ZUR AUDITIVEN UND APPARATIVEN CHARAKTERISIERUNG VON STIMMEN

Bettina Ketzmerick

Brandenburgische Technische Universität Cottbus beke@tu-cottbus.de

Abstract: Der unverwechselbare Höreindruck menschlicher Stimmen sollte sich in messtechnischen Größen des entsprechenden Sprachmaterials widerspiegeln. Es werden nachweisbare Beziehungen zwischen ausgewählten auditiven, also wahrnehmbaren Stimmmerkmalen und apparativen Parametern vorgestellt. Diese ermöglichen eine Stimmcharakterisierung lediglich anhand des Sprachsignals.

1 Einleitung

Bekanntermaßen ist die menschliche Stimme und Sprechweise sehr individuell. Die Entstehung unterschiedlicher Varianten von Stimmen resultiert einerseits aus anatomisch bedingten Unterschieden, andererseits ergeben sich auch aus der Sprechweise und dem Sprechstil sprecherspezifische Variationen. So ist zu erwarten, dass sich der unverwechselbare Höreindruck in der physikalischen Repräsentation widerspiegelt. Daher lag der Schwerpunkt dieser Untersuchungen in der Ermittlung von Beziehungen zwischen dem Höreindruck und messbaren Größen bei neutraler Sprache. Dabei soll versucht werden, Korrelationen zwischen auditiv wahrnehmbaren und messbaren Parametern zu ermitteln. Derartige Korrelationen würden die Charakterisierung und Klassifizierung einzelner Stimmen anhand vorliegender Sprachsignale ermöglichen, und es könnte künftig auf zeit- und kostenintensive Hörtests verzichtet werden, um Stimmen zu charakterisieren. Es ist zunächst die Auswahl sprecherabhängiger Parameter notwendig. Diese Parameter müssen auditiv wahrnehmbar und vor allem bei neutraler Sprache eine eindeutige messbare Signifikanz aufweisen.

Ausgehend von der einerseits angestrebten auditiven, andererseits apparativen Beurteilung menschlicher Stimmen, erfolgt eine strenge Trennung in zwei Untersuchungsabschnitte. Scheinbar unabhängig voneinander werden die einzelnen Stimmen auditiv und messtechnisch bewertet. Abbildung 1 zeigt die parallel ablaufenden Untersuchungsschritte.

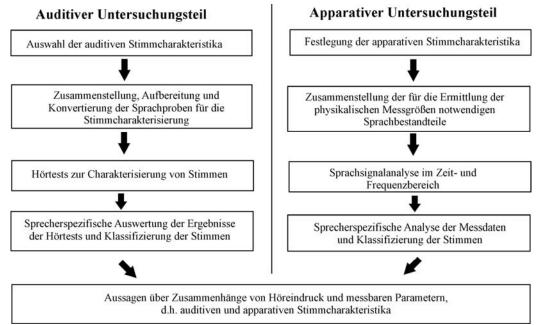


Abbildung 1 – Vorgehensweise der Untersuchungen

Die Auswertung der Ergebnisse beider Komplexe sollte möglichst eine Klassifizierung der einzelnen Stimmen in die jeweiligen Bewertungs- bzw. Messkategorien beinhalten. Nach dem Vorliegen der Daten wird die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Höreindruck und physikalischen Messwerten vorgenommen.

2 Auditive Charakterisierung

Im Rahmen des Hörtests wurden von den Probanden die Stimmen von je 15 weiblichen und männlichen Sprechern [BAS95] nach den in Abbildung 2 aufgeführten Kriterien beurteilt.

