalanalyse: Mittelwerte H/N-Quotient, weibl. Probanden, Norm und leichte Dysarthrie.....	94
Abbildung 16: Stimmtremor bei ataktischer Dysarthrie, Vokal /y/, Frequenz: 2,82 Hz.....	96
Abbildung 17: Stimmtremor bei männlichem Normsprecher, Ausschnitt aus dem Vokal /i/, Frequenz: 4,31 Hz.....	96
Abbildung 18: Vokalartikulation: mittlere Formantfrequenzen (F1) in Hz, männliche Probanden.....	99
Abbildung 19: Vokalartikulation: mittlere Formantfrequenzen (F2) in Hz, männliche Probanden.....	99
Abbildung 20: Vokalartikulation: mittlere Formantfrequenzen (F1) in Hz, Probandinnen.....	99
Abbildung 21: Vokalartikulation: mittlere Formantfrequenzen (F2) in Hz, Probandinnen.....	99
Abbildung 22: DDK: mittlere Silbendauer.....	105
Abbildung 23: DDK: Variationskoeffizient Silbendauer .....	105
Abbildung 24: Vergleich der Silbenraten DDK vs. Satzproduktion.....	108
Abbildung 25: DDK: Vergleich von drei Dysarthriesyndromen.....	110

---

Abbildung 26: Satzproduktion: Silbendauer und Schweregradeinstufung.....	112
Abbildung 27: Satzproduktion: Variationskoeffizient der Grundfrequenz und Schweregradeinstufung.....	112
Abbildung 28: Satzproduktion: F0 Vergleich männliche Probanden nach Schweregrad.....	115
Abbildung 29: Satzproduktion: F0 Vergleich weibliche Probanden nach Schweregrad.....	116
Abbildung 30: Satzproduktion: Testsilbendauer Satz 2/8.....	117
Abbildung 31: Satzproduktion: Testsilbendauer Satz 3/5.....	117
Abbildung 32: Satzproduktion: Testsilbendauer Satz 4/10.....	117
Abbildung 33: Satzproduktion: Umsetzung der Frageintonation, männliche Probanden.....	118
Abbildung 34: Satzproduktion: Umsetzung der Frageintonation, weibliche Probanden.....	118
Abbildung 35: Satzproduktion: Einzelfalluntersuchung schwerer Dysarthrien unterschiedlicher Ätiologie.....	120
Abbildung 36: Satzproduktion: Silbenrate und Pausendauer bei Parkinson versus schwere Dysarthrien.....	121

## 1 EINLEITUNG

Im Rahmen dieser Arbeit geht es um die Entwicklung und Erprobung eines Computerprogramms, welches in einem standardisierten Verfahren eine akustische Analyse selektiver Sprachdaten dysarthrischer Patienten vornimmt. Die Diagnostik der Dysarthrien besteht derzeit überwiegend in der perzeptuellen Beurteilung der Spontansprache und ausgewählter Aufgaben. Da eine perzeptuelle Diagnostik in Abhängigkeit eines subjektiven Urteils erfolgt, stellt sich die Frage nach der Reliabilität. Durch voneinander abweichende Einschätzungen verschiedener Untersucher kann es zu unterschiedlichen Beurteilungen kommen; auch kann die wiederholte Diagnostik eines Patienten durch denselben Untersucher zu ungleichen Ergebnissen führen. Gerade bei dysarthrischen Patienten ergibt sich hinsichtlich der Therapieevaluation das Problem, dass es durch eine Gewöhnung an die spezifische Sprechstörung eines Patienten zur besseren Beurteilung der Verständlichkeit kommen kann. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit eines Verfahrens, das objektive Messungen ermöglicht, wodurch sowohl die Diagnostik als auch die Therapieevaluation hinsichtlich der Reliabilität verbessert werden können.

Ein geeignetes Instrument hierfür stellt die akustische Analyse dar. Sie setzt am Sprachschall, d.h. am physikalischen Produkt respiratorischer, phonatorischer und artikulatorischer Vorgänge an (vgl. Gröne 2002) und kann die auditiv-perzeptuelle und physiologische Beschreibung ergänzen. Ihre Schlüsselrolle lässt sich daraus herleiten, dass sich bei geeignetem Untersuchungsaufbau detaillierte pathophysiologische Hypothesen begründen lassen und gleichzeitig quantitative Beschreibungen der funktionell relevanten Aspekte dieser Störung abgegeben werden können (Ziegler et al. 1990). Die Ziele der Entwicklung akustischer Diagnostik liegen also zum einen darin, ein reliables Außenkriterium für die perzeptuelle Befundung von Dysarthrien darzustellen, zum anderen in der Ermittlung charakteristischer Störungsmuster und in der Unterscheidung unterschiedlicher Schweregrade (vgl. Ziegler et al. 1990).

Im zweiten Kapitel erfolgt eine Definition und differentialdiagnostische Abgrenzung der Dysarthrie, um anschließend auf die Zielsetzungen der Dysarthriediagnostik sowie verschiedene Diagnostikverfahren dysarthrischer Störungen einzugehen. Die Diagnostikverfahren werden hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile diskutiert, wobei auch der Frage nachgegangen wird,

warum bisherige Programme zur akustischen Analyse im klinischen Alltag äußerst selten zum Einsatz kommen.

Im dritten Kapitel („Diagnostisches Konzept: Parameter“) erfolgt die Auswahl relevanter und aussagekräftiger Parameter zur Erfassung der Sprechstörung. Dabei liegt die Schwierigkeit vor allem darin, die Vielzahl der erfassbaren Parameter so zu reduzieren, dass ein informatives aber auch ökonomisches Messinstrument entsteht (vgl. Buder et al. 1996). Im dritten Kapitel werden dementsprechend die einzelnen Parameter hinsichtlich ihrer Relevanz diskutiert. Daran anknüpfend erfolgt die Darstellung des entwickelten Untersuchungsmaterials einschließlich der Normwerte aus bisherigen Studien.

Das vierte Kapitel beschreibt die Implementierung des Konzeptes. Dabei wird die frei erhältliche Software PRAAT (Boersma & Weenink 2008) als Grundlage genutzt, um die damit möglichen phonetischen Analysen mithilfe der enthaltenen Skriptsteuerung soweit wie möglich zu automatisieren. Es wird die Erarbeitung vierer Skripte beschrieben, die jeweils der Auswertung der zuvor entwickelten Aufgabengruppen dienen.

Das fünfte Kapitel beschreibt die Evaluation des entwickelten Verfahrens. Dabei erfolgt neben Mikrofon- und Stichprobenbeschreibung die Darstellung des Untersuchungsablaufs, die Auswertung der Sprachaufnahmen sowie die Datenanalyse und statistische Auswertung. Mittels zweier Stichproben (Normsprecher und Patienten mit unterschiedlichem Schweregrad) wurde untersucht, ob das Programm zuverlässige Messungen der ausgesuchten Parameter und somit eine spezifische Beschreibung der vorliegenden Symptome ermöglicht und ob mithilfe akustischer Parameter zwischen den beiden Gruppen bzw. zwischen einzelnen Schweregradstufen unterschieden werden kann. Die Ergebnisse der Berechnungen werden in Kapitel sechs diskutiert.

Im siebten Kapitel erfolgt eine Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse sowie ein Ausblick auf das weitere Vorhaben, die entwickelte akustische Analyse für Interessenten zugänglich zu machen, indem es als ein weiterer Baustein in das phonetische Labor (Phonlab; [www.phonlab.de](http://www.phonlab.de)) integriert wird. PhonLab ist ein modulares Online-Diagnosesystem für Patienten mit Sprechstörungen. Die dem System zugrunde liegende Idee besteht darin, die Auswertung der Diagnostik auszulagern und durch einen Application Service Provider (ASP, dt.

Anwendungsdienstleister) übernehmen zu lassen. Die Nutzung dieser Leistung erfolgt über das Internet, indem die Sprachdaten an das PhonLab geschickt, offline ausgewertet und die Ergebnisse anschließend zurück an den Nutzer geschickt werden. Dieses Verfahren wird derzeit bereits für das „Münchner Verständlichkeitsprofil“ (MVP, Ziegler & Zierdt 2008) erprobt. Das im Rahmen dieser Arbeit entstehende Programm zur Durchführung akustischer Analysen des Sprachschalls wird ein modularer Baustein des phonetischen Labors und bietet dem Anwender somit neben dem MVP eine weitere Diagnostikmöglichkeit.

## 2 DYSARTHRIE

### 2.1 Definition und Abgrenzung

*„Dysarthrien sind erworbene neurogene Sprechstörungen. Sie werden durch eine Schädigung des zentralen oder des peripheren Nervensystems verursacht und beruhen auf einer Beeinträchtigung der Steuerung und Ausführung von Sprechbewegungen.“*

Ziegler (2002, S. 1)

Der Definition zufolge resultieren die dysarthrischen Symptome aus Schädigungen der neuronalen Strukturen des zentralen Nervensystems, wobei von Seiten des peripheren Nervensystems Schädigungen peripherer Motoneurone einschließlich des neuromuskulären Übergangs ebenfalls hinzugerechnet werden. Die geschädigten Strukturen können an der Steuerung von Bewegungen der Atmungsmuskulatur, des Kehlkopfes, der velopharyngealen Muskulatur, der Zunge, der Kiefermuskulatur und der Lippen beteiligt sein. Je nach Ausmaß der Schädigung kann es zu Störungen in der Ausführung von Sprechbewegungen kommen. Zumeist ist jedoch nicht nur die Artikulation betroffen, sondern ebenfalls die Phonation und die Sprechatmung. Deshalb wird statt von Dysarthrie teilweise auch von Dysarthrophonie bzw. Dysarthrophonopneumie gesprochen (vgl. Vogel 1987; Ziegler & von Cramon 1987 in Huber 2002).

*Tabelle 1: Hauptursachen dysarthrischer Störungen (aus: Ziegler 2002)*

<b>Erkrankung</b>	<b>Prävalenz<sup>1</sup></b>	<b>Auftretenshäufigkeit dysarthrischer Symptome</b>
<b>Schädel-Hirn-Trauma</b>	ca. 100	30-50% der schweren SHT
<b>Zerebrovaskuläre Erkrankungen</b>	ca. 600	15-30% der Überlebenden
<b>Degenerative Stammganglienerkrankungen</b>		
M. Parkinson	150 - 200	75 - 90%
M. Huntington	3 - 7	80 - 90%
Steele-Richardson-Olszewski Syndrom	< 2	ca. 75%

<b>Erkrankung</b>	<b>Prävalenz<sup>1</sup></b>	<b>Auftretenshäufigkeit dysarthrischer Symptome</b>
Multisystemdegeneration	unbekannt	bis 100%
M. Wilson	ca. 3	unbekannt
<b>Degenerative Kleinhirnerkrankungen</b>		
Zerebelläre Ataxien	ca. 2	unbekannt
Friedreich'sche Ataxie	1 - 2	100%
<b>Entzündliche Erkrankungen</b>		
Multiple Sklerose (MS)	50 - 60	40-50%
<b>Erkrankungen des motorischen Neurons</b>		
Amyotrophe Lateralsklerose	4 - 6	bis 100 %
<b>Erkrankungen peripherer Nerven und des neuromuskulären Übergangs</b>		
Myasthenia Gravis	0,5 - 12,5	< 10%

<sup>1</sup> geschätzte Zahl der Erkrankten je 100 000 Einwohner

Die Einteilung der Dysarthrien kann nach verschiedenen Gesichtspunkten geschehen. Einen ersten Ansatz lieferten Darley et al. (1975), die eine Klassifikation nach auditiven Gesichtspunkten durchführten.

Ein anderer Ansatz ist die Einteilung nach dem Ort der Läsion (Poeck 1982) oder aber nach der Art der zugrunde liegenden Bewegungsstörung. Einen Überblick über die unterschiedlichen Einteilungskriterien bzw. den Versuch, diese Kriterien zueinander in Beziehung zu setzen, zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Klinisches Einteilungsschema der Dysarthrien (Huber 2002)

<b>Klinische Bezeichnung</b>	<b>typische Bewegungsstörung</b>	<b>Ort der Läsion</b>
<b>bulbär</b>	hypoton (schlaff)	Hirnstamm
<b>suprabulbär</b>	hyperton (spastisch)	absteigende motorische Bahnen, beidseitig
<b>extrapyramidal<sup>1</sup></b>	hypokinetisch (rigide)	Stammganglien, beidseitig

Klinische Bezeichnung	typische Bewegungsstörung	Ort der Läsion
	hyperkinetisch (choreatisch oder dystonisch)	
<b>zerebellär</b>	ataktisch	Kleinhirn
<b>kortikal<sup>2</sup></b>	gemischt: hypo- und hyperton	prämotorischer und motorischer Kortex und/oder absteigende motorische Bahnen, einseitig

<sup>1,2</sup> anatomisch korrektere Bezeichnungen sind Stammganglien- und Hemisphärendysarthrie (vgl. Poeck 1982)

Differentialdiagnostisch gilt es, verschiedene Abgrenzungen zu treffen. Nach Ziegler (2002) sind dabei folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Ursache: Sprechstörungen, die durch lokale Veränderungen der beteiligten Organe verursacht werden (z.B. Lippen-Kiefer-Gaumenspalten) sowie Sprechstörungen mit psychogenen Ursachen und Sprachentwicklungsstörungen werden nicht als Dysarthrie bezeichnet; Dysarthrien sind neurogenen Ursprungs.
- Erwerb: Dysarthrien treten nach Hirnschädigungen auf; Sprechstörungen im Verlauf der Sprachentwicklung zählen nicht zu den Dysarthrien.
- Modalität: Dysarthrien treten unimodal auf, d.h. die spezifische motorische Funktion des Sprechens ist betroffen; das Sprachsystem ist nicht beeinträchtigt (Abgrenzung zur Aphasie).
- Spezifität: lediglich die Ausführung der Sprechbewegungen ist gestört; die Planung und Programmierung sind intakt (Abgrenzung zur Sprechapraxie).

In jedem Fall entsteht bei Vorhandensein einer Dysarthrie auch ein Kommunikationsproblem. Die Ausprägung der Dysarthrie und des Schweregrades können dabei sehr unterschiedlich sein und von leichten Artikulationsstörungen bis zur kompletten Unfähigkeit zu verbaler Kommunikation reichen. Entscheidend für die Betroffenen ist jedoch nicht nur der objektiv erfassbare Schweregrad, sondern vor allem, wie sich die Störung auf die Möglichkeiten der

aktiven Teilhabe in allen Lebensbereichen (Beruf, Partnerschaft, Freizeitaktivitäten etc.) auswirkt. Dabei ist der subjektive Leidensdruck entscheidend.

## 2.2 Diagnostik

Die Dysarthriediagnostik kann von verschiedenen Zielsetzungen geleitet werden. Dazu zählen die Diagnose einer Dysarthrie bzw. eine Differentialdiagnose zu anderen Kommunikationsstörungen, die Bestimmung des Schweregrades und der Störungsschwerpunkte, die Ermittlung der Therapiebedürftigkeit sowie die Entwicklung individueller Therapieziele und die Planung der Therapie (vgl. Ziegler & Vogel 2002). Daneben dient die Dysarthriediagnostik der Kontrolle und Evaluation der Therapie, der Früherkennung von neurologischen Erkrankungen mit dysarthrischen Symptomen und schließlich der Ergänzung der neurologischen Differentialdiagnostik. Ein übergeordneter Aspekt der Diagnostik sollte die Erfassung der Teilhabe sein, um subjektiv relevante Zielsetzungen und Therapieschwerpunkte zu ermitteln. Im Rahmen dieser Arbeit werden jedoch ausschließlich die Diagnostikverfahren vorgestellt, die sich der Dysarthrie als Funktionsstörung auf verschiedenen Ebenen widmen. Der gesamte Aspekt der Teilhabe wird, obwohl im Alltag von erheblicher Bedeutung, hier ausgeklammert.

### 2.2.1 Diagnostikverfahren

Diagnostisch können grob zwei Ansätze unterschieden werden: die proximalen Ansätze, die darauf abzielen, isolierte Bewegungsaspekte zu erfassen und direkte Aussagen zum Störungsmechanismus zu machen und die distalen Ansätze, die integrative Aussagen über komplexere Funktionen anstreben und somit keine direkten Rückschlüsse auf den Störungsmechanismus erlauben (Ziegler 2007 und Ziegler & Vogel 2010). Einen Überblick über das Kontinuum der diagnostischen Verfahren bietet Abbildung 1 (Ziegler & Vogel 2010).

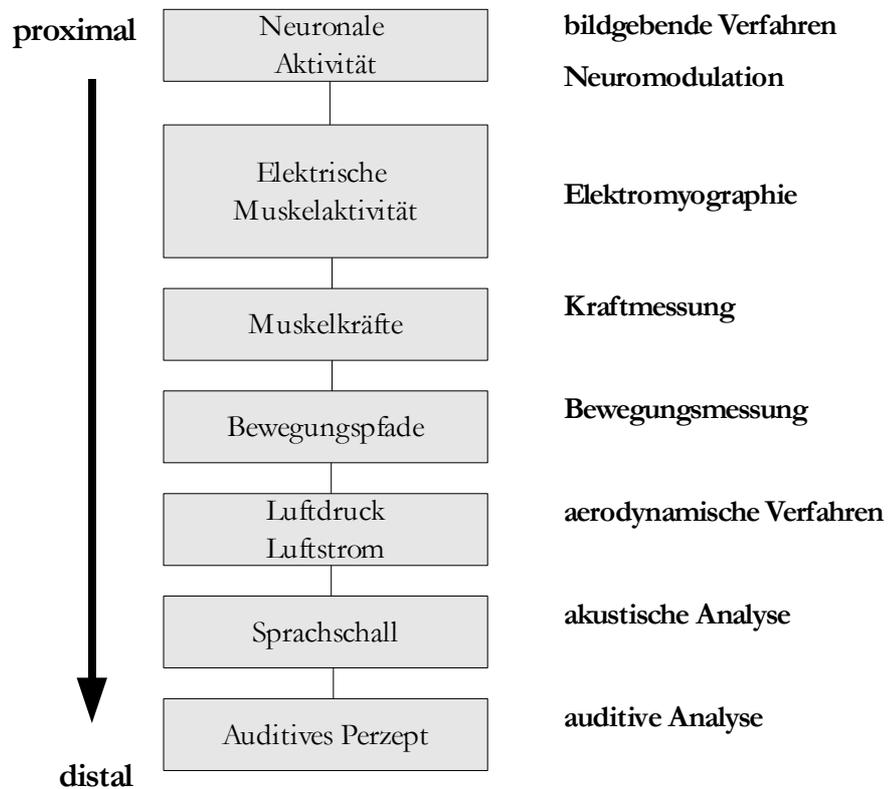


Abbildung 1: Symptomkette dysarthrischer Störungen und zugeordnete neurophonetische Untersuchungsverfahren  
(Ziegler & Vogel 2010)

Da die auditiven Verfahren am häufigsten durchgeführt werden (Forrest & Weismer 1997), wird mit der Beschreibung der distalen Ansätze begonnen.

Bei den auditiven Verfahren findet zunächst ein Anamnesegespräch statt, das Hinweise auf subjektiv empfundene Schwierigkeiten bieten kann und das die Spontansprache als wichtiges zu beurteilendes Kriterium hervorbringt. Die auditive Untersuchung wird zusätzlich durch verschiedene Aufgaben ergänzt, so dass letztendlich eine umfassende Beschreibung von Sprech- atmung, Phonation, Artikulation und Prosodie erfolgen kann.

Daneben liefert eine inspektive Untersuchung, wie sie von einigen Untersuchungsbögen gefordert wird, Aufschluss über das Aussehen der Sprechorgane und erlaubt somit Rückschlüsse über eventuelle Tonusveränderungen.

Zu den im deutschen Sprachraum gebräuchlichen auditiven Untersuchungsverfahren zählen der Untersuchungsbogen neurologisch bedingter Sprech- und Stimmstörungen (UNS, Breitenbach-Snowdon 1995), die Frenchay Dysarthrie-Untersuchung (Enderby 1991) und der Untersuchungs- und Bewertungsbogen für Dysarthrie (Robertson & Thomson 1992). Diese Verfahren beinhalten Untertests, die sprachliche und nichtsprachliche Aufgabenstellungen enthalten und somit eine breites Spektrum an Beurteilungsmöglichkeiten (z.B. Reflexe, Lippenbewegungen, Verständlichkeit) bieten. Die Bogenhausener Dysarthrieskalen (Nicola et al. 2004) hingegen bieten die Möglichkeit, ausschließlich das Sprechen zu beurteilen, während nichtsprachliche Bewegungen der am Sprechen beteiligten Muskulatur nicht begutachtet werden.

Daneben existieren zahlreiche klinikinterne nicht standardisierte Screeningverfahren, die eine grobe und qualitative Einschätzung der Fähigkeiten des Patienten ermöglichen.

Ein Untersuchungsverfahren, dessen Schwerpunkt auf der Messung der Verständlichkeit liegt, ist das Münchener Verständlichkeitsprofil (MVP, Ziegler & Zierdt 2008). Bei diesem Verfahren wird die gesamte artikulatorische Bandbreite hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Verständlichkeit untersucht. Sprechproben werden durch externe Hörer in Bezug auf die Verständlichkeit beurteilt. Das MVP wird in Form eines so genannten Application Service Providers angeboten, d.h. die Sprechproben werden elektronisch an einen zentralen Server geschickt, von dem sie von den Beurteilern zur Bearbeitung abgerufen werden können. Die Ergebnisse der Auswertung werden dann per email zurück geschickt.

Hinsichtlich akustischer Verfahren gibt es zahlreiche kostenlos erhältliche Programme, die eine Darstellung des Sprachsignals ermöglichen und die unterschiedliche Auswertungsmechanismen beinhalten. Dazu zählen beispielsweise PRAAT (Boersma & Weenink 2008), das Speech Filing System (SFS) des University College London und das Speech Analysis Tool der Summer Institute of Linguistics (SIL), um nur einige zu nennen. Die Nachteile dieser Programme liegen darin, dass der Anwender über umfassendes Fachwissen hinsichtlich akustischer Analysen verfügen muss und die Auswertung häufig manuelle Segmentierungen des Sprachsignals beinhaltet, woraus sich ein hoher zeitlicher Aufwand ergibt. Aus diesen Gründen werden die Programme im klinischen Alltag kaum eingesetzt.

Kostenpflichtige Programme aus dem englischsprachigen nordamerikanischen Raum sind z.B. Cspeech (Paul Milenkovic), CSRE (Canadian Speech Research Environment; Donald Jamieson) ILS-PC (Interactive Laboratory System; Signal Technology Inc.), MSL (Micro Speech Lab, Software Research), Kay Elemetrics Computerized Speech Lab (CSL), und das MacSpeech Lab II (GW Instruments) Einen Überblick über die Eigenschaften und Auswertungsmöglichkeiten der einzelnen Programme bieten Read et al. (1990 und 1992).

Im deutschsprachigen Raum bietet das Programm MoDiaS (Modulares Diagnostiksystem, Merk & Ziegler 1999) dem Anwender die Möglichkeit, eine umfassende akustische Analyse neurogener Sprechstörungen durchzuführen. Das Programm umfasst die Module Sprechgeschwindigkeit, Konsonanten- und Vokalartikulation sowie Stimmqualität und kann individuelle Störungsschwerpunkte des Patienten ermitteln. Zwar reduziert der enthaltene Segmentierungsalgorithmus die manuelle Bearbeitung des Signals erheblich, in vielen Fällen ist nichtsdestotrotz eine zusätzliche Überprüfung der Daten auf Plausibilität und eine Nachbearbeitung notwendig. Insofern eignet sich MoDiaS vor allem für Forschungsarbeiten, bei denen Experten die Auswertung vornehmen, jedoch weniger für die Auswertung im klinischen Alltag, da der Anwender über phonetisches Fachwissen verfügen muss.

Neben den bisher beschriebenen distalen Verfahren existieren die eher proximalen Verfahren. Dazu gehören verschiedene technische Verfahren, die Aufschluss über Veränderungen physiologischer Muster geben können. Zu diesen Verfahren zählen z.B. die Elektromyographie (EMG), mit der die elektrische Aktivität bei der muskulären Innervierung erfasst werden kann (vgl. Gröne 2002). Eine technische Untersuchung der Artikulation dient dazu, die nicht sichtbaren Bewegungen beispielsweise der Zunge erkennbar zu machen. Dies kann durch Dehnungsmessstreifen (DMS), Elektropalatographie (EPG), elektromagnetische Artikulographie (EMA), Ultraschall- und Röntgenuntersuchung oder Magnetresonanztomographie (MRT) erfolgen. Die Untersuchung der Phonation kann neben Ultraschall auch durch die Elektrolottographie oder die Laryngoskopie erfolgen. Detaillierte Beschreibungen der Verfahren sind bei Gröne (2002) sowie Baken und Orlikoff (2000) zu finden.

### 2.2.2 Vor- und Nachteile der Diagnostikverfahren

Die Vorteile einer auditiven Analyse liegen darin, dass der Untersucher eine umfangreiche Analyse von Sprachmaterial (z.B. Spontansprache, Nachsprechen von Lauten, Wörtern und Sätzen etc.) mit geringem technischen Aufwand durchführen kann, da für die auditive Analyse lediglich Mikrofon und Aufnahmegerät benötigt werden.

Die Nachteile der auditiv-perzeptuellen Diagnostik liegen vor allem darin, dass bestimmte Parameter nicht präzise erfasst und quantifiziert werden können, die für die Diagnostik wichtige Informationen bieten könnten. So kann beispielsweise ein Stimmzittern ohne eine Auswertung der akustischen Eigenschaften nicht ausreichend beurteilt werden; auch stellen leichte Dysarthrien ein besonderes Problem hinsichtlich der Therapieevaluation dar. Eine geringfügige Veränderung der Sprechgeschwindigkeit ist auditiv nur schwer messbar. An dieser Stelle besteht Ergänzungsbedarf durch Methoden, die den Sprachschall hinsichtlich akustischer Parameter auswerten, interpretieren und auch kleinste Veränderungen abbilden und quantifizieren können.

Kritisch zu bewerten ist die Abhängigkeit der auditiv-perzeptuellen Diagnostik von subjektiven Urteilen des Untersuchers. Damit ist sowohl die Diskrepanz zwischen Urteilen unterschiedlicher Untersucher gemeint als auch die unterschiedliche Einschätzung der Leistungen des Patienten bei mehreren Testungen durch einen Untersucher (Therapieevaluation). Durch Gewöhnung an die Sprechweise des Patienten kann die Verständlichkeit höher eingestuft werden als sie tatsächlich ist während umgekehrt manche Therapiefortschritte so gering sein können, dass eine auditive Quantifizierung nicht möglich ist.

Ein weiterer kritischer Punkt liegt darin, dass auch bei diesen Verfahren die Auswertung Zeitaufwand erfordert, der im Klinikalltag in der Regel begrenzt ist. Hier erscheint die Möglichkeit einer externen Auswertung, die schnell und zuverlässig Ergebnisse liefert, als sinnvolle Alternative.

Die akustischen Analyseverfahren bieten dagegen den Vorteil, dass die Auswertung nicht durch subjektive Faktoren verfälscht werden kann. Positiv ist außerdem festzuhalten, dass die Anwendung nicht invasiv ist und somit einerseits Unannehmlichkeiten für den Patienten beim

Sprechen vermieden werden, andererseits das Signal unverfälscht bleibt, weil keine störenden Messinstrumente platziert werden müssen.

Das akustische Signal kann als Resultat verschiedener respiratorischer, laryngealer und artikulatorischer Prozesse angesehen werden. Dementsprechend kann es über Störungen auf unterschiedlichen Ebenen Auskunft geben. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Schallwelle alle motorischen Aktivitäten widerspiegelt und somit wenig physiologische Spezifität aufweist. Dieser Nachteil kann durch eine gezielte Aufgabenauswahl teilweise kompensiert werden.

Wie auch im Rahmen der auditiven Analyse sind technische Geräte notwendig, die bestimmten Anforderungen genügen müssen, um ein auswertbares Signal aufzunehmen. Hierbei handelt es um ein Mikrofon sowie ein Aufnahmegerät in Form eines Computers, eines Minidisc-Players oder eines DAT-Rekorders. Im Vergleich zu anderen technischen Untersuchungsverfahren (z.B. Elektropalatographie) ist die akustische Analyse preisgünstiger und weniger aufwändig für Untersucher und Patient.

Die proximalen Verfahren bieten den Vorteil, sehr spezifisch einzelne Funktionen überprüfen zu können. Der Nachteil liegt in der erschwerten Interpretation der Daten aufgrund starker intra- und interindividueller Variabilität und dem Mangel an gesicherten Normwerten (Gröne 2002). Die Anwendung ist aufwändig und wird im klinischen Alltag selten praktiziert.

### 3 DIAGNOSTISCHES KONZEPT: PARAMETER

Die Auswahl der Parameter für eine automatisierte akustische Analyse ist von verschiedenen Kriterien abhängig. Dazu zählen klinische Relevanz sowie die Gütekriterien, denen wissenschaftliche Messmethoden genügen müssen.

Klinische Relevanz bedeutet, dass die Parameter aussagekräftig sind hinsichtlich der Zielsetzung der Diagnostik (vgl. 2.2 Diagnostik). Aufgrund der vielfältigen Störungsmerkmale der Dysarthrien erfordert eine akustische Auswertung sorgfältig ausgewählte Sprechproben, die Aussagen über die Funktionalität der Respiration, Phonation, Artikulation und Prosodie ermöglichen. Diese Erfassung der einzelnen Funktionsbereiche wird im Folgenden ausführlich beschrieben.

Um eine Standardisierung der Verfahren zu erreichen, müssen die testpsychologischen Gütekriterien erfüllt werden. Dazu zählen Objektivität, Reliabilität und Validität.

Das Kriterium der Objektivität besagt, dass die Ergebnisse unabhängig vom Untersucher und der Untersuchungssituation sind. Durch die standardisierte Vorgabe definierter Sprechproben, durch Angaben zur technischen Umsetzung der Aufnahme und durch präzise Instruktionen soll der Einfluss des Untersuchers so gering wie möglich gehalten werden. Hinzu kommt, dass die externe Auswertung, die standardisiert und zu großen Anteilen automatisch abläuft, eine Beeinflussung der Ergebnisse verhindert.

Die Reliabilität beschreibt die Zuverlässigkeit der Messmethode. Das bedeutet, dass bei wiederholter Messung unter denselben Bedingungen das gleiche Ergebnis erzielt wird. Dieser Punkt ist von großer Bedeutung, denn ohne diese Prämisse wären Versuche einer Therapieevaluation zum Scheitern verurteilt. Da es sich hierbei um eine akustische Analyse handelt, ist außerordentlich wichtig, mögliche Störfaktoren wie z.B. Hintergrundgeräusche und Wahl des Mikrofons als potentielle Einflussfaktoren auf die Reliabilität auszuschließen.

Das Kriterium der Validität beschreibt die Zuverlässigkeit, mit der ein Test das misst, was er zu messen vorgibt. Um diesem Kriterium gerecht zu werden, erfolgt eine sorgfältige Überprüfung bisheriger akustischer Untersuchungen dysarthrischer Patienten. Dies dient der Ermittlung relevanter Parameter, um alle möglichen Störungsaspekte zu erfassen. Mit Hilfe auditiver

Diagnostik als Außenkriterium kann festgestellt werden, ob die akustische Auswertung dieselben Auffälligkeiten widerspiegelt.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass beim Sprechen in vielen Bereichen erhebliche interindividuelle Unterschiede bestehen. Dementsprechend dürfen geschlechts- und altersspezifische Unterschiede nicht als pathologisch eingestuft werden. Zudem muss die akustische Analyse über einen soliden und robusten Auswertungsmechanismus verfügen, damit die Störanfälligkeit möglichst gering gehalten wird.

Es bleibt weiter zu berücksichtigen, dass es auch zwischen den messbaren Parametern zu Interaktionen kommen kann. Die Formantlagen können beispielsweise Einfluss sowohl auf die Messung der Stimmqualität als auch auf die Erfassung der Nasalität haben; die Messung der Voice Onset Time (VOT) ist von der Artikulationsschärfe abhängig.

### 3.1 Phonation

Stimmstörungen sind ein häufiges Symptom bei Dysarthrie (Darley, Aronson & Brown 1969, Duffy 1995). Die auftretenden Defizite sind vielfältig und reichen von verminderter Lautstärke oder Stimmzittern bis zu Heiserkeit oder gar Aphonie, um nur einige zu nennen. Sie führen zu beeinträchtigter Leistungsfähigkeit und reduzierter Klangqualität der Stimme, so dass die lautsprachliche Kommunikation gestört wird, worunter auch die sozialen Beziehungen leiden können (vgl. Wendler et al. 1996). Daher ist die Beurteilung der stimmlichen Leistungen ein wichtiger Aspekt der Dysarthriediagnostik und Verlaufskontrolle.

Die auditiv-perzeptuelle Beurteilung der Phonation bringt in vielen Fällen Schwierigkeiten mit sich. Diese liegen zum einen in der fragwürdigen Validität und der Unterschiedlichkeit der Skalen, die zur Erfassung der Stimmqualität genutzt werden. Die bisherigen Diagnostikskalen (vgl. z.B. RBH-Skala von Nawka et al. 1994 und GRBAS von Hirano 1981) konnten sich nicht vollständig durchsetzen. Zum anderen liegen die Schwierigkeiten in der Reliabilität, mit der unterschiedliche Hörer eine Stimme beurteilen. Kreimann und Gerratt (1996) konnten in einer Studie eindrucksvoll nachweisen, dass Hörerbeurteilungen pathologischer Stimmen durch

Experten derartige Unterschiede aufwiesen, dass eine Standardisierung perzeptueller Merkmale zur Beurteilung der Stimmqualität nicht möglich war.

Die Stimmanalyse mittels akustischer Verfahren bietet die Möglichkeit einer validen parametrischen Darstellung (vgl. Kreimann & Gerratt 1996) sowie die Erhöhung der Messreliabilität durch die Objektivität des Auswertungsverfahrens.

Die Schwierigkeit der akustischen Stimmanalyse liegt nun vor allem darin, die akustischen Korrelate der auftretenden Störung zu identifizieren, zu erfassen und zu quantifizieren. Bisherige Studien untersuchten die Beziehung zwischen perzeptueller Beurteilung der Stimme und akustischen Messungen. Die Vorgehensweise bestand zum einen darin, die Korrelation zwischen einzelnen akustischen Variablen und der perzeptuellen Beurteilung zu quantifizieren (z.B. Askenfeld & Hammarberg 1986, Hillenbrand et al. 1994, Kreimann et al. 1994), zum anderen in der Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Kombinationen mehrerer akustischer Variablen und perzeptuellen Beurteilungen (z.B. Eskenazi et al. 1990, Wolfe et al. 1995). Die Ergebnisse sind oft uneindeutig und teilweise widersprüchlich, daher konnten bislang keine akustischen Korrelate für Stimmqualitätsmerkmale ermittelt werden (Wuyts et al. 2000, p. 797).

Da die Beurteilung der Stimmqualität besonders empfindliche Messungen erfordert und zudem außerordentlich störanfällig ist, gilt es, die beeinflussenden Faktoren möglichst gut zu kontrollieren. Dazu gehört die Berücksichtigung von intraindividuelle Variabilität, Geschlecht und Alter. Auch technische Gegebenheiten wie Art und Qualität des Mikrophons, Datenerfassungssystem, Umgebungsgläusche und Auswertungssoftware können die Auswertung beeinflussen (vgl. Deliyski et al. 2006).

Für die Beurteilung der Phonation stehen verschiedene Parameter zur Verfügung. Im Folgenden werden einige beschrieben, die in den Untersuchungsverfahren üblicherweise beurteilt werden und sich für die akustische Auswertung eignen.

### 3.1.1 Maximale Phonationsdauer

Die maximale Phonationsdauer, gemessen an einem möglichst lange ausgehaltenen Vokal, ermöglicht eine Grundorientierung der stimmlichen Leistungsfähigkeit (vgl. Hirano 1981) sowie der Länge der Expiration beim Phonieren.

Die durchschnittliche maximale Phonationsdauer unterliegt starken interindividuellen Schwankungen in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter. Die Angaben verschiedener Autoren variieren allerdings auch innerhalb einer Altersklasse beträchtlich (z.B. Bless & Hirano 1982b sowie Kreul 1972 in Kent et al. 1987). Außerdem gibt es Unterschiede zwischen Sängern und Nichtsängern, die auf einen Trainingseffekt zurückzuführen sind.

Böhme (2003) gibt die maximale Tonhaldedauer für Frauen im Bereich zwischen 15 und 25 Sekunden an, während Männer Werte von 25-35 Sekunden erreichen. Die Schwelle zur Pathologie geben Ziegler et al. (1990), wie bereits beschrieben, für Frauen mit einer Dauer unter 10 Sekunden (Männer: 12 Sekunden) an. Mit zunehmendem Alter sinken die Werte (vgl. Baken & Orlikoff 2000 S. 371).

Als Konsens gilt, dass eine maximale Phonationsdauer von unter 10 Sekunden als pathologisch angesehen werden kann (Wendler et al. 1996, Böhme 2003, Ziegler et al. 1990).

### 3.1.2 Stimmqualität

Bei der perzeptuellen Beurteilung des Stimmklangs wird unterschieden zwischen Heiserkeit, Behauchung und Rauigkeit. Es ist bisher weder gelungen, eindeutige akustische Korrelate für diese Charakteristika und den Schweregrad (vgl. Wolfe et al. 1995) zu finden, noch lieferten die Studien konsistente Ergebnisse. Dies liegt an verschiedenen Faktoren, wie z.B. der Multi-dimensionalität der Stimme, dem häufigen gemeinsamen Auftreten der pathologischen Merkmale sowie an uneinheitlicher Durchführung der akustischen Analyse in den einzelnen Studien. Insofern kann die Kombination akustischer Parameter bestmöglich Hinweise auf das Vorliegen einer bestimmten Pathologie liefern.

Die Analyse des Stimmklangs wird an gehaltenen Vokalen vorgenommen. Als Parameter für die Beurteilung der Stimmqualität eignen sich gehaltene Vokale vor allem deshalb, weil die

Erfassung schnell und einfach und die im Vergleich zu gesprochener Sprache einfache akustische Struktur verlässlicher auszuwerten ist. Zudem fällt die Beurteilung der Stimmqualität (gehaltene Vokale vs. gesprochene Sprache) durch Hörer ähnlich aus (de Krom 1995), was eine mögliche Verfälschung der Beurteilung durch die unterschiedlichen Aufgabenstellungen reduziert.

Nach Wendler et al. (1996) werden alle Stimmklänge mit pathologischen Geräuschanteilen als heiser bezeichnet. Ursächlich wird zwischen Behauchung und Rauigkeit unterschieden.

Behauchung entsteht durch unmodulierte Ausatemluft bei unvollständigem oder fehlendem Glottisschluss und weist auf eine Schlusschwäche der Stimmlippen, Rigidität der Adduktoren oder Asymmetrie der Stimmlippenspannung und/oder der Adduktoren hin. Behauchung ist ein häufiges Symptom bei organischen und funktionellen Stimmstörungen (Aronson 1990).

Bezüglich des akustischen Korrelats von Behauchung finden sich uneinheitliche Ergebnisse. Häufig wurden Beurteilungen von Stimmen vorgenommen, die sich lediglich auf einen Aspekt der Qualität konzentrierten, während sich beispielsweise die Beurteilung von Rauigkeit und Behauchung durchaus gegenseitig beeinflussen können (Kreimann et al. 1994). Kreimann et al. (1994) bemerkten diesbezüglich kritisch, dass "a given vocal quality cannot be evaluated reliably out of the context of other qualities a voice may possess."

Generell wird ein Zusammenhang zwischen Behauchung und der Amplitude der ersten Harmonischen sowie dem Vorhandensein von Aspirationsgeräuschen (vgl. Hillenbrand et al. 1994) angenommen. Hillenbrand (1994) sowie Klatt & Klatt (1990) konnten nachweisen, dass die besten Prädiktoren für wahrgenommene Behauchung die Bestimmung der Amplitude der ersten Harmonischen und die Bestimmung der Periodizität in band-gefilterten Signalen sind. Der H/N-Quotient in bandpass-gefilterten Signalen (400-2000 Hz bzw. 2000-5000 Hz) konnte als Prädiktor für wahrgenommene Behauchung dienen (de Krom 1995).

Martin et al. (1995) konnten den Schweregrad der Behauchung nur durch eine Kombination des Auftretens von weniger Jitter, einem höheren Anteil von Shimmer und einem niedrigeren H/N-Quotient vorhersagen.

Hillenbrand & Houde (1996) untersuchten die Periodizität des Signals, die Amplitude der ersten Harmonischen sowie die spektrale Neigung und konnten feststellen, dass die Periodizität bei gehaltenen Vokalen die genauesten Vorhersagen für wahrgenommene Behauchung lieferte.

Rauigkeit entsteht durch Irregularitäten im Schwingungsablauf in Bezug auf Frequenz (Jitter), Amplitude (Shimmer) oder Phasenverhältnisse. Diese Irregularitäten aufeinander folgender Schwingungszyklen bei gehaltenen Vokalen liefern Hinweise auf Stimmcharakteristika gesunder und pathologischer Stimmen (Koike 1969 in Horii 1980, Askenfelt & Hammarberg 1986). Auch zur Früherkennung laryngealer Erkrankungen konnte die Bestimmung von Jitter- und Shimmerwerten beitragen (Lieberman 1963, Crystal et al. 1970 in Horii 1980). Einen weiteren Hinweis auf Heiserkeit kann die Ermittlung des H/N-Quotienten darstellen.

Im Folgenden werden Jitter, Shimmer und H/N-Quotient beschrieben.

#### Jitter (Frequenzperturbation)

Jitter misst die kurzfristigen Schwankungen der Grundfrequenz und stellt dar, inwiefern sich aufeinander folgende Perioden voneinander unterscheiden. Es liefert somit den Grad der Frequenzstörung bzw. einen Index für die Stabilität des phonatorischen Systems (vgl. Baken 2000).

Die Entstehung von Jitter kann auf neurogene, aerodynamische und mechanische Ursachen zurückgeführt werden.

Zu den neurogenen Ursachen zählt beispielsweise eine fehlerhafte Integration der exzitatorischen Reize der Motoneurone, die zu einer kurzfristigen Veränderung des Muskeltonus führt (Titze 1991). Aerodynamische Ursachen für Jitter liegen im unregelmäßigen Verhalten der Luftimpulse, die durch die Glottis abgegeben werden. Veränderungen der biomechanischen Eigenschaften der Stimmlippen, d.h. Veränderungen der Masse oder der Gewebestruktur, werden als mechanische Ursachen bezeichnet (Jiang et al. 1994).

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass Jitter ein physikalisches Korrelat von wahrgenommener Heiserkeit sein kann (z.B. von Leden et al. 1960, Dunker & Schlosshauer 1961, Lieberman 1963, Deal & Emanuel 1978, Yumoto et al. 1984). In einer Studie von Ziegler et al. (1990)

konnte Jitter am besten das Vorhandensein des perzeptuellen Merkmals „gepresste Stimme“ widerspiegeln, während Ackermann et al. (1994) für vier zentralmotorische Erkrankungen (M. Parkinson, Chorea Huntington, Friedreich'sche Ataxie, zerebelläre Atrophie) erhöhte Jitterwerte nachweisen konnten und diese als akustisches Korrelat wahrgenommener Stimmrauigkeit interpretierten.

In anderen Studien wurde die Aussagekraft von Jitter in Frage gestellt, da anhand der Jittermaße nicht zwischen den Patienten und der Kontrollgruppe unterscheiden werden konnte (Ludlow et al. 1983) bzw. nicht zwischen unterschiedlichen neurologischen Krankheitsbildern differenziert werden konnte (Zwirner et al. 1991).

Die Erfassung von Jitter kann über verschiedene Messungen erfolgen. Da es sich um eine leicht beeinflussbare Variable handelt, z.B. durch Hintergrundlärm, werden mehrere Jittermaße erfasst. Um den Einfluss von gewollten oder ungewollten Grundfrequenzschwankungen wie z.B. Ansteigen oder Abfallen der Tonhöhe zu vermeiden, sollte ein relativer Werte gewählt werden (vgl. Jacob 1968, Hollien et al. 1973, Horii 1979 in Horii 1980). Die Relative Average Perturbation (RAP, vgl. Koike 1973 in Baken 2000) bietet sich dafür an und definiert sich laut Boersma & Weenink (2008) als

*„the average absolute difference between a period and the average of it and its two neighbours, divided by the average period. MDVP<sup>1</sup> gives 0.680% as a threshold for pathology.“*

Ein zweites Jittermaß ist der „lokale“ Jitter, den Boersma & Weenink (2008) beschreiben als

*„...the average absolute difference between consecutive periods, divided by the average period. MDVP (...) gives 1,040 % as a threshold for pathology.“*

Kent et al. (1987) geben an, dass der Jitteranteil bei Gesunden im Schnitt 1 % beträgt.

Als weiteres Maß für Jitter wurde die Variable Jitter PPQ gewählt, die Boersma & Weenink (2008) folgendermaßen definiert:

*„This is the five-point Perriod Perturbation Quotient, the average absolute difference between a period and the average of it and its four closest neighbours, divided by the average period. MDVP call this parameter PPQ, and gives 0,840% as threshold for pathology.“*

---

<sup>1</sup> Multi-Dimensional Voice Program von Kay Elemetrics

Die Erfassung mehrerer Jittermaße kann Aufschluss darüber geben, welches Maß sich als am zuverlässigsten messbar ist.

Die für eine Analyse mindestens erforderliche Äußerungslänge, d.h. die Anzahl aufeinander folgender Perioden wird von Titze et al. (1987) bei gesunden Stimmen mit 30 angegeben. Bei pathologischen Stimmen erfordert eine präzise quantitative Auswertung der Dysfunktion mehr als 30 Perioden. Baken (2000 S. 195) schlägt als geeigneten Wert für die Routineanwendung 110 konsekutive Zyklen vor.

