

# UNTERSUCHUNG SEGMENTALER UND SUPRASEGMENTALER CHARAKTERISTIKEN DES SPRECHSIGNALS BEI MORBUS PARKINSON

Rainer Jäcke<sup>1</sup>, Guntram Strecha<sup>1</sup>, Rüdiger Hoffmann<sup>1</sup> und Bernd J. Kröger<sup>2</sup>

<sup>1</sup>TU Dresden, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Professur für Systemtheorie und Sprachtechnologie

<sup>2</sup>RWTH Aachen University, Medizinische Fakultät, Klinik für Phoniatrie, Pädaudiologie und Kommunikationsstörungen

{Rainer.Jaeckel, Guntram.Strecha, [Ruediger.Hoffmann](mailto:Ruediger.Hoffmann@tu-dresden.de)}@tu-dresden.de;  
[bkroeger@ukaachen.de](mailto:bkroeger@ukaachen.de)

**Abstract:** Als Untersuchungsmaterial dienten Sprechproben von 30 Patienten (27 m., 3 w.) mit Idiopathischem Parkinson-Syndrom (IPS) im Umfang von jeweils 115 – 125 Äußerungen in den Modalitäten Lesen, Nachsprechen und freies Formulieren, die im Rahmen einer medizinischen Studie am Universitätsklinikum Dresden erhoben wurden. Die Sprachaufnahmen wurden segmentiert, phonemisch und prosodisch etikettiert und zwecks Ermittlung der segmentalen und prosodischen Charakteristiken des Sprechsignals akustischen Messungen unterzogen. Die Stimmqualität der Probanden wurde anhand der RBH - Skala perzeptiv beurteilt. Aus den umfangreichen Messdaten, die die Parameter Dauer der Segmente, Pausen und Sprechabschnitte, Signalintensität, Grundfrequenz, Formantfrequenzen der Vokale, anteilige Stimmhaftigkeit, spektraler Schwerpunkt und Streuung der spektralen Energie für Obstruenten einschließen, wurden Vergleichsmaße wie der Vokalartikulationsindex (VAI), der Stärkeindex der Frikative (ASI) und die lokale Artikulationsrate (LAR) errechnet. Die Ergebnisse der akustischen Untersuchung belegen, dass sich selbst bei Patienten mit leichten Dysarthrien messbare Veränderungen des Sprechsignals zeigen, wobei Artikulation, Phonation, Resonanz, Prosodie und Stimmqualität in unterschiedlichem Ausmaß und oft unabhängig voneinander betroffen sind. Im Bereich der Artikulation und Phonation erscheint die Qualität der medialen Fortisobstruenten geeignet, um Patienten mit IPS von Sprachgesunden vergleichbaren Alters mit vergleichbarer dialektaler Prägung zu unterscheiden. Die Schwächung der Fortisobstruenten ist innerhalb der Patientenpopulation deutlich abgestuft. Der Vokalartikulationsindex zeigt eine gute Korrelation mit der Fortisqualität der Obstruenten. Sprechmelodie, Modulation der Signalintensität und Stimmqualität sind in unterschiedlichem Maße betroffen. Die entsprechenden Parameter sind jedoch mit den segmentalen Charakteristiken eher schwach korreliert. Die akustische Analyse der Sprachaufnahmen verfolgt primär das Ziel, Parameter und Algorithmen zu finden, die in einem logopädischen Assistenzsystem zur Erzeugung eines Nutzerfeedbacks eingesetzt werden können.

## 1 Material und Methodik der Untersuchung

Das akustische Sprachsignal enthält ein breites Spektrum an Informationen, die Aufschluss über den Zustand der Sprechatmung, der Phonation, der Artikulation und der Prosodie eines Sprechers geben und die als Indikatoren unterschiedlicher Ausprägungen und Schweregrade von Atem-, Stimm- und Sprechstörungen sowie - mit Blick auf eine computergestützte Therapieapplikation - als Eingangsdaten für die objektive Beurteilung des Therapiefortschritts genutzt werden können. Die Auswertung des Sprechsignals ermöglicht daher das Generieren