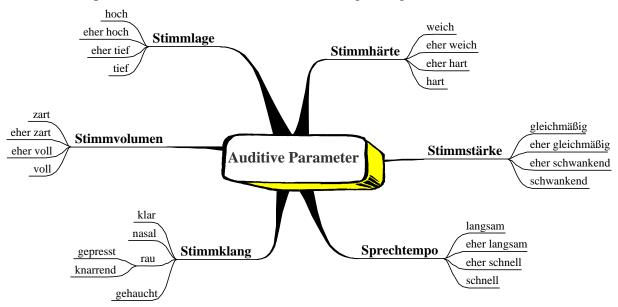


Abbildung 2 – Auditive Parameter mit den zugehörigen Bewertungskategorien

Dabei standen den Probanden für die fünf Kriterien Stimmlage, Stimmhärte, Stimmstärke, Sprechtempo und Stimmvolumen jeweils vier Kategorien zur Urteilsabgabe zur Verfügung, wobei sie sich für je eine Kategorie entscheiden mussten. Der Stimmklang eines Sprechers kann gleichzeitig mehrere Attribute annehmen, d.h. eine Stimme kann beispielsweise klar und gleichzeitig rau sein. Daher ist es notwendig, den Probanden die Möglichkeit zu geben, mehrere Bewertungen für einen Sprecher abzugeben. Des Weiteren wurde die Anzahl der Kategorien auf sechs erhöht.

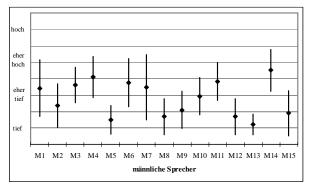
Die erzielten Ergebnisse im Hörtest (detailliert in [3]) ermöglichen eine deutliche Zuordnung der einzelnen Sprecher in die jeweiligen Bewertungsgruppen, sind aber teilweise recht differenziert. Bei den Merkmalen *Stimmlage*, *Stimmvolumen*, *Sprechtempo* und *Stimmklang* wurden die größten sprecherspezifischen Unterschiede festgestellt.

Die geschlechtsspezifischen Unterschiede wurden bei der Einordnung der Stimmen bei der Stimmlage (Abbildung 3) und beim Stimmvolumen deutlich. Es erfolgte eine eindeutige Trennung von tiefen und hohen und von zarten und vollen Stimmen. Männliche Sprecher wurden meist tief und voll eingestuft, weibliche Stimmen dagegen zart und hoch. Selbstverständlich gab es auch Ausnahmen, wie zarte männliche oder tiefe weibliche Stimmen.

Das *Sprechtempo* (Abbildung 4) ermöglichte ebenfalls klare Zuordnungen zu Gruppen *langsamer* und *schneller* Sprecher.

Die *Stimmhärte* und *Stimmstärke* wiesen eine viel geringere Beurteilungsbreite auf. Dies hängt damit zusammen, dass die *Stimmhärte*, speziell der *Stimmeinsatz*, eigentlich Bestandteil des Parameters *Stimmklang* ist und mehr in diesem Zusammenhang eingeschätzt wurde. Die separate Beurteilung ist eher für diagnostische Zwecke sinnvoll. Der Spielraum für die

Beurteilung der *Stimmstärke* bei neutraler Sprechweise ist sehr gering, denn neutrale Sprache ist durch eine *gleichmäßige* Stimmstärke gekennzeichnet.



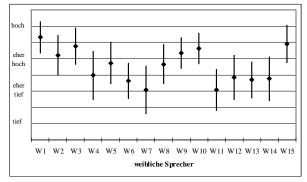
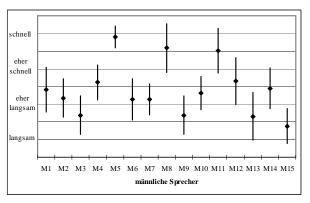


Abbildung 3 – Auditive Bewertung der Stimmlage (links: männliche Sprecher, rechts: weibliche Sprecher)



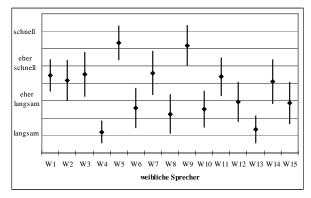


Abbildung 4 – Auditive Bewertung des Sprechtempos (links: männliche Sprecher, rechts: weibliche Sprecher)

3 Apparative Untersuchungen

Im Folgenden geht es um charakteristische, messtechnisch erfassbare Merkmale einzelner Stimmen. Dabei werden jene Größen - wie in Abbildung 5 dargestellt - betrachtet, die direkt aus dem Sprachsignal heraus lösbar, berechenbar oder extrahierbar sind.

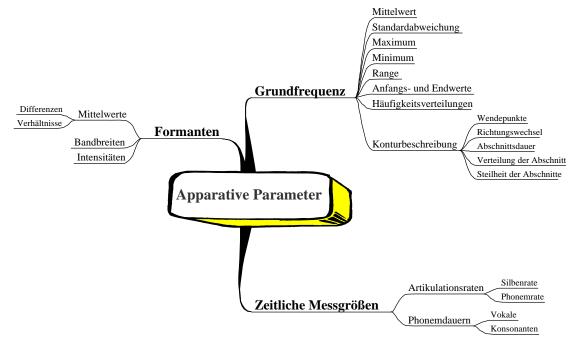
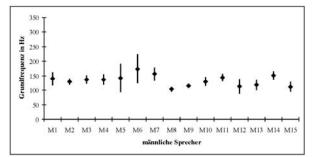


Abbildung 5 - Apparative Parameter

Für alle Messungen musste das Sprachmaterial separat zusammengestellt, aufbereitet und zum Teil konvertiert werden, da die Ermittlung der Messgrößen die unterschiedlichsten Sprachbestandteile erforderte.

3.1 Untersuchungen zur Grundfrequenz

Die Grundfrequenz und ihr Verlauf können durch verschiedene statistische Kennwerte, aber optische Besonderheiten beschrieben Zur auch werden. Auswertung Grundfrequenzeigenschaften von Sprechern wurden die Häufigkeitsverteilung gemessenen Grundfrequenzwerte, der Mittelwert, die Grundfrequenzwerte am Anfang und Ende der Äußerung sowie die Standardabweichung und der Range herangezogen. Abbildung 6 zeigt beispielhaft (alle Ergebnisse in [3]) die grafische Darstellung der Grundfrequenz-Mittelwerte, aus der eindeutig eine sprecherspezifische Unterscheidung erkennbar ist. Für jeden Sprecher - getrennt nach dem Geschlecht - ist sowohl der Mittelwert als auch die Standardabweichung mit oberer und unterer Grenze eingezeichnet.



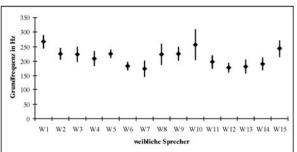


Abbildung 6 – Apparative Bewertung der Grundfrequenz (links: männliche Sprecher, rechts: weibliche Sprecher)

Bei einigen ausgewählten Sprechern (je acht weibliche und männliche) wurden gleiche Äußerungen hinsichtlich ihres stilisierten Grundfrequenzverlaufs analysiert. Neben einer verbalen Beschreibung der Verläufe wurden folgende Merkmale eines solchen Verlaufs untersucht:

- Anzahl der Wendepunkte und damit einhergehende Richtungswechsel,
- Dauer und Verteilung der Formen von Konturabschnitten,
- Steilheit der Konturabschnitte.

Die alleinige Kenntnis der Wendepunkte ist weniger aussagefähig. Ein Wendepunkt markiert einen Richtungswechsel und diese damit verbundenen Änderungen sind wesentlich interessanter [4]. Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Mittelwerte für ganze Äußerungen, Wörter, Silben und auf die Zeit bezogen berechnet. Daraus waren signifikante Unterschiede zwischen den Sprechern erkennbar.

Die Dauer und Verteilung der Konturabschnitte eignete sich dagegen nicht zur Unterscheidung von einzelnen Stimmen. Die Ergebnisse lassen lediglich darauf schließen, dass die zu ca. 40% vorkommenden fallenden Abschnitte generell prägend für einen Grundfrequenzverlauf sind. Die Steilheit der Konturabschnitte zeigt Unterschiede vor allem bei den fallenden Bewegungen.

Letztendlich ermöglichte die komplexe Betrachtung der vielfältigen Messwerte der Grundfrequenzverläufe die Erstellung von Entscheidungsbäumen zur eindeutigen sprecherspezifischen Unterscheidung. [3] Dazu erfolgte zunächst eine stark vereinfachte Kategorisierung der Werte ausgewählter Parameter wie:

- Grundfrequenz am Anfang einer Äußerung,
- Grundfrequenzmaximum,
- Range über gesamter Äußerung,
- Steilheit fallender Konturen,

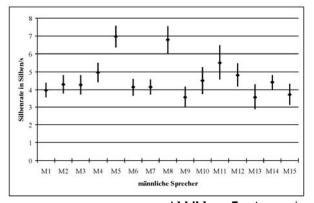
• Anzahl der Richtungswechsel pro Äußerung.

Durch die Kombination dieser Grundfrequenz-Parameter wurde eine vollständige Trennung aller Sprecher erreicht.