### Shimmer (Amplitudenperturbation)

Shimmer quantifiziert kurzfristige Amplitudenschwankungen aufeinander folgender Perioden der Grundfrequenz und spiegelt somit wie Jitter phonatorische Instabilität wider.

Shimmer wurde noch nicht so umfassend erforscht wie Jitter, daher herrscht noch Uneinigkeit, welche Beziehung zwischen Shimmer und Stimmstörungen (vgl. Baken 2000 S. 130) besteht.

Bei einer Untersuchung der ataktischen Dysarthrie (Kent et al. 2000) wiesen die Shimmer Werte einen hohen Anteil an Abweichungen auf.

Martin et al. (1995) konnten nachweisen, dass eine signifikante Korrelation zwischen Shimmer und dem Schweregrad bei perzeptuell als rau klassifizierten Stimmen bestand (vgl. auch Ziegler et al. 1990). Wolfe, Fitch und Cornell (1995) konnten in einer Studie zeigen, dass von den untersuchten akustischen Parametern die engste Korrelation zwischen Shimmer und dem Schweregrad der Dysphonie bestand.

Horii (1980) gab in einer Studie einen durchschnittlichen Shimmerwert für Männer von 0,39 dB und einen kritischen Wert von 0,98 dB an; bei Kent et al. (1987) betragen die Shimmerwerte bei gehaltenen Vokalen im Durchschnitt 0,5 dB.

Obwohl für Shimmer-Werte bislang keine eindeutige Zuordnung zu Aspekten der Stimmstörung besteht, normalisieren sich die Werte mit abklingender laryngealer Pathologie (vgl. Verdolini-Marston et al. 1994).

### Harmonics to Noise Ratio (H/N-Quotient)

Der H/N-Quotient wird durch die Bestimmung des relativen Anteils von harmonischen Schwingungen zum Geräuschanteil bei der Vokalphonation ermittelt (Yumoto 1982) und ermöglicht ebenfalls Rückschlüsse auf die Stimmqualität (Forrest & Weismer 1997). Durch den H/N-Quotienten kann der Grad an „Verschmutzung“ der periodischen Anteile durch Geräusche ausgedrückt werden. Verschiedene Studien haben sich mit der Aussagekraft des H/N-Quotienten befasst und konnten Korrelationen zwischen perceptuellen Ratings der Stimmqualität und den jeweiligen Messungen nachweisen, daher eignet sich die Erfassung des H/N-Quotienten für die akustische Beurteilung von Dysarthrien (vgl. Kent et al. 1999, p.151). Yumoto et al. (1982, 1984) konnten beispielsweise einen engen Zusammenhang zwischen perceptueller Beurteilung der Stimme hinsichtlich Heiserkeit und des H/N-Quotienten nachweisen; Martin et al. (1995) gelang dies hinsichtlich der Ausprägung von Rauigkeit. Eskenazi, Childers & Hicks (1990) sowie Ramig, Scherer, Klasner, Titze & Horii (1990) konnten feststellen, dass der H/N-Quotient einen besonders wirksamen Index des allgemeinen Schweregrades der Stimmstörung darstellt und nach de Krom (1995) kann der H/N-Quotient in band-gefilterten Signalen (400-2000 Hz bzw. 2000-5000 Hz) als Prädiktor für wahrgenommene Rauigkeit und Behauchung fungieren. Ziegler et al. (1990) konnten für den H/N-Quotienten eine Vorhersagekraft hinsichtlich des Auftretens einer perceptuell als behaucht wahrgenommenen Stimme nachweisen.

### 3.1.3 Intensität

Die Messung der Intensität beim Sprechen kann Hinweise auf einen Intensitätsabfall liefern, der in einem Energieverlust während des Sprechens, des Haltens eines Vokals oder der Dia- dochokinese besteht und besonders häufig bei Patienten mit Morbus Parkinson auftritt (Ho et al. 2001, Kent & Kim 2003, p. 431, Rosen et al. 2005).

Die Messung der absoluten Werte der Intensität erfolgt mit einem Schallpegelmessgerät und ist mit dem PC nur nach vorheriger Kalibration zu realisieren. Der Verlauf der Intensitätskurve kann jedoch relativen Intensitätsverlust zeigen (vgl. Keller et al. 1991) bzw. der intraindividuelle

Vergleich zweier Werte kann Rückschlüsse über die Umsetzung von Betonungsmustern erlauben.

Ein Verfahren, das speziell darauf abzielt, die Symptomatik abnehmender Intensität bei Parkinsonpatienten zu verbessern, stellt das Lee Silverman Voice Treatment (LSVT) dar, das 1987 von Ramig und Mead-Bonitati entwickelt wurde. Unter Anwendung dieses Verfahrens konnten Ramig et al. (2001a) im Rahmen einer Therapiestudie nachweisen, dass das Sound Pressure Level (SPL) der Patienten nach der Therapie mit dem LSVT im Schnitt um 8 dB höher lag als vor Beginn. Eine Überprüfung nach sechs Monaten ergab immer noch Werte, die durchschnittlich um 6 dB höher lagen, als vor der Behandlung; beide Ergebnisse unterschieden sich signifikant von denen vor der Behandlung. Eine anhaltende Wirkung des LSVT konnte auch zwei Jahre nach der Behandlung noch nachgewiesen werden (Ramig et al. 2001b).

Die Messung und Auswertung der Intensität bestehen in der Betrachtung des zeitlichen Verlaufs der dB-Werte sowie des Vergleiches bestimmter Silben.

#### 3.1.4 Sprechstimmlage

Als Sprechstimmlage oder Indifferenzlage wird die Tonhöhe bezeichnet, um die sich die Stimme beim Sprechen bewegt (Wendler et al. 1996). Die Frequenz der Sprechstimmlage weist für Männer, Frauen und Kinder unterschiedliche Werte auf. Böhme (2003) gibt für Männer Werte zwischen 98-131 Hz und für Frauen Werte zwischen 196-262 Hz an.

Interindividuell bestehen große Unterschiede hinsichtlich der Sprechstimmlage, so dass eine Beurteilung streng genommen nur bei Kenntnis der prämorbidem Sprechstimmlage geschehen kann. Grobe Abweichungen können jedoch auch durch einen Vergleich mit der Norm erfasst werden.

Die Sprechstimmlage kann bei Dysarthrien systematisch verändert sein (vgl. Ludlow & Bassich 1983), was pathophysiologisch auf veränderte Spannungsverhältnisse der intrinsischen Kehlkopfmuskulatur zurückzuführen ist (Ziegler et al. 1990, p. 66). Schlenck, Bettrich und Willmes (1993) konnten für schwere Dysarthrien eine erhöhte Sprechstimmlage feststellen, die sich signifikant von der mittleren Sprechstimmlage bei leichten Dysarthrien und Norm-

sprechern unterschied. Auch Ziegler et al. (1990) berichten von einer Tendenz zur Erhöhung der Sprechstimmlage bei dysarthrischen Patienten unabhängig von Ätiologie und Dysarthriesyndrom.

### 3.1.5 Stimmstabilität

Stimmstabilität bezieht sich auf die Fähigkeit, die Phonation über einen bestimmten Zeitraum hinweg konstant zu halten. Bei pathologischen Stimmen kann es zu unwillkürlichen Stimmabbrüchen kommen bzw. zu Schwankungen der Grundfrequenz, z.B. als Ausdruck der gestörten neuro-muskulären Kontrollleistung (vgl. Schultz-Coulon 1980).

Zwirner et al. (1991) konnten zeigen, dass von verschiedenen akustischen Parametern die Schwankungen der Grundfrequenz, d.h. die Standardabweichung von  $F_0$ , einen geeigneten Parameter zur Differenzierung neuropathologischer Gruppen bietet.

Neben Schwankungen der Grundfrequenz können Stimmabbrüche erfasst werden. Bei physiologischer Phonation sind beim Halten eines Vokals keine Stimmabbrüche festzustellen, während dies bei pathologischer Phonation durchaus der Fall sein kann. Um diese Stimmabbrüche zu quantifizieren, wird die Anzahl der Stimmabbrüche und der Grad an Stimmabbrüchen erfasst.

Der Stimmtremor, der bei verschiedenen neurologischen Erkrankungen zu beobachten ist (z.B. bei Parkinson oder Multiple Sklerose) kann im Rahmen einer akustischen Analyse präziser erfasst und quantifiziert werden als perzeptuell. Die Ermittlung der Tremorfrequenz bietet differentialdiagnostisches Potential. Hartelius et al. (1997) unterscheiden in ihrer Studie zur langfristigen phonatorischen Stabilität bei Multipler Sklerose zwischen den Tremorarten Wow (1–2 Hz), Tremor (um 8 Hz), und Flutter (17–18 Hz). Auch andere neurologische Krankheitsbilder weisen mehr oder weniger charakteristische Tremorfrequenzen auf. Während es sich bei Multipler Sklerose um einen sehr niedrigfrequenten Tremor, also einen Wow, handeln kann (Hartelius et al. 1997), liegt die Tremorfrequenz bei Morbus Parkinson zwischen 5-9 Hz und bei zerebellären Erkrankungen im Bereich zwischen 3-7 Hertz (vgl. z.B. Ackermann & Ziegler,

1991, Ackermann et al. 1994). Noch höhere Frequenzen weisen Patienten mit Amyotropher Lateralsklerose (ALS) auf (Aronson, Ramig, Winholtz, & Silber, 1995).

Kent et al. (2000) konnte auch für die ataktische Dysarthrie als auffälliges Merkmal Fluktuationen der Grundfrequenz und ihrer Standardabweichung nachweisen.

### 3.1.6 Variablenauswahl und Normwerte

#### Maximale Phonationsdauer

Die maximale Haltedauer (maximum phonation time, MPT) wird für die Vokale [a], [i] [y], und [u] erfasst. Um spezifische Schwierigkeiten bei der Bildung zu erfassen, ist die Aufnahme verschiedener Vokale erforderlich. Die Durchführung erfolgt mit der Instruktion, den jeweiligen Vokal auf einen Atemzug solange wie möglich zu halten, wobei auch erwähnt wird, dass der Ton vom Patienten selbst gewählt wird und eine angenehme Höhe haben sollte.

Die in der Literatur angegebenen Normwerte weisen Unterschiede in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Übung auf. Es wird ein starker Übungseffekt beschrieben (Kent et al. 1987), der eine Durchführung von 10 Aufnahmen erfordern würde, um die tatsächliche Maximalleistung des Patienten messen zu können. Da dies für den klinischen Alltag zu zeitaufwändig ist, muss bei weniger Aufnahmen berücksichtigt werden, dass es sich dabei möglicherweise nicht um die maximal mögliche Leistung handelt. Der Übungseffekt kann durch besonders sorgfältige Instruktionen und Ermunterung zu der Aufgabe teilweise kompensiert werden (Bless & Hirano 1982).

Bei der Auswertung der gehaltenen Vokale ergeben sich folgende Variablen:

- Dauer in Sekunden
- F0 in Hertz und Variationskoeffizient
- F1, F2 und F3 in Hertz mit Variationskoeffizienten
- mittlere Intensität in Dezibel mit Variationskoeffizient
- Jitter lokal und Jitter RAP (relative average perturbation)

- Shimmer
- Stimmabbrüche
- H/N-Quotient
- Tremorfrequenz

Die erhobenen Variationskoeffizienten beziehen sich jeweils auf die Variabilität innerhalb eines Items; es ergibt sich also pro Vokal jeweils ein Variationskoeffizient für F0, F1-3 und die Intensität.

In der Literatur gibt es zahlreiche Angaben über die maximale Phonationsdauer. Einige davon sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Normwerte: maximale Tonhaldedauer von /a/ (Kent et al. 1987)

Quelle	Geschlecht und Alter	MPT (sec)	SD	Spanne	Variationskoeffizient
Kreul (1972)	M (65-75 J.)	14,6	5,9	-	0,4
	F (66-93 J.)	14,6	5,8	-	0,4
Ptacek (1966)	M (68-89 J.)	18,1	6,6	10,0- 37,2	0,36
	F (66-93 J.)	14,2	5,6	7,0- 24,8	0,39
Müller (1971)	M (51-65 J.)	13	-	-	-
	F (49-72 J.)	15,4	-	-	-
Müller (1982)	M (85-92 J.)	13	-	7,0- 12,0	-
	F (85-96 J.)	15,4	-	6,0- 18,0	-
Ziegler (1990, 2002)	M	12			
	F	10			
	16-50 Jahre	>12			
	> 50 Jahre	>10			

Die Normwerte beziehen sich auf die Haltedauer des Vokals /a/; dementsprechend wird die Aufnahme dieses Vokals für die Auswertung genutzt.

Neben der maximalen Haltedauer können verschiedene andere akustische Parameter erfasst werden. Im Folgenden werden diese mit entsprechenden Normwerten aufgeführt.

### Stimmqualität

Zur Erfassung der Stimmqualität können, wie bereits beschrieben, Jitter, Shimmer und der H/N-Quotient herangezogen werden. Als Auswertungsmaterial dient die Aufnahme der gehaltenen Vokale. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Stimmeinsatz und -absatz deutlich höhere Frequenzstörungen aufweisen als der mittlere Teil des gehaltenen Vokals (Lieberman 1961, Horii 1979) und dementsprechend nicht in die Analyse miteinbezogen wird (Kent et al. 2003).

### Jitter

Bei der Bestimmung des Jitteranteils werden zwei Jittermaße unterschieden. Die Relative Average Perturbation (RAP) stellt, wie bereits beschrieben, einen relativen Wert dar, der den Einfluss von gewollten oder ungewollten Grundfrequenzschwankungen wie z.B. Ansteigen oder Abfallen der Tonhöhe unberücksichtigt lässt und somit eine hohe Zuverlässigkeit bietet. Da sich jedoch kaum Normwerte zu diesem Parameter in bisherigen Studien finden, wird zusätzlich der lokale Jitter (Jitter local) und der Perturbationsquotient (PPQ) in die Auswertung einbezogen. Die Tabellen 4-6 fassen einige Angaben zum Jitter zusammen.

Tabelle 4: Normwerte: Jitter local

	Vokal	Alter	Männer	Frauen	geschlechtsunspez. Angaben
<b>Jitter</b>	k.A.				1% <sup>1</sup>
	k.A.				1,040 % <sup>2</sup>
	k.A.				0,73 % <sup>3</sup>
	/a/		0,71% (SD 0,22) <sup>4</sup>		

Vokal	Alter	Männer	Frauen	geschlechtsunspez. Angaben
/a/	25 (21-34)		0,69% <sup>5</sup>	
/a/	50 (40-63)		0,57% <sup>5</sup>	
/a/	77 (70-90)		0,66% <sup>5</sup>	
/i/			0,96 % (0,4) <sup>4</sup>	
/u/			0,86 (0,27) <sup>4</sup>	

1. Kent et al. (1987)

2. MDVP in Boersma &amp; Weenink (2008)

3. Wuyts et al. (2000)

4. Sorensen &amp; Horii (1983)

5. Ferrand (2002)

Tabelle 5: Normwerte: Jitter RAP

Vokal	Alter	Männer	Frauen	geschlechtsunspezifische Angaben
<b>RAP</b>				0,68 % <sup>3</sup>
/a/, /i/, /u/	18-65	0,52% <sup>2</sup>	0,80% <sup>2</sup>	
/a/	20	0,385 % <sup>1</sup>	0,89 % <sup>1</sup>	
/u/	20	0,58% <sup>1</sup>	0,84% <sup>1</sup>	
/i/	20	0,42% <sup>1</sup>	0,54% <sup>1</sup>	

1. Dwire &amp; McCauley (1995)

2. Pützer (2001)

3. MDVP in Boersma &amp; Weenink (2008)

Tabelle 6: Normwerte: Jitter PPQ

	Männer	Frauen
<b>PPQ</b>	0,51 (0,26) <sup>1</sup>	0,76 (0,3) <sup>1</sup>

1. Pützer (2001)

## Shimmer

Tabelle 7 bietet einen Überblick über in Studien ermittelte Shimmerwerte getrennt nach Geschlecht und Vokal. Dabei wird ersichtlich, dass die Shimmerwerte geschlechts- und vokalspezifische Unterschiede aufweisen. Die Shimmerwerte für /a/ sind beispielsweise signifikant höher als diejenigen für die Vokale /i/ und /u/ (Horii 1980, Sorensen & Horii 1982). Die kritischen Werte, die sich bei Horii (1980) und Sorensen & Horii (1982) finden, zeigen ebenfalls geschlechtsspezifische Unterschiede. Diese müssen berücksichtigt werden, wenn die Schwelle zum Vorliegen einer Pathologie bestimmt werden soll.

Tabelle 7: Normwerte: Shimmer in dB

	Männer	Frauen	geschlechtsunspez. Angaben
Vokal	mittlerer Shimmerwert (SD)	mittlerer Shimmerwert (SD)	
/a/	0,47 (0,34) <sup>1</sup>	0,33 (0,22) <sup>2</sup>	
/a/, /i/, /u/	0,22 (0,08) <sup>3</sup>	0,24 (0,08) <sup>3</sup>	
/i/	0,37 (0,28) <sup>1</sup>	0,23 (0,08) <sup>2</sup>	
/u/	0,33 (0,31) <sup>1</sup>	0,19 (0,04) <sup>2</sup>	
gesamt	0,39 (0,31) <sup>1</sup>	0,25 (0,11) <sup>2</sup>	0,5 <sup>4</sup> 0,35 <sup>5</sup>
kritischer Wert	0,98 <sup>1</sup>	0,48 <sup>2</sup>	

1. Horii (1980)

2. Sorensen & Horii (1983)

3. Pützer (2001)

4. Kent et al. (1987)

5. MDVP in Boersma & Weenink(2008)

### H/N-Quotient

Der mittlere H/N-Quotient wird von Yumoto et al. (1982) für stimmgesunde Männer und Frauen mit 11,9 dB (SD 2,32) angegeben. Die Spanne lag in der Untersuchung zwischen 7,9 – 17,0 dB; das 95% Konfidenzintervall lag bei 7,4 dB.

Ferrand (2002) gibt in einer Untersuchung mit gesunden Sprecherinnen Werte für den Vokal /a/ bei unterschiedliche Altersgruppen an. Einen Überblick bietet Tabelle 8. Die mittleren Werte liegen im Schnitt unterhalb derer von Yumoto et al. (1982), was auf geschlechtsspezifische Unterschiede hinweisen könnte.

Für gehaltene Vokale geben Boersma & Weenink (2008) unterschiedliche Werte an. Die Vokale /a/ und /i/ werden demnach von gesunden Sprechen mit einem H/N-Quotientenn von ca. 20 dB produziert, während das /u/ Werte bis 40 dB annehmen kann.

Tabelle 8: Normwerte: H/N-Quotient

Geschlecht	Alter	Werte (in dB)
Frauen	25 (21-34)	7,82 <sup>1</sup>
	50 (40-63)	7,86 <sup>1</sup>
	77 (70-90)	5,54 <sup>1</sup>
Männer & Frauen	67 (SD: 6,8; N=28)	8,6 (SD 3,0) <sup>2</sup>
Männer & Frauen	-	11,9 (SD 2,32) <sup>3</sup>

1. Ferrand (2002)

2. Gamboa et al. (1998)

3. Yumoto et al. (1982)

### Stimmstabilität

Um die Stimmstabilität zu erfassen, wird die Grundfrequenz bei gehaltenen Vokalen analysiert. Dabei stellt der Variationskoeffizient der Grundfrequenz ein Maß für ungewollte Frequenz-

schwankungen dar. Je höher der Variationskoeffizient ausfällt, desto niedriger ist die Stabilität der Phonation in Bezug auf ungewollte Tonhöhenschwankungen.

Auch Stimmabbrüche, die bei physiologischer Phonation nicht zu beobachten sind, werden erfasst. Wie bereits beschrieben, geschieht dies durch die Erfassung der Anzahl der Stimmabbrüche. Hierbei wird Anteil in Prozent ermittelt, indem die Dauer der stimmlosen Anteile des analysierten Signals durch die Gesamtdauer des Signals geteilt wird (vgl. Boersma & Weenink 2008). Zu beachten ist, dass der zu untersuchende Teil des Signals ausschließlich den Mittelteil des Vokals umfasst, damit stimmlose Anteile vor Phonationsbeginn und nach Phonationsende nicht in die Auswertung einfließen.

Neben Stimmabbrüchen ist neurologisch der Stimmtremor differentialdiagnostisch von hoher Relevanz. Die Bestimmung der Tremorfrequenz ist dementsprechend ebenfalls Teil der Auswertung. Tabelle 9 und Abbildung 2 bieten einen Überblick über Tremorfrequenzen bei unterschiedlicher Pathologie.

*Tabelle 9: Tremorfrequenzen*

<b>Krankheitsbild</b>	<b>Frequenz</b>
Multiple Sklerose: Wow	1-2 Hz <sup>1</sup>
Multiple Sklerose: Tremor	Um 8 Hz <sup>1</sup>
Multiple Sklerose: Flutter	17-18 Hz <sup>1</sup>
Zerebelläre Ataxie	2-3 Hz <sup>2</sup>
M. Parkinson	4-7 Hz <sup>2</sup>
Essentieller Tremor	4-9 Hz <sup>3</sup>
Normaler Tremor	9-12 Hz <sup>3</sup>
ALS Flutter	6-12 Hz <sup>3</sup>

1. Hartelius et al. (1997)

2. Ziegler (2002)

3. Kent et al. (1999)

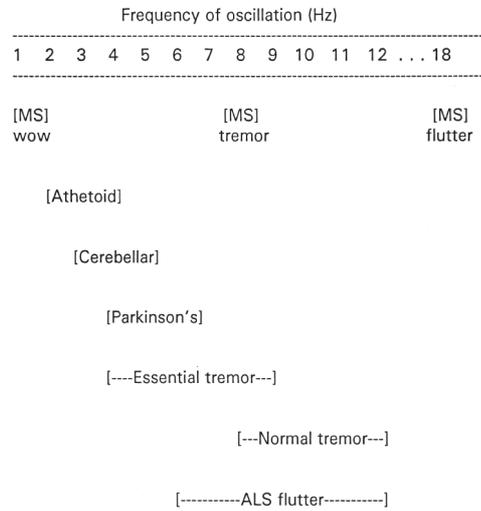


Abbildung 2: Tremorfrequenzen bei unterschiedlicher Pathologie (aus: Kent et al. 1999)

### 3.2 Vokalartikulation

Eine unpräzise Artikulation stellt das Markenzeichen der Dysarthrie dar (Kent & Kim 2003) und lässt sich perzeptuell für fast alle Dysarthriesyndrome feststellen (Forrest & Weismer 1997). Die akustischen Merkmale der konsonantischen Laute sind jedoch zu divers, um robuste akustische Korrelate ermitteln zu können, mit denen alle Laute ausreichend beschrieben werden könnten (Kent & Read 1992). Die Artikulation der Vokale kann ebenfalls durch das Vorhandensein einer Dysarthrie beeinflusst werden. Im Folgenden werden die Grundlagen der Vokalartikulation sowie die akustische Messbarkeit dargestellt.

Der Artikulationsmodus der Vokale wird durch den Öffnungsgrad, die Artikulationsstelle und die Lippenrundung klassifiziert. Diese drei Kriterien sind akustisch in Form von Formanten erfassbar, wobei eine Veränderung der Artikulation sich akustisch in veränderten Formant-

frequenzen widerspiegelt. Hier gelten folgende Zusammenhänge (vgl. Pétursson & Neppert 1996):

- F1 Frequenz
  - sinkt mit zunehmender Verengung in der vorderen Hälfte des Ansatzrohres (z.B. [i] und [u])
  - steigt mit zunehmender Verengung im pharyngealen Teil des Ansatzrohres
  - steigt mit zunehmendem Kieferöffnungswinkel (z.B. [a])
- F2 Frequenz
  - steigt bei zunehmender Verengung im mittleren bis vorderen Teil des Mundhohlraumes (z.B. [i])
  - sinkt bei zunehmender Verengung im hinteren Teil des Mundraumes (z.B. [u] und [o])

Die absoluten Werte der Formanten sind für automatisierte Auswertungsprozesse ungeeignet, da ihre Frequenz von der individuellen Länge und Form des Ansatzrohres abhängig ist. Die relativen Abstände der Formanten bzw. ihre Differenzen können Aufschluss über bestimmte Veränderungen geben. Hier eignet sich zum einen die Differenz von F1 und F0, die invers mit der Zungenhöhe variiert und zum anderen die Differenz zwischen F2 und F1, die mit zunehmender Zungenvorverlagerung größer wird (Kent et al. 1999). Da die Formantfrequenzen, wie bereits beschrieben, in Abhängigkeit von der artikulatorischen Konfiguration unterschiedliche Werte aufweisen, kann der Vergleich von Vokalen aufschlussreich sein. Dieses Vorgehen beschreiben Ziegler et al. (1990) in ihrer Studie und konnten für eine Reihe von Patienten im Gegensatz zur Normgruppe reduzierte akustische Kontraste nachweisen. Im Folgenden werden die Auswertungsmöglichkeiten beschrieben.

Die Differenz von F2 bei den Vokalen /i/ und /y/, die sich hinsichtlich des Öffnungsgrades und der Artikulationsstelle nicht unterscheiden, kann beispielsweise abbilden, in welchem Maß die Lippenrundung beim /y/ erfolgt ist und es somit zu einer Absenkung des F2 beim /y/ gekommen ist. Fällt die Differenz zu gering aus, kann dies auf eine mangelhafte Lippenrundung zurück geführt werden.

Die Differenz der F2-Werte von den Vokalen /y/ und /u/, die sich v.a. im Hinblick auf die Zungenposition unterscheiden, kann das Bewegungsausmaß der Zunge widerspiegeln. Fällt die Differenz gering aus, ist die Vorverlagerung bei der Produktion des /y/ und/oder die Rückverlagerung der Zunge bei der Produktion des /u/ nur unzureichend erfolgt. Dieses Bild zeigte sich in der Studie in zahlreichen Fällen über alle Patientengruppen hinweg.

Eine Betrachtung der F1 bei den Vokalen /i/, /y/ und /u/ kann bei erhöhtem F1 auf eine zu geringe Anhebung der Zunge und somit auf eine Tendenz zur Zentralisierung hinweisen, während bei zu niedrigen F1-Werten eine verengte artikulatorische Konfiguration infolge eines zu geringen Kieferöffnungswinkels vorliegen kann.

### 3.2.1 Variablenauswahl und Normwerte

Bei der Durchführung des Blocks Vokalartikulation wird der Patient aufgefordert, jeden der vier Vokale ([a], [i], [y] und [u]) drei Mal für ca. 3 Sekunden auszuhalten. Zunächst wird jeweils ein Beispiel gegeben und ein Übungstrial durchgeführt. Die Anweisung für den Vokal [a] lautet dementsprechend: „Halten Sie ein [a] für ca. 3 Sekunden. Das Ganze wird drei Mal wiederholt.“ Ist diese Anweisung für den Patienten schwer umzusetzen, kann während der Aufnahme die Aufforderung zur Wiederholung erneut gegeben werden.

### Variablen

- F1
- F2
- F3

Erfasst werden die Frequenzen der ersten drei Formanten (F1, F2, F3) für die einzelnen Vokale. Eine hohe Abweichung von den Normwerten deutet auf eine Veränderung der artikulatorischen Konfiguration hin (z.B. Zentralisierung des Vokals).

## Normwerte

Tabelle 10 bietet einen geschlechtsspezifischen Überblick über die Lagen der ersten beiden Formanten im artikulatorischen Kontext, in diesem Falle beim Nachsprechen zweisilbiger Wörter (Sendlmeier & Seebode 2006); Tabelle 11 zeigt die durchschnittlichen Differenzwerte.

Tabelle 10: Normwerte: Formantwerte der einzelnen Vokale (Sendlmeier & Seebode 2006)

Laut	Männliche Sprecher (n = 69)		Weibliche Sprecher (n = 58)	
	F1	F2	F1	F2
/a:/	737	1275	896	1517
/i:/	263	2171	302	2533
/y:/	302	1722	320	1810
/u:/	310	854	345	956

Tabelle 11: Normwerte: Formantdifferenzen

Differenz	Männliche Sprecher	Weibliche Sprecher
F2 /i:/ - F2 /y:/	449	723
F2 /y:/ - F2 /u:/	868	854

### 3.3 Diadochokinese

Die Diadochokinese (schnelle Wechselbewegung) ist nicht nur bei der Beurteilung von Sprechstörungen zur Erfassung artikulatorischer Abläufe an der Leistungsgrenze (Ziegler & Vogel 2002) von Bedeutung, sondern dient in der gesamten neurologischen Diagnostik zur Überprüfung der motorischen Koordination und Bewegungsgeschwindigkeit. Es handelt sich dabei um die Wiederholung von Einzelsilben oder Silbenkombinationen mit maximaler Geschwindigkeit auf einen Atemzug. Die Anforderungen liegen zum einen in einer möglichst hohen Bewegungsgeschwindigkeit, zum anderen in einer effizienten Konfiguration des Ansatzrohres, d.h. möglichst kurzen Artikulationswegen. Die diadochokinetischen Leistungen sind, laut

Duffy (2005, p. 84), „very useful for determining the speed and regularity of reciprocal movements of the jaw, lips, and anterior and posterior tongue“. Eine Beeinträchtigung der artikulatorischen Diadochokineseleistung kann bei fast allen dysarthrischen Syndromen beobachtet werden (Ziegler & Vogel 2002). Die Leistungen haben innerhalb der Dysarthriesyndrome differentialdiagnostischen Wert, eignen sich zur Feststellung des Schweregrades (vgl. Watling & Tjaden 2003) und stellen einen sehr sensitiven Nachweis sprechmotorischer Störungen dar, da es sich bei der Diadochokinese um eine Maximalleistungsaufgabe handelt (Kent et al. 1987). Trotz dieser Erkenntnisse bleibt zu berücksichtigen, dass die Spezifität der diadochokinetischen Leistungen fraglich bleibt. Aufgrund der artifiziellen Aufgabenstellung kann weder auf die Sprechgeschwindigkeit in der Spontansprache geschlossen werden, noch können per se direkte Rückschlüsse auf Leistungen in anderen Funktionskreisen gezogen werden wie z.B. Prosodie und Stimme. Das Ausmaß der Einschränkungen in der Diadochokinese stimmt dementsprechend nicht zwangsläufig mit der Ausprägung der Dysarthrie überein. Aufgrund der zuvor beschriebenen Sensitivität kann die Diadochokinese jedoch als Indikator gesehen werden, weitere Funktionskreise zu überprüfen.

Die artikulatorischen Wechselbewegungen werden so gewählt, dass spezifische Hinweise auf Störungsschwerpunkte bei der Artikulation gewonnen werden können. Üblicherweise werden die Silben /pa/, /ta/, /ka/ und die Silbenfolge /pataka/ gewählt oder das Pendant mit stimmhaften Plosiven (Ziegler & Vogel 2002). Somit können labiale Bewegungen sowie apikale und dorsale Bewegungen der Zunge überprüft werden. Da Probanden bei der Realisierung der Diadochokinese mit stimmlosen Plosiven häufig zugunsten des Tempos zunehmend nachlässig artikulieren und es zu stimmhaften und/oder weniger aspirierten stimmlosen Plosiven kommt, wurde als Vorgabe hier die stimmhafte Variante gewählt, um die Realisierungsmöglichkeiten zu reduzieren und die Leistungen vergleichbarer zu machen (vgl. Ziegler & Vogel 2010).

Bei der Produktion von Silbenfolgen sind die artikulatorischen Anforderungen höher, da ein Wechsel des Artikulators stattfinden muss. Trotzdem weisen die Normsprecher bei den Silbenkombination /bada/ die höchsten Werte und bei der Silbenkombination /dana/ immer noch eine höhere Silbenrate auf als bei isolierter Produktion der Monosilbe /ga/, was auf koartikulatorische Prozesse zurückzuführen sein könnte (Ziegler & Vogel 2010).

Im klinischen Alltag zeigt sich, dass die Kombination aus drei Silben bei der Diadochokinese häufig Fehler provoziert; daher wurde auf die Erfassung der Silbenkombination /badaga/ verzichtet.

Die artikulatorische Diadochokinese bietet verschiedene Auswertungsmöglichkeiten. Als einfachstes Analyseverfahren bietet sich die Berechnung der Silbenrate, also der produzierten Silben pro Sekunde, an. Für diesen Ansatz gibt es veröffentlichte Normwerte (z.B. Kent et al. 1987), die einen Vergleich zwischen Patient und Normsprecher erlauben. Es ist zu berücksichtigen, dass sich auch bei Normsprechern die Leistungen in Abhängigkeit von der gewählten Silbe unterscheiden. So werden velare Wechselbewegungen (z.B. /ga/) langsamer ausgeführt als labiale (z.B. /ba/). Im höheren Lebensalter ist eine generelle Verlangsamung zu beobachten.

Neben der Silbenrate kann als präziseres zeitliches Maß für die Artikulationsbewegungen die Erfassung der Silbendauer dienen. Die Berechnung der Silbenrate wird im Rahmen der Implementierung erklärt. Da die Silbendauer ausschließlich die Sprechbewegungen widerspiegelt, kann zwischen Verlangsamung aufgrund eines erhöhten Pausenanteils und Verlangsamung aufgrund erhöhter Silbendauer durch Artikulationsschwierigkeiten differenziert werden. Inter-silbische Schwankungen können durch die Berechnung des Variationskoeffizienten (VK) abgebildet werden (vgl. Ackermann et al. 1995).

Neben der Geschwindigkeit kann auch der Rhythmus, d.h. die Regelmäßigkeit, mit der die Silben produziert werden, von Interesse sein, da Dysarthriker oft unregelmäßige zeitliche Muster bei den Silbenwiederholungen aufweisen (Kent et al. 1997). Dabei können einerseits Unregelmäßigkeiten im Sinne von Temposchwankungen und Unflüssigkeiten auftreten, andererseits kann es zu zunehmender Verlangsamung kommen. Eine qualitative Auswertung des Rhythmus ist durch ein akustisches Auswertungsverfahren präziser als durch die auditive Analyse.

Als geeignete Parameter zur Erfassung zeitlicher Abweichungen schlagen Kent et al. (1999) den Durchschnittswert der Silben- und Pausenlängen sowie die Standardabweichung vor. Die Variabilität der Segmentdauern kann als Index für die (In-)Stabilität der zeitlichen Struktur dienen.

Sofern Sprachaufnahmen mit kalibrierten Geräten in schallisolierten Räumen durchgeführt werden, ist es möglich, die Qualität des produzierten Verschlusses anhand der auftretenden

Intensität in der Verschlussphase zu beurteilen. Das Vorhandensein von Intensität in der Verschlussphase weist auf eine unzureichende Verschlussbildung hin und kann qualitative Unterschiede bei der Produktion der einzelnen Konsonanten abbilden. Da jedoch im klinischen Alltag üblicherweise kein schallisolierter Raum zur Verfügung steht und auch eine Kalibrierung des Aufnahmegeräts unrealistisch erscheint, wurde auch in dieser Studie die Intensität während der Pausen nicht in die Auswertung einbezogen.

Die beschriebenen Verfahren zur akustischen Analyse der Diadochokineseleistungen wurden in bisherigen Studien in unterschiedlicher Kombination und in Bezug auf verschiedene Dysarthriesyndrome eingesetzt. Eine Standardisierung der Messparameter ist bisher nicht erfolgt; Kent et al. (1999) beschreiben jedoch ein Protokoll, das sowohl zeitliche als auch energetische Faktoren berücksichtigt und somit ein umfassendes Bild liefert. Zu den untersuchten Variablen zählen Silbenraten für verschiedene Silben, zeitliche Regularität und Merkmale der Energiekurve. An diesen Variablen orientiert sich die hier angestrebte Erfassung der Leistungen.

Ein im englischsprachigen Raum eingesetztes akustisches Analyseverfahren stellt das Motor Speech Profile (MSP) von KayPentax<sup>TM</sup> dar. Das MSP erfasst Parameter verschiedener Aufgaben wie z.B. die Silbenrate bei der Diadochokinese oder Formantpositionen bei gehaltenen Vokalen. In einer Studie zur Diadochokineseleistung bei Patienten mit ataktischer Dysarthrie von Wang et al. (2009), deren Auswertung mit dem MSP erfolgte, zeigte sich jedoch, dass für ein Drittel der Patienten die automatische Auswertung aufgrund von Irregularitäten in der Intensitätskontur nicht möglich war. Zudem wurde das Verfahren bislang nur an sprechgesunden Probanden getestet, so dass die Anwendbarkeit bei Dysarthrien noch ungeklärt ist. Von einer automatischen Auswertung ohne manuelle Unterstützung muss dementsprechend gerade bei dysarthrischen Patienten abgesehen werden, weil sich die Signale stark von denen sprechgesunder Personen unterscheiden können. Die Autoren empfehlen zudem, im Programm nicht erfasste Parameter wie z.B. Silbendauer und Intensität der Silben und Pausen in die Auswertung einzubeziehen.

Die im Folgenden beschriebenen Ergebnisse zeigen, dass es syndromspezifisch qualitative Unterschiede bei den Diadochokineseleistungen gibt, die möglicherweise differentialdiagnostisches Potential bieten.

Portnoy & Aronson (1982) erfassten die Silbenrate und Regelmäßigkeit der artikulatorischen Diadochokinese bei Patienten mit spastischer und ataktischer Dysarthrie sowie einer Kontrollgruppe. Dabei stellte sich heraus, dass die Gruppen mit ataktischer und spastischer Dysarthrie signifikant niedrigere Silbenraten und eine höhere Variabilität als die Kontrollgruppe aufwiesen. Die niedrige Silbenrate bei ataktischer Dysarthrie und die hohe Variabilität bei spastischer Dysarthrie waren dabei unerwartete Ergebnisse, da bislang lediglich der spastischen Dysarthrie eine reduzierte Silbenrate und der ataktischen Dysarthrie eine hohe Variabilität zugeschrieben wurde.

Ozawa et al. (2001) konnten bei Patienten mit spastischer Dysarthrie die Verlangsamung der Diadochokinese auf Silbendehnungen zurückführen, während die Verlangsamung bei Patienten mit ataktischer Dysarthrie durch verlängerte Pausen zwischen den Silben verursacht wurde; daneben zeigte sich bei diesen Patienten ein unregelmäßiges zeitliches Muster sowie stark schwankende Energieminima und -maxima. Die Autoren ermittelten den prozentualen Anteil der Pausen- und Silbendauer an der Dauer der gesamten Silbe und schlossen darauf, dass die einzelnen Silbenbestandteile unterschiedlichen Funktionen repräsentieren.

In einer Studie untersuchten Ziegler und Wessel (1996) die Diadochokineseleistungen von Patienten mit ataktischen Bewegungsstörungen (zerebelläre Atrophie und Friedreich'sche Ataxie), die meist große Schwierigkeiten bei den schnellen Wechselbewegungen aufweisen. Es zeigten sich Irregularitäten sowie eine generelle Verlangsamung, die einen wirkungsvollen Prädiktor des Schweregrades der Dysarthrie darstellte.

Ackermann et al. (1995) untersuchten vier Patientengruppen mit motorischen Störungen unterschiedlicher Ätiologie (Friedreich'sche Ataxie, Parkinson, Chorea Huntington, Kleinhirnsyndrom) hinsichtlich der Anzahl der Silben pro Atemzug, artikulatorischer Ungenauigkeit in Form von unvollständigen Verschlussbildungen, der mittleren Silbensprechdauer und ihres Variationskoeffizienten. Es zeigte sich, dass bei allen Patienten außer bei den sehr leicht betroffenen mindestens eine der untersuchten Variablen außerhalb des Normbereichs lag. Zudem konnten syndromspezifische Auffälligkeiten ermittelt werden. Die Parkinson Patienten wiesen keine Irregularitäten hinsichtlich der Sprechgeschwindigkeit und Silbenanzahl auf, produzierten jedoch auffällig viele unvollständige Verschlussbildungen. Patienten mit Fried-

reich'scher Ataxie hingegen waren bei der Plosivartikulation unbeeinträchtigt, produzierten jedoch nur wenige Silbenwiederholungen mit geringer Silbenrate. Auch die Patienten mit Chorea Huntington und Kleinhirnsyndrom wiesen eine geringere Silbenrate auf.

Eine Studie von Kent et al. (1999) diente der Untersuchung, ob zwei Dysarthriesyndrome (spastische Dysarthrie und Dysarthrie nach einseitiger Schädigung des oberen Motoneurons) bei der artikulatorischen Diadochokinese zeitliche Irregularitäten aufweisen, ob die typischerweise auftretende Verlangsamung durch Silbendehnungen und/oder verlängerte intersilbische Pausen verursacht wird und ob die zeitlichen Abweichungen von artikulatorischen Störungen begleitet werden. Die Erfassung der zeitlichen Abweichungen erfolgte durch Ermittlung der Standardabweichung der Segmentdauern (Silben und Pausen), die Präzision der Konsonantenartikulation wurde durch die Messung der Energieminima bestimmt. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Dysarthriker eine generelle Verlangsamung der Silbenwiederholungen zeigten, verursacht durch Silbendehnungen und verlängerte intersilbische Pausen. Zudem trat eine verminderte Präzision der Konsonantenartikulation auf sowie zeitliche Abweichungen und ein signifikanter Unterschied zwischen Dysarthrikern und Normsprechern hinsichtlich der intraindividuellen Variabilität bei den Segmentdauern. Ungefähr 80% der dysarthrischen Patienten wiesen außerdem eine reduzierte Spanne zwischen Energieminimum und -maximum bei mindestens einer Silbe auf.

Die Leistungen von Parkinson Patienten bei der artikulatorischen Diadochokinese waren bereits häufig Gegenstand von Untersuchungen (z.B. Ludlow et al. 1987, Ziegler et al. 1990). Dabei zeigte sich, dass die Parkinson Patienten bei den einfachen Silbenwiederholungen keine Reduzierung der Silbenrate aufwiesen, es aber Anzeichen für unvollständige Verschlussbildungen der Plosive gab (Ackermann & Ziegler 1991, Tjaden & Watling 2003). Dieser artikulatorische „undershoot“ (vgl. Ackermann & Ziegler 1991) zusammen mit signifikant verkürzten Pausendauern im Vergleich zur Kontrollgruppe (Tjaden & Watling 2003) ermöglicht die Aufrechterhaltung der hohen Geschwindigkeit bei der Diadochokinese. Der Zusammenhang zwischen hoher Sprechgeschwindigkeit und artikulatorischem „undershoot“ konnte durch kinematische Untersuchungen bestätigt werden (z.B. Forrest et al. 1989, McAuliffe 2005). Des Weiteren zeigten Messungen der SPL-Werte, dass die Energiemaxima im Vergleich zur Kontrollgruppe reduziert waren (Tjaden & Watling 2003).

Messungen der zeitlichen Eigenschaften der Diadochokineseleistungen (Silbenrate, Segmentdauern, Pausendauern) ermöglichten Tjaden und Watling (2003), Patienten mit Multipler Sklerose (MS) von Parkinson Patienten sowie einer Kontrollgruppe zu unterscheiden. Zudem konnten für die MS-Patienten wie auch für Parkinson Patienten reduzierte Energiemaxima des SPL nachgewiesen werden. Die Autoren diskutieren reduzierte Energiemaxima als generellen Indikator für das Vorhandensein einer Dysarthrie, kommen zusammenfassend aber zu dem Ergebnis, dass zeitliche Messungen der Diadochokineseleistungen bei der Unterscheidung zwischen MS-Patienten, Parkinson Patienten und einer Kontrollgruppe aussagekräftiger sind als energetische Messungen.

### 3.3.1 Variablenauswahl und Normwerte

Um spezifische Artikulationsschwierigkeiten zu erfassen, wird der konsonantische Silbenanteil dergestalt variiert, dass labiale (/ba/), apikale (/da/) und dorsale (/ga/) Bewegungen der Zunge durch Einzelsilbenrepetitionen überprüft werden. Die Silbenkombinationen (/bada/ und /dana/) stellen durch den Wechsel des primären Artikulators eine Erhöhung der artikulatorischen Anforderungen dar (vgl. Ziegler & Vogel 2002). Durch die Silbenkombinationen kann dementsprechend die Fähigkeit zum schnellen Wechsel erfasst werden. Wie bereits beschrieben, führt die Silbenkombination /badaga/ oft zu Versprechern, die eine Auswertung der Silbenrate unmöglich machen. Dementsprechend wurde auf diese Silbenkombination verzichtet und die Fähigkeit zum schnellen Wechsel des Artikulators mithilfe der Silbenkombination /bada/ (Wechsel zwischen labial und apikal) und /dana/ (Anhebung bzw. Absenkung des Gaumensegels) geprüft.

Bei der Auswertung wird ein Block von 12 Silben gewählt, wobei die erste Silbe nicht in die Auswertung einfließt. 12 Silben stellen eine Länge dar, die zum einen die Auswertung der Leistungen von gesunden Sprechern, die oft sehr viele Silben produzieren, erleichtert und zum anderen die Vergleichbarkeit zu den Leistungen der Patienten verbessert. Ein Block von weniger als 12 Silben kann zwar ausgewertet werden, liefert allerdings weniger aussagekräftige Daten.

### Temporale Variablen

- Dauer
- Anzahl der produzierten Silben
- Silbenrate
- mittlere Silbendauer mit Variationskoeffizient
- mittlere Pausenlängen mit Variationskoeffizient

Die Variationskoeffizienten spiegeln jeweils die Variabilität innerhalb eines Items wider; dementsprechend entsteht pro Silbe bzw. Silbenkombination ein Variationskoeffizient für die Silbenlänge und die Pausenlänge.

### Temporale Normwerte

#### Silbenrate

In Tabelle 12 und 13 sind Silbenraten der Diadochokinese für Normsprecher sowie verschiedene Dysarthriesyndrome aufgeführt (in Silben pro Sekunde). Da syndromspezifische Werte für die Diadochokineseleistungen mit stimmhaften Plosiven nicht verfügbar waren, sind in Tabelle 12 die Werte für Diadochokineseleistungen mit stimmlosen Plosiven aufgeführt.

