Silben in der Sprachproduktion – Eine Studie zum Mentalen Silbenspeicher

Uta E. Benner

Diplomarbeit

November 2005

Diplomarbeit Nr. 36

Prof.Dr.phil.habil. Grzegorz Dogil

Institut für maschinelle Sprachverarbeitung

Universität Stuttgart

Erklärung

Hiermit erkäre ich, diese Arbeit
selbständig verfasst und nur die
angegebenen Quellen benutzt zu haben.

(Uta Benner)

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Sprachproduktionsmodelle **3**

2.1 Quantisierungstheorie 4

2.2 Das DIVA-Modell – Neuronale Kontrolle der Sprachbewegungen 5

2.2.1 Feedbackbasiertes Kontrolluntersystem 8

2.2.2 Feedforwardbasiertes Kontrolluntersystem 8

2.3 Theorie des lexikalischen Zugangs in der Sprachproduktion 9

2.3.1 Blueprint of the speaker 9

2.3.2 Die zwei Wege der Sprachproduktion 13

2.3.3 Hinweise auf den Mentalen Silbenspeicher 14

3 Methode **18**

3.1 Material 18

3.1.1 Stochastische Phonotaktik 19

3.1.2 CELEX 20

3.1.3 Brain and Language 20

3.1.4 Trägersatz 21

3.2 Probanden und Aufnahmen 21

3.3 Präparation der Daten 22

4 Analyse und Auswertung **23**

4.1 Analysewerkzeug 23

4.2 Die Daten 26

4.3 Statistische Auswertung 27

4.3.1 Erstellung der Histogramme 28

4.3.2 T-Test 29
4.3.3 Betrachtung der Histogramme und der Signifikanz der einzelnen Vokale 30
4.4 Ergebnisse 44

5 Zusammenfassung **46**

A Listen **48**

B Histogramme **56**
B.1 Vokal 9 57
B.2 Vokal E 60
B.3 Vokal I 63
B.4 Vokal O 66
B.5 Vokal U 69
B.6 Vokal a 72
B.7 Vokal e 75
B.8 Vokal i 78
B.9 Vokal o 81
B.10 Vokal u 84
B.11 Vokal y 87
B.12 Vokal aI 90
B.13 Vokal aU 93
B.14 Vokal oy 96

C x_1/x_2-Verteilung **99**
C.1 Kurze Vokale 99
C.2 Lange Vokale 103
C.3 Diphtonge 106

Tabellenverzeichnis **110**

Abbildungsverzeichnis **121**

Literaturverzeichnis **122**

Danksagung **125**

Kapitel 1

Einleitung

Obwohl die Sprache ein sehr bestimmender Gegenstand unseres alltäglichen Lebens ist, fällt die Definition derseblen schwer. Einig sind sich die meisten Wissenschaftler darin, dass Sprache „zum Ausdruck bzw. Austausch von Gedanken, Vorstellungen, Erkenntnisse und Informationen sowie zur Fixierung und Tradierung von Erfahrungen und Wissen“ [3] dient. Hinzu kommt die Feststellung, dass Sprache zwar nicht die einzige Kommunikationsform, aber dennoch eine für den Menschen spezifische Eigenschaft ist. Somit ist die Sprache auch gesellschaftlich bedingt und historischen Entwicklungen unterworfen. Die Sprachtheorie, also eine Theorie, die die definierenden Charakteristika einer Sprache untersucht, bedarf immer auch den Bezug zu natürlichen Sprachen.

In einer technologisierten Gesellschaft wie der heutigen spielen jedoch immer mehr auch Interaktionen von Sprache und Technologien eine bedeutende Rolle. Menschen sollen sich mithilfe der Sprache nicht nur austauschen können, auch der Computer soll darin einbezogen werden. Erste Schritte zur Realisierung eines „sprechenden Computers“ wurden bereits gegangen. Jedoch hat sich dabei gezeigt, dass Sprache äußerst komplex ist und dass an einem Computer, der menschenähnliche Kommunikation bietet, noch lange gearbeitet werden muss. Hierfür ist es hilfreich zu wissen, wie Menschen Sprache verarbeiten und produzieren.