3.2 Ergebnisse der zeitlichen Messgrößen

Die Berechnung der Silben- und Phonemraten ist mit dem zeitaufwendigen Arbeitsschritt der manuellen Pausenzeitermittlung verbunden. Eine Pause wurde mit einer Dauer von mindestens 50 ms definiert. Intra-Wort-Pausen, die zwischen den Lauten eines Wortes auftraten, wurden nicht berücksichtigt.

Die Darstellung in Abbildung 7 zeigt, dass sich die ermittelten *Artikulationsraten* in Silben pro Sekunde (Silbenrate) sprecherspezifisch sehr stark voneinander unterscheiden. So wurden vom Sprecher M5 mehr als doppelt so viele Silben pro Sekunde artikuliert, als vom Sprecher W13. Auch die Standardabweichungen unterscheiden sich bei den einzelnen Sprechern. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Sprecher während der Aufnahmen des Sprachmaterials nicht mit einer konstanten Silbenrate gesprochen haben. [3]



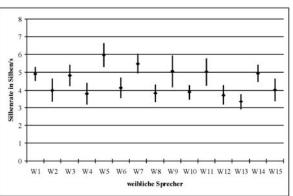


Abbildung 7 – Apparative Bewertung der Silbenrate (links: männliche Sprecher, rechts: weibliche Sprecher)

Entsprechend der Silbenrate wurde auch die Artikulationsrate in Phonemen pro Sekunde (Phonemrate) aller Sprecher ermittelt. Die Ergebnisse zeigen ebenfalls große sprecherspezifische Unterschiede. Auffallend ist, dass bei den Sprechern keine gravierenden Änderungen in der Reihenfolge der Höhe der Raten zu beobachten sind.

Die Ergebnisse der mittleren *Phonemdauern* je Phonem und Sprecher lassen erkennen, dass es bei jedem Phonem große sprecherspezifische Unterschiede in der mittleren Dauer gibt. Der ermittelte maximale Mittelwert ist meist mehr als doppelt so groß wie der minimale Mittelwert der Phonemdauer. Dabei sind meist keine ersichtlichen Unterschiede zwischen den Vokalen und den Konsonanten erkennbar.

Aus der Aufgliederung in die Gruppen *Vokale* und *Konsonanten* ist ersichtlich, dass die mittlere Konsonantendauer grundsätzlich geringer als die Vokaldauer. Allerdings sind die Differenzen geringfügig. Der Einfluss der Vokaldauer auf die Sprechdauer hat demnach nicht den erwarteten Einfluss.

4 Zusammenhänge zwischen auditiven und apparativen Ergebnissen

Das Ziel der Untersuchungen ist die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen den auditiven und apparativen Parametern. Dabei ging es zunächst um lineare Zusammenhänge, die durch eine Korrelationsanalyse nachgewiesen werden sollten. Zur Ermittlung der Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN wurde das Statistikprogramm SPSS Version 13 eingesetzt. Alle ermittelten Korrelationskoeffizienten wurden einem zweiseitigem Signifikanztest unterzogen. In die Auswertung einbezogen wurden lediglich die

Koeffizienten, die auf einem Niveau von 0,01 oder 0,05 signifikant sind. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden Korrelationskoeffizienten erst ab |0,5| als signifikant betrachtet.

Zur Ermittlung einiger (nicht linearer) Zusammenhänge wurde eine visuelle Analyse vorgenommen. Diese Analyse beinhaltete die Auswertung von gehörgerechten Spektrogrammen, Amplituden-Zeit-Diagrammen und Grundfrequenz-Häufigkeitsverteilungen hinsichtlich sprecherspezifischer Unterschiede und Auffälligkeiten im Vergleich mit den auditiven Bewertungen.

4.1 Variationen der Grundfrequenz

Allgemein kann zunächst festgestellt werden, dass signifikante Korrelationen nur zu den auditiven Merkmalen *Stimmlage*, *Stimmvolumen* und *Sprechtempo* bestehen.

Im auditiven Hörtest wurde nachgewiesen, dass die Stimmlage ein stark sprecherspezifisches Stimmmerkmal ist, das die Probanden problemlos beurteilen konnten. Die apparativen Messungen zur Grundfrequenz ermöglichten eine recht eindeutige Klassifizierung der Sprecher. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten zeigen starke Zusammenhänge. Der *Grundfrequenz*-Mittelwert korreliert mit 0,85 zur Bewertung der *Stimmlage*. Das Streudiagramm in Abbildung 8 verdeutlicht den Zusammenhang grafisch.