Tabelle 12: Normwerte: Diadochokinese

		/pa/	/ta/	/ka/	/pataka/
<b>Normsprecher</b>		6,4 <sup>1</sup>	6,1 <sup>1</sup>	5,7 <sup>1</sup>	6,9 <sup>3</sup>
<b>Ältere Menschen</b> (M:68-89, F: 66-93 J.)	<b>M</b>	5,4 <sup>2</sup>	5,3 <sup>2</sup>	4,9 <sup>2</sup>	4,4 <sup>2</sup>
	<b>F</b>	5,5 <sup>2</sup>	4,8 <sup>2</sup>	4,4 <sup>2</sup>	3,6 <sup>2</sup>
	<b>zusammen</b>	5,4 <sup>2</sup>	5 <sup>2</sup>	4,6 <sup>2</sup>	4 <sup>2</sup>
<b>Dysarthrie</b>		4,03 <sup>4</sup>	3,75 <sup>4</sup>	3,61 <sup>4</sup>	
<b>Spastische Dysarthrie</b>		4,6 <sup>1</sup>	4,2 <sup>1</sup>	3,5 <sup>1</sup>	
<b>Ataktische Dysarthrie</b>		3,8 <sup>1</sup>	3,9 <sup>1</sup>	3,4 <sup>1</sup>	

1. Portnoy et al. (1982), 2. Ptacek et al. (1966), 3. LaPointe et al. (1994), 4. Nishio et al. (2006)

Tabelle 13: Normwerte: DDK Silbenraten (Median, Minimum, Maximum) (Ziegler &amp; Vogel 2002)

Gruppe	/ba/	/da/	/ga/
<b>Erwachsene (bis 65 J.)</b>	6,8 (5,2-8,2)	6,7 (5,0-8,6)	6,0 (5,0-7,8)
<b>Alte Menschen</b>	5,5 (3,0-8,2)	5,0 (2,5-6,8)	4,5 (2,5-6,5)
<b>Infarkte/ Blutungen</b>	4,1 (1,4-6,5)	4,0 (1,5-6,4)	3,6 (1,3-6,4)
<b>Schädel-Hirn-Trauma</b>	3,7 (1,2-6,4)	3,3 (1,1-7,4)	2,8 (1,0-6,5)
<b>Zerebelläre Ataxie</b>	4,0 (2,2-6,4)	3,7 (1,7-5,7)	3,3 (1,5-5,5)
<b>M. Parkinson</b>	6,2 (2,3-7,6)	5,1 (2,8-9,6)	4,8 (1,7-8,0)

### Intensitätsaspekte

Neben den temporalen Aspekten kann die Auswertung der Intensitätsaspekte weitere Hinweise auf das mögliche Vorliegen einer Pathologie liefern.

Die Messung der Silbenintensität erfolgt in dB. Wie bereits beschrieben, können bei den Messungen der Intensität lediglich relative Werte für die Auswertung genutzt werden, da absolute Messungen der Intensität eine vorherige Kalibrierung oder die Verwendung eines Schallpegelmessgeräts erfordern. Ein Vergleich der Intensitätswerte der ersten und letzten Silbe des Auswertungsblocks liefert Informationen über das Ausmaß des Lautstärkeverlusts. Ein hoher Variationskoeffizient der Intensität kann Lautstärkeschwankungen innerhalb eines Items abbilden.

### Intensitätsvariablen

- mittlere Silbenintensität (Maxima) mit Variationskoeffizient
- Intensitätsmaximum der ersten Silbe des Auswertungsblocks
- Intensitätsmaximum der letzten Silbe des Auswertungsblocks

### 3.4 Satzproduktion

Das Nachsprechen von Sätzen eröffnet die Möglichkeit, prosodische Parameter zu erfassen. Unter Prosodie werden verschiedene Aspekte zusammengefasst wie Sprechtempo, Sprechrhythmus, Redefluss, Akzentsetzung, Intonation und Pausenstruktur (vgl. Lehiste 1976, Netsell 1973). Weil diese Aspekte durch ein multidimensionales Zusammenspiel verschiedener Funktionssysteme (Respiration, Phonation, Artikulation) realisiert werden, ist die Prosodie bei allen Dysarthriesyndromen gestört (Schlenck et al. 1993). Da Prosodie grammatische, semantische, soziale und psychologische Funktionen erfüllt (Patel & Campellone 2009), entstehen bei einer Störung weitreichende Folgen. Diese können beispielsweise in einer negativen Bewertung und Stigmatisierung des Gesprächspartners liegen, da durch verlangsamtes, monotones Sprechen der Eindruck von kognitiven Einbußen entstehen kann, während eine unnatürliche Intonation auf eine Alkoholisierung des Sprechers schließen lassen könnte (vgl. Ziegler 2002). Auch ein Verlust der Möglichkeit, Gefühle durch Prosodie zu übermitteln, führt zu einer Reduktion der kommunikativen Möglichkeiten (Schlenck et al. 1993).

Neben diesen sozialen Auswirkungen kann es zu einer reduzierten Verständlichkeit kommen, da durch die Prosodie entscheidenden Wörtern eines Satzes Betonung verliehen wird. Studien konnten zeigen, dass eine veränderte Prosodie im Sinne von abweichendem Timing und Tonhöhenverlauf bei synthetischer Sprache im Vergleich zu natürlicher Sprache zu verminderter Verständlichkeit führte (Huggins 1977 und Silverman 1987 in Leuschel & Docherty 1996).

Die Auswirkungen machen deutlich, dass die Beurteilung der Prosodie in einer Dysarthrieuntersuchung nicht fehlen sollte. Derzeit fehlen jedoch standardisierte Untersuchungsmöglichkeiten, so dass eine quantitative Einschätzung der prosodischen Defizite ebenso schwierig ist wie eine Einschätzung der Therapieerfolge oder der Reststörungen bei leichten Dysarthrien (vgl. Schlenck 1993). Dies liegt zum einen daran, dass es bislang keinen Konsens zwischen perzeptuellen, akustischen, physiologischen und linguistischen Systemen bezüglich der Erfassung von Prosodie gibt. Zum anderen ist die Spontansprache, die prosodische Defizite deutlich abbilden kann, nur schwer standardisiert auszuwerten. Ein dritter Punkt ist, dass die Art der prosodischen Beeinträchtigung sowohl hinsichtlich der Aufgabenstellung als auch hinsichtlich des Dysarthriesyndroms und des Schweregrades der Dysarthrie stark variieren kann

(vgl. Bunton et al. 2000 p. 14). Ein syndromspezifisch konsistentes Auftreten einzelner Parameter konnte bislang nicht festgestellt werden, daher sollten bei der individuellen Untersuchung möglichst viele Parameter erfasst werden, um ein umfassendes individuelles Störungsbild erstellen zu können (Leuschel & Docherty 1996). Dies ist nicht nur für die Therapieplanung sondern auch für die Evaluation der Therapiefortschritte entscheidend.

Die akustischen Parameter zur Erfassung der Prosodie sind die Grundfrequenz (F0), die Amplitude, Segmentdauer und -qualität (vgl. Shattuck-Hufnagel & Turk 1996).

Eine häufig eingesetzte Aufgabe zur Überprüfung der prosodischen Fähigkeiten eines Patienten ist das Nachsprechen eines Wortes oder Satzes mit wechselnder Betonung. Dabei wird überprüft, inwiefern es gelingt, Wort-, Silben- und Vokaldauer, Intensität und Grundfrequenz zu variieren. Bei dieser Aufgabe zeigen sich bei Dysarthrikern häufig Defizite. Da Prosodie nicht nur auf Wort- sondern ganz entscheidend auch auf Phrasen- und Satzebene stattfindet, ist eine Untersuchung größerer linguistischer Einheiten wichtig. Die Parameter Sprechtempo, Pausenlänge und -häufigkeit sowie F0- und Intensitätsverläufe über ganze Äußerungen wurden bislang in Studien kaum untersucht (Leuschel & Docherty 1996).

Leuschel und Docherty (1996) untersuchten, ob die Aufgabenstellung Einfluss auf die Ergebnisse hatte. Sie verglichen die prosodischen Leistungen von Dysarthrikern und gesunden Kontrollsprechern beim Lesen und in der Spontansprache. Dabei konnten sie feststellen, dass Kontrollsprecher unterschiedliche Leistungen innerhalb der Aufgabenstellungen aufwiesen, die bei den Dysarthrikern nicht konsistent auftraten. Außerdem unterschieden sich die Dysarthriker in der Spontansprache stärker von den Kontrollsprechern als beim Lesen, was bedeutet, dass das Lesen möglicherweise leichte prosodische Störungen nicht abbilden kann. Die Studie lieferte jedoch auch Hinweise darauf, welche Parameter beim Lesen signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen aufwiesen. Dazu zählten die Anzahl der Pausen, das Verhältnis zwischen Artikulations- und Pausenanteil innerhalb einer Äußerung, durchschnittliche Äußerungsdauer und Intensitätsspanne.

Es bleibt zu berücksichtigen, dass die Studie mit einer geringen Anzahl an Probanden pro Gruppe durchgeführt wurde (n=10), in der Gruppe der Dysarthriker eine hohe interindividuelle Variabilität herrschte und zudem ausschließlich chronisch verlaufende neurologisch

Erkrankungen untersucht wurden, während ein Großteil der Dysarthrien nach zerebrovaskulärer Ursache auftritt.

#### 3.4.1 Sprechtempo

Das Sprechtempo ist bei allen Dysarthriesyndromen mit Ausnahme der rigid-hypokinetischen Dysarthrie reduziert, insofern bieten sich akustische Messungen zur Sprechgeschwindigkeit als diagnostisches Kriterium an. Die Ursachen dafür können unterschiedlich sein, meist handelt es sich um eine generelle Verlangsamung der Bewegungsabläufe, die sich z.B. durch Dehnungen der Laute und Lautübergänge zeigt (Ziegler 2002). Ein reduziertes Sprechtempo kann allerdings auch durch übermäßige Pausen entstehen, die wiederum unterschiedliche Ursachen haben können (z.B. inadäquate Einatempausen, Silben- oder Lautiterationen etc.).

Ein Vergleich zwischen dem Sprechtempo bei Sätzen und bei der Diadochokinese ist insofern interessant, als eine Dissoziation dann Hinweise auf das zusätzliche Vorliegen einer Sprachstörung bieten kann, wenn die Diadochokineserate deutlich höher liegt. Ist die Sprechgeschwindigkeit in beiden Aufgaben ähnlich gestört, handelt es sich hingegen um eine neuromuskuläre Ursache (Kent & Kim 2003).

Die Erfassung des Sprechtempos kann durch Ermittlung der Silbenrate, d.h. der Rate der produzierten Silben pro Sekunde, erfolgen. Diese Angabe ermöglicht zwar eine grobe Einschätzung der Sprechgeschwindigkeit, lässt jedoch keine Rückschlüsse auf die Ursachen für die Veränderung zu. Eine Detektion der einzelnen Silben kann ergänzend dazu dienen, inadäquate Pausen sowie die Länge der Silben zu erfassen und zu quantifizieren.

Eine automatische Detektion der Einzelsilbe mithilfe eines Programms kann bei dysarthrischen Sprechern zu Problemen führen, da sich durch unpräzise Artikulation die signalphonetischen Eigenschaften verändern. Dies wirkt sich auf die spezifischen Eigenschaften des Oszillogramms aus und erschwert die Definition von charakteristischen Ankerpunkten, die für eine Detektion notwendig sind. Eine Alternative bietet die Orientierung an der Intensitätskontur, die für jede Silbe einen Gipfel aufweist. Nach Bestimmung des Intensitätsgipfels kann der Beginn und das Ende der Silbe mittels der ansteigenden bzw. abfallenden Kontur definiert werden. Diese Art

der Bestimmung der Silbenlänge orientiert sich an dem Vorgehen von Ziegler et al. (1990, p. 50, vgl. auch Ziegler et al. 1988 und 1993).

Für Normsprecher konnten Längen zwischen 120 und 191 msec ermittelt werden (Median: 138 msec); die Werte der Patienten mit Schädel-Hirn-Verletzungen, zerebrovaskulären Erkrankungen und degenerativen Erkrankungen des Kleinhirns lagen beträchtlich darüber. Diese Befunde wiesen eine hohe Korrelation zu einer perzeptuellen Befundung des Sprechtempos auf. Außerdem bestanden hohe Korrelationen zwischen der mittleren Dauer der erweiterten Silbenkerne und der syndromspezifischen Schweregradeinstufung bei ataktischer und spastischer Dysarthrie. Lediglich die Parkinson Patienten, also die Patienten mit überwiegend rigid-hypokinetischer Dysarthrie, waren hinsichtlich der Silbendauer unauffällig. Die Variabilität der mittleren Silbendauer von Satz zu Satz zeigte sich jedoch bei allen Dysarthriesyndromen erhöht

#### 3.4.2 Akzentsetzung und Intonation

Die Akzentsetzung und Intonation geschieht beim Sprechen sowohl auf Wort- als auch auf Satzebene und dient zum einen der Unterscheidung von Wörtern und Satztypen, zum anderen aber auch der Übermittlung bestimmter „paralinguistischer“ Merkmale wie z.B. Ironie (vgl. Ziegler & Vogel 2002). Laure & Weismer (1999) konnten außerdem zeigen, dass eine flache F<sub>0</sub>-Kontur, wie sie bei monotoner Sprechweise zu finden ist, zu einer verminderten Verständlichkeit führt.

Akzent kann sowohl durch eine Veränderung der Tonhöhe gesetzt werden als auch durch eine Variation der Sprechlautstärke. Beide Ausdrucksmöglichkeiten sind abhängig von der Intaktheit der benötigten Funktionssysteme, der Phonation und Respiration, um die Sprechstimmlage zu modulieren. Daneben kann eine Störung der Akzentsetzung auch darin bestehen, dass betonte und unbetonte Silben nicht ausreichend differenziert werden, d.h. dass alle Silben die gleiche Betonung und Länge erhalten.

Da die Akzentsetzung durch ein Zusammenspiel verschiedener Funktionssysteme geschieht (Respiration, Phonation, Artikulation), ist sie bei fast allen dysarthrischen Patienten gestört (Ziegler & Vogel 2002 S. 43).

Für die perzeptuelle Beurteilung der Akzentsetzung in der Dysarthriediagnostik werden Wörter gewählt, bei denen der Silbenakzent bedeutungsunterscheidend ist (z.B. um'fahren vs. 'umfahren) und auch Sätze mit unterschiedlicher Intonation (Deklarativsatz vs. Interrogativsatz).

Für die Akzentsetzung können folgende akustische Korrelate ermittelt werden (Kent et al. 1999, Patel 2003):

- Grundfrequenz (F0)
- Minimum/Maximum von F0
- Standardabweichung von F0
- Steigung der Grundfrequenz
- Intensität
- Minimum/Maximum Intensität
- Standardabweichung der Intensität
- Steigerung der Intensität
- Silbenlänge

Die Grundfrequenz kann Aufschluss über die korrekte Realisierung der Intonation eines Satzes (Anstieg der Kontur zum Satzende bei Fragen, Abfall der Kontur bei Aussagesätzen) und eines Wortes (höheres Level der F0-Kontur bei betonten im Gegensatz zu unbetonten Silben) geben. Neben der Betrachtung des Verlaufs liefert die Ermittlung der Minima, Maxima und des Variationskoeffizienten der Grundfrequenz Hinweise auf die generelle Variationsfähigkeit ; eine normale Variationsfähigkeit erlaubt jedoch noch keine Aussagen über die korrekte Realisierung der prosodischen Muster.

Die Intensität der Sprechprobe wird durch die Intensitätskontur dargestellt. Betonung kann durch eine höhere Intensität realisiert werden. Die Werte der Intensität werden analog zu denen der Grundfrequenz erhoben.

Betonte Silben haben eine längere Dauer als die sie umgebenden unbetonten Silben (Willi 2001 p. 422). Der Vergleich derselben Silbe (betont vs. unbetont) kann zeigen, ob eine Angleichung der Silbendauer zu beobachten oder ob ein ausreichender Kontrast vorhanden ist.

Im Folgenden werden einige Ergebnisse aus Studien zur Prosodie aufgeführt.

Es finden sich verschiedene Studien, die eine reduzierte Tonhöhenvariation für neurologische Krankheitsbilder nachweisen konnten. Parkinson- und ALS-Patienten zeigen dieses Bild (King et al. 1994, Ramig et al. 1990, Bunton et al. 2000). Bunton et al. (2000) untersuchten ALS-Patienten sowie Patienten mit erworbenen zerebellären Erkrankungen und konnten ebenfalls eine geringere Spanne der Grundfrequenz feststellen.

Schlenck, Bettrich und Willmes (1993) berichteten von kürzeren Lauteinheiten und einer erhöhten Grundfrequenz bei schweren Dysarthrien bzw. einer geringeren Standardabweichungen von F0 bei leichten Dysarthrien im Vergleich zu Normsprechern. Interessanterweise unterschieden sich die Patienten mit schweren Dysarthrien nicht signifikant von den Normsprechern hinsichtlich der Standardabweichung von F0, was bedeutet, dass leichte Dysarthrien zu einer monotoneren Sprechweise führen als schwere. Dies wird auf starke Tonhöhenbewegungen auf den einzelnen Wörtern zurückgeführt, hervorgerufen durch die verkürzten Tongruppen. Es bleibt jedoch zu bedenken, dass die Standardabweichung von F0 eine quantitative Erfassung darstellt und es fraglich ist, ob die hohen Werte bei schweren Dysarthrien tatsächlich eine adäquate Intonation widerspiegeln. Eine qualitative Untersuchung der Intonation bei ataktischer Dysarthrie könnte beispielsweise ergeben, dass die hohe Standardabweichung von F0 nicht die korrekte Umsetzung eines Interrogativsatzes anzeigt (deutliches Anheben der Grundfrequenz am Satzende), sondern ungewollte Fluktuationen der Tonhöhe innerhalb des Satzes anzeigt.

Yorkston et al. (1984) fanden bei drei Patienten mit leichter Dysarthrie, die sie in Bezug auf Betonungsmuster untersuchten, eine verminderte Variation der Grundfrequenz, Intensität und Dauer verglichen mit gesunden Sprechern.

Beim Vergleich betonter und unbetonter Silben innerhalb eines Satzes hinsichtlich der Grundfrequenz, der Intensität und der Silbendauer konnten Ziegler et al. (1990) feststellen, dass bei einer Reihe von Patienten deutlich reduzierte Akzentunterschiede zu beobachten waren. Diese

zeigten sich in Form veränderter Grundfrequenz und Silbendauer, während die Intensitätsdifferenz nur bei wenigen Patienten von der Norm abwich. Die drei untersuchten Dysarthriesyndrome wiesen ähnliche Veränderungen, nämlich eine generelle Reduktion der Parameter, auf.

In einer Studie von Ziegler et al. (1993) zeigten sich die Unterschiede in der Silbendauer zwischen betonten und unbetonten Silben mit zunehmendem Schweregrad der Dysarthrie reduziert. Demnach mangelte es den Patienten an der Fähigkeit, das zeitliche Verhältnis zwischen unbetonten und betonten Silben zu erhalten.

Patel (2003) führte eine Studie mit schwer betroffenen Dysarthrikern bei angeborener zerebraler Bewegungsstörung (cerebral palsy) durch und konnte feststellen, dass sowohl die Patienten als auch die Normsprecher bei der Kontrastierung der Aussage- und Frageintonation die Parameter der Grundfrequenz, Silbenlänge und in geringerem Maße auch Intensität nutzten.

Die Studie von Patel & Campellone (2009) mit Dysarthrikern zeigte, dass Normsprecher und dysarthrische Sprecher Silbenlänge, Intensität und akustische Veränderungen der F0-Kontur nutzten, um Betonung zu markieren. Im Gegensatz zu den Normsprechern wurde von den Dysarthrikern jedoch vor allem eine Veränderung der Silbenlänge genutzt.

### 3.4.3 Schweregrad

Ebenso wie alle anderen Aspekte der Dysarthrie kann auch die Prosodie unterschiedlich stark gestört sein. Dies muss jedoch nicht unbedingt den allgemeinen Schweregrad der Dysarthrie widerspiegeln; da dieser meist an der Verständlichkeit und somit an der Fähigkeit zur korrekten Artikulation gemessen wird, können die Leistungen dissoziieren. Patienten mit guter Verständlichkeit können trotzdem eine gestörte Prosodie aufweisen, die sie im Alltag sehr negativ beeinflussen kann.

Bunton et al. (2000) kamen in ihrer Studie zur perzeptuell-akustischen Erfassung von Prosodie zu dem Ergebnis, dass das Verhältnis zwischen Defiziten der Verständlichkeit und Prosodie je nach Typ der Dysarthrie variieren kann und beide Parameter unterschiedliche Hinweise auf den

Schweregrad liefern. Insbesondere Patienten mit leichten bis mittleren Verständlichkeitseinschränkungen wiesen eine hohe Variabilität der prosodischen Leistungen auf.

#### 3.4.4 Variablenauswahl und Normwerte

Die Auswahl der Items wurden nach den Kriterien der Validität, Praktikabilität und Ökonomie vorgenommen. Die Sätze wurden in gleicher Länge, d.h. mit gleicher, relativ geringer Silbenanzahl (S=8) generiert, um einen negativen Merkspanneneffekt zu vermeiden und eine bessere Komparabilität zu ermöglichen. Zudem wurde angestrebt, eine phonetische Ausbalanciertheit herzustellen, so dass in den Sätzen sowohl die Vokale [a], [i], [u] und [y] als auch die Konsonanten [f], [s], [ʃ], [w], [z], [p], [t], [k], [b], [d] und [g] mindestens drei mal vorkommen, um ausreichend Material für mögliche anschließende Auswertungen zu liefern; im Rahmen dieser Untersuchung wurde jedoch keine qualitative Auswertung artikulatorischer Parameter durchgeführt.

Bezüglich der Satzart wurden sowohl Deklarativ- als auch Interrogativsätze in das Protokoll aufgenommen, um die Realisierung der prosodischen Muster auf Satzebene zu überprüfen. Zur Überprüfung prosodischer Muster auf Wortebene werden sechs der zehn Sätze zweimal mit unterschiedlicher Betonung der Wörter vorgegeben. In vier Fällen soll jeweils ein anderes Wort betont und so der Satzfokus verschoben werden (z.B. Kommst du 'Freitag mit ins Konzert? vs. Kommst du Freitag mit ins 'Konzert?) während in zwei Sätzen die Wortbetonung auf Silbenebene verschoben werden muss (Der schwarze Anzug ist mo'dern. vs. Das frische Holz darf nicht 'modern.). Die Vorgabe der Sätze mit der Aufforderung zum Nachsprechen erfolgt in festgelegter Reihenfolge, so dass Deklarativ- und Interrogativsätze abwechseln und Sätze, die sich ausschließlich in der Betonung unterscheiden, nicht unmittelbar aufeinander folgen.

- 1) Paul stellt das Paket ins Regal
- 2) Gehst du Dienstag früh zur 'Arbeit?
- 3) Der schwarze Anzug ist mo'dern.

- 4) Kommst du Freitag mit ins 'Konzert?
- 5) Das frische Holz darf nicht 'modern.
- 6) Kannst du bitte das Buch suchen?
- 7) Peter wartet in der Küche.
- 8) Gehst du Dienstag 'früh zur Arbeit?
- 9) Die Arbeit macht ihn oft müde.
- 10) Kommst du 'Freitag mit ins Konzert?

### Auftretenshäufigkeit der einzelnen Laute

Die Auftretenshäufigkeit (AH) wird lediglich für die langen Vokale in betonten Silben ermittelt.

Vokal	/a:/	/i:/	/u:/	/y:/
AH	6	4	9	4

Die Auftretenshäufigkeit der Plosive und Frikative wird für ihre silbeninitiale Position ermittelt. Da der Laut /s/ im Deutschen nicht initial verwendet wird, wurden für diesen Laut auch andere Positionen gezählt.

Laut	/b/	/p/	/d/	/t/	/g/	/k/	/f/	/v/	/s/	/z/	/S/	/x/
AH	5	3	14	6	3	7	4	1	11	3	3	3

### Betonung

Über das Nachsprechen von Sätzen und Wörtern können, wie bereits beschrieben, prosodische Merkmale erfasst werden. Über einen direkten Vergleich der Intensitäts-, Grundfrequenz- und Silbenlängenwerte der jeweiligen Silben kann festgestellt werden, ob es dem Probanden möglich ist, diese Faktoren zu variieren.

### **Betonungsvariablen**

Bei der Betonungsauswertung wird in den beiden Sätzen, die sich durch Betonungsverschiebung unterscheiden, jeweils die gleiche Silbe („Testsilbe“) markiert. Durch die unterschiedliche Realisierung der Betonung in den zwei Durchgängen entstehen folgende Werte für die markierte Silbe, die einen direkten Vergleich und die Bildung von Differenzen ermöglichen:

- Silbendauer
- Intensität
- Grundfrequenz

### **Sprechtempo und Intensität**

Die Auswertung des Sprechtempos erfolgt wie bei der Diadochokinese in Silben pro Sekunde und in der Ermittlung der zeitlichen Parameter mittlere Silbenlänge und mittlere Pausendauer mit Variationskoeffizient. Der Variationskoeffizient spiegelt die Variabilität innerhalb eines Items, also eines Satzes, wider.

Hinsichtlich der Intensität ist vor allem der Vergleich der ersten und letzten Silbe von Bedeutung, da dieser einen Intensitätsverlust widerspiegeln kann.

Im Modul Satzproduktion ergeben sich für Sprechtempo und Intensität folgende Variablen:

- Dauer des Satzes
- Anzahl der produzierten Silben
- Silbenrate
- mittlere Silbendauer und Variationskoeffizient
- Intensität der ersten und letzten Silben zum Vergleich
- Anzahl der Pausen
- mittlere Pausendauer und Variationskoeffizient
- Vergleich mit den Werten der DDK (Sprechtempo)

### Normwerte

Eine Verlangsamung der Sprechgeschwindigkeit lässt sich in die Stufen leicht, deutlich und erheblich einteilen. Eine Übersicht bietet Tabelle 14.

Tabelle 14: Normwerte: Klassifikation der Sprechgeschwindigkeit (Ziegler & Vogel 2002)

Ausprägungsgrad der Verlangsamung	Sprechgeschwindigkeit
leicht	3-4 Silben/Sekunde
deutlich	2-3 Silben/Sekunde
erheblich	<2 Silben/Sekunde

### Silbendauer

Ziegler et al. (1991) konnten im Rahmen ihrer Untersuchung folgende Werte der mittleren Silbendauer für Normsprecher feststellen:

- mittlere Silbendauer („erweiterter Silbenkern“): 120 – 191 msec
- Median: 138 msec

### Realisierung der Satzart

Der Unterschied zwischen Interrogativ- und Deklarativsatz liegt v.a. in einem Anheben bzw. Absenken der Grundfrequenz am Ende des Satzes.

### Variablen

Da alle Sätze im Untersuchungsprotokoll mit einem zweisilbigen Wort enden, wurde ein Vergleich der vorletzten und letzten Silbe hinsichtlich ihrer Grundfrequenz in die Auswertung integriert. Die entstehenden Variablen sind demnach

- Grundfrequenz der vorletzten Silbe
- Grundfrequenz der letzten Silbe

- Differenz der letzten und vorletzten Silbe

### Sprechstimmlage

Entsprechend der unterschiedlichen Größenverhältnisse im Ansatzrohr unterscheiden sich die Grundfrequenzen von Männern und Frauen erheblich.

### Variablen

Bei der Ermittlung der Sprechstimmlage entstehen folgende Variablen:

- mittlere Sprechstimmlage in Hertz
- Variationskoeffizient der mittleren Sprechstimmlage (jeweils pro Item)

### Normwerte

Böhme (2003) gibt folgende Werte für die mittlere Sprechstimmlage an:

- Männer: Werte zwischen 98-131 Hz
- Frauen: Werte zwischen 196-262 Hz

Es zeigen sich bei der Sprechstimmlage altersabhängige Veränderungen. Eine Darstellung der Normwerte zeigt Tabelle 15.

Tabelle 15: Normwerte: mittlere Sprechstimmlage

<b>Männer</b>		<b>Frauen</b>	
<b>Alter</b>	<b>Mittlere Sprechstimmlage (Hz)</b>	<b>Alter</b>	<b>Mittlere Sprechstimmlage (Hz)</b>
24,4	119,5 <sup>1</sup>	24,6	224,3 <sup>2</sup>
34,9	112,2 <sup>1</sup>	35,4	211,5 <sup>3</sup>
45,4	107,1 <sup>1</sup>	46,4	220,8 <sup>2</sup>
54,3	118,4 <sup>1</sup>	54,4	199,3 <sup>2</sup>

<b>Männer</b>		<b>Frauen</b>	
<b>Alter</b>	<b>Mittlere Sprechstimmlage (Hz)</b>	<b>Alter</b>	<b>Mittlere Sprechstimmlage (Hz)</b>
64,6	112,2 <sup>1</sup>	65,8	199,7 <sup>2</sup>
74,7	132,1 <sup>1</sup>	75,4	202,3 <sup>4</sup>
83,6	146,3 <sup>1</sup>	85	199,8 <sup>4</sup>

1. Hollien & Shipp (1972), 2. Stoicheff (1981), 3. Hollien & Paul (1969), 4. McGlone & Hollien (1963)

## 4 IMPLEMENTIERUNG DES KONZEPTS

Die semi-automatische Auswertung der Parameter erfolgt mit dem Programm PRAAT (Version 5.0.05, Boersma & Weenink 2008), welches eine Vielzahl an phonetischen Auswertungsmöglichkeiten bietet. Das Programm verfügt über eine Skriptsteuerung, so dass viele Prozesse, die sonst eine manuelle Bearbeitung erfordern würden, automatisiert werden können. Im Folgenden wird zunächst die Erstellung der Skripte und der jeweiligen Auswertungsalgorithmen erläutert, dann auf die Integration in das phonetische Labor (PhonLab) eingegangen.

Allen Skripten ist gemeinsam, dass sich zu Beginn eine Eingabemaske öffnet, die den Benutzer zu folgenden Eingaben auffordert:

1. Name des Patienten
2. Alter des Patienten
3. Geschlecht (single choice Auswahl: männlich / weiblich)
4. Itemauswahl (single choice Auswahl: aufgabenspezifisch)

Nach Eingabe der geforderten Werte wird durch das Anklicken des OK-Buttons das Skript gestartet.

Die weitere Vorgehensweise ist je nach Modul unterschiedlich; daher erfolgt die ausführliche Beschreibung aufgabenspezifisch.

### 4.1 Gehaltene Vokale

Nach Eingabe der Patientendaten und des Items öffnet sich eine Ansicht des Oszillogramms, des Spektrogramms und eines darunter liegenden „Point Tiers“<sup>2</sup> sowie der Eingabeaufforderung „Markieren Sie den Auswertungsbereich im Point Tier und klicken Sie anschließend Continue“. Dementsprechend müssen im unterhalb des Spektrogramms

---

<sup>2</sup> Im Point Tier können einzelne feste zeitliche Markierungen vorgenommen werden, während im Intervall Tier zeitliche Abschnitte definiert werden können

gelegenen Point Tier durch Klicken Beginn und Ende des Auswertungsblocks von Hand definiert werden. Stimmeinsatz und -absatz sollten, wie bereits beschrieben, nicht miteinander bezogen werden, d.h. die erste Markierung sollte ca. 25 ms nach Phonationsbeginn liegen (vgl. Kent et al. 2003) und die zweite Markierung kurz vor Ende der Phonation.

Im Anschluss öffnet sich erneut eine Ansicht des Spektrogramms und Oszillogramms inklusive Grundfrequenzkontur und Intensitätskontur zusammen mit der Eingabeaufforderung „Markieren Sie, wenn vorhanden, den Tremorbereich (oben) und die Tremormaxima (unten)“. Sollte kein Stimmtremor erkennbar sein, kann ohne vorgenommene Markierungen der Continue -Button betätigt werden.

Die Unterscheidung zwischen Tremorbereich und Tremormaxima ist wichtig für die Berechnung der Tremorfrequenz. Im oberen Point Tier müssen zwei Punkte markiert werden, die jeweils im Intensitätsminimum vor dem ersten bzw. nach dem letzten Tremormaximum liegen. Die jeweiligen Tremormaxima, erkennbar an den Schwankungen der Intensitätskontur, werden im unteren Point Tier markiert. Somit kann mittels Division der Anzahl der Tremormaxima innerhalb des Tremorbereiches und der Gesamtdauer des Tremorbereiches die Tremorfrequenz berechnet werden.

Die Settings des Spektrogramms, Pitch und Intensity entsprachen im Falle der Vokalauswertung den Angaben in Tabelle 16.

*Tabelle 16: Settings bei der Vokalauswertung*

View range	0 – 10 000 Hertz
Window length	0,005 Sekunde
Dynamic range	70 dB
Pitch range (männlich)	75 – 300 Hz
Pitch range (weiblich)	100 – 500 Hz
Analysis method	Cross correlation
Intensity range	20 -100 dB

Die obere Begrenzung der „View range“ liegt auch hier bei 10000 Hz, um hochfrequente Geräuschanteile zu erfassen. Die Werte „Window length“ und „Dynamic range“ bleiben unverändert. Eine wichtige geschlechtsspezifische Unterscheidung wird im Rahmen der „pitch settings“ getroffen. Da die Grundfrequenz bei Männern und Frauen unterschiedlich hoch liegt, wird von vornherein für Männer die Spanne von 75-300 Hz und für Frauen die Spanne von 100-500 Hz gewählt (vgl. Boersma & Weenink 2008). Die genutzte Analysemethode „cross correlation“ steht im Gegensatz zu „autocorrelation“ und stellt eine Optimierung für die Stimmanalyse dar.

Der Auswertungsbereich erfordert, wie bereits beschrieben, eine manuelle Markierung im Point Tier. Dies ermöglicht eine sehr präzise Auswertung der Haltedauer und lässt eventuell zu Beginn der Aufnahme auftretende Störgeräusche außer acht. Abbildung 3 zeigt das Auswertungsfenster bei der Vokalanalyse mit bereits im Point Tier markiertem Auswertungsbereich.

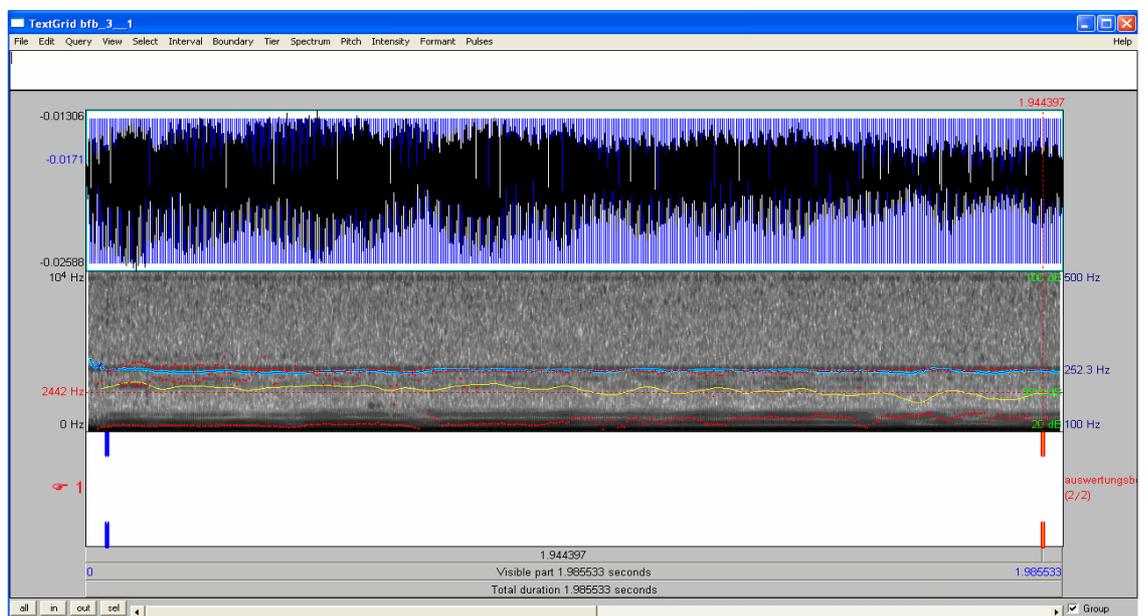


Abbildung 3: Auswertungsfenster Vokalanalyse mit definiertem Auswertungsbereich

Nach dem Betätigen des Continue-Buttons in der Eingabeaufforderung und nach Abschluss der fakultativen Tremorberechnungen erfolgt die Berechnung der Dauer des Auswertungsblocks. Anschließend wird dieser in ein Formantobjekt umgewandelt, indem eine Kurzzeit-Spektralanalyse durchgeführt wird.

Das Formantobjekt wird wiederum geschlechtsspezifisch erstellt, so dass die Maximalfrequenz des obersten Formanten für Männer 5000 Hz und für Frauen 5500 Hz beträgt. Auf diese Weise wird vermieden, dass bei Männern in den unteren Frequenzbereichen zu wenige Formanten detektiert werden. Aus dem Formantobjekt werden die ersten drei von fünf ermittelten Formanten sowie ihre Standardabweichung extrahiert, woraus die Variationskoeffizienten berechnet werden.

Zur Ermittlung der Intensitätswerte wird das Soundobjekt in ein Intensitätsobjekt umgewandelt, welches die Intensitätskurve mit den Werten in dB enthält. Die mittlere Intensität und die Standardabweichung sowie der Variationskoeffizient werden wiederum für den Bereich des Auswertungsblocks berechnet.

Für die Analyse der Stimmqualität werden zunächst zwei weitere Objekte generiert: das Pitch Objekt und das Point Process Objekt. Mit Hilfe dieser Objekte können die bereits beschriebenen Variablen bestimmt und anschließend in die Tabelle übertragen werden, die dann zudem Name, Alter, Geschlecht, Item, und Dauer enthält und zur weiteren Datenverarbeitung mit anderen Programmen zur Verfügung steht. In Tabelle 17 sind die Variablen mit ihren jeweiligen Variablenbezeichnungen aufgeführt.

*Tabelle 17: Vokalanalyse: Variablen und Variablenbezeichnungen*

<b>Variable</b>	<b>Variablenbezeichnung</b>
Tonhaldedauer	Dauer
Grundfrequenz	F0
Standardabweichung der Grundfrequenz	SDF0
Variationskoeffizient der Grundfrequenz	Variationskoeff_F0
1. Formant	F1

<b>Variable</b>	<b>Variablenbezeichnung</b>
Standardabweichung 1. Formant	SDF1
Variationskoeffizient 1. Formant	Variationskoeff_F1
2. Formant	F2
Standardabweichung 2. Formant	SDF2
Variationskoeffizient 2. Formant	Variationskoeff_F2
3. Formant	F3
Standardabweichung 3. Formant	SDF3
Variationskoeffizient 3. Formant	Variationskoeff_F3
Mittlere Intensität	Intensitaet
Standardabweichung der Intensität	SDIntensitaet
Variationskoeffizient der mittleren Intensität	Variationskoeff_Intensitaet
Jitter lokal	Jitterlocal
Jitter: Relative Average Perturbation	JitterRAP
Jitter: PPQ	JitterPPQ
Shimmer	Shimmer
Stimmabbrüche	Stimmabbrüche
H/N-Quotient	HNRatio
Tremorfrequenz	Tremorfrequenz

## 4.2 Vokalartikulation

Nach Eingabe der Patientendaten und des Items öffnet sich eine Ansicht des Oszillogramms, Spektrogramms und drei darunter liegender Point Tiers sowie die Eingabeaufforderung „Markieren Sie die Auswertungsbereiche in je einem Point Tier“. Es besteht somit die Möglichkeit, bis zu drei Auswertungsblöcke in den jeweiligen Point Tiers

zu markieren. Dies ermöglicht, die Aufnahme mit den drei Wiederholungen in einem Stück auszuwerten, ohne vorher die einzelnen Ausführungen extrahieren zu müssen. Sollten nur zwei Durchführungen vorliegen, bleibt das unterste Point Tier leer. Die Settings des Spektrogramms, Pitch und der Intensität sind dieselben wie bei den gehaltenen Vokalen (vgl. Tab. 16). Abbildung 4 zeigt das Auswertungsfenster bei der Vokalartikulation mit drei definierten Auswertungsblöcken.

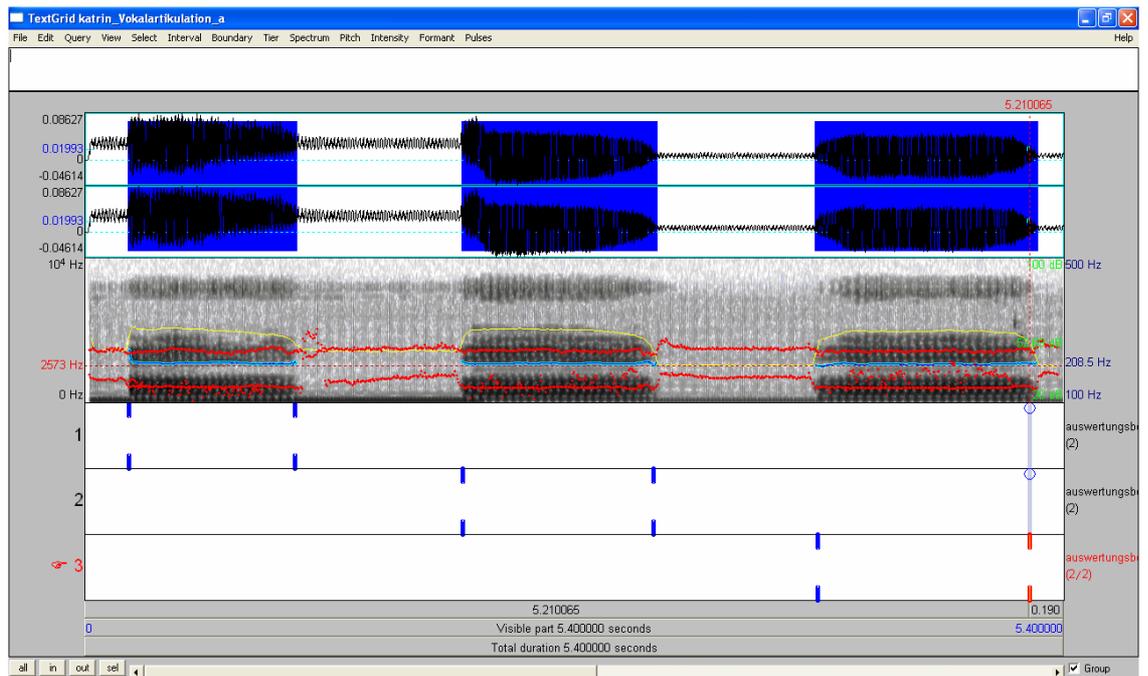


Abbildung 4: Auswertungsfenster Vokalartikulation

Nach Betätigen des Continue-Buttons wird durch die Skriptsteuerung der erste markierte Block extrahiert, seine Dauer berechnet und anschließend mit geschlechtsspezifischen Werten in ein Formantobjekt umgewandelt, indem eine Kurzzeit-Spektralanalyse durchgeführt wird, so dass die Maximalfrequenz des obersten Formanten wie bei den gehaltenen Vokalen für Männer 5000 Hz und für Frauen 5500 Hz beträgt. Aus dem Formantobjekt werden die ersten drei von fünf ermittelten Formanten sowie ihre Standardabweichung extrahiert. Sollten weniger als drei Blöcke definiert worden sein, werden die Formanten und ihre Standardabweichung für die fehlenden Durchgänge auf den Wert 0 gesetzt.

Das weitere Prozedere für die anderen Blöcke erfolgt analog zum ersten Auswertungsblock und resultiert in einem Objekt mit dem Namen „Table Vokalartikulation“. Diese Tabelle

enthält alle ermittelten Werte; die Variablenbezeichnungen und Variablen sind in Tabelle 18 aufgeführt.

Zudem erscheint im Picture Window von PRAAT ein Koordinatensystem mit den Werten für F1 von 200-1000 auf der x-Achse und 200-3000 für F2 auf der y Achse. In grau sind als Buchstaben a, i, y, und u geschlechtsspezifische Normwerte bereits eingetragen. Die neu ermittelten Werte der untersuchten Person werden in farbigen Buchstaben (rot für den ersten Durchgang, grün für den zweiten und blau für den dritten) ebenfalls eingetragen, so dass ein grober visueller Vergleich möglich ist. Abbildung 5 zeigt die Vokalproduktionen einer Patientin mit teilweise von der Norm abweichenden Formantfrequenzen.

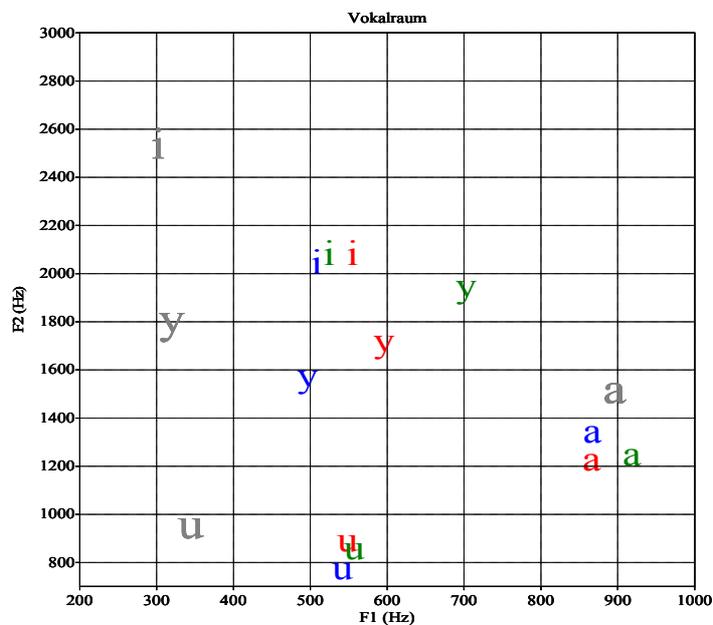


Abbildung 5: Vokalartikulation: Grafische Darstellung der Formantfrequenzen

Tabelle 18: Vokalartikulation: Variablen und Variablenbezeichnungen

Variable	Variablenbezeichnung
1. Formant, erste Vokalproduktion	F1_1
2. Formant, erste Vokalproduktion	F2_1
3. Formant, erste Vokalproduktion	F3_1

<b>Variable</b>	<b>Variablenbezeichnung</b>
1. Formant, zweite Vokalproduktion	F1_2
2. Formant, zweite Vokalproduktion	F2_2
3. Formant, zweite Vokalproduktion	F3_2
1. Formant, dritte Vokalproduktion	F1_3
2. Formant, dritte Vokalproduktion	F2_3
3. Formant, dritte Vokalproduktion	F3_3

### 4.3 Satzproduktion

Das Nachsprechen von Sätzen beinhaltet verschiedene Auswertungsmöglichkeiten, daher wird bei der Implementierung zwischen Artikulation, Betonung und Sprechtempo unterschieden.

