

# Physiologische Phonetik

## Zunge

### A. Anatomie

Die extrinsische Zungenmuskulatur

Die intrinsische Zungenmuskulatur

Ergänzende anatomische Darstellungen

Systematik der Bewegungs- und Verformungsmöglichkeiten der Zunge

## B. Funktion

Muster am Gaumen (Doppelartikulation, Koartikulation)

Kernspinanalyse der Vokalartikulation

Entwicklung des Begriffs “**Areafunktion**”. Die Verbindung zwischen Artikulation und Akustik

Zungenbewegungen in fließender Rede

Koordination von Zunge und Kiefer in der Vokalartikulation (am Beispiel der gespannten und ungespannten Vokale des Deutschen)

# **Bewegung durch Verformung**

## Die extrinsische Zungenmuskulatur

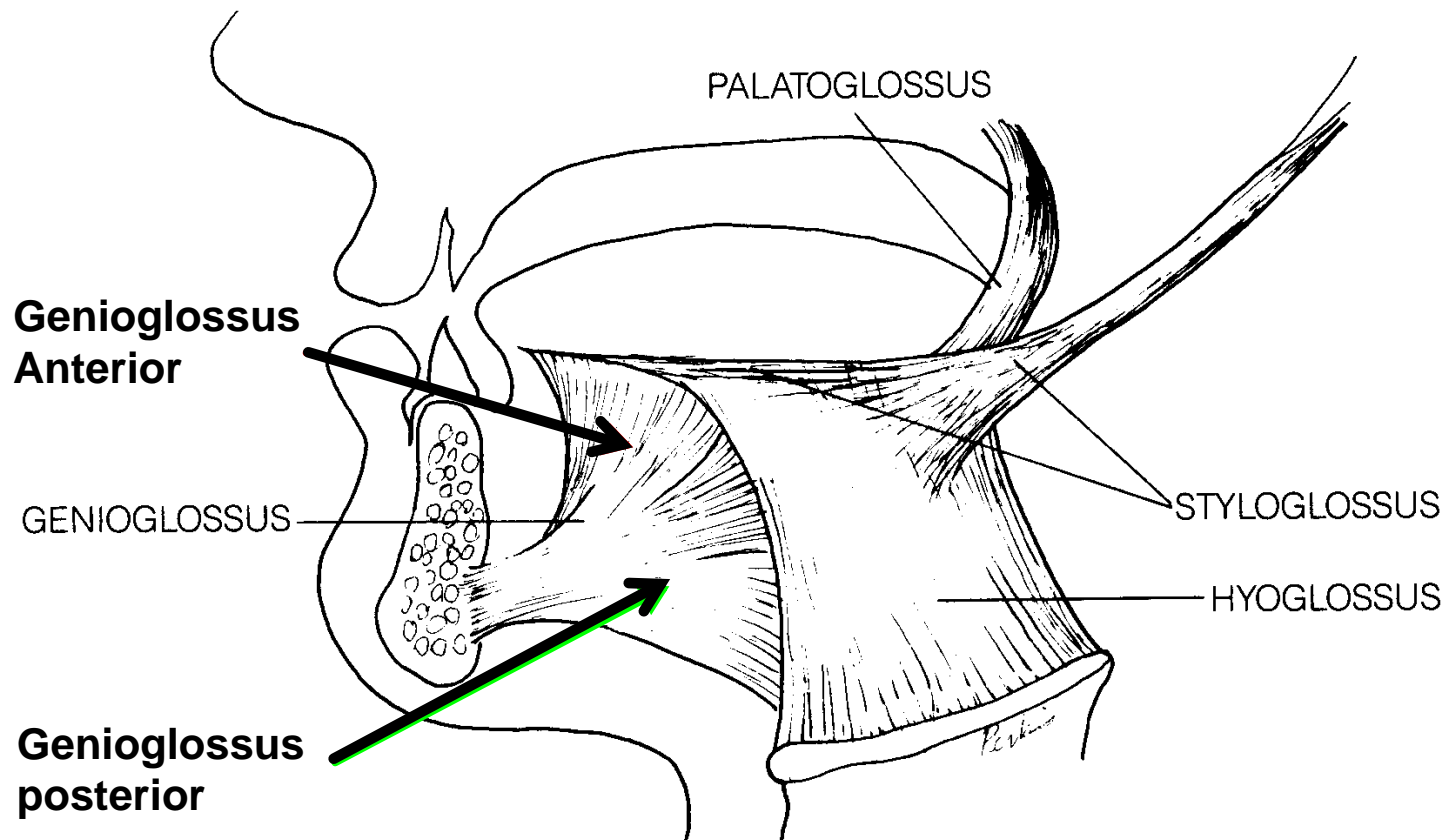
Wie beim Kehlkopf unterscheiden wir zwischen *intrinsischen* und *extrinsischen* Muskeln.

Im Gegensatz zum Kehlkopf fangen wir mit den extrinsischen Muskeln an.

Wir versuchen, die wichtigsten extrinsischen Zungenmuskeln den Eckvokalen /i/, u/ und /a/ zuzuordnen.

(Palatoglossus kann aus folgenden Überlegungen ausgeklammert werden)

FIGURE 6-14  
EXTRINSIC TONGUE MUSCLES



Für /u/ und /a/ ist folgende grobe Zuordnung relativ naheliegend:

Styloglossus: /u/

Hyoglossus: /a/

Aber für /i/?

Es gibt ja keinen Muskel, der vom harten Gaumen aus die Zunge nach oben zieht.

Durch Kontraktion des M. Genioglossus Posterior kann diese Wirkung erzielt werden:

Die Zunge wird in Längsrichtung “zusammengequetscht”; das Zungengewebe verlagert sich nach oben.

Folge: bei /i/ findet man gleichzeitig eine Engebildung im palatalen Bereich und einen weiten Rachenraum.

Eine weitere Besonderheit der Zungenmuskulatur:

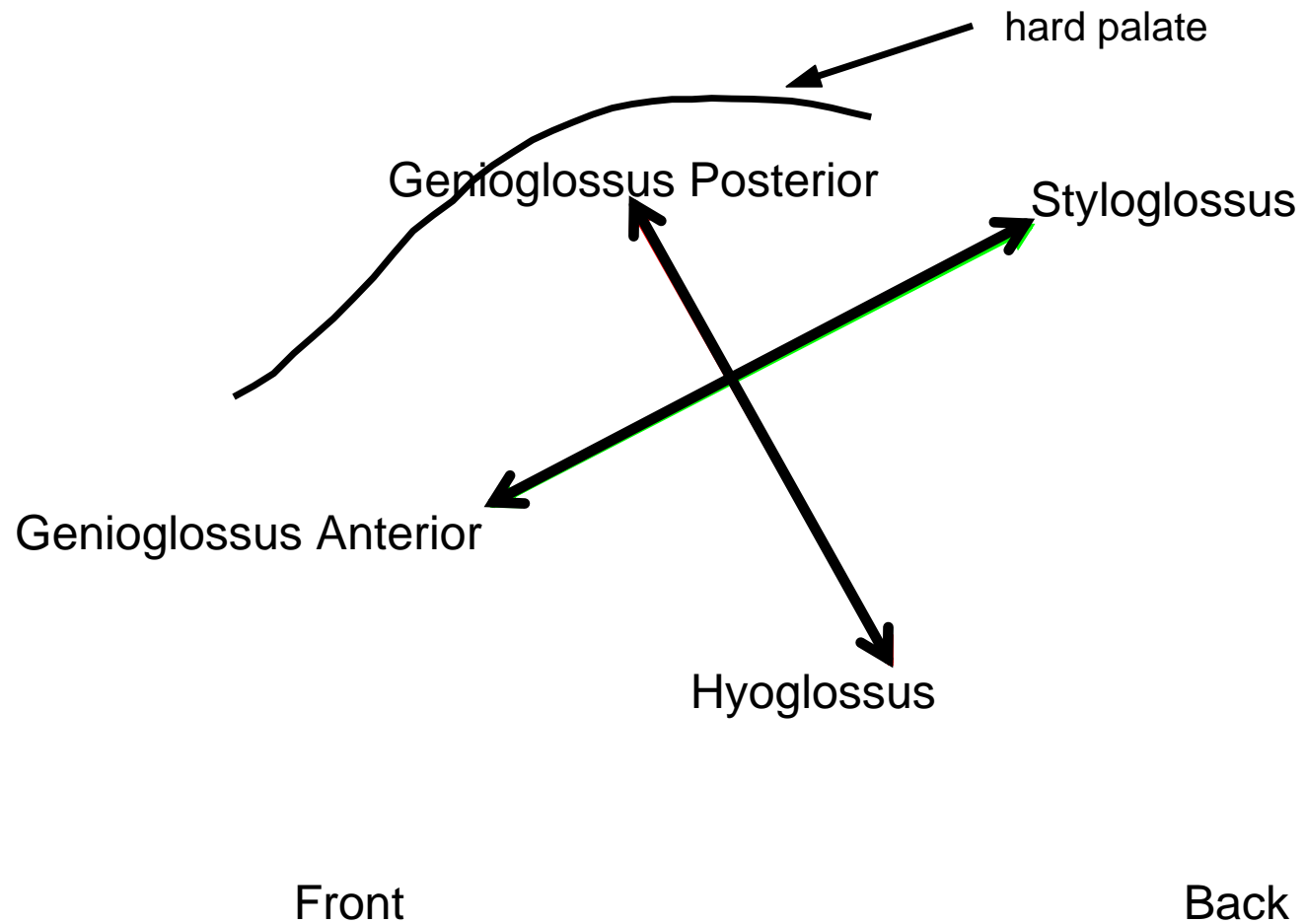
Rein anatomisch ist eine Einteilung in Agonisten und Antagonisten nicht ohne weiteres möglich (anders als bei "typischen" Muskel-Gelenk-Systemen im menschlichen Körper)

Unter *funktionalen* Gesichtspunkten lassen sich aber zwei Paare definieren:

Hyoglossus vs. Genioglossus Posterior

Styloglossus vs. Genioglossus Anterior

# Physiological dimensions of vowel articulation (S. Maeda and K. Honda, 1994)





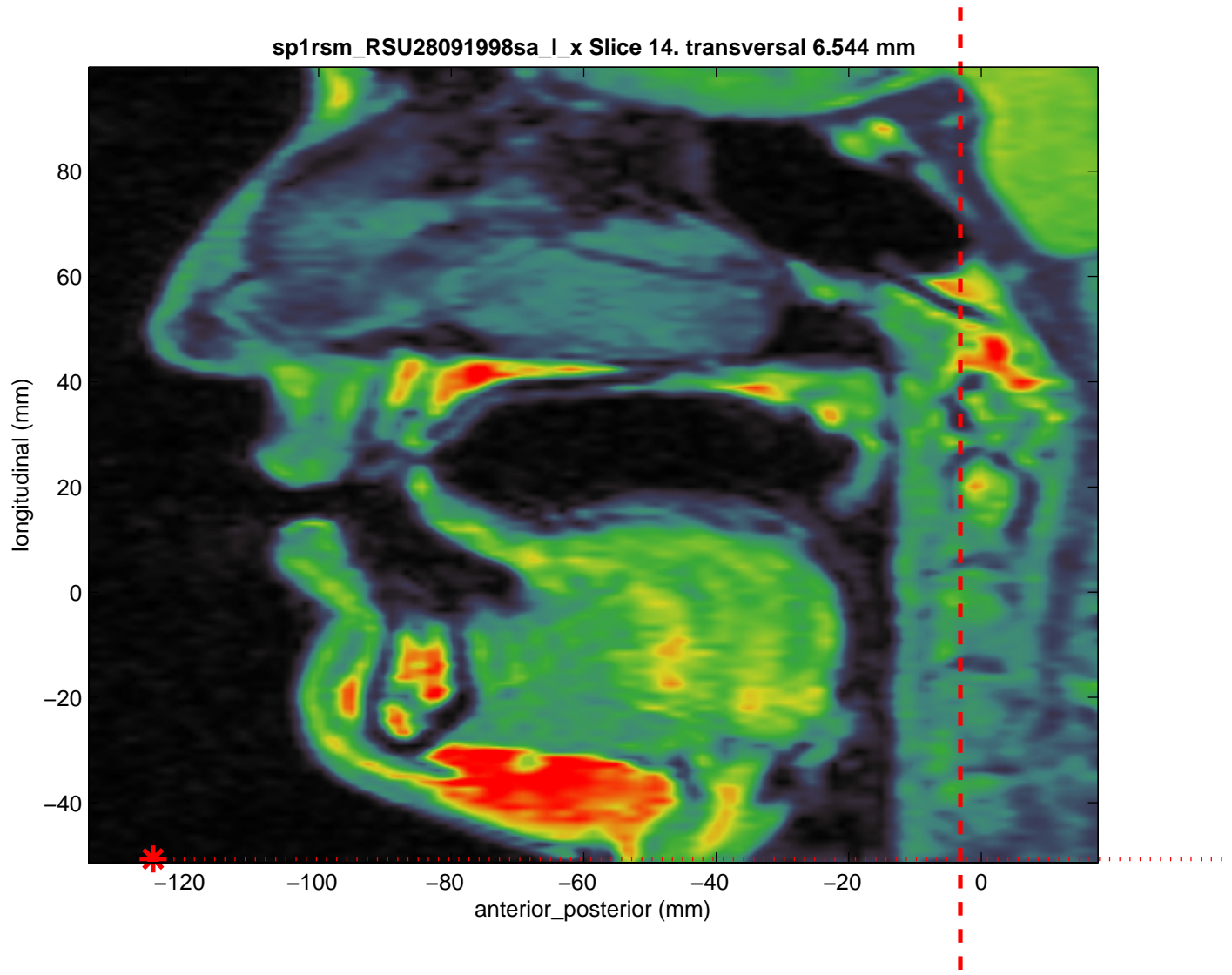
Hauptaufgabe des extrinsischen Muskelsystems:

Gesamtpositionierung der Zunge im Mund.

**Demo: Verformung der Zunge bei der Vokalartikulation**

Zungenspitze an der Gestaltung dieser Zungenformen kaum beteiligt.

Aber es geht auch anders!



## Die intrinsische Zungenmuskulatur

Relativ leicht zu systematisieren:

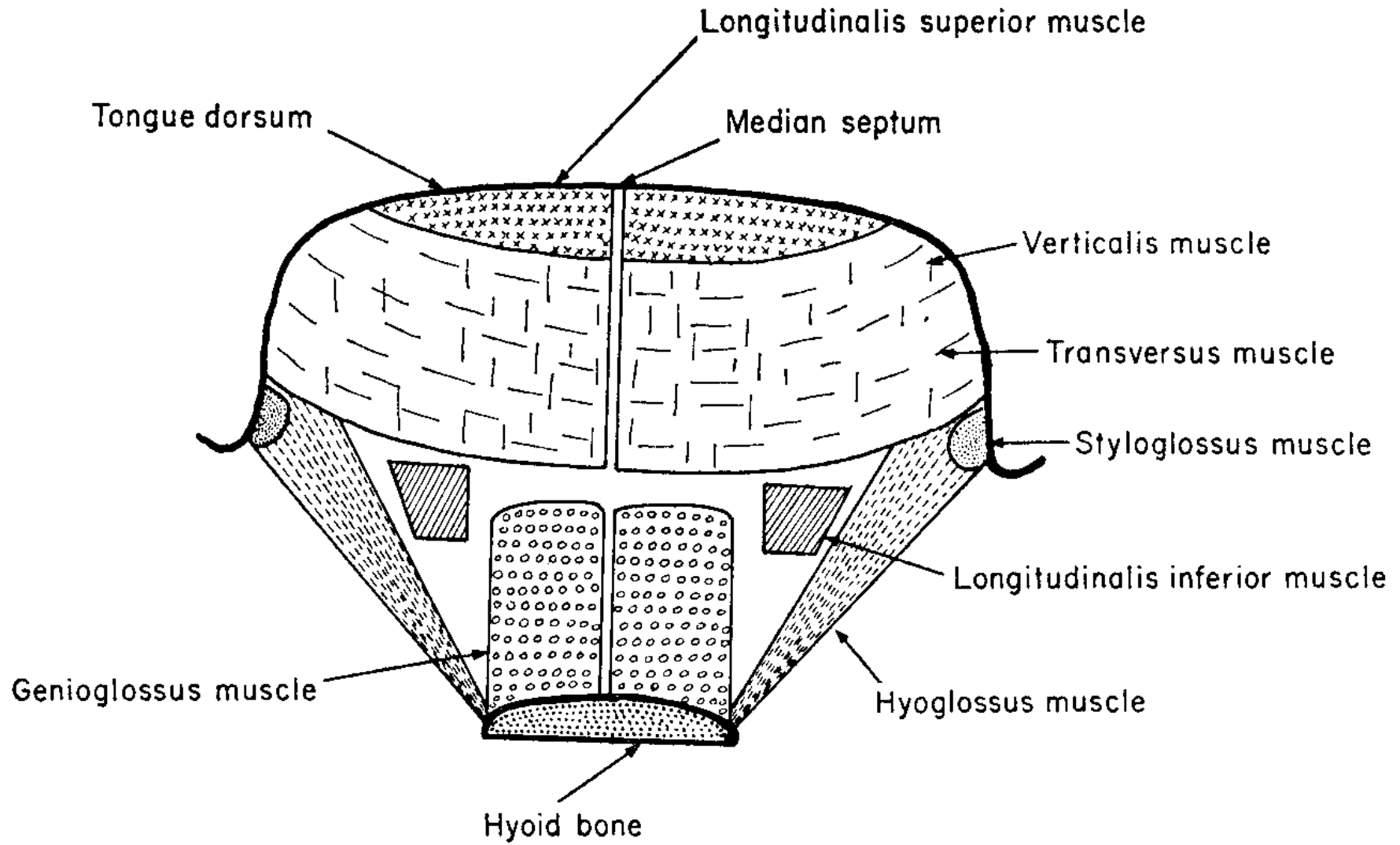
Einfach an die drei räumlichen Dimensionen unserer dreidimensionalen Welt denken.

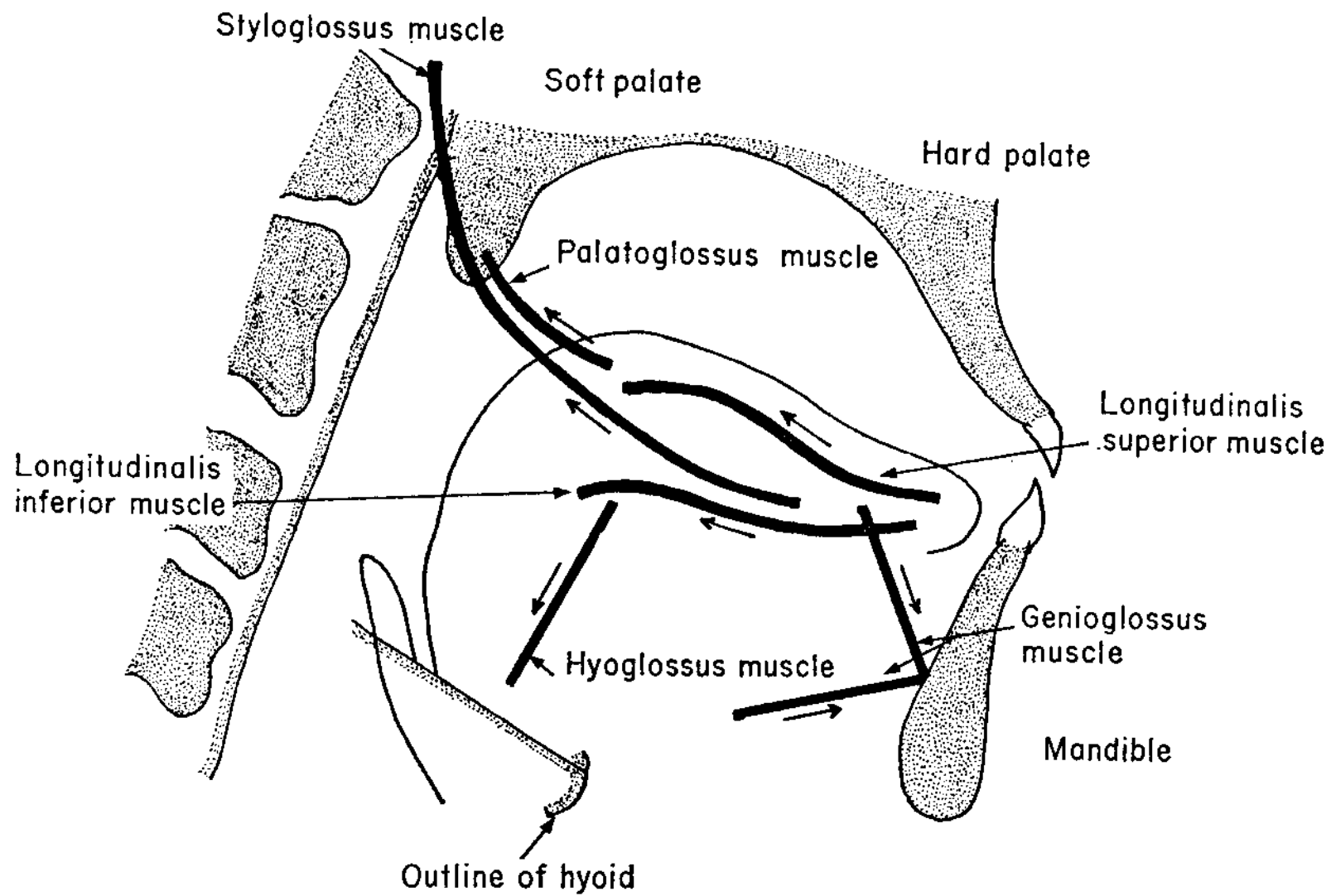
links-rechts: transversus

auf-ab: verticalis

vorne-hinten: longitudinalis superior  
longitudinalis inferior

Als Ergänzung zu den Abbildungen aus Perkins & Kent folgen zwei Abbildungen aus Hardcastle:





Weiteres Beispiel für Bewegung durch Verformung (allerdings nicht sehr phonetisch):

Wie streckt man die Zunge raus?

Es gibt ja keinen Muskel, der von außerhalb des Munds die Zunge herauszieht.

## 1. Extrinsische Muskulatur

Globale Bewegung der Zunge nach vorne, z.B. Genioglossus posterior (ev. auch mit Vorwärtsbewegung des Zungenbeins, z.B. Geniohyoideus)

## 2. Intrinsische Muskulatur

Verschmälerung durch Transversus führt durch Verformung zu Verlängerung.

Weitere Feinpositionierung der Zungenspitze durch Longitudinalis Superior (nach oben) oder Longitudinalis Inferior (nach unten)

## Ergänzende anatomische Darstellungen

### 1. Zungenanatomie aus Sobotta

Hier auch Zungenbein und Mundbodenmuskulatur (geniohyoideus, mylohyoideus) gut zu sehen. Letztere können die Anhebung der Zunge unterstützen, indem sie hierfür eine stabile “Plattform” bilden.