von Bio-Feedback. Die Entwicklung der für die RehaVOX - Therapieanwendung benötigten akustischen Muster und Feedbackalgorithmen erfordert umfangreiche Sprachdatenbasen, die im vorliegenden Fall unter Beachtung neurologischer und logopädischer Spezifikationen erzeugt werden mussten. Als Untersuchungsmaterial dienten Aufnahmen von 30 Patientinnen und Patienten mit Idiopathischem Parkinson-Syndrom (IPS). Die Sprechstimuli basieren auf einem logopädischen Dysarthrietest, der im Fachbereich Logopädie der Klinik Bavaria in Kreischa entwickelt wurde. Die Rekrutierung der Sprecher erfolgte im Rahmen einer umfassenden medizinischen Studie am Uniklinikum Dresden, Klinikum für Neurologie. Pro Patient wurden Aufnahmen im Umfang von ca. 20 min. Nettosprache (je 115 – 125 Äußerungen) in den Modalitäten Nachsprechen, Lesen und freies Formulieren angelegt. Nach der Freigabe der medizinischen Studie durch die zuständige Ethikkommission wurden in Zusammenarbeit mit dem Klinikum für Neurologie an der Medizinischen Fakultät der TU Dresden Sprachaufnahmen mit 3 Patientinnen und 27 Patienten angefertigt. Bei allen Probanden wurde Morbus Parkinson in unterschiedlichen Verlaufsstadien diagnostiziert. Die Sprachaufnahmen zum logopädischen Dysarthrietest sind Bestandteil einer klinisch-diagnostischen Testbatterie (FDA 2, UPDRS I-IV, Hoehn und Yahr, NMSS, ROMP, SCOPA-PS, MOCA u. a.). Die meisten der Patienten sind einer rigid-hypokinetischen Dysarthrie mit unterschiedlichem Schweregrad betroffen. Die Sprachaufnahmen mit den Patienten wurden in ruhig gelegenen Untersuchungsräumen des Klinikums für Neurologie durchgeführt (Aufnahmesettings: Amplitudenauflösung 16 Bit, Abtastrate 44,1 kHz, Speicherformat PCM; Kanal 1: Nacken-Kondensatormikrofon Sennheiser HS2, Kanal 2: Kondensator-Lavaliermikrofon). Die Lesestimuli wurden auf einen PC-Monitor geprompted, die Sprechstimuli für Nachsprechübungen wurden vom Aufnahmeleiter vorgesprochen.

Die Sprachaufnahmen wurden mittels `vicAligner1.1.8` (voiceINTERconnect) kanonisch in SAMPA etikettiert und manuellen Korrekturen unterzogen. Gleichzeitig mit der Anpassung der Zeitmarken wurden die vom Sprecher realisierten Betonungen sowie Abweichungen von der kanonischen Form (Einfügungen, Wiederholungen, Unflüssigkeiten, unerwartete Pausen etc.) am Signal aligniert. Nach dem Konvertieren in das Praat-TextGrid-Format erfolgte die parametrische Auswertung in den Dimensionen (1) Artikulation der Vokale, (2) Artikulation und Anregungsart der Obstruenten, (3) Sprechmelodie, (4) lokale Artikulationsrate und (5) Sprechrhythmus.

## **2 Messungen am akustischen Sprachsignal**

### **2.1 Segmentale Aspekte**

Zu den in der Literatur beschriebenen Auswirkungen der Parkinson-Dysarthrie auf die Artikulation der Vokale gehört eine generelle Tendenz zur Zentralisierung der Formantfrequenzen. In unserer Stichprobe zeigte ein Drittel der Patienten eine auffällige Beeinträchtigung der Vokalartikulation (reduzierte bzw. zentralisierte Artikulation). In dieser Gruppe der Patienten äußert sich die Zentralisierung in der Erhöhung des zweiten Formanten von [u:] um durchschnittlich 200 Hz, der Erniedrigung des 2. Formanten von [i:] um durchschnittlich 170 Hz und der Erniedrigung des 2. Formanten von [a:] um durchschnittlich 80 Hz. Bei einigen der Patienten wurden instabile Formantmuster (gehäuft in den Instanzen des gespannten velaren Vokals [u:]) beobachtet.