Nach Eingabe der Patientendaten und des Items öffnet sich eine Ansicht des Oszillogramms, Spektrogramms, eines darunter liegenden Point Tiers sowie die Eingabeaufforderung „Markieren Sie Start- und Endpunkt des Auswertungsblocks“. Nach dem Betätigen des Continue-Buttons öffnet sich eine neue Ansicht mit dem zuvor definierten Auswertungsblock, so dass nun eine präzise zeitliche Segmentierung und eine detailliertere Darstellung vorliegen.

Da die vom Programm automatisch ermittelte Intensitätskontur teilweise sehr viel höhere Werte für Frikative und Plosive mit ihren hochfrequenten Geräuschanteilen aufweist als für den vokalischen Teil der Silbe, muss eine Aussteuerung der unteren Frequenzbereiche durchgeführt werden. Dies lässt sich im Programm PRAAT mittels der Funktion „deepen band modulation“ durchführen und beinhaltet eine Unterteilung der Frequenzbereiche zwischen 25 Hz und 600 Hz in Bark Bänder<sup>3</sup>, die gezielt um 30 dB verstärkt werden. Die übrigen Frequenzbereiche des Signals bleiben unverändert. So entsteht eine Intensitätskurve, die dem Lautheitsempfinden des menschlichen Ohrs ähnelt und zu einer plausiblen Segmentierung des Signals führt.

<sup>3</sup> Bark Bänder bezeichnen vom menschlichen Ohr gruppierte Frequenzbereiche. Jedes Bark Band (insgesamt 24) kann einem spezifischen Basilmembranort zugeordnet werden.

Zusätzlich zur Ansicht des Signals mit veränderter Intensitätskontur öffnet sich ein Fenster mit der Eingabeaufforderung "Markieren Sie die Maxima (oben) und die Silbe „...“ (unten)". Zur Markierung einer einzelnen Silbe wird nur dann aufgefordert, wenn der Satz für eine Betonungsauswertung vorgesehen ist. Die Markierung der Maxima bezieht sich auf die Einzelsilben und das obere Point Tier, während die Markierung der Betonung sich auf diejenige Silbe, die mit einem satzspezifischen Betonungsmuster versehen werden soll und das untere Point Tier bezieht. In Abbildung 6 ist das Auswertungsfenster der Satzproduktion mit markierten Silbenmaxima (oberes Point Tier) und Markierung der betonten Silbe (unteres Point Tier) dargestellt.

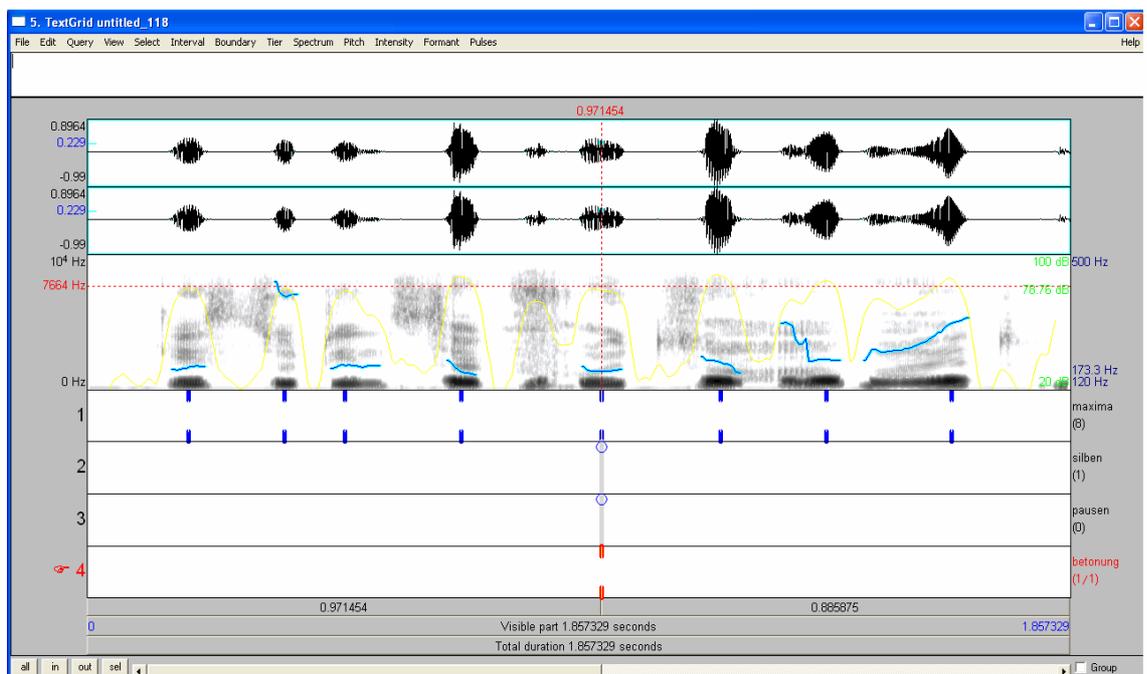


Abbildung 6: Auswertungsfenster Satzproduktion

Zunächst wird überprüft, ob im Bereich von 0,035 Sekunden vor bzw. hinter den markierten Maxima noch höhere Intensitätswerte erreicht werden. Ist dies der Fall, wird die Benutzereingabe korrigiert und das zuvor gesetzte Maximum an die Stelle mit dem höheren Intensitätswert verschoben. Obwohl der Benutzer eine möglichst präzise Definition des Maximums anstreben sollte, können so eventuelle Fehler vermieden werden.

Durch ein Array, das die definierten Maxima ganzzahlig durchnummeriert und ihnen feste Zeit- und Intensitätswerte (im Intensitätsobjekt) zuordnet, entsteht die Grundlage zur Segmentierung in Silben im mittleren Tier („Silben“). In Form einer programmierten Schleife wird nun für jedes einzelne Maximum die Intensitätskurve solange in Millisekundenschritten abgetastet, bis der Intensitätswert um 40% geringer ist als das Maximum selbst. Dies erfolgt in zwei Schritten; zunächst rechts-, dann linksseitig vom jeweiligen Maximum. Das Erreichen der 40% Schwelle wird im mittleren Tier markiert, so dass nach dem Durchlaufen der Schleife Intervalle entstanden sind, die nun mit „s“ für „Silbe“ markiert werden und deren einzelne Dauer ebenfalls mit einem Array erfasst wird. Sollte die Intensitätskontur zwischen zwei Silben ausschließlich Werte aufweisen, die nicht unterhalb 40% des Maximum liegen, was sich als flache Kurve ohne deutlichen Einschnitt zeigt, wird lediglich eine Silbengrenze gezogen, so dass im Folgenden hier keine Pause markiert wird. Ziegler et al. (1990) schlagen in ihrer Untersuchung vor, die Silbengrenzen bei einem Intensitätsabfall von 10% festzulegen. Dieser Wert führte bei einer probeweisen Umsetzung in dieser Untersuchung jedoch zu unplausibel kurzen Silbennuklei und zu hohen Pausenanteilen und wurde aus diesem Grund auf 40% erhöht, was zu erheblich weniger manuellen Korrekturen führte.

Nach dieser automatischen Segmentierung des Signals erfolgt eine Unterbrechung der Auswertungsroutine, in der der Benutzer aufgefordert wird, die Segmentierung auf Plausibilität zu überprüfen und gegebenenfalls manuelle Korrekturen der Silbengrenzen vorzunehmen. Dabei können die Silbengrenzen mit der Maus per Ziehen und Fallenlassen (Drag'n Drop) an die gewünschte Stelle verschoben werden.

Im Anschluss werden die Silbenrate, die mittlere Silbenlänge mit Variationskoeffizient sowie die mittlere Intensität mit Variationskoeffizient berechnet.

Zur Erfassung der Pausendauer, Intensität und Regelmäßigkeit werden die leeren Intervalle zwischen den Silben im nächsten Schritt mit einem „p“ gekennzeichnet und im untersten Tier die jeweilige zeitliche Pausenmitte bestimmt. Anschließend werden die mittlere Pausendauer mit Standardabweichung und die mittlere Intensität in der Pausenmitte (mit Standardabweichung) berechnet.

Nachdem die Markierungen des Signals abgeschlossen sind, wird die weitere Auswertung wieder am Originalsignal, d.h. am Signal ohne manipulierte Intensitätskontur vorgenommen. Abbildung 7 zeigt dasselbe Auswertungsfenster wie Abbildung 6 nach abgeschlossener Auswertung.

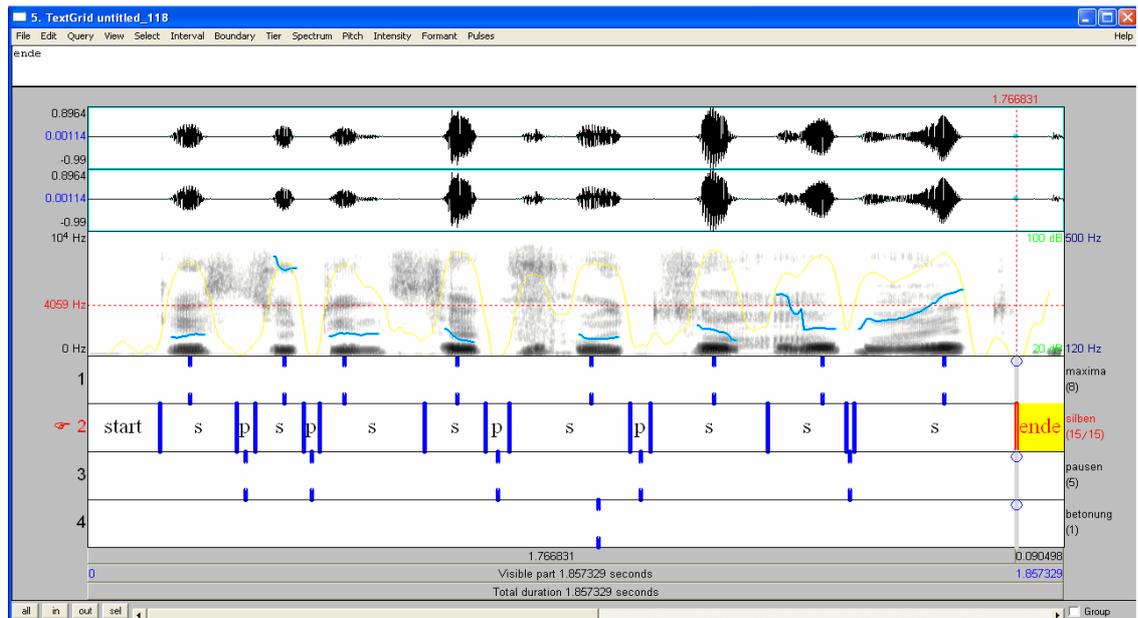


Abbildung 7: Auswertungsfenster Satzproduktion nach abgeschlossener Auswertung

### 4.3.1 Mittlere Sprechstimmlage

Durch die Umwandlung des markierten Auswertungsblockes in ein Pitch Objekt werden die mittlere Sprechstimmlage und ihr Variationskoeffizient für den Satz ermittelt.

### 4.3.2 Sprechtempo

Wie bereits beschrieben werden die Silben- und Pausendauer mit den jeweiligen Variationskoeffizienten durch semi-automatische Segmentierung berechnet. Die Variationskoeffizienten zeigen das Ausmaß der Schwankungen innerhalb eines Items (also hier eines Satzes) an. Daneben wird die Silbenrate (Division der Silbenanzahl durch die Dauer des Satzes in

Sekunden) erfasst. Die entstehende Tabelle heißt „Table Satzauswertung“ und enthält neben Namen, Alter, Geschlecht und Item die Variablen. Die Variablenbezeichnungen finden sich in Tabelle 19.

Tabelle 19: Satzproduktion: Variablen und Variablenbezeichnungen

<b>Variable</b>	<b>Variablenbezeichnung</b>
mittlere Sprechstimmlage (F0)	Sprechstimmlage
Standardabweichung von F0	SDSprechstimmlage
Variationskoeffizient von F0	Varkoeff_F0
Anzahl der Silben	Silbenanzahl
Silbenrate	Silbenrate
Silbendauer	Silbendauer
Standardabweichung der Silbendauer	SDdauer
Variationskoeffizient der Silbendauer	Varkoeff_Silbendauer
mittlere Silbenintensität	Intensitaet
Standardabweichung der mittleren Silbenintensität	SDIntensitaet
Variationskoeffizient der mittleren Silbenintensität	Varkoeff_Silbenintensitaet
Intensität der ersten Silbe	Int_ersteSilbe
Intensität der letzten Silbe	Int_letzteSilbe
Pausenanzahl	Pausenanzahl
mittlere Pausendauer	Pausendauer
Standardabweichung der mittleren Pausendauer	SDPausendauer
Variationskoeffizient der mittleren Pausendauer	Varkoeff_Pausendauer
mittlere Pausenintensität	Pausenintensitaet
Standardabweichung der mittleren Pausenintensität	SDPausenintensitaet

<b>Variable</b>	<b>Variablenbezeichnung</b>
Variationskoeffizient der mittleren Pausenintensität	Varkoeff_Pausenintensitaet
Grundfrequenz der vorletzten Silbe	F0_vorletzte_Silbe
Grundfrequenz der letzten Silbe	F0_letzte_Silbe

Wurde zudem die Betonungsauswertung ausgewählt, ergeben sich Werte für die folgenden Variablen (im anderen Falle erhalten sie den Wert Null):

*Tabelle 20: Satzproduktion: Variablen und Variablenbezeichnungen bei der Betonungsauswertung*

<b>Variable</b>	<b>Variablenbezeichnung</b>
Dauer der markierten Silbe (Betonungsauswertung)	Testsilbendauer
Intensität der markierten Silbe (Betonungsauswertung)	Testsilbenintensitaet
Grundfrequenz der markierten Silbe (Betonungsauswertung)	Testsilbenf0

### 4.3.3 Betonung

Die Settings des Spektrogramms bei der Analyse der Betonung werden in Tabelle 21 dargestellt.

*Tabelle 21: Spektrogrammsettings bei der Analyse der Betonung*

View range	0 – 10 000 Hertz
Window length	0,005 Sekunden
Dynamic range	70 dB
Pitch range (männlich)	75 – 300 Hz
Pitch range (weiblich)	100 – 500 Hz
Analysis method	autocorrelation

Im Folgenden werden für die Silben Dauer, Grundfrequenz (nach Umwandlung des Sound Objektes in ein Pitch Objekt) und Intensität (mithilfe des Intensity Objektes) berechnet.

Die Werte werden wiederum in eine Tabelle („Table Betonung“) übertragen, die zudem Namen, Alter, Geschlecht, Item und Dauer enthält und zur weiteren Datenverarbeitung mit anderen Programmen zur Verfügung steht.

#### 4.4 Diadochokinese

Nach Eingabe der Patientendaten und des Items öffnen sich Ansichten des Oszillogramms, der Intensitätskurve und eines darunter liegenden Interval Tiers. Es erfolgt die Eingabeaufforderung „Definieren Sie den Auswertungsblock (2.-13. Silbe)“. Der Auswertungsblock wird durch das Setzen von Markierungen im darunter liegenden Interval Tier vorgenommen. Start- und Endpunkt orientieren sich am Intensitätsminimum vor der zweiten bzw. nach der dreizehnten Silbe (vgl. Abb. 8). Die erste Silbe wird deshalb ausgeschlossen, weil sie oft übermäßig laut und deutlich artikuliert wird und somit die Auswertung verfälschen könnte. Auch ein Intensitätsvergleich der ersten und zwölften Silbe würde keine repräsentativen Aussagen über einen Intensitätsverlust ermöglichen.

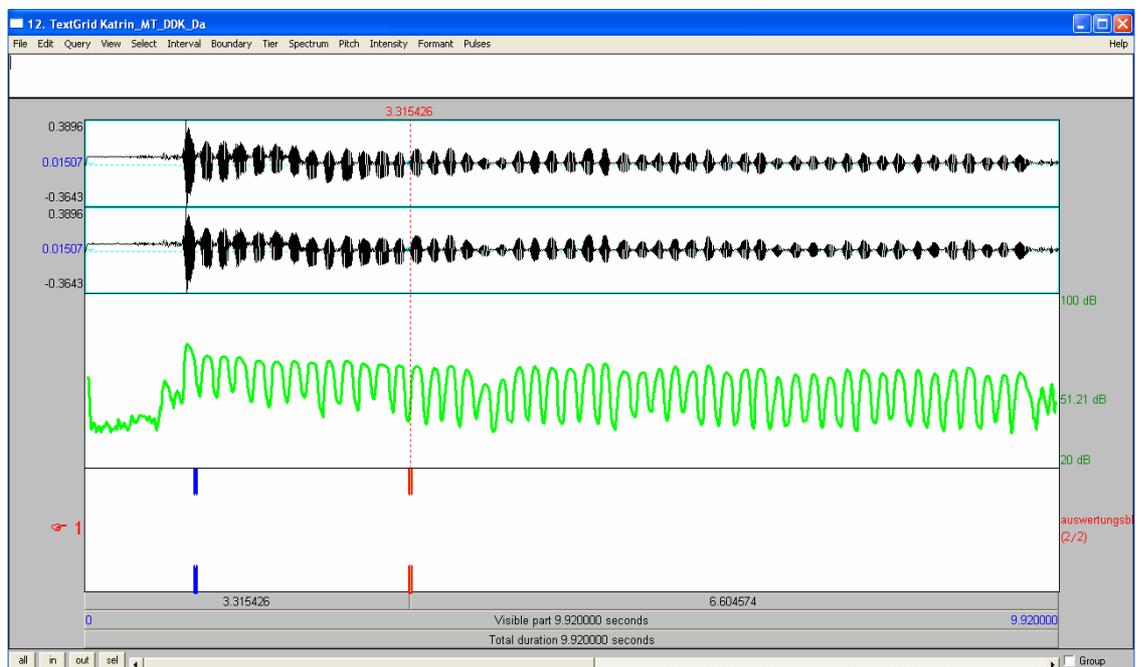


Abbildung 8: Auswertungsfenster Diadochokinese

Nachdem die Definition des Auswertungsblockes erfolgt ist und der Continue-Button betätigt wurde, öffnet sich ein neues Fenster, welches nun lediglich die Silben innerhalb des Auswertungsblockes zeigt. Es folgt die Eingabeaufforderung „Markieren Sie die Maxima im oberen Tier durch Klicken“. Am höchsten Punkt der Intensitätskurve (also dem Silbenmaximum) wird jeweils eine Markierung im Point Tier vorgenommen. Auf die Darstellung des Spektrogramms mit weiteren Auswertungen (z.B. Formanten, Grundfrequenz) wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Abbildung 9 zeigt ein Auswertungsfenster mit dem 12-Silben-Block und definierten Silbenmaxima.

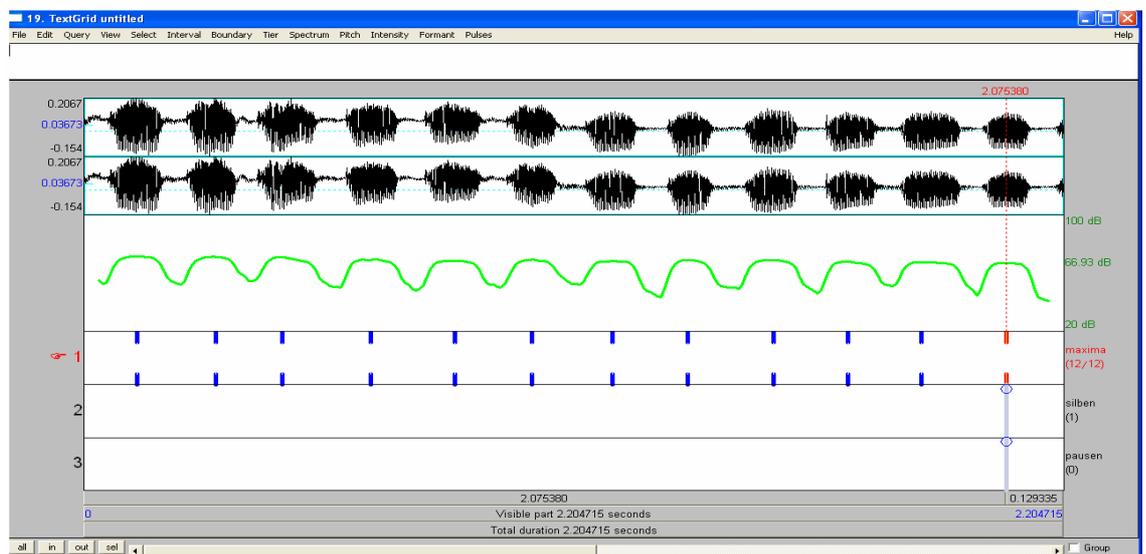


Abbildung 9: Auswertungsfenster Diadochokinese mit markierten Silbenmaxima

Tabelle 22 enthält die Settings des Spektrogramms bei der Diadochokinese:

Tabelle 22: Spektrogrammsettings bei der Diadochokinese

View range	0 – 10 000 Hertz
Window length	0,005 Sekunden
Dynamic range	70 dB
Pitch range (männlich)	75 – 300 Hz
Pitch range (weiblich)	100 – 500 Hz
Analysis method	autocorrelation

Im Unterschied zu den bisher beschriebenen Verfahren handelt es sich bei der Auswertung der Diadochokinese um die Analysemethode „autocorrelation“, da hier keine Stimmanalyse erfolgt.

Nachdem alle Maxima im Point Tier „Maxima“ definiert wurden und der Continue-Button betätigt wurde, läuft die Auswertung automatisch in mehreren Schritten analog zur Auswertung der Sätze, d.h. es werden wiederum Silben- und Pausengrenzen eingefügt und die Intervalle entsprechend markiert. Eine Betonungsauswertung erfolgt nicht, ein Intensitätsvergleich der ersten und letzten Silbe des Auswertungsblock wird jedoch ermöglicht.

Die Werte werden in eine Tabelle („Table Diadochokinese“) übertragen, die zudem Namen, Alter, Geschlecht, Item und Dauer enthält und zur weiteren Datenverarbeitung mit anderen Programmen zur Verfügung steht. Die erfassten Variablen sind in Tabelle 23 aufgeführt.

*Tabelle 23: Diadochokinese: Variablen und Variablenbezeichnungen*

<b>Variable</b>	<b>Variablenbezeichnung</b>
Dauer des 12-Silbenblocks	Dauer
Anzahl der produzierten Silben	Anzahlsilben
Silbenrate	Silbenrate
Silbendauer	Silbendauer
Standardabweichung der Silbendauer	SDdauer
Variationskoeffizient der Silbendauer	Variationskoeff_Silbendauer
mittlere Silbenintensität	Intensitaet
Standardabweichung der mittleren Silbenintensität	SDint
Variationskoeffizient der mittleren Silbenintensität	Variationskoeff_Intensitaet
Intensität der ersten Silbe des Auswertungsbereichs	Int_ersteSilbe
Intensität der letzten Silbe des Auswertungsbereichs	Int_letzteSilbe
Pausenanzahl	Pausenanzahl
mittlere Pausendauer	Pausendauer
Standardabweichung der mittleren Pausendauer	SDPausendauer

<b>Variable</b>	<b>Variablenbezeichnung</b>
Variationskoeffizient der mittleren Pausendauer	Variationskoeff_Pausendauer
mittlere Pausenintensität	Pausenintensitaet
Standardabweichung der mittleren Pausenintensität	SDPausenintensitaet
Variationskoeffizient der mittleren Pausenintensität	Variationskoeff_Pausenintensitaet

#### 4.5 Integration der akustischen Analyse ins PhonLab

Das phonetische Labor (PhonLab, [www.phonlab.de](http://www.phonlab.de)) ist ein modulares Online-Diagnosesystem für Patienten mit Sprechstörungen, das sich am Vorbild eines medizinischen Zentrallabors orientiert. Hinsichtlich akustischer Analysen stellt sich die Frage, warum die bislang entwickelten Programme nicht im klinischen Alltag verwendet werden. Die Gründe dafür liegen in der technischen Umsetzung, der Anwendbarkeit und Interpretierbarkeit der gewonnenen Daten.

Die technische Umsetzung bezieht sich auf die Installation des Programmes. Manche Programme benötigen zusätzliche Software, die ebenfalls installiert werden muss. Je nach technischer Versiertheit des Anwenders können hier Probleme entstehen.

Hinsichtlich der Anwendbarkeit besteht das Problem darin, dass zunächst eine Einarbeitung stattfinden muss, um das Programm bedienen zu können. Anschließend ist eine kontinuierliche Nutzung notwendig, um die gelernten Schritte nicht wieder zu vergessen. Gerade in Kliniken, in denen häufig eine hohe Fluktuation an Sprachtherapeuten herrscht, wären regelmäßige Schulungen notwendig, die wiederum Kosten verursachen würden.

Die schwierige Interpretierbarkeit akustischer Daten liegt oft darin begründet, dass die auditiven Korrelate zu den akustischen Variablen nicht bekannt sind. Die Variablen haben dann für den Anwender wenig Aussagekraft und können somit keine Hinweise für die Therapie liefern.

Durch das Angebot einer Online-Diagnostik können diese Probleme vermieden werden. Technisch bestehen die notwendigen Voraussetzungen in einem Mikrofon, einem Aufnahmeprogramm, z.B. den im Betriebssystem Windows enthaltenen Soundrecorder sowie einer Internetverbindung. Die Durchführung der Untersuchung erfolgt nach vorgegebener Beschreibung und muss nicht erst erlernt werden. Die nach externer Auswertung gewonnenen Daten werden so aufbereitet, dass der Anwender konkrete Hinweise auf Störungsschwerpunkte und somit therapierelevante Informationen erhält.

Die Abbildung 10 stellt den Ablauf einer Nutzung der akustischen Analyse im PhonLab dar.

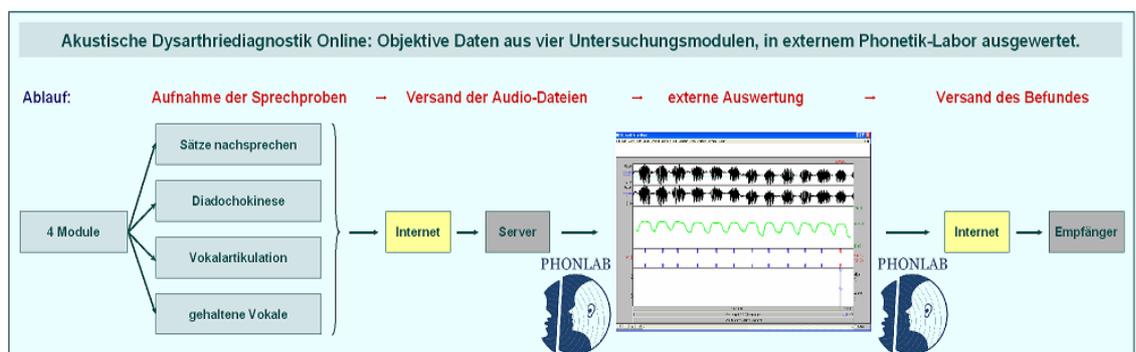


Abbildung 10: Ablauf der Durchführung einer akustischen Analyse im PhonLab

Von links nach rechts sind kontinuierlich die Ablaufschritte aufgeführt: die Aufnahme der Sprechproben (Modul 1-4) erfolgt vor Ort durch den Anwender, also z.B. den behandelnden Therapeuten. Im Anschluss erfolgt der Versand der Audio-Dateien via Internet an den zentralen Server PhonLab. Dort erfolgt die externe Auswertung der Sprechproben durch die entwickelten Auswertungsroutinen, die Aufbereitung der Daten und der anschließende Versand des Befundes an den Anwender.

## 5 U N T E R S U C H U N G

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden gesunde Probanden und dysarthrische Patienten mit der Zielsetzung untersucht, einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein bzw. Schweregrad einer Dysarthrie und der Ausprägung bestimmter akustischer Variablen nachzuweisen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse bisheriger Studien sind für die Patientstichprobe und entsprechend des jeweiligen Schweregrades von der Norm abweichende Werte zu erwarten.

### 5.1 Mikrofonauswahl

Die Wahl des geeigneten Mikrofons ist bei Sprachaufnahmen essentiell. Titze & Winholtz (1993) untersuchten die Effekte, die durch die Verwendung verschiedener Mikrofontypen (Kondensatormikrofon vs. dynamisches Mikrofon), Richtcharakteristik (Unidirektionalität vs. Omnidirektionalität) und Mikrofonabstand bei der Analyse gehaltener Vokale entstanden. Grundsätzlich konnten sie feststellen, dass Kondensatormikrofone den dynamischen Mikrofonen überlegen waren und dass die Sensitivität sowie der Abstand einen großen Einfluss auf die Perturbationsmessungen (z.B. Jitter) hatten. Für exakte Messungen empfehlen sie einen maximalen Abstand von 4 cm vom Mund.

Bei Baken (2001) ist zudem der Hinweis zu finden, dass Mikrofone mit unidirektionaler Richtcharakteristik zur Eliminierung von Hintergrundgeräuschen besser geeignet sind als solche mit omnidirektionaler.

In einer weiteren Studie verglichen Winholtz & Titze (1997) zwei Kondensatormikrofone, von denen das eine auf einem Stativ, das andere an einem Headset befestigt war, hinsichtlich der Auswirkungen auf die Perturbationsanalyse. Zusammenfassend konnten nur geringfügige Unterschiede beobachtet werden, wobei sich das Headset Mikrofon als überlegen bei starken Kopfbewegungen erwies.

Aus diesen Gründen erfolgt die Mikrofonauswahl nach den Kriterien

- Mikrofontyp: Kondensator

- Richtcharakteristik: unidirektional
- Mikrofonabstand: max. 4 cm
- Mikrofonbefestigung: Headset

Tabelle 24: Eigenschaften des verwendeten Mikrofons

<b>Monacor img Headset HSE-152A/SK</b>	
<b>Technologie:</b>	Kondensator
<b>Richtcharakteristik:</b>	Niere
<b>Übertragungsbereich:</b>	20 Hz bis 20 kHz
<b>Grenzschalldruckpegel:</b>	130 dB
<b>Leerlauf-Übertragungsfaktor:</b>	1,8 mV/Pa
<b>Preis:</b>	79,00 €
<b>Anschluss:</b>	2,5 mm Klinke
<b>Impedanz:</b>	1,5 k $\Omega$
<b>Gewicht:</b>	7 g
<b>Stromversorgung:</b>	1,5 – 9 V
<b>Empfindlichkeit:</b>	1,8 mV/ Pa/ 1 kHz

Im Folgenden wird die eigene Untersuchung zur Evaluation des Computerprogramms dargestellt. Dabei wird mit der Beschreibung der Stichproben begonnen, um im Anschluss das Untersuchungsprotokoll selbst sowie den Versuchsablauf, das Versuchsdesign und die Versuchsauswertung zu beschreiben.

## 5.2 Stichprobenbeschreibung

Im Rahmen der Evaluation wurden gesunde Sprecher (Normsprecher) und Dysarthriker untersucht. Die Einschlusskriterien für die Normsprecher waren

- Deutsch als Muttersprache
- keine neurologische Erkrankung
- Einwilligung zur Teilnahme

Die Normsprecher stammten alle aus dem weiteren Bekanntenkreis.

Die Patienten wurden in den neurologischen Rehabilitationskliniken Klinik am Rosengarten und Klinik am Osterbach (Bad Oeynhausen) und in der Praxis für Logopädie Martens-Wiese in Essen rekrutiert. Die Patienten wurden außerhalb der Therapiezeit untersucht, so dass ihnen keinerlei Nachteile durch die Teilnahme entstanden sind. Die Aufnahmen wurden in ruhigen jedoch nicht schallisolierten Räumen durchgeführt.

Die Auswahlkriterien für die Patientenstichprobe waren

- Vorhandensein einer Dysarthrie
- keine aphasischen und/oder sprechpraktischen Begleitstörungen, die das Nachsprechen beeinträchtigen
- Deutsch als Muttersprache
- Einwilligung zur Teilnahme

Für die Teilnahme an der Untersuchung war eine schriftliche Einverständniserklärung obligatorisch. Im Fall einer Dysarthrikerin wurde auf die Schriftform verzichtet und stattdessen auf eine mündliche Einverständniserklärung ausgewichen, da aufgrund eines starken Tremors eine Unterschrift nicht möglich war.

Die Datenerhebung erstreckte sich über einen Zeitraum von 6 Monaten (Januar 2009 – Juni 2009). Es wurden 29 Dysarthriker und 30 Normsprecher untersucht; die Altersspanne bei den Normsprechern betrug 20 bis 74 Jahre (Mittelwert 35,5, SD 14,76); bei den Patienten lag die Altersspanne zwischen 20 und 81 Jahren (Mittelwert 52,59, SD 14,96).

Bei allen Patienten lag ein neurologischer Befund der Ätiologie sowie eine logopädische Einschätzung der Dysarthrie und des Schweregrades durch den behandelnden Therapeuten vor. Hinsichtlich der Ätiologie wurde eine möglichst breite Fächerung über die verbreitetsten neurologischen Störungsbilder angestrebt. Dadurch ergab sich eine sehr heterogene Stichprobe, die keine repräsentativen Aussagen über die Leistungen einzelner ätiologischer Gruppen erlaubt, jedoch Einzelfalluntersuchungen bestimmter Störungsbilder ermöglicht.

Die folgenden Tabellen bieten Übersicht über die einzelnen Teilnehmer.

*Tabelle 25: Übersicht Normsprecher*

<b>Kürzel</b>	<b>Geschlecht</b>	<b>Alter</b>
DT	M	33
GB	M	29
JS	W	28
KJ	W	28
MJ	M	26
AH	W	27
AW	W	22
BB	M	23
TS	W	20
MP	M	22
PB	W	20
AS	W	28
SB	M	28
VG	W	27
JE	M	30
IM	W	27
MH	W	25
AB	W	31
CB	W	37
BL	W	45
HK	M	50

Kürzel	Geschlecht	Alter
HM	M	74
AM	W	66
FM	W	31
RS	M	34
KL	W	27
HJ	M	64
KD	W	28
RH	W	55
TH	M	58

Tabelle 26: Übersicht Patienten

Kürzel	Geschlecht	Alter	Diagnose	Schweregrad
MS	w	75	Parkinson	s
OS	m	40	MS	m
FB	m	53	Parkinson	l
VR	m	55	MS	s
IT	w	23	MS	m
BN	w	46	MS	s
SB	m	36	SHT	m
EW	m	81	Mediainfarkt rechts	m
BB	w	60	Ponsinfarkt rechts	l
AB	w	50	Entzündung pedunculus cerebelli rechts, V.a. MS	l
NM	m	46	posterior Infarkt rechts, V.a. Älteren Ponsinfarkt paramedian rechts	l
SM	m	30	SHT mit links-frontaler Kontusion	l
AK	w	52	beidseitiger Hirninfarkt, Alkoholabusus	s
BK	m	56	Hirnstamminfarkt links	l
JD	m	43	ischämischer Insult der A. cerebri media rechts	l
EH	w	51	Polyneuritis cranialis, Fazialisparese links, Hypoglossusparese;	l
KM	m	52	SHT mit Kontusionsblutung	s
GE	w	72	Hirninfarkt A. Cerebri media beidseitig	l
MN	m	57	Z.n. axonalem SHT, dabei SAB links temporal	l
JW	m	78	Z.n. rezidivierenden cerebralen Insulten	l
BJ	m	20	zerebelläre Ataxie, V.a. Morbus Wilson	s
CS	m	57	MS, progressive supranukleäre Paralyse, Stammganglieninfarkt	s
PR	m	42	intrazerebrale Blutung	s
AH	w	67	embolische beidseitige Kleinhirnininfarkte, Ponsinfarkt links	m
FW	m	71	lakunärer Hirninfarkt im Bereich der A. Cerebri media links	l
OM	m	59	SHT mit Hirnstammkontusion, fronto-basale Schädelfraktur	m
BE	w	63	Stammganglieninfarkt	l
UD	m	46	SHT, Impressionsfraktur links fronto-temporo-parietal	l
DT	m	44	Hirninfarkt A. Cerebri media rechts	l

Die Patientenstichprobe setzte sich ätiologisch wie folgt zusammen:

<b>Parkinson</b>	<b>Multiple Sklerose</b>	<b>SHT</b>	<b>Insult</b>	<b>sonstige</b>
2	5	5	14	3

Entsprechend der logopädischen Einschätzung ergaben sich für die Einteilung nach Schweregrad folgende Gruppen:

*Tabelle 27: Einteilung nach Schweregrad*

	<b>Häufigkeit</b>	<b>Prozent</b>	<b>Gültige Prozente</b>	<b>Kumulierte Prozente</b>
<b>leicht</b>	15	51,7	51,7	51,7
<b>mittel</b>	6	20,7	20,7	72,4
<b>schwer</b>	8	27,6	27,6	100,0
<b>Gesamt</b>	29	100,0	100,0	

Bei der quantitativen Verteilung der Schweregrade auf die Gruppen (leicht, mittel, schwer) zeigte sich, dass die Gruppe der leicht betroffenen Patienten mit 51,7 Prozent deutlich größer war als die anderen beiden Gruppen. Die leichten Dysarthrien stellen insofern eine große Herausforderung dar, als die Störungsmerkmale minimal und damit schwierig zu quantifizieren sein können; dies betrifft sowohl die Eingangsdiagnostik als auch die Therapieevaluation. Für die Entwicklung eines akustischen Analyseinstrumentes bedeutete dies, dass die Messungen äußerst präzise sein mussten, um auch geringfügige Veränderungen nachweisen zu können. Um die Sensitivität der Auswertung ausreichend überprüfen zu können, wurde bewusst ein hoher Anteil leichter Dysarthrien in der Stichprobe angestrebt.

### 5.3 Versuchsablauf

Die Patienten wurden zunächst über das Vorgehen bei der Testung und die einzelnen Untersuchungsschritte informiert. Anschließend erfolgten die Aufnahmen mittels eines Headset Mikrofons (Monacor img Headset HSE-152A/SK) und mit dem Soundrecorder des Betriebssystems MS-Windows. Die im Programm voreingestellte Samplingrate beträgt 44100 Hz und die Auflösung 16 Bit.

Die Untersuchungsteile wurden in der Reihenfolge Satzproduktion, Diadochokinese, Vokalanalyse und Vokalartikulation durchgeführt. Die Instruktionen erfolgte wie bereits beschrieben. Die Testung dauerte durchschnittlich 20 Minuten.

## 5.4 Auswertung der Sprachaufnahmen

Die Auswertung der Sprachaufnahmen erfolgte semi-automatisch mit Hilfe des Programms PRAAT und den aufgabenspezifischen Skripten. Die Auswertung erfolgte wie im Kapitel „Implementierung des Konzepts“ beschrieben und dauerte pro Proband ca. 45 Minuten.

### 5.4.1 Generelle Schwierigkeiten bei der Auswertung

Bei der Auswertung zeigten sich Schwierigkeiten, deren Ursache einerseits auf die Aufnahmetechnik, andererseits auf die Auswertung durch PRAAT zurückgehen.

Es zeigte sich ein Intensitätsabfall nach ca. 2 Sekunden Aufnahmedauer, wenn ein Verlängerungskabel zwischen Computer und Mikrofon benutzt wurde. Um diese Fehlerquelle zu vermeiden, wurde auf ein Verlängerungskabel verzichtet. Des Weiteren wurde deutlich, dass in der Windows Lautstärkeregelung der Mikrofonverstärker („Mic Boost“) aktiviert sein muss, damit das Aufnahmesignal stark genug ist.

Gleichzeitig trat bei einigen Aufnahmen ein niedrigfrequenter Brummtönen auf, der dazu führte, dass die Intensitätskontur in der Auswertung eine unplausible durchgehende Linie ohne jegliche Schwankungen aufwies. Bei diesen Aufnahmen konnte vom Programm weder eine Grundfrequenz noch Formanten detektiert werden. Dieses Problem konnte ursächlich nicht gelöst werden; eine teilweise Auswertung dieser fehlerhaften Aufnahmen konnte trotzdem vorgenommen werden.

Weitere Auswertungsschwierigkeiten werden im Folgenden modulspezifisch beschrieben.

## 5.5 Datenanalyse und statistisches Prozedere

Die statistischen Berechnungen wurden computergestützt mit dem Programm SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, USA, Version 11.5) durchgeführt. Aufgrund der geringen Stichprobengrößen, unterschiedlich großer Patienten- bzw. Probandenkollektive, Varianzhomogenität und mangels Vorliegens einer Normalverteilung der Daten wurden non-parametrische Testverfahren gewählt. Die Mittelwertsvergleiche für unabhängige Stichproben wurden mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests und des Kruskal-Wallis-H-Tests durchgeführt; für verbundene Stichproben wurde der Wilcoxon-Test gewählt. Als Prädiktorvariablen wurden einerseits die Gruppenzuordnung (Norm vs. Patient), andererseits die Schweregradeinstufung (nicht betroffen vs. leicht betroffen vs. mittel betroffen vs. schwer betroffen) gewählt.

Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = 0.05$  festgelegt; bis zu einer Fehlerwahrscheinlichkeit von  $p < 0.10$  wurde von einer Tendenz gesprochen.

Bivariate Zusammenhänge bestimmter Variablen wurden durch die Bestimmung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman berechnet.

Um die Trennkraft einzelner Variablen in den Modulen hinsichtlich der Zuordnung Norm/Patient bzw. Schweregradeinstufung zu ermitteln, wurden schrittweise Diskriminanzanalysen durchgeführt. Bei der schrittweisen Diskriminanzanalyse werden ausgesuchte Variablen solange einzeln sukzessive in das Modell einbezogen, bis von den noch nicht aufgenommenen kein signifikanter Erklärungsbeitrag mehr zu erwarten ist. Das Selektionskriterium hierbei ist das Wilks' Lambda Gütemaß, wobei diejenige Variable zuerst in das Modell aufgenommen wird, für die sich der kleinste Wilks' Lambda Wert ergibt. Einbezogen wurden in diese Untersuchung die Variablen, die in den Mittelwertvergleichen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen aufwiesen. Die Gruppenvariablen waren dabei dementsprechend zum einen die Zuordnung zum Normsprecher- oder Patientenkollektiv, zum anderen die Zuordnung zu einer Schweregradstufe.

### 5.5.1 Auswertung Vokalanalyse

Im Rahmen der Vokalanalyse konnten einige Aufnahmen aufgrund mangelnder Qualität nicht ausgewertet werden., da vom Programm keine Grundfrequenz und keine Formanten detektiert werden konnten. Bei diesen Aufnahmen handelte es sich um die weiblichen Normsprecher KD (/y/, /u/), TS (alle Vokale) und die männlichen Normsprecher SB (/u/), BB (alle Vokale), sowie die Patientinnen GE (/i/, /y/, /u/), BE (/i/) und Patienten JW (alle Vokale) und MN (/i/, /y/, /u/). Zudem wurde die Grundfrequenz in manchen Fällen deutlich zu hoch oder zu niedrig detektiert (z.B. über 500 Hz); in diesen Fällen wurde eine Korrektur vorgenommen und der falsche Wert als fehlender Wert angegeben. Die falsche Detektion der Grundfrequenz stellt ein grundsätzliches Problem bei der automatischen Auswertung dar. Werden bestimmte cut-off Werte festgelegt, kann ohne auditive Kontrolle nicht unterschieden werden, ob es sich tatsächlich um einen Messfehler handelt (z.B. einen Oktavsprung der Grundfrequenz), oder ob der vermeintlich zu hohe Wert in einer tatsächlichen Erhöhung der Sprechstimmlage durch die Dysarthrie begründet liegt.

Die Mittelwertvergleiche erfolgten geschlechtsspezifisch. Die Parameter zur Stimmqualitätsmessung wurden für den Vokal /a/ berechnet; da sich die Vokale hinsichtlich der Stimmqualitätsparameter unterscheiden, konnte für diese Vergleiche nur ein Vokal genutzt werden, während für andere Variablen (z.B. Haltedauer, Variationskoeffizient der Grundfrequenz und Formanten) auch ein Vergleich über mehrere Vokalproduktionen hinweg möglich war.

#### 5.5.1.1 Auswertung Vokalanalyse: männliche Probanden

Im Folgenden werden zunächst die deskriptiven Statistiken und Berechnungen für die männlichen Normsprecher und Patienten aufgeführt.

