

# EINSATZ DER ELEKTROMAGNETISCHEN ARTIKULOGRAPHIE BEI DER ANALYSE LINGUALER SPRECHBEWEGUNGEN

*Philip Hoole*

Institut für Phonetik und Sprachliche Kommunikation

Ludwig-Maximilians-Universität, München

Schellingstr. 3

D-80799 Munich, Germany

hoole@phonetik.uni-muenchen.de

## 1. Einleitung

Stone (1991) hat die Zunge unlängst mit einem Tintenfisch verglichen. Die Zunge besitzt, wie die Tentakeln dieser Tiere, kein knöchernes Skelett. Dadurch, daß das Gewebe im wesentlichen unkomprimierbar ist, geht die Bewegung dieses Organs mit einer Verformung in allen drei räumlichen Dimensionen einher. Darüber hinaus muß berücksichtigt werden, daß erstens sprachlich relevante Bewegungen sehr klein sein können (ca. 1mm), und daß zweitens die Zunge für eine artikulatorische Untersuchung nicht sehr gut zugänglich ist. Aus dem Zusammenspiel dieser Faktoren ergibt sich, daß wir zur Zeit über keine Meßmethode verfügen, die es uns erlaubt, Zungenbewegungen in beliebiger zeitlicher und räumlicher Auflösung zu erfassen. Alle Methoden, sei es NMRI, Ultraschall, x-ray microbeam, Cineradiographie, Elektropalatographie, haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Die Elektromagnetische Artikulographie macht da keine Ausnahme. Das Grundprinzip der Methode ist in Abb. 1 skizziert (vgl. Perkell, Cohen, Svirsky, Matthies, Garabieta & Jackson, 1992; Hoole, 1996):

====

Abb. 1

====

Drei Senderspulen erzeugen ein elektromagnetisches Wechselfeld; aus der Stärke des in den Sensoren (z.B auf der Zunge) induzierten Signals kann die Entfernung des Sensors von den drei Sendern bestimmt werden. Hieraus kann wiederum die Position des Sensors im üblichen zweidimensionalen kartesischen Koordinatensystem abgeleitet werden.

Die Vorteile der Methode sind:

- Gute räumliche Auflösung (ca. 0.25mm unter optimalen Bedingungen)
- Gute zeitliche Auflösung (die Position jedes Sensors kann ohne weiteres mit 500Hz abgetastet werden)
- Die gewonnenen Daten sind (im Vergleich zu bildgebenden Verfahren) leicht zu verarbeiten. Insbesondere können die Ableitungen der Position nach der Zeit (Geschwindigkeit, Beschleunigung, "jerk") leicht ermittelt werden
- Die Methode eignet sich gut zur Untersuchung der Koordination beim Sprechen (z.B. Koordination von Kiefer und Zunge, Zunge und Lippen)
- Nach dem heutigen Kenntnisstand gesundheitlich unbedenklich. Dies ist mit ein Grund, daß ausgedehnte Untersuchungen (mehrere hundert Äußerungen in einer Sitzung) möglich sind

Als Nachteile wären zu nennen:

- Die Messungen sind vorläufig auf die mediosagittale Ebene beschränkt (wir arbeiten aber zur Zeit an einer dreidimensionalen Erweiterung der Meßmethode, vgl. Tillmann, Zierdt & Hoole, 1996)
- Die Zunge wird nicht vollständig (vor allem Einschränkungen im pharyngealen Bereich) and nicht als kontinuierliche Kontur erfaßt
- Setzt ein gewisses Maß an Kooperationsbereitschaft seitens des Probanden voraus

Was erhofft man sich in der Phonetik vom Einsatz einer solchen Meßmethode? Ganz generell geht es in der artikulatorischen Phonetik darum zu verstehen, wie der tatsächlich beobachtbare Sprechbewegungsablauf durch (mindestens) folgende Faktoren geprägt wird:

- Linguistik
- Motorik
- Biomechanik
- Aerodynamik

Nachdem wir nun seit einigen Jahren die Artikulographie routinemäßig einsetzen können, war es einerseits sehr fruchtbar aber andererseits sehr ernüchternd festzustellen, daß auch bei einfachen Lautsequenzen viele offenen Fragen bestehen, bezüglich des Zusammenspiels dieser Einflußgrößen.

Ich möchte jetzt versuchen diese Grundfragestellung der Phonetik (die unter dem Gesichtspunkt "Schauplatz Mund" hoffentlich auch von allgemeinerem Interesse ist) anhand zwei Gruppen von Beispielen zu erläutern, jeweils unter Berücksichtigung von Aspekten, die mittels Artikulographie besonders gut erfaßbar sind: Diese zwei Hauptabschnitte tragen die Überschriften "Die Zungenkonfiguration - statisch betrachtet" und "Der Artikulationsvorgang - dynamisch betrachtet".

## 2. Die Zungenkonfiguration - statisch betrachtet

In diesem Abschnitt ziehen wir das deutsche Vokalsystem als Untersuchungsgegenstand heran.

### 2.1 Linguistische Beschreibung vs. artikulatorische Beschreibung I

In Abb. 2 findet sich eine traditionelle Darstellung des deutschen Vokalsystems. Zunächst konzentrieren wir uns auf den besonders dicht belegten Bereich der hohen vorderen Vokale.

=====

Abb.2

=====

Ein solches Schema gibt den *auditiven* Eindruck recht gut wieder. Man geht oft stillschweigend davon aus, daß damit auch die artikulatorischen Verhältnisse wiedergegeben werden. Hier ist aber Vorsicht geboten. Betrachtet man die Vokale / i: /, / ɪ /, und / e: / (“bieten”, “bitten”, “beten”) so würde man sagen, daß / ɪ / höher liegt als / e: / . Abb. 3 zeigt eine Zusammenfassung der aus der Artikulographie ermittelten Zungenpositionen für diese Vokale. Es ist klar zu erkennen, daß / ɪ / deutlich tiefer liegt als / e: /.

