

RHYTHMUS VON SPRACHE: UNTERSUCHUNG METHODISCHER EINFLÜSSE

W. Heinbach

Institut für Elektroakustik der Technischen Universität München

1. Einleitung

Innerhalb einer Untersuchung über den Einfluß des Rhythmus auf die Verständlichkeit von Sprache ergab sich die Aufgabe, den Sprachrhythmus so genau wie möglich psychoakustisch zu messen. Die Reproduktionsmethode (Nach- oder Mit-tasten des wahrgenommenen Rhythmus) wurde deshalb in Abhängigkeit von folgenden Einflüssen untersucht:

- Tastmethode (Nachtasten bzw. Mittasten)
- Tastvorrichtung (Morsetaste bzw. Piezowandler)
- Darbietungsweise (mit bzw. ohne Rückmeldung; monotonisch, diotisch und dichotisch).

Die Versuche wurden mit jeweils acht Versuchspersonen (VPn) aus einer Gruppe von fünfzehn VPn durchgeführt. Alle VPn waren Rechtshänder und tasteten mit der rechten Hand. Testschallausgabe, Ausgabe der Rückmeldung (Tastklick) und Abfrage der Tastvorrichtung erfolgten durch einen Mikrorechner.

Nach Tiefpaßfilterung mit 6,7kHz wurden Testschall und Rückmeldung der VP über freifeldentzerrte Kopfhörer in einer schallgedämmten Messkabine dargeboten. Als Testschall wurde das Wort "Erdbeeren" verwendet; da es dreisilbig ist, ist nach /1/ zu erwarten, daß die VPn dreimal tasten. Der Testschall hat eine Dauer von 1030ms. Er wurde mit Hilfe eines Rechners aus einem Satz des Marburger Satzverständnistests herausgeschnitten. Anfangs- und Endzeitpunkt des Testschalls wurden optisch mit Hilfe eines Speicheroszilloskops bestimmt. Eine Einzeldarbietung von 1260ms Dauer setzt sich aus 100ms Pause, dem Testschall und anschliessend 130ms Pause zusammen. Der Zeitpunkt $t=0$ der Zeitachse (Fig. 2 und 3) entspricht dem Beginn der Einzeldarbietung.

Beim Mittasten tastet die VP den wahrgenommenen Rhythmus gleichzeitig mit der Darbietung. Um ein synchrones Tasten zu ermöglichen, wird die Einzeldarbietung 20mal nacheinander dargeboten. Die VPn bestimmten den Einsatzpunkt ihrer Reproduktion selber.

Beim Nachtasten wird der Rhythmus von der VP nach Beenden der Darbietung, die aus fünf Einzeldarbietungen besteht, reproduziert.

Als Tastvorrichtungen wurden eine handelsübliche Morsetaste und ein Piezowandler verwendet, mit dem sich neben dem Tastzeitpunkt auch die Anschlagstärke messen läßt. Dazu wurde eine von der Kraft abhängige Spannung über einen AD-Wandler vom Rechner während der Darbietung eingelesen.

Als akustische Rückmeldung wurde ein 1kHz Rechtecksignal mit 12ms Dauer verwendet. Beim Drücken der Morsetaste wurde die Rückmeldung dem Testschall überlagert.

2. Einfluß der Tastmethode

Durch gleichzeitiges Abfragen der Tastvorrichtung während der Darbietung durch den Rechner ist eine auf den Anfang der Einzeldarbietung bezogene Zeitmessung möglich. Nach Zusammenfassen der Tastzeitpunkte der einzelnen Wiederholungen erhält man die Häufigkeitsverteilung der Tastzeitpunkte bzw. deren Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen (s.a. Fig. 2d und 2c). Dagegen ist beim

Nachtasten nur eine Zeitmessung zwischen zwei Tastzeitpunkten möglich. Frühere Untersuchungen [1] zum Nachtasten zeigten, daß die absolute Dauer der Reproduktionen sehr stark von der VP abhängt. Dadurch ist eine Darstellung wie beim Mittasten ohne zeitliches Normieren nicht möglich. Zum Vergleich der beiden Methoden werden deshalb die beiden Zeitintervalle (drei Tastpunkte = zwei Zeitintervalle) verwendet. Durch Bilden des Intervallverhältnisses (IV) (ein Intervall zur Summe aus beiden) ist man von der absoluten Dauer der Reproduktionen unabhängig. Das Intervallverhältnis beim Mittasten wird aus den einzelnen Messungen errechnet und dessen Zentralwert mit Wahrscheinlichen Schwankungen bestimmt. In Fig. 1 sind die Intervallverhältnisse beim Mittasten gegen die beim Nachtasten aufgetragen. Die Werte stammen aus Messungen mit fünf rhythmisch verschiedenen Versionen des Testschalls.