Neue Erkenntnisse auf diesen Gebieten sind aber auch für klinische Bereiche immer wieder bahnbrechend. Durch neue Techniken im Bereich der kognitiven Forschung lässt sich immer mehr über unser Gehirn in Erfahrung bringen. So können neue bessere Therapien zur Behandlung von Sprachstörungen entwickelt

werden [23].
Das führt dazu, dass in der Linguistik immer wieder neue Ansätze entwickelt werden, Sprache und deren Verarbeitung zu beschreiben. Diese Diplomarbeit beleuchtet eine der Sprachverarbeitungstheorien, Levelts Theorie des lexikalischen Zugangs [12], genauer und überprüft anhand einer Studie die Annahmen eines Mentalen Silbenspeichers (*Mental Syllabary*).

Deshalb folgt auf diese Einleitung in Kapitel 2 ein Überblick über einige Sprachproduktionstheorien. Besonders eingegangen wird dabei auf die Grundlage diese Studie, den Mentalen Silbenspeicher (*Mental Syllabary*). In Kapitel 3 wird das durchgeführte Experiment erläutert, die Auswertung hierzu befindet sich in Kapitel 4. Das letzte Kapitel fasst die gefundenen Ergebnisse zusammen und gibt einen Ausblick.

Kapitel 2

Sprachproduktionsmodelle

Wie wird eigentlich Sprache produziert? Mögliche Antworten auf diese Frage gibt es viele. Meist werden hierfür Modelle aus den Bereichen der artikulatorischen Phonetik und der Physiologie des Menschen verwendet. Doch zur Sprachproduktion gehören mehr als nur Atmungsorgane, Atmung, Luftströmung, Phonation, Artikulation und Akustik. Vielmehr spielen auch andere Mechanismen eine bedeutende Rolle, die teilweise schon viel früher einsetzen als die Artikulation. Sprachproduktionstheorien versuchen oft den Prozess der Sprachproduktion umfassend zu beschreiben, setzen dabei aber häufig den Fokus auf einen bestimmten Aspekt der Sprachproduktion. Das erklärt die vielfältigen Theorien zu ihrer Beschreibung.
Ebenso vielfältig sind auch die Methoden solche Sprachproduktionstheorien zu entwicklen. Angewandt werden *Observational Adequacy*, bei der aus Experimenten auf die Sprachproduktion geschlossen wird. Diese Experimente umfassen meist Reaktionszeittest und Versprechertests aber auch klinische Experimente. Andere Forscher bedienen sich der *Descriptive Adequacy*, des beschreibenden Ansatzes, bei dem untersucht wird, welche Laute Menschen produzieren können. Obwohl sich Sprachproduktionstheorien häufig auf einen bestimmten Aspekt der Sprachproduktion beschränken, sollte deren Gültigkeit jedoch mit jeder Methode nachgeprüft werden können. In diesem Kapitel werden drei Sprachproduktionstheorien dargestellt, wobei diese keine konkurrierenden Systeme sind, sondern vielmehr verschiedene Blickwinkel auf das Komplex Sprachproduktion haben.

Nachdem mit den Theorien von Stevens (*Quantal Theory of Speech*, siehe Kapitel 2.1) und Guenther (*Neural Control of Speech Movements*, siehe Kapitel 2.2)

ein kleiner Überblick über interessante Modelle gegeben wird, geht diese Arbeit näher auf die Theorie von Levelt (*A theory of lexical access in speech producion* [12], siehe Kapitel 2.3) ein, da diese Theorie die Grundlage dieser Diplomarbeit darstellt.

2.1 Quantisierungstheorie

Kenneth Stevens ist ein sehr bekannter Name auf dem Gebiet der Akustischen Phonetik. 1972 veröffentlichte er zum ersten Mal eine Abhandlung über die *"Quantal theory"* [20]. Anhand dieser Quantisierungstheorie war Stevens in der Lage, Antwort auf eine häufig gestellte Frage zu geben: Warum nutzen Spachen nicht den ganzen Bereich der Artikulation? Häufig können Laute in einem bestimmten Bereich artikuliert werden, ohne eine Bedeutungsunterscheidung herbeizuführen. Stevens geht davon aus, dass die Abbildung der Artikulation auf die Akustik nicht linear erfolgt. Das bedeutet einerseits, dass artikulatorische Veränderungