

## VOKALE UND IHRE PHYSIKALISCHEN MERKMALE. II. LAUTIDENTITÄT UND PARTIALTONSPEKTRUM.

**Dieter Maurer**

Universitätsspital Zürich-CH, Neurologische Klinik

**Andreas Klinkert**

Universität Freiburg-CH, Institut für Informatik

Forschung unterstützt von: Olga Mayenfisch Stiftung, Theodor und Ida Herzog-Egli Stiftung, Jubiläumstiftung Schweizerische Lebensversicherungs- und Rentenanstalt.

**EINLEITUNG:** Für die akustische Phonetik - und mit ihr für das Verständnis der menschlichen Stimme und Sprache - ist die Frage der Zuordnung von physikalischen Merkmalen und wahrgenommener Lautidentität von Vokalen grundlegend. In einem ersten Beitrag ("Vokale und ihre physikalischen Merkmale I") wurden empirische Befunde dargestellt, die starke Zweifel daran aufkommen lassen, dass Formantmuster die Lautidentität physikalisch abbilden - auch und gerade für den Fall isoliert gebildeter, monotoner Vokale, die keine deutlichen Transitionen aufweisen. In dem vorliegenden Beitrag werden erste Überlegungen und Untersuchungen in Richtung eines neuen akustischen Ansatzes beschrieben. Im Vordergrund steht die Frage, nach welchen Regeln sich die Partialtonspektren zweier stimmhafter Vokallaute unterscheiden, wenn die Vokale isoliert und monoton gebildet werden. Das Studium solcher Regeln anhand einer umfangreichen Sammlung von Vokalen führte zu einer Hypothese bezüglich der spektralen Differenz zweier Vokallaute: Der lautspezifische Unterschied zweier Vokale kann relational im Sinne eines "Vordergrund-Hintergrund-Verhältnisses" von spektraler Energie bestimmt werden. In diesem Beitrag werden i) die wesentlichen Aspekte der Bestimmung eines solchen spektralen Verhältnisses beschrieben, ii) erste empirische Ergebnisse vorgestellt, und iii) Konsequenzen für die Perzeption der Vokale umrissen.

### Ausgangsfrage - Lautidentität und Spektrum

- Gesetzt, zwei isoliert und monoton gebildete stimmhafte Vokale werden als verschiedene Laute wahrgenommen - welches ist ihre lautspezifische spektrale Differenz?

### Partialtonspektrum als physikalische Abbildung des Vokals

- Weder Formantmuster noch die spektrale Hüllkurve selbst sind für die Lautidentität von Vokalen spezifisch.
- Das Spektrum eines Vokals muss auf  $F_0$  der Vokalisation bezogen werden.
- Das Partialtonspektrum ist für die Lautidentität eines Vokals spezifisch.
- Der Versuch, Lautidentität und spektrale Merkmale einander zuzuordnen, führt derart zum Vergleichen von Partialtonspektren.

### Thesen zum Vergleich von Partialtonspektren

- Werden zwei Partialtonspektren miteinander verglichen, so müssen die Werte für  $F_0$  ähnlich sein, so dass sich die Frequenzen der Partialtöne beider Spektren entsprechen.
- Ist dies der Fall, so entspricht der Vergleich zweier Spektren dem Vergleich der Partialton-Amplituden.
- Um den Vergleich der Amplituden zu ermöglichen, müssen diese "normalisiert" werden (die Amplitude des ersten Partialtons wird auf einen konstanten Referenzwert gesetzt).
- Die Amplituden zweier Spektren werden fortschreitend verglichen, beginnend mit derjenigen des ersten Partialtons (Beobachtung des "Aufbaus" von Vokalspektren).

### Spektrale Ähnlichkeit (spectral similarity) und spektrale Differenz (spectral difference)

- Werden Partialtonspektren verschiedener Vokallaute miteinander verglichen, so entsteht die Frage nach der spektralen Ähnlichkeit und der spektralen Differenz.
- Zur Bestimmung der *Ähnlichkeit zweier Spektren*  $x$  und  $y$  verschiedener Vokallaute  $X$  und  $Y$  wird folgendermassen vorgegangen: Die Amplituden der Partialtöne von  $x$  und  $y$  werden in aufsteigender Reihenfolge miteinander verglichen. Das Ausmass der Ähnlichkeit von  $x$  und  $y$  ist dann gegeben durch die Ordnungszahl (bzw. Frequenz) des höchsten Partialtons, bis zu welchem alle Amplituden "ähnlich" sind (experimentell wird eine Bandweite für marginale Amplitudenunterschiede festgelegt).
- Für die Untersuchung lautspezifischer Unterschiede sind diejenigen Spektrenpaare von besonderem Interesse, deren spektrale Ähnlichkeit maximal ist. *Maximale spektrale Ähnlichkeit* für ein Spektrenpaar  $x$  und  $y$  liegt dann vor, wenn das Ausmass der Ähnlichkeit für  $x$  und  $y$  gleich gross oder grösser ist als für alle anderen Vergleiche von  $x$  mit Spektren von  $Y$ , und von  $y$  mit Spektren von  $X$ .
- Die *spektrale Differenz* zweier Spektren ist gegeben durch die erste auftretende Amplitudendifferenz, d.h., durch die Ordnungszahl (Frequenz) des ersten Partialtons, für welchen die Amplituden sich unterscheiden, und durch die entsprechende Amplitudendifferenz selbst.