Zur quantitativen Beurteilung der Vokalartikulation dient der anhand von jeweils 45 Instanzen der gespannten bzw. langen Vokale [a:], [i:] und [u:] ermittelte Vokalartikulationsindex (VAI). Die Messergebnisse bestätigen die durch frühere Studien<sup>1, 2</sup> gezeigte Abnahme des VAI mit zunehmendem Schweregrad der Dysarthrie. Für die 9 sprachgesunden männlichen Vergleichssprecher beträgt der mittlere VAI 1,037, bei den 27 männlichen Parkinson-Patienten 0,957. Innerhalb der Patientenpopulation zeigte sich hinsichtlich des VAI eine

deutliche Abstufung. Bei 9 der Patienten variiert der Vokalartikulationsindex zwischen 0,820 und 0,899, bei weiteren 9 Patienten zwischen 0,906 und 0,983. Im oberen Cluster streuen die Werte von 1,003 bis 1,114. Der VAI von 3 Patienten liegt oberhalb des Mittelwertes der Sprachgesunden. Tabelle 1 fasst die Mittelwerte der Formantfrequenzen F1 und F2 für die langen bzw. gespannten Eckvokale sowie die mittleren Vokalartikulationsindizes für weibliche und männliche Sprecher zusammen. Die Unterteilung der Patientenpopulation in 3 Gruppen berücksichtigt ausschließlich die Vokalartikulation (IPS I – VAI > 1, IPS II – VAI  $\geq$  0,9 < 1, IPS III – VAI < 0,9).

Sprecher	F1 (u:)	F2 (u:)	F1 (i:)	F2 (i:)	F1 (a:)	F2 (a:)	VAI
IPS III	325	1329	266	2080	610	1193	0,86482516
IPS II	298	1158	264	2183	548	1142	0,95463073
IPS I	323	1061	286	2359	651	1192	1,05236416
Controls	330	1067	261	2339	714	1177	1,07818849

Tabelle 1 Mittlere Formantfrequenzen F1 und F2 der langen/ gespannten Eckvokale und Vokalartikulationsindex (VAI) nach Sprechergruppen (weibliche und männliche Sprecher)

Zur Beurteilung der Artikulation sowie der Signalanregung im Bereich der Konsonanten wurden für jedes Segment die Lautdauer, die anteilige Stimmhaftigkeit (fraction of locally unvoiced frames) sowie die Intensität (mean, min, max) mittels Praat-Skript ausgelesen. Für die stimmlosen Frikative wurden zusätzlich der spektrale Schwerpunkt (CoG) und die Streuung der spektralen Energie gemessen. Die Messergebnisse belegen, dass bereits bei mildem bis moderatem IPS gehäuft Lautschwächungen im Bereich der Fortis-Obstruenten auftreten, die sich in einer Abnahme der Segmentdauer, der Zunahme stimmhafter Anteile und der Herabsetzung des spektralen Schwerpunkts (in quasistationären Abschnitten der stimmlosen Frikative) äußert<sup>1</sup>.

Die Signalintensität muss differenziert nach Artikulationsarten, für Plosive auch differenziert nach Phasen der Lautbildung (Verschluss, Burst, Friktion/Aspiration) betrachtet werden. Die Verschlussstärke der Plosive manifestiert sich u. a. in der Differenz zwischen dem Intensitätsminimum und dem Intensitätsmaximum bzw. der mittleren Intensität im entsprechenden Segment. Je fester bzw. dichter der Plosivverschluss, desto geringer ist der Energiegehalt im Verschluss, in dem i. d. R. das Minimum der Signalintensität lokalisiert ist. Als informativ erweisen sich in diesem Zusammenhang die Mittelwerte des Parameters *minimum intensity* der Plosive sowie die Differenz aus *mean-energy intensity* und *minimum intensity*. Bei gesunden Sprechern liegt das mittlere Intensitätsminimum in der Verschlussphase der medialen Realisationen von [k] und [t] im Bereich 44,6 dB, bei Patienten mit IPS im Bereich von 55,9 dB. Entsprechend sind die Differenzen zwischen mittlerem  $I_{\min}$  und mittlerem  $I_{\text{mean}}$  bei gesunden Vergleichspersonen signifikant größer als bei Sprechern mit IPS. Hier zeigt sich ein enger Zusammenhang mit der Lenisierung bzw. der anteiligen Stimmhaftigkeit der Segmente: je stärker stimmhaft ein Fortis-Plosiv realisiert wurde, desto höher liegt der Wert von  $I_{\min}$  und desto geringer ist die Differenz zwischen  $I_{\text{mean}}$  und  $I_{\min}$ .