*Tabelle 28: Vokalanalyse: Deskriptive Statistik, Männer, Norm, /a/*

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
<b>Alter</b>	10	22	75	41,90	18,436
<b>Haltedauer</b>	10	6.96	36.99	18.2200	9.05702
<b>Grundfrequenz</b>	9	78.67	153.78	121.3533	20.61633
<b>Variationskoeffizient F0</b>	9	,01	,03	,0150	,00559

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Formant 1	10	465.12	832.20	672.1230	116.28809
Variationskoeffizient F1	10	,02	,70	,1970	,21533
Formant 2	10	1,076.38	1,621.46	1277,65	179.81968
Variationskoeffizient F2	10	,01	,36	,1580	,13325
Formant 3	10	2,219.76	2,764.14	2579,63	186.95450
Variationskoeffizient F3	10	,01	,17	,0684	,05172
Jitterlocal	10	.20	9.00	1.3000	2.71457
JitterRAP	10	.10	3.00	.5000	.89194
JitterPPQ	10	.00	.03	.0050	.00889
Shimmer	10	.14	1.86	.6150	.56175
Stimmabbrüche	10	.00	.72	.1241	.22949
H/N-Quotient	10	2.93	22.18	12.8560	7.22819
Tremorfrequenz	10	.00	4.71	.8190	1.75077
Gültige Werte (Listenweise)	9				

Tabelle 29: Vokalanalyse: Deskriptive Statistik, Männer, Patienten, /a/

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Alter	19	20	81	50,84	15,280
Haltedauer	18	1.35	34.95	11.5261	8.85462
Grundfrequenz	18	95.80	286.91	146.6172	54.26170
Variationskoeffizient F0	18	,01	,11	,0328	,02809
Formant 1	18	513.47	1,087.56	793.4339	180.86751
Variationskoeffizient F1	18	,03	,44	,1603	,11428
Formant 2	18	979.80	2,246.51	1,408.8600	344.72631
Variationskoeffizient F2	18	,02	,35	,1280	,10940
Formant 3	18	2,222.52	3,475.23	2677,27	322.26522
Variationskoeffizient F3	18	,02	,17	,0762	,05105
Jitterlocal	18	.20	12.00	1.4611	2.77958
JitterRAP	18	.08	7.00	.8822	1.66728
JitterPPQ	18	.00	.08	.0092	.01884
Shimmer	18	.12	1.86	.6178	.64554
Stimmabbrüche	18	.00	.81	.1161	.23319
H/N-Quotient	18	.53	25.06	12.7678	7.55395
Tremorfrequenz	18	.00	4.46	.6867	1.27007
Gültige Werte (Listenweise)	18				

Der Mittelwertvergleich beim Vokal /a/ mit der Prädiktorvariable „Zuordnung“ (Norm vs. Patient) zeigte einen signifikanten Unterschied für die Variablen „Haltedauer“ und „Variationskoeffizient der Grundfrequenz“ ( $p \leq 0.05$ ). Alle anderen Variablen wiesen keine Unterschiede bei der Gruppenzuordnung auf (vgl. Tabelle 30).

Tabelle 30: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich Männer, Norm vs. Patient, Vokal /a/

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]
Haltedauer	49,000	220,000	-1,966	,049	,051(a)
Grundfrequenz	73,000	118,000	-,411	,681	,705(a)
VK F0	41,000	86,000	-2,057	,040	,041(a)
Formant 1	58,000	113,000	-1,534	,125	,133(a)
VK F1	82,000	137,000	-,384	,701	,724(a)
Formant 2	75,000	130,000	-,719	,472	,494(a)
VK F2	79,000	250,000	-,527	,598	,621(a)
Formant 3	75,000	130,000	-,719	,472	,494(a)
VK F3	83,000	138,000	-,336	,737	,759(a)
Jitterlocal	69,000	124,000	-1,017	,309	,332(a)
JitterRAP	64,000	119,000	-1,269	,205	,226(a)
JitterPPQ	60,000	115,000	-1,462	,144	,160(a)
Shimmer	84,500	255,500	-,264	,792	,796(a)
Stimmabbrüche	81,500	252,500	-,436	,663	,689(a)
H/N-Quotient	88,000	259,000	-,096	,924	,944(a)
Tremorfrequenz	87,000	142,000	-,189	,850	,906(a)

Nicht für Bindungen korrigiert.  
Gruppenvariable: Zuordnung

Die Mittelwertvergleiche mit der Prädiktorvariable Schweregrad ergaben einen signifikanten Unterschied für die Variable „Variationskoeffizient der Grundfrequenz“ und „JitterPPQ“ ( $p \leq 0.05$ , Tabelle 31). Eine tendenzielle Unterscheidung konnte hinsichtlich der Haltedauer und Jitter local auch zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Tabelle 31: Vokalanalyse: Mittelwertvergleiche Männer, Schweregrade, Vokal /a/

	Chi-Quadrat	df	Asymptotische Signifikanz
Haltedauer	7,462	3	,059
Grundfrequenz	,715	3	,870
Variationskoeffizient F0	13,172	3	,004
Formant 1	3,829	3	,281
Variationskoeffizient F1	2,079	3	,556
Formant 2	1,163	3	,762
Variationskoeffizient F2	2,225	3	,527
Formant 3	2,406	3	,492
Variationskoeffizient F3	3,216	3	,359
Jitterlocal	6,321	3	,097
JitterRAP	5,823	3	,121
JitterPPQ	7,687	3	,053
Shimmer	1,283	3	,733
Stimmabbrüche	4,328	3	,228
H/N-Quotient	1,258	3	,739
Tremorfrequenz	2,906	3	,406

Kruskal-Wallis-Test  
Gruppenvariable: Schweregrad

Bei der Betrachtung der JitterPPQ-Werte der männlichen Probanden im Boxplot zeigte sich jedoch, dass die Mittelwerte nicht mit dem Schweregrad zu korrelieren schienen. Während die Normsprecher sich nicht deutlich von den schwer betroffenen Dysarthrikern unterschieden, wiesen die leicht Betroffenen einen geringeren Mittelwert als die Normsprecher auf und die mittelschwer betroffenen Dysarthriker den höchsten JitterPPQ-Wert. Die Überprüfung des bivariaten Zusammenhangs zwischen JitterPPQ und dem Schweregrad durch Ermittlung des Korrelationskoeffizienten nach Spearman bestätigte diesen Eindruck (vgl. Tab. 32).

Tabelle 32: Vokalanalyse: männliche Probanden, Korrelation JitterPPQ und Schweregrad

			JitterPPQ
Spearman-Rho	Schweregrad	Korrelationskoeffizient	,148
		Sig. (2-seitig)	,129
		N	107

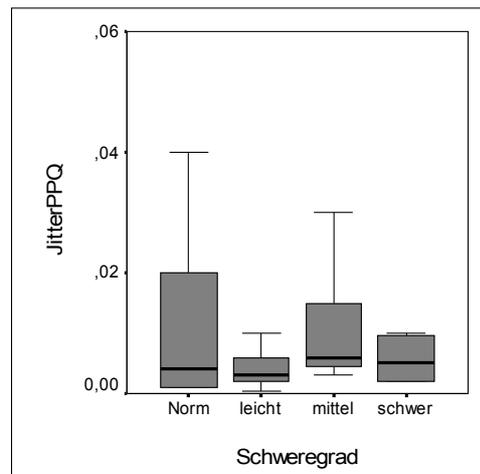


Abbildung 11: Vokalanalyse: männliche Probanden, JitterPPQ

beim /a/

Der Variationskoeffizient der Grundfrequenz korrelierte positiv mit dem Schweregrad (vgl. Tab. 33).

Tabelle 33: Vokalanalyse: Männer, Korrelation VK F0 und Schweregrad beim /a/

			Variationskoeffizient F0	Schweregrad
Spearman -Rho	Variations- koeffizient F0	Korrelationskoeffizient	1,000	,643(**)
		Sig. (2-seitig)	.	,000
		N	27	27
	Schweregrad	Korrelationskoeffizient	,643(**)	1,000
		Sig. (2-seitig)	,000	.
		N	27	29

\*\* Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Wurden die Mittelwertvergleiche mit der Prädiktorvariable Schweregrad auf alle vier produzierten Vokale ausgedehnt, so zeigten sich signifikante Unterschiede für die Haltedauer sowie alle erfassten Variationsparameter (vgl. Tabelle 34); wie bereits beschrieben, konnten aufgrund intrinsischer Unterschiede zwischen den einzelnen Vokalen die Perturbationsmessungen nicht über mehrere Vokalproduktionen hinweg verglichen werden.

Tabelle 34: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich Männer, Schweregrade, alle Vokale

	Halte- dauer	Variations- koeffizient F0	Variations- koeffizient F1	Variations- koeffizient F2	Variations- koeffizient F3
Chi-Quadrat	35,289	42,005	11,238	7,979	12,631
df	3	3	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,000	0	,011	,046	,006

Kruskal-Wallis-Test  
Gruppenvariable: Schweregrad

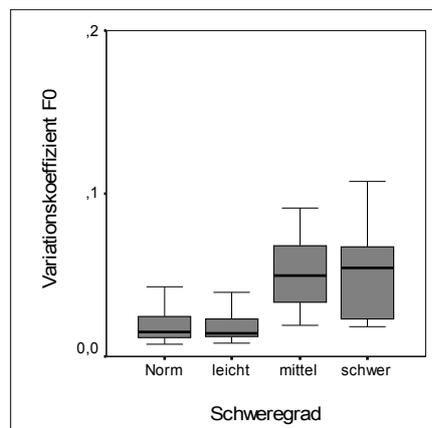


Abbildung 12: Vokalanalyse: VK F0 über alle Vokalproduktionen, männl. Probanden nach Schweregrad

Um genauer zu überprüfen, inwiefern sich die Gruppe der leicht betroffenen Dysarthriker von der Gruppe der Normsprecher unterschieden, wurde ein Mittelwertvergleich zwischen diesen beiden Gruppen durchgeführt. Während die ausschließliche Auswertung des Vokals /a/ für keine der erfassten Variablen einen signifikanten Unterschied aufwies, konnten bei den Berechnungen mit allen 4 Vokalen für mehrere Variablen signifikante Unterschiede festgestellt werden (vgl. Tab. 35).

Tabelle 35: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Männer, Norm versus leicht Betroffene, alle Vokale

	Mann- Whitney-U	Wilcoxon- W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Haltedauer	336,000	966,000	-3,866	,000
Grundfrequenz	531,000	1197,000	-,757	,449
Variationskoeffizient F0	564,000	1230,000	-,360	,719
Variationskoeffizient F1	430,000	991,000	-2,413	,016
Variationskoeffizient F2	509,000	1070,000	-1,520	,128
Variationskoeffizient F3	457,000	1018,000	-2,108	,035
Stimmabbrüche	412,000	973,000	-2,840	,005

a Gruppenvariable: Schweregrad: Norm und leichte Dysarthrie

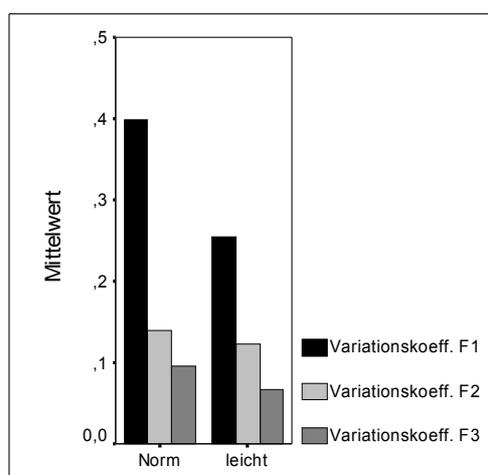


Abbildung 13: Vokalanalyse: Variationskoeffizient von F1-3 über alle Vokalproduktionen, männliche Normsprecher und leichte Dysarthriker

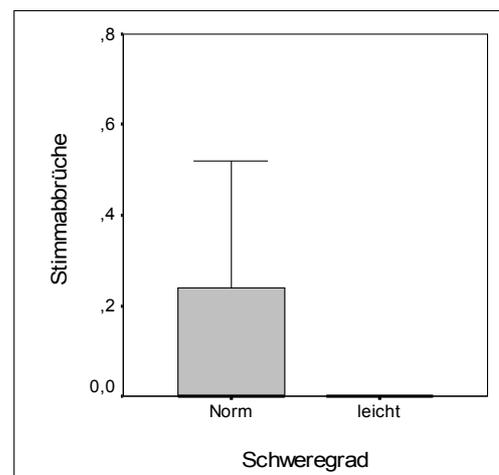


Abbildung 14: Vokalanalyse: Stimmabbrüche über alle Vokalproduktionen, männliche Normsprecher und leichte Dysarthriker

Bei der qualitativen Betrachtung der Stimmabbrüche und der Variabilität der Formantwerte bei den männlichen Probanden wurde festgestellt, dass die Normsprecher wider Erwarten höhere Variationskoeffizienten der Formanten und einen größeren Anteil von Stimmabbrüchen aufwiesen als die Patienten (vgl. Abb. 13 und 14).

Um zu überprüfen, welche Variablen über Trennkraft hinsichtlich der Gruppen Normsprecher und Patienten verfügten, wurde eine schrittweise Diskriminanzanalyse durchgeführt. Mit der abhängigen Variablen „Haltedauer“ als standardisiertem kanonischen Diskriminanzfunktionskoeffizienten konnten 78,6 % der ursprünglich gruppierten Fälle korrekt klassifiziert werden (s. Tabelle 36).

Tabelle 36: Vokalanalyse: Diskriminanzanalyse, Männer, Norm vs. Patient

		Zuordnung	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit		Gesamt
			Norm	Patient	
Original	Anzahl	Norm	6	4	10
		Patient	2	16	18
	%	Norm	60,0	40,0	100,0
		Patient	11,1	88,9	100,0

a 78,6% der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt klassifiziert.

Die Diskriminanzanalyse zur Trennung zwischen einzelnen Schweregradstufen (leicht, mittel, schwer) zeigte, dass mit der Variablen Variationskoeffizient der Grundfrequenz 61,1 % der ursprünglich gruppierten Fälle korrekt klassifiziert werden konnten (s. Tabelle 37). Die Einbeziehung weiterer Variablen veränderte dieses Ergebnis nicht.

Tabelle 37: Vokalanalyse: Diskriminanzanalyse, Männer, Schweregrade

		Schweregrad	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit			Gesamt
			leicht	mittel	schwer	
<b>Original</b>	<b>Anzahl</b>	leicht	8	0	1	9
		mittel	1	1	2	4
		schwer	2	1	2	5
	<b>%</b>	leicht	88,9	,0	11,1	100,0
		mittel	25	25,0	50,0	100,0
		schwer	40,0	20,0	40,0	100,0

a 61,1% der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt klassifiziert.

### 5.5.1.2 Auswertung Vokalanalyse: weibliche Probanden

Im Folgenden werden die deskriptiven Statistiken für die weiblichen Probanden dargestellt.

Tabelle 38: Vokalanalyse: Deskriptive Statistiken, Frauen, Norm, /a/

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Alter	16	20	66	32,81	12,389
Haltedauer	16	9.64	27.33	18.2388	5.10731
Grundfrequenz	12	125.06	243.95	192.3375	34.36495
Variationskoeffizient F0	12	,01	,03	,0123	,00622
Formant 1	16	638.22	1,153.21	853.9925	155.62613
Variationskoeffizient F1	16	,02	,33	,1865	,10476
Formant 2	16	1,147.68	2,329.55	1,498.2613	308.56327
Variationskoeffizient F2	16	,03	,39	,1980	,11067
Formant 3	16	2,481.64	3,497.36	2,974.5038	306.85780
Variationskoeffizient F3	16	,03	,18	,0829	,04671
Jitterlocal	16	.20	17.00	3.0000	4.99079
JitterRAP	16	.10	7.00	1.4875	2.31052
JitterPPQ	15	.00	.05	.0095	.01657
Shimmer	15	.15	1.95	.7000	.71700
Stimmabbrüche	15	.00	.73	.0959	.22664

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
H/N-Quotient	15	1.89	19.85	12.6447	6.17256
Tremorfrequenz	15	.00	2.99	.1993	.77201
Gültige Werte (Listenweise)	12				

Tabelle 39: Vokalanalyse: Deskriptive Statistiken, Frauen, Patienten, /a/

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Alter	10	23	75	55,90	15,162
Haltedauer	10	3.13	23.96	12.5410	6.79898
Grundfrequenz	7	146.73	253.00	205.9557	34.00270
Variationskoeffizient F0	7	,03	,17	,0728	,04668
Formant 1	10	520.56	1,065.87	812.2890	145.33305
Variationskoeffizient F1	10	,03	,41	,1847	,15019
Formant 2	10	1,265.59	1,991.25	1,427.9740	235.98854
Variationskoeffizient F2	10	,01	,38	,1863	,15561
Formant 3	10	2,616.60	3,246.18	2,930.1980	208.42860
Variationskoeffizient F3	10	,01	,23	,0849	,06205
Jitterlocal	10	.20	12.00	2.7300	4.02521
JitterRAP	10	.09	5.00	1.4790	1.93574
JitterPPQ	10	.00	.05	.0133	.01775
Shimmer	10	.16	2.12	.7820	.78913
Stimmabbrüche	10	.00	.49	.0751	.15603
H/N-Quotient	10	1.51	24.86	12.2860	7.76272
Tremorfrequenz	10	.00	3.48	.8400	1.39291
Gültige Werte (Listenweise)	7				

Die Mittelwertvergleiche beim Vokal /a/ mit der Prädiktorvariable Zuordnung (Norm vs. Patient) ergaben signifikante Unterschiede für die Variablen „Haltedauer“ ( $p < 0.05$ ) und „Variationskoeffizient der Grundfrequenz“ ( $p < 0.001$ ) (s. Tab. 40).

Tabelle 40: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Norm vs. Patient, /a/

	Mann- Whitney- U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]
Haltedauer	42,000	97,000	-2,003	,045	,047(a)
Grundfrequenz	33,000	111,000	-,761	,447	,482(a)

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]
VK F0	1,000	79,000	-3,465	,001	,000(a)
Formant 1	73,000	128,000	-,369	,712	,737(a)
VK F1	80,000	135,000	,000	1,000	1,000(a)
Formant 2	63,000	118,000	-,896	,370	,391(a)
VK F2	80,000	135,000	,000	1,000	1,000(a)
Formant 3	70,000	125,000	-,527	,598	,623(a)
VK F3	80,000	135,000	,000	1,000	1,000(a)
Jitterlocal	70,500	206,500	-,502	,616	,623(a)
JitterRAP	74,000	210,000	-,318	,751	,776(a)
JitterPPQ	63,500	183,500	-,644	,520	,531(a)
Shimmer	66,500	186,500	-,472	,637	,643(a)
Stimmabbrüche	66,000	186,000	-,564	,573	,643(a)
H/N-Quotient	69,000	124,000	-,333	,739	,765(a)
Tremorfrequenz	58,000	178,000	-1,477	,140	,367(a)

a Nicht für Bindungen korrigiert.

b Gruppenvariable: Zuordnung

Die Gruppenvergleiche mit der Prädiktorvariable Schweregrad beim Vokal /a/ ergaben einen signifikanten Unterschied für die Variable „Variationskoeffizient der Grundfrequenz“ ( $p < 0,05$ ) (s. Tab. 41).

Tabelle 41: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Schweregrade, /a/

	Chi-Quadrat	df	Asymptotische Signifikanz
Haltedauer	5,232	3	,156
Grundfrequenz	2,203	3	,531
Variationskoeffizient F0	12,161	3	,007
Formant 1	,754	3	,860
Variationskoeffizient F1	6,867	3	,076
Formant 2	1,631	3	,652
Variationskoeffizient F2	5,228	3	,156
Formant 3	,458	3	,928

	Chi-Quadrat	df	Asymptotische Signifikanz
Variationskoeffizient F3	1,789	3	,617
Jitterlocal	1,383	3	,710
JitterRAP	1,601	3	,659
JitterPPQ	2,451	3	,484
Shimmer	1,371	3	,712
Stimmabbrüche	2,036	3	,565
H/N-Quotient	2,954	3	,399

a Kruskal-Wallis-Test

b Gruppenvariable: Schweregrad

Die Mittelwertvergleiche über alle vier Vokale zeigten beim Vergleich zwischen Norm und Patienten signifikante Unterschiede für die Variablen Haltedauer, Variationskoeffizient (VK) F0 und VK F1 (s. Tab. 42); das gleiche Ergebnis zeigte sich beim Vergleich mit der Prädiktorvariable Schweregrad (s. Tab. 43).

Tabelle 42: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Norm vs. Patient, alle Vokale

	Haltedauer	VK F0	VK F1	VK F2	VK F3
Mann-Whitney-U	566,000	116,000	667,000	903,000	932,000
Wilcoxon-W	1346,000	1442,000	1333,000	1569,000	1598,000
Z	-4,637	-6,549	-3,309	-1,570	-1,356
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,001	,116	,175

a Gruppenvariable: Zuordnung

Tabelle 43: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Schweregradstufen, alle Vokale

	Haltedauer	VK F0	VK F1	VK F2	VK F3
Chi-Quadrat	22,571	44,277	16,750	5,025	2,400
df	3	3	3	3	3
Asymptotische Signifikanz	,000	,000	,001	0,17	,494

a Kruskal-Wallis-Test

b Gruppenvariable: Schweregrad

Es wurde zudem ein Gruppenvergleich zwischen den Normsprecherinnen und den Patientinnen mit leichter Dysarthrie durchgeführt. Wurde lediglich der Vokal /a/ betrachtet,

zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Wurden alle Vokale in die Auswertung miteinbezogen, konnten signifikante Unterschiede für die Variablen Haltedauer, Variationskoeffizient der Grundfrequenz und H/N-Quotient festgestellt werden (vgl. Tab. 44).

*Tabelle 44: Vokalanalyse: Mittelwertvergleich, Frauen, Norm versus leicht Betroffene, alle Vokale*

	<b>Mann-Whitney-U</b>	<b>Wilcoxon-W</b>	<b>Z</b>	<b>Asymptotische Signifikanz (2-seitig)</b>
<b>Haltedauer</b>	313,000	503,000	- 3,197	,001
<b>Grundfrequenz</b>	320,000	411,000	-,192	,848
<b>Variationskoeffizient F0</b>	79,000	1405,000	- 4,213	,000
<b>Variationskoeffizient F1</b>	408,000	544,000	- 1,089	,276
<b>Variationskoeffizient F2</b>	484,000	620,000	-,148	,882
<b>Variationskoeffizient F3</b>	459,000	595,000	-,458	,647
<b>Stimmabbrüche</b>	470,000	2361,000	-,268	,788
<b>H/N-Quotient</b>	286,500	422,500	- 2,530	,011

a Gruppenvariable: Schweregrad: Norm und leichte Dysarthrie

Der signifikante Unterschied des H/N-Quotienten zwischen weiblichen Normsprechern und Patientinnen mit leichter Dysarthrie beruhte darauf, dass bei den Patientinnen ein niedrigerer Mittelwert gemessen wurde (vgl. Abb. 15). Je höher der H/N-Quotient, desto höher ist der Anteil akustischer Periodizität; je niedriger der Wert, desto höher die Geräuschanteile im Signal. Es wurde jedoch ebenfalls deutlich, dass manche Probandinnen unplausibel niedrige Werte aufwiesen. Bei der Patientin EH wurden beispielsweise H/N-Quotient-Werte zwischen .28 und 1.51 detektiert. Bei qualitativer Untersuchung dieser Aufnahmen konnte festgestellt werden, dass über weite Strecken des Sprachsignals von PRAAT keine Grundfrequenz erfasst werden konnte, d.h. eine Erfassung der Periodizität nicht möglich war. Gleiches galt für einzelne Normsprecherinnen.

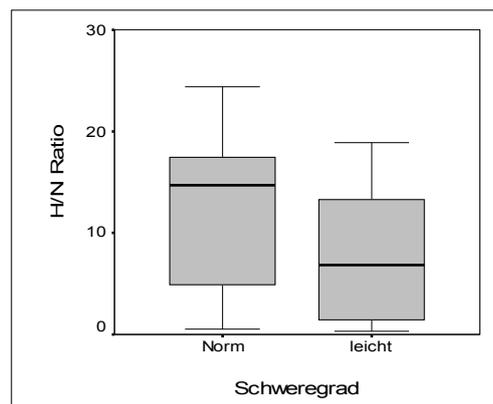


Abbildung 15: Vokalanalyse: Mittelwerte H/N-Quotient, weibl. Probanden, Norm und leichte Dysarthrie

Die Diskriminanzanalyse bei den weiblichen Studienteilnehmern zeigte, dass die Unterscheidung zwischen Norm und Patienten mittels der Variablen Haltedauer und Variationskoeffizient der Grundfrequenz in 87,5 % der Fälle gelang (s. Tab. 46).

Tabelle 45: Vokalanalyse: Diskriminanzfunktionskoeffizienten, Frauen, Norm versus Patient

	Funktion 1
Haltedauer	-,679
VK F0	,761

Tabelle 46: Vokalanalyse: Diskriminanzanalyse, Frauen, Norm versus Patient

		Zuordnung	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit		Gesamt
			Norm	Patient	
Original	Anzahl	Norm	14	1	15
		Patient	2	7	9
	%	Norm	93,3	6,7	100,0
		Patient	22,2	77,8	100,0

a 87,5% der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt klassifiziert.

Wurde zudem die Variable Stimmabbrüche in die Analyse einbezogen, konnte eine korrekte Klassifizierung zu einem Prozentsatz von 91,7 erfolgen.

Um zu überprüfen, welche Variablen geeignet waren, zur Trennung zwischen den verschiedenen Schweregradstufen beizutragen, wurde wiederum eine Diskriminanzanalyse durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass keine Variablen für die Analyse geeignet waren.

### 5.5.1.3 Auswertung Vokalanalyse: Stimmtremor

Eine Sonderrolle bei der Auswertung nimmt der Stimmtremor ein. Da er nur bei einigen Störungsbildern zu beobachten ist, konnte für diese Variable keine quantitative Auswertung erfolgen; im Folgenden werden die Ergebnisse in tabellarischer Form dargestellt (vgl. Tab. 47 und 48). Abbildung 16 zeigt die Auswertung des Stimmtremors der Patientin AK bei der Produktion des Vokals /y/. Hierbei handelt es sich um eine ataktische Dysarthrie; die Frequenz des Tremors beträgt 2,82 Hz. Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 17 einen Ausschnitt aus dem Vokal /i/ eines männlichen Normsprechers (HM) mit einem deutlich sichtbaren Tremor. Die Auswertung ergab eine Tremorfrequenz von 4,22 Hz; der Tremor war über alle vier Vokalproduktionen zu beobachten.

Tabelle 47: Vokalanalyse: Stimmtremor bei Patienten

Kürzel	Tremorfrequenz	Autretenshäufigkeit bei 4 Vokalen	Ätiologie
OS	1,49- 2,22	4	MS
SB	1,48-2,91	3	SHT
AB	2,33-2,85	2	V.a. MS
AH	1,87-2,07	2	Kleinhirn- und Ponsinfarkt
AK	2,8-3,57	4	beidseitige Infarkte
BK	1,83-2,04	2	Hirnstamminfarkt links
MN	4,46	1 <sup>4</sup>	SHT, SAB links temporal
NM	1,55	1	Posterior Infarkt recht
UD	2,42	1	SHT mit Impressionsfraktur links fronto-temporo-parietal

<sup>4</sup> Im Fall des Patienten MN wurde bei 3 von 4 Vokalen von PRAAT keine Grundfrequenz detektiert, so dass keine Tremorauswertung erfolgen konnte

Tabelle 48: Vokalanalyse: Stimmtremor bei Normsprechern

Kürzel	Tremorfrequenz	Autretenshäufigkeit bei 4 Vokalen	Ätiologie
HM	3,84- 4,71	4	Norm
HJ	3,43- 4,59	4	Norm
RH	2,99	1	Norm

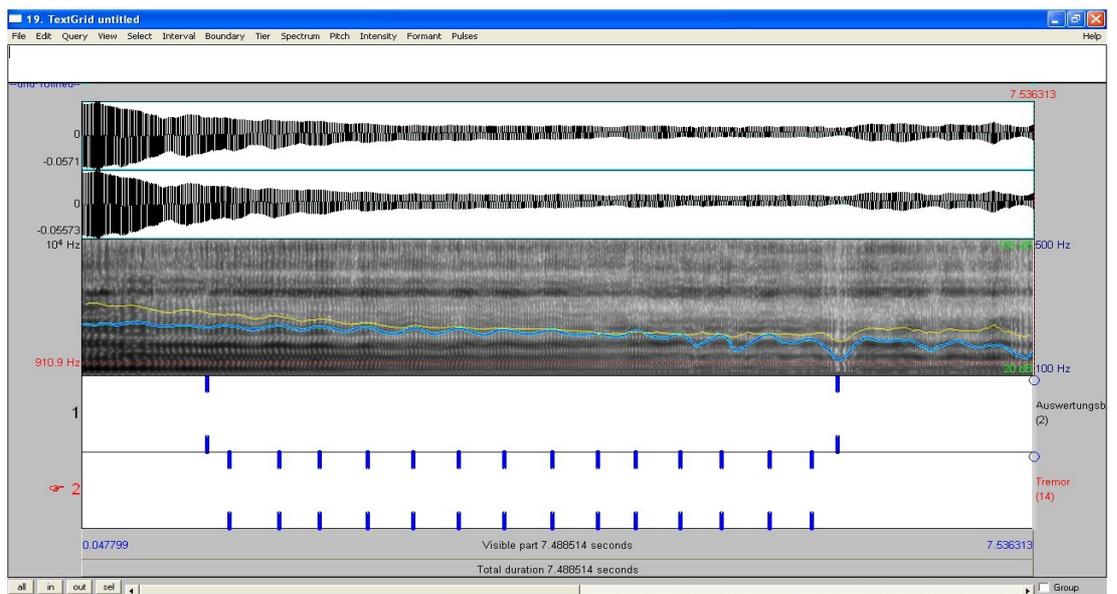


Abbildung 16: Stimmtremor bei ataktischer Dysarthrie, Vokal /y/, Frequenz: 2,82 Hz

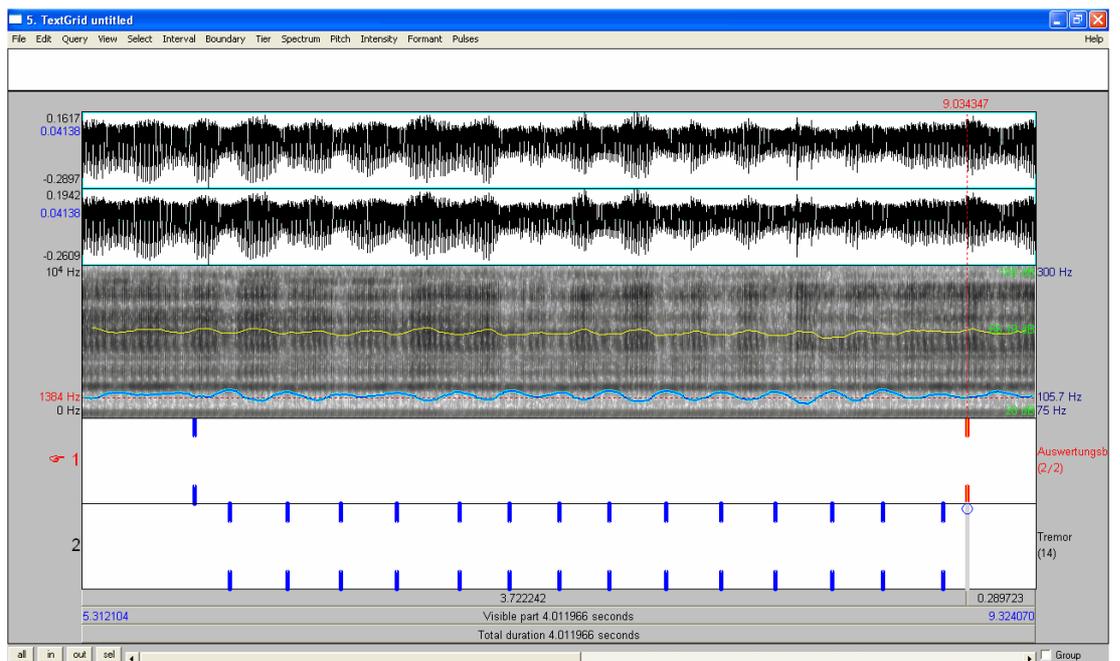


Abbildung 17: Stimmtremor bei männlichem Normsprecher, Ausschnitt aus dem Vokal /i/, Frequenz: 4,31 Hz

### 5.5.2 Auswertung Vokalartikulation

Im Modul Vokalartikulation wurden, wie bereits beschrieben, von jedem Sprecher je drei Produktionen der Vokale /a/, /i/, /y/ und /u/ aufgenommen. Zunächst wurden vokal- und sprecherspezifische Mittelwerte über die drei Produktionen gebildet. Tabellen 49-52 zeigen die deskriptiven Statistiken für männliche und weibliche Normsprecher und Patienten.

Tabelle 49: Vokalartikulation: Deskriptive Statistik, männliche Normsprecher

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
f1 a	12	519,09	764,42	686,5408	74,21683
f1 i	12	199,96	1081,87	432,8372	289,34706
f1 y	12	230,33	1841,60	719,3672	525,62215
f1 u	12	179,10	1745,48	547,7214	404,47020
f2 a	12	1143,93	1376,75	1233,0394	78,44644
f2 i	12	2112,63	2337,64	2219,3433	63,93929
f2 y	12	864,60	2118,11	1804,1125	355,02846
f2 u	12	783,30	2137,03	1776,1800	370,31774
f3 a	12	2048,01	2783,41	2503,0722	228,05721
f3 i	12	2698,77	3160,94	2889,7017	147,47186
f3 y	12	2235,40	3180,58	2695,0839	361,43026
f3 u	12	2235,59	3242,97	2799,7953	307,07580
<b>Gültige Werte (Listenweise)</b>	12				

Tabelle 50: Vokalartikulation: Deskriptive Statistik, weibliche Normsprecher

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
f1 a	17	669,23	1072,06	838,9553	112,11675
f1 i	17	241,14	1943,22	602,0141	555,63560
f1 y	17	267,19	986,77	490,5633	231,11531
f1 u	17	229,29	1130,26	502,7065	209,78040
f2 a	17	1195,22	1599,41	1372,5053	88,41632
f2 i	17	1871,24	3108,86	2582,4408	276,73823
f2 y	17	762,18	2212,01	1875,7831	358,81710
f2 u	17	800,49	2426,06	1904,0008	431,32768
f3 a	17	2491,25	3320,88	2788,2829	240,71138
f3 i	17	2760,65	3852,83	3353,2296	310,42356
f3 y	17	2438,15	3254,43	2752,7418	254,23613
f3 u	17	2442,55	3545,11	3146,3647	305,55125
<b>Gültige Werte (Listenweise)</b>	17				

Tabelle 51: Vokalartikulation: Deskriptive Statistik, männliche Patienten

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
f1 a	17	669,23	1072,06	838,9553	112,11675
f1 i	17	241,14	1943,22	602,0141	555,63560
f1 y	17	267,19	986,77	490,5633	231,11531
f1 u	17	229,29	1130,26	502,7065	209,78040
f2 a	17	1195,22	1599,41	1372,5053	88,41632
f2 i	17	1871,24	3108,86	2582,4408	276,73823
f2 y	17	762,18	2212,01	1875,7831	358,81710
f2 u	17	800,49	2426,06	1904,0008	431,32768
f3 a	17	2491,25	3320,88	2788,2829	240,71138
f3 i	17	2760,65	3852,83	3353,2296	310,42356
f3 y	17	2438,15	3254,43	2752,7418	254,23613
f3 u	17	2442,55	3545,11	3146,3647	305,55
<b>Gültige Werte (Listenweise)</b>	17				

Tabelle 52: Vokalartikulation: Deskriptive Statistik, weibliche Patienten

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	SD
f1 a	10	719,16	884,15	809,9377	61,38862
f1 i	10	197,84	1752,08	465,1930	462,40668
f1 y	10	237,98	1568,99	701,8430	511,10425
f1 u	10	367,29	711,81	562,1437	109,61574
f2 a	10	1127,41	1728,86	1336,6357	159,99508
f2 i	10	2066,17	3059,56	2436,0930	277,70806
f2 y	10	1580,47	2370,70	2069,0697	271,33178
f2 u	10	841,21	2539,09	1821,6373	647,98439
f3 a	10	2376,21	3128,00	2845,8463	265,42251
f3 i	10	2553,38	3699,07	3106,8927	295,10839
f3 y	10	2348,26	3719,23	2869,4327	523,76918
f3 u	10	2471,66	3529,38	3161,9450	355,02790
<b>Gültige Werte (Listenweise)</b>	10				

Zur Veranschaulichung der Werte aus den deskriptiven Statistiken und zur Erkennung möglicher Messartefakte, wurden Boxplot-Diagramme erstellt, die jeweils geschlechtsspezifisch die Mittelwerte von F1 und F2 der vier Vokale abbilden (vgl. Abb. 18-21).

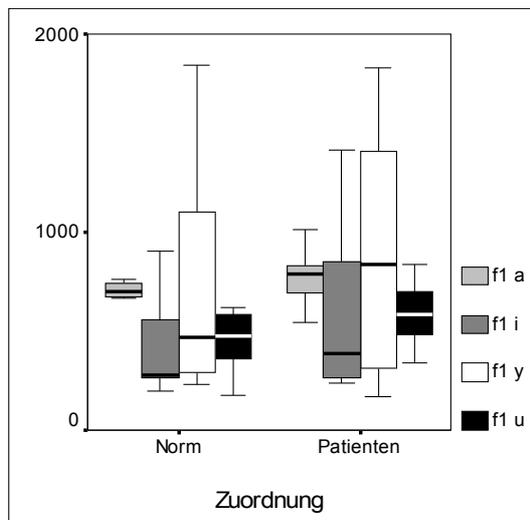


Abbildung 18: Vokalartikulation: mittlere Formantfrequenzen (F1) in Hz, männliche Probanden

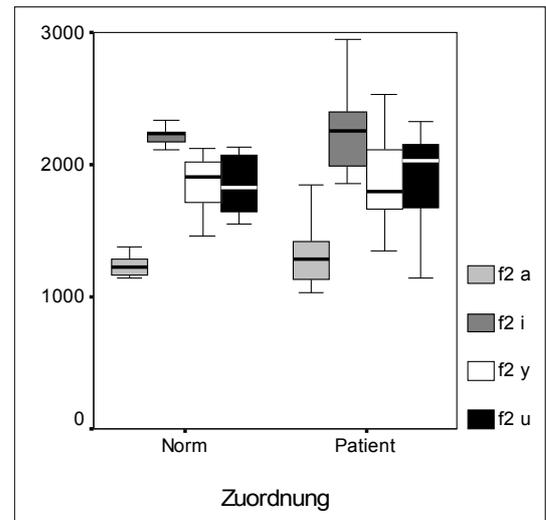


Abbildung 19: Vokalartikulation: mittlere Formantfrequenzen (F2) in Hz, männliche Probanden

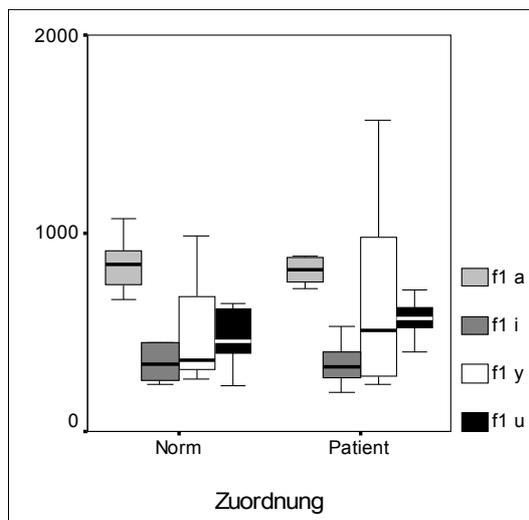


Abbildung 20: Vokalartikulation: mittlere Formantfrequenzen (F1) in Hz, Probandinnen

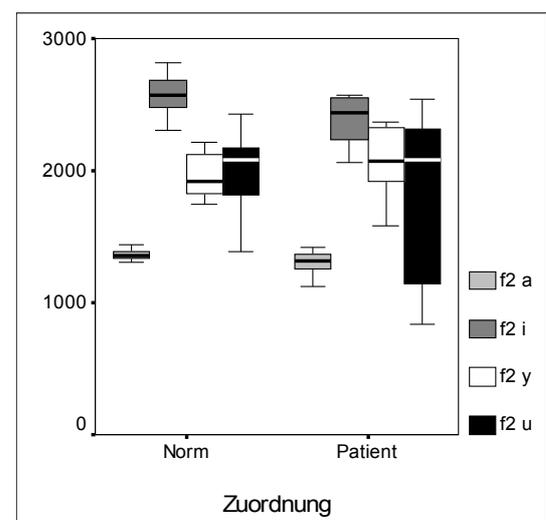


Abbildung 21: Vokalartikulation: mittlere Formantfrequenzen (F2) in Hz, Probandinnen

Die Mittelwertvergleiche wurden aufgrund der unterschiedlichen Formantlagen wiederum geschlechtsspezifisch durchgeführt. Zunächst erfolgt die Darstellung der Ergebnisse für die Männer. Der Vergleich mit der Prädiktorvariable Zuordnung (Norm vs. Patient) ergab einen signifikanten Unterschied für den Mittelwert des ersten Formanten bei den Vokalen /a/ und /u/.

Tabelle 53: Vokalartikulation: Mittelwertvergleiche, Männer, Norm vs. Patient, /a/

	MWF1	MWF2	MWF3
<b>Mann-Whitney-U</b>	58	89,000	88,000
<b>Wilcoxon-W</b>	136,000	167,000	166,000
<b>Z</b>	-2,271	-1,014	-1,054
<b>Asymptotische Signifikanz (2-seitig)</b>	,023	,311	,292
<b>Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]</b>	,023(a)	,326(a)	,306(a)

a Nicht für Bindungen korrigiert.

b Gruppenvariable: Zuordnung

Tabelle 54: Vokalartikulation: Mittelwertvergleich, Männer, Norm vs. Patient, /u/

	MWF1	MWF2	MWF3
<b>Mann-Whitney-U</b>	60,000	74,000	75,000
<b>Wilcoxon-W</b>	138,000	152,000	153,000
<b>Z</b>	-2,032	-1,439	-1,397
<b>Asymptotische Signifikanz (2-seitig)</b>	,042	,150	,162
<b>Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]</b>	,043(a)	,158(a)	,172(a)

a Nicht für Bindungen korrigiert.

b Gruppenvariable: Zuordnung

Weitere Berechnungen wurden mit der Prädiktorvariable „Schweregrad“ durchgeführt. Hier zeigte sich, dass mit den erfassten Variablen keine Unterscheidung zwischen den Gruppen getroffen werden konnte. Lediglich der erste Formant beim /a/ ließ eine tendenzielle Unterscheidung zu (vgl. Tabelle 55).

Tabelle 55: Vokalartikulation: Mittelwertvergleiche, Männer, Schweregradeinteilung, /a/

	MWF1	MWF2	MWF3
<b>Chi-Quadrat</b>	6,325	3,080	3,192
<b>df</b>	3	3	3
<b>Asymptotische Signifikanz</b>	,097	,379	,363

a Kruskal-Wallis-Test

b Gruppenvariable: Schweregrad

Die Mittelwertvergleiche bei den Frauen ergaben im Gegensatz zu den Männern keine signifikanten Unterschiede zwischen Normsprechern und Patienten für die Formantfrequenzen. Wurde jedoch die Differenz des 2. Formanten vom /i/ und des 2. Formanten vom /y/ (F2/i/ - F2/y/) gebildet, konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen Norm vs. Patient festgestellt werden (s. Tab. 56). Eine tendenzielle Unterscheidung erlaubte auch der dritte Formant beim /i/.

Tabelle 56: Vokalartikulation: Frauen, Norm vs. Patient, F2/i/ - F2 /y/

	F2/i/ - F2/y/
Mann-Whitney-U	38,000
Wilcoxon-W	93,000
Z	-2,360
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,018
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,018(a)

a Nicht für Bindungen korrigiert.

b Gruppenvariable: Zuordnung

Eine Unterscheidung nach Gruppen (Prädiktorvariable Schweregrad) war im Modul Vokalartikulation für die Frauen nicht möglich; die Differenz des zweiten Formanten von /i/ und /y/ ließ jedoch eine tendenzielle Unterscheidung erkennen (s. Tab. 57).

Tabelle 57: Vokalartikulation: Frauen, Schweregrad, F2/i/-F2/y/

	F2/i /- F2/y/
Chi-Quadrat	6,440
df	3
Asymptotische Signifikanz	,092

a Kruskal-Wallis-Test

b Gruppenvariable: Schweregrad

Um die Variablen wiederum auf Trennkraft zu überprüfen, wurde eine Diskriminanzanalyse mit der Gruppenvariablen „Zuordnung“ (Norm vs. Patient) durchgeführt. Bei den männlichen Probanden wurde als einzige Variable mit Trennkraft der erste Formant beim /a/ aufgenommen; mithilfe dieser Variable konnten 61,3% der ursprünglich gruppierten Fälle korrekt klassifiziert werden (s. Tab. 58).

Tabelle 58: Vokalartikulation: Diskriminanzanalyse, Männer, Norm vs. Patient

		Zuordnung	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit		Gesamt
			Norm	Patient	
Original	Anzahl	Norm	3	9	12
		Patient	3	16	19
	%	Norm	25,0	75,0	100,0
		Patient	15,8	84,2	100,0

a 61,3% der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt klassifiziert.

Bei den weiblichen Probanden zeigten die Formantfrequenzen keine Trennkraft hinsichtlich der Zuordnung Norm/Patient oder der Zuordnung zu einer Schweregradstufe. Die Differenz  $F2/i/-F2/y/$ , die bereits im Mittelwertvergleich einen signifikanten Unterschied zwischen Norm und Patient aufwies, zeigte sich auch im Rahmen der Diskriminanzanalyse als Diskriminanzfunktionskoeffizient geeignet, in 77,8 % der Fälle eine korrekte Gruppierung Norm/Patient vorzunehmen (s. Tab. 59).

Tabelle 59: Vokalartikulation: Frauen, Norm vs. Patient

		Zuordnung	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit		Gesamt
			Norm	Patient	
Original	Anzahl	Norm	15	2	17
		Patient	4	6	10
	%	Norm	88,2	11,8	100,0
		Patient	40,0	60,0	100,0

a 77,8% der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt klassifiziert.

### 5.5.3 Auswertung Diadochokinese

Die Mittelwertvergleiche beim Modul Diadochokinese erfolgten geschlechtsunspezifisch. Die Tabellen 60 und 61 zeigen die deskriptive Statistik für Normsprecher und Patienten.