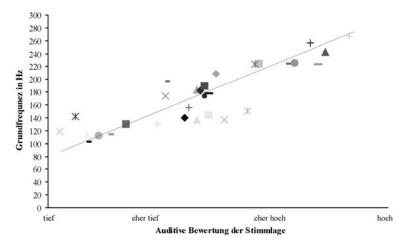


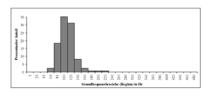
Abbildung 8 – Korrelation von Stimmlage und Grundfrequenz

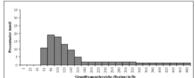
Stimmen, die auditiv als tief eingeschätzt wurden, weisen niedrigere Mittelwerte auf. Aber auch die Minimal- und Maximalwerte sowie Werte am Anfang einer Äußerung korrelieren im starken Bereich.

Zur Ermittlung von Beziehungen des auditiven Merkmals *Stimmklang* wurde eine visuelle Analyse des zeitlichen Verlaufs vorgenommen. Je 14 Sprachproben von eindeutig als *klar* und *rau* eingestuften Stimmen wurden hinsichtlich ihrer Zeitsignale verglichen. Die zeitlichen Signalverläufe zeigten eindeutig die starke Periodizität bei klaren Stimmen. Die Verläufe der rauen Stimmen waren durch Aperiodizitäten gekennzeichnet, was sich in Aussetzern oder dem Weglassen ganzer Signalbereiche zeigte. Deutlich erkennbar waren auch die rauschartigen Abschnitte.

Der Vergleich der Grundfrequenz-Häufigkeitsverteilungen im Bereich bis 500 Hz (jeweils Intervalle von 20 Hz) ergab eine Normalverteilung bei *klaren* Stimmen. Oft waren die Stimmen aber durch einen rauen Klang mit geprägt. Dies zeigt sich in den kleinen Anteilen in höheren Frequenzbereichen, wie Abbildung 9 in der linken Darstellung zeigt.

Raue Stimmen waren durch eine unregelmäßige Verteilung gekennzeichnet. Dabei traten links- und rechtsschiefe Varianten auf. Der Anteil im höheren Frequenzbereich lag durchschnittlich bei ca. 5%. Abbildung 9 mittig zeigt einen Sprecher mit einem rauen Stimmklang. Die Grundfrequenzverteilung der gehauchten Stimmen war ähnlich, jedoch gab es in niederen Bereichen geringe Anteile.





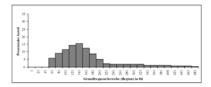


Abbildung 9 – Vergleich der Grundfrequenz-Häufigkeitsverteilungen (klar – rau – nasal)

Nasale Stimmen sind durch eine größere Verteilung der Grundfrequenzwerte gekennzeichnet. Maximal treten die einzelnen Bereiche nur zu ca. 10 bis 15 % auf, wie die Häufigkeitsverteilung von dem nasalen Sprecher rechts in Abbildung 9.

Bei einigen Sprechern entstand der Eindruck, dass sich die wahrnehmbaren Klänge in der Grundfrequenzverteilung nicht widerspiegeln konnten. Teilweise ist anzunehmen, dass eine Aufhebung der Klänge in der Verteilung erfolgt. Dies war vor allem bei Sprechern mit einem klar-nasalen Stimmklang zu beobachten. Letztendlich kann aber festgestellt werden, dass die Grundfrequenz-Häufigkeitsverteilungen eine gute Möglichkeit sind, unterschiedliche Stimmklänge aus der Verteilung zu erkennen.

Aus den Grundfrequenz-Häufigkeitsverteilungen ist auch eine Beziehung zum Merkmal *Stimmlage* erkennbar. Je höher die Stimme ist, desto mehr verschiebt sich die Verteilung in Richtung höherer Frequenzen. Stellt man typische Frauen- und Männerstimmen gegenüber, so ist diese Verschiebung deutlich zu erkennen.

4.2 Artikulationsraten

Die ermittelten Korrelationskoeffizienten der beiden *Artikulationsraten* – Silben- und Phonemrate – zum auditiven Merkmal *Sprechtempo* ergaben eine *starke* Korrelation der Silben- und Phonemrate zur auditiven Bewertung (Tabelle 1).

