

Universität Stuttgart
Institut für maschinelle Sprachverarbeitung
Azenbergstraße 12
70174 Stuttgart

**Der Einfluß ausgewählter segmentaler und
prosodischer Faktoren auf die Formantstruktur
von Vokalen im Mandarin-Chinesischen**

Dai Dai
Studienarbeit Nr: 50

Prüfer: PD Dr. phil. Bernd Möbius
Prüfernummer: 01386
Betreuer: PD Dr. phil. Bernd Möbius

1. Oktober 2005 – 22. Januar 2006

Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig verfaßt habe und dabei keine andere als die angegebene Literatur verwendet habe.

Alle Zitate und sinngemäßen Entlehnungen sind als solche unter genauer Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Ort, Datum

(Dai Dai)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abkürzungen	5
1 Einleitung	6
2 Hintergrundwissen	9
2.1 Akustisches Lernen: Vokale und Formanten	9
2.2 Sprachspezifika	11
2.2.1 Gleitlaut	11
2.2.2 Ton	13
2.2.3 Neutralton	15
2.2.4 Fokus	16
3 Methode	18
3.1 Sprecher	18
3.2 Sprachmaterial	19
3.3 Sprachaufnahmen	21
3.4 Lautsegmentierung und –Labelling	22
3.5 Formantwerte-Messungen	24
4 Statistische Analyse	26
4.1 Einführung der Anova	26
4.2 Auswertung von Anovas	27

4.2.1 Einfluß von Gleitlaut	28
4.2.1.1 Ergebnisse der Anova	28
4.2.1.2 Formant-Trajektorien	30
4.2.2 Einfluß von Neutralton	33
4.2.2.1 Ergebnisse der Anova	33
4.2.2.2 Formant-Trajektorien	35
4.2.3 Einfluß von Ton	38
4.2.3.1 Ergebnisse der Anova	38
4.2.3.2 Formant-Trajektorien	39
4.2.4 Einfluß von Fokus	44
4.2.4.1 Ergebnisse der Anova	45
4.2.4.2 Formant-Trajektorien	46
4.2.5 Die Interaktionen	48
5 Zusammenfassung	49
Literatur	52

Abkürzungen

Abkürzung	Begriff
F1	1. Formant
F2	2. Formant
F3	3. Formant
Hz	Hertz
H	Ton1 im Mandarin-Chinesischen(hoch-eben)
R	Ton2 im Mandarin-Chinesischen(steigend)
L	Ton3 im Mandarin-Chinesischen(fallend-steigend)
F	Ton4 im Mandarin-Chinesischen(fallend)
NT	Neutralton im Mandarin-Chinesischen

Kapitel 1

Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Abhängigkeit zwischen den von mir ausgewählten segmentalen und prosodischen Faktoren wie Gleitlaut, Neutralton, lexikalischen Tönen und Fokus und der Formantstruktur von Vokalen im Mandarin-Chinesischen.

Es ist allgemein bekannt, daß Gleitlaute wie /j/, /w/ und /ɥ/ in kontinuierlicher Sprache kaum einen „steady-state“ Formant-verlauf aufweisen und ihre akustische Bildungsweise ähnlich oder gleich der eines Vokals ist. Es ist uns auch bekannt, daß die Grundfrequenzbewegung, die Dauer und die Intensität als wichtigste akustische Korrelate von den oben genannten prosodischen Aspekten festgestellt werden. Dennoch ob sie noch einen Einfluß auf den Formantverlauf von Vokalen ausüben können,

und wenn ja, was für einen Einfluß? Gibt es Interaktionseffekte zwischen den hier untersuchten Faktoren? Solche Fragen sind die zentralen Aufgaben meiner Arbeit. Als Ergebnis der Arbeit werde ich eine systematische Beschreibung der unterschiedlichen Ausprägungen der Formantstruktur von Vokalen im Mandarin-Chinesischen (nur die fünf Grundvokale /a/, /i/, /o/, /u/ und /y/ stehen unter Berücksichtigung, da Diphthonge wegen ihrer dynamischen Formanttrajektorien besonders schwierig darzustellen sind) vorstellen, in Abhängigkeit von den sprachspezifischen Faktoren Gleitlaut, Neutralton, lexikalischen Tönen und Fokus.

Die Arbeit ist wie folgt strukturiert: Zunächst im zweiten Kapitel werde ich die linguistisch allgemeinen und sprachspezifischen Hintergrundwissen erläutern, die mit den hier untersuchten Aspekten im Zusammenhang stehen. Dann führe ich im dritten Kapitel eine experimentelle Untersuchung durch, nämlich die Konstruktion des Textmaterials, die Durchführung der Sprachaufnahmen, die Lautlabelling und –segmentierung und schließlich die Formantwerte-Messungen und Extrahierung. Im vierten Kapitel werden die gewonnenen Formantdaten mit Hilfe von Anova und auch von der Skizzierung der Formant-Trajektorien in

Bezug auf individuelle Vokale ausgewertet. Schließlich gibt das letzte Kapitel eine Zusammenfassung der Ergebnisse der experimentellen Untersuchung.

Zum Schluß will ich meinem Betreuer, Bernd Möbius, für seine Hilfe und nützliche Ratschläge bei allen Problemen danken.

Kapitel 2

Hintergrundwissen

In diesem Kapitel werden die linguistisch allgemeinen (Kapitel 2.1) und sprachspezifischen Hintergrundwissen (Kapitel 2.2) erläutert, die mit den hier zu untersuchenden Aspekten im Zusammenhang stehen.

2.1 Akustisches Lernen: Vokale und Formanten

Formanten sind die Resonanzfrequenzen des Vokaltraktes bei der menschlichen Sprachproduktion. Sie sind für die Diskrimination von Vokalen sehr relevant. Es gibt eine detaillierte Beschreibung über die Beziehung zwischen Vokalen und Formanten: „Vokale sind stimmhafte Laute, deren Klangcharakteristika primär durch die Konfiguration des Vokaltraktes bestimmt sind. Der durch Glottisimpulse angeregte Luftstrom wird im Ansatzrohr moduliert. Kehlkopfhöhe, Rachenenge, Zungenposition und -höhe sowie die

Lippenstellung verändern die Resonanzeigenschaften des Ansatzrohres und damit auch die Resonanzfrequenzen des entstehenden Vokals. So erhält jeder Vokal seine für ihn typische spektrale Zusammensetzung mit Energiekonzentrationen bei den jeweiligen Resonanzfrequenzen. Diese Energiekonzentrationen, die man im Sonagramm als waagerechte Frequenzbänder erkennen kann, heißen Formanten F1, F2 und F3 usw. Während erster, zweiter und dritter Formant vokalspezifisch sind, d.h. relativ sprecherunabhängig immer annähernd gleiche Frequenzwerte annehmen, sind die Frequenzwerte ab dem vierten Formanten überwiegend für Klangfarbe und Charakteristik der Sprecherstimme verantwortlich. Sie dienen in erster Linie der Identifikation eines Sprechers und nicht eines Vokals.“(Machelett [15]).

Wie oben erwähnt, können Formanten sehr aufschlussreich sein, generell gesprochen korrespondiert der F1 mit der Höhe eines Vokals. Je höher der Vokal ist, desto tiefer wird der F1. Ebenso korrespondiert der F2 allgemein mit der Stelle eines Vokals. Je weiter hinten der Vokal ist, desto tiefer wird der F2. Daher wenn der Vokaltrakt an unterschiedlichen Stellen mit der Zunge oder anderen Muskeln verengt wird, werden die Formantfrequenzen geändert. Die F1 und F2 genügen schon für die Vokalidentifikation.

Die F3 geben im allgemeinen Aufschluß über die Gerundetheit eines Vokals. *Stevens* [12]: “Rounded vowels have a somewhat lower F3 than unrounded vowels, and F3 is higher for the palatalized vowel [i] than for the other front vowels”. Daher konzentriere ich mich in der vorliegenden Arbeit nur auf die ersten drei Formanten, die sich in den fünf Grundvokalen des Mandarin-Chinesischen unter unterschiedlichen Einflüssen unterschiedlich ausprägen können.

2.2 Sprachspezifika

2.2.1 Gleitlaut

Die Gleitlaute werden auch Approximanten oder Annäherungslaute genannt und sind in fast allen Sprachen der Welt vorhanden. Artikulatorisch gesehen basiert die Entstehung dieser Klasse von Lauten auf einer leichten Engebildung zwischen dem Zungenrücken und dem harten bzw. weichen Gaumen, dann strömt durch die Enge der Luftstrom geräuschfrei. Die akustische Bildungsweise ist daher ähnlich oder gleich der eines Vokals. Im Mandarin-Chinesischen gibt es drei Gleitlaute, nämlich /j/, /w/ und

/ɥ/. /j/ und /ɥ/ werden im palatalen Bereich (/ɥ/ ist die Labialisierung von /j/) und /w/ im velaren Bereich artikuliert. Sprachspezifisch kann jeder Gleitlaut nicht mit den allen hier zu untersuchenden Vokalen kombinieren. Die folgende Tabelle listet die möglichen Kombinationen auf:

	/a/	/i/	/o/	/u/	/y/
/j/	X	X			
/w/	X		X	X	
/ɥ/					X

Tabelle 1: Auflistung der Kombinationen von /Gleitlaut + Grundvokal/ im Mandarin-Chinesischen: die möglichen Kombinationen werden mit einem Kreuz gekennzeichnet.