Tabelle 60: Diadochokinese : Deskriptive Statistik, Normsprecher

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Dauer des 12-Silben- Blocks	140	1.19	3.02	1.7648	.31311
Anzahlsilben	140	12	13	12,01	,085
Silbenrate	140	4.00	10.10	6.9864	1.08623
Silbendauer	140	.09	.23	.1381	.02578
Variationskoeffizient Silbendauer	140	,03	,56	,0921	,07481
Pausenanzahl	140	2	13	3,72	3,009
Pausendauer	140	.01	.26	.0328	.02631
Variationskoeffizient Pausendauer	140	,16	10,00	4,0007	1,64082
Gültige Werte (Listenweise)	140				

Tabelle 61: Diadochokinese: Deskriptive Statistik, Patienten

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standard- abweichung
Dauer des 12-Silben- Blocks	145	1.25	7.83	2.7218	1.09384
Anzahlsilben	145	2	13	11,01	2,379
Silbenrate	145	.90	7.40	4.4372	1.50725
Silbendauer	145	.10	1.10	.2443	.14297
Variationskoeffizient Silbendauer	145	,03	,89	,1680	,13416
Pausenanzahl	145	2	13	4,76	3,648
Pausendauer	145	.02	.19	.0432	.02828
Variationskoeffizient Pausendauer	145	,55	53,67	6,5269	6,57831
Gültige Werte (Listenweise)	145				

Die Mittelwertvergleiche mit der Prädiktorvariable „Zuordnung“ (Norm vs. Patient, vgl. Tab. 62) ergaben für alle untersuchten Variablen signifikante Unterschiede.

Tabelle 62: Diadochokinese: Mittelwertvergleiche, Norm vs. Patient

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Dauer des 12-Silben-Blocks	2768,500	12638,500	-10,613	,000
Anzahlsilben	8201,500	18786,500	-5,259	,000
Silbenrate	1711,500	12296,500	-12,135	,000
Silbendauer	2318,500	12188,500	-11,296	,000
Variationskoeffizient Silbendauer	4720,500	14590,500	-7,809	,000
Pausenanzahl	8304,000	18174,000	-2,939	,003
Pausendauer	6704,000	16574,000	-5,821	,000
Variationskoeffizient Pausendauer	7157,500	17027,500	-4,306	,000

a Gruppenvariable: Zuordnung

Auch die Mittelwertvergleiche mit der unabhängigen Variablen „Schweregrad“ konnten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen nachweisen (Tab. 63). Die Abbildungen 22 und 23 veranschaulichen dies mithilfe von Boxplot- bzw. Balkendiagramm.

Tabelle 63: Diadochokinese: Mittelwertvergleiche, Prädiktorvariable Schweregrad

	Chi-Quadrat	df	Asymptotische Signifikanz
Dauer des 12-Silben-Blocks	124,937	3	,000
Anzahlsilben	100,957	3	,000
Silbenrate	180,644	3	,000
Silbendauer	165,452	3	,000
Variationskoeffizient Silbendauer	75,487	3	,000
Pausenanzahl	10,539	3	,015
Pausendauer	46,406	3	,000
Variationskoeffizient Pausendauer	34,620	3	,000

a Kruskal-Wallis-Test

b Gruppenvariable: Schweregrad der Dysarthrie

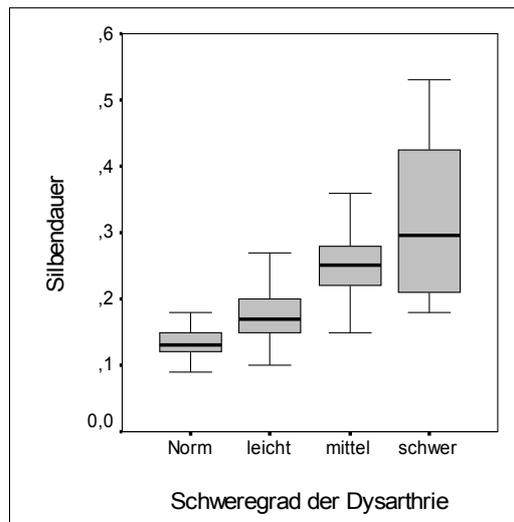


Abbildung 22: DDK: mittlere Silbendauer

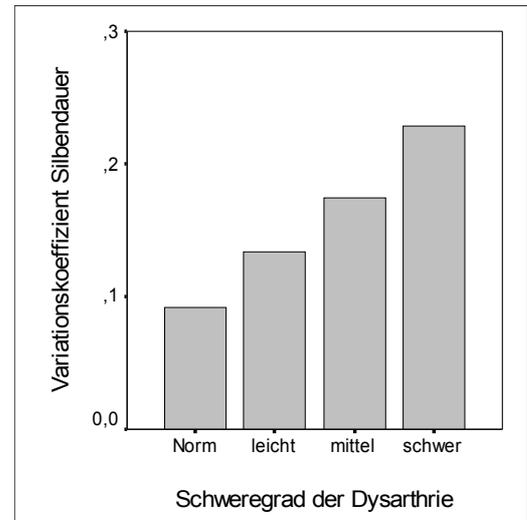


Abbildung 23: DDK: Variationskoeffizient Silbendauer

Um den Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der Dysarthrie und den einzelnen Variablen genauer zu untersuchen, wurde der Spearman-Koeffizient berechnet. Es zeigten sich bei den untersuchten Variablen signifikante Zusammenhänge zum Schweregrad (vgl. Tab. 64).

Tabelle 64: Diadochokinese: Korrelationen zwischen Schweregrad und Variablen

			Schweregrad der Dysarthrie
<b>Spearman-Rho</b>	Dauer des 12-Silben-Blocks	Korrelationskoeffizient	,633(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	285
	Anzahl silben	Korrelationskoeffizient	-,465(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	285
	Silbenrate	Korrelationskoeffizient	-,791(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	285
	Silbendauer	Korrelationskoeffizient	,754(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	285
Variationskoeffizient Silbendauer	Korrelationskoeffizient	,512(**)	
	Sig. (2-seitig)	,000	
	N	285	

			Schweregrad der Dysarthrie
	Pausenanzahl	Korrelationskoeffizient	,168(**)
		Sig. (2-seitig)	,004
		N	285
	Pausendauer	Korrelationskoeffizient	,385(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	285
	Variationskoeffizient Pausendauer	Korrelationskoeffizient	,306(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	285

\*\* Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

\* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Die Durchführung einer Diskriminanzanalyse zeigte, dass mit Hilfe der drei Variablen Silbenrate, Pausendauer und Silbendauer (s. Tab. 66) 91,2 % der ursprünglich gruppierten Fälle korrekt hinsichtlich der Zuordnung (Norm vs. Patient) klassifiziert werden konnten. Da die Variablen Silbenrate und Silbendauer signifikant miteinander korrelierten ( $p < 0,001$ ), wurde in einer weiteren Diskriminanzanalyse auf die Silbendauer als Variable verzichtet und nur die Silbenrate und Pausendauer verwendet, was zu einem Prozentsatz von 89,5 % korrekten Klassifizierungen führte; bei ausschließlicher Verwendung der Silbenrate als Variable konnten immerhin noch 86 % der ursprünglich gruppierten Fälle korrekt als Normsprecher bzw. Patient zugeordnet werden.

Tabelle 65: Diadochokinese: Diskriminanzfunktionskoeffizienten, Norm vs. Patienten

	Funktion
	1
Silbenrate	1,626
Silbendauer	,625
Pausendauer	,476

Tabelle 66: Diadochokinese: Diskriminanzanalyse, Norm vs. Patient

		Zuordnung	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit		Gesamt
			Norm	Patient	
Original	Anzahl	Norm	26	2	28
		Patient	3	26	29
	%	Norm	92,9	7,1	100,0
		Patient	10,3	89,7	100,0

a 91,2% der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt klassifiziert.

Um zwischen den Schweregradstufen zu unterscheiden, verfügte die Variablen Silbenrate, mit 72,4 % korrekt klassifizierten Fällen über die höchste Trennkraft (s. Tab. 67). Auch die Hinzunahme weiterer Variablen führte zu keiner Veränderung.

Tabelle 67: Diadochokinese: Diskriminanzanalyse, Schweregrad

		Schweregrad	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit			Gesamt
			leicht	mittel	schwer	
Original	Anzahl	leicht	14	0	1	15
		mittel	1	1	4	6
		schwer	2	0	6	8
	%	leicht	93,3	,0	6,7	100,0
		mittel	16,7	16,7	66,7	100,0
		schwer	25,0	,0	75,0	100,0

a 72,4% der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt klassifiziert.

Da die Silbenrate der Diadochokinese trotz der Eigenschaft, eine Maximalleistungsaufgabe zu sein, oft niedriger ist als bei der Sprachproduktion, wurden die Silbenraten von Diadochokinese und Satzproduktion in einer Grafik gegenübergestellt (Abb. 24). Es zeigte sich dabei, dass wider Erwarten für keine der Gruppen die Silbenrate der Satzproduktion höher war.

Um wiederum zu überprüfen, wie sensitiv die Analyse auch leichte Störungen nachweisen kann, wurde ein gesonderter Vergleich der Mittelwerte zwischen den Normsprechern und der Gruppe der leicht betroffenen Dysarthriker durchgeführt. Auch bei diesem Vergleich zeigten sich mit Ausnahme der Variablen „Anzahl der Silben“ ausschließlich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (vgl. Tab. 68).

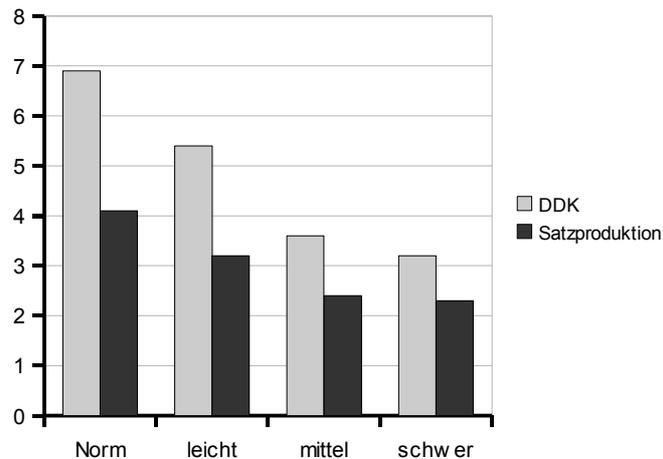


Abbildung 24: Vergleich der Silbenraten DDK vs. Satzproduktion

Tabelle 68: Diadochokinese: Mittelwertvergleich, Norm vs. leicht Betroffene

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Dauer des 12-Silben-Blocks</b>	1617,500	11487,500	-8,356	,000
<b>Anzahlsilben</b>	5143,000	7993,000	-1,480	,139
<b>Silbenrate</b>	1611,500	4461,500	-8,373	,000
<b>Silbendauer</b>	2171,000	12041,000	-7,134	,000
<b>Variationskoeffizient Silbendauer</b>	3308,500	13178,500	-4,470	,000
<b>Pausenanzahl</b>	4451,500	14321,500	-2,089	,037
<b>Pausendauer</b>	4084,500	13954,500	-3,342	,001
<b>Variationskoeffizient Pausendauer</b>	4158,500	14028,500	-2,516	,012

a Gruppenvariable: Schweregrad der Dysarthrie, nur Norm und leicht Betroffene

In einer Einzelfalluntersuchung wurde überprüft, wie sich das Vorliegen einer ataktischen und rigid-hypokinetischen Dysarthrie auf die Auswertungsergebnisse auswirkt. Dazu wurden die Mittelwerte der Normsprecher mit den Werten der Patientin AK mit schwerer ataktischer Dysarthrie und der Patienten MS mit schwerer rigid-hypokinetischer Dysarthrie gegenübergestellt (Tab. 69).

Tabelle 69: Diadochokinese: Einzelfalluntersuchung bei schwerer ataktischer und rigid-hypokinetischer Dysarthrie

	<b>Dysarthrie</b>	<b>Silbenrate</b>	<b>Silbendauer</b>	<b>VK Silbend.</b>	<b>Pausendauer</b>	<b>VK Pausend.</b>
<b>/ba/</b>	<b>keine</b>	7,1	0,13	0,08	0,03	3,89
	<b>ataktisch</b>	1,6	0,47	0,19	0,13	2,69
	<b>rigid-hypo.</b>	4,8	0,2	0,05	0,02	8
<b>/da/</b>	<b>keine</b>	7,2	0,13	0,04	0,03	1,96
	<b>ataktisch</b>	1,5	0,53	0,09	0,12	3,5
	<b>rigid-hypo.</b>	5,1	0,19	0,11	0,03	6,67
<b>/ga/</b>	<b>keine</b>	6,4	0,15	0,11	0,04	1,49
	<b>ataktisch</b>	2	0,47	0,21	0,08	6,75
	<b>rigid-hypo.</b>	4,9	0,2	0,1	0,03	6
<b>/bada/</b>	<b>keine</b>	7,6	0,13	0,09	0,03	3,37
	<b>ataktisch</b>	1,9	0,44	0,18	0,09	6,33
	<b>rigid-hypo.</b>	5,4	0,18	0,11	0,03	6,33
<b>/dana/</b>	<b>keine</b>	6,6	0,15	0,11	0,04	3,89
	<b>ataktisch</b>	1,7	0,53	0,09	0,14	2,79
	<b>rigid-hypo.</b>	4,5	0,21	0,24	0,04	4,75

Des Weiteren wurden exemplarisch die Mittelwerte der Silben- und Pausendauern von drei unterschiedlichen Dysarthriesyndromen miteinander verglichen; es handelte sich wiederum um die Patientin MS mit schwerer rigid-hypokinetischer Dysarthrie, die Patientin AK mit schwerer ataktischer Dysarthrie und die Patientin BN mit schwerer spastischer Dysarthrie. Dabei zeigten sich für beide Variablen signifikante Unterschiede (vgl. Tab. 70 und Abb. 25).

Tabelle 70: Diadochokinese: Vergleich von drei Dysarthriesyndromen

	Silbendauer	Pausendauer
Chi- Quadrat	12,343	8,122
df	2	2
Asympt. Signifikanz	,002	,017

Kruskal-Wallis-Test  
Gruppenvariable: Ätiologie

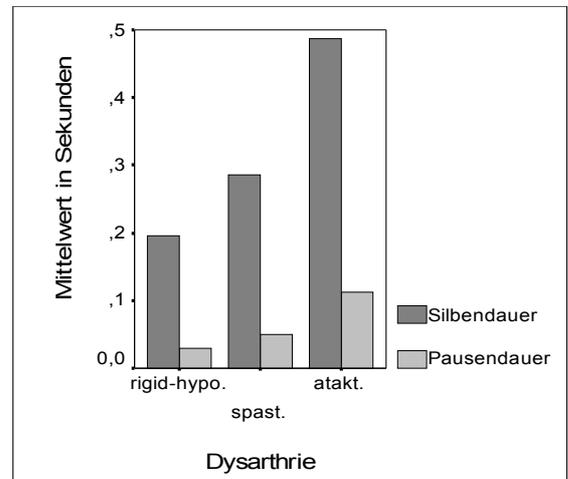


Abbildung 25: DDK: Vergleich von drei  
Dysarthriesyndromen

#### 5.5.4 Auswertung Satzproduktion

Die Auswertung des Moduls Satzproduktion umfasste neben den Aspekten der temporalen Organisation auch prosodische Elemente. Dazu zählten neben der mittleren Sprechstimmlage auch die Umsetzung von Betonungsmustern auf Silben-, Wort- und Satzebene.

Bei der Überprüfung der Daten auf Plausibilität fiel wiederum auf, dass bei einigen Probanden unplausible Werte für die mittlere Sprechstimmlage auftauchten. Nach Böhme (2003) liegt die mittlere Sprechstimmlage bei Männern zwischen 98-131 Hz und bei Frauen zwischen 196-262 Hz. Da es im Rahmen einer Dysarthrie auch zu einer Erhöhung der Sprechstimmlage kommen kann, wurden bei den männlichen Probanden Werte über 250 Hz und bei den weiblichen Probanden Werte über 380 Hz als Messfehler angesehen. In diesen Fällen wurden die Werte und der Variationskoeffizient der Sprechstimmlage manuell korrigiert und als fehlend eingetragen. Dies war der Fall bei den männlichen Normsprechern BB, JE, MP, SB und TH, den weiblichen Normsprechern TS, PB, VG, KD und RH den Patientinnen EH, GE und BE und

den Patienten EW, JW, KM, MN, UD, VR und DR. In diesen Fällen zeigte sich der Messfehler ebenfalls bei den Variablen Testsilbenf0, F0vorletzte Silbe und F0letzteSilbe, so dass hier analog zur Korrektur der Sprechstimmlage verfahren wurde.

Der Mittelwertvergleich zwischen den Stichproben Normsprecher und Patient mittels des Mann-Whitney-U-Tests zeigte signifikante Unterschiede für die Variablen Dauer des Satzes, den Variationskoeffizienten der Sprechstimmlage, Anzahl der produzierten Silben, Silbenrate, Silbendauer, Pausenanzahl und Pausendauer.

Tabelle 71: Satzproduktion: Mittelwertvergleich, Norm vs. Patient

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Dauer des Satzes</b>	9237,500	48577,500	-15,956	,000
<b>AnzahlSilben</b>	38918,000	78258,000	-1,979	,048
<b>Silbenrate</b>	9299,000	51494,000	-15,932	,000
<b>Silbendauer</b>	12789,000	52129,000	-14,190	,000
<b>VK Silbendauer</b>	39055,000	81250,000	-,786	,432
<b>Pausenanzahl</b>	26496,500	65836,500	-7,646	,000
<b>Pausendauer</b>	23406,500	62746,500	-9,265	,000
<b>VK Pausendauer</b>	9754,000	28282,000	-,741	,459
<b>VK F0</b>	13700,000	34815,000	-4,952	,000

Gruppenvariable: Zuordnung

Der Mittelwertvergleich für die Gruppeneinteilung nach Schweregrad ergab ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen für die Variablen Dauer des Satzes, Variationskoeffizient der mittleren Sprechstimmlage, Silbenrate, Silbendauer, Pausenanzahl und Pausendauer (Tab. 72).

Tabelle 72: Satzproduktion: Mittelwertvergleich, Schweregrade

	Chi-Quadrat	df	Asymptotische Signifikanz
<b>Dauer des Satzes</b>	308,815	3	,000
<b>VK F0</b>	34,145	3	,000
<b>AnzahlSilben</b>	5,077	3	,166
<b>Silbenrate</b>	309,544	3	,000

	Chi-Quadrat	df	Asymptotische Signifikanz
Silbendauer	280,311	3	,000
VK Silbendauer	1,344	3	,719
Pausenanzahl	78,251	3	,000
Pausendauer	136,960	3	,000
VK Pausendauer	4,055	3	,256

Kruskal-Wallis-Test  
Gruppenvariable: Schweregrad der Dysarthrie

Die Abbildungen 26 und 27 veranschaulichen die unterschiedlichen Ausprägungen der Variablen Silbendauer und Variationskoeffizient der Grundfrequenz.

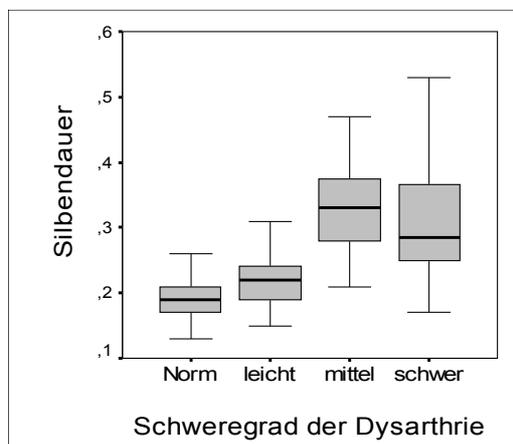


Abbildung 26: Satzproduktion: Silbendauer und Schweregradeinstufung

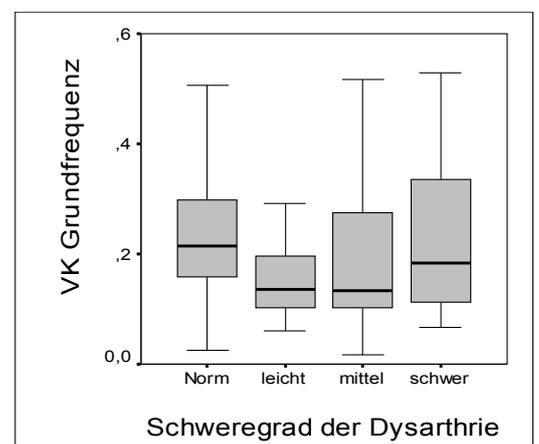


Abbildung 27: Satzproduktion: Variationskoeffizient der Grundfrequenz und Schweregradeinstufung

Bivariate Zusammenhänge wurde mittels des Spearman-Koeffizienten erfasst. Es zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen dem Schweregrad der Patienten und den Variablen. Die höchste Korrelation bestand zwischen Schweregrad und Silbenrate ( $r = -.733$ ); in absteigender Reihenfolge bestanden zudem Korrelationen zwischen Schweregrad und den Variablen Silbendauer ( $r = .674$ ), Pausendauer ( $r = .469$ ), Pausenanzahl ( $r = .363$ ), dem Variationskoeffizienten von F0 ( $r = -.175$ ) und der Silbenanzahl ( $r = .092$ ) (vgl. Tab. 73).

Tabelle 73: Satzproduktion: Korrelationen zwischen Schweregrad und den Variablen

			Schweregrad der Dysarthrie
Spearman-Rho	Dauer des Satzes	Korrelationskoeffizient	,732(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	570
	Anzahlsilben	Korrelationskoeffizient	,092(*)
		Sig. (2-seitig)	,027
		N	570
	Silbenrate	Korrelationskoeffizient	-,733(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	570
	Silbendauer	Korrelationskoeffizient	,674(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	570
	VK Silbendauer	Korrelationskoeffizient	-,019
		Sig. (2-seitig)	,651
		N	570
	Pausenanzahl	Korrelationskoeffizient	,363(**)
		Sig. (2-seitig)	,000
		N	570
Pausendauer	Korrelationskoeffizient	,469(**)	
	Sig. (2-seitig)	,000	
	N	570	
VK Pausendauer	Korrelationskoeffizient	-,085	
	Sig. (2-seitig)	,141	
	N	299	
VK F0	Korrelationskoeffizient	-,175(**)	
	Sig. (2-seitig)	,000	
	N	393	

\*\* Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

\* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

Auch im Modul Satzproduktion wurde eine Diskriminanzanalyse durchgeführt, um einzelne Variablen hinsichtlich ihrer Trennkraft zwischen den Gruppen Norm/Patient bzw. Schweregradstufen zu überprüfen. Mithilfe der Variablen Silbenrate konnten 89,5 % der ursprünglich gruppierten Fälle korrekt klassifiziert werden (vgl. Tab. 74) .

Tabelle 74: Satzproduktion: Diskriminanzanalyse, Norm vs. Patient

		Zuordnung	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit		Gesamt
			Norm	Patient	
Original	Anzahl	Norm	26	2	28
		Patient	4	25	29
	%	Norm	92,9	7,1	100
		Patient	13,8	86,2	100,0

a 89,5% der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt klassifiziert.

Die Variable, mit der die einzelnen Probanden bestmöglich einer der Schweregradstufen (leicht, mittel oder schwer) zugeordnet werden konnten, war wiederum die Silbenrate (vgl. Tab. 75). Mittels dieser Variablen und der entsprechenden Diskriminanzfunktion, konnten 65,5 % der ursprünglich gruppierten Fälle korrekt der jeweiligen Schweregradstufe zugeordnet werden.

Tabelle 75: Satzproduktion: Diskriminanzanalyse, Schweregrade

		Schweregrad	Vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit			Gesamt
			leicht	mittel	schwer	
Original	Anzahl	leicht	14	0	1	15
		mittel	2	0	4	6
		schwer	3	0	5	8
	%	leicht	93,3	,0	6,7	100,0
		mittel	33,3	,0	66,7	100,0
		schwer	37,5	,0	62,5	100,0

a 65,5% der ursprünglich gruppierten Fälle wurden korrekt klassifiziert.

Um zu überprüfen, ob die Unterschiede zwischen den Normsprechern und den als leicht betroffen eingestuften Dysarthrikern ebenfalls signifikant waren, wurde ein Mittelwertvergleich zwischen diesen beiden Gruppen durchgeführt (vgl. Tab. 76).

Tabelle 76: Satzproduktion: Mittelwertvergleich, Norm vs. leicht Betroffene

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Dauer des Satzes	8055,500	47395,500	-10,540	,000
Anzahlsilben	20447,500	59787,500	-1,415	,157
Silbenrate	8174,500	19499,500	-10,451	,000
Silbendauer	11047,500	50387,500	-8,150	,000
VK Silbendauer	19653,500	30978,500	-1,097	,273

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<b>Pausenanzahl</b>	16585,000	55925,000	-3,982	,000
<b>Pausendauer</b>	16121,000	55461,000	-4,381	,000
<b>VK Pausendauer</b>	4325,500	7728,500	-,171	,864
<b>VK F0</b>	4425,000	7828,000	-5,564	,000

a Gruppenvariable: Schweregrad der Dysarthrie: Norm vs. leicht

Auch bei diesem Vergleich zeigten sich für die Variablen Dauer des Satzes, Silbenrate, Silbendauer, Pausenanzahl, Pausendauer und Variationskoeffizient der mittleren Sprechstimmlage (VK F0) signifikante Unterschiede.

Beim geschlechtsspezifischen Vergleich der mittleren Sprechstimmlage zwischen Norm und Patienten konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Wurde die mittlere Sprechstimmlage der einzelnen Schweregradstufen verglichen, zeigten sich jedoch Unterschiede zwischen den Gruppen. Bei den männlichen Probanden gab es einen signifikanten Unterschied ( $p < 0.05$ , vgl. Tab. 77); Einzelvergleiche der Gruppen mittels Mann-Whitney-U-Test zeigten jedoch, dass sich lediglich die Gruppe „schwer“ von den anderen Gruppen durch eine erhöhte mittlere Sprechstimmlage unterschied. Die Werte der Normsprecher, leichten und mittleren Dysarthriker unterschieden sich nicht voneinander.

Tabelle 77: Satzproduktion: F0 Vergleich, männliche Probanden nach Schweregrad

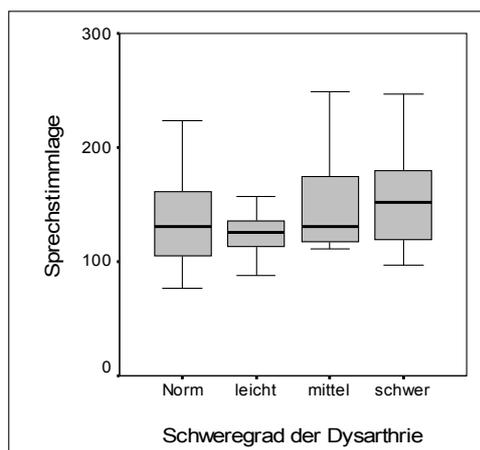


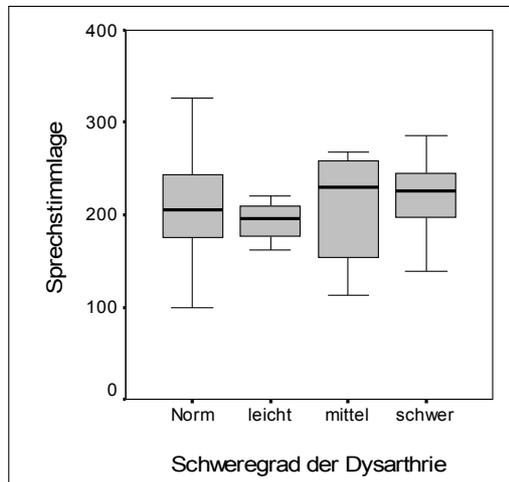
Abbildung 28: Satzproduktion: F0 Vergleich männliche Probanden nach Schweregrad

	Sprechstimmlage
<b>Chi-Quadrat</b>	10,098
<b>df</b>	3
<b>Asymptotische Signifikanz</b>	,018

Kruskal-Wallis-Test  
Gruppenvariable: Schweregrad der Dysarthrie

Bei den weiblichen Probanden zeigte sich kein Unterschied in der mittleren Sprechstimmlage zwischen den einzelnen Schweregradstufen (vgl. Abb. 29 und Tabelle 78).

Tabelle 78: Satzproduktion: F0 Vergleich, weibliche Probanden nach Schweregrad



	Sprechstimmlage
Chi-Quadrat	4,752
df	3
Asymptotische Signifikanz	,191

Kruskal-Wallis-Test  
Gruppenvariable: Schweregrad der Dysarthrie

Abbildung 29: Satzproduktion: F0 Vergleich weibliche Probanden nach Schweregrad

Die Umsetzung von Betonungsmustern zeigte bei den Normsprechern signifikante Unterschiede ( $p < .005$ ) hinsichtlich der satzspezifischen Testsilbendauer, d.h. sowohl beim Verschieben der Betonung innerhalb eines Satzes auf ein anderes Wort als auch bei der Betonungsverschiebung von einer Silbe auf eine andere innerhalb eines Wortes ('modern vs. mo'dern) konnten signifikante Unterschiede bezüglich der Silbendauer festgestellt werden. Bei den Patienten konnte lediglich bei der Betonungsverschiebung innerhalb eines Wortes ein signifikanter Unterschied ( $p < .005$ ) für die Testsilbendauer festgestellt werden. Bei der Betonungsverschiebung auf ein anderes Wort im Satz zeigten sich bei den Patienten keine Unterschiede. Bei Patienten und Normsprechern unterschied sich die Silbenintensität nicht zwischen betonten und unbetonten Silben.

Um genauer zu überprüfen, ob es schweregradabhängige Unterschiede bei der Realisierung der Betonungsmuster gab, wurden Mittelwertvergleiche (Mann-Whitney-Test) der Testsilbenlänge innerhalb der einzelnen Schweregradstufen durchgeführt (vgl. Tab. 79 und Abb. 30-32). Dabei zeigte sich, dass es bei mittel und schwer betroffenen Dysarthriker bei keinem Vergleich signi-

fikante Unterschiede zwischen betonter und unbetonter Silbe gab, während dies bei den leicht betroffenen in zwei von drei Vergleichen der Fall war.

Tabelle 79: Satzproduktion: schweregradspezifischer Vergleich der Testsilbendauer

Asymptotische Signifikanz (2-seitig)				
Satz	Norm	Leicht	Mittel	Schwer
2 und 8	,000	,039	,575	,958
3 und 5	,000	,001	,374	,115
4 und 10	,005	,491	,936	,370

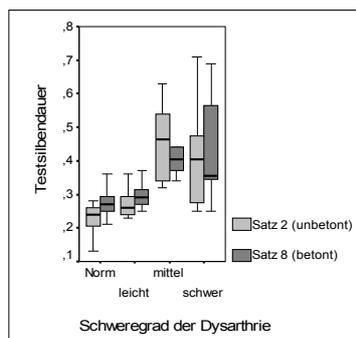


Abbildung 30: Satzproduktion:  
Testsilbendauer Satz 2/8

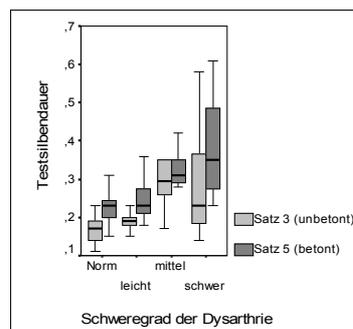


Abbildung 31: Satzproduktion:  
Testsilbendauer Satz 3/5

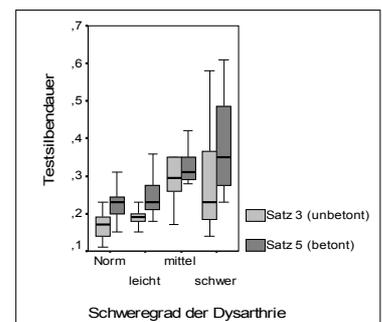


Abbildung 32: Satzproduktion:  
Testsilbendauer Satz 4/10

Die Auswertung der Grundfrequenz der betonten Silben musste in einem weiteren Schritt geschlechtsspezifisch durchgeführt werden. Dabei zeigten sich weder bei den Normsprechern, noch bei den Patienten signifikante Unterschiede in der Grundfrequenz zwischen betonten und unbetonten Silben. Für die Normsprecherinnen zeigte sich ein tendenzieller Unterschied ( $p \leq .1$ ) der Grundfrequenz zwischen betonter und unbetonter Silbe bei der Betonungsverschiebung auf Wortebene ('modern vs. mo'dern).

Als weiteres prosodisches Element wurde die Umsetzung der Frageintonation untersucht, indem die Grundfrequenz der letzten beiden Silben in den Interrogativsätzen mit dem Wilcoxon-Test miteinander verglichen wurde. Dies geschah zunächst geschlechtsspezifisch und getrennt für Normsprecher und Patienten. Für alle vier Gruppen (Männer Norm, Frauen

Norm, Männer Patienten und Frauen Patienten) zeigten sich signifikante Unterschiede hinsichtlich der Grundfrequenz der vorletzten und letzten Silbe ( $p < .005$ ).

Da das Ergebnis des höheren Variationskoeffizienten der Grundfrequenz bei schweren Dysarthrien im Vergleich zu leichten Dysarthrien (vgl. Tab. 72 und Abbildung 27) zunächst nicht plausibel erschien, sollte in einem weiteren Schritt der Analyse geprüft werden, inwiefern der Variationskoeffizient eine adäquate Intonation widerspiegelte. Um dies in den Interrogativsätzen zu überprüfen, wurde die Differenz der Grundfrequenz aus der letzten und vorletzten Silbe gebildet. Da die Grundfrequenz bei Interrogativsätzen zum Ende ansteigt, sollte das zu erwartende Ergebnis eine positive Zahl sein. Je höher der Wert, desto stärker wurde die Stimme zum Ende des Satzes angehoben und somit die Intonation korrekt realisiert. Die Abbildungen 33 (Männer) und 34 (Frauen) verdeutlichen diese Differenzwerte für die einzelnen Schweregrade, Tabellen 80 und 81 die Mittelwertvergleiche.

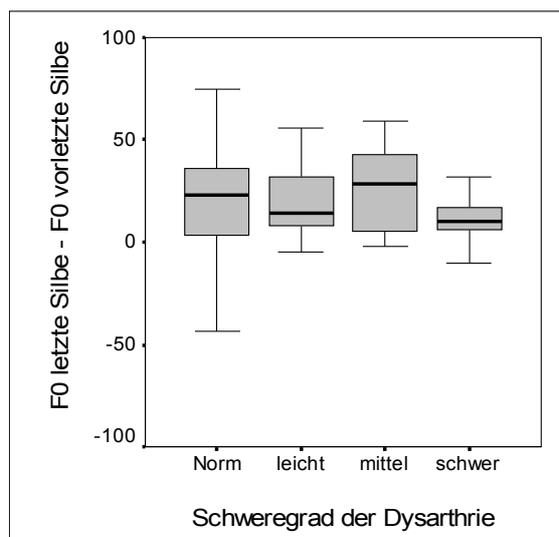


Abbildung 33: Satzproduktion: Umsetzung der Frageintonation, männliche Probanden

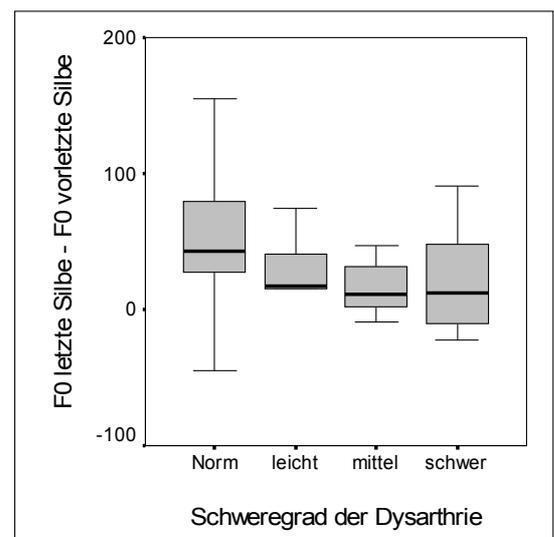


Abbildung 34: Satzproduktion: Umsetzung der Frageintonation, weibliche Probanden

Tabelle 80: Satzproduktion: Umsetzung der Frageintonation, männliche Probanden

	F0 letzte Silbe - F0 vorletzte Silbe
Chi-Quadrat	3,175
df	3
Asymptotische Signifikanz	,365

Kruskal-Wallis-Test

Gruppenvariable: Schweregrad der Dysarthrie

Tabelle 81: Satzproduktion: Umsetzung der Frageintonation, weibliche Probanden

	F0 letzte Silbe - F0 vorletzte Silbe
Chi-Quadrat	14,528
df	3
Asymptotische Signifikanz	,002

Kruskal-Wallis-Test

Gruppenvariable: Schweregrad der Dysarthrie

Der geschlechtsspezifische Vergleich der Grundfrequenz der letzten Silbe der Interrogativsätze ergab keine Unterschiede zwischen Patientenstichprobe und Normsprecherstichprobe.

Wie auch im Modul Diadochokinese wird auch im Folgenden eine Einzelfalluntersuchung zwischen Normwerten, einer schweren rigid-hypokinetischen (Patientin MS), schweren ataktischen (Patientin AK) und den anderen schweren Dysarthrien durchgeführt.

Tabelle 82: DDK: Einzelfalluntersuchung

Dysarthrie	Satzdauer	Silbenanzahl	Silbenrate	Silbendauer	VK Silbendauer
keine	1,99 (0,32)	8,01 (0,18)	4,1 (0,6)	0,19 (0,28)	0,31 (0,09)
ataktische	5,0 (0,38)	8,1 (0,31)	1,63 (0,15)	0,5 (0,04)	0,32 (0,08)
rigid-hypo	3,13 (0,54)	8 (0)	2,61 (0,42)	0,26 (0,04)	0,31 (0,07)
schwer (gesamt)	3,91 (1,07)	8,24 (1,16)	2,22 (0,53)	0,32 (0,11)	0,31 (0,09)

Dysarthrie	Pausenanzahl	Pausendauer	VK Pausendauer	VK F0
keine	0,69 (1,04)	0,02 (0,04)	5,86 (8,05)	0,24 (0,12)
ataktische	2,3 (1,42)	0,15 (0,12)	3,98 (4,8)	0,12 (0,08)
Rigid- hypo	1,3 (0,67)	0,04 (0,03)	1,66 (2,46)	0,28 (0,1)
Schwer (gesamt)	1,9 (1,36)	0,18 (0,2)	5,8 (26,09)	0,22 (0,17)

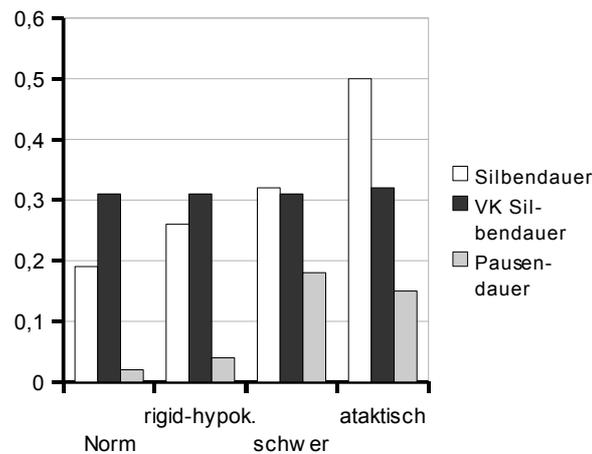


Abbildung 35: Satzproduktion: Einzelfalluntersuchung schwerer Dysarthrien unterschiedlicher Ätiologie

Um die Unterschiede zwischen den schweren Dysarthrien auf Signifikanz zu überprüfen, wurde wiederum ein nicht parametrischer Mittelwertsvergleich durchgeführt (Tab. 83).

Tabelle 83: Satzproduktion: Vergleich unterschiedlicher Dysarthriesyndrome (rigid-hypokinetisch, ataktisch, schwer gesamt)

	Chi-Quadrat	df	Asymptotische Signifikanz
Dauer des Satzes	21,729	2	,000
Anzahlsilben	,274	2	,872
Silbenrate	22,488	2	,000
Silbendauer	24,533	2	,000
VK Silbendauer	,533	2	,766
Pausenanzahl	2,470	2	,291
Pausendauer	7,314	2	,026
VK Pausendauer	,955	2	,620
VK Grundfrequenz	7,524	2	,023

Kruskal-Wallis-Test, Gruppenvariable: Dysarthrie Vergleich

Neben dem Mehrfachvergleich der Dysarthriesyndrome wurden die Werte der Parkinson-Patientin mit rigid-hypokinetischer Dysarthrie mit den Mittelwerten der gesamten Patienten aus derselben Schweregradstufe („schwer“) verglichen (Tab. 84).

Tabelle 84: Satzproduktion: Parkinson vs. schwere Dysarthrien

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Dauer des Satzes	187,500	242,500	-2,364	,018
Anzahlsilben	325,000	380,000	-,509	,611
Silbenrate	201,500	2686,500	-2,166	,030
Silbendauer	242,500	297,500	-1,567	,117
VK Silbendauer	323,000	2808,000	-,393	,694
Pausenanzahl	264,500	319,500	-1,280	,201
Pausendauer	167,000	222,000	-2,668	,008
VK Pausendauer	227,500	272,500	-,705	,481
VK F0	210,000	2695,000	-2,037	,042

Gruppenvariable: Parkinson Vergleich

Um den Zusammenhang zwischen den Variablen Silbenrate und Pausendauer näher zu untersuchen, wurde zur Veranschaulichung ein Streudiagramm erstellt (Abb.36). In einem weiteren Schritt wurde der Korrelationskoeffizient nach Spearman ermittelt. Dabei zeigte sich, dass bei der Gruppe der schweren Dysarthrien ein signifikanter negativer Zusammenhang ( $p < 0.01$ ) zwischen den beiden Variablen bestand, während dies bei der Dysarthrie bei Parkinson nicht der Fall war.

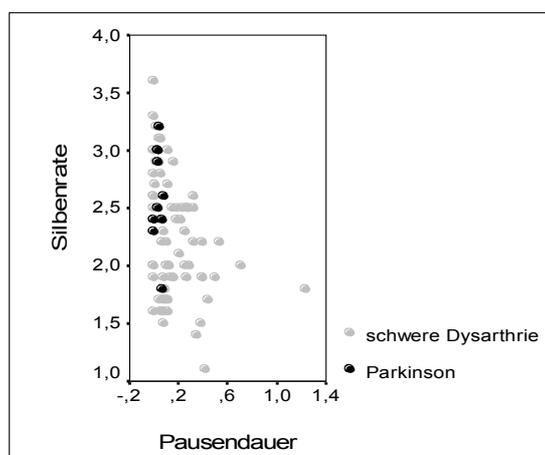


Abbildung 36: Satzproduktion: Silbenrate und Pausendauer bei Parkinson versus schwere Dysarthrien

## 6 DISKUSSION

### 6.1 Vokalanalyse

Da Stimmstörungen ein häufiges Merkmal einer Dysarthrie sind (Darley et al. 1969a, 1969b; Duffy 1995), erscheint eine computergestützte Untersuchung der Stimmparameter sinnvoll, um perzeptuell schwer quantifizierbare Größen messbar zu machen. Die Messungen sind jedoch insofern störanfällig, als sowohl das Aufnahmegerät als auch das Mikrofon Einfluss auf die Aufnahmequalität haben und bereits geringfügiger Hintergrundlärm die Auswertung bestimmter Variablen beeinflusst und erschwert.

Im Rahmen der Auswertung des Moduls Vokalanalyse wurde festgestellt, dass die Messungen fehleranfällig waren. In 9 von 54 Fällen musste die Grundfrequenz als fehlend angegeben werden, da unplausibel hohe Werte von PRAAT detektiert wurden. Auffällig war auch, dass die Perturbationsmessungen bei den Normsprechern für bestimmte Variablen Werte aufwiesen, die ober- bzw. unterhalb der in der Literatur als kritisch angegebenen Werte lagen. Bei den Männern galt dies für die Variablen Jitter local, Jitter RAP und H/N-Quotient. Bei den Frauen konnte dies für die Variablen Jitter local, Jitter RAP, Shimmer und H/N-Quotient festgestellt werden. Dies könnte darin begründet sein, dass die Aufnahmen in verschiedenen zwar ruhigen, jedoch nicht schallisolierten Räumen gemacht wurden. Ingrisano et al. (1998) untersuchten den Effekt von Umgebungslärm auf die computergestützte Analyse von Jitter und Shimmer und stellten eine Zunahme der Werte mit steigendem Umgebungslärm fest. Da im klinischen Alltag selten ein schallisolierter Raum für Sprachaufnahmen zur Verfügung steht, muss dieser Zusammenhang bei der Auswertung der Patientendaten berücksichtigt werden. Neben den geschlechtsspezifischen Unterschieden in der Ausprägung der Perturbationsparameter existieren auch vokalspezifische Unterschiede. Daher kann ein Vergleich der Perturbationsmessungen nicht über mehrere Vokale erfolgen, sondern lediglich für einen Vokal durchgeführt werden. Wie sich jedoch auch bei den Messungen zur Haltedauer und Variabilität der Grundfrequenz zeigte, wurden reliablere Ergebnisse erzielt, wenn sich die Auswertung auf alle vier Vokale erstreckte. Dementsprechend sind Ergebnisse, die nur einen Vokal betreffen, fehleranfalliger und kritisch zu betrachten.

Wie auch von Dwire & McCauley (1995) beschrieben, wiesen die weiblichen Probanden höhere Jitter RAP-Werte auf als die männlichen. Im Gegensatz zu der Studie von Dwire & McCauley (1995) war der Unterschied in dieser Untersuchung jedoch nicht signifikant.

Die Tatsache, dass anhand der Perturbationsmessungen keine Unterscheidung zwischen Patienten und Normsprechern möglich war, deckt sich mit bisherigen Ergebnissen aus verschiedenen Studien. Ludlow et al. beschrieben 1986, dass die Werte von Jitter und Shimmer bei ihrer Stichprobe neurologischer Patienten nicht höher lagen als bei der Kontrollgruppe. Des Weiteren konnten Ludlow et al. (1983) in ihrer Studie keinen Unterschied zwischen den Jitterwerten von Parkinson-Patienten und Normsprechern feststellen; ein ähnliches Bild zeigte sich in einer Studie von Kent et al. (1994), in der sich die Variablenwerte von F0, Jitter, Shimmer und Signal-to-Noise Ratio der neurologischen Patienten (ALS, Parkinson und Schlaganfall) nicht signifikant von denen der Normsprecher unterschieden. Auch Zwirner et al. (1991) konnten keine Unterschiede für die untersuchten Variablen Jitter, Shimmer und Geräuschanteile im Signal beim Vergleich von neurologischen Patienten mit Normsprechern feststellen.