<sup>1</sup> Die Schwächung der initialen Plosive in den Äußerungen von Patienten mit IPS war für englischsprachige Patienten bereits 1988 von K. Forrest et al. nachgewiesen worden [5].

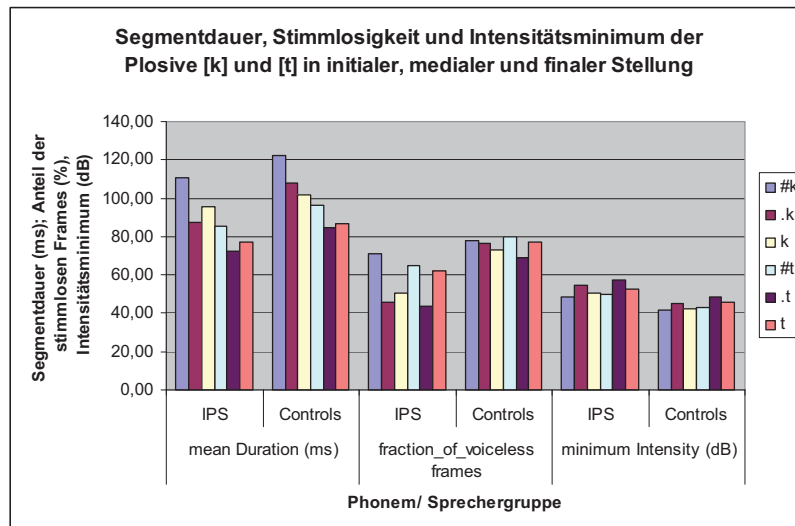


Abb. 1 Mittlere Segmentdauern, mittlere Anteile der stimmlosen Frames und mittleres Intensitätsminimum der Plosive [k] und [t] (nach Sprecherpopulationen)

Die Häufung stimmhafter Realisationen phonologisch stimmloser Obstruenten bei Patienten mit rigid-hypokinetischen Dysarthrien erklärt sich einerseits aus der verminderten Abduktionsfähigkeit der Stimmlippen, andererseits aus der Veränderung der intraoralen Druckverhältnisse infolge des nasopharyngealen Lecks<sup>4</sup>. Für alle 437 Instanzen (je Sprecher) der Obstruenten [f], [s], [t], [k] betrug der mittlere Anteil stimmloser Frames bei Sprachgesunden 79,3 %, bei Patienten mit IPS 61,5 %. Betrachtet man nur die medialen stimmlosen Obstruenten (77 Instanzen je Sprecher), fällt die Differenz noch deutlicher aus: 76,9 % bei den Kontrollsprechern gegenüber 50,1 % bei den Patienten. Die Werte weisen innerhalb der Patientenpopulation eine starke Abstufung auf: die Hälfte der Patienten produzierte die medialen [f], [s], [t], [k] überwiegend stimmhaft, während bei nur 10 % der Sprecher deutlich stimmlose Realisationen ( $\geq 70\%$  stimmf. Frames<sup>2</sup>) überwogen.

Im segmentalen Bereich erweist sich die anteilige Stimmhaftigkeit der Fortisobstruenten als das am besten geeignete Kriterium zur Unterscheidung von Sprechern mit IPS und Sprachgesunden. Der Parameter *Anteil der stimmlosen Frames im Segment* weist zudem im Unterschied zum Vokalartikulationsindex, dessen Wert von der mittleren Grundfrequenz des Sprechers abhängig ist, keine geschlechterspezifische Verteilung auf.

Bei Sprechern mit IPS finden sich – gehäuft in der medialen Position – vollständig oder hochgradig stimmhafte Realisationen der „scharfen“ Frikative [s] und [f]. Die mittleren Anteile der stimmlosen Frames in den medialen Realisationen von [s] und [f] liegen bei Patienten mit IPS bei 55,4 %, bei den Kontrollsprechern bei 81,2 %. Die Schwächung der medialen Frikative äußert sich außerdem in der Kürzung der Segmente: Die mittlere Dauer beträgt bei den Patienten 96 ms gegenüber 116 ms bei den Kontrollsprechern.