In der Arbeit untersuche ich nur die möglichen Kombinationen, nämlich /ja/, /ji/, /wa/, /wo/, /wu/ und /ɥy/. Da die akustische Bildungsweise der Gleitlaute ähnlich der eines Vokals ist (d.h., Gleitlaute haben ähnliche ausgeprägte Formantstrukturen wie Vokale), nimmt man nun an, dass bei der Gleitlaut-Vokal-Kombination sich relativ flache Formantbewegungen zeigen, wenn die beiden Segmente an

derselben Stelle artikuliert sind, und wenn nicht, dann manifestieren sich auffällige Erhebungen oder Vertiefungen der Formantverläufe.

2.2.2 Ton

Bevor ich auf diesen Aspekt eingehe, möchte ich zunächst die prosodischen Systeme des Wortes vorstellen, die mit diesem Aspekt im Zusammenhang stehen. Was die Typologien prosodischer Systeme betrifft, bestehen die prosodischen Systeme des Wortes aus (*Botinis & Granström & Möbius* [16]) „tone, stress and accent and thus languages with corresponding distinctions are often referred to and classified as tone languages (such as Chinese), (dynamic) stress languages (such as Greek) and (pitch) accent languages (such as Japanese)“.

Das Mandarin-Chinesisch unterscheidet vier lexikalische Töne mit distinktiven Pitch-Bewegungen, nämlich hoch-eben, steigend, fallend-steigend und fallend. Sie werden traditionell jeweils als Ton1, Ton2, Ton3 und Ton4 bezeichnet. In dem fünf-stufigen tonalen Markierungssystem von Chao werden die vier Töne als [55],

[35], [214] und [51] skaliert, wobei [5] die höchste und [1] die niedrigste Tonstufe (Pitch) repräsentiert (Abb. 1) (*chao* [18]) .

Töne im Mandarin-Chinesischen

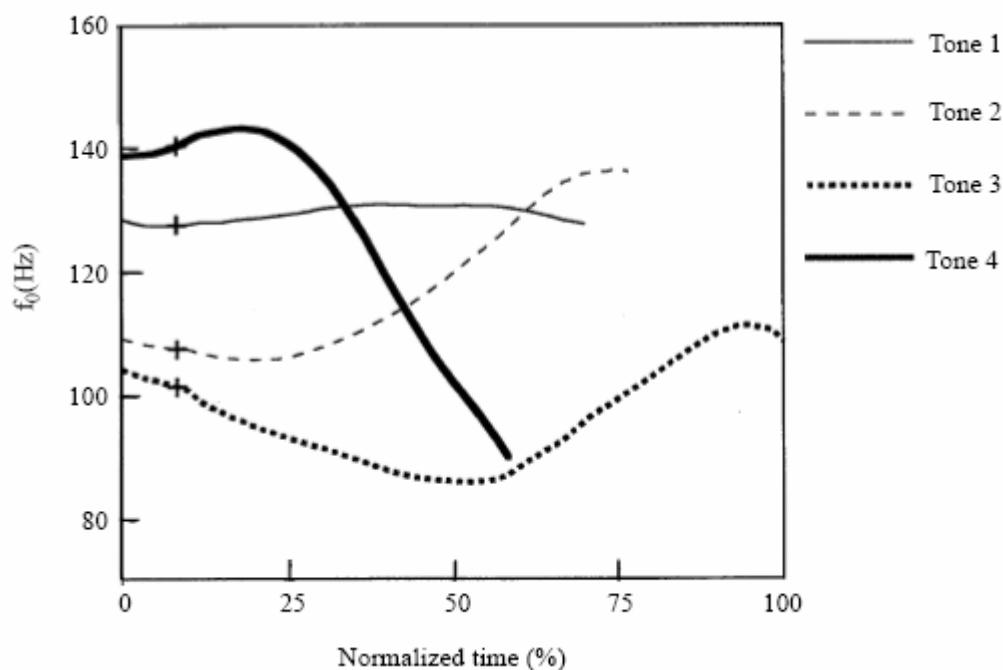


Abb. 1: Pitch-Bewegung der vier Töne des Mandarin-Chinesischen: Die fünf Frequenzwerte der y-Achse von unten nach oben entsprechen jeweils den fünf tonalen Stufen: Ton1[55], Ton2[35], Ton3[214] und Ton4[51] (übernommen aus *xu*[17])

Traditionell wird es geglaubt, dass Ton überhaupt keinen Einfluß auf die Formantstruktur von Vokalen ausübt. In jüngeren Arbeiten (wie *Hoole* [3] und *Erickson* [4]) wurde der Einfluß der Tonhöhe auf

die Artikulatorbewegung bzw. Formantänderung untersucht und bestätigt. In meiner Arbeit wird der Zusammenhang zwischen Ton und Formantstruktur nochmal getestet.

2.2.3 Neutralton

Die Sprachen der Welt werden bezüglich der prosodischen Systeme des Wortes, wie oben schon erläutert, in drei Klassen unterteilt. Jedoch, "it has long been observed that not all languages fit neatly into this classification" (*Liang* [5]). Das Mandarin-Chinesisch wird als Tonsprache eingestuft, tatsächlich ist tonale Neutralisation bzw. Neutralton auch eine unverzichtbare Erscheinung in dieser Sprache, „In Chinese, in addition to tones there are stress distinctions“ (*Botinis & Granström & Möbius* [16]); „Chinese is one of the languages that has both stress and tone, i.e. a hybrid word prosodic system“ (*Liang* [5]).

Im Mandarin-Chinesischen gibt es eine große Zahl von lexikalischen Wörtern, die entweder inhärent oder unter gewissen prosodischen Bedingungen tonlos sind. Es wird generell geglaubt, daß jede betonte Silbe im Mandarin einen Ton hat, und wenn eine

Silbe schwach betont oder nicht betont ist, wird der Ton neutralisiert.

Meine Hypothese in dieser Arbeit ist, dass Neutralton wie auch Betonung tatsächlich die Formantstruktur von Vokalen im Mandarin-Chinesischen beeinflusst, da er die Artikulationsänderung verursacht.

2.2.4 Fokus

Die im Verlauf einer Äußerung vom Sprecher als besonders wichtig angesehene Information erhält den Satzakzent. Dieser Teil des Satzes steht im *Fokus*. Es wird generell geglaubt, daß die akustischen Parameter eines Satzakzents bzw. Fokus Grundfrequenz, Dauer, Intensität sind. Die Änderung der Grundfrequenz auf der akzentuierten Silbe ist das weitaus wichtigste Element der Fokussierung eines Satzes. Allgemein gilt auch, daß der akzentuierte Vokal an zweiter Stelle eine höhere Intensität und auch eine längere Dauer als derselbe Vokal in unakzentuierter Stellung besitzt. Der Fokus übt weniger Einfluß auf die Formantfrequenzen von Vokalen aus, dies wurde schon in

vielen Forschungsarbeiten nachgewiesen (wie z.B. in *Olive*[1], *Wu*[10], *Botinis*[16]).

Ich werde die oben genannten Thesen in der Arbeit testen oder unterstützen und nach Korrelaten suchen, durch Analysieren von F1 bis F3.

Kapitel 3

Methode

In diesem Kapitel wird die experimentelle Untersuchung durchgeführt: die Sprecherauswahl (Kapitel 3.1), die Konstruktion des Textmaterials (Kapitel 3.2), die Durchführung der Sprachaufnahmen (Kapitel 3.3), die Lautlabelling und –segmentierung (Kapitel 3.4) und schließlich die Formantwerte-Messungen und Extrahierung (Kapitel 3.5).

3.1 Sprecher

Zwei chinesische Sprecher (ein männlicher und eine weibliche) im Alter 25 und 31 Jahren wurden für das Experiment ausgewählt (2 weitere Sprecher wurden auch aufgenommen, aber nicht ausgewertet). Der männliche Sprecher stammt aus Beijing, die weibliche aus dem Süden, aber die beiden sprachen

hochchinesisch.

3.2 Sprachmaterial

Um den Einfluß der ausgewählten Faktoren Gleitlaut, Neutralton, Ton und Fokus auf die Formantstruktur der Vokale zu untersuchen, mußten dementsprechende Lautumgebungen geschaffen werden. Deshalb wurden die drei Gleitlaute zuerst mit den fünf zu untersuchenden Grundvokalen des Mandarin-chinesischen kombiniert (nur die möglichen Kombinationen unter Berücksichtigung). Um den Einfluß von dem lexikalischen und auch dem neutralen Ton zu kontrollieren, wurden alle Zielsilben die fünf alternativen Töne zugewiesen bekommt: H, R, L, F und NT. Um ein einigermaßen natürliches Vorlesen zu gewährleisten, habe ich zweisilbige Wörter gebildet, deren zweite Silbe die Zielsilbe ist. Dazu möchte ich noch bemerken, daß ich die Wörter nur auf zweisilbige beschränkte, da sie für mein Experiment schon genügten; Manche Zielwörter sind nicht sinnvoll, aber sie könnten aufgrund einer Ableitungsregel existieren. Um den Effekt von Fokus zu kontrollieren, habe ich zwei Trägersatzgruppen gebildet, wobei alle Zielwörter in einer Satzgruppe (wo3 shuo1 le ___ zhe4

ge ci2./Ich habe ____ gesagt.) neutral, und in der anderen (wo3 shuo1 de shi4 ____, bu2 shi4 qi2 ta1./Ich habe ____ gesagt, nicht was anderes.)betont gesprochen wurden. Ich habe auch eine Wortliste von [/h/+V] mit entworfen, die zum Mittelwertvergleich dient, da es bekannt ist, dass /h/ den wenigsten Einfluß auf den nachfolgenden Vokal hat. Es gibt insgesamt 480 Stimuli (s. Tabelle 2):

$(5 (5 \text{ Töne }) * 6 (6 \text{ [Gleitlaut+V]-Kombinationen }) * 2 (\text{ Fokus-Status }) + 5 (5 \text{ Töne }) * 4 (4 \text{ [/h/+V]-Kombinationen})) * 3 (\text{ Wiederholung}) * 2 (\text{ Sprecher}) = 480 \text{ Stimuli}$

Gleitlaut	Vokal	Ton	Fokus	Geschlecht
w	a	1	1	2
w	o	2	2	1
w	u	3	1	2
j	a	4	2	1
j	i	5	1	1
ɥ	y	2	2	2
...