### 2. Systematischer Aufbau der Zungenmuskulatur nach Takemoto

### 3. Schnittbilder des gesamten Vokaltrakts in verschiedenen Orientierungen als Animationen (“Visible Human”)



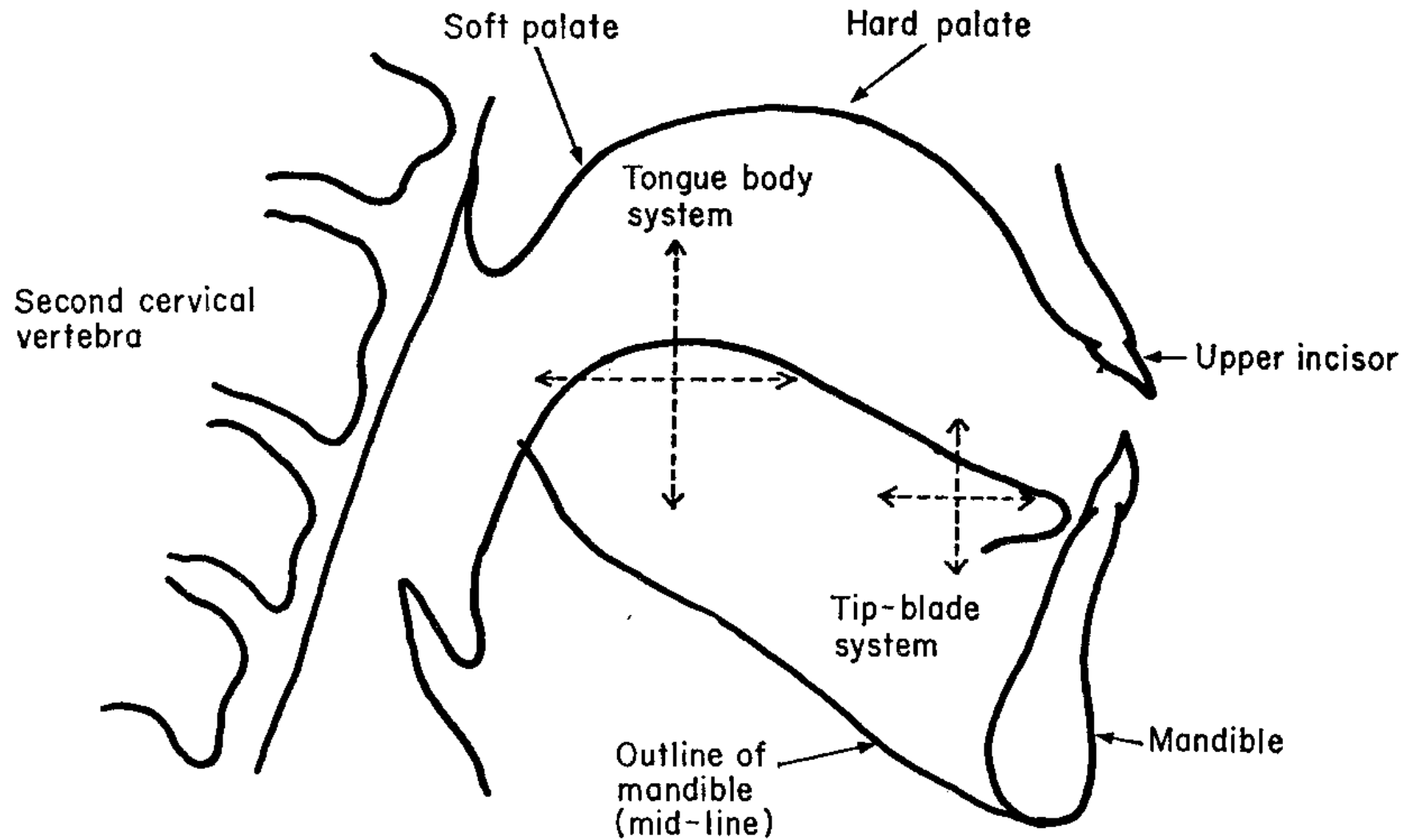
# Systematik der Bewegungs- und Verformungsmöglichkeiten der Zunge

## 1. Zwei Systeme

System 1. Zungenkörper (“Tongue-body system”)

System 2. Zungenspitze/Zungenblatt (“Tip-blade system”)

(nach Hardcastle, s.u.)



## 2. Für beide Systeme gibt es zwei Grundfragen:

1. **Wo** wird eine Verengung gebildet?

2. **Wie eng** ist sie?

Für das tip-blade system gibt es noch eine Null-Frage:  
Ist das System überhaupt aktiv?

Wer gibt die Antworten?

Für das Zungenkörpersystem im wesentlichen die extrinsischen Muskeln  
(d.h “ablesen” im Schema von Maeda & Honda (s.o.))

Für das System Zungenspitze/blatt  
verticalis vs. transversus für flach vs. schmal und lang  
longitudinalis superior vs. inferior für Anhebung vs. Absenkung der Spitze  
Unterstützung durch Zungenkörpersystem

### 3. Für beide Systeme gibt es noch eine dritte Frage:

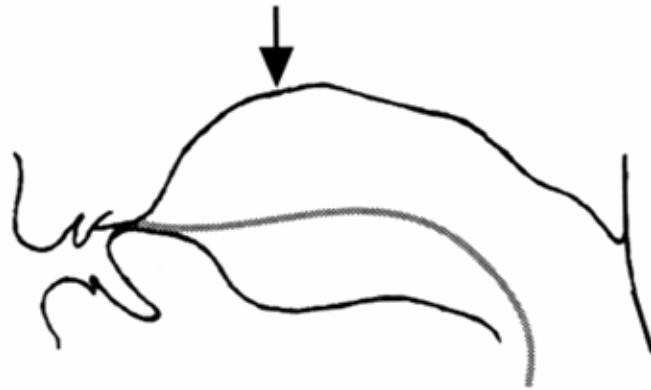
Was ist die Form des **Zungenquerschnitts**?

von konkav bis konvex

oder anders ausgedrückt

von gerillt über flach bis gewölbt nach oben

**/ s /**

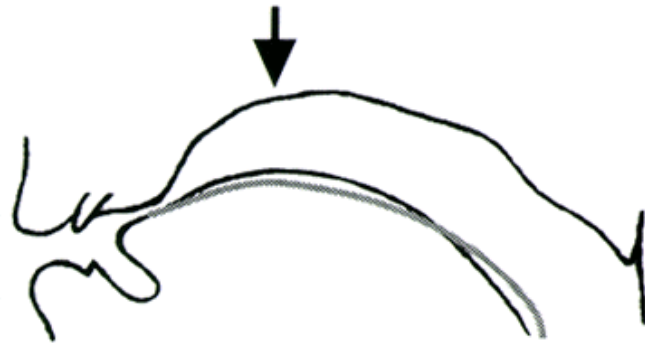


**Querschnitt beim  
schwarzen Pfeil**



**Zungenmitte schwarz  
Zungenrand grau**

**/ s /**



Aus Ladefoged & Maddieson, Abb. 5.6 und 5.8

Für Frikative wie /s/ ist die Rillenbildung ausserordentlich wichtig.

Sie ist auch fehleranfällig und stellt sicherlich eine motorisch komplexe Leistung dar.

Entsprechend dieser Komplexität ist es sehr schwer anzugeben, welche Kombination von Muskelaktivität genau zum richtigen Ergebnis führt.

Stellen wir lediglich fest, daß alles Notwendige vorhanden ist:

Muskeln, die sich über die Mittellinie erstrecken, und deren Form die mittlere Zungenpartie unmittelbar beeinflusst: Transversus und Verticalis  
(v.a wenn oberflächliche und tiefere Muskelschichten unterschiedlich aktiviert werden können)

Muskeln, die die Zungenränder anheben können: Styloglossus, palatoglossus, ev. auch longitudinalis superior

Muskeln, die die Zungenmitte absenken können: Genioglossus anterior, ev. auch longitudinalis inferior

## 4. Eine letzte Frage

Ist die Zungenoberfläche **flach oder schmal**?

Von Hardcastle (und Pompino-Marschall) als weiterer unabhängiger Gesichtspunkt angeführt. In der Praxis nicht einfach von der Frage der Positionierung (durch Verformung) der Zungenspitze zu trennen.

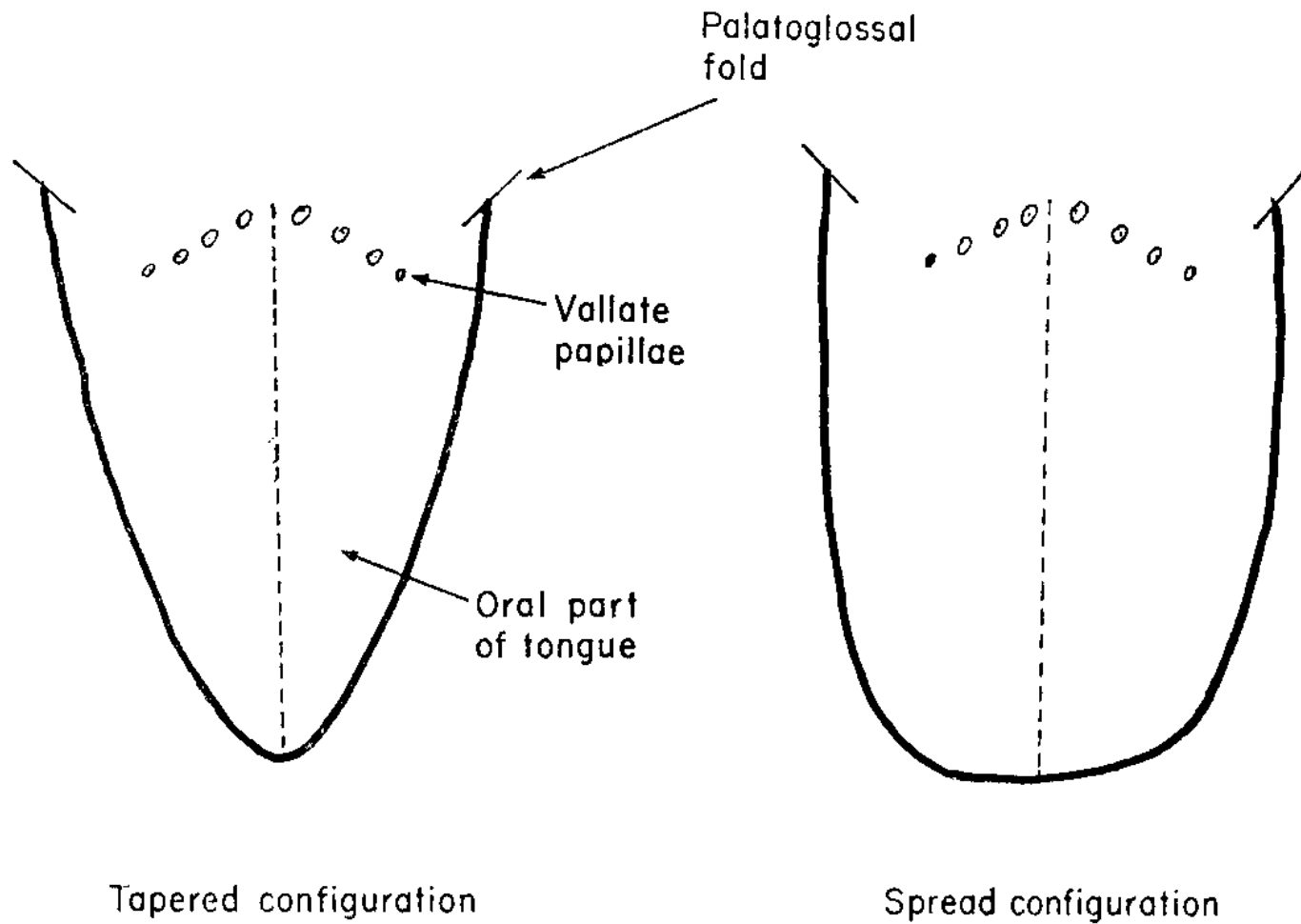
Die Frage lenkt aber die Aufmerksamkeit auf einen wichtigen Punkt:

Bei Lauten wie /t/ und /s/ ist eine relativ breite Zunge erforderlich, um einen luftdichten Abschluß seitlich an dem harten Gaumen und an den oberen Zähnen zu erreichen.