<sup>2</sup> Ab einem Anteil des stimmhaften Abschnitts von ca. 30 % der gesamten Segmentdauer werden Fortisobstruenten als lenisiert (geschwächt) wahrgenommen. Das entspricht einem Anteil der stimmlosen Frames von 70%.

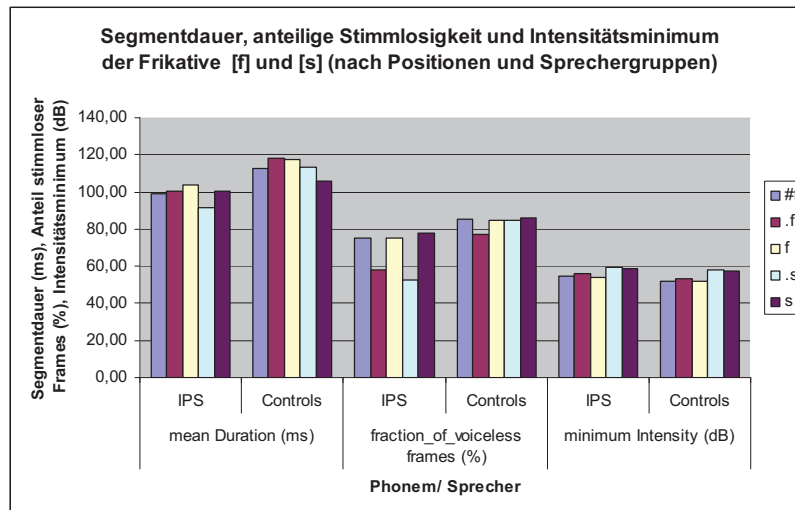


Abb. 2 Vergleich der mittleren Segmentdauern (ms), der mittleren Anteile stimmloser Frames (%) und der Intensitätsminima (dB) in den Segmenten [f] und [s] nach Positionen (/#f/ – initial, /f/ – medial, /f/ – final) und Sprecherpopulationen

Wie aus Abb. 2 ersichtlich, finden sich die deutlichsten Unterschiede zwischen den Lautrealisationen der Patienten mit IPS und den Kontrollsprechern in den Parametern Segmentdauer und Stimmhaftigkeit der medialen [f] und [s].

Als Vergleichsmaß für die Beurteilung der Artikulationsschärfe diente der Quotient aus dem spektralen Schwerpunkt und der Streuung der spektralen Energie der Frikative [s] und [f]. Für die Messung der Spektralmomente M1 und M2 mussten zuvor aus den quasistationären Abschnitten der Frikative Spektrum-Objekte extrahiert werden. I. d. R. wurde um die Mitte jedes entsprechenden Segments ein Abschnitt von 20 ms markiert, aus dem ein Praat-Skript ein *spectral slice* generiert.

Der spektrale Schwerpunkt (*centre of gravity, CoG*) entspricht dem arithmetischen Mittelwert (mean) der Verteilung. Bildhaft gesprochen, teilt der spektrale Schwerpunkt das Spektrum in zwei Bereiche mit gleichem Energiegehalt. Je höher der spektrale Schwerpunkt, desto größer ist der Energiegehalt in den oberen Frequenzbereichen. Die Streuung der spektralen Energie (*dispersion of spectral energy*) ist die Standardabweichung der Energieverteilung im Frequenzspektrum. Ihr Wert gibt Auskunft darüber, ob sich die Energie des Schallsignals eher in einem schmalen Bandbereich konzentriert oder vielmehr über einen breiten Frequenzbereich gestreut ist.

Die erhaltenen Messwerte für die Parameter CoG und Streuung der spektralen Energie erhärten die Annahme, dass Patienten mit IPS generell eine Tendenz zur Schwächung der Fortisobstruenten zeigen. Für [s] liegt der spektrale Schwerpunkt bei den Patienten um durchschnittlich 1600 Hz, für [f] um 1800 Hz unterhalb des Wertes der Kontrollgruppe. Zudem streuen die Werte in einem breiteren Bereich um den Mittelwert. Die Abweichungen in den Parametern CoG und Dispersion der spektralen Energie sind perceptiv auffällig. Der spektrale Schwerpunkt stellt ein akustisches Korrelat der deskriptiven Merkmale *acute – grave* (mittelbar auch des distinktiven Merkmals der Artikulationsstelle) dar, die Streuung der spektralen Energie dient als Korrelat der deskriptiven Merkmale *compact vs. diffuse* [6]. Als *acute* werden Frikative mit einem hohen spektralen Schwerpunkt charakterisiert; wenn die spektrale Energie um einen dominanten Bandbereich konzentriert ist, bezeichnet man die Lautrealisation als *compact*. Die komplexere deskriptiv-phonetische Kategorie *tense – lax* berücksichtigt die Lautdauer und den gesamten Energiegehalt im Segment [7]. Während sich die Mittelwerte der Segmentdauern im Vergleich zwischen Patienten und Sprachgesunden in