Tabelle 2 : Ausschnitt der Stimuli:

1,2,3,4,5 unter TON repräsentieren jeweils hoch-, hoch-steigend-, fallend-steigend-, fallend- und neutralton;

1,2 unter FOKUS repräsentieren jeweils fokussiert und nicht-fokussiert im Satz;

1,2 unter GESCHLECHT repräsentieren jeweils männlich und weiblich.

3.3 Sprachaufnahmen

Die Sprachaufnahmen wurden in dem Akustiklabor des Instituts für Maschinelle Sprachverarbeitung der Universität Stuttgart durchgeführt. Die Sprecher saßen in einem schalltoten Raum vor einem Monitor. Ein Kopfhörer mit einem Kondensatormikrofon wurde für die Aufnahme benutzt, über ihn wurde den Sprechern während des Vorlesens ihre eigene Stimme eingespielt, um die Schallsituation für die Sprecher möglichst normal zu gestalten. Ein Experimentator saß außerhalb des schalltoten Raumes, sah sich einen anderen Monitor an und kontrollierte den ganzen Prozess der Aufnahme.

Die Sprecher lasen die 80 Sätze einmal in normalem Sprechtempo vor, jeder Satz wurde dreimal wiederholt. Wenn ein Sprecher bei der Aufnahme Fehler gemacht hatte, wurde er dann gebeten, den

Satz zu wiederholen. Die vorgelesenen Sätze wurden gleichzeitig auf DAT-Band mit einer Abtastrate von 48kHz und einer Auflösung von 16Bit aufgenommen.

3.4 Lautsegmentierung und Labeln

Die gewonnenen Sprachdaten wurden wie folgt weiterverarbeitet: Alle Zielwörter, ausgehend von den Sprachdaten, wurden über das Programm **praat** einzeln per Hand herausgeschnitten und dann separat abgespeichert. Die Zielsilben wurden dann segmentiert und gelabelt.

Ein spezielles Problem ist bei der Segmentierung aufgetreten, nämlich, wie man die Grenze zwischen Gleitlaut und angrenzendem Vokal bestimmt, da /j/,/w/ und /ɥ/ , wie sich ihr Sammelname andeutet, häufig kaum ein „steady-state“-Formantmuster aufweisen. Bistlang habe ich ein paar Veröffentlichungen (z.B. *Xu&Liu*[8]) gefunden, die mir eine klare Beschreibung anbieten, wie man Silben mit initialen Gleitlauten segmentiert. Xu und Liu (*Xu&Liu*[8]) betrachteten gewisse Punkte, wo Formantwerte anfangen, sich zu ändern, als Grenzen zwischen

Gleitlauten und Vokalen. Ich übernahm direkt ihr Forschungsergebnis und konnte dann das Segmentierungsproblem lösen. Nach der Segmentierung wurden manuell alle Laute mit entsprechenden Labels versehen. Abbildung 2 ist ein Beispiel für diesen Schritt:

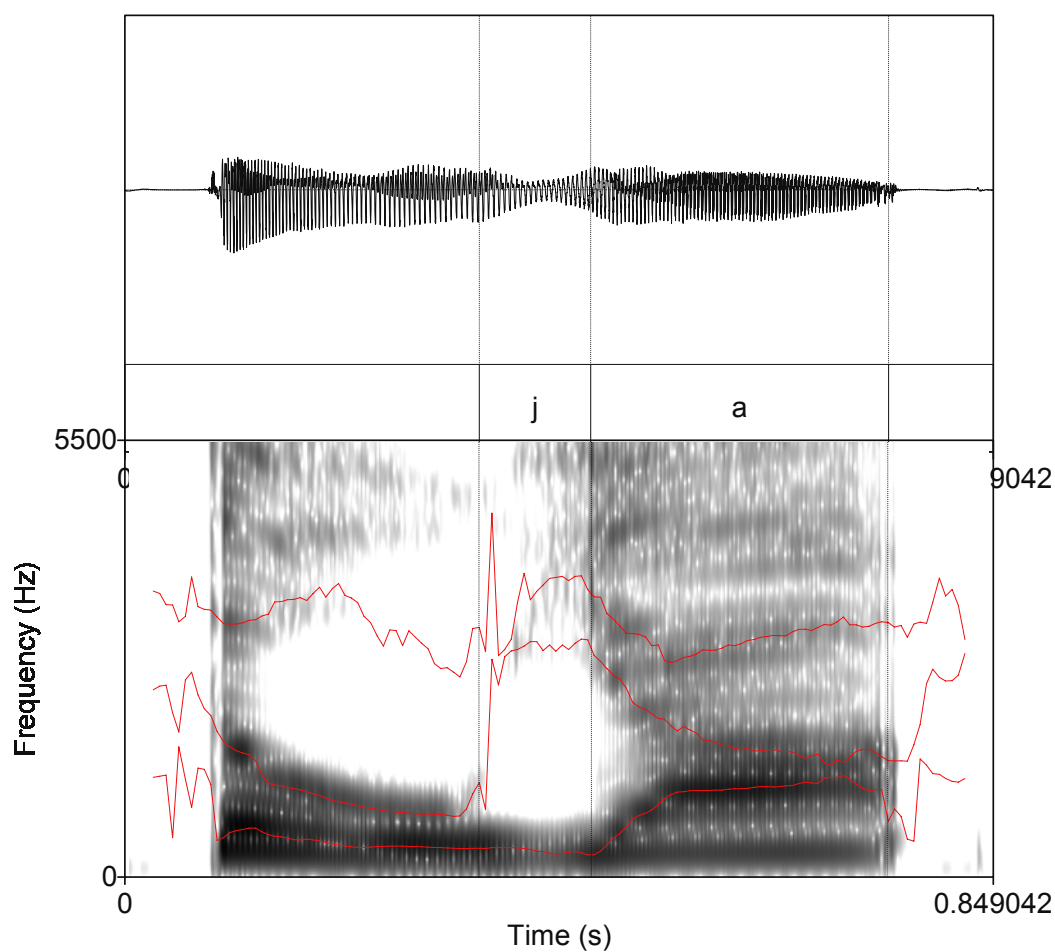


Abb. 2: Sprachsignal, Labelfile, Spektrogramm und Formantracking für ‚ya1‘: Grenzungslinien am Kurvenanstieg oder –abstieg.

3.5 Formantwert-Messungen

Nachdem die Lautsegmentierung und Labeln abgeschlossen waren, wurden Formantwert-Messungen durchgeführt. Ich habe 5 Messpunkte für jeden Vokal herausgegriffen, also bei 10%, 30%, 50%, 70%, 90% der Lautdauer, mit denen sich die dynamischen Verläufe der ersten drei Formanten relativ gut beschreiben lassen. Ich habe ein Praat-Script für automatische Extrahierung aller Formantdaten geschrieben, das aus folgenden Schritten besteht :

- a. Ein Soundfile und sein entsprechendes Labelfile in Praat laden;
- b. LPC-Formanttracking über das „To Formant(burg)“ Kommando generieren (Die Argumenteinstellungen waren: Timestep von 10 ms, Extrahierung von 5 Formanten per Frame, maximale Formantfrequenz von 5000Hz für erwachsene Männer und 5500Hz für erwachsene Frauen, Fensterlänge von 25ms, Pre-emphasis von 50Hz);
- c. Zeit- und Frequenzwerte an den oben genannten 5 Messpunkten messen und in ein Textfile abspeichern;
- d. Schleifen, bis alle Soundfiles analysiert werden.

Manche vom Program automatisch gemessenen Formantwerte

könnten vom Targetwert (ein gemessener Frequenzwert ohne Einfluß von Kontext) sehr stark abweichen. Der Grund der Abweichung liegt vermutlich darin, daß wegen der speziellen Artikulationsmerkmale der Gleitlaute (genügend starke Engebildung) die Bandbreite von F2 und F3 erhöht wird, was zur reduzierten Ausprägung von den beiden Formanten führen kann; Ein anderer Grund ist, daß bei hinteren Vokalen F1 und F2 oft teilweise sich überlappen. In solchen Fällen sind manche Formanten nicht so gut erkennbar, so daß Praat sie nicht richtig identifizieren kann. Deshalb mußte ich nochmal das Formanttrack-Diagramm von den zweifelhaften Formantwerten überprüfen, sie dann mit den Formanten im entsprechenden Spektrogramm vergleichen, und schließlich konnte ich relativ exaktere Daten erhalten.