Artikulationsrate in	Sprechtempo
Silben pro Sekunde (Silbenrate)	0,91
Phonemen pro Sekunde (Phonemrate)	0,87

Tabelle 1 – Vergleich der Grundfrequenz-Häufigkeitsverteilungen (klar – rau – nasal)

Der hohe Wert der Koeffizienten, vor allem der Silbenrate, ist etwas überraschend. Sicher liegt dies am breiten Spektrum der ausgewählten Sprecher. Hinzu kommt die auswahlbeschränkte Bewertungsskala mit lediglich vier Skalenwerten. Der Koeffizient für die Phonemrate müsste aufgrund der kürzeren linguistischen Einheit besser ausfallen als derjenige der Silbenrate. Jedoch wies das Sprachmaterial relativ viele Wörter mit einer geringen Silbenzahl auf, so dass dieser Effekt wenig Einfluss auf das Ergebnis hatte.

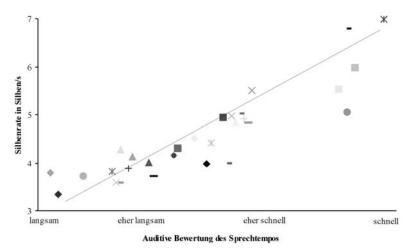


Abbildung 10 - Korrelation von Sprechtempo und Silbenrate

Das entsprechende Streudiagramm zur Silbenrate zeigt in Abbildung 10, dass viele Sprecher in unmittelbarer Nähe zur Regressionsgeraden liegen. Weiterhin ist erkennbar, dass eine große Häufung der Wertepaare im Bereich von dreieinhalb bis ungefähr fünf Silben pro Sekunde auftritt.

4.3 Phonemdauern

Abbildung 11 zeigt den *starken* Zusammenhang zwischen *Sprechtempo* und gesamter mittlerer *Phonemdauer*. Daraus ist zu erkennen, dass die langsamen Sprecher eine mittlere Phonemdauer von ca. 90 bis 130 ms aufweisen. Schnelle Sprecher benötigen im Mittel lediglich ca. 70 bis 80 ms pro Phonem. Somit kann auch die Phonemdauer als apparatives Maß für die Charakterisierung des Sprechtempos einzelner Stimmen genutzt werden.

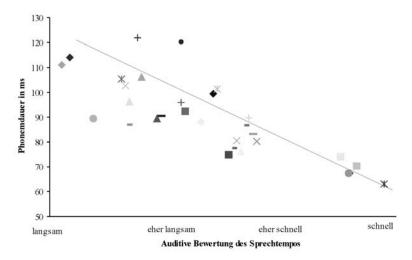


Abbildung 11 – Korrelation von Sprechtempo und Phonemdauer

Eine separate Betrachtung der Korrelationskoeffizienten (bis 0,84) zwischen der auditiven Bewertung des Sprechtempos und den mittleren Dauern der einzelnen Phoneme lässt starke Zusammenhänge erkennen. Ein interessanter Effekt tritt bei der Aufteilung in Gruppen der Vokale und Konsonanten auf. Für die Gruppe der Konsonanten mit sieben Phonemen wird ein Wert von 0,85 erzielt. Die mittleren Vokaldauern korrelieren dagegen nur mit einem Wert von 0,73. Dieses Ergebnis ist als überraschend einzustufen. Vermutlich ist die Gruppierung der betrachteten Phoneme bei den Konsonanten vorteilhafter.

5 Schlussbemerkungen

Bei den auditiven Merkmalen *Stimmlage*, *Stimmvolumen*, *Sprechtempo* und *Stimmklang* wurden die größten sprecherspezifischen Unterschiede festgestellt. Die *Stimmhärte* und *Stimmstärke* wiesen eine viel geringere Beurteilungsbreite auf.

Im Rahmen der apparativen Analyse des Sprachmaterials der Sprecher wurden nachweisbare sprecherspezifische Unterschiede grundsätzlich immer im Zusammenhang mit der *Grundfrequenz* ermittelt. Die spektralen Größen ergaben nur bedingt eine sprecherindividuelle Zuordnung. Die *zeitbezogenen Messwerte* ergaben wiederum große sprecherindividuelle Unterschiede.