→ verstärkte Verticalis-Aktivität

Demgegenüber ist bei // eine relativ schmale Zunge erforderlich, damit die Luft seitlich abfließen kann

→ verstärkte Transversus-Aktivität



Schmale ("tapered") vs. breite ("spread") Zungenoberfläche (Hardcastle, 1976, Abb. 29; s.a Pompino-Marschall, Abb. 25)

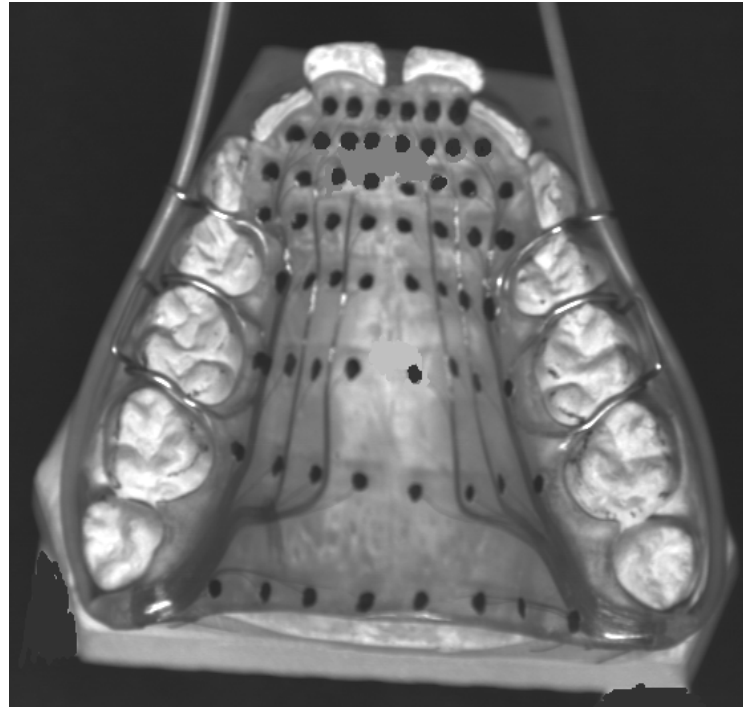


## **B. Funktion**

# Muster am Gaumen

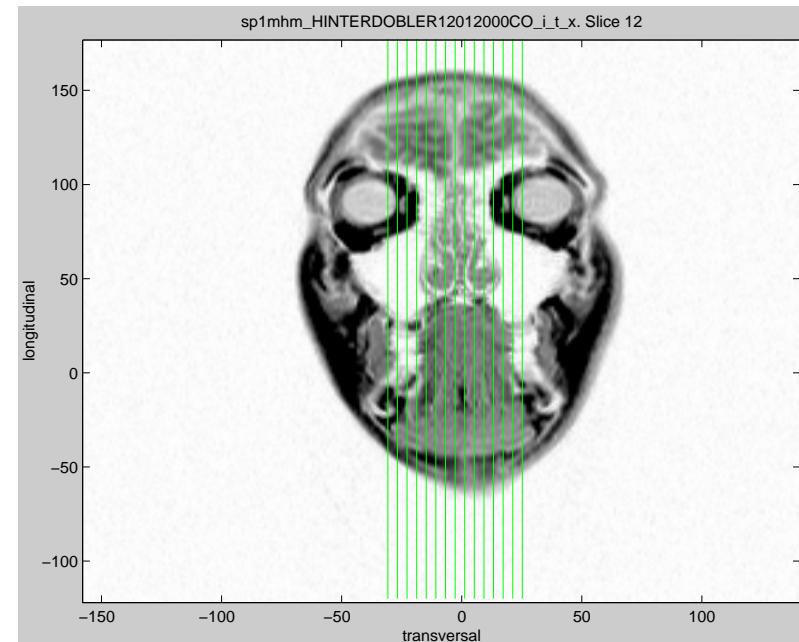
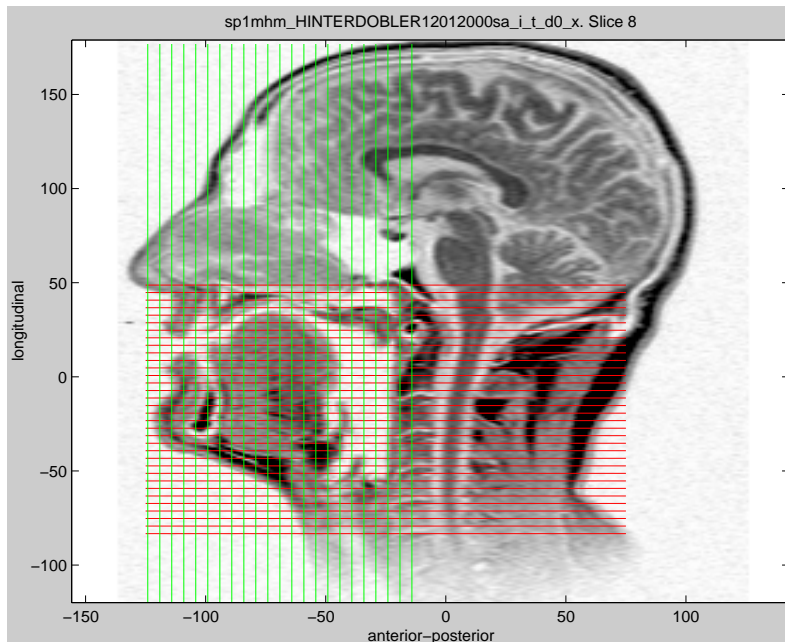
Palatographische Muster

(Auflösung hier)



# Kernspinanalyse der Vokalartikulation

Die Vokale /a/, /i/, /u/ werden in drei verschiedenen Schnittebenen gezeigt: koronal, axial und sagittal.



Left picture: Slice locations for coronal scans (green) and axial scans (red) shown on sagittal image.

Right picture: Slice locations for sagittal scans shown on coronal image.

## Link zu den Animationen

Die koronalen und axialen Ebenen sind vielleicht weniger vertraut als die sagittale, sie spielen aber die größere Rolle bei der Ermittlung der Querschnittsfläche des Vokaltrakts (koronal für den Mundraum, axial für den Rachenraum).

# Entwicklung des Begriffs “*Areafunktion*”

## Die Verbindung zwischen Artikulation und Akustik

Ausgangspunkt:

Ermittlung der Form des Querschnitts durch den Vokaltrakt in jedem koronalen Bild (für den Mundraum) und in jedem axialen Bild (für den Rachenraum).

Beispiel aus Baer et al., (1991), J. Acoust. Soc. America, 90, 799ff

Ergebnisse für 2 Sprecher des Englischen (Amerikanisch) für die Vokale /i/ und /ɑ/.

TRACINGS OF AXIAL SECTIONS THROUGH PHARYNGEAL CAVITY

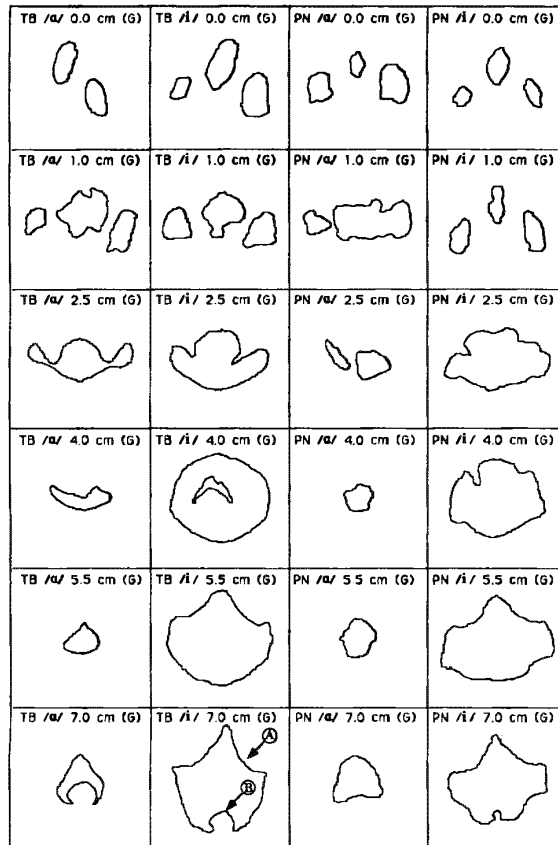


FIG. 6. Digital tracings of axial images of the vocal tract from the EMR machine taken during the production of two point vowels (col. 1, TB/a/: col. 2, TB/i/: col. 3, PN/a/: col. 4, PN/i/). All tracings are oriented with the anterior region of the pharynx at the top of each cell. Cell labels indicate approximate distance in cm from the glottis (G). One of the piriform sinuses in col. 1 is absent because it did not meet the threshold criterion. Arrow (A) indicates the tongue groove and arrow (B) the uvula.

TRACINGS OF CORONAL SECTIONS THROUGH UPPER VOCAL TRACT

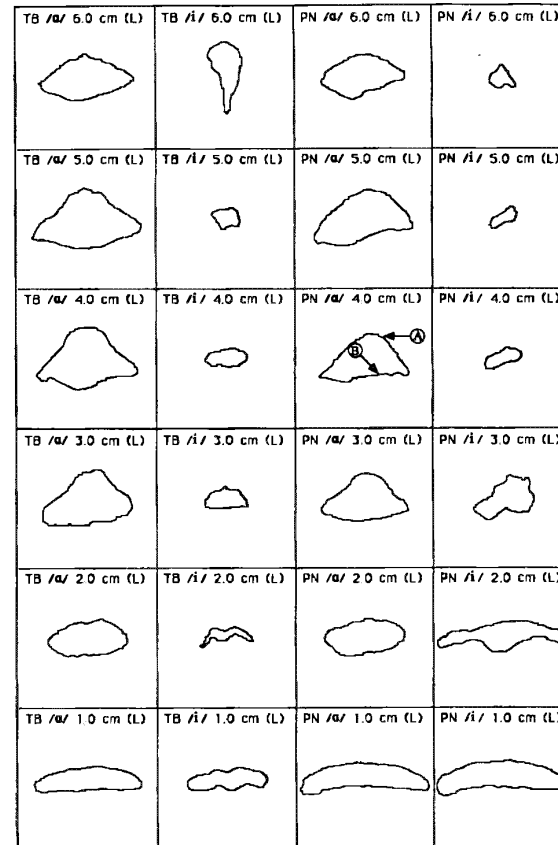


FIG. 7. Digital tracings of coronal images from the EMR machine. The tracings are oriented with the palate vault uppermost. Distances from the lips (L) measured in cm are indicated in each cell. This figure, and the figure that precedes it, illustrate the striking differences in both pharyngeal and upper vocal tract area that are characteristic of the vowels /a/ and /i/. Arrow (A) indicates the dome of the palate and arrow (B) the surface of the tongue.

## Erläuterungen zu den Abbildungen

### Zur Orientierung

Die 4 Spalten von Fig.6 und Fig.7 haben folgende Anordnung von links nach rechts:  
Sprecher TB /a/, Sprecher TB /i/, Sprecher PN /a/, Sprecher PN /i/

Fig. 6 zeigt die axialen Querschnitte durch den Rachenraum

Oberste Zeile: An der Glottis

Unterste Zeile: 7cm oberhalb der Glottis

In jedem Teilbild: Oben im Bild = Vorne im Rachenraum  
Unten im Bild = Hinten im Rachenraum

Fig. 7 zeigt die koronalen Querschnitte durch den Mundraum

Oberste Zeile: 6cm von den Lippen

Unterste Zeile: 1cm von den Lippen

In jedem Teilbild: Oben im Bild = Oben im Mund  
Unten im Bild = Unten im Mund

## Worauf man achten kann

Fig. 6 Zeile 1 und 2:

Links und rechts der Glottis (und etwas weiter hinten) befinden sich zwei weitere Hohlräume: Die Sinus Piriformis (es sind nicht immer beide sichtbar).

Bild

Fig. 6 Zeile 4, Spalte 2 (Sprecher TB, Vokal /i/)

Epiglottis als sichelförmige Insel gut sichtbar (vgl. Kernspinfilm für /i/)

Fig. 6 unterste Zeile, Spalte 2

Pfeil A zeigt die ausgeprägte Rille, die im pharyngealen Teil der Zunge entsteht, wenn der M. Genioglossus Posterior die Zunge für /i/ nach vorne zieht (die Fasern des Genioglossus befinden sich v.a im Bereich der Mittellinie).

N.B. Diese Rillenbildung hat mit der Rillenbildung im Vorderzungenbereich für Frikative wie /s/ gar nichts zu tun!

Pfeil B zeigt das Zäpfchen, das an der Rachenhinterwand anliegt.



Fig. 7, Zeile 3, Spalte 3

Pfeil A zeigt die Kontur des harten Gaumens, Pfeil B die Zungenoberfläche.

Vergleich /i/ vs. /a/

Im Rachenraum (ab etwa 3cm oberhalb der Glottis) kleine Fläche für /a/, große Fläche für /i/. Im Mundraum umgekehrt (v.a im Bereich zwischen 5 und 2cm von den Lippen)

## Von der Geometrie zum Vokaltrakt als akustisches System

Die Querschnittsformen sind offensichtlich recht kompliziert und vielfältig.

Jetzt aber die entscheidende Vereinfachung:

Die akustischen Eigenschaften des Vokaltrakts hängen allein von der **Fläche** ab, nicht von der Form.

(das kleingedruckte:

“akustische Eigenschaften” heißt v.a die Resonanzfrequenzen (Formanten) des Systems

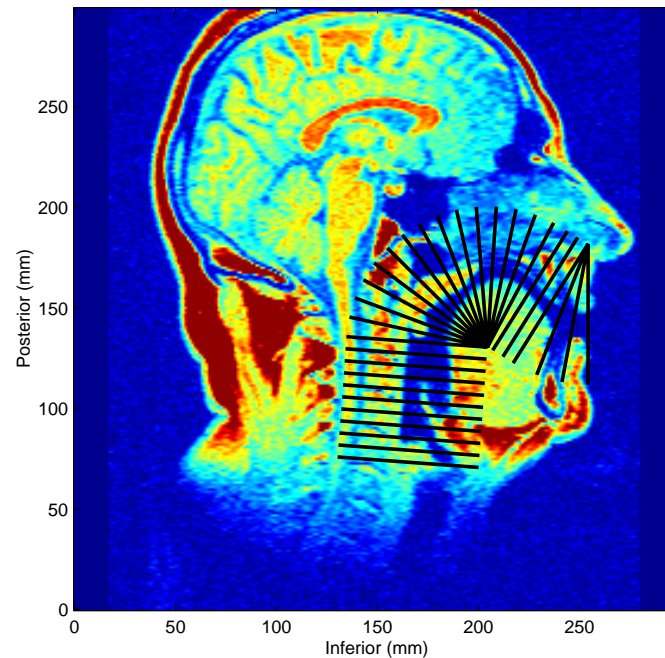
“Vereinfachung” heißt streng genommen nicht richtig, funktioniert aber im Frequenzbereich von Sprachschall recht gut)

### → Die Areafunktion

*“Die Querschnittsfläche des Vokaltrakts als Funktion der Entfernung von der Glottis”*

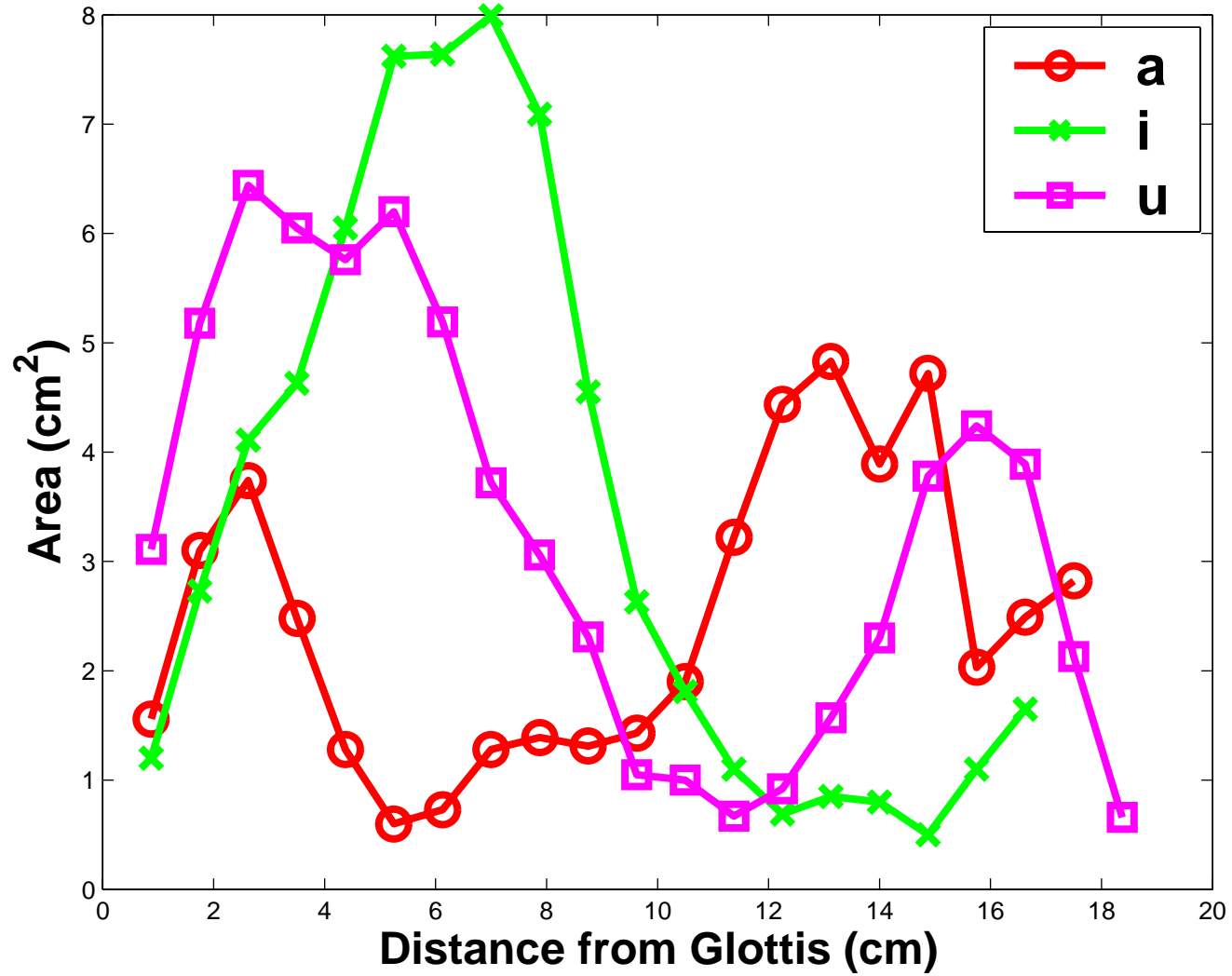
Kennt man die Areafunktion, kann man die aus der Artikulation resultierende Akustik berechnen.

Die endgültige Bestimmung der Querschnittsflächen wird auf einem Raster durchgeführt, dessen Orientierung der Hauptachse des Vokaltrakts folgt.



Mid-sagittal NMRI slice for subject T, vowel /e:/, with superimposition of grid used to extract vocal-tract areas

# Area Functions for /i/, /u/ and /a/



## Anmerkungen zu den Areafunktionen

(= Sprecher TB. In der Abb. bezeichnet /a/ das hintere /ɑ/)

1. Der Vokal /ɑ/ wird traditionell als offener Vokal bezeichnet. Die Hauptverengung für /ɑ/ (ca. 5cm von der Glottis) ist in etwa so eng wie die Hauptverengung für den geschlossenen Vokal /i/ (ca. 12-15cm von der Glottis).
2. Der Vokal /u/ wird wie der Vokal /ɑ/ als hinterer Vokal bezeichnet, hat aber wie /i/ einen recht offenen Racheneraum (im Bereich ca. 4-6cm von der Glottis). Diesen Punkt unbedingt in den Kernspinfilmern nachvollziehen!

Die Hauptverengung für /u/ (ca. 10 bis 12 cm von der Glottis) ist aber natürlich weiter hinten als die Hauptverengung für /i/.

Zusätzlich zu dieser durch die Zunge gebildete Verengung findet sich für /u/ eine weitere Verengung an den Lippen (18cm von der Glottis). Beide Verengungen haben in etwa die gleiche Fläche.

3. Vokaltrakt wegen Lippenrundung länger für /u/ als für /i/ (ev. auch tiefere Kehlkopfposition)
4. (oben bereits angedeutet) /i/ und /a/ verhalten sich in etwa spiegelbildlich: Bei /i/ Rachenraum weit, Mundraum eng; bei /a/ umgekehrt.
5. Am Kehlkopfausgang (knapp oberhalb der Glottis) ist die Fläche für alle Vokale klein. Der Flächenverlauf ist für alle Vokale ähnlich bis etwa 3cm oberhalb der Glottis.

Mit einem Computermodell kann man die akustischen Sprachsignale synthetisieren, die diesen Areafunktionen entsprechen.

[Anhören](#)

## **Ausblick**

Die Beziehung zwischen Artikulation und Akustik ist ein zentrales Thema der Phonetik.

Die Areafunktion stellt das entscheidende Bindeglied zwischen diesen beiden Bereichen dar.

Im Seminar "Akustische Phonetik" näheres zur Entstehung von Resonanzen im Vokaltrakt.

# Zungenbewegungen in fließender Rede

## 1. **Elektromagnetische Artikulographie**

Diese Methode mißt die Bewegungen von kleinen Sensoren, die auf die Artikulatoren aufgeklebt werden.

**Bilder des Versuchsaufbaus**

Es wird exemplarisch die Artikulation des deutschen /o:/ als isolierter Laut mit der Artikulation des Lauts in verschiedenen Wörtern und Sätzen des Deutschen verglichen.

## 2. **Cineradiographie**

Eine Reihe von kommentierten Beispielen (Kanadisches Englisch).

Der große Vorteil der Cineradiographie besteht darin, daß die Bewegungen von *allen* Artikulatoren verfolgt werden können. Die Beispiele bieten also Anschauungsmaterial nicht nur für die Zunge (vgl. Handout Rachenraum/Gaumensegel).

Zur besseren Orientierung sind die Röntgenfilme mit synchronisierten Sonagrammen verküpft.



# Koordination von Zunge und Kiefer in der Vokalartikulation am Beispiel der gespannten und ungespannten Vokale des Deutschen

Ausgangspunkt:

Wie stellt sich das deutsche Vokalsystem im IPA-Vokalviereck dar?