Kapitel 4

Statistische Analyse

Die in dem letzten Kapitel zustande gekommenen Formantdaten sollen nun statistisch als von Gleitlaut, Neutralton, Ton und Fokus und auch von dem Geschlecht der Sprecher abhängige Variablen analysiert werden. Als Analyseverfahren habe ich ANOVA (ANalysis Of VAriance) benutzt.

4.1 Einführung der Anova

Die Anova-Analyse ist ein sehr allgemein einsetzbares multivariates Analyseverfahren, mit dessen Hilfe Meßwerte einer oder mehrerer abhängigen Variablen X, Y, \dots , die in der Regel von mehreren simultan wirksamen Faktoren (Variablen) A, B, \dots abhängen, analysiert werden können. Die Fragen, ob ein Faktor A oder B jeweils einen Einfluß oder einen gemeinsamen Einfluß auf

abhängige Variablen X, Y, ... haben könnte, können einmal auf die Fragen nach Mittelwertunterschieden in den nach Faktoren gebildeten Versuchsgruppen zurückgeführt werden. Die Grundidee von Anova kann man so verstehen: Getestet wird die Nullhypothese (H_0), die Gruppenmittelwerte seien gleich. Als statistischer Test wird ein F-Test durchgeführt. Wenn die Prüfgröße F den kritischen Wert für ein gegebenes Signifikanzniveau (im Allgemeinen gelten 5% als ein sehr gutes Signifikanzniveau) überschreitet, wird die Nullhypothese verworfen. In logischer Konsequenz muß dann die Alternativhypothese (H_1) angenommen werden, die lautet, daß es signifikante Abweichungen zwischen den Gruppenmittelwerten gibt, das heißt auch, daß nicht signifikante Werte einen Einfluß der in dieser Arbeit untersuchten Faktoren auf die Formantstruktur von Vokalen ja gerade ausschließen (*Fahrmeir* [19]).

4.2 Auswertung von Anovas

Die Anova-Analysen habe ich mit Hilfe des SPSS-Programms für Windows durchgeführt. Jetzt möchte ich die Analysen, die sich zunächst auf einen einzelnen Faktor und dann auf die

Interaktionseffekte mehrerer Faktoren beziehen, erläutern.

4.2.1 Einfluß von Gleitlaut

4.2.1.1 Ergebnisse der Anova

In diesem Faktor vereint der Vokal /a/ die meisten Auffälligkeiten dieses Faktors auf sich und hat im Bereich von den drei Formanten Signifikanzen aufzuzeigen, besonders in der ersten Hälfte des Vokalintervals; Alle anderen Vokale verhalten sich relativ ähnlich, wobei die Formanten nur sehr wenige Signifikanzen überhaupt zeigen (s. Tabelle 3). Es ist hier festzustellen, daß der Faktor Gleitlaut nur einen Einfluß auf die Formantstruktur vom Vokal /a/, nicht aber vom Vokal /i/, /o/, /u/ und /y/ hat. Der Grund liegt darin, daß Vokale /i/, /o/, /u/ und /y/ im Mandarin-Chinesischen nur mit Gleitlauten kombinieren dürfen, die eine gleiche oder ähnliche Artikulationsstelle wie der nachfolgende Vokal haben, und eine ähnliche Artikulationsstelle hat eine fast ähnliche Ausprägung der Formantstruktur mit annähernden Formantwerten bzw. einen fast flachen Formantverlauf zur Folge, wogegen bei dem Vokal /a/ nicht der Fall ist (Tabelle 4.1).

Formant (Zeitpunkt)	/a/	/i/	/o/	/u/	/y/
F1(10%)	***				
F2(10%)	***				
F3(10%)		*			
F1(30%)	***		*		
F2(30%)	***				
F3(30%)	**	**			
F1(50%)	**				*
F2(50%)	***				
F3(50%)	*			*	
F1(70%)					
F2(70%)	***				
F3(70%)					
F1(90%)					
F2(90%)					
F3(90%)					

Tabelle3: Ergebnisse der Anovas in Abhängigkeit von Gleitlaut mit der Aufspaltung in individuelle Vokale:

Sternchen ,*' ist Signifikanzcode, je mehr Sternchen es gibt, desto stärker signifikant ist die Abhängigkeit:

0 '***' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05

4.2.1.2 Formant-Trajektorien

Da der Faktor Gleitlaut die Formantstruktur vom Vokal /a/ sehr stark beeinflusst, betrachten wir hauptsächlich die Formant-Trajektorien dieses Vokals. Andere Vokale zeigen fast keine Signifikanzen, deswegen analysieren wir nur noch /i/ zum Vergleich.

Hierbei wurde jede der Formant-Trajektorien linear interpoliert, und Zeit wurde normalisiert, um die Trajektorien linear zusammen zu dehnen oder zu drücken, so daß sie von gleicher Länge sind. Das Wichtige ist, daß man betrachtet, wie weit entfernt die durchgezogenen, gestrichelten oder gepunkteten Linien voneinander sind. Wenn die Linien sehr deutlich voneinander entfernt sind, dann wird ein Einfluß des Faktors auf die entsprechenden abhängigen Variablen gezeigt.

In der Abbildung 3 zeigt der Vokal /a/ den Effekt von Gleitlaut. Es ist hier zu sehen, daß die Frequenzvariation von den drei Formanten sehr deutlich ist, besonders bei F2. Der F2-Frequenzwert ist unter

dem Einfluß des /j/ ca. 500 Hz am Anfang und anschließend ca. 250 Hz höher, und unter dem Einfluß des /w/ ca. 250 Hz am Anfang und anschließend ca. 100 Hz tiefer, jeweils im Vergleich zu dem Targetwert. Gleiches gilt für F3, wobei /j/ die Formantwerte vom Vokalanfang bis zur Vokalmitte mehr als 150 Hz höher und /w/ sie weniger als 100 Hz niedriger machen. Die Tendenz eines Anstiegs oder Abstiegs der Formantfrequenzen liegt nahe, daß wegen derselben oder ähnlicher Artikulationsstelle /j/ eine ähnliche Formantstruktur wie /i/ und /w/ wie /u/ hat. Die Formantwerte des F1 senken sich bei den beiden Gleitlauten am Anfang um ca. 200-250 Hz ab, da die Gleitlaute als Konsonanten im Vergleich zu Vokalen auf einer stärkeren Engebildung basieren, was zu einem tieferen F1-Wert führt. Der hintere Teil des Vokals wird sehr wenig von den Gleitlauten beeinflusst.

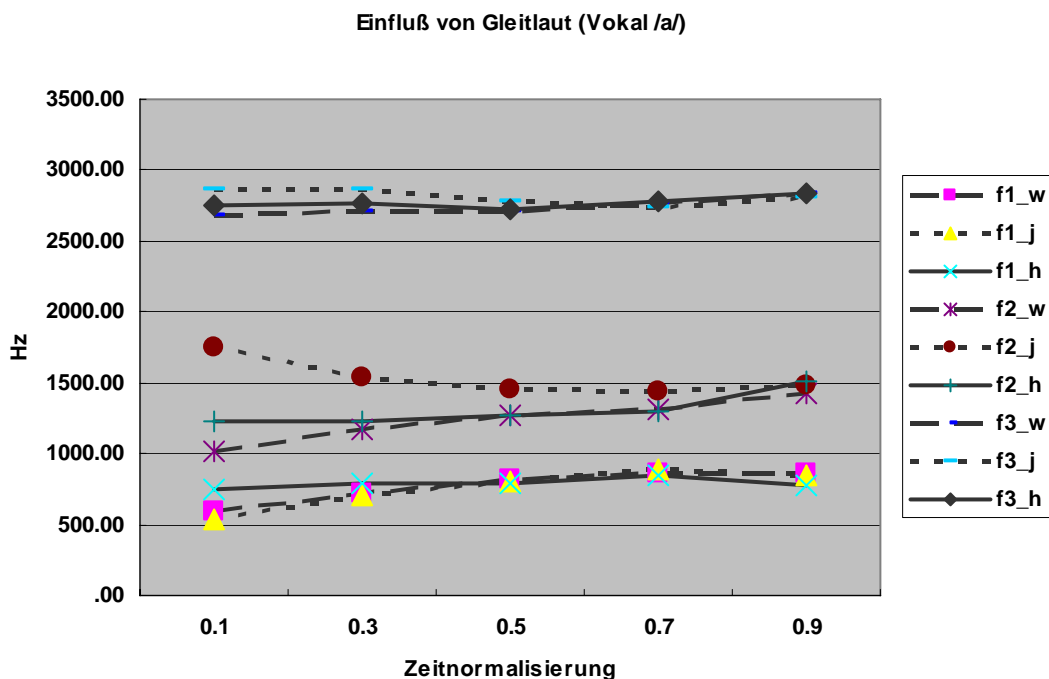


Abb. 3: Einfluß von Gleitlaut auf die F1-, F2- und F3-Trajektorien des Vokals /a/: Die horizontale Achse repräsentiert die normalisierte Zeit bzw. die fünf Messpunkte, die vertikale Achse repräsentiert Formantfrequenz in Hz. Vokal /a/ kann mit /j/ und /w/ kombinieren.