signifikanter Weise unterschieden, scheinen die mittleren mean-Intensity-Werte wenig geeignet, zwischen den Sprechpopulationen zu unterscheiden. Wiederum zeigt sich jedoch ein direkter Zusammenhang zwischen Lautdauer und anteiliger Stimmhaftigkeit. Tabelle 2 enthält die mittleren Segmentdauern, die Mittelwerte für *mean Intensity* und *minimum Intensity* sowie der Anteile stimmloser Frames für männliche Patienten und männliche Vergleichssprecher.

Segment/ Position	mean Dur (ms)		%_voiceless frames		mean_Intensity (dB)		min_Intensity (dB)	
	IPS	Controls	IPS	Controls	IPS	Controls	IPS	Controls
#f	99,16	112,96	74,89%	85,60%	61,37	60,77	54,66	51,60
.f	100,24	117,94	57,96%	77,51%	62,94	63,09	56,24	53,21
f	103,99	117,24	75,14%	84,74%	60,68	60,77	53,95	51,73
.s	91,65	113,05	52,79%	84,96%	64,87	66,83	59,64	58,09
s	100,28	106,03	77,65%	86,26%	63,96	67,33	58,75	57,35
#k	110,51	121,97	71,24%	78,14%	60,94	59,38	48,16	41,52
.k	87,46	108,22	45,44%	76,29%	64,56	61,56	54,87	44,76
k	95,34	101,42	50,44%	72,72%	61,25	57,41	50,21	42,32
#t	85,08	96,48	65,10%	79,92%	61,02	57,84	50,11	42,83
.t	72,16	84,72	43,82%	68,91%	66,16	62,96	57,11	48,27
t	76,92	86,65	62,02%	76,84%	62,42	58,52	52,58	45,81

Tabelle 2 Mittelwerte der Parameter *Segmentdauer*, *fraction of voiceless frames*, *mean energy intensity* und *minimum energy intensity* für die stimmlosen Obstruenten /f/, /s/, /k/, /t/ in den Positionen Anlaut (#), Inlaut (.), Auslaut () –Patienten mit IPS (m.) und Sprachgesunde (m.)

Tabelle 2 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Lautposition und Grad der Lautschwächung. Am anfälligsten für Lenisierungsprozesse erweisen sich die untersuchten Fortisobstruenten in medialer Position, wo ihre konsonantische Stärke nicht durch das Wirken suprasegmentaler (phonotaktischer) Regularitäten wie Auslautverhärtung und stimmlose Bindung gestützt wird. Es scheint nahe liegend, dass die Fortisqualität der medialen /f/, /s/, /t/, /k/ im Vergleich zu den initialen und finalen Realisationen in stärkerem Maße die Fähigkeit zur aktiven Abduktion der Glottis voraussetzt. Die deutlichen Unterschiede in den Intensitätsminima der Plosive zwischen Patienten mit IPS und Vergleichspersonen sprechen für eine geminderte Verschlussstärke der Plosive in den Äußerungen der Patienten.

### 3 Prosodische Charakteristiken und deren Korrelation mit den segmentalen Parametern

Die Grundfrequenzparameter  $F0_{\text{mean}}$ ,  $F0_{\text{max}}$ ,  $F0_{\text{min}}$  und  $F0_{\text{SD}}$  wurden getrennt nach Sprechmodalitäten (innerhalb der Modalität Lesen auch nach Äußerungsarten) ermittelt. Eine Erhöhung der mittleren Sprechstimmlage auf Werte um 180-200 Hz zeigte sich bei 4 der 27 männlichen Patienten (Alter > 65 J.). Hinsichtlich der Eignung für die Beurteilung der Ausprägung der Parkinson-Dysarthrie erweist sich die  $F0$ -Standardabweichung als nützlich. Bei 6 der männlichen Patienten mit intakter Artikulation und Resonanz wurde ein monotoner Verlauf der Grundfrequenz ( $F0_{\text{SD}} < 20$  Hz) festgestellt.