**Hypothese: Wenn die spektrale Ähnlichkeit zweier verschiedener Vokale maximal ist und zugleich eine bestimmte Frequenzgrenze überschreitet, dann ist die erste auftretende spektrale Differenz lautspezifisch.**

Wenn für zwei Spektren  $x$  und  $y$  zweier Vokale  $X$  und  $Y$  (i) die spektrale Ähnlichkeit maximal ist, und (ii) das Ausmass der Ähnlichkeit eine bestimmte Frequenzgrenze (abhängig von  $X$  und  $Y$ ) überschreitet, dann ist die Amplitudendifferenz des ersten Partialtons mit unterschiedlicher Amplitude lautspezifisch für  $X$  und  $Y$ : Ist die Amplitude dieses Partialtons grösser (bzw. kleiner) für  $x$  als für  $y$ , dann ist dies der Fall für alle Vergleiche von Spektren der beiden Vokale  $X$  und  $Y$ , welche die Bedingungen (i) und (ii) erfüllen.

### Kommentar

- Die grundlegende Idee des Ansatzes liegt in der Untersuchung der lautspezifischen spektralen Differenz von Vokalen in Bezug auf eine (vorgängige) maximale spektrale Ähnlichkeit, im Sinne eines "Vordergrund-Hintergrund-Verhältnisses" spektraler Energie.
- Die Hypothese geht von der theoretischen Voraussetzung aus, dass alle möglichen Varianten von Spektren eines Vokallautes bekannt sind.
- Die Hypothese gilt möglicherweise auch für "weichere" Bedingungen (i) und (ii), insbesondere für Vergleiche, die nur die Bedingungen (i) erfüllen.
- Die für eine experimentelle Prüfung erforderliche Anzahl von Spektren hängt vom jeweiligen Ausmass der spektralen Ähnlichkeit ab, d.h. von  $F_0$  und den zu vergleichenden Vokallauten (=der zu vergleichenden Zahl von Partialtönen).

### Erste empirische Ergebnisse / Folgerungen für die weitere Forschung

- Die Hypothese wurde anhand einer umfangreichen Sammlung von Vokalspektren getestet (Beschreibung der Sammlung vgl. paralleler Beitrag "Vokale und ihre physikalischen Merkmale I").
- Die Hypothese wurde deutlich bestätigt beim Vergleich von hinteren Vokalen.
- Für den Vergleich von Spektren hinterer und vorderer oder nur vorderer Vokale erwies sich die spektrale Variation der letzteren, und damit das Ausmass der spektralen Ähnlichkeit für verschiedene Vokale, als zu gross für das Experiment.
- Ziel der weiterführenden Forschung ist die Entwicklung eines Konzepts, dessen experimentelle Überprüfung unabhängig ist von  $F_0$  und den verglichenen Vokalen und damit auch unabhängig vom Ausmass der maximalen spektralen Ähnlichkeit.

### Implikationen für die Wahrnehmung von Vokalen

- Der Vokal könnte sich grundsätzlich als ein **Vordergrund-Hintergrund-Phänomen** erweisen.
- Nicht absolute Grössen (z.B. festliegende Resonanzfrequenzen), sondern **relationale Grössen** scheinen das physikalische Korrelat der Lautidentität darzustellen.
- Die Variation der Spektren eines Vokals könnten sich als prinzipiell zu gross erweisen, als dass von einem einzelnen Experiment (etwa einem einzelnen Synthese-Experiment) allgemeinen Folgerungen bezüglich der Perception der Vokale möglich sind.
- Auf Grund der Hypothese können Gesetzmässigkeiten für Filterexperimente erwartet werden: Werden Vokalklänge bei bestimmten Frequenzwerten gefiltert, so ändert die Lautidentität (was schon in den frühesten Syntheseexperimenten festgestellt wurde). Die Änderung muss aber nicht einheitlich sein: Wenn im einen Falle die Lautidentität von  $X$  nach  $Y$  ändert, kann sie im anderen Falle von  $X$  nach  $Z$  ändern. Solche **Eigenschaften der Lauttransformation** könnten einen äusserst bedeutsamen Aspekt der Vokale als Sprachlaute darstellen.

### Literatur:

MAURER, D. & KLINKERT, A. (1997): The spectral difference of different vowels - towards a new acoustical concept. Journal of the Acoustical Society of America, 101, 3112 (A).

### Adresse für Korrespondenz :

Dieter Maurer, Dr. phil. I  
Universitätsspital Zürich, Neurologische Klinik  
Neuropsychologische Abteilung  
Haldenbach D1 - CH-8091 Zürich  
Tel. : 41-1-255 55 71  
Fax : 41-1-255 44 29  
Email: dmaurer@npsy.unizh.ch  
Internet: <http://www.unizh.ch/neuro/Maurer/index.htm>