Es lässt sich demzufolge konstatieren, dass sich die Entscheidung über das Vorliegen einer Pathologie nicht ausschließlich auf die Perturbationsmessungen stützen kann (Jitter, Shimmer, H/N-Quotient). Auch wenn im Rahmen dieser Studie die Ergebnisse möglicherweise dadurch beeinflusst wurden, dass die Aufnahmen in einer nicht schallisolierten Umgebung durchgeführt wurden, zeigte sich dies bereits in vorherigen Studien, in denen die Aufnahmen in geeigneterer Umgebung durchgeführt wurden. Zudem bleibt zu berücksichtigen, dass Stimmstörungen zwar ein häufiges, jedoch kein zwingendes Merkmal einer Dysarthrie sind. In dieser Studie beinhaltete die Diagnose der Dysarthrie eine Schweregradeinstufung, die aber aufgrund der Heterogenität dysarthrischer Störungen nicht unbedingt die Stimmqualität abbildete. Um Messartefakte sicherer identifizieren zu können, müsste als Außenkriterium eine umfassendere Einschätzung der jeweiligen Stimmqualität vorliegen.

Eine Unterscheidung von Normsprecher vs. Patient war anhand der Variablen „Haltedauer“ und „Variationskoeffizient der Grundfrequenz“ möglich. Die verkürzte Haltedauer in der Patientengruppe deutete auf respiratorische und phonatorische Defizite hin.

Wurden die Mittelwerte aller produzierten Vokale der Schweregradstufen verglichen, konnten die Gruppen ebenfalls anhand der Variablen „Haltedauer“ und „Variationskoeffizient F0“ voneinander unterschieden werden. Wurden nur die männlichen Probanden betrachtet, galt dies zusätzlich für die Variationskoeffizienten der drei ersten Formanten, während sich bei den weiblichen Probanden der Unterschied lediglich in der zusätzlichen Variable „Variationskoeffizient F1“ zeigte.

Ein erhöhter Variationskoeffizient der Grundfrequenz, der ungewollte Tonhöheschwankungen und somit phonatorische Instabilität anzeigt, konnte in auch in anderen Studien nachgewiesen werden. Kent, Vorperian und Duffy (1999) konnten im Rahmen einer Untersuchung von 32 Patienten mit unterschiedlichen Dysarthriesyndromen mit dem Multi Dimensional Voice Program (MDVP) eine erhöhte Variation der Grundfrequenz feststellen. Auch Zwirner et al. (1991) beschreiben die Standardabweichung von der Grundfrequenz als geeignete Variable, um zwischen neuropathologischen Gruppen (Chorea Huntington, Parkinson, zerebelläre Ataxie) zu unterscheiden. Hinsichtlich der Unterscheidung zwischen Patienten und Normsprechern eignete sich die Standardabweichung von der Grundfrequenz bei den Patienten mit zerebellärer Ataxie und Chorea Huntington; die Werte der Parkinson Patienten wiesen eine hohe Variabilität auf, so dass lediglich eine Tendenz erkennbar war.

Zusammenfassend konnte auch in dieser Studie gezeigt werden, dass die Erfassung der Variabilität der Grundfrequenz bei gehaltenen Vokalen ein geeignetes Instrument darstellte, Patienten und Normsprecher sowie verschiedene Schweregrade zu unterscheiden. Im Rahmen weiterer Untersuchungen mit Dysarthrikern unterschiedlicher Ätiologien könnte die Variable möglicherweise zur Unterscheidung unterschiedlicher neuropathologischer Gruppen dienen; dies müsste mit Hilfe größerer Probandenkollektive überprüft werden.

Bei den Mittelwertvergleichen für den Vokal /a/ mit der Prädiktorvariable Schweregrad konnte bei den Männern anhand der Variablen „JitterPPQ“ und „Variationskoeffizient der Grundfrequenz“ eine Unterscheidung getroffen werden, wobei die anschließende Korrelationsanalyse keinen Zusammenhang zwischen Schweregrad und JitterPPQ zeigte. Bei den Frauen war eine Unterscheidung durch die Variable „Variationskoeffizient der Grundfrequenz“ möglich. Wie bereits beschrieben, musste bei der Auswertung der Perturbationsparameter, wie z.B. JitterPPQ,

besonders aufmerksam analysiert werden, ob die Messwerte plausibel waren. Bei der Variablen JitterPPQ konnte festgestellt werden, dass die Werte nicht mit der Schweregradeinstufung korrelierten und zudem die Normsprecher unplausibel hohe Werte und eine hohe Streuung aufwiesen, was auf Messartefakte schließen lassen konnte.

Im Rahmen der durchgeführten Diskriminanzanalyse zeigte sich, dass mit der Diskriminanzfunktion und der Variablen Haltedauer bei den männlichen Probanden 78,3 % und bei den weiblichen Probanden mit der zusätzlichen Variablen Variationskoeffizient der Grundfrequenz 87,5 % der ursprünglich gruppierten Fälle korrekt als Normsprecher bzw. Patient klassifiziert werden konnten. Es zeigte sich wie schon bei den Mittelwertvergleichen dass neben der Haltedauer der Variationskoeffizient der Grundfrequenz ein wichtiger und robuster Faktor war, um auf das Vorliegen einer Pathologie schließen zu können.

Die Trennkraft einzelner Variablen hinsichtlich der einzelnen Schweregradstufen (leicht – mittel – schwer) wurde in einer weiteren Diskriminanzanalyse untersucht. Über die Hälfte (61,1%) der männlichen Probanden konnte mit Hilfe der Variablen Variationskoeffizient der Grundfrequenz korrekt der ursprünglichen Gruppierung zugeordnet werden.

Bei den weiblichen Probanden war dies nicht möglich; hier konnten keine geeigneten Variablen gefunden werden. Da die Zuordnung Norm/Patient zu einem sehr hohen Prozentsatz gelang, eine Zuordnungen der Patientinnen zu den Schweregradstufen (leicht, mittel und schwer) jedoch nicht möglich war, lässt sich daraus schließen, dass die beiden Variablen Haltedauer und Variationskoeffizient der Grundfrequenz zwar Aussagen über das Vorliegen einer Pathologie ermöglichen, die Leistungen der weiblichen Probanden innerhalb der Schweregradstufen jedoch hinsichtlich der beiden Variablen so heterogen waren, dass keine Unterscheidung möglich war. Da die Perturbationsmessungen aufgrund der bereits beschriebenen Schwierigkeiten kritisch betrachtet werden müssen, wurden diese in der Diskriminanzanalyse nicht verwendet.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Messungen der Haltedauer und des Variationskoeffizienten der Grundfrequenz sich als geeignete Variablen für die Zuordnung (Norm/Patient) herausgestellt haben. Insbesondere bei den weiblichen Probanden gab es einen

hohen Prozentsatz korrekter Zuordnungen. Die Klassifikation zwischen den Schweregradstufen jedoch konnte nur bei den männlichen Probanden erfolgen.

Um zu überprüfen, inwieweit sich geringfügige Störungen messen lassen, wurden geschlechtsspezifische Vergleiche zwischen Normsprechern und leicht betroffenen Dysarthrikern durchgeführt. Hier zeigte sich, dass die Auswertung eines einzelnen Vokals (/a/) nicht ausreichend war, um Unterschiede zwischen den beiden Gruppen nachzuweisen. Wurde die Auswertung über die vier Produktionen der Vokale ausgeweitet, konnten bei den männlichen Probanden Unterschiede für die Variablen Haltedauer, Variationskoeffizient der Grundfrequenz und Stimmabbrüche und bei den weiblichen Probanden Unterschiede für die Variablen Haltedauer, Variationskoeffizient der Grundfrequenz und H/N-Quotient nachgewiesen werden. Bei der Überprüfung der Werte konnte jedoch, wie bereits beschrieben, festgestellt werden, dass bei den männlichen Normsprechern wider Erwarten deutlich mehr Stimmabbrüche detektiert wurden als bei den Patienten. Genau wie die Messergebnisse der Perturbationsparameter sollte die Variable Stimmabbrüche also als wenig zuverlässig eingestuft und dementsprechend nicht in der Diagnostik genutzt werden. Die maximale Phonationsdauer weist einen starken Übungseffekt auf, d.h. bei mehrfacher Durchführung der Aufgabe verlängert sich die Haltedauer, sofern respiratorische und phonatorische Kapazitäten dies zulassen. Bei Normsprechern wird durch die Auswertung mehrerer Vokale dementsprechend ein höherer Mittelwert der maximalen Haltedauer erzielt. Dieser Effekt kann ebenso bei den Patienten eintreten, jedoch kann er auch dadurch reduziert werden, dass die Patienten dysarthriebedingt nicht über ausreichende respiratorische und/oder phonatorische Kapazitäten verfügen. Dies würde den Unterschied zwischen den Gruppen erklären, der beim Mittelwertvergleich eines Vokals nicht nachweisbar war, jedoch signifikant wurde, wenn mehrere Vokalproduktionen in die Auswertung einbezogen wurden. Ebenso konnte der bei den weiblichen Probanden unterschiedliche Variationskoeffizient der Grundfrequenz über mehrere Vokalproduktionen verlässlicher beurteilt werden. Hier zeigten die höheren Werte der Patientinnen eine zunehmende Unfähigkeit zur stabilen Phonation.

Gerade bei der Beurteilung leichter Dysarthrien muss also berücksichtigt werden, dass die Auswertung eines einzelnen gehaltenen Vokals nicht ausreicht, um zuverlässige Aussagen über die Leistungen treffen zu können.

Wie in der Auswertung beschrieben, traten bei den männlichen Normsprechern höhere Variationskoeffizienten der Formantwerte auf als bei den Patienten; auch die Shimmerwerte und die Anzahl der Stimmabbrüche waren bei den Normsprechern höher als bei den Patienten. Somit konnte zwar ein Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden, dieser spiegelte jedoch bei qualitativer Betrachtung der Daten nicht die zu erwartenden Ergebnisse wider. Die Ursache hierfür kann verschiedene Gründe haben. Hinsichtlich der Variationskoeffizienten der Formantfrequenzen kann von Messartefakten ausgegangen werden. Die Detektion der Formanten war ähnlich wie die der Grundfrequenz fehleranfällig. Es konnten hier große Schwankungen beobachtet werden, die sich in einem erhöhten Variationskoeffizienten der Formanten zeigten, obwohl auditiv keine Veränderung der Vokalartikulation bemerkbar wurde.

Auch die Überprüfung der hohen Werte der Stimmabbrüche bei den Normsprechern ergab, dass teilweise von PRAAT keine oder lediglich eine unterbrochene Grundfrequenz detektiert werden konnte, obwohl die auditive Überprüfung zeigte, dass der Vokal konstant phoniert wurde. Hier zeigte sich, dass die semi-automatische Auswertung nicht ohne auditive Kontrolle auskommen konnte; die Befunde entsprachen nicht der tatsächlichen Stimmqualität und beruhten auf unplausiblen Messungen durch das Programm.

Obwohl der Mittelwertvergleich des H/N-Quotienten bei den weiblichen Normsprechern und den Patientinnen mit leichter Dysarthrie einen Unterschied zwischen den Gruppen ergab, zeigten sich auch bei dieser Variable Messfehler. Die Messungen des H/N-Quotienten beinhalten die Schwierigkeit, Messartefakte in der Auswertung sicher zu erkennen. Während unplausibel niedrige Werte leicht erkannt werden können, ist die Entscheidung bei Werten, die geringfügig ober-/unterhalb der Norm liegen, schwieriger. Wird die Variable wiederholt eingesetzt, um die Stimmqualität im Rahmen einer Therapieevaluation zu erfassen, besteht die Gefahr, dass sich die Messungen nicht aufgrund der veränderten phonatorischen Leistung unterscheiden, sondern aufgrund unterschiedlicher Aufnahmequalität und dem Auftreten von Messartefakten.

Eine nicht automatisch auswertbare Variable war der Stimmtremor, der im Zusammenhang mit verschiedenen neurologischen Störungen zu beobachten ist. Typischerweise wird der Tremor

mit unwillkürlichen oszillatorischen Bewegungen der Extremitäten in Verbindung gebracht, beispielsweise bei Morbus Parkinson (Ruhetremor) oder Multipler Sklerose (Intentionstremor). Der Tremor kann auch im Bereich der Stimme beobachtet werden und weist hier ebenso typische Frequenzcharakteristika auf wie bei den Extremitäten. Die Quantifizierung eines Tremors ist durch auditiv-perzeptuelle Beurteilung nicht möglich, kann jedoch durch eine akustische Analyse sehr präzise erfolgen.

Im Rahmen der Vokalanalyse konnte bei neun Patienten und bei drei Normsprechern ein Stimmtremor festgestellt werden. Die Patienten wiesen die Ätiologien Multiple Sklerose, Insulte mit unterschiedlicher Lokalisation sowie Schädel-Hirn-Traumata und dementsprechend sehr unterschiedliche Tremorfrequenzen auf. Kent et al. (1999) haben einen Versuch unternommen, unterschiedliche Störungsbilder den Tremorfrequenzen zuzuordnen. Im Folgenden sollen die hier gemessenen Ergebnisse vor diesem Hintergrund diskutiert werden.

Bei der Betrachtung der Einzelfälle zeigte sich bei Patient OS eine niedrige Tremorfrequenz im Bereich des Wow (Multiple Sklerose). Dieses Ergebnis spiegelte die zugrunde liegende Ätiologie, nämlich eine seit 13 Jahren vorliegende Multiple Sklerose, zuverlässig wider.

Bei dem Patienten SB, der eine ausgeprägte ataktische Dysarthrie aufwies, konnte die Tremorfrequenz im zerebellären Bereich eingeordnet werden. Außer der Diagnose eines Schädelhirntraumas waren zwar keine weiteren Informationen über die Lokalisation verfügbar, das Vorhandensein einer ataktischen Dysarthrie wies jedoch auf eine Schädigung des Zerebellums und/oder der Komponenten des zerebellären Schaltkreises hin. Gleiches galt für die Patientin AK, die durch eine ausgeprägte ataktische Dysarthrie auffiel und bei der ebenfalls eine Tremorfrequenz detektiert werden konnte, die im zerebellären Bereich lag. Neben der Information, dass ätiologisch beidseitige Insulte vorlagen, konnte auch hier über die Lokalisation nichts Weiteres in Erfahrung gebracht werden. Bei der Patientin AH lag zwar von der logopädischen Diagnose her keine ataktische Dysarthrie vor, jedoch entsprach auch hier die Tremorfrequenz dem zerebellären Bereich und ätiologisch lag bei AH ein Kleinhirn- und Ponsinfarkt vor, was diese charakteristische Tremorfrequenz erklären konnte.

Vier weitere Patienten, bei denen ein Stimmtremor gefunden wurde, wiesen weniger eindeutige Befunde auf. Bei zwei von ihnen lagen ätiologisch Insulte zugrunde (Patienten BK und NM),

während die anderen beiden Schädelhirntraumata aufwiesen (Patienten MN und UD). Bei Patient BK lag ein Stimmtremor mit geringer Frequenz um 2 Hz vor, was ausgehend von der Zuordnung von Kent et al. (1999) in den Bereich MS-Wow fallen würde. Ätiologisch handelte es sich bei dem Patienten jedoch um einen linksseitigen Hirnstamminfarkt. Auch Patient NM wies einen niedrigfrequenten Tremor (um 1,5 Hz) nach einem rechtsseitigen posterior Infarkt auf, daneben bestand jedoch auch der Verdacht auf einen älteren Ponsinfarkt paramedian rechts.

Bei Patient MN konnte lediglich einer der vier produzierten Vokale ausgewertet werden, da bei den übrigen dreien die Grundfrequenz nicht detektiert wurde. Die Tremorfrequenz war mit 4 Hz höher als bei den bisher beschriebenen Störungsbildern. Auch bei Patient UD konnte ein Tremor bei einem der vier Vokale festgestellt werden. Die Frequenz lag mit ca. 2,4 Hz im zerebellären Bereich; ätiologisch lag jedoch ein SHT mit Impressionsfraktur links fronto-temporo-parietal vor.

Da Schädel-Hirn-Traumata sehr unterschiedliche dysarthrische Symptome hervorrufen können, konnten bislang keine eindeutigen Ergebnisse zur Stimmqualität gefunden werden. Aronson (1994) konstatiert, dass entweder eine hyper- oder eine hypofunktionale Störung nach einem SHT zu erwarten ist; des Weiteren gibt es sowohl Studien, die eine überwiegend hyperfunktionale Störung (z. B. Theodoros & Murdoch 1996) beschreiben, als auch Studien, die auf das Vorliegen einer überwiegend hypofunktionalen Störung (McHenry 1996) schließen lassen. Diese Heterogenität der Symptome zeigte sich auch in dieser Studie bei den sechs Patienten, die ätiologisch ein SHT aufwiesen. Die beiden Parkinson Patienten, die an der Studie teilgenommen hatten, wiesen beide keinen Stimmtremor auf.

Es stellte sich im Rahmen dieser Untersuchung heraus, dass, obwohl in der Literatur versucht wird, eine eindeutige Zuordnung bestimmter Tremorfrequenzen zu Störungsbildern vorzunehmen (vgl. Kent et al. 1999), dies aufgrund der Heterogenität neurologischer Störungsbilder nicht immer möglich ist. Insbesondere die Gruppe der Schlaganfall- und SHT-Patienten waren nicht eindeutig einzuordnen. Generell stellen SHT und Schlaganfälle sehr häufige Krankheitsursachen dar, sind jedoch gleichzeitig äußerst unterschiedlich in Lokalisation und Ausprägung und ergeben somit sehr heterogene Störungsbilder. Trotzdem sollte die Erfassung des Stimm-

tremors in einer akustischen Analyse nicht fehlen. Das Auftreten ist zwar auf einige Störungsbilder beschränkt, für diese bietet jedoch die Tremorfrequenz durchaus differentialdiagnostisches Potential.

Zusammenfassend kann für das Modul Vokalanalyse konstatiert werden, dass die semi-automatischen Messungen der Perturbationsparameter keine reliablen Ergebnisse liefern konnten. Dementsprechend ist eine Beurteilung der Stimmqualität anhand dieser Variablen unter den gegebenen Rahmenbedingungen (nicht-schallisolierte Räume, Hintergrundlärm) nicht möglich. Als zuverlässig einsetzbare Variablen zur Unterscheidung zwischen Normsprecher und Patient bzw. zur Zuordnung einer bestimmten Schweregradstufe ließen sich die Haltedauer und der Variationskoeffizient der Grundfrequenz ermitteln. Als qualitativ auswertbare und für differentialdiagnostische Zwecke sehr wertvolle Variable sollte zudem der Stimmtremor in jede Auswertung miteinbezogen werden.

## 6.2 Vokalartikulation

Da die Erfassung von Formantfrequenzen bei dem Vorliegen einer Dysarthrie schwierig sein kann, wurde zunächst überprüft, wie reliabel die Formantfrequenzen für die Normsprecher durch das Programm erfasst werden konnten. Bei den männlichen Normsprechern zeigte sich, dass die Messung des ersten Formanten bei den Vokalen /a/ und /u/ insofern plausible Werte lieferte, als die Normsprecherwerte mit wenig Streuung den Normwerten, die sich in der Literatur finden, entsprachen. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei den Patienten. Als weniger zuverlässig stellten sich die Messungen des ersten Formanten bei den Vokalen /i/ und /y/ heraus. Während in der Literatur ein Wert von 263 Hz (vgl. Sendlmeier & Seebode 2006) angegeben wird, ergab sich in dieser Studie für die Normsprecher ein Mittelwert von 432,8 Hz mit einer breiten Streuung; gleiches galt für den Vokal /y/, dessen Normwert mit 302 Hz angegeben wird (ebd.) und dessen Mittelwert in dieser Auswertung 798,5 Hz betrug.

Die Messungen des zweiten Formanten ergaben bei den männlichen Normsprechern plausible Werte für die Vokale /a/, /i/ und /y/. Der Mittelwert für den Vokal /u/ lag in dieser Untersuchung etwa doppelt so hoch wie die Normwerte, die zum Vergleich genutzt wurden.

Bei den Frauen zeigte sich, dass die F1 Messungen beim Vokal /a/ plausibel waren, die Mittelwerte von F1 bei /i/, /y/ und /u/ jedoch zu hoch lagen und große Variabilität aufwiesen. Bezüglich des zweiten Formanten traten lediglich beim Vokal /u/ zu hohe Frequenzen auf, während die Werte für das /a/, /i/ und /y/ im Normbereich lagen.

Die Mittelwertvergleiche wurden geschlechtsspezifisch durchgeführt, da die Formantfrequenzen deutliche Unterschiede zwischen Männern und Frauen aufweisen. Die Berechnungen ergaben bei den Männern signifikante Unterschiede hinsichtlich der Zuordnung (Norm/Patient) für die ersten Formanten von /a/ und /u/ und bei den Frauen für die Differenz der zweiten Formanten von /i/ und /y/ ( $F2/i/ - F2/y/$ ). Die bei den Patientinnen geringere Differenz zeigt an, dass die Lippenrundung beim /y/, die einen Anstieg des zweiten Formanten bewirkt, unzureichend erfolgte.

Hinsichtlich der Unterscheidung der Schweregradstufen konnten beim Mittelwertvergleich bei Männern und Frauen lediglich Tendenzen erkannt werden: bei den Männern konnte eine tendenzielle Unterscheidung mit Hilfe des ersten Formanten des /a/ getroffen werden, bei den Frauen galt dies für die Differenz  $F2 /i/ - F2 /y/$ .

Die Diskriminanzanalyse ergab im Modul Vokalartikulation, dass eine Unterscheidung sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen nur hinsichtlich der Zuordnung Norm/Patient getroffen werden konnte. Bei den Männer zeigte der erste Formant des Vokals /a/ die größte Trennkraft zwischen den Gruppen, während dies bei den Frauen für die Differenz von  $F2/i/$  und  $F2/y/$  galt. Eine korrekte Klassifizierung in verschiedene Schweregradstufen konnte mit den erhobenen Variablen nicht durchgeführt werden.

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass die Messung der Formantfrequenzen bereits bei Normsprechern zu erheblichen Schwierigkeiten bei der Auswertung führt. Liegt zudem eine Dysarthrie vor, die durch eine veränderte Vokalartikulation zu einer Verschiebung der Formantlagen führen kann, ist es sehr schwierig zu bestimmen, ob von der Norm abweichende Werte durch eine Veränderung der Konfiguration im Ansatzrohr hervorgerufen wurden oder ob es sich um Messartefakte handelt. Ohne sorgfältige Überprüfung auf Plausibilität können die Werte aus der semi-automatischen Analyse nicht für Diagnostik oder Therapieevaluation verwendet werden.

### 6.3 Diadochokinese

Da sich bei fast allen Dysarthriesyndromen eine Verlangsamung der artikulatorischen Diadochokinese zeigt (Ziegler & Vogel 2002), ist die Erfassung zeitlicher Parameter im Rahmen einer computergestützten akustischen Auswertung sinnvoll. Im Rahmen dieser Studie zeigten sich für alle erfassten zeitlichen Variablen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen der Normsprecher und Patienten sowie zwischen den einzelnen Schweregradstufen. Auch der direkte Vergleich zwischen Normsprechern und den als „leicht betroffen“ eingestuften Dysarthrikern ergab signifikante Unterschiede. Die Erfassung bivariater Zusammenhänge konnte signifikante Korrelationen zwischen Schweregrad und Silbenrate, -dauer, VK Silbendauer, Pausenanzahl, Pausendauer und VK Pausendauer zeigen; dies war besonders interessant vor dem Hintergrund der Diskussion, ob die Erfassung einer nichtsprachlichen motorischen Leistung zur Bestimmung des Schweregrades, der häufig durch die Beurteilung der Verständlichkeit festgelegt wird, sinnvoll ist. Die signifikanten Unterschiede zwischen Normsprecher und Patient sowie die hohen Korrelationen zwischen Schweregrad und den Variablen der Diadochokinese zeigen, dass mithilfe dieser Maximalleistungsaufgabe Zuordnungen zu Gruppen vorgenommen werden konnten, die ursprünglich durch eine auditiv-perzeptuelle Diagnostik durch den behandelnden Therapeuten entstanden waren. Diese Diagnostik umfasste die Funktionskreise Respiration, Phonation, Artikulation und Prosodie; die Diagnose und Schweregradeinstufung stellten ein zusammenfassendes Urteil über die Einzelleistungen dar. Die Leistungen der Diadochokinese können keinen Aufschluss auf Leistungen in anderen Bereichen, beispielsweise im phonatorischen oder prosodischen, geben und spiegeln dementsprechend nicht den Ausprägungsgrad der Störungen einzelner Funktionskreise wider; Auffälligkeiten bei der Diadochokinese sollten jedoch aufgrund der Sensitivität dieser Maximalleistungsaufgabe als Indikator für das mögliche Vorliegen einer Pathologie auch in anderen Funktionskreisen gesehen werden.

Bei den im Rahmen der Diadochokinese erfassten Werten muss stets berücksichtigt werden, dass die Werte der Silbenrate nicht mit denen der Spontansprache gleichzusetzen sind, da sich die kinematischen Eigenschaften der Diadochokinese und Spontansprache unterscheiden. Die Geschwindigkeit der Diadochokinese spiegelt dementsprechend nicht die Sprechgeschwindig-

keit in der Spontansprache wider. Selbst Normsprecher erzielen in dieser Maximalleistungsaufgabe für gewöhnlich geringere Silbenraten als beim normalen Sprechen (Ziegler 2002); zudem kann die Diadochokinese bei manchen Dysarthriesyndromen herausragender gestört sein als die natürliche Sprachproduktion (vgl. Ziegler & Vogel 2010). Der Befund einer höheren Silbenrate bei der Sprachproduktion im Vergleich zur Diadochokinese konnte im Rahmen dieser Studie jedoch nicht bestätigt werden. Sowohl Normsprecher als auch die einzelnen Patientengruppen wiesen beim Nachsprechen einfacher Sätze eine geringere Silbenrate auf. Dies könnte darin begründet liegen, dass es sich beim Nachsprechen lediglich um kurze Sätze handelte, die nicht mit dem natürlichen Sprechfluss bei der Schilderung eigener Inhalte in der Spontansprache vergleichbar sind. Ziegler (2002) beschrieb ein ähnliches Ergebnis für Normsprecher und Patienten mit Sprechapraxie, stellte jedoch bei den Dysarthrikern die Unfähigkeit fest, die Silbenrate der Diadochokinese über diejenige der Satzproduktion zu steigern. Dieser Befund konnte hier nicht repliziert werden; selbst die schwer betroffenen Dysarthriker wiesen eine höhere Silbenrate bei der Diadochokinese als bei der Satzproduktion auf. Die zunehmende Verlangsamung mit steigendem Schweregrad ist für beide Aufgaben zu beobachten und zeigte sich auch in sehr ähnlich hohen Korrelationskoeffizienten. Eine ausführliche Diskussion aufgabenspezifischer Einflüsse findet sich in der Untersuchung von Ziegler (2002).

In verschiedenen Studien wurde bereits der Zusammenhang zwischen der Silbenrate und der Schweregradeinstufung der Dysarthrie und/oder Verständlichkeit überprüft und es wurden signifikante Korrelationen festgestellt (vgl. z.B. Portnoy & Aronson 1982, Ziegler & Wessel 1996, Ziegler 2002). Die temporalen Aspekte der Diadochokinese, vor allem die Silbenrate und -dauer, haben sich auch im Rahmen dieser Studie als sehr geeignetes Mittel herausgestellt, den Schweregrad der Dysarthrie widerzuspiegeln und selbst leichte Störungen sensibel zu erfassen.

Durch Berechnung der Silbenrate kann eine Verlangsamung der Sprachgeschwindigkeit erfasst werden; zur ursächlichen Untersuchung der Verlangsamung kann in einem weiteren Schritt die mittlere Silbendauer, deren Variationskoeffizient sowie die Pausendauer mit Variationskoeffizient in die Analyse einbezogen werden. Somit kann unterschieden werden, ob eine reduzierte Sprechgeschwindigkeit durch eine Verlangsamung der Artikulationsvorgänge entstanden ist, was sich in einer erhöhten Silbendauer zeigt, oder durch einen erhöhten

Pausenanteil in der Äußerung verursacht wird. Daneben können die Variationsparameter Aufschluss über die Regelmäßigkeit der Produktion bieten.

Die verschiedenen Dysarthriesyndrome weisen unterschiedliche Störungsmerkmale auf. Die ataktische Dysarthrie weist als auditive Leitsymptome typischerweise eine verlangsamte Artikulation, Lautdehnungen und verlängerte Pausen (Ziegler 2002) sowie einen unregelmäßigen Sprechrhythmus auf (Darley et al. 1975), während die rigid-hypokinetische Dysarthrie, wie sie z.B. beim idiopathischen Parkinsonsyndrom auftritt, häufig die Merkmale eines normalen bis beschleunigten Sprechtempos zeigt (Ackermann & Ziegler 1989 in Ziegler 2002); es wurden jedoch auch verlangsamte Silbenraten beschrieben (Ackermann & Hertrich 2008). Vom auditiven Eindruck ausgehend, finden sich bei der rigid-hypokinetischen Dysarthrie im Gegensatz zur ataktischen Dysarthrie weniger Unregelmäßigkeiten und Schwankungen hinsichtlich der zeitlichen Organisation der Sprachproduktion. Dementsprechend wäre zu erwarten, bei der ataktischen Dysarthrie eine reduzierte Silbenrate mit langen Silbendauern, hoher Pausenlänge und jeweils hohen Variationsparametern und bei der rigid-hypokinetischen eine normale Silbenrate, normale Silben- und Pausendauern und niedrige Variationsparameter vorzufinden. Um zu überprüfen, ob und wie sich diese auditiv-perzeptuell beobachtbaren Symptome in einer akustischen Analyse wiederfinden, wurde ein Vergleich der silbenspezifischen Werte der Normsprecher (Mittelwerte) mit den Werte einer Patientin mit schwerer ataktischer Dysarthrie (AK) und einer Patientin mit schwerer rigid-hypokinetischer Dysarthrie (MS) vorgenommen. Hinsichtlich der Silbenrate zeigte sich bei der ataktischen Dysarthrie eine deutliche Verlangsamung; die Silbendauern waren mehr als dreimal so lang wie bei den Normsprechern; gleiches galt bis auf eine Ausnahme (Silbe /ga/) auch für die Pausendauern. Die Variationsparameter zur Silben- und Pausendauer wiesen wie erwartet deutlich höhere Werte - teilweise das Vierfache - der Normsprecher auf. Beim Vergleich der rigid-hypokinetischen Dysarthrie mit altersspezifischen Normwerten, zeigte die Patientin bis auf die Silbe /ba/ eine leicht höhere Sprechgeschwindigkeit und somit die für Morbus Parkinson typischen Werte (Ziegler & Vogel 2002). Während die Silbendauern geringfügig erhöht waren, unterschieden sich die Pausendauern lediglich in zwei von fünf Fällen von denen der Normsprecher, hier konnten geringere Pausendauern bei der Patientin festgestellt werden. Der Variationskoeffizient der Pausendauer hingegen war deutlich höher als bei den Normsprechern - ein unerwartetes

Ergebnis, das eine hohe Variabilität der Pausendauern widerspiegelt und nicht konform mit der auditiv-perzeptuellen Beschreibung der rigid-hypokinetischen Dysarthrie ist. Auch der Variationskoeffizient der Silbendauern war in drei von fünf Fällen höher als bei den Normsprechern und in zwei von fünf Fällen sogar höher als bei der ataktischen Dysarthrie.

Zusammenfassend konnte bei dieser Einzelfalluntersuchung festgestellt werden, dass sich die auditiv-perzeptuell bemerkbaren und beschriebenen Störungscharakteristika der ataktischen und rigid-hypokinetischen Dysarthrie in den Variablen der zeitlichen Organisation (Silbenrate, Silbendauer, bei der Diadochokinese überwiegend sehr eindeutig widerspiegeln. Ein überraschendes Ergebnis war die hohe Variabilität der Werte bei der rigid-hypokinetischen Dysarthrie.

Auch der exemplarische Vergleich der Silben- und Pausendauern von drei schweren Dysarthrien zeigte, dass beide Dauern bei der rigid-hypokinetischen Dysarthrie am geringsten waren, gefolgt von der spastischen Dysarthrie und dass die ataktische Dysarthrie für beide Dauern die höchsten Werte aufwies; die Mittelwerte unterschieden sich jeweils signifikant voneinander. Die Untersuchung dieser drei Einzelfälle konnte zeigen, dass sich die Dysarthriesyndrome bei gleichem Schweregrad hinsichtlich der Silben- und Pausendauern voneinander unterscheiden. Auch Tjaden & Watling (2003) untersuchten die Silben- und Pausendauern bei der DDK von Patienten mit Parkinson (rigid-hypokinetische Dysarthrie) und MS, wobei die MS-Patienten in zwei Gruppen (ataktische und spastische Dysarthrie) unterteilt wurden. In den Ergebnissen zeigte sich wie in der hier beschriebenen Einzelfalluntersuchung ein Anstieg beider Dauern von rigid-hypokinetischer über spastische zur ataktischen Dysarthrie. Mit Hilfe größerer Patientenkollektive bestimmter Ätiologien könnte in weiteren Studien untersucht werden, wie sich die Dysarthriesyndrome hinsichtlich der einzelnen Variablen unterscheiden und ob es möglich ist, spezifische Profile zu erstellen. Für die Einzelfalluntersuchung zeigte sich, dass die hier entwickelte akustische Analyse geeignet war, typische syndromspezifische Unterschiede einzelner Variablen messbar zu machen und abzubilden.

Um zu überprüfen, welche der Variablen am geeignetsten waren, die Dysarthrie hinsichtlich des Schweregrades zu klassifizieren, wurde wiederum mittels einer Diskriminanzanalyse die Trennkraft der einzelnen Variablen untersucht. Mit Hilfe der Variablen Silbenrate konnte ein hoher

Prozentsatz der Probanden bereits korrekt als Normsprecher oder Patient klassifiziert werden; der Wert konnte durch die Hinzunahme der Variablen Pausendauer und Silbendauer noch geringfügig erhöht werden. Die Gruppierung in Schweregradstufen konnte ebenfalls mit Hilfe der Variablen Silbenrate erfolgen; weitere Variablen konnten keine Steigerung der korrekten Klassifizierung bewirken. Bei der fallweisen Betrachtung wurde ersichtlich, dass die Zuordnung mithilfe der Silbenrate für manche Syndrome nicht geeignet war. Zwei Beispiele sollen exemplarisch diese Problematik verdeutlichen. Bei ausschließlicher Nutzung der Silbenrate für die Einschätzung des Schweregrades kann es vor allem bei denjenigen Syndromen zu Fehleinschätzungen kommen, die außergewöhnliche Eigenschaften hinsichtlich der Sprechgeschwindigkeit aufweisen. Dies galt beispielsweise für die Patientin MS mit schwerer rigid-hypokinetischer Dysarthrie, die ausgehend vom Sprechtempo als leicht betroffen klassifiziert wurde. Hier zeigte sich das für die rigid-hypokinetischen Dysarthrien typische Bild einer normalen Sprechgeschwindigkeit bei ansonsten schwer ausgeprägter Symptomatik.

Der Patient SB mit mittelschwerer ataktischer Dysarthrie hingegen wurde ausgehend von der Silbenrate als schwer betroffen eingestuft. Hier wurde wiederum die übermäßige Verlangsamung des Sprechens bei ataktischer Dysarthrie deutlich.

Zusammenfassend kann für das Modul Diadochokinese konstatiert werden, dass mit der Erfassung der Variablen Silbenrate, Silbendauer, Pausenanzahl, Pausendauer sowie den Variationskoeffizient zur Silben- und Pausendauer sehr präzise Aussagen über das Vorhandensein und den Schweregrad der Dysarthrie ermöglicht werden. Durch die Berücksichtigung mehrerer Variablen zur Analyse des Tempos und des Rhythmus können zudem Charakteristika einzelner Syndrome hinsichtlich der Segmentdauern und Regularität der Silbenwiederholungen herausgestellt werden.

#### 6.4 Satzproduktion

Die Integration des Moduls Satzproduktion in die akustische Analyse diente zum einen zur Erfassung temporaler Aspekte der Sprachproduktion, wie sie in einer weniger artifiziellen

Aufgabenstellung als bei der Diadochokinese auftreten, zum anderen dazu, prosodische Leistungen mess- und quantifizierbar zu machen. Neben temporalen Aspekten wurden dementsprechend durch wechselnde Verwendung von Deklarativ- und Interrogativsätzen sowie unterschiedlicher Betonungsmuster auf Satz- und Wortebene prosodische Leistungen überprüft. Um Einflüsse, die durch Schwierigkeiten beim Lesen entstehen könnten (z.B. prämorbidem Bildungsniveau, Sehschwierigkeiten) möglichst gering zu halten, wurde das Modul als Nachsprechaufgabe konzipiert.

Bei der Auswertung fiel zunächst auf, dass es bei ca. 30% (20 von 59) der Probanden zu Messartefakten bei der Detektion der Grundfrequenz gekommen war. Dies bedeutete, dass weder die mittlere Sprechstimmlage noch der Variationskoeffizient noch die Grundfrequenzbewertung der Betonungsmuster in die Auswertung einbezogen werden konnten. Dementsprechend musste festgestellt werden, dass die Messungen der Grundfrequenz nicht ohne eine auditive Kontrolle und Überprüfung der Werte auf Plausibilität in die Auswertung einfließen dürfen. Obwohl es bei den Frequenzmessungen gelegentlich zu Messartefakten kam, konnten die Messungen der temporalen Variablen wie auch bei der Diadochokinese als sehr zuverlässig eingestuft werden. Es konnten keine Messfehler festgestellt werden. Eine Trennung zwischen den Gruppen Norm und Patient konnte mithilfe der Variablen Dauer des Satzes, Anzahl der produzierten Silben (um Interaktionen und/oder Auslassungen zu erfassen), Silbenrate, Silbendauer, Pausenanzahl, Pausendauer und des Variationskoeffizienten der Grundfrequenz vorgenommen werden; das Gleiche galt (mit Ausnahme der Variable Anzahl der produzierten Silben) auch für die Unterscheidung der vier Schweregradstufen (Norm, leicht, mittel und schwer). Zudem bestanden zwischen Schweregrad und (in absteigender Reihenfolge) Silbenrate, Silbendauer, Pausendauer, Pausenanzahl, Variationskoeffizient der Grundfrequenz und der Silbenanzahl bivariate Zusammenhänge, deren Werte denjenigen der DDK ähnelten.

Da leichte Dysarthrien häufig nur minimale Störungen aufweisen, die oft schwer auditiv zu quantifizieren sind, wurde auch im Modul Satzproduktion besonderes Augenmerk auf die Unterschiede zwischen Normsprechern und leicht betroffenen Dysarthrikern gelegt. Hier zeigte sich dasselbe Ergebnis wie bei dem Gruppenvergleich mit der Prädiktorvariable Schweregrad. Für die Variablen Variationskoeffizient der Grundfrequenz, Dauer des Satzes, Silbenrate, Silbendauer, Pausenanzahl und Pausendauer zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen

Normsprechern und leicht betroffenen Dysarthrikern. Dadurch wurde deutlich, dass vor allem die temporalen Parameter geeignet waren, geringfügige Störungen und Restsymptomatiken nachzuweisen. Der Variationskoeffizient der Grundfrequenz konnte jedoch ebenfalls dazu dienen, leicht Betroffene von der Norm zu unterscheiden; die Erklärung hierfür könnte in einer monotoneren Sprechweise der Patienten liegen.

Die durchgeführte Diskriminanzanalyse zeigte, dass die Silbenrate wie schon im Modul Diadochokinese die größte Trennkraft zwischen den Gruppen Norm/Patient und zwischen den einzelnen Schweregradstufen besaß. Auch in diesem Modul kam es zu falschen Klassifizierungen. Hinsichtlich der Schweregradstufen handelte es sich hierbei unter anderem um die Patienten, die auch bei der Diadochokinese falsch klassifiziert worden waren. Analog zur Diadochokinese zeigte sich auch hier die Problematik bei Störungsbildern, deren Leistungen hinsichtlich der Sprechgeschwindigkeit deutlich von der restlichen Symptomatik abweicht. Überwiegend stimmten die falschen Klassifizierungen überein, d.h. die Patienten zeigten vergleichbare Leistungen in den Modulen. Es kam jedoch auch zu falschen Klassifizierungen, die sich aufgabenspezifisch unterschieden. Als Beispiel kann hier Patient EW mit mittelschwerer schlaffer Dysarthrie aufgeführt werden, der im Rahmen der Diskriminanzanalyse im Modul Diadochokinese als schwer betroffen und im Modul Satzproduktion als leicht betroffen eingestuft wurde. Patient EW konnte möglicherweise die koartikulatorischen Prozesse bei der Satzproduktion optimal nutzen, um artikulatorische Defizite auszugleichen, die zu einer Reduktion der Sprechgeschwindigkeit geführt hätten. Bei der Diadochokinese konnten diese Prozesse nicht genutzt werden, was zu einer erheblichen Verlangsamung führte. Beide Ausprägungen entsprachen nicht den Leistungen, die bei dem vorliegenden Schweregrad zu erwarten gewesen wären. Auch hier zeigte sich, dass die ausschließliche Nutzung der Silbenrate für die Schweregradeinstufung zu widersprüchlichen Ergebnissen führen kann.

Ein weiterer Teil der Auswertung des Moduls Satzproduktion betraf den Aspekt der Prosodie. Prosodie spielt in der Kommunikation eine große Rolle bei der Übermittlung nicht-sprachlicher Inhalte, beispielsweise Traurigkeit, Ärger, Interesse oder Ironie, und kann selbst bei Patienten deren Verständlichkeit sehr gut ist, Reststörungen anzeigen und die Kommunikation erschweren. Die Umsetzung prosodischer Muster ist von der Fähigkeit abhängig, die Funktionskreise der Phonation, Respiration und Artikulation präzise aufeinander abzustimmen. Dys-

arthrikern gelingt es aufgrund von Störungen dieser Funktionskreise oft nicht, die Kontrolle der Tonhöhe bzw. deren Variation adäquat einzusetzen (Schlenck et al. 1993). Da die Prosodie bei fast allen Dysarthrien gestört ist, sollte die Erfassung Teil der Diagnostik sein (ebd.); die Analyse prosodischer Leistungen ist jedoch aufgrund verschiedener Faktoren schwierig: Prosodie ist multidimensional, die Erfassung im Rahmen der Spontansprache ist schwer auszuwerten, es gibt keinen Konsens über perzeptuelle, akustische, physiologische und linguistische Systeme für die Analyse und die Störung der Prosodie kann aufgaben- und schweregradspezifisch variieren (Bunton et al. 2000).

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Variablen Silbenlänge, -intensität und -tonhöhe in verschiedenen prosodischen Kontexten erfasst. Dabei wurden zum einen kontrastive Betonungsverschiebungen des Satzakkentes bei gleich bleibender phonetischer Umgebung durchgeführt, zum anderen eine Verschiebung des Wortakkentes in unterschiedlichem semantischen Kontext. Daneben wurde, wie bereits beschrieben, der Variationskoeffizient der Grundfrequenz als Indikator für die Fähigkeit zur Modulation der Tonhöhe erfasst und durch das Bilden der Differenz von letzter und vorletzter Silbe die Fähigkeit zur korrekten Umsetzung der Frageintonation.

Der niedrige Variationskoeffizient der Grundfrequenz bei leichter Dysarthrie überraschte vor allem im Vergleich zu den höheren Werten bei schwerer Dysarthrie. Es wäre anzunehmen gewesen, dass die Patienten mit steigendem Schweregrad auch eine monotonere Sprechweise aufweisen, da die Mechanismen zur Steuerung und Umsetzung der prosodischen Leistungen erwartungsgemäß zunehmende Defizite zeigen müssten. Schlenck et al. (1993), die in ihrer Studie das gleiche Ergebnis für die Standardabweichung von der Grundfrequenz im Vergleich von Normsprechern, leicht und schwer betroffenen Dysarthrikern fanden, interpretierten die niedrigen Werte bei leichter Dysarthrie als Hinweis dafür, dass monotones Sprechen ein Symptom ist, das länger bestehen bleibt, auch wenn sich die anderen Symptome der Dysarthrie schon so weit zurückgebildet haben, dass der Patient sehr verständlich spricht und dementsprechend als leicht betroffen eingeschätzt wird. Hinsichtlich der Tongruppen, die Schlenck et al. (1993) als phonologische Einheiten mit einem Kernton, d.h. einem hervorstechenden Tonhöhenmuster (S. 120) definieren, findet sich eine zunehmende Verkürzung mit steigendem

Schweregrad. Diese Verkürzung führt zu mehr Tonhöhenbewegungen und somit zu einer höheren F0-Variabilität bei schwerer Dysarthrie.

Um zu überprüfen, wie adäquat die verlangten Intonationsmuster von den jeweiligen Schweregradgruppen umgesetzt werden konnten, wurde jeweils die vorletzte Silbe der Interrogativsätze von der letzten Silbe subtrahiert. Diese Differenzen wurden geschlechts- und schweregradspezifisch miteinander verglichen. Dabei zeigte sich, dass sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Probanden die Werte der leichten Dysarthrien höher lagen als die der schweren, d.h., dass die schwer betroffenen Probanden die Frageintonation im Sinne einer Anhebung der Stimme zum Ende des Satzes weniger ausgeprägt realisierten als die leicht betroffenen. Der Unterschied dieser Realisierung war zudem bei den weiblichen Probanden signifikant und zeigte eine stetige Verringerung der Differenz über die Schweregradstufen hinweg; die schwer betroffenen Dysarthriker wiesen den geringsten Wert auf. Diese Überprüfung zeigte, dass der hohe Variationskoeffizient der Grundfrequenz keine qualitativen Rückschlüsse auf eine adäquate Umsetzung der Intonation zulässt. Um eindeutige Aussagen über die Realisierung prosodischer Muster treffen zu können, müssen und können diese Muster mit Hilfe der akustischen Analyse gezielt untersucht und quantifiziert werden.