=====

Abb. 3

=====

Nun, dieses Ergebnis ist nicht neu. E.A. Meyer (1907) hat Anfang des Jahrhunderts mittels Röntgenbildern ähnliche Beobachtungen gemacht. Dieser Hinweis auf Meyer führt uns aber zu einem klinisch sehr relevanten Punkt: Radiologische Methoden sind (immer noch) mit gesundheitlichen Risiken für den Probanden verbunden; solche Methoden sind also immer mit der Einschränkung behaftet, daß die Anzahl der damit zu gewinnenden Beobachtungen beschränkt ist. Dies führt wiederum dazu, daß es sehr schwierig sein kann, eine ausreichende Datenbasis zu schaffen, um entscheiden zu können, ob ein konkretes Sprechbewegungsmuster mit einer spezifizierbaren Wahrscheinlichkeit zum Normbereich gehört, oder ob es als pathologisch gelten muß. Wir sind eigentlich erst jetzt in der Lage - anhand der recht großen Anzahl von Lautäußerungen, die wir mittels Artikulographie erfassen können - belegen zu können, daß das in Abb. 3 dargestellte Ergebnis robust und reproduzierbar ist.

Diese statistische Betrachtungsweise brauchen wir aber nicht nur in Hinblick auf eine Einteilung in normal und pathologisch, sondern auch um überhaupt definieren zu können, was Sprecher kontrollieren wollen, wenn sie ihre Sprechorgane in Bewegung setzen. Dieser Gedankengang soll in den folgenden Beispielen noch etwas konkretisiert werden.

### 2.2 Linguistische Beschreibung vs. artikulatorische Beschreibung II

Nehmen wir das Vokalpaar / i: / und / y: / (z.B. “bieten” vs. “mühten”). Nach der üblichen

linguistischen Beschreibung unterscheidet sich dieses Paar durch das Merkmal +/- Rundung - also durch Aktivität der Lippen. Tatsächlich finden wir nicht nur dies, sondern auch einen klaren Unterschied in der *Zungenposition*. Abb.4 zeigt die Zungenkonfiguration für dieses Vokalpaar, sowie zur besseren Orientierung wieder den Vokal / ɪ /. Man stellt fest, daß / y: / deutlich tiefer liegt als / i: /, sogar näher bei / e: / als bei / i: /, wie der Vergleich mit Abb.3 zeigt.

=====

Abb. 4

=====

Auch dieses Ergebnis ist aus der Literatur als Einzelfall bekannt. Aber durch die entsprechende statistische Aufbereitung einer großen Anzahl von Äußerungen (auf die wir hier nicht näher eingehen) können wir zeigen, daß Sprecher den (beim ersten Blick nebensächlichen) Zungenpositionsunterschied genauso sorgfältig kontrollieren wie den naheliegenderen Lippenpositionsunterschied. Hier sollte nicht unerwähnt bleiben, daß das Paar / i: / vs. / y: / sich meistens auch in Hinblick auf die vertikale Position des Kehlkopfes unterscheidet. Eine auf der linguistischen Seite einfache Opposition wird also auf der motorischen Seite von einem ganzen Bündel an Bewegungselementen getragen.

### **2.3 Keine Artikulationstheorie ohne Berücksichtigung der artikulatorischen Variabilität I**

Unter dem Stichwort 'Coarticulation' ist eine kaum zu überblickende Anzahl an experimentellen Studien in der Phonetik durchgeführt worden (vgl. Hardcastle & Hewlett, in press). In der Regel soll dabei analysiert werden, wie benachbarte Laute sich gegenseitig beeinflussen, wenn sie im Wort- oder Satzzusammenhang gesprochen werden. Trotz der überaus reichhaltigen Literatur haben wir einige sehr einfachen Regelmäßigkeiten erst in jüngster Zeit entdecken können - eben weil die Möglichkeit Zungenbewegungen im größeren Umfang zu messen bis jetzt gefehlt hat. Ein Beispiel hierzu ist in Abb. 5 dargestellt. Die Abbildung zeigt für den Vokal / e: / die durchschnittliche Zungenkonfiguration (anhand von vier Meßpunkten auf der Zunge) wenn der Vokal mehrfach wiederholt in den konsonantischen Kontexten / t e: t / und / k e: k / gesprochen wird.

Man beachte, daß die Unterschiede zwischen den Zungenkonfigurationen innerhalb des einzelnen Phonems / e: / in der gleichen Größenordnung liegen wie die Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Phonemen / i: / und / e: / in Abb. 3.

Überraschender ist aber die Tatsache, daß die Zungenposition für / e: / weiter hinten liegt im t-Kontext als im k-Kontext - obwohl / t /, nach der traditionellen phonetischen Anordnung der Artikulationsstelle, weiter vorne gebildet wird als / k /, und demnach vielleicht zu erwarten wäre, daß / t / sich koartikulatorisch auf / e: / durch eine Vorverlagerung des Vokals auswirken würde.

=====

Abb. 5

=====

Im nachhinein läßt sich diese Beobachtung wahrscheinlich auf einfache Weise erklären. Für / t / muß die Zungenspitze angehoben werden; um Platz im vorderen Mundraum für diese Anhebung zu gewinnen wird der Zungenkörper etwas zurückverlagert. Vor allen Dingen soll dieses Beispiel zeigen, daß man nicht unkritisch von traditionellen phonetischen Schematisierungen auf den tatsächlichen Sprechbewegungsablauf schließen darf.

#### **2.4 Keine Artikulationstheorie ohne Berücksichtigung der artikulatorischen Variabilität II**

Die nächste Frage zum Thema Variabilität kann noch einfacher gestellt werden: Variieren alle Laute gleich stark, wenn sie mehrfach wiederholt und in unterschiedlichen lautlichen Umgebungen gesprochen werden? Und wenn nicht, warum nicht? Dies ist auch ein Aspekt, der in traditionellen Beschreibungen der Lautbildung nicht berücksichtigt wird, der aber bei einer physiologisch realistischen Theorie der Artikulation erfaßt werden sollte. Zur Veranschaulichung zeigt die Abb. 6 eine Gegenüberstellung von zwei Vokalpaaren (wobei jedes Paar aus einem Langvokal und dem entsprechenden Kurzvokal besteht), nämlich / e: / vs. / e / (vordere Vokale) und / u: / vs. / u / (hintere Vokale). Die großen Ellipsen zeigen den Verteilungsbereich jedes einzelnen Sensors, der etwa 90% der Gesamtanzahl der Realisationen für den jeweiligen Vokal einschließt. Die Buchstaben "P", "T" und "K" innerhalb der Ellipsen deuten die durchschnittliche Position des Vokals in den einzelnen Konsonantenkontexten an.

=====

Abb. 6

=====

Ein erstes Ergebnis kommt klar zum Vorschein, und ist eigentlich auch nicht weiter überraschend: die jeweiligen Kurzvokale ( / e /, / u / ) variieren mehr also die entsprechenden Langvokale ( / e: /, / u: / ). Das liegt wohl einfach daran, daß sie kürzer sind; d.h. die motorische Aktivität für diese Vokale wird stärker von der motorischen Aktivität der benachbarten Konsonanten überlagert. Ein zweites Ergebnis erfordert etwas mehr Diskussion: Die hinteren Vokale variieren mehr als die vorderen. Das kann zum einen daran liegen, daß die hohen vorderen Vokale wie / i: / und / e: /, die ja sehr nah am harten Gaumen gebildet werden, den harten Gaumen gewissermaßen als Stütze ausnutzen können, um eine stabile Vokaltraktkonfiguration zu erreichen. Bei den hinteren Vokalen fällt auf, daß der Vorderzungensbereich besonders variabel ist. Vermutlich lernt der Sprecher im Laufe der Sprachentwicklung, daß eine relativ variable Position der Zungenspitze doch keine allzu

nachteiligen akustischen Auswirkungen bei Hinterzungenvokalen nach sich zieht, lernt also, daß bei diesen Vokalen die Zungenspitze nicht so präzise kontrolliert werden muß.

Ähnliche Phänomene haben wir auch bei der Konsonantenartikulation untersucht. Bei den alveolaren Konsonanten des Deutschen, beispielsweise, findet man typischerweise, daß / s / und / t / relativ geringe Variabilität aufweisen, / n / und / l / dagegen relative große (Hoole, 1996b, S.36). Der Grund für diese Unterschiede liegt wohl wieder in den unterschiedlich starken akustischen (und aerodynamischen) Auswirkungen der artikulatorischen Variabilität.

Die in diesem Abschnitt angesprochenen Fragestellungen sind im Kern sehr einfach (wenn auch bis jetzt keineswegs erschöpfend beantwortet), sind aber sowohl auf der theoretischen Seite relevant (wie funktioniert sprechmotorisches Lernen?) als auch auf der praktischen, wenn es im klinischen Bereich darum geht, sprechmotorische Aufgaben zu definieren und die erbrachten motorischen Leistungen in Hinblick auf die Pathologie zu analysieren.

## **2.5 Zur internen Organisation von Zungenkonfigurationen**

Dieses Thema könnte aus vielen verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden. Hier greife ich nur einen Aspekt auf: Die Zunge besteht aus einer Vielzahl intrinsischer und extrinsischer Muskeln, hat also potentiell sehr viele Freiheitsgrade. Wie werden diese vielen Bewegungsmöglichkeiten funktional zu einigen wenigen Bausteinen (Synergien) zusammengefaßt, um das Kontrollproblem (bezogen auf eine konkrete Aufgabe, im vorliegenden Fall die Vokalartikulation) zu vereinfachen.

Für die folgende Analyse wurde anhand des Mikrofonsignals der zeitliche Mittelpunkt jedes aufgenommenen Vokals bestimmt. Die diesen Zeitpunkten entsprechenden artikulographischen Meßwerte wurden ausgewählt. Unsere Rohdaten für die Vokalartikulation bestanden also für jeden gemessenen Vokal aus acht Werten: Vier Meßpunkte auf der Zunge mal jeweils zwei Ortskoordinaten (x und y). Mittels des statistischen Verfahrens der Faktorenanalyse<sup>1</sup> können wir auf der Basis der Kovariationsmuster in diesen Rohdaten eine wesentliche kleinere Anzahl von 'Grundbausteinen' extrahieren. Für die Vokalartikulation stellen wir fest, daß zwei Basismuster ausreichen, um alle vorkommenden Zungenkonfigurationen gut zu erfassen.

Der erste von diesen beiden Faktoren läßt sich folgendermaßen charakterisieren (vgl. Abb. 7, oben).

=====

Abb. 7

=====

---

<sup>1</sup>hier in einer besonderen Variante namens PARAFAC, die von R. Harshman in UCLA entwickelt wurde (vgl. Harshman, Ladefoged & Goldstein, 1977)

Bei stark negativen Werten entsteht eine Zungenkonfiguration (in der Abbildung mit “1-“ markiert), die für tiefe hintere Vokale ([ o ], [ a ]) typisch ist. Bei zunehmend positiven Werten bewegt sich die Zunge nach vorne und nach oben, und nimmt in etwa die für [ i ] charakteristische Form ein (Konfiguration mit “1+“ markiert).

Beim Durchvariieren des zweiten Faktors (Abb. 7, unten) bewegt sich die Zunge vor allem waagrecht von hinten nach vorne, aber auch leicht nach unten (in etwa von [ u ] nach [ ε ]). Aus diesen Faktoren ergibt sich ein Modell, das es erlaubt, alle Vokalkonfigurationen als gewichtete Summe dieser zwei Grundkonfigurationen darzustellen. Sie bilden die zwei Achsen eines artikulatorisch definierten Vokalraums.

Mit dieser Methode wird eine sehr nützliche Datenreduktion erreicht; noch schöner wäre es, wenn die zwei Grundkomponenten auch physiologisch interpretiert werden könnten. Das ist möglicherweise auch der Fall. Maeda & Honda (1994) haben eine ähnliche artikulatorische Analyse durchgeführt, wie die hier skizzierte, haben aber zusätzlich die entsprechende Muskelaktivität der extrinsischen Zungenmuskulatur mittels Elektromyographie erfaßt. Die Zunge, als motorisches System betrachtet, ist insofern sehr interessant als eine klare Einteilung der Muskulatur in Agonisten und Antagonisten nicht vorliegt. Maeda und Honda stellten aber für die Vokalartikulation empirisch fest, daß mm. genioglossus posterior und hyoglossus zusammen ein Agonist-Antagonist-Paar bilden, während mm. Genioglossus anterior und styloglossus ein zweites solches Paar bilden. Diese zwei physiologisch definierten Achsen lassen sich erstaunlich zwanglos den Polen unserer zwei rein artikulatorisch definierten Grundkomponenten zuordnen:

	Positiv	Negativ
Faktor 1	genioglossus posterior	hyoglossus
Faktor 2	styloglossus	genioglossus anterior

Es spricht also einiges dafür, daß die Kontrolle der Vokalartikulation um diese zwei Grundkomponenten herum organisiert wird, daß sie also mehr sind als ein rein statistisches Konstrukt.

Übrigens: Die Wirkung des m. genioglossus posterior stellt ein sehr schönes Beispiel für das eingangs erwähnte Prinzip der Bewegung durch Verformung dar. Von der anatomischen Anordnung her ist es natürlich nicht so, daß dieser Muskel die Zunge direkt nach oben/vorne zieht. Die Bewegung der Zunge nach oben entsteht erst durch die Komprimierung der Zunge in Längsrichtung durch diesen Muskel.

### **3. Der artikulatorische Vorgang - dynamisch betrachtet**

### 3.1 Auswirkungen der Aerodynamik auf die Bewegungsbahn

Das erste Beispiel soll noch mal verdeutlichen, daß es auch bei einfachen Lautsequenzen schwierig sein kann, genau anzugeben, welche Einflußgrößen bei der Entstehung der empirisch beobachtbaren Bewegungsbahnen eine Rolle gespielt haben.

Hier wollen wir die Zungebewegung unter die Lupe nehmen, die entsteht, wenn ein velarer Konsonant (z.B / **k** / oder / **g** /) zwischen hinteren Vokalen (z.B / **u** /, / **o** /, / **a** /) artikuliert wird. In Abb. 8 ist die Bewegung eines Sensors auf dem Zungenrücken für die Lautsequenz / **ogo** / dargestellt.

=====

Abb. 8

=====

Die einfache Frage lautet: Warum ist die Bewegungsbahn von / **o** / hin zu / **g** / nicht mit der Bewegungsbahn von / **g** / zurück nach / **o** / identisch; warum ist die Bewegungsbahn kreisförmig oder elliptisch? Hier könnte eine Reihe von Möglichkeiten diskutiert werden (s. Mooshammer, Hoole & Kühnert, 1995). Am wahrscheinlichsten ist, daß die komplizierte Anordnung der Zungemuskeln und deren mechanische Wirkung es manchmal einfach nicht erlauben, genau entgegengesetzte Zugrichtungen zu definieren. Denkbar ist aber auch, daß der Überdruck im Mundraum während der Plosivbildung die Zunge nach vorne schiebt (bei solchen elliptischen Bewegungsbahnen ist die Bewegungsrichtung während des Konsonanten nämlich immer nach vorne). Wenn wir ein vollständiges Modell der Sprachproduktion besitzen würden (mit den oben erwähnten Komponenten Linguistik, Physiologie, Biomechanik, Aerodynamik), könnte man solche Fragen direkt beantworten. Das ist aber nicht einmal annähernd der Fall. Deswegen mußten wir das Problem experimentell angehen (vgl. Hoole, Munhall & Mooshammer, accepted). Das Experiment war sehr einfach, wenn auch von den Sprecheraufgaben her sicher ein wenig seltsam. Die Sprecher mußten die relevanten Lautsequenzen nicht nur auf dem normalen egressiven Luftstrom sondern auch auf einem ingressiven Luftstrom. Dies sollte zu einer ziemlich drastischen Änderung der Druckverhältnisse im Mundraum während der konsonantischen Verschußphase führen. Abb. 9 stellt genau die gleiche Lautsequenz wie in Abb. 8 dar, jedoch wurde sie hier auf einem ingressiven Luftstrom gesprochen.

=====

Abb. 9

=====

Ein Unterschied in der Bewegungsbahn ist klar zu erkennen; die Vorwärtsbewegung der Zunge fällt im ingressiven Fall deutlich geringer aus, ist aber nicht vollständig aufgehoben. Die aerodynamischen Verhältnisse im Vokaltrakt scheinen also durchaus einen Einfluß auf die Zungenbewegungsbahn auszuüben, sind aber wohl nicht alleine für die Entstehung von elliptischen Bewegungsbahnen verantwortlich, weil die Bewegungsrichtung im ingressiven Fall

nicht einfach umgedreht wird.

Sprechen auf ingressivem Luftstrom ist natürlich an sich von höchstens paralinguistischer Bedeutung, kann aber im vorliegenden Fall sehr gut als Hilfsmittel dienen, um das Ineinandergreifen verschiedener Faktoren bei der Entstehung von Sprechbewegungen aufzeigen zu können.

### **3.2 Zur zeitlichen Organisation der Vokalartikulation**

Als zweites Beispiel in diesem Abschnitt kommen wir kurz auf die deutsche Vokalartikulation zurück. Bei der phonologischen Analyse von Vokaloppositionen wie / iː / vs. / ɪ / (manchmal als “gespannt” vs. “ungespannt”, oder einfach “lang” vs. “kurz” bezeichnet) gibt es eine lange Tradition, die diese Opposition nicht so sehr lautintrinsisch, sondern vielmehr prosodisch sieht, und zwar konkret in der Art der Verbindung des Vokals mit dem Folgekonsonanten. Dies ist insofern ganz plausibel als die kurzen (ungespannten) Vokale sich eindeutig von den langen dadurch unterscheiden, daß sie nur in geschlossenen Silben vorkommen können (und als isolierter Laut im Deutschen gar nicht existieren). Diese Konzeption der Verbindung von Vokal und Konsonant drückte sich dann in impressionistischen Beschreibungen wie “fester Anschluß” oder “scharfer Silbenschnitt” für die kurzen, ungespannten Vokale bzw. “loser Anschluß”/“sanfter Silbenschnitt” für die langen Vokale aus. Es erwies sich aber als sehr schwer, ein experimentalphonetisch fundiertes artikulatorisches Korrelat für diese Vorstellung zu finden. Wir glauben jetzt aber, daß unsere artikulographischen Messungen eine recht vielversprechende Möglichkeit eröffnet haben, relevante Unterschiede an meßbaren Eigenschaften des Sprechbewegungsablaufs dingfest zu machen. Insbesondere aus der Analyse der *Beschleunigung* der beteiligten Artikulatoren, die ja eng mit dem physiologischen Kraftaufwand zusammenhängt, ergab sich folgendes Bild (bezogen auf die Artikulation von einfachen Konsonant-Vokal-Konsonant-Silben): Bei den Kurzvokalen scheint ein enges Aneinanderkoppeln der elementaren Bewegungselementen “Konsonant nach Vokal” und “Vokal nach Konsonant” vorzuliegen; bei den Langvokalen hingegen scheint diese “Koppelung” deutlich lockerer zu sein. Diese auf der motorischen Ebene definierbaren Eigenschaften fügten sich also gut in den auf der linguistischen Ebene geprägten Begriff des festen und losen Anschlusses. Für weitere Einzelheiten zu den linguistischen Hintergründen sowie zu den kinematischen Analysen sei auf Kroos, Hoole, Kühnert & Tillmann (1997) verwiesen.

### **3.3 Lautänderungen in der fließenden Rede: Kognitive vs. motorische Prozesse**

Im dritten und letzten Beispiel geht es um ein weiteres zentrales Thema der Phonetik, nämlich die Frage nach welchen Gesetzmäßigkeiten Wortformen in der fließenden Rede modifiziert werden.

Nehmen wir als Beispiel die Phrase “zu Bett gehen”. Ein für das Deutsche sehr gut

dokumentierter Prozeß besagt, daß bei schnellem Sprechen ein / t / im Auslaut (hier das / t / von "Bett") sich an die Artikulationsstelle des folgenden Konsonanten angleicht (regressive Assimilation). Die Phrase "zu Bett gehen" könnte also mit der Phrase "zu Beck gehen" zusammenfallen. Auf welcher Ebene des Sprachproduktionsprozesses erfaßt man ein solches Zusammenfallen? Hierzu gibt es zwei konträre Vorstellungen. Die erste könnte man "kognitiv" nennen: Deutsche Sprecher verfügen über eine Regel, die festlegt wann ein / t / durch ein / k / ersetzt werden darf. Die zweite Vorstellung könnte man "motorisch" nennen: Sie versucht ohne kognitive Operationen auszukommen, indem sie davon ausgeht, daß viele Lauttilgungen oder Lautänderungen sich einfach durch verstärktes Überlappen der einzelnen Bewegungselemente bei schnellem Sprechen erklären lassen. Beim Beispiel "zu Bett gehen" wäre die Hypothese, daß das / t / vielleicht nicht hörbar ist, daß die für / t / typische Bewegung der Zungenspitze dennoch stattfindet, nur daß diese Bewegung von der Zungenrückenbewegung für / k / zeitlich so stark überlagert wird, daß sie verdeckt wird (Browman & Goldstein, 1990).

Um zwischen diesen zwei grundverschiedenen Auffassungen entscheiden zu können, kommt man nicht umhin, den Sprechbewegungsablauf systematisch auszumessen. Dies hat Kühnert (1996) mittels Artikulographie für englische und deutsche Sprecher gemacht. Auf die Ergebnisse dieser Arbeit im einzelnen einzugehen würde jetzt zu weit führen, zumal die Datenlage, wie so oft, weder die eine noch die andere Hypothese eindeutig bestätigt, bzw. die Möglichkeit eines "sowohl als auch" nahelegt.

#### **4. Schlußbemerkungen**

Von diesem letzten Beispiel können wir jetzt zu einigen allgemeinen Schlußbemerkungen überleiten. Entscheidend für ein besseres Verständnis der Sprachproduktion im allgemeinen ist ein besseres Verständnis des Ineinandergreifens der beteiligten Teilprozesse, von der kognitiven Ebene bis hin zu der biomechanischen. Dies wiederum setzt die Möglichkeit voraus, Sprechbewegungen im erforderlichen Umfang erfassen und analysieren zu können. In diesem Beitrag haben wir versucht aufzuzeigen, wie die elektromagnetische Artikulographie im Rahmen dieses Bemühens gezielt eingesetzt werden kann. Den Stärken der Methode entsprechend, wurden zwei Aspekte in den Vordergrund gestellt: Einerseits Aussagen, die aus einer Analyse der der Sprachproduktion inhärenten Variabilität hervorgehen, andererseits Ergebnisse zu der zeitlichen Strukturierung von Sprechbewegungen. Als Zukunftsperspektive sei schließlich angemerkt, daß die zur Zeit in unserem Institut durchgeführten technischen Entwicklungen es demnächst erlauben dürften, die Beschränkung der Messungen auf die mediosagittale Ebene aufzuheben, und somit dem Sprechbewegungsablauf als dreidimensionalem Gebilde noch besser gerecht zu werden.

## Literatur

(FIPKM = Forschungsberichte des Instituts für Phonetik und Sprachliche Kommunikation, München)

Browman, C. & Goldstein, L. (1990). "*Tiers in articulatory phonology with some implications for casual speech*", in J. Kingston & M. Beckman (eds) *Papers in laboratory phonology I*, pp. 341-376. Cambridge, CUP.

Hardcastle, W.H. and Hewlett, N. (eds.), *Coarticulation: Theoretical and Empirical Perspectives*. Cambridge University Press (in press)

Harshman, R., Ladefoged, P., and Goldstein, L. (1977). *Factor Analysis of Tongue Shapes*, J. Acoust. Soc. Am. 62, 693- 707.

Hoole, P. (1996a). "*Issues in the acquisition, processing, reduction and parameterization of articulographic data*", FIPKM, 34, 158-173.

Hoole, P. (1996b). "*Theoretische und methodische Grundlagen der Artikulationsanalyse in der experimentellen Phonetik*", FIPKM, 34, 3-156.

Hoole, P., Munhall, K. & Mooshammer, C. *Do air-stream mechanisms influence tongue movement paths?* *Phonetica* (accepted for publication).

Kohler, K. (1990). *Illustrations of the IPA. German*. J. Int. Phon. Assoc., 20(1), 48-50.

Kroos, C., Hoole, P., Kühnert, B. & Tillmann, H.G. (1997). *Phonetic Evidence for the Phonological Status of the Tense-Lax Distinction in German*. FIPKM, 35, 17-25.

Kühnert, B. (1996). *Die alveolare-velare Assimilation bei Sprechern des Deutschen und des Englischen: Kinematische und Perzeptive Grundlagen*. FIPKM, 24, 175-392.

Maeda, S. & Honda, K. (1994). "*From EMG to formant patterns of vowels: The implication of vowel spaces*". *Phonetica*, 51, 17-29.