Abbildung 4 stellt die Formant-Trajektorien vom Vokal /i/ unter dem Einfluß von Gleitlaut /j/ im Vergleich zum Targetwert dar. Die F1- und F2-Verläufe von den beiden Realisierungen decken sich fast genau und weisen eine flache Verlauff Tendenz auf. Nur die F3-Werte weisen signifikante Differenzen auf, und zwar beginnt die /j/-Realisierung ca. 250 Hz höher im Vergleich zur /h/-Realisierung und steigt allmählich zur /h/-Realisierung hin ab, am Ende laufen

die beiden F3-Trajektorien miteinander zusammen.

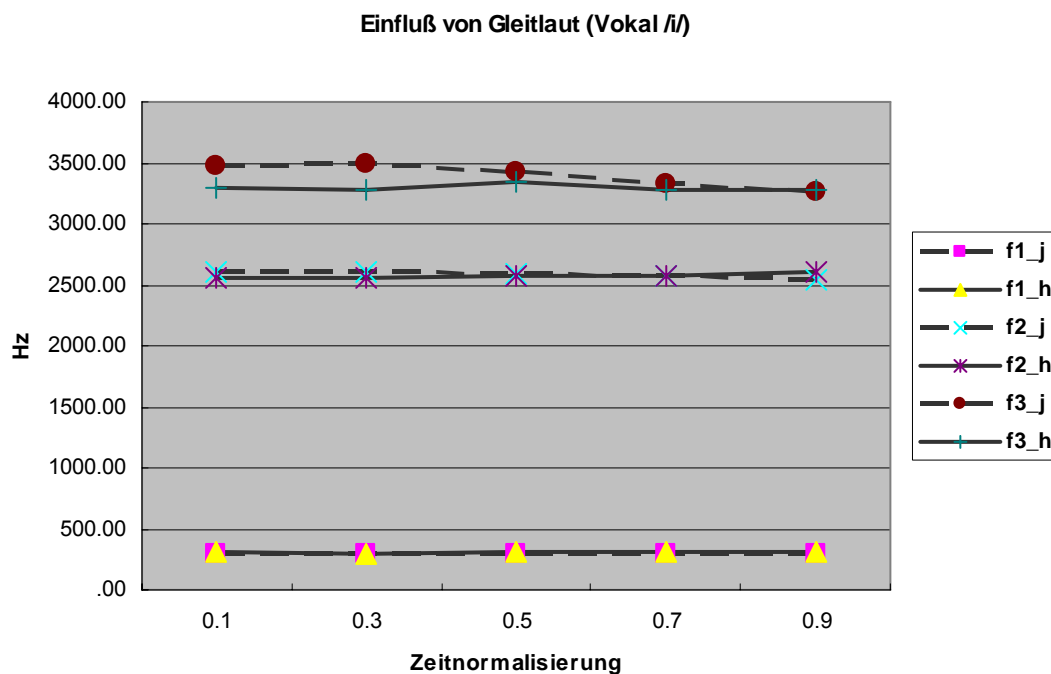


Abb. 4: Einfluß von Gleitlaut auf die F1-, F2- und F3-Trajektorien des Vokals /i/: Die horizontale Achse repräsentiert die normalisierte Zeit bzw. die fünf Messpunkte, die vertikale Achse repräsentiert Formantfrequenz in Hz. Vokal /i/ darf nur mit dem Gleitlaut /j/ kombinieren.

4.2.2 Einfluß von Neutralton

4.2.2.1 Ergebnisse der Anova

Generell hat der Faktor Neutralton mehr Signifikanzen als der Faktor Gleitlaut. Ziemlich auffällig ist, daß hier der Vokal /o/ neben dem Vokal /a/ auch viele Signifikanzen besetzt, besonders für F1 und F2, im Gegensatz zum Verhalten im Faktor Gleitlaut; Signifikanzen im Vokal /a/ befinden sich nur im Bereich von den allen F1s an den fünf Messpunkten; Im Vokal /y/ zeigen F1s auch ein paar Signifikanzen, aber nicht so signifikant wie im Vokal /a/; Im Vokal /i/ weisen auffälligerweise alle Formanten an allen Zeitpunkten überhaupt gar keine einzelne Signifikanz auf; Auch im Vokal /u/ ist fast identisches Verhalten wie im /i/ zu finden, nur eine einzelne Signifikanz im F3 bei 10% (s. Tabelle 4).

Formant (Zeitpunkt)	a	i	o	u	y
F1(10%)	***		***		*
F2(10%)			***		
F3(10%)				*	
F1(30%)	***		***		*
F2(30%)			***		
F3(30%)					
F1(50%)	***		***		*
F2(50%)			***		

F3(50%)			*		
F1(70%)	***		***		*
F2(70%)					
F3(70%)			*		
F1(90%)	***				
F2(90%)					
F3(90%)					

Tabelle 4: Ergebnisse der Anovas in Abhängigkeit von Neutralton mit der Aufspaltung in individuelle Vokale:

Sternchen ,*' ist Signifikanzcode, je mehr Sternchen es gibt, desto stärker signifikant ist die Abhängigkeit:

0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05

4.2.2.2 Formant-Trajektorien

Hier betrachten wir nur die Vokale /a/ und /o/, die im Faktor Neutralton viel Signifikanzen zeigten. Im Vergleich dazu habe ich die anderen vier lexikalischen Töne als die Gruppe „Normalton“ zusammengesetzt.

Im Vokal /a/ (s. Abb. 5) ist ein signifikanter Unterschied bei dem

ersten Formanten zwischen den beiden Varianten zu beobachten: Die beiden Tonvarianten laufen relativ parallel, und die Formantwerte der neutralisierten Tonrealisierung sind um ca. 150 Hz niedriger. Der Faktor hat weniger Einfluß auf F2 und F3, trotzdem ist es auch zu erkennen, daß die neutrale Tonvariante für F2 etwas höher und für F3 etwas niedriger als die normale ist.

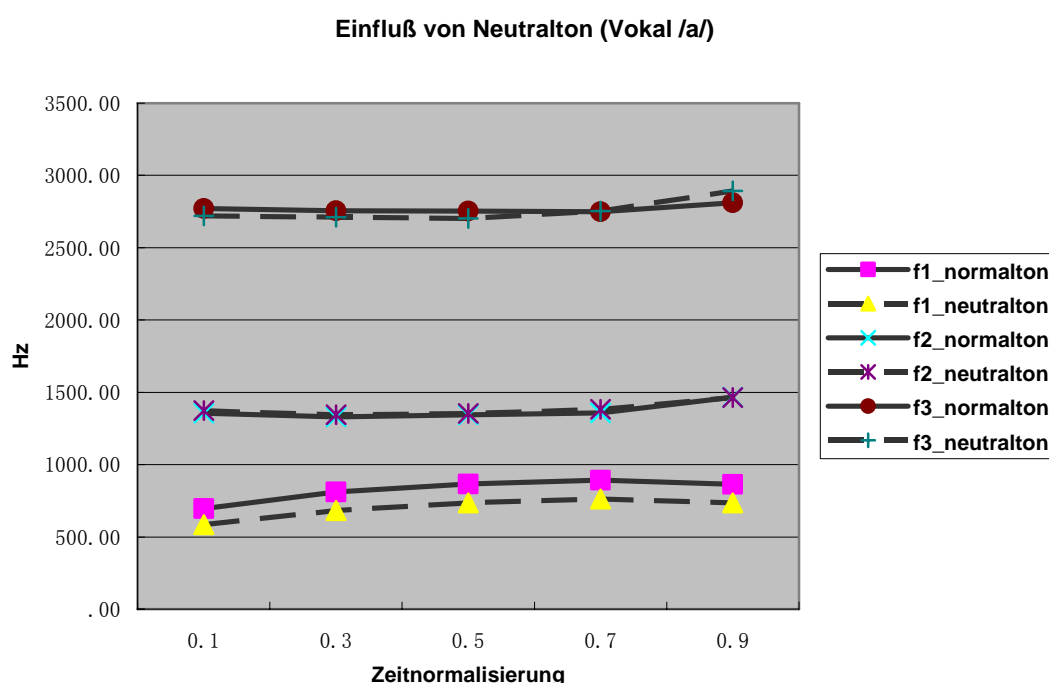


Abb. 5: Einfluß von Neutralton auf die F1-, F2- und F3-Trajektorien des Vokals /a/: Die horizontale Achse repräsentiert die normalisierte Zeit bzw. die fünf Messpunkte, die vertikale Achse repräsentiert Formantfrequenz in Hz.

Bei /o/ in der Abbildung 6 ist es zu sehen, daß es bei den drei

Formanten signifikanten Differenzen gibt. Der F1 der neutralen Tonrealisierung liegt im Verlauf bei ca. 500 Hz; für F2 hebt sich die neutrale Tonvariante sehr leicht höher auf bis zum Vokalende; Im Gegenteil steigt der F3-Wert der neutralen Tonrealisierung um 50 Hz ab.

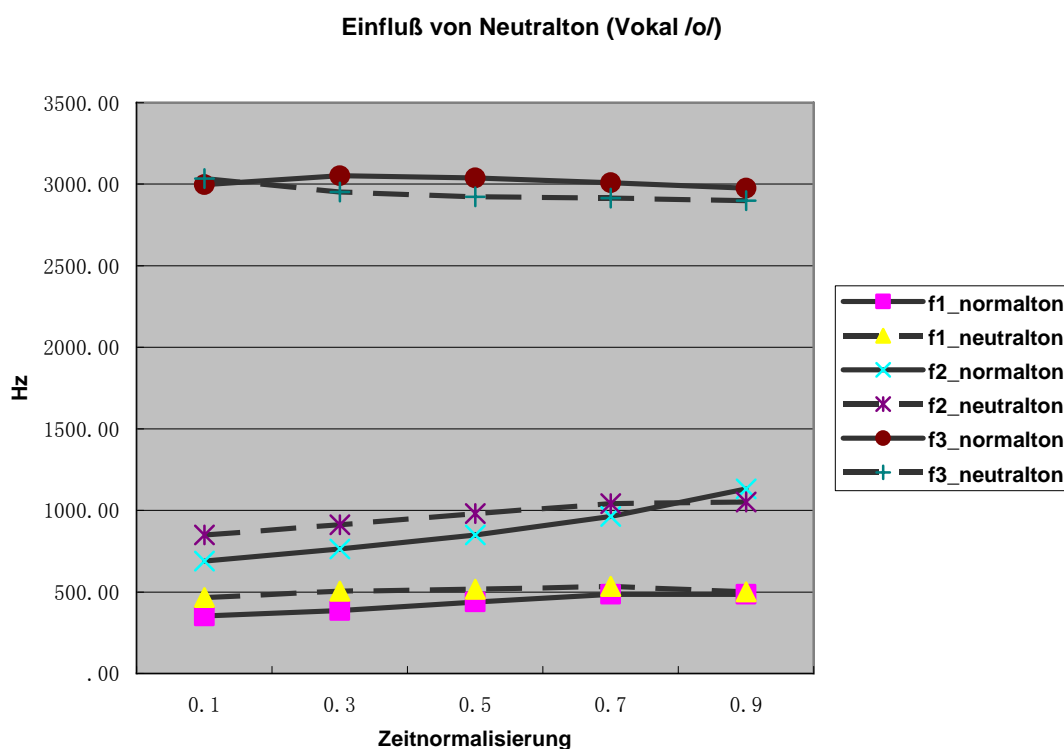


Abb. 6: Einfluß von Neutralton auf die F1-, F2- und F3-Trajektorien des Vokals /o/: Die horizontale Achse repräsentiert die normalisierte Zeit bzw. die fünf Messpunkte, die vertikale Achse repräsentiert Formantfrequenz in Hz.

Ausgehend von den beiden Formanttrajektorien-Analysen kann

man ein interessantes Phänomen erkennen, daß die Tendenz des Anstiegs oder Abstiegs der Formantwerte auf das Schwa (dessen Formantfrequenzen sind: 500 Hz, 1500 Hz, 2500 Hz) hindeutet, d.h. die Formantwerte der neutralisierte Tonrealisierung nähern sich den des Schwas an, und der Vokal wird „**NEUTRALisiert**“.

4.2.3 Einfluß von Ton

4.2.3.1 Ergebnisse der Anova

In diesem Faktor Ton haben die Formanten Signifikanzen nur bei Vokalen /a/, /o/ und /u/ vorzuweisen. Hier fällt auf, daß es viel Signifikanzen für F3 in den Vokalen /a/ und /o/ und für F2 im Vokal /u/ gibt, aber überhaupt keine Signifikanzen in den Vokalen /i/ und /y/.

Formant (Zeitpunkt)	a	i	o	u	y
F1(10%)			**	**	
F2(10%)				***	
F3(10%)	***		*	*	

F1(30%)			*		
F2(30%)				***	
F3(30%)	**		***	*	
F1(50%)					
F2(50%)				***	
F3(50%)	***		***		
F1(70%)	*		*		
F2(70%)				***	
F3(70%)	***		***		
F1(90%)					
F2(90%)					
F3(90%)	**		***		

Tabelle 5: Ergebnisse der Anovas in Abhängigkeit von Ton mit der Aufspaltung in individuelle Vokale:

Sternchen ‚*‘ ist Signifikanzcode, je mehr Sternchen es gibt, desto stärker signifikant ist die Abhängigkeit:

0 ‚****‘ 0.001 ‚***‘ 0.01 ‚**‘ 0.05

4.2.3.2 Formant-Trajektorien

Betrachten wir jetzt die Formantverläufe aller Tonvarianten der

Vokale /a/, /o/ und /u/, die viel Signifikanzen in der Anova-Analyse zeigten.

In der Abbildung 7 sieht man die Formantverläufe des Vokals /a/, die dem Ergebnis der Anova entsprechen: Die F1- und F2-Trajektorien überlappen sich relativ gut und werden nicht vom Faktor Ton beeinflusst. Hingegen unterscheiden sich die vier Tonrealisierungen des F3 sehr deutlich, aber unregelmäßig. Die F3-Trajektorien von Ton2 und Ton3 beginnen mit durchschnittlich 2700 Hz und weisen eine relativ ebene Bewegung auf; Die F3-Trajektorie vom Ton1 beginnt mit durchschnittlich 2800 Hz relativ höher und steigt langsam auf bis zu ca. 3000 Hz, wogegen die des vierten Tons noch mehr um ca. 100 Hz höher anfängt und allmählich absteigt.

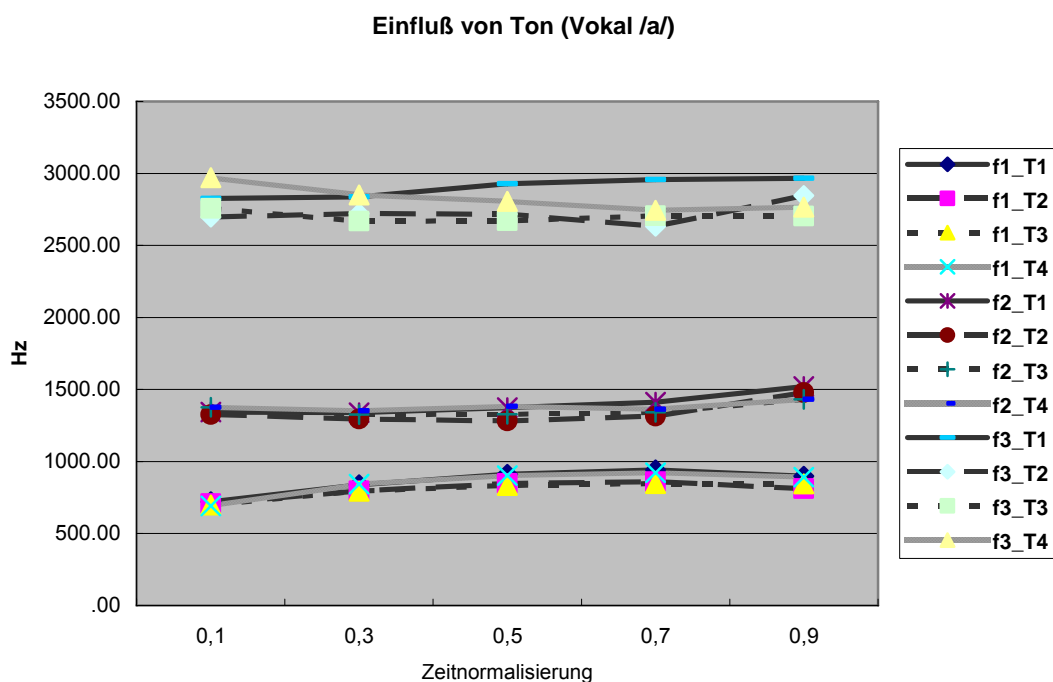


Abb. 7: Einfluß von Ton auf die F1-, F2- und F3-Trajektorien des Vokals /a/: Die horizontale Achse repräsentiert die normalisierte Zeit bzw. die fünf Messpunkte, die vertikale Achse repräsentiert Formantfrequenz in Hz. T1, T2, T3 und T4 repräsentieren jeweils den hoch-ebenen Ton, steigenden Ton, fallend-steigenden Ton und fallenden Ton.

Vokal /o/ in der Abbildung 8 stellt zeigt ähnliche Formantverläufe wie Vokal /a/ dar: die F1- und F2-Trajektorien decken sich fast genau, die F3 aller Tonvarianten weichen sich voneinander ab und haben auch eine unregelmäßige Kontur vorzuweisen, wobei die Ton1- und Ton4-Realisierung die höchsten Werte auf der Frequenzskala nehmen, wogegen Ton2 und Ton3 einen niedrigsten Frequenzwert zeigen.