Was heißt "System" in diesem Zusammenhang?

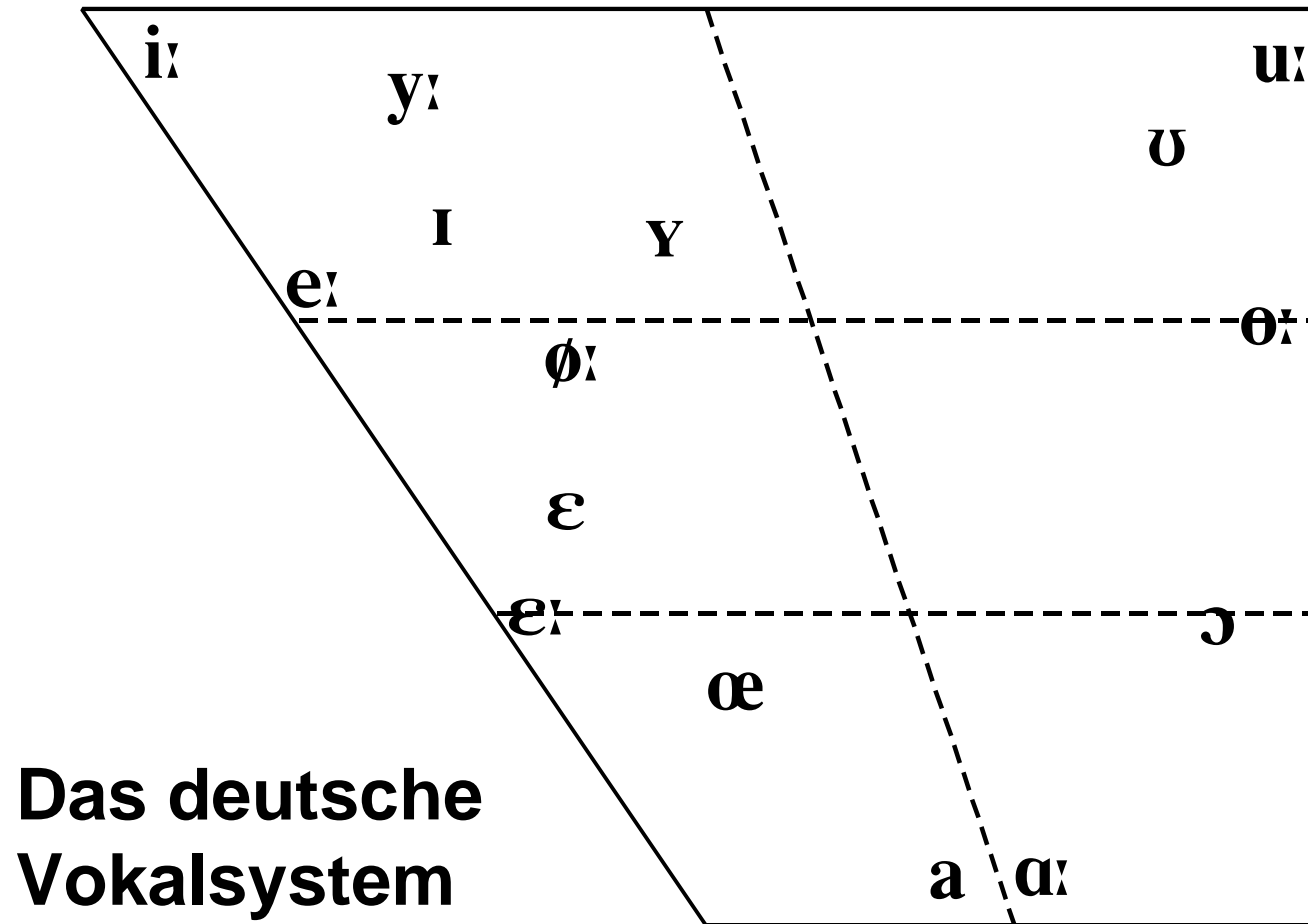
Anschließend:

Vom System zur artikulatorischen Realität

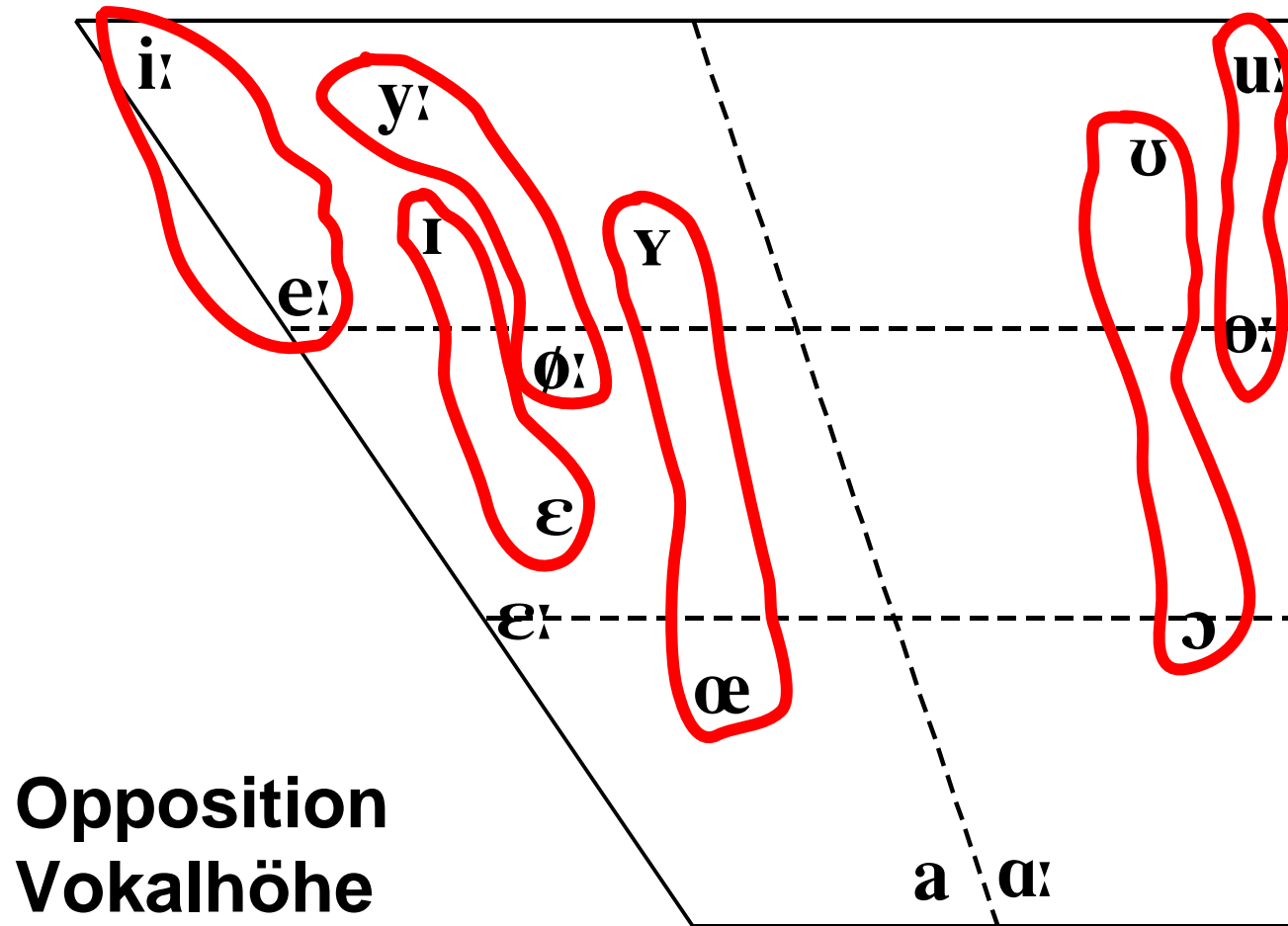
Wir beschränken uns dabei auf den Vorderzungenbereich - besonders interessant, weil besonders dicht belegt.

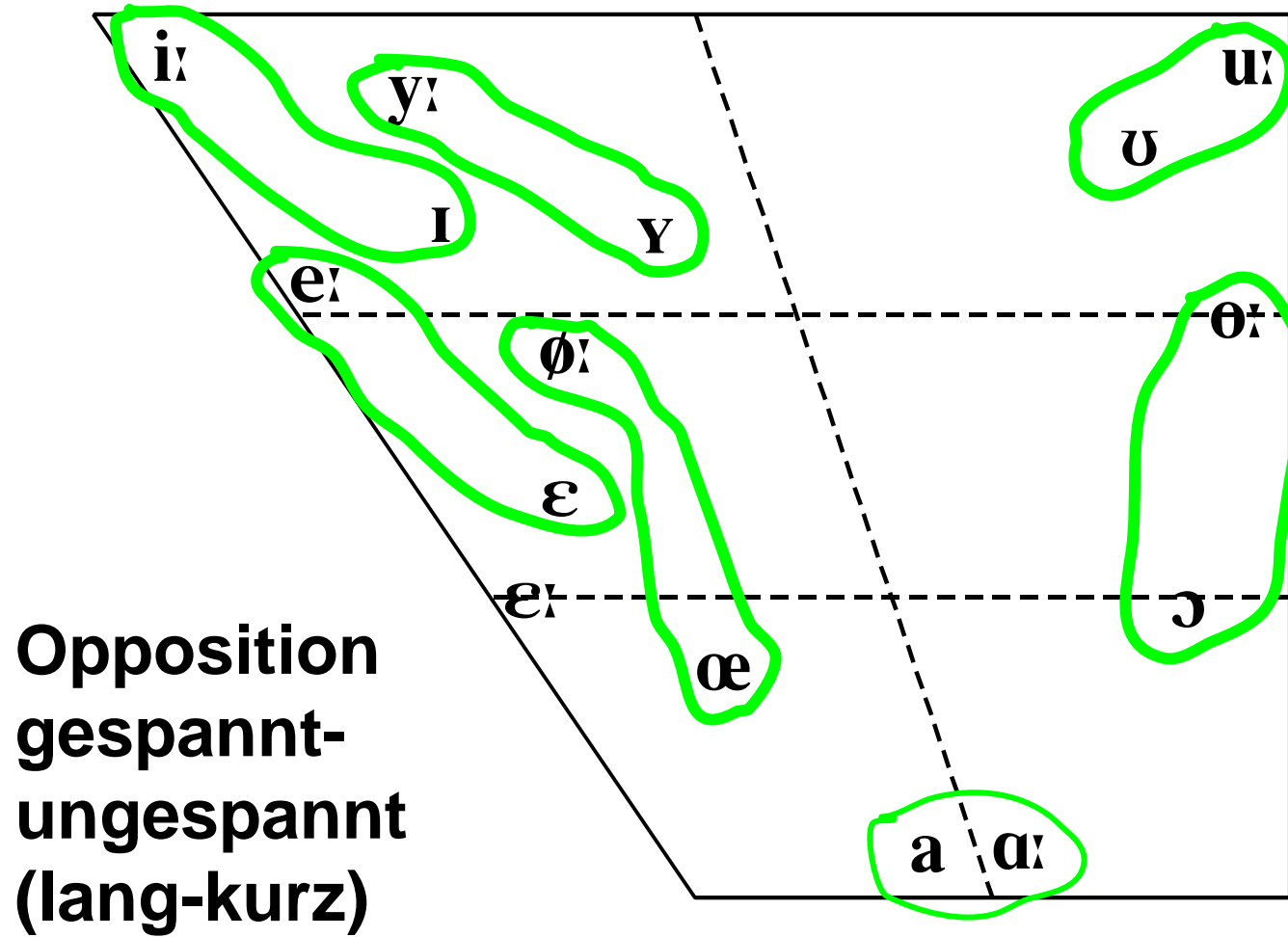
Die folgenden Abbildungen illustrieren, wie die Vokale als System von Oppositionen verstanden werden können.