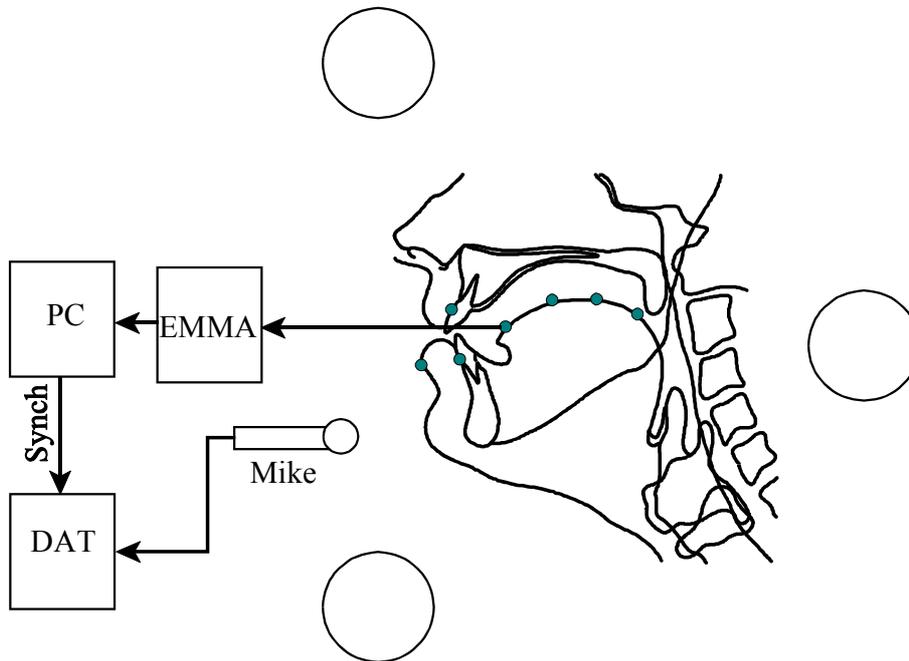
Meyer, E.A. (1907). "*Röntgenographische Lautbilder*". *Monatsschrift für die gesamte Sprachheilkunde*, 17, 225-243.

Mooshammer, C., Hoole, P. & Kühnert, B. (1995). *On loops*. *J. Phonetics*, 23: 3-21.

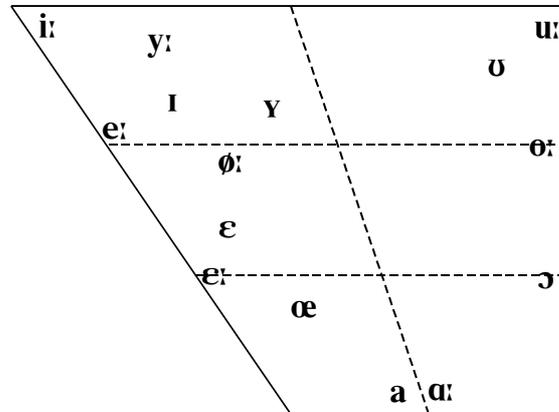
Perkell, J., Cohen, M., Svirsky, M., Matthies, M., Garabieta, I. & Jackson, M. (1992). "*Electromagnetic midsagittal articulometer (EMMA) systems for transducing speech articulatory movements*", *JASA*, 92, 3078-3096.

Stone, M. (1991). "*Towards a model of three-dimensional tongue movements*". *J. Phonetics*, 19:309-320.

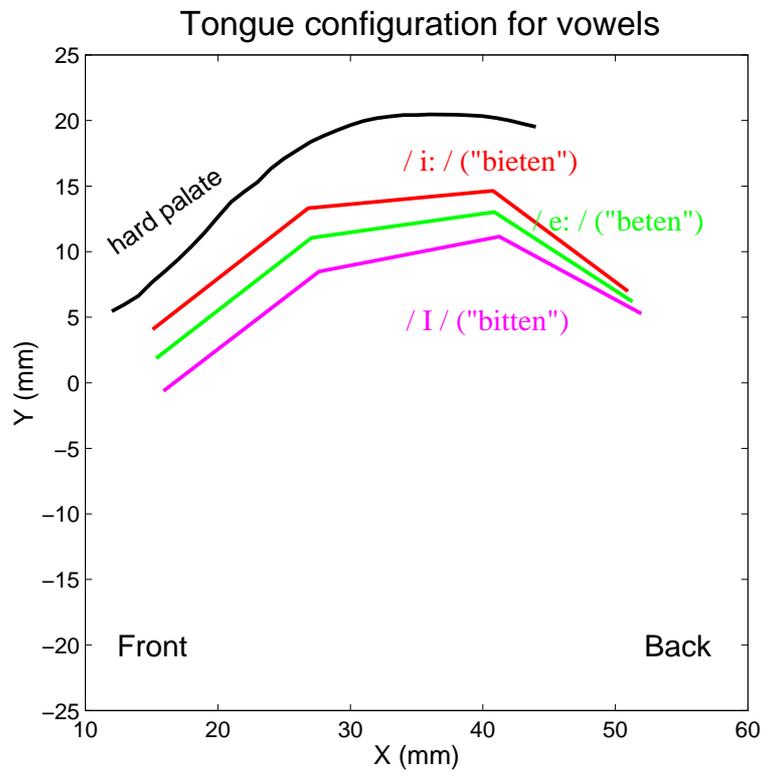
Tillmann, H.-G., Zierdt, A. and Hoole, P. (1996). "*Towards a three-dimensional articulographic system*". *J. Acoust. Soc. Am.* 100(4), 2662 (A).



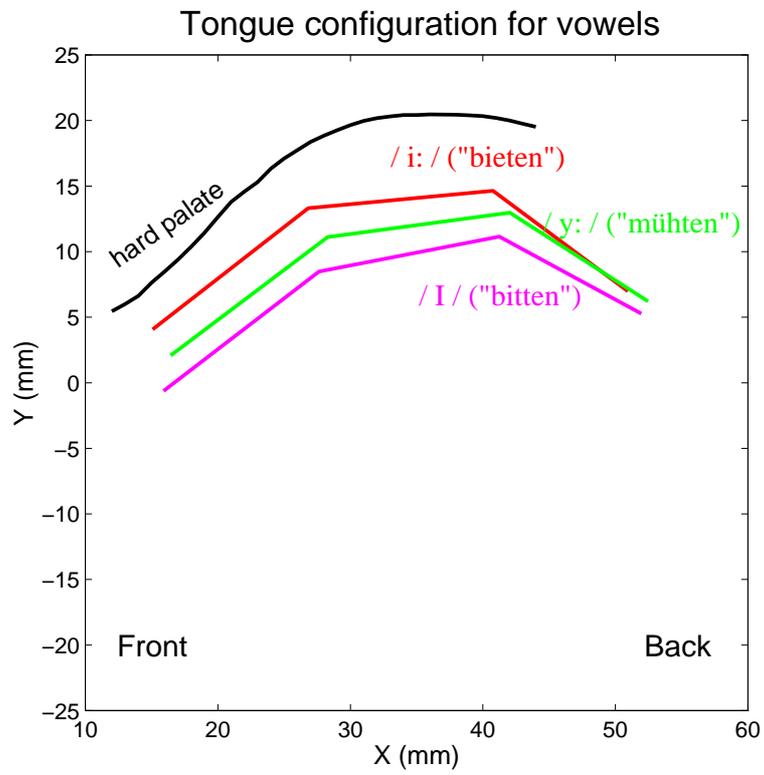
**Abb. 1:** Typische Versuchsanordnung für die elektromagnetische Artikulographie. Senderspulen durch große Kreise im Bereich von Stirn, Kinn und Nacken dargestellt; Empfangsspulen durch kleine Kreise an Zunge, Unterlippe, Unter- und Oberkiefer.