Ein signifikanter Unterschied zwischen Nachtasten und Mittasten läßt sich hieraus nicht erkennen, die rhythmischen Unterschiede werden durch beide Tastmethoden erfasst. Unterschiede ergeben sich allerdings im Bereich der Wahrscheinlichen Schwankungen, dieser ist im Durchschnitt beim Nachtasten doppelt so groß wie beim Mittasten. Ein weiterer Vorteil liegt in der auf den Testschall bezogenen Zeitmessung, ein zeitliches Normieren wie beim Nachtasten ist nicht notwendig.

3. Einfluß der Tastvorrichtung

Im Gegensatz zu einer Morsetaste werden durch einen Piezowandler auch Stärke und Zeitverlauf des Anschlags wiedergegeben. Mit der Methode des Mittastens wurde der Piezowandler auf seine Eignung zur Messung der Tastzeitpunkte untersucht. Die Werte des Wandlers werden bei einander entsprechenden Zeitpunkten aufaddiert. Jede Messkurve einer Messung besteht deshalb aus der Mittelung von etwa achtzehn Zeitverläufen, da sich die VPn den Testschall im Durchschnitt zweimal anhören, bevor sie mit dem Mittasten beginnen. In Fig. 2a ist die Mittelung aus 14 Messungen über der Zeit t einer Einzeldarbietung dargestellt, sie beruht also auf etwa 250 einzelnen Zeitverläufen. Im Vergleich dazu ist in Fig. 2d die Häufigkeitsverteilung der Tastzeitpunkte einer Messreihe aus 14 Messungen mit der Morsetaste dargestellt. Die entsprechenden Zentralwerte und Wahrscheinlichen Schwankungen sind darüber in Fig. 2c eingezeichnet. In Fig. 2b sind die relativen Maxima und deren 75% Grenzen der Kurve in Fig. 2a dargestellt.

Die Maxima der Werte des Piezowandlers treten im Durchschnitt 40ms später als die Tastzeitpunkte der Morsetaste auf. Diese zeitliche Verschiebung läßt sich damit erklären, daß die Morsetaste den Kontakt bereits schließt, bevor das Maximum der Anschlagskraft erreicht ist. Die Frage, welches der "richtige" Tastzeitpunkt ist, wurde noch nicht geklärt.

Die Messung von Akzenten ist über die relative Höhe der Maxima möglich.

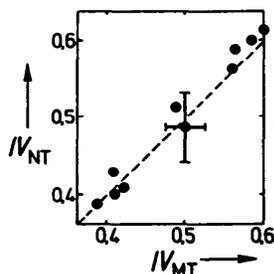


Fig. 1, Intervallverhältnisse (IV) Mittasten (MT) gegen Nachtasten (NT). Gestrichelt: 45° Gerade. Mitte: Mittlere Wahrscheinliche Schwankungen.

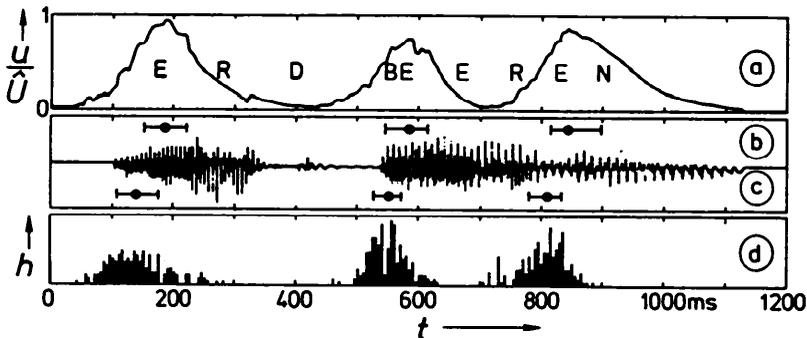


Fig. 2, a) Gemittelter Zeitverlauf der Wandler Spannung. b) Relative Maxima mit 75% Grenzen aus a). c) Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen zu d). d) Häufigkeitsverteilung der Tastzeitpunkte (Morsetaste). Mitte: Testschall.

4. Einfluß der Darbietungsweise

Untersucht wird der Einfluß einer akustischen Rückmeldung (Tastklick) bei monotonischer, diotischer und dichotischer Darbietung, der Einfluß der Darbietungsseite und der einer verzögerten Rückmeldung auf die Wahrnehmung und Reproduktion des Rhythmus beim Mittasten mit einer Morsetaste. Zum Vergleich wird eine Messreihe ohne Rückmeldung durchgeführt. Aus Tabelle I sind die verschiedenen Darbietungsarten ersichtlich.

Die Zentralwerte und Wahrscheinlichen Schwankungen der Tastzeitpunkte der einzelnen Messungen sind in Fig. 3 eingezeichnet. Die Bezeichnungen entsprechen denen der Tabelle I. Durch Zusammenfassen der Tastzeitpunkte aller Messungen einer Gruppe erhält man die als vertikale Linien dargestellten Gesamtzentralwerte und die grau unterlegten Wahrscheinlichen Schwankungen.