Eindeutige, also starke Zusammenhänge konnten zwischen dem Höreindruck und allen mit der *Grundfrequenz* im Zusammenhang stehenden Ergebnissen nachgewiesen werden. *Stimmlage* und *Stimmvolumen* korrelieren zum Teil mit einem Faktor von mehr als |0,8| mit verschiedenen Grundfrequenz-Variationen. Die grafisch dargestellten Grundfrequenz-Häufigkeitsverteilungen geben gute Aufschlüsse über den *Stimmklang* eines Sprechers. Weiterhin konnte zwischen dem auditiven Merkmal *Sprechtempo* und den temporalen Messgrößen wie *Lautdauer* und *Artikulationsraten* eindeutige Korrelationen nachgewiesen

werden. Die Phonem- und Silbenraten korrelieren mit einem Koeffizienten von mehr als |0,8|. Lediglich zur *Stimmhärte* und *Stimmstärke* gab es wenige oder gar keine nachweisbaren Zusammenhänge.

Es kann also der Schluss gezogen werden, dass sich die auditiven Merkmale *Stimmlage*, *Stimmklang*, *Stimmvolumen* und *Sprechtempo* relativ eindeutig im Sprachsignal widerspiegeln und sich somit sehr gut zur Charakterisierung von Stimmen eignen. Die ermittelten Zusammenhänge können für eine auditive Analyse anhand des Sprachsignals genutzt werden.

Es sollten aber unbedingt weitere Untersuchungen zum prägenden auditiven Merkmal *Stimmklang* vorgenommen werden. Dabei muss eine größere Anzahl an Stimmklängen einer Beurteilung und apparativen Analyse unterzogen werden. Denkbar sind verschiedene Klänge der Heiserkeit aus dem medizinischen Bereich, aber auch Varianten, die die Wirkung und Annehmlichkeit von Stimmen betreffen. Derartige Klänge wären hell, dunkel, dumpf, schwebend, leicht, scharf, schrill, zittrig, dünn, lebhaft, grell, beschwingt, matt oder blechern.

Letztlich bleibt immer noch die Frage zu klären, mit welchen Mitteln, Methoden und anhand welcher Merkmale der Hörer die einzelnen Stimmen in kürzester Zeit unterscheidet. Beachtenswert sind dabei sicher die Ansätze, die in jüngster Zeit hinsichtlich des Einsatzes nichtlinearer Modelle bei der Analyse menschlicher Spracherzeugungsvorgänge diskutiert wurden.

Literatur

- [1] BAS PhonDat 1, 2nd Edition, Bayerisches Archiv für Sprachsignale, München, 1995.
- [2] Eckert, H., Laver, J.: *Menschen und ihre Stimmen*. Beltz Psychologie Verlagsunion, Weinheim, 1994.
- [3] Ketzmerick, B.: *Zur auditiven und apparativen Charakterisierung von Stimmen.* Dissertation, BTU Cottbus, in: Studientexte zur Sprachkommunikation, Band 47, TUDpress-Verlag, Dresden, erscheint Ende 2007.
- [4] Klasmeyer, G..: Akustische Korrelate des stimmlich emotionalen Ausdrucks in der Lautsprache. Forum Phoneticum, Wissenschaftliche Buchhandlung Theo Hector GmbH & Co., Frankfurt am Main, 1999.
- [5] Paeschke, A.: *Prosodische Analyse emotionaler Sprechweise*. Logos-Verlag., Berlin, 2003.
- [6] Pfitzinger, H.: Phonetische Analyse der Sprechgeschwindigkeit, Dissertation, Universität München, 2001.
- [7] Wehen, B.: Vergleich von apparativ und auditiv bestimmbaren Merkmalen unterschiedlicher Stimmen. Diplomarbeit, Fachbereich Elektrotechnik der TU Berlin, 1995.
- [8] Wendler, J., Seidner, W., Eysoldt, U.: *Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie*. Thieme Verlag, Stuttgart, 2005.
- [9] Werner, S.: Modelle deutscher Intonation: zu Vergleichbarkeit und empirischer Relevanz von Intonationsbeschreibungen. In: Publications in the Humanities, Nr. 24, Joensuu University, Finland, 2000.
- [10] Wirth, G.: Stimmstörungen. Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln, 1991.