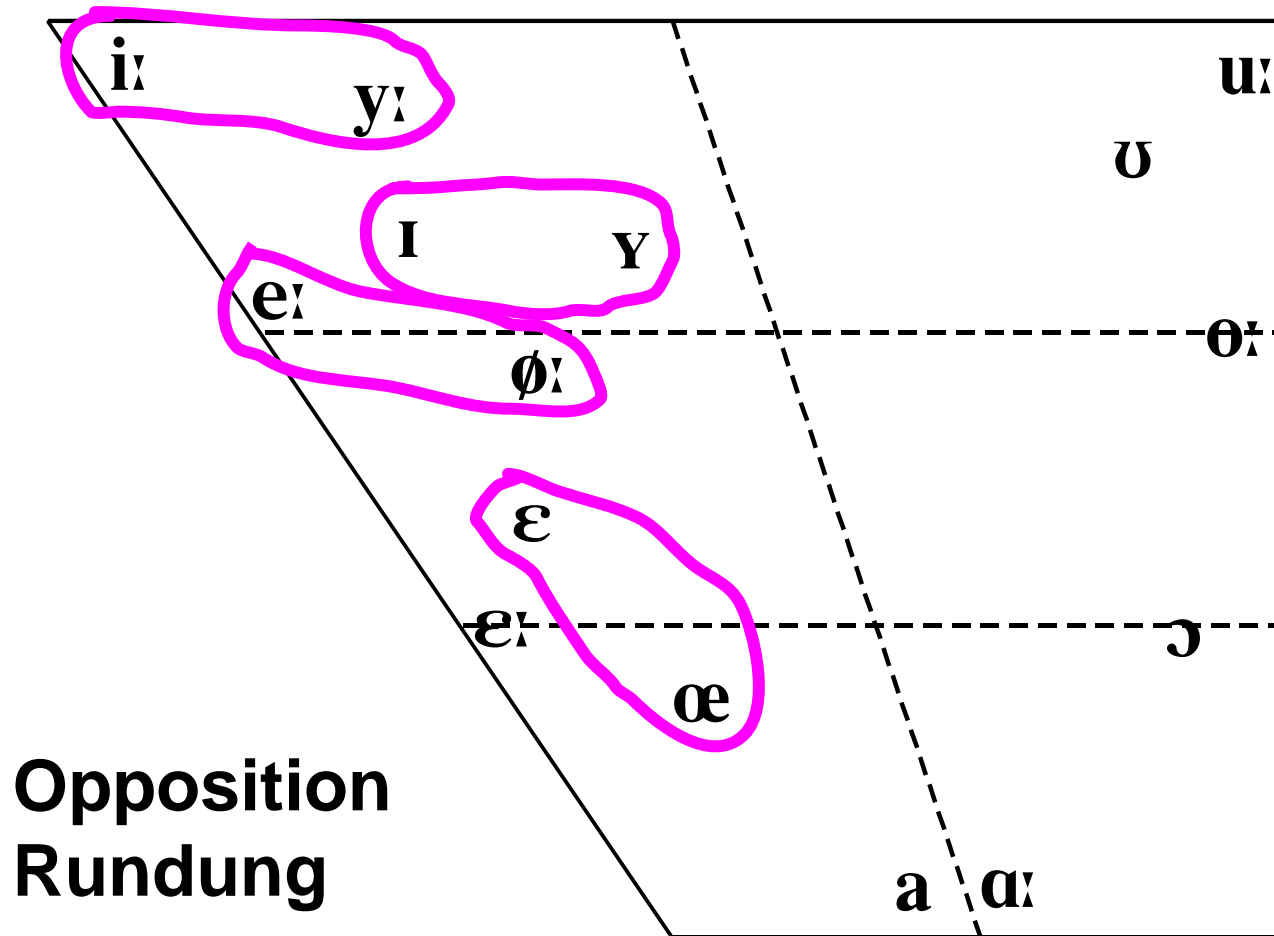
(Für Beispielwörter zu den einzelnen Vokalkategorien, s. Pompino-Marschall, S.255)



# Das deutsche Vokalsystem







Die Anordnung der Vokale im Vokalviereck ist aus Pompino-Marschall (wiederum aus Kohler, 1990) übernommen.

Jetzt zu der Artikulation:

Als Beispiel die drei Wörter “bieten”, “bitten”, “beten”.

Zwei Oppositionen:

“bieten” vs. “beten”

Opposition Vokalhöhe

/ i: / vs. / e: /

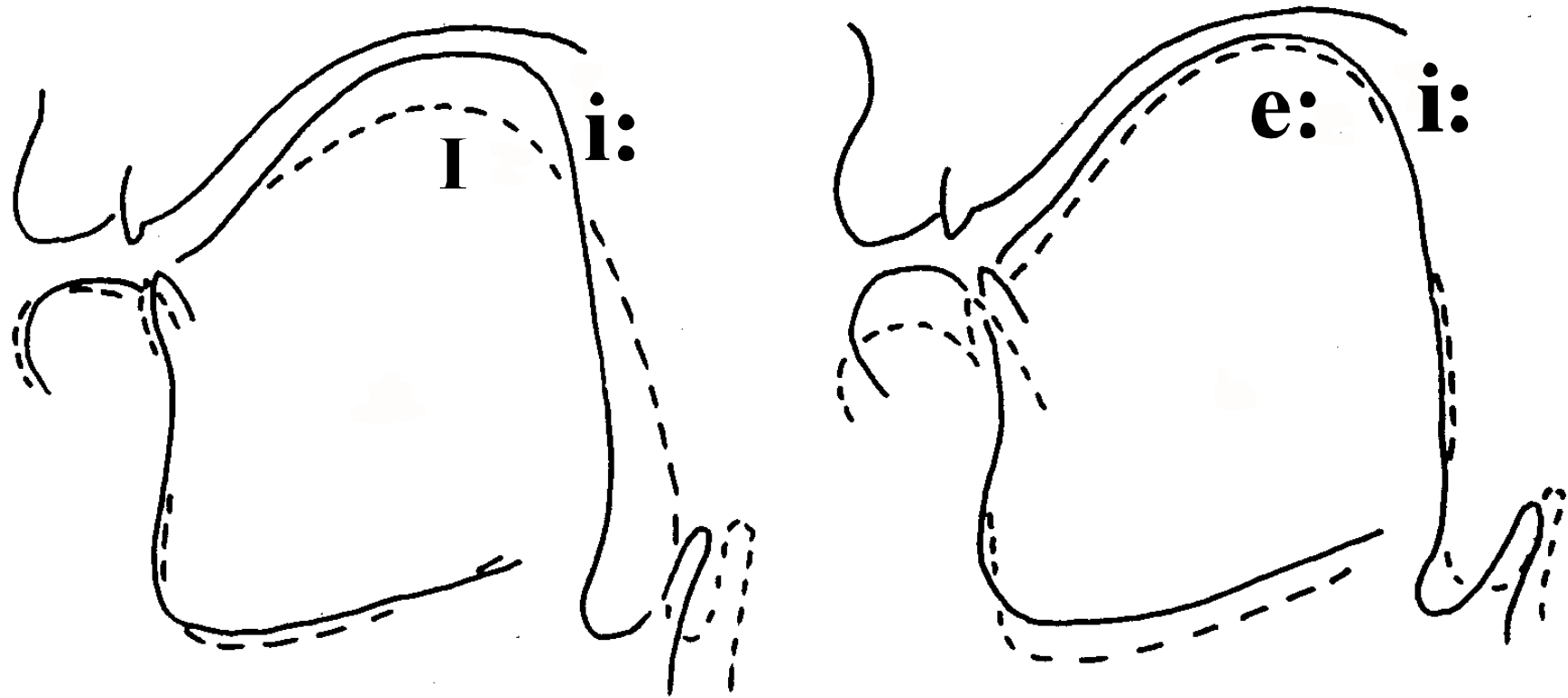
“bieten” vs. “bitten”

Opposition gespannt-ungespannt

/ i: / vs. / ɪ /

Hauptfrage: Entspricht die Zungenhöhe den Erwartungen?

Durch welche artikulatorischen Merkmale unterscheiden sich diese Vokale?



Left panel: Solid line / i: / as in “bieten”, dashed line / ɪ / as in “bitten”  
 Right panel: Solid line / i: / as in “bieten”, dashed line / e: / as in “beten”  
 From Wood (1975), Fig. 3 (based on Chiba and Kajiyama’s (1941) x-ray tracings.

Erwartung nach der Anordnung der Vokale im Vokalviereck:  
Höhere Zungenposition für “bitten” als für “beten”

Das ist eindeutig nicht der Fall.

ABER

Der **Kiefer** ist höher für “bitten” als für “beten”

“bitten” hat eine ganz andere Zungen**form** als “beten” und “bieten”.

- Wieder das Prinzip der Bewegung durch Verformung:  
Bei “bitten” wird die Hinterzunge weniger stark nach vorne gezogen (der Rachenraum ist enger), deswegen ist die Vorderzunge weniger hoch.  
Anders herum ausgedrückt: Wenn bei gleicher Kieferposition die Vorderzunge tiefer ist, muss der Rachenraum enger sein.

Für “beten” vs. “bieten” bewegt sich die Zunge zusammen mit dem Kiefer nach unten, ohne dabei ihre Form zu verändern.



Zusammenfassung (nach Wood, 1975)

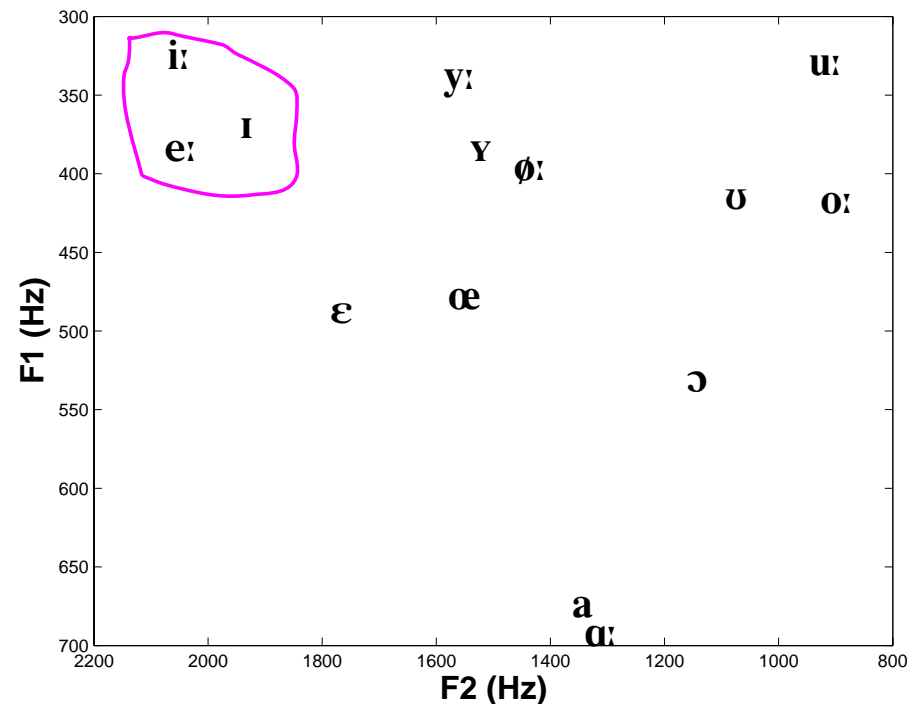
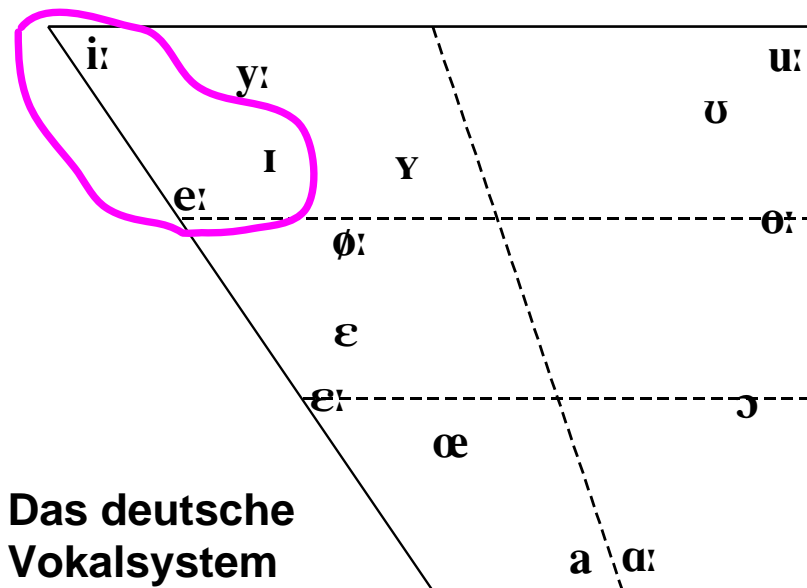
	Tongue in Jaw	
	Higher	Lower
Higher	i:	ɪ
Jaw		
Lower	e:	ɛ

Aber wie kam dann die Anordnung der Vokale im Vokalviereck zustande?