Im Bereich des Sprechtempos und des Sprechrhythmus fallen die Untersuchungsergebnisse heterogen aus. Im Teilkorpus der Patienten mit IPS finden sich sowohl Fälle einer reduzierten Sprechrate (Bradytalie), als auch einzelne Fälle von erhöhter Sprechrate (Tachylalie), begleitet von Unflüssigkeiten (Hesitationen und Wiederholungen). Zur Beurteilung des Sprechtempos dienten die geschätzte mittlere Artikulationsrate (LAR) sowie die Ratio Pausen/ Sprechabschnitte. Dafür wurden die Zeitmarken zu allen nachgesprochenen und gelesenen Äußerungen jeweils eines Sprechers in Rechentabellen zusammengefasst. Nachdem die Lautsegmente von den Pausen (Label <sil>, <sp>) und intersegmentalen Intervallen (Glottalisierungen an Wortgrenzen <#Q>, Hesitationen <hesit>, unartikulierten Lautäußerungen <ubs> etc.) separiert wurden, verblieben die Dauerwerte für alle artikulierten Signalabschnitte ( $Dur_{SG}$ )<sup>3</sup>. Als Ausgangswert für die Schätzung der mittleren LAR diente die mittlere Segmentdauer (in ms). Die geschätzte mittlere Artikulationsrate, die dem Reziproken der mittleren Segmentlänge (in Sekunden) entspricht, variierte bei den Patienten mit IPS zwischen 8,9 und 15,7 Phonen/ Sek. Die Streuung der Werte für die einzelnen Patienten um den Mittelwert von 12,27 Phonen pro Sekunde entspricht annähernd einer Normalverteilung. In den Vergleichsaufnahmen der Sprachgesunden sind sowohl der Mittelwert (11,86 Phone/ Sek.) als auch der Streubereich (9,6 – 14,8 Segmente/ Sek.) kleiner. Interessant ist, dass die Werte der Artikulationsrate sowohl bei den Patienten als auch bei den Kontrollsprechern deutlich negativ mit dem Artikulationsschärfeindex und leicht negativ mit dem Vokalartikulationsindex korreliert sind. Tabelle 3 fasst die Korrelationskoeffizienten zwischen den Wertereihen der gemessenen Parameter für die Patienten mit IPS zusammen.

Korrelierte Wertereihen	Korr_koeffizient
Artikulationsschärfe (/f/, /s/) x Anteil stimmloser Frames (alle /f/, /s/, /k/, /t/)	0,759
Artikulationsschärfe (/f/, /s/) x Anteil stimmloser Frames (/f/, /s/, /k/, /t/)	0,729
Vokalartikulationsindex x Anteil stimmloser Frames (/f/, /s/, /k/, /t/)	0,632
Vokalartikulationsindex x Anteil stimmloser Frames (alle /f/, /s/, /k/, /t/)	0,592
Vokalartikulationsindex x Artikulationsschärfeindex (/f/, /s/)	0,469
Vokalartikulationsindex x $F0_{SD}$	0,362
Behauchtheit x $F0_{SD}$	0,255
Behauchtheit x Vokalartikulationsindex	0,120
Behauchtheit x Anteil stimmloser Frames (alle /f/, /s/, /k/, /t/)	0,093
Behauchtheit x Anteil stimmloser Frames (mediale /f/, /s/, /k/, /t/)	0,081
$F0_{SD}$ x Anteil stimmloser Frames (mediale /f/, /s/, /k/, /t/)	0,055
$F0_{SD}$ x Anteil stimmloser Frames (alle /f/, /s/, /k/, /t/)	0,029
Behauchtheit / Artikulationsschärfeindex (/f/, /s/)	-0,096
Artikulationsstärkeindex (/f/, /s/) x $F0_{SD}$	-0,108
LAR x Vokalartikulationsindex	-0,344
LAR x Artikulationsschärfeindex (/f/, /s/)	-0,623

Tabelle 3 Korrelationskoeffizienten der erhobenen Messwerte (Patienten)