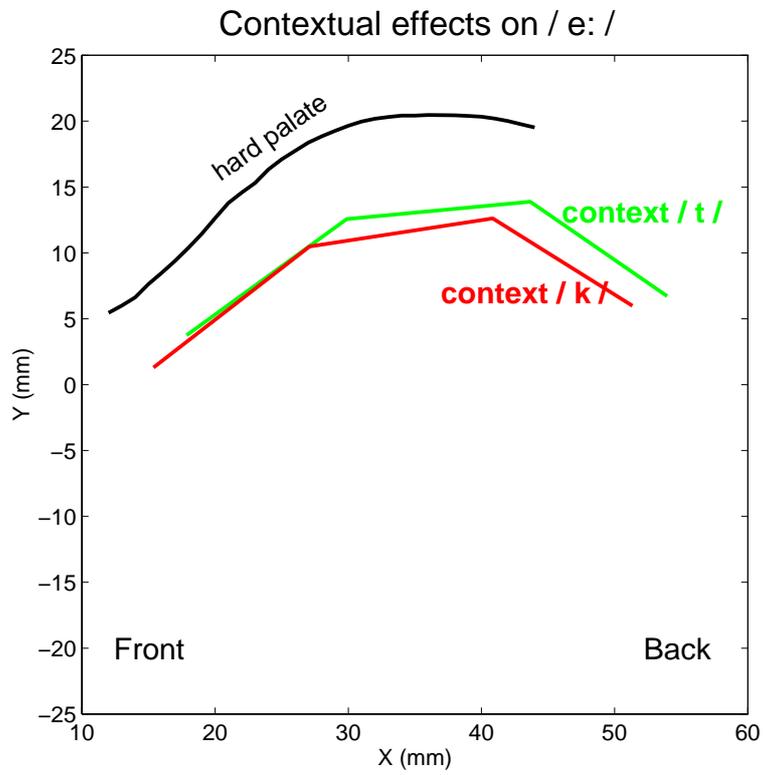
**Abb. 2:** Darstellung des deutschen Vokalsystems (ohne Diphthonge und schwa). In Anlehnung an Kohler, 1990.



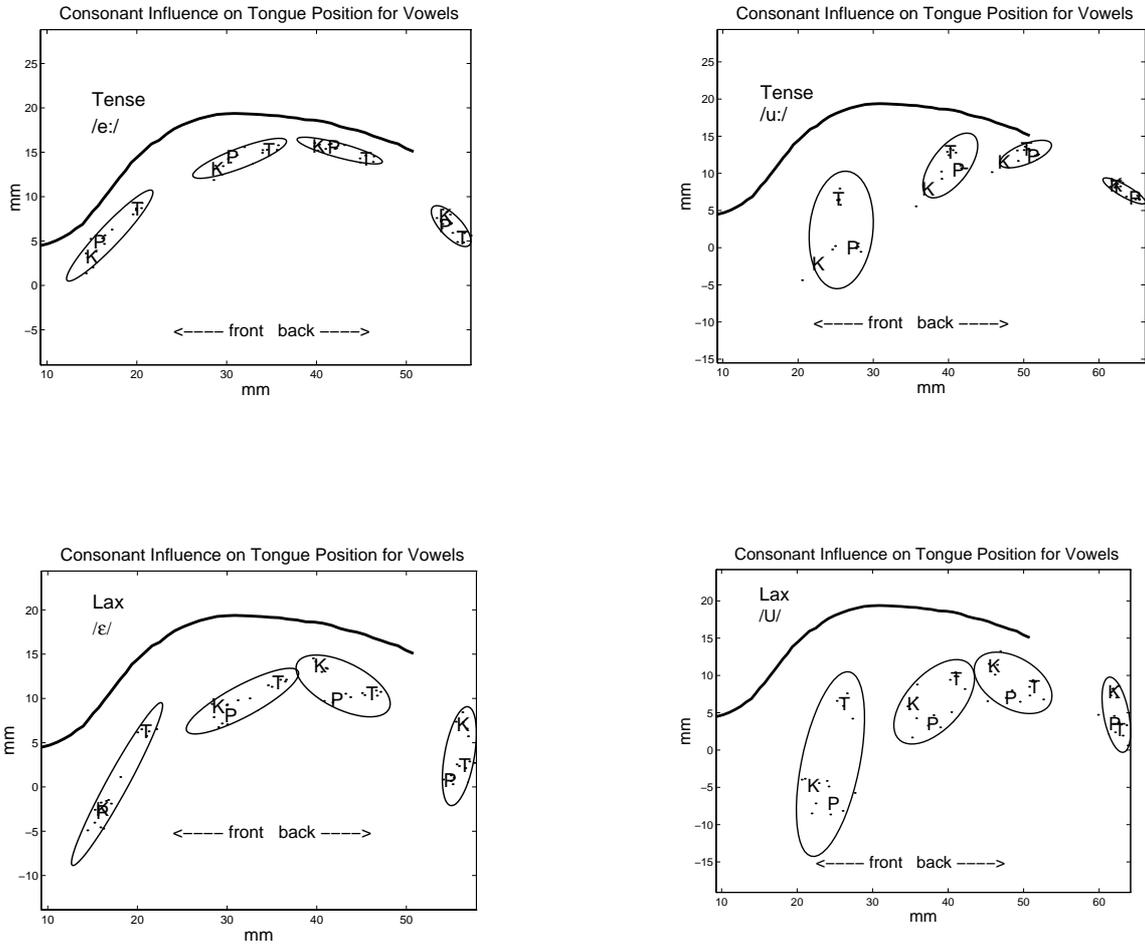
**Abb. 3:** Durchschnittliche Zungenposition für die Vokale / i: /, / ɪ / und / e: /.