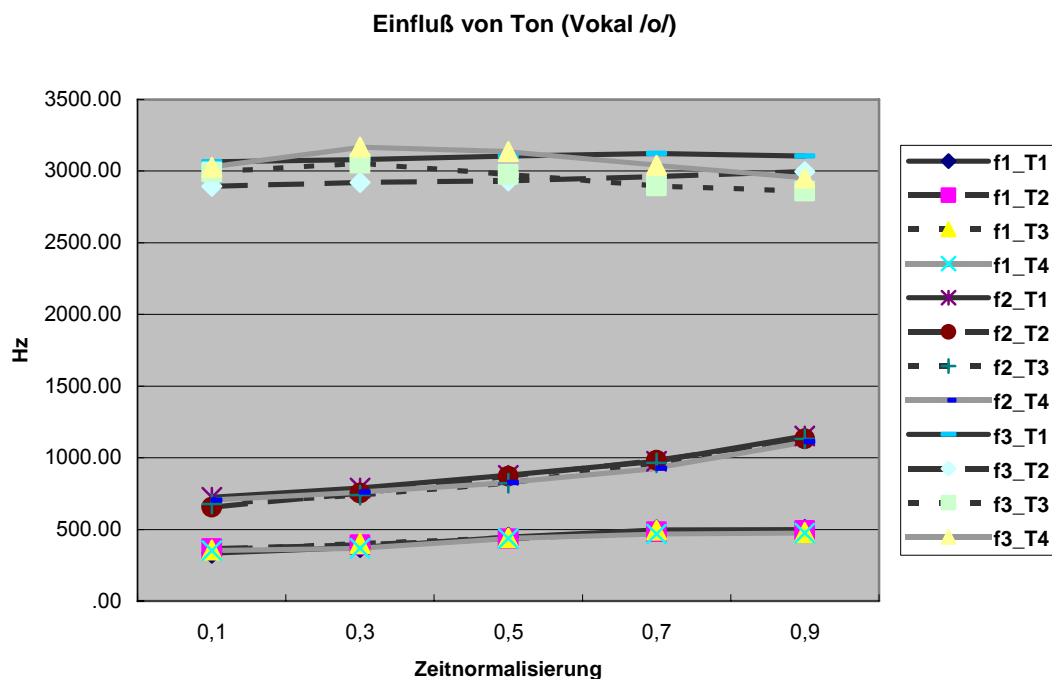


Abb. 8: Einfluß von Ton auf die F1-, F2- und F3-Trajektorien des Vokals /o/: Die horizontale Achse repräsentiert die normalisierte Zeit bzw. die fünf Messpunkte, die vertikale Achse repräsentiert Formantfrequenz in Hz.

T1, T2, T3 und T4 repräsentieren jeweils den hoch-ebenen Ton, steigenden Ton, fallend-steigenden Ton und fallenden Ton.

Im Vokal /u/ (Abb. 9) zeigen die Signifikanzen hauptsächlich in den Bereichen von F2 und wenige in den vorderen Teilen von F3. Für F2 wurde in diesem Fall der Ton1 hingegen auf der höchsten Ebene auf der Frequenzskala realisiert, danach kommt der Ton4. Schon wieder haben Ton2 und Ton3 die niedrigsten Frequenzwerte

vorzuweisen. Für F1 weist Vokal /u/ auch eine gute Überlappung von allen Tonrealisierungen.

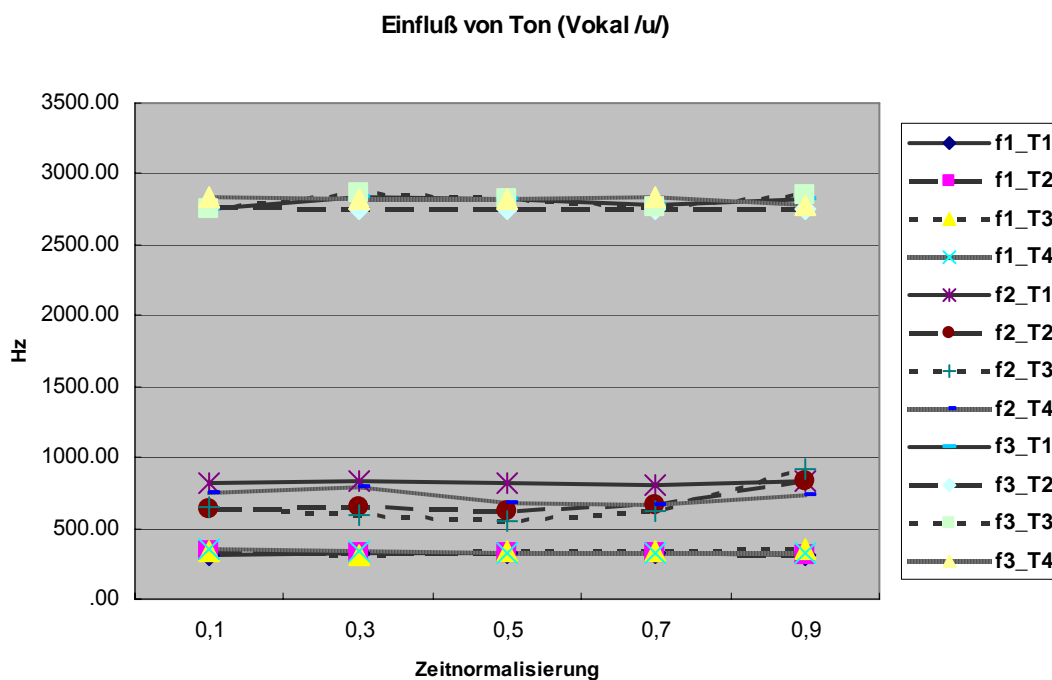


Abb. 9: Einfluß von Ton auf die F1-, F2- und F3-Trajektorien des Vokals /u/: Die horizontale Achse repräsentiert die normalisierte Zeit bzw. die fünf Messpunkte, die vertikale Achse repräsentiert Formantfrequenz in Hz.

T1, T2, T3 und T4 repräsentieren jeweils den hoch-ebenen Ton, steigenden Ton, fallend-steigenden Ton und fallenden Ton.

Es scheint, daß die Tonhöhe einen gewissen Einfluß auf F3 und zum Teil auf F2 der Vokale ausüben könnte. In meinem Experiment verursachten die Ton1 und Ton4 immer eine Realisierung mit

höheren Frequenzwerten im Vergleich zu Ton 2 und Ton3, und gar kein Einfluß auf F1 aller Vokale wurde aufgewiesen. Der Einfluß von Ton auf die Formanten der Vokale wurde auch in anderen Forschungsarbeiten experimentiert, beispielsweise in *Philip Hoole* [3] und *Donna Erickson* [4], aber sie haben uns ein anderes Experimentsergebnis gezeigt: „This study investigates some of the articulatory changes that occur due to the tonal conditions of the syllable; specifically, jaw, tongue and formant frequency changes... For the low Tone 3 compared to high Tone 1, for both speakers, the jaw and tongue are significantly more retracted and F1 is significantly higher...” (*Erickson* [4]); “Most differences found involved Tone 3 relative to the other tones” (*Hoole* [3]). Woran der Unterschied der Ergebnisse liegt, kann ich nur spekulieren: Erstens liegt es vielleicht an den sich voneinander unterscheidenden Textmaterialien, die verschiedene Faktoren untersuchen, deren Interaktionseffekte zu einem anderen Bild der Formantstruktur der Vokale führen könnten; Zweitens ist der Umfang der Formantdaten zu gering, deshalb kann ich die Analyseergebnisse in meiner Arbeit nicht als endgültige annehmen.

4.2.4 Einfluß von Fokus

4.2.4.1 Ergebnisse der Anova

Die Tabelle 6 zeigt das Ergebnis der einfaktoriellen Anova mit dem Faktor Fokus für alle fünf Vokale. Wie die Tabelle zeigt, hat dieser Faktor weniger Signifikanzen als andere Faktoren vorzuweisen. Es scheint, daß sich die nicht so ausgeprägten Signifikanzen hauptsächlich an F3 verteilen würden. Woran es liegt, kann ich noch nicht erklären. Da die Nicht-Signifikanz dieses Faktors in vielen Forschungsarbeiten schon nachgewiesen wurde, habe ich mich entschlossen, ihn hier nicht weiter zu betrachten und werde im folgenden auch nicht auf Interaktionen mit diesem Faktor eingehen, da einfach keine Signifikanzen in allen Interaktionen mit ihm vorlagen.

Formant (Zeitpunkt)	a	i	o	u	y
F1(10%)					
F2(10%)			*		
F3(10%)		**		*	
F1(30%)					

F2(30%)					
F3(30%)		**	*	*	
F1(50%)					
F2(50%)					
F3(50%)		*	*	**	
F1(70%)	**				
F2(70%)			*		*
F3(70%)	*		*	*	
F1(90%)					
F2(90%)				*	
F3(90%)					

Tabelle 6: Ergebnisse der Anovas in Abhängigkeit von Ton mit der Aufspaltung in individuelle Vokale:

Sternchen ,*' ist Signifikanzcode, je mehr Sternchen es gibt, desto stärker signifikant ist die Abhängigkeit:

0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05

4.2.4.2 Formanttrajektorien

In der Abbildung 10 liegen die Formanttrajektorien des Vokals /i/ unter zwei Fokus-Bedingungen vor. Wie die Abbildung zeigt, hat

der Faktor Fokus gar keinen Einfluß auf die F1 und F2 des Vokals /i/, da die zwei Linien sich gut überlappen. Nur für die F3 gibt es einen signifikanten Unterschied, und zwar macht der Fokus den F3 200 Hz höher.

Andere Vokale werde ich nicht weiter berücksichtigen, da die gleichen Ergebnisse vorliegen.