<sup>3</sup> Für die Schätzung der lokalen Artikulationsrate wurde die Formel  $LAR_{pho} = N_{pho} / Dur_{SG}$  benutzt (mit  $N_{pho}$ = Anzahl der Phone,  $Dur_{SG}$  = gesamte Dauer aller Phone)

## 4 Schlussfolgerungen

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse machen deutlich, dass Dysarthriesymptome relativ unabhängig voneinander in den Bereichen der Prosodie, der Stimmqualität, der Artikulation oder Resonanz auftreten können. Für die Wertereihen der gemessenen Parameter wurden die Korrelationskoeffizienten ermittelt. Es zeigt sich, dass innerhalb der Population der Patienten deutlich positive Korrelationen zwischen den Wertereihen „Artikulationschärfeindex“ (ASI /f/, /s/) und „Anteil stimmloser Frames“ (für alle Lautpositionen) sowie zwischen Vokalartikulationsindex (VAI) und „Anteil stimmloser Frames“ bestehen (Tab. 3).

Atypische Verläufe der Signalintensität wurden bei schwer betroffenen Patienten beobachtet. Bedingt durch den erhöhten Luftverbrauch und die zu geringe Atemreserve nimmt die Intensität im Verlauf einer Äußerung oft rapide ab.

Die Zeitstrukturen insbesondere der gelesenen Äußerungen der Patienten und der Kontrollsprecher unterscheiden sich grundlegend. Zunächst fällt auf, dass die Patienten erwartete (syntaktisch markierte) Pausen seltener und tendenziell kürzer realisieren als die Kontrollsprecher. Auf die rhythmischen Auffälligkeiten in der Sprechproduktion der Parkinson-Patienten wird hier nicht eingegangen, da sie den Gegenstand einer separaten Untersuchung bilden. Die Auswertung der Daten zu diesem Bereich ist Gegenstand einer gesonderten Publikation und soll daher nicht vorweggenommen werden.

Die Ergebnisse legen nahe, dass die Erzeugung des Nutzerfeedbacks im logopädischen Therapieassistenzsystem RehaVOX segmentale Parameter und segmentbezogene akustische Muster ebenso berücksichtigen muss wie die suprasegmentalen spektralen und temporalen Charakteristiken des Sprechsignals.

### Danksagung

Diese Untersuchung ist Teil des Kooperationsprojektes RehaVOX, das von der AiF Projektträger GmbH Berlin im Rahmen des Programms ZIM unter dem Förderkennzeichen KF2282505BZ2 finanziert wird. Die Autoren danken allen Projektpartnern, namentlich Herrn Dr. Matthias Löhle und Frau Cecile Bosredon, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Klinik und Poliklinik für Neurologie, für die Rekrutierung der Probanden, die neurologische Diagnostik und das Screening der Patienten, sowie Frau Jacqueline Homburg, Klinik Bavaria Kreischa, für die Bereitstellung der Teststimuli.

## 5 Literatur

- [1] Skodda S., Visser W., Schlegel U.: Vowel articulation in Parkinson's disease. In: *Journal of Voice*, 2011, Vol. 25, No. 4, pp. 467-72.
- [2] Ackermann H., Ziegler W.: Die Dysarthrophonie des Parkinson-Syndroms. *Fortschr. Neurol. Psychiatrie*, 1989, 57: 149 – 160.
- [3] Forrest K., Weismer G., Turner G. S.: Kinematic, acoustic and perceptual analysis of connected speech produced by parkinsonian and normal geriatric adults. *Journal of the Acoustic Society of America*, 1989, 85: 2608 – 2622
- [4] Ziegler W., Vogel M.: *Dysarthrie*. Forum Logopädie, Stuttgart, Thieme, 2010
- [5] Forrest, G. Weismer, P. Milenkovic, and R. N. Dougall, "Statistical analysis of word-initial voiceless obstruents: preliminary data" *J Acous Soc Am* 1988, vol. 84, pp. 115-23.
- [6] Jakobson, R., Fant, G. & Halle, M. (1951) *Preliminaries to Speech Analysis: The Distinctive Features and their Correlates*. MIT Press, Cambridge.
- [7] Jessen, M.: *Phonetics and Phonology of Tense and Lax Obstruents in German*, John Benjamins B. V., Amsterdam, Philadelphia 1998