Ist sie einfach falsch?

Nein, sie spiegelt vielmehr den **auditorischen** Eindruck (oder die akustischen Eigenschaften wie F1 und F2) wider.

Man muss darüber im klaren sein, was diese Darstellung repräsentiert:  
 Sie sagt uns nämlich nicht unmittelbar, wie wir die Artikulatoren koordinieren müssen, um einen bestimmten Vokal zu produzieren.



Zurück zum System:

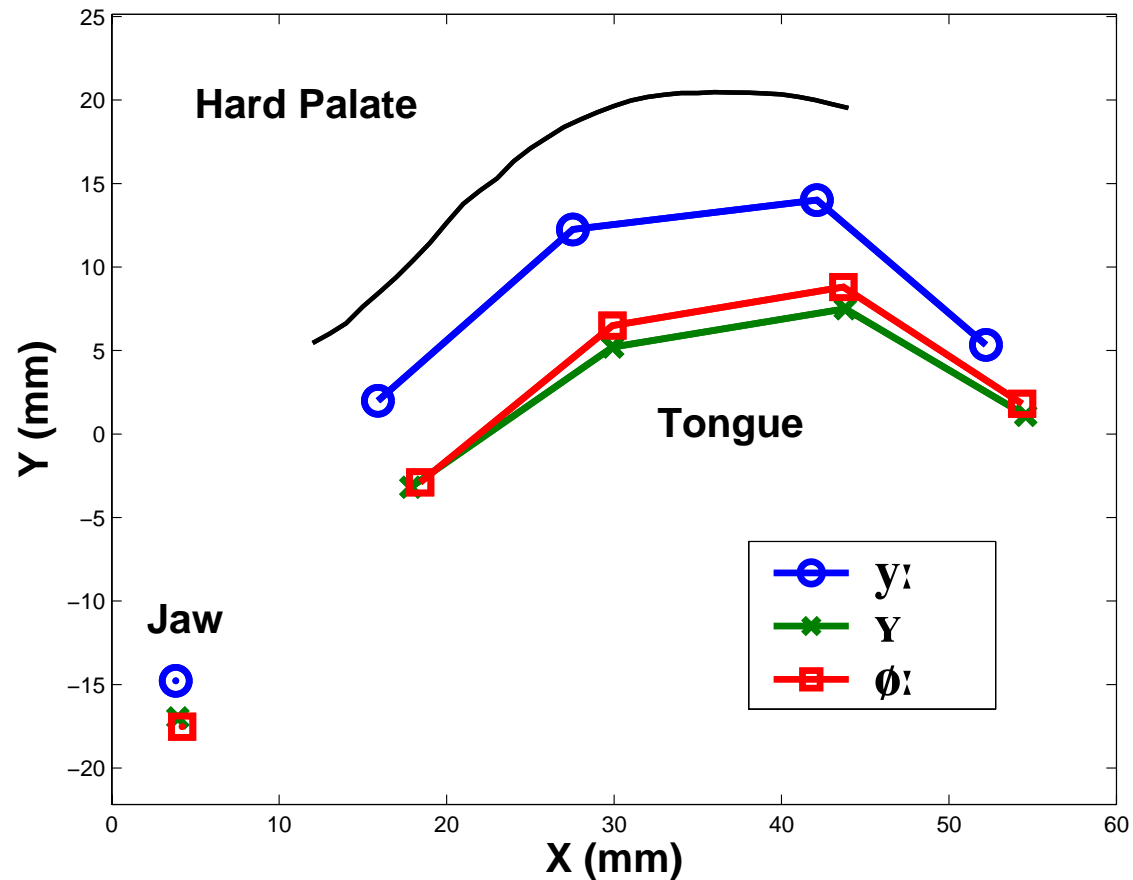
Um welche Vokale würde es sich handeln, wenn wir diese Untersuchung auf die entsprechenden vorderen gerundeten Vokale ausdehnen würden?

/ y: / wie in *Hüte, mühte* usw.

/ ʏ / wie in *Hütte, Mütter* usw.

/ ø: / wie in *böte, Möwe* usw.

Hierzu einige Ergebnisse aus der elektromagnetischen Artikulographie:



Die Ergebnisse sind nicht so eindeutig wie oben bei den ungerundeten Vokalen. Aber es ist wieder so, daß der kurze, ungepannte Vokal (/ Y /) eine sehr tiefe Zungenposition relativ zum Kiefer aufweist.

Zum Schluß ein kurzer Blick auf eine weitere Opposition:

Wie bringt man englischen Muttersprachlern bei, den Vokal / y: / (wie in *mühte*) zu sprechen?

Die einfache Antwort:

/ i: / bilden, dann Lippen runden.

Das ist aus systematischer Sicht auf alle Fälle sinnvoll:

/ y: / bildet das gerundete Gegenstück zu / i: /

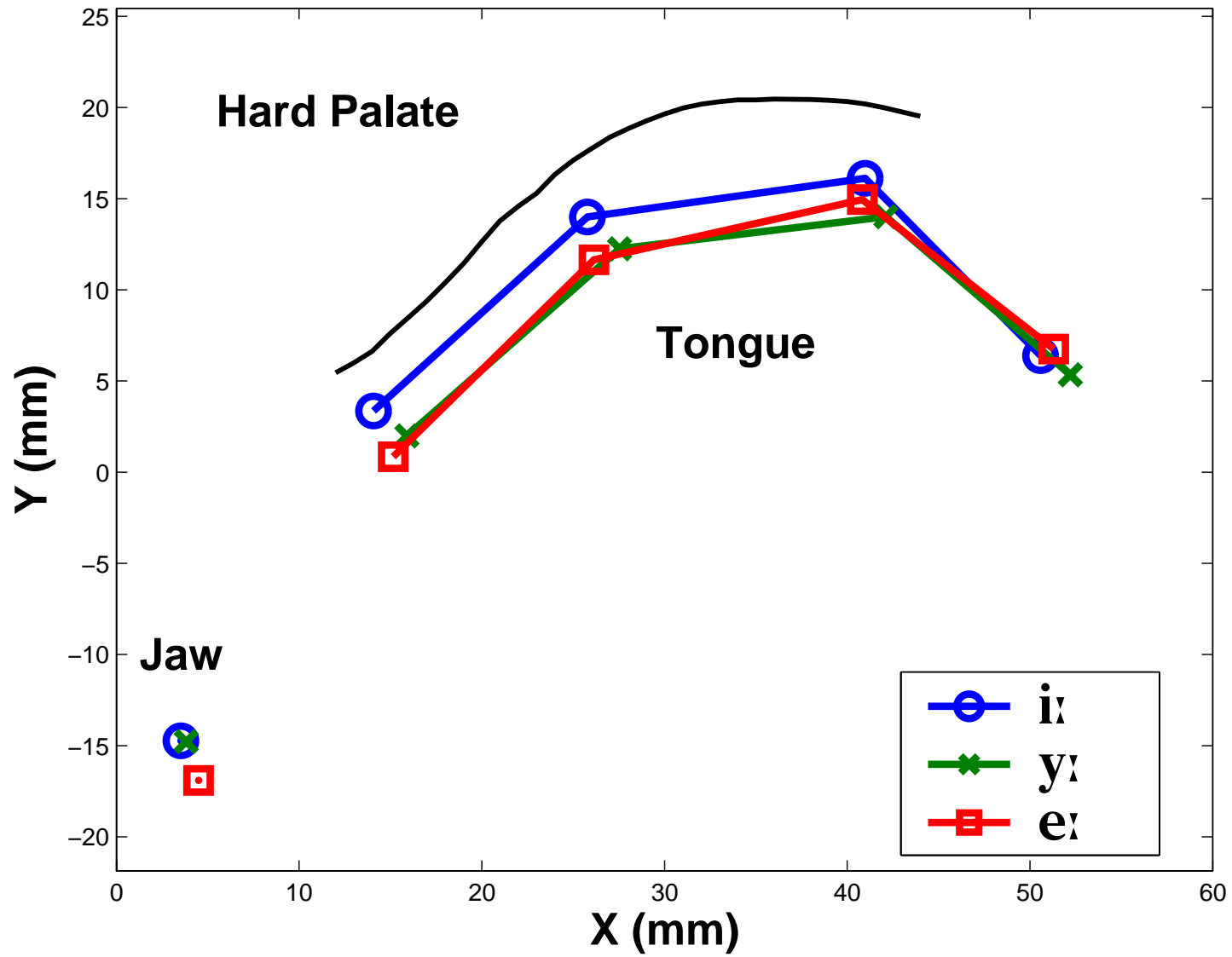
/ i: / ist der höchste gespannte ungerundete Vorderzungenvokal

/ y: / ist der höchste gespannte gerundete Vorderzungenvokal

Jetzt wollen wir aber einen Schritt weitergehen:

Wie wird der Unterschied von deutschen Muttersprachlern tatsächlich gebildet?  
(abgesehen vom Unterschied in der Lippenposition)

Wieder Daten für Zunge und Kiefer aus der elektromagnetischen Artikulographie:





Die Zungenposition für / yː / ist eindeutig tiefer als für / iː /.  
Sie liegt sogar sehr nah bei / eː /.

Aber die Kieferposition ist hoch.

→ Wie bei den ungespannten Vokalen ist die Zunge tief relativ zum Kiefer

Das ist wahrscheinlich der Grund, warum im Vokalviereck die vorderen gerundeten Vokale zentralisiert relativ zu den ungerundeten eingetragen werden.

## Was hier im Mittelpunkt stand

Einerseits die Vokale als System von Oppositionen sehen  
(nicht als willkürliche Anhäufung einzelner Vokale)

Diese Oppositionen tragen einprägsame Etiketten wie “hoch-tief”, “gespannt-  
ungespannt”, “gerundet-ungerundet”

Andererseits nach den artikulatorischen Vorgängen fragen, die sich hinter den  
Etiketten verbergen.

Hauptbeispiel: Artikulatorisch wichtige Vorgänge wie das Zusammenspiel von  
Zunge und Kiefer lassen sich nicht unmittelbar aus dem traditionellen, auditorisch-  
orientierten Vokalviereck ablesen.