Neben der Frageintonation war auch die Umsetzung von Betonungsmustern Teil der Untersuchung. Da es bislang keine Normwerte für die Umsetzung der ausgewählten prosodischen Leistungen gibt, war zunächst interessant, welche Werte die Normsprecher aufwiesen. Hier zeigte sich, dass die Unterschiede zwischen betonter und unbetonter Silbe nur für die Variable Silbenlänge signifikant waren. Hinsichtlich der Silbenlänge war dieser Unterschied jedoch sowohl dann vorhanden, wenn eine Betonungsverschiebung innerhalb eines Satzes von einem Wort auf ein anderes vorgenommen wurde (z.B. Vergleich des Wortes „früh“ einmal unbetont im Satz „Gehst du Dienstag früh zur 'Arbeit?'“ und einmal betont im Satz „Gehst du Dienstag 'früh zur Arbeit?'“) als auch bei der Betonungsverschiebung innerhalb eines Wortes ('modern vs. mo'dern). Für die Variablen F0 und Intensität konnten keine Unterschiede zwischen betont und unbetont festgestellt werden, was im Gegensatz zu der Annahme steht, dass die Betonungsmuster überwiegend durch Manipulation von F0 realisiert werden (Morton & Jassem 1965). In keinem der untersuchten Fälle konnte ein Unterschied in der Grundfrequenz zwischen betonter vs. unbetonter Silbe gefunden werden.

Weder bei den Patienten noch bei den Normsprechern konnten für die Variablen Tonhöhe und Intensität Unterschiede festgestellt werden, jedoch war auch hinsichtlich der Silbenlänge kein Unterschied messbar, wenn die Verschiebung des Satzaketes betrachtet wurde. Der Unterschied der Silbenlänge war nur dann signifikant, wenn die Betonung innerhalb eines Wortes verschoben wurde ('modern vs. mo'dern). Dieses Ergebnis für die Gesamtheit der Patienten wurde in einem weiteren Schritt schweregradspezifisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass die mittel und schwer betroffenen Patienten keine Unterschiede hinsichtlich der Silbendauer bei betonten vs. unbetonten Silben umsetzen konnten; dies galt auch für die Betonungsmuster bei 'modern und mo'dern. Bei den leicht betroffenen Dysarthriker zeigten sich jedoch signifikante Unterschiede sowohl bei der Betonungverschiebung innerhalb eines Wortes als auch bei der Verschiebung der Betonung im Satz in einem von zwei Fällen.

Betrachtete man die Ergebnisse qualitativ, d.h. ohne Berücksichtigung der Signifikanz, wurde deutlich, dass alle Patientengruppen eine hinsichtlich der Silbendauer korrekte Betonungverschiebung im Wort („modern“) vornahmen, auch wenn der Unterschied zwischen den Silben nicht signifikant wurde. Die korrekte Umsetzung des Betonungsmusters auf Wortebene war in diesen Fällen insofern zwingend, als es bei einer Verschiebung des Wortaketes zu einer semantischen Veränderung des Wortes kam.

Die Tatsache, dass auf Wortebene immer noch ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Silbenlänge gemessen werden konnte, zeigte, dass die Patienten in semantisch klar definierter Umgebung in der Lage waren, die Betonung adäquat einzusetzen. Wurden aber Betonungsmuster innerhalb der Sätze verändert, bedeutete dies keine gleichermaßen drastische Bedeutungsveränderung wie für die Wortebene beschrieben; die Sätze waren auch noch semantisch sinnvoll, wenn die Betonung falsch oder nicht gesetzt wurde.

Es konnte zudem festgestellt werden, dass die Gruppe der leicht betroffenen Dysarthriker alle Betonungsmuster hinsichtlich der Silbenlänge qualitativ korrekt realisierte; die mittelschwer betroffenen Dysarthriker zeigten eine korrekte Realisierung des Satzaketes in einem von zwei Fällen, während bei den schweren Dysarthrikern keine korrekte Realisierung zu beobachten war. Dementsprechend gab es eine zunehmende Verschlechterung der Umsetzung von Betonungsmustern mit steigendem Schweregrad. Die Erklärung für dieses Ergebnis könnte

darin liegen, dass die Patienten zwar über die Kompetenz und das Wissen über den Einsatz der Prosodie verfügten, die Umsetzung bei komplexeren prosodischen Anforderungen jedoch beeinträchtigt war (vgl. Le Dorze et al. 1998).

Es bleibt zu berücksichtigen, dass eine Einzelbetrachtung der Variablen, die hier zu Erfassung prosodischer Leistungen genutzt wurden, keine endgültige Aussage darüber erlaubt, ob das Ziel (die Umsetzung des angestrebten prosodischen Musters) tatsächlich erreicht wurde. Zum einen gibt es keine Normwerte, anhand derer man eine für die Betonung hinreichende Silbenlänge, Grundfrequenz oder Intensität definieren könnte; zum anderen steigt beispielsweise die Silbenlänge ohnehin meist mit steigendem Schweregrad der Dysarthrie, so dass eine erhöhte Silbendauer möglicherweise nicht die Betonung, sondern eine pathologische Verlangsamung des Sprechtempos widerspiegelt. Das bedeutet, dass bei allen untersuchten Variablen keine absoluten Werte zum Vergleich genutzt werden können: die Silbenlänge kann genau wie die Intensitätswerte nur im intraindividuellen Vergleich gesehen werden.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse der Normsprecher und aufgrund der schweregradspezifischen Unterschiede in der Umsetzung der prosodischen Muster bei den Patienten, erwies sich die Silbendauer zur Erfassung einer Dimension prosodischer Leistungen als geeignet.

Um typische Eigenschaften unterschiedlicher Dysarthriesyndrome qualitativ zu vergleichen, wurden, wie schon im Modul Diadochokinese geschehen, die Leistungen der Patientinnen MS (schwere rigid-hypokinetische Dysarthrie bei idiopathischem Parkinsonsyndrom) und AK (schwere ataktische Dysarthrie nach beidseitigem Hirninfarkt) den Leistungen der Normsprecher und den gemittelten Werten aller als 'schwer' eingestufte Dysarthriker gegenübergestellt. Dabei zeigten sich für die Variablen, die der Messung der Sprechgeschwindigkeit dienen (Satzdauer, Silbenrate und -dauer, Pausendauer), signifikante Unterschiede. Überraschenderweise unterschied sich weder der Variationskoeffizient der Silben- noch der Pausendauer zwischen den Gruppen. Bei den Variablen Silbendauer und Silbenrate konnte eine Verschlechterung (Zunahme der Dauer, Reduzierung der Rate) von der rigid-hypokinetischen Dysarthrie über die Gruppe „schwer gesamt“ hin zur ataktischen Dysarthrie beobachtet werden. Ein Unterschied zwischen rigid-hypokinetischer Dysarthrie und den anderen schweren Dysarthrien war zudem, dass es bei ersterer keine Korrelation zwischen Silbenrate und Silben-

dauer gab, während eine signifikant negative Korrelation bei den schweren Dysarthrien festzustellen war. Ausgehend vom auditiv-perzeptuellen Eindruck weist die rigid-hypokinetische Dysarthrie ein annähernd normales Sprechtempo auf, während das Sprechtempo bei ataktischer Dysarthrie von einer starken Verlangsamung geprägt ist, was sich in der akustischen Auswertung der zeitlichen Parameter widerspiegelte. Betrachtet man die schweren Dysarthrien als Ganzes, können die beiden Syndrome ataktisch und rigid-hypokinetisch als Außenwerte eines Kontinuums gesehen werden. Hier zeigte sich, dass bei gleichem Schweregrad sehr unterschiedliche Störungsschwerpunkte vorliegen können, deren Eigenschaften und Merkmale mit Hilfe der akustischen Analyse sehr spezifisch beschrieben und quantifiziert werden können.

Eine weitere Erwartung bei dem Vergleich war, dass die Patientin mit rigid-hypokinetischer Dysarthrie einen niedrigen Variationskoeffizienten der Grundfrequenz aufweist, da monotones Sprechen mit wenig Tonhöhenveränderungen als typisches Symptom dieser Dysarthrie beschrieben wird (Ziegler 2002, S.15), während im Falle der ataktischen Dysarthrie ein höherer Variationskoeffizient aufgrund von zwar inadäquater, aber vorhandener Tonhöhenkontur vorliegen müsste (Schlenck et al. 1993). In diesem Fall lag der Wert der rigid-hypokinetischen Dysarthrikerin jedoch nicht nur über dem Werte der Gruppe „schwer gesamt“, sondern sogar höher als bei den Normsprechern, während der Wert der Patientin mit ataktischer Dysarthrie geringer war als bei allen anderen Gruppen. Hinsichtlich der rigid-hypokinetischen Dysarthrie kann vermutet werden, dass der hohe Variationskoeffizient dadurch zustande kam, dass Übungen zur Prosodie ein fester und intensiver Bestandteil der Therapie waren. Die Patientin bekam zwei Mal wöchentlich logopädische Therapie und konnte hinsichtlich der Artikulation und Lautstärke als sehr schwer beeinträchtigt eingestuft werden; die prosodischen Fähigkeiten jedoch waren im Vergleich dazu überdurchschnittlich gut erhalten.

Zusammenfassend kann für das Modul Satzproduktion konstatiert werden, dass die Messungen zeitlicher Parameter (Silbenrate, Silbendauer, Pausenanzahl, Pausendauer), des Variationskoeffizienten der Grundfrequenz sowie der Anzahl der produzierten Silben geeignete Variablen zur präzisen Beschreibung einer Dysarthrie darstellten.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG

Dysarthrien sind die häufigsten neurologisch bedingten Kommunikationsstörungen. Ihre Diagnostik erfolgt derzeit überwiegend perzeptiv, also durch subjektive Urteile. Objektive Messverfahren können Diagnostik und Therapieevaluation in ihrer Reliabilität verbessern.

Akustische Analysen des Sprachschalls stellen eine wichtige objektive und nicht-invasive Ergänzung zur perzeptiven Dysarthriediagnostik dar (Kent et al., 1999), werden jedoch bislang trotz Verfügbarkeit kaum genutzt, obwohl viele auditive Merkmale akustisch quantifiziert werden können. Zudem kann die Diagnostik mit Hilfe einer akustischen Analyse durch perzeptiv nicht oder nur schwer erfassbare Parameter erweitert werden.

Im Rahmen dieses Promotionsprojektes wurde eine computergestützte, semi-automatische Analyse akustischer Variablen selektiver Sprachdaten entwickelt. Die Basis bildete dabei das Programm PRAAT (Boersma & Weenink 2008), das es ermöglicht, mit Hilfe der Skriptsteuerung Auswertungsalgorithmen zu programmieren und somit große Teile der sonst manuellen Auswertung phonetischer Eigenschaften des Sprachsignals zu automatisieren.

Der Nachteil, dass sich im Sprachsignal Einflüsse aller sprechmotorischen Funktionskomponenten vermischen, konnte durch eine gezielte Aufgabenauswahl teilweise kompensiert werden. Daher wurde vor der Erstellung der Skripte eine sorgfältige Literaturrecherche durchgeführt mit dem Ziel, valide und reliable Parameter zu finden, die einerseits einfach zu erfassen, andererseits zuverlässig auszuwerten sind und zudem klinisch relevante Informationen liefern. Ausgehend von diesen Kriterien wurden die vier Untersuchungsmodule Satzproduktion, Diadochokinese, Vokalanalyse und Vokalartikulation entwickelt.

Die Evaluation des entwickelten Untersuchungsprotokolls und der Auswertung erfolgte mit einer Normsprecher- (N=30) und einer Patientenstichprobe (N=29). Es zeigten sich für zahlreiche, aber nicht alle der erfassten Variablen Unterschiede zwischen Normsprechern und Patienten; einige Variablen eigneten sich zudem, die Patienten hinsichtlich dreier Schweregradstufen zu klassifizieren. Insbesondere die temporalen Variablen in den Modulen Satzproduktion und Diadochokinese wiesen eine hohe Trennkraft auf und bieten sich daher als reliable Parameter für die Ergänzung der auditiv-perzeptuellen Diagnostik an. Diese Variablen

eröffnen die Möglichkeit einer detaillierten Quantifizierung, die im Rahmen einer auditiven Erfassung nicht möglich ist. Wird zudem die Auswertung durch einen externen Dienstleister übernommen und somit erheblich erleichtert, stellen diese Variablen aussichtsreiche Kandidaten für eine routinemäßige Ergänzung der klinischen Standarddiagnostik dar.

Die Analyse und Interpretation akustischer Parameter erfordern Zeitaufwand, Einarbeitung und phonetisches Know-how. Aus diesen Gründen werden akustische Analyseverfahren im klinischen Alltag bislang kaum eingesetzt, obwohl die Ergebnisse die Quantifizierung der Leistungen in Diagnostik und Therapieevaluation erleichtern und verbessern. Um diese Möglichkeit ohne die beschriebenen Nachteile zu eröffnen, wird die hier entwickelte akustische Analyse als modularer Baustein in das zentrale phonetische Labor (PhonLab) der Entwicklungsgruppe Klinische Neuropsychologie (EKN) integriert. Damit besteht für Interessenten die Möglichkeit, vorgegebene Sprechproben an das PhonLab zu schicken, die Ergebnisse nach externer Auswertung zurückgeschickt zu bekommen und somit eine präzise Quantifizierung der erfassten Variablen zu erhalten.

Da objektiv gewonnene Daten die Diagnostik und Therapieevaluation belegbarer machen, kann ein Effektivitätsnachweis besser erbracht werden, der im Hinblick auf die aktuelle ökonomische Situation des Gesundheitswesens zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Das in dieser Arbeit entwickelte Instrument bietet Anwendern in Therapie und Forschung dementsprechend sowohl die Möglichkeit, die herkömmliche Dysarthriediagnostik in einfach umsetzbarer und effizienter Weise zu ergänzen als auch die Möglichkeit, spezifischen Fragestellungen mithilfe akustischer Parameter nachzugehen.

---

## 8 LITERATUR

Abramson A., Nye P., Henderson J., Marshall C. (1981). Vowel Height and the Perception of consonantal Nasality. *Journal of the Acoustical Society of America* 70 (2), 329-339

Ackermann H. & Hertrich I. (2008). Dysarthrie des Parkinson-Syndroms – klinische Befunde, instrumentelle Daten. In: Nebel A. & Deuschel G. (Hrsg.), *Dysarthrie und Dysphagie bei Morbus Parkinson* (pp. 34-51). Stuttgart: Thieme

Ackermann H., Hertrich I., Hehr T. (1995): Oral Diadochokinesis in Neurological Dysarthrias. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 47, 15-23

Ackermann H., Hertrich I., Ziegler W. (1994). Stimmstörungen bei zentralmotorischen Erkrankungen (Morbus Parkinson, Chorea Huntington, Ataxien). In: Gross M. (Hrsg.), *Aktuelle phoniatrisch-pädaudiologische Aspekte 1994* (pp. 138-140). Berlin: Renate-Gross-Verlag

Ackermann H. & Ziegler W. (1991). Cerebellar voice tremor: an acoustic analysis. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry* 54, 74–76

Ackermann H. & Ziegler W. (1991). Articulatory deficits in parkinsonian dysarthria: an acoustic analysis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 54, 1093-1098

Ahrndt T. & Ziegler W. (1992). Sprechen und Verstehen am Computer: Ein PC-basiertes Verfahren zur Verständlichkeitsprüfung mit dem 'Münchener Verständlichkeits-Profil (MVP)'. *Biomedical Journal* 35, 4-8

Aronson A. E. (1990). *Clinical voice disorders* (3rd ed). New York: Thieme

Aronson A. E. (1994). Laryngeal-phonatory dysfunction in closed-head injury. *Editorial Brain Injury* 8, 663–665

Aronson A. E., Ramig L. O., Winholtz W. S., Silber S. R. (1995). Rapid voice tremor or “flutter” in amyotrophic lateral sclerosis. *Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology* 104, 511–518

- Askenfelt A. G. & Hammarberg B. (1986). Speech Waveform Perturbation Analysis: A Perceptual-Acoustical Comparison of Seven Measures. *Journal of Speech and Hearing Research* 29, 50-64
- Augsten A. & Gall V. (1997). Stimmanalyse von gehaltenen Vokalen im Vergleich der Zeitanalyse zur Frequenz- und Formantenanalyse. *Sprache – Stimme – Gehör* 21, 111-116
- Baken R. J. & Orlikoff R. F. (2000). *Clinical Measurement of Speech and Voice*. San Diego: Thompson Learning
- Bielamowicz S., Kreiman J., Gerratt B. R., Dauer M. S. (1996). Comparison of Voice Analysis Systems for Perturbation Measurement. *Journal of Speech and Hearing Research* 39, 126-134
- Bless D. M. & Hirano M. (1982). *Verbal instructions: A critical variable in obtaining optimal performance for maximum phonation time*. Paper presented at the Annual Convention of the American Speech-Language-Hearing Association, Toronto
- Böhme G. & Hecker G. (1970). Gerontologischen Untersuchungen über Stimmumfang und Sprechstimmlage. *Folia Phoniatrica* 22, 176-184
- Böhme G. (2003). *Sprach-, Sprech-, Stimm- und Schluckstörungen: Klinik (Vol. 1)*. München: Urban & Fischer Verlag
- Boersma P. & Weenink D. (2008). Praat: Doing phonetics by computer. (Version 5.0.05) [Computer program]. Retrieved January 19<sup>th</sup>, 2008, from <http://www.praat.org>
- Breitenbach–Snowdon H. (1995): *UNS-Untersuchungsbogen neurologisch bedingte Sprech- und Stimmstörungen*. Düsseldorf: LOGO
- Brewster K. (1989). Assessment of prosody. In: Grundy K. (Ed). *Linguistics in Clinical Practice*. (pp. 168-175). London: Taylor & Francis
- Buder E. H., Kent R. D., Kent J. F., Milenkovic P., Workinger M. (1996). FORMOFFA: An automated formant, moment, fundamental frequency, amplitude analysis of normal and disordered speech. *Clinical Linguistics & Phonetics* 10, 31–54

- Bunton K., Kent R. D., Kent J. F. (2000). Perceptuo-acoustic assessment of prosodic impairment in dysarthria. *Clinical Linguistics & Phonetics* 14(1), 13-24
- Chen H., Stevens K. N. (2001). An Acoustical Study of the Fricative /s/ in the Speech of Individuals With Dysarthria. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 44, 1300-1314
- Coleman R. F., Mabis J. H., Hinson J. K. (1977). Fundamental Frequency-Sound Pressure Level Profiles of Adult Male and Female Voices. *Journal of Speech and Hearing Research* 20, 197-204
- Darley F. L., Aronson A. E., Brown J. R. (1975). *Motor Speech Disorders*. Philadelphia: W.B. Saunders
- Darley F. L., Aronson A. E., Brown J. R. (1969a). Differential diagnostic patterns of dysarthria. *Journal of Speech and Hearing Research* 12, 249–269
- Darley F. L., Aronson A. E., Brown J. R. (1969b). Clusters of deviant speech dimensions in the dysarthrias. *Journal of Speech and Hearing Research* 3, 462-96
- Deal R. E. & Emanuel F. W. (1978). Some waveform and spectral features of vowel roughness. *Journal of Speech and Hearing Research* 21(2), 250-64
- Deger K., Ziegler W., Zierdt A. (2005). *Münchener Verständlichkeitsprofil – MVP online*, Posterpräsentation auf der 5. Jahrestagung der Gesellschaft für Aphasieforschung und –behandlung, Basel
- Deliyski D. D., Shaw H. S., Evans M. K., Vesselinov R. (2006). Regression Tree Approach to Studying Factors Influencing Acoustic Voice Analysis. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 58, 274-288
- Dickson D. R. (1962). Acoustic study of nasality. *Journal of Speech and Hearing Research* 5, 103-111
- Duffy J. R. (2005). *Motor Speech Disorders: Substrates, Differential Diagnosis, and Management*. (2nd ed.). St. Louis: Elsevier Mosby

- Enderby P. M. (1991). *Frenchay Dysarthrie Untersuchung – Handanweisung*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag
- Eskenazi L., Childers D. G., Hicks D. M. (1990). Acoustic Correlates of Vocal Quality. *Journal of Speech and Hearing Research* 33, 298-306
- Fant G. (1960). *Acoustic Theory of Speech Production*. Den Haag: Mouton
- Ferrand C. (2002). Harmonics-to-Noise Ratio: An Index of Vocal Aging. *Journal of Voice* 16(4), 480-487
- Fimbel E. J., Domingo P. P., Lamoureux D., Beuter A. (2005). Automatic detection of movement disorders using recordings of rapid alternating movements. *Journal of Neuroscience Methods* 146(2), 183-190
- Forrest K. & Weismer G. (1997). Acoustic analysis of dysarthric speech. In: McNeil M. R. (Ed), *Clinical management of sensorimotor speech disorders* (pp. 63-80). New York: Thieme
- Forrest K., Weismer G., Turner G.S. (1989). Kinematic acoustic and perceptual analyses of connected speech produced by parkinsonian and normal geriatric adults. *The Journal of the Acoustical Society of America* 85, 2608–2622
- Gall V. & Stelzig Y. (1997). Glottale Segmentierung des Stimmsignals. *Sprache – Stimme – Gehör* 21, 117-121
- Gamboa J., Jiménez-Jiménez F., Nieto A., Cobeta I., Vegas A., Ortí-Pareja M., Gasalla T., Molina J., García-Albea E. (1998). Acoustic voice analysis in patients with essential tremor. *Journal of Voice* 12 (4), 444-452
- Gerratt B. (1983). Formant frequency fluctuation as an index of motor steadiness in the vocal tract. *Journal of Speech and Hearing Research* 26, 297–304
- Gröne B. (2002). Physiologische, aerodynamische und akustische Verfahren in der Dysarthriediagnostik. In: Springer, L. & Schrey-Dern, D. (Hrsg.), *Dysarthrie. Grundlagen – Diagnostik – Therapie* (pp. 73-98). Stuttgart: Thieme

- Hakkesteegt M. M., Brocaar M. P., Wieringa M. H., Feenstra L. (2006). Influence of Age and Gender on the Dysphonia Severity Index. A Study of Normative Values. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 58, 264-273
- Harrington R. (1944). A study of the mechanism of velopharyngeal closure. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 9, 325–345
- Hartelius L., Buder E. H., Strand E. A. (1997). Long-Term Phonatory Instability in Individuals With Multiple Sclerosis. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 40, 1056-1072
- Heinz J.M. & Stevens K.N. (1961). On the Properties of Voiceless Fricative Consonants. *The Journal of the Acoustical Society of America* 33, 589-596
- Hemler R., Wieneke G., Dejonckere P. (1997). The effect of relative humidity of inhaled air on acoustic parameters of voice in normal subjects. *Journal of Voice* 1(3), 295-300
- Hertrich I. & Ackermann H. (1994). Acoustic analysis of speech timing in Huntington's disease. *Brain and Language* 47, 182-196
- Hillenbrand J., Cleveland R. A., Erickson R. L. (1994). Acoustic Correlates of Breathy Vocal Quality. *Journal of Speech and Hearing Research* 37, 769-778
- Hillenbrand J. & Houde R.A. (1996). Acoustic correlates of breathy vocal quality: Dysphonic voices and continuous speech. *Journal of Speech and Hearing Research* 39, 311-321
- Hirano M. (1981). *Clinical Examination of voice*. (pp. 81-84). Wien: Springer
- Ho A., Ianksek R., Bradshaw J. (2001). Motor instability in parkinsonian speech intensity. *Neuropsychiatry, Neuropsychology & Behavioral Neurology* 14, 109–116
- Hollien H. & Paul P. (1969). A second evaluation of the speaking fundamental frequency characteristics of post-adolescent girls. *Language and Speech* 12(2), 119-24
- Hollien H. & Shipp T. (1972). Speaking fundamental frequency and chronologic age in males. *Journal of Speech and Hearing Research* 15(1), 155-9

- Horii Y. (1979). Fundamental frequency perturbation observed in sustained phonation. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 22, 5-19
- Horii Y. (1980). Vocal Shimmer in Sustained Phonation. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 23, 202-209
- House A. S. & Stevens K. N. (1956). Analog studies of the nasalization of vowels. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 21(2), 218–232
- Huber W. (2002). Dysarthrie. In: Hartje W. & Poeck K. (Hrsg.). *Klinische Neuropsychologie*. (pp. 174-202), Stuttgart: Thieme
- Illes J., Metter E. J., Hanson W. R., Iritani S. (1988). Language production in Parkinson's disease: Acoustic and linguistic considerations. *Brain and Language* 33(1), 146-160
- Ingrisano D. R., Perry C. K., Jepson K. R. (1998). Environmental noise: a threat to automatic voice analysis. *American Journal of Speech-Language Pathology* 7, 91–96
- Jiang J. J., Titze I. R., Wexler D. B., Gray S. D. (1994). Fundamental frequency and amplitude perturbation in reconstructed canine vocal folds. *The Annals of Otology, Rhinology & Laryngology* 1103(2), 145-8
- Jongman A., Wayland R., Wong S. (2000). Acoustic characteristics of English fricatives. *The Journal of the Acoustical Society of America* 108 (3), 1252-1263
- Kardach J., Wincowski R., Metz D. E., Schiavetti N., Whitehead R. L., Hillenbrand J. (2002). Preservation of place and manner cues during simultaneous communication: a spectral moments perspective. *Journal of Communication Disorders* 35(6), 533-542
- Keller E., Vigneux P., Lambroise M. (1991): Acoustic analysis of neurologically impaired speech. *British Journal of Disorders of Communication* 26, 75-94
- Kempster G. B., Kistler D. J., Hillenbrand J. (1991). Multidimensional Scaling Analysis of Dysphonia in Two Speaker Groups. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 34, 534-543

- Kent R. D. (1993). Vocal tract acoustics. *Journal of Voice* 7(2), 97-117
- Kent R. D., Duffy J., Kent J. F., Vorperian H. K., Thomas J. E. (1999). Quantification of motor speech abilities in stroke: Time-energy analyses of syllable and word repetition. *Journal of Medical Speech-Language Pathology* 7, 83-90
- Kent R. D. & Kent J. F. (2000). Task-Based Profiles of the Dysarthrias. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 52, 48-53
- Kent R. D., Kent J. F., Duffy J. R., Thomas J. E., Weismer G., Stuntebeck S. (2000). Ataxic Dysarthria. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 43, 1275-1289
- Kent J., Kent R. D., Rosenbek J. (1987). Maximum Performance of speech production. *Journal of Speech and Hearing disorders* 52, 367-387
- Kent R. D., Kent J. F., Rosenbek J. C., Vorperian H. K., Weismer G. (1997). A speaking task analysis of the dysarthria in cerebellar disease. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 49(2), 63-82
- Kent R. D. & Kim Y. J. (2003). Toward an acoustic typology of motor speech disorders. *Clinical Linguistics & Phonetics* 17(6), 427-445
- Kent R. D. & Read C. (1992). *The acoustic analysis of speech*. San Diego: Singular Publishing Group
- Kent R. D. & Rosenbek J. C. (1982). Prosodic disturbance and neurologic lesion. *Brain and Language* 15, 259-291
- Kent R.D., Weismer G., Kent J.F., Rosenbek J. C. (1989b). Toward phonetic intelligibility testing in dysarthria. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 54, 482-499
- Kent R. D., Vorperian H. K., Duffy J. R. (1999). Reliability of the Multi-Dimensional Voice Program for the analysis of voice samples of subjects with dysarthria. *American Journal of Speech-Language Pathology* 8, 129-136

- Kent R. D., Vorperian H. K., Kent J. F., Duffy J. R. (2003). Voice dysfunction in dysarthria: application of the Multi-Dimensional Voice Program™. *Journal of communication disorders* 36, 281-306
- Kent R. D., Weismer G., Kent J. F., Vorperian H. K., Duffy J. R. (1999). Acoustic Studies of dysarthric speech. *Journal of communication disorders* 32, 141-186
- Kent R. D. (2003). Toward an acoustic typology of motor speech disorders. *Clinical Linguistics & phonetics* 17(6), 427-446
- King J. B., Ramig L. O., Lemke J. H., Horii Y. (1994). Parkinson's disease: longitudinal changes in acoustic parameters of phonation. *Journal of Medical Speech-Language Pathology* 2, 29-42
- Klatt D. H. & Klatt L. C. (1990). Analysis, synthesis, and perception of voice quality variations among female and male talkers. *The Journal of the Acoustical Society of America* 87(2), 820-857
- Kreiman J., Gerratt B. J., Berke G. S. (1994). The multidimensional nature of pathologic vocal quality. *The Journal of the Acoustical Society of America* 96(3), 1291-1302
- Kreiman J. & Gerratt B. R. (1996). The perceptual structure of pathologic voice quality. *The Journal of the Acoustical Society of America* 100(3), 1787-1795
- Kröger B. J., Diem A., Siegert M. (2003). „Artikulatorische und akustische Methoden in der Diagnostik und Therapie von Sprechstörungen“. *Fortschritte der Akustik: 29. Deutsche Jahrestagung für Akustik, DAGA (2003) (DEGA, Oldenburg)*, 754-755
- Krom G. de (1995). Some Spectral Correlates of Pathological Breathy and Rough Voice Quality for Different Types of Vowel Fragments. *Journal of Speech and Hearing Research* 38, 794-811
- LaPointe L. L., Case J. L., Duane D. D. (1994). Perceptual-acoustic speech and voice characteristics of subjects with spasmodic torticollis. In: Till J. A., Yorkston K. M., Beukelman D. R. (Eds.), *Motor speech disorders: advances in assessment and treatment* (pp. 57-64). Baltimore, MD: Paul H. Brookes

Larson, C. R., Kempster, G. B., Kistler, M. K. (1987). Changes in Voice Fundamental Frequency Following Discharge of Single Motor Units in Cricothyroid and Thyroarytenoid Muscles. *Journal of Speech and Hearing Research* 30, 552-558

Laures J. S., Weismer G. (1999). The Effects of a Flattened Fundamental Frequency on Intelligibility at the Sentence Level. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 42, 1148-1156

Le Dorze G., Ryalls J., Brassard C., Boulanger N., Ratté D. (1998). A Comparison of the Prosodic Characteristics of the Speech of People with Parkinson's Disease and Friedreich's Ataxia with Neurologically Normal Speakers. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 50, 1-9

Lehiste I. (1976). Suprasegmental features of speech. In: Lass N.J. (Ed.), *Contemporary issues in experimental phonetics* (pp. 225–239). New York: Academic Press

Leuschel A., Docherty G. J. (1996). Prosodic assessment of dysarthria. In: Robin D. A., Yorkston K. M., Beukelmann D. R. (Eds.), *Disorders of motor speech: assessment, treatment, and clinical characterization* (pp. 155-178). Baltimore: Brooks

Lieberman P. (1961). Perturbations in Vocal Pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America* 33, 597-603

Liss J. M., Weismer G. (1992). Qualitative acoustic analysis in the study of motor speech disorders. *The Journal of the Acoustical Society of America* 92(5), 2984-2987

Ludlow C. L., Bassich C. J. (1983). The results of acoustic and perceptual assessment of two types of dysarthria. In: W. R. Berry (Ed.), *Clinical Dysarthria*. (pp 121-153). San Diego: College Hill Press

Ludlow C. L., Bassich C. J., Connor N. P., Coulter D.C. (1986). Phonatory characteristics of vocal fold tremor. *Journal of Phonetics* 14, 509-515

Ludlow C. L., Connor N. P., Bassich C. J. (1987). Speech timing in Parkinson's and Huntington's disease. *Brain and Language* 32(2), 195-214

- Ludlow C. L., Coulter D. C., Gentges F.H. (1983). The differential sensitivity of frequency perturbation to laryngeal neoplasms and neuropathologies. In: Bell D. & Abbs J.H. (Eds.), *Vocal fold physiology: contemporary research and clinical issues* (pp. 381-392). San Diego: College Hill Press
- Martin D., Fitch J., Wolfe V. (1995). Pathologic Voice Type and the Acoustic Prediction of Severity. *Journal of Speech and Hearing Research* 38, 765-771
- McAuliffe M. J., Ward E. C., Murdoch B. E. (2005). Articulatory function in hypokinetic dysarthria: An electropalatographic examination of two cases. *Journal of Medical Speech-Language Pathology* 13 (2), 149-168
- McGlone R.E. & Hollien H. (1963). Vocal pitch characteristics of aged women. *Journal of speech, language, and hearing research* 6, 164-170
- McHenry M. (1996). Laryngeal airway resistance following traumatic brain injury. In: Robin D. A., Yorkston K. M., Beukelman D. R. (Eds.), *Disorders of motor speech: Assessment, treatment, and clinical characteristics* (pp. 229–240). Baltimore: Paul H. Brookes
- Merk M. & Ziegler W. (1999). MODIAS - A PC-based system for routine acoustic analysis of neurogenic speech disorders. In: Maassen B. & Groene P. (Eds.), *Advances in Clinical Phonetics and Linguistics* (pp. 315-321). London: Whurr
- Moll K. L. (1962). Velopharyngeal closure on vowels. *Journal of Speech and Hearing Research* 5, 30-37
- Morton J. & Jassem W. (1965). Acoustic correlates of stress. *Language and Speech* 8, 159–181
- Murry T. & Doherty E. T. (1980). Selected Acoustic Characteristics of Pathologic and Normal Speakers. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 23, 361-369
- Nawka T., Anders C., Wendler J. (1994). Die auditive Beurteilung heiserer Stimmen nach dem RBH-System. *Sprache-Stimme-Gehör* 18(3), 130-133
- Neppert J. (1999). *Elemente einer akustischen Phonetik*. Hamburg: Buske Verlag

- Netsell R. (1973). Speech physiology. In: Minifie F., Hixon T. J., Williams F. (Eds.), *Normal aspects of speech, hearing, and language* (pp. 211–234). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall
- Nicola F., Ziegler W., Vogel M. (2004). Die Bogenhausener Dysarthrieskalen (BODYS): Ein Instrument für die klinische Dysarthriediagnostik. *Forum Logopädie* 2, 14-22
- Nishio M. & Niimi S. (2006). Comparison of Speaking Rate, Articulation Rate and Alternating Motion Rate in Dysarthric Speakers. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 58, 114-131
- O’Shaughnessy D. (1979). Linguistic features in fundamental frequency patterns. *Journal of Phonetics* 7, 119–145
- Ozawa Y., Shiromoto O., Ishizaki F., Watamori T. (2001). Symptomatic Differences in Decreased Alternating Motion Rates between Individuals with Spastic and with Ataxic Dysarthria: An Acoustic Analysis. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 53, 67-72
- Patel R. (2003). Prosodic Control in Severe Dysarthria: Preserved Ability to Mark the Question-Statement Contrast. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 45, 858 - 870
- Patel R. & Campellone P. (2009). Acoustic and Perceptual Cues to Contrastive Stress in Dysarthria. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 52, 206-222
- Poock K. (1982). Sprech- und Sprachstörungen bei neurologischen und psychiatrischen Krankheiten. In: Biesalski P. & Frank F. (Hrsg.), *Phoniatry-Pädaudiologie*. Stuttgart: Thieme
- Portnoy R. A. & Aronson A. E. (1982). Diadochokinetic Syllable Rate and Regularity in Normal and in Spastic and Ataxic Dysarthric Subjects. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 47, 324-328
- Pruthi T. (2007). *Vocal-tract modeling and automatic detection of vowel nasalization*. University of Maryland: Dissertation
- Ptacek P. H., Sander E. K., Maloney W. H., Jackson C. (1966). Phonatory and related changes with advanced age. *Journal of Speech and Hearing Research* 9, 353-360

- Pützer M. (2001). Multiparametrische Stimmqualitätserfassung männlicher und weiblicher Normalstimmen. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 53, 73-84
- Ramig L. O. (1986). Acoustic analyses of phonation in patients with Huntington's disease. Preliminary report. *Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology* 95(3 Pt 1), 288-93
- Ramig L. O., Sapir S., Fox C., Countryman S. (2001a). Changes in vocal loudness following intensive voice treatment (LSVT) in individuals with Parkinson's disease: a comparison with untreated patients and normal age-matched controls. *Movement Disorders* 16(1), 79-83
- Ramig L. O., Sapir S., Countryman S., Pawlas A. A., O'Brien C., Hoehn M., Thompson L. L. (2001b). Intensive voice treatment (LSVT®) for patients with Parkinson's disease: a 2 year follow up. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry* 71, 493-498
- Ramig L. O., Scherer, R. C., Klasner E. R., Titze I. R., Horii Y. (1990). Acoustic Analysis of Voice in Amyotrophic Lateral Sclerosis: A Longitudinal Case Study. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 55, 2-14
- Read C., Buder E. H., Kent R. D. (1990). Speech Analysis Systems: A Survey. *Journal of Speech and Hearing Research* 33, 363-374
- Read C., Buder E. H., Kent R. D. (1992). Speech Analysis Systems An Evaluation. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 35, 314-332
- Robertson S. & Thomson F. (1992). *Therapie mit Dysarthrikern*. Stuttgart: Fischer
- Rosen K. M., Kent R. D., Delaney A. L. (2006). Parametric Quantitative Acoustic Analysis of Conversation Produced by Speakers With Dysarthria and Healthy Speakers. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 49, 395-411
- Schlenck K.-J., Bettrich R., Willmes Z. K. (1993). Aspects of disturbed prosody in dysarthria. *Clinical Linguistics and Phonetics* 7, 119-128
- Schultz-Coulon H.J. (1980). Die Diagnostik der gestörten Stimmfunktion. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 227, 347-361

- Swartz M.F. (1972). Acoustic Measures of Nasalization and Nasality. *The Journal of the Acoustical Society of America* 52, 159-159
- Sendlmeier W. F. & Seebode J. (2006). *Formantkarten des deutschen Vokalsystems* [pdf online]. TU Berlin: Institut für Sprache und Kommunikation. Verfügbar unter URL <[http://www.kw.tu-berlin.de/fileadmin/a01311100/Formantkarten\\_des\\_deutschen\\_Vokalsystems\\_01.pdf](http://www.kw.tu-berlin.de/fileadmin/a01311100/Formantkarten_des_deutschen_Vokalsystems_01.pdf)> Letzter Zugriff 17.03.08.
- Shadle C. H. & Mair S. J. (1996). Quantifying spectral characteristics of fricatives. *ICSLP-1996*, 1521-1524
- Shattuck-Hufnagel S. & Turk A. E. (1996). A prosody tutorial for investigators of auditory sentence processing. *Journal of Psycholinguistic Research* 25(2), 193–247
- Sorensen D. & Horii Y. (1983). Frequency and amplitude perturbation in the voices of female speakers. *Journal of Communication Disorders* 16(1), 57-61
- Stoicheff M. L. (1981). Speaking Fundamental Frequency Characteristics of Nonsmoking Female Adults. *Journal of Speech and Hearing Research* 24, 437-441
- Theodoros D. G. & Murdoch B. E. (1996). Differential patterns of hyperfunctional laryngeal impairment in dysarthric speakers following severe closed head injury. In: Robin D. A., Yorkston K. M., Beukelman D.R. (Eds.), *Disorders of motor speech: Assessment, treatment, and clinical characteristics* (pp. 205–227). Baltimore: Paul H. Brookes
- Titze I. R. (1991). A Model for Neurologic Sources of Aperiodicity in Vocal Fold Vibration. *Journal of Speech and Hearing Research* 34, 460-472
- Titze I. R., Horii Y., Scherer R.C. (1987). Some Technical Considerations in Voice Perturbation Measurements. *Journal of Speech and Hearing Research* 30, 252-260
- Titze I. R. & Liang H. (1993). Comparison of Fo Extraction Methods for High-Precision Voice Perturbation Measurements. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 36, 1120-1133
- Titze I. R. & Winholtz W. S. (1993). Effect of Microphone Type and Placement on Voice Perturbation Measurements. *Journal of Speech and Hearing Research* 36, 1177-1190

- Tjaden K. & Turner G. S. (1997). Spectral Properties of Fricatives in Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 40, 1358 - 1372
- Tjaden K. & Watling K. T. E. (2003). Characteristics of Diadochokinesis in Multiple Sclerosis and Parkinson's Disease. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 55, 241-259
- Verdolini-Marston K., Sandage M., Titze I. R. (1994). Effect of hydration treatments on laryngeal nodules and polyps and related voice measures. *Journal of Voice* 8(1), 30-47
- Viviani P. & Laissard G. (1991). Timing control in motor sequences. *Advances in psychology* 81, 1-36
- Wang Y.-T., Kent R. D., Duffy J. R., Thomas J. E. (2009). Analysis of Diadochokinesis in Ataxic Dysarthria Using the Motor Speech Profile Program. *Folia Phoniatica et Logopaedica* 61, 1-11
- Weismer G. & Martin R. (1992). Acoustic and perceptual approaches to the study of intelligibility. In: Kent R. (Hrsg.), *Intelligibility in speech disorders: theory, measurement and management*. Philadelphia: John Benjamins Publishing Company
- Wendler J., Seidner W., Kittel G., Eysholdt U. (1996). *Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie (3. Aufl.)*. Leipzig: Thieme
- Willi U. (2001). Phonetik und Phonologie. In: Linke A., Nussbaumer M., Portmann P.R. (Hrsg.), *Studienbuch Linguistik* (pp. 401-435). Tübingen: Niemeyer
- Winholtz W.S., Titze I. R. (1997). Miniature Head-Mounted Microphone for Voice Perturbation Analysis. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 40, 894-899
- Wolfe V., Fitch J., Cornell, R. (1995). Acoustic Prediction of Severity in Commonly Occurring Voice Problems. *Journal of Speech and Hearing Research* 38, 273-279
- Wuyts F. L., De Bodt M. S., Molenberghs G., Remacle M., Heylen L., Millet B., Van Lierde K., Raes J., Van de Heyning P.H. (2000). The Dysphonia Severity Index: An Objective Measure of Vocal Quality Based on a Multiparameter Approach. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 43(3), 796-809

- Yorkston K.M., Beukelman D.R., Minifie F., Sapir S. (1984). Assessment of stress patterning. In: McNeil M.R., Rosenbek J.C., Aronson A.E. (Hrsg.), *The Dysarthrias: Physiology, Acoustics, Perception, Management* (pp. 131-162). San Diego: College-Hill Press
- Yumoto E., Gould W.J. (1982). Harmonics-to-noise ratio as an index of the degree of hoarseness. *The Journal of the Acoustical Society of America* 71(6), 1544-1550
- Yumoto E., Sasaki Y., Okamura H. (1984). Harmonics-to-Noise Ratio and Psychophysical Measurement of the Degree of Hoarseness. *Journal of Speech and Hearing Research* 27, 2-6
- Yumoto E., Gould W.J., Baer T. (1982). Harmonic-to-noise ratio as an index of the degree of hoarseness. *The Journal of the Acoustical Society of America* 71(6), 1544-1550
- Ziegler W. (1993). Assessment Methods in Neurophonetics: Speech Production. In: G. Blanken, J. Dittmann, H. Grimm, J.S Marshall & C.-W. Wallesch (Eds.), *Linguistic Disorders and Pathologies* (pp. 461-466). Berlin: De Gruyter
- Ziegler W. (2002). Grundlagen der Dysarthrien. In: Springer L., Schrey-Dern D. (Hrsg.), *Dysarthrie: Grundlagen, Diagnostik, Therapie*. (pp. 1-21). Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Ziegler W. (2002). Task-Related Factors in Oral Motor Control: Speech and Oral Diadochokinesis in Dysarthria and Apraxia of Speech. *Brain and Language* 80(3), 556-575
- Ziegler W. (2007). *Neurophonetik der Sprachproduktion*. [PDF-Datei online]. München: Entwicklungsgruppe Klinische Neuropsychologie. Verfügbar unter URL <[http://www.lrz-muenchen.de/~EKN/pdf/vl07\\_6.pdf](http://www.lrz-muenchen.de/~EKN/pdf/vl07_6.pdf)>. Letzter Zugriff 22. Juli 2007
- Ziegler W. & Hartmann E. (1996). Perceptual and acoustic methods in the evaluation of dysarthric speech. In: M.J. Ball, M. Duckworth (Eds.), *Advances in Clinical Phonetics* (pp. 91-114). Amsterdam: Benjamins
- Ziegler W., Hartmann E., Hoole P. (1993): Syllabic timing in dysarthria. *Journal of Speech and Hearing Research* 36, 683-693
- Ziegler W., Hartmann E., Hoole Ph., von Cramon D. Y. (1990). *Entwicklung von diagnostischen Standards und von Therapieleitlinien für zentrale Stimm- und Sprechstörungen*. München: Gesellschaft für Strahlen-und Umweltforschung

Ziegler W., Hoole P., Hartmann E., von Cramon D. (1988). Accelerated speech in dysarthria after acquired brain injury: acoustic correlates. *International Journal of Language & Communication Disorders* 23(3), 215-228

Ziegler W. & Vogel M. (2002). Diagnostik dysarthrischer Störungen. In: Springer L., Schrey-Dern D. (Hrsg.), *Dysarthrie: Grundlagen, Diagnostik, Therapie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag

Ziegler W. & Vogel M. (2010). *Dysarthrie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag

Ziegler W. & von Cramon D. (1986). Spastic dysarthria after acquired brain injury: An acoustic study. *British Journal of Disorders of Communication* 21, 173–187

Ziegler W. & Wessel K. (1996). Speech timing in ataxic disorders: Sentence production and rapid repetitive articulation. *Neurology* 47, 208-214

Ziegler W. & Zierdt A. J. (2008). Telediagnostic assessment of intelligibility in dysarthria: a pilot investigation of MVP-online. *Journal of Communication Disorders* 41(6), 553-77

Zwirner P., Murry T., Woodson G.E. (1991). Phonatory function of neurologically impaired patients. *Journal of Communication Disorders* 24(4), 287-300