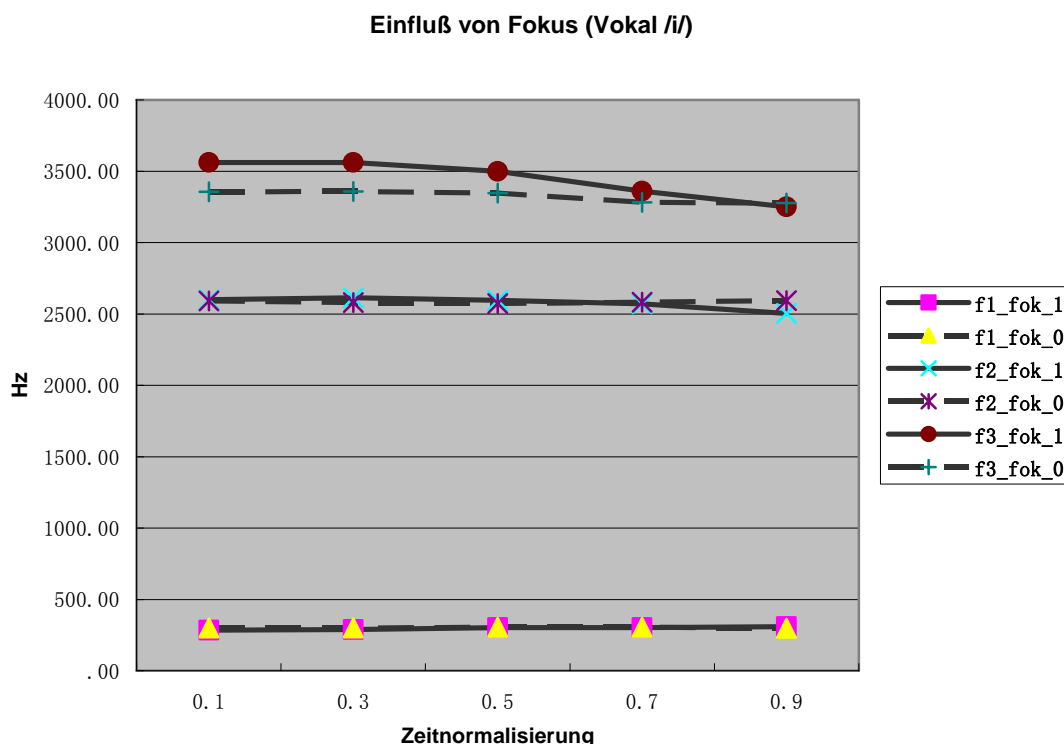


Abb. 10: Einfluß von Fokus auf die F1-, F2- und F3-Trajektorien des Vokals /i/: Die horizontale Achse repräsentiert die normalisierte Zeit bzw. die fünf Messpunkte, die vertikale Achse repräsentiert Formantfrequenz in Hz. Die durchgezogene Linie steht für die fokussierte Realisierung, die

gestrichelte Linie für die Realisierung ohne Fokus.

4.2.5 Die Interaktionen

Hier untersuche ich nur die Interaktionen zwischen den Faktoren, die als Einzelfaktor Viel Signifikanzen zeigten, d.h. nur die Interaktionen Gleitlaut*Neutralton, Gleitlaut*Ton ohne und dann auch mit der Trennung der Geschlechter sind mir interessant.

In den Interaktionen Gleitlaut*Neutralton, Gleitlaut*Ton, Gleitlaut*Neutralton*Geschlecht und Gleitlaut*Ton*Geschlecht ist gar keine Signifikanz zu finden, die Anova-Ergebnisse haben ergeben, daß an keinem der 15 Messpunkte eine entsprechende Interaktion signifikant ist, auch wenn der Faktor Geschlecht mit einbezogen wird. Ich werde sie deshalb nicht weiter betrachten.

Kapitel 5

Zusammenfassung

Die vorliegende Studienarbeit untersuchte eingehend den Einfluß ausgewählter segmentaler (Gleitlaut) und prosodischer (Neutralton, Ton und Fokus) Faktoren auf die Formantstruktur der Vokale im Mandarin-Chinesischen.

Um den Einfluß von Gleitlaut zusammenzufassen, kann man sagen, daß die Gleitlaute hauptsächlich die Formantstruktur vom Vokal /a/ beeinflussen, da andere Vokale nur mit einem Gleitlaut kombinieren dürfen, der an derselben oder ähnlicher Stelle artikuliert wird, und zur Folge eine relativ flache Transition aus dem Gleitlaut heraus haben; Bei /j/ zeigt der Vokal /a/ einen höheren F2- und F3 und bei /w/ hingegen einen niedrigeren F2- und F3, eine Folge des unterschiedlichen Einflusses der labialen und palatalen Artikulation.

Um den Einfluß von Neutralton zusammenzufassen, kann man sagen, daß Vokale /a/ und /o/ hauptsächlich von diesem Faktor beeinflusst werden. Die Tendenz der Änderung der Formantsfrequenzen unterstützt die Hypothese, daß die Formantfrequenzen bzw. die Zungeposition eines neutralisierten Vokals mehr oder weniger in die Richtung des Schwas übergehen.

Über den Zusammenhang zwischen Ton und Formantwerten eines Vokals scheint in meinem Experiment ein anderes Bild im Vergleich zu anderen Aussagen zu zeigen: Der Faktor Ton hat vor allem einen Einfluß auf die F3 bei /a/, /o/ und F2 und zum Teil F3 bei /u/; Die Tonhöhe scheint der Hauptgrund zur Änderung der Formantstruktur zu sein, nämlich führt ein höherer Ton zu höheren Formantwerten. Der Unterschied der erhaltenen Ergebnisse liegt vermutlich an der verschiedenen Korpuskonstruktion, und der Datenumfang des hier gemachten Experiments ist zu gering, um ein endgültiges Ergebnis daraus zu schließen, was weitere Untersuchungen fordert.

In Bezug auf den Faktor Fokus hat sich herausgestellt, daß dieser Faktor keinen signifikanten Einfluß auf die Formantstruktur von Vokalen hat.

In Bezug auf die Interaktionen zwischen Gleitlaut und allen anderen Faktoren ohne und mit der Trennung der Geschlechter sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen.

Literatur

- [1] Olive, J. P., Greenwood, A. und Coleman, J.(1993) “Acoustics of American English Speech.”: *A Dynamic Approach*.

- [2] Hirata, Y. und Tsukada, K. (2004) “The effects of speaking rates and vowel length on formant movements in Japanese.” In A. Agwuele, W. Warren, and S. H. Park (eds.), Proceedings of the 2003 Texas Linguistics Society Conference: *Coarticulation in Speech Production and Perception*. Somerville, MA: Cascadilla Proceedings Project, pp. 73-85.

- [3] Hoole, P. und Hu, F. (2004) „Tone-Vowel Interaction in Standard Chinese.“: *TAL-2004*, 89-92.

- [4] Erickson, D., Iwata, R., Endo, M. und Fujino, A. (2004) “Effect of tone height on jaw and tongue articulation in Mandarin Chinese.” *Proc. Tonal aspects of languages*, Beijing.

- [5] Liang, L. (2004) “Tonal neutralization in Chinese: a cross-dialectal perspective.”: *TAL-2004*, 123-124.

- [6] Wang, Y. J. (2004) “Tone pattern and word stress in Mandarin.”: *TAL-2004*, 207-210.

-
- [7] Erickson, D. (2002) "Articulation of extreme formant patterns for emphasized vowels.": *Phonetica* 59, 134-149.
- [8] Xu, Y. und Liu, F. (2002) "Segmentation of glides with tonal alignment as reference." *Proceedings of 7th International Conference On Spoken Language Processing*, Denver, Colorado, pp.1093-1096.
- [9] Shih, C. (1995) "Study of vowel variations for a Mandarin speech synthesizer.": *EUROSPEECH '95*, Madrid, pp. 1807-1810.
- [10] Wu, Z. J. und Lin, M. C. (1989) „Shiyan Yuyinxue Gaiyao (der Überblick der experimentellen Phonetik).“
- [11] Shank, S. und Wilson, I. (2000) „An acoustic analysis of vowel formants in pharyngeal and glottal contexts in Nuu-chah-nulth.“: *University of Washington Working Papers in Linguistics*. Volume 19, pp. 75-84.
- [12] Stevens, K. (1999) "Articulatory-acoustic-auditory relationships." : *The Handbook of Phonetic Sciences*, ed. by William J. Hardcastle and John Laver, Blackwell, Oxford, pp. 462-507.

- [13] Neppert, J. und Pétursson, M. (1999) „Elemente einer akustischen Phonetik.“ Hamburg (Buske) 4.Aufl. 1999.
- [14] Johnson, K. (1958) „Acoustic and auditory phonetics.“: *Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*.
- [15] Machelett, K. (1994) “Das Lesen von Sonogrammen: Begleitendes Hypertext-Dokument zur Vorlesung.“ Institut für Phonetik und Sprachliche Kommunikation, Universität München.
- [16] Botinis, A., Granstroem, B. und Möbius B. (2001) “Developments and paradigms in intonation research.”: *Speech Communication 33 (2001), 263-296*.
- [17] Xu, Y. (1997) “Contextual tonal variations in Mandarin“: *Journal of Phonetics (1997) 25 , 61-83*.
- [18] Chao, Y. R. A Grammar of Spoken Chinese. Berkeley: University of California Press, 1968.
- [19] Fahrmeir u.A.: Statistik - Der Weg zur Datenanalyse. Springer, 1999.