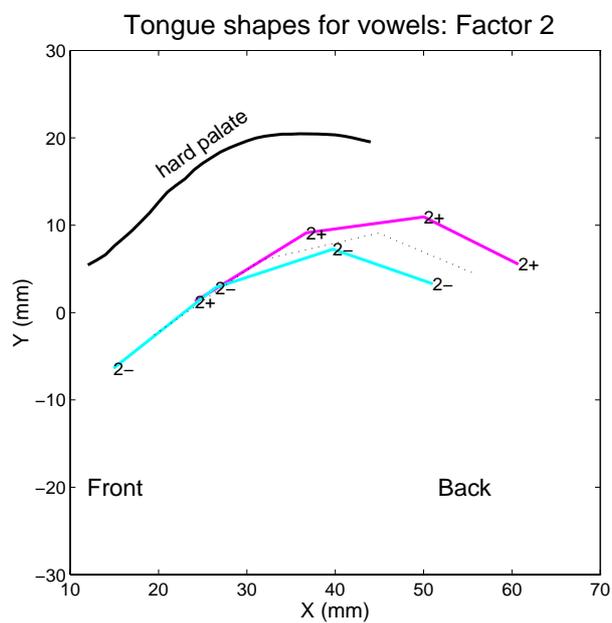
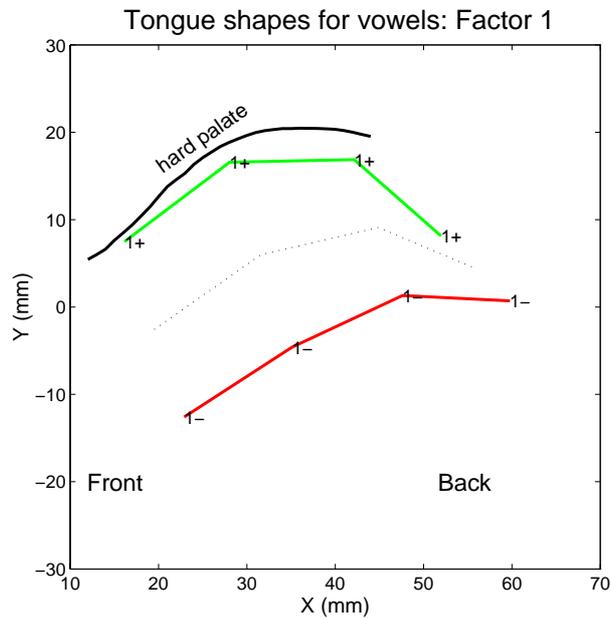
**Abb. 4:** Durchschnittliche Zungenposition für die Vokale / i:/, / y:/ und / ɪ/.



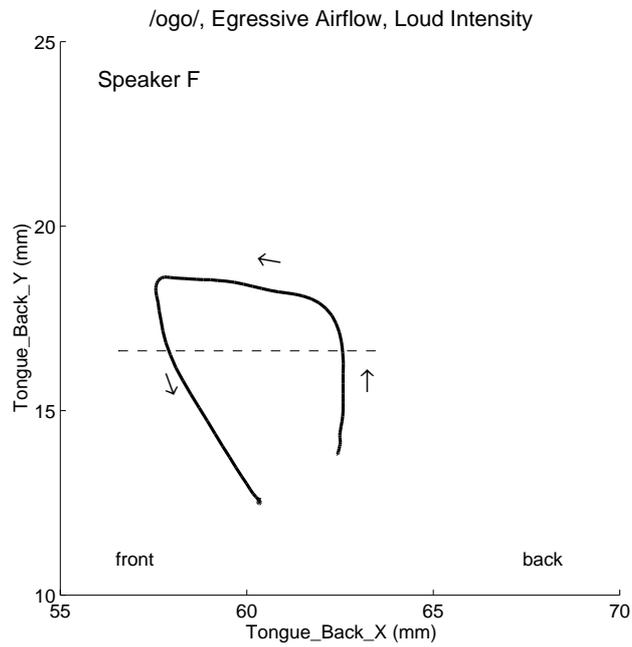
**Abb. 5:** Durchschnittliche Zungenposition für den Vokal / e: / in den konsonantischen Kontexten / t / und / k /.



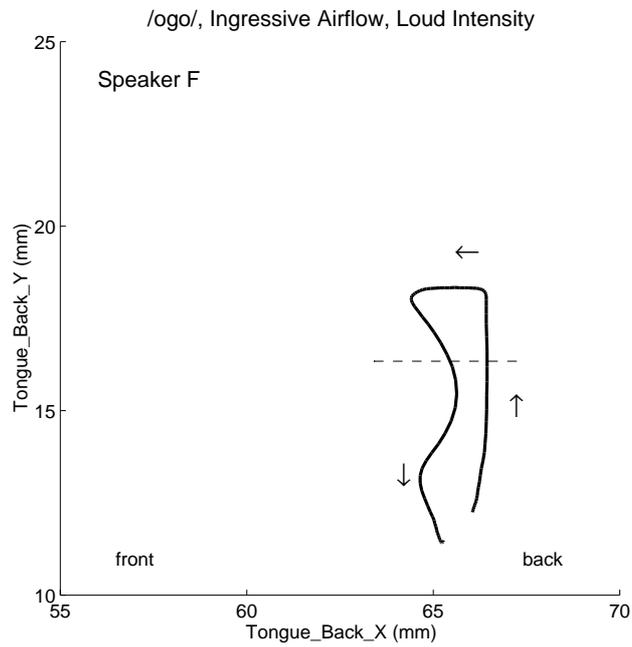
**Abb. 6:** Verteilungsbereiche der vier Zungensensoren bei mehrfacher Wiederholung der Vokale / e : / (links oben), / ɛ / (links unten), / u : / (rechts oben) und / ʊ / (rechts unten). Weitere Einzelheiten im Text.



**Abb. 7:** Zungenkonfigurationsmuster, die anhand einer Faktorenanalyse ermittelt wurden. Die durchgezogenen Linien zeigen die resultierenden Zungenkonfigurationen, wenn die Faktorladungen auf  $\pm 2$  Standardabweichungen gesetzt werden. Die gestrichelte Linie zeigt den Gesamtmittelwert aller Zungenkonfigurationen.



**Abb. 8:** Bewegungsbahn des Zungenrückens für die Lautsequenz / **ogo** /



**Abb. 9:** Bewegungsbahn des Zungenrückens für die Lautsequenz / **ogo** /, auf ingressivem Luftstrom gesprochen