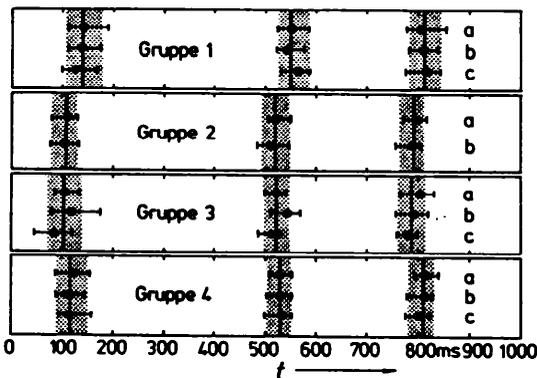


Fig. 3, Einzel- und Gesamtergebnisse der in Tabelle I aufgeführten Darbietungsarten. Dargestellt sind die Zentralwerte mit Wahrscheinlichen Schwankungen der Tastzeitpunkte jeder Einzelmessung. Die Gesamtzentralwerte einer Gruppe sind als vertikale Linien eingezeichnet; die zugehörigen Wahrscheinlichen Schwankungen grau unterlegt.

Rückmeldung auf gleichem/verschiedenem Ohr: Gegenüber den Zentralwerten der Gruppen 2 und 4 sind die der Gruppe 1 (gleiches Ohr) um etwa 30ms nach späteren Zeitpunkten verschoben. Ein Effekt gegenüber der Darbietung ohne Rückmeldung zeigt sich also nur im diotischen Fall.

Darbietungsseite: Vergleicht man die Ergebnisse der einzelnen Messungen (1b mit 1c, 2a mit 2b, 4b mit 4c) mit unterschiedlicher Darbietungsseite miteinander, so läßt sich kein Unterschied feststellen.

Verzögerte Rückmeldung: Eine Verschiebung der Tastzeitpunkte um die Verzögerungszeit tritt zumindest im diotischen Fall nicht auf. Da in den dichotischen Fällen 3b und 3c die Wahrscheinlichen Schwankungen relativ groß sind, könnten die Unterschiede von einer Irritierung der VPn durch die Verzögerung stammen. Diese Unterschiede verschwinden bei Erhöhung der Verzögerungszeit auf 100ms, die Zentralwerte entsprechen dann denen der Messung 3a. Die Wahrscheinlichen Schwankungen bleiben aber ähnlich groß.

Genauigkeit und Reproduzierbarkeit werden durch das Fehlen einer Rückmeldung nicht beeinflusst. Eine leichte Verschiebung gegen Gruppe 2 und 3 tritt auf, liegt aber im Bereich der Messgenauigkeit.

Die Relation der Tastzeitpunkte zueinander hängt von den verschiedenen untersuchten Darbietungsarten offenbar nicht ab.

Tabelle I. *Untersuchte Darbietungsweisen*
L = linkes Ohr, R = rechtes Ohr, L + R = beide Ohren

Gruppe und Darbietung	Testschall auf Ohr	Rückmeldung auf Ohr	Verzögerung der Rückmeldung
Schall und Rückmeldung auf dem gleichen Ohr			
1	a	L + R	L + R
	b	L	L
	c	R	R
Schall und Rückmeldung auf verschiedenen Ohren (dichotisch)			
2	a	L	R
	b	R	L
Rückmeldung verzögert			
3	a	L + R	L + R 50ms
	b	L	R 50ms
	c	R	L 50ms
keine Rückmeldung			
4	a	L + R	
	b	L	
	c	R	

5. Zusammenfassung

Bei der Messung des Rhythmus von Sprachschallen relativ kurzer Dauer (unter 3s) weist die Methode des Mittastens gegenüber derjenigen des Nachtastens eine um den Faktor zwei grössere Messgenauigkeit auf. Ein weiterer Vorteil besteht in der Messung absoluter Zeitpunkte bezogen auf die Testschalldarbietung.

Bei Verwendung eines Piezowandlers statt einer Morsetaste treten die relativen Maxima der gemessenen Anschläge gegenüber den Tastzeitpunkten um etwa 40ms später auf. In der relativen Höhe der Maxima spiegeln sich Akzente wieder.

Verschiedene Schalldarbietungsarten haben auf die Lage der Tastzeitpunkte zueinander keinen Einfluß. Eine Rückmeldung zur Erhöhung der Genauigkeit erweist sich als überflüssig.

6. Literatur

/1/ Köhlmann, M., *Rhythmische Segmentierung von Schallsignalen und ihre Anwendung auf die Analyse von Sprache und Musik*. Dissertation Technische Universität München 1984.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Sonderforschungsbereich 204 "Gehör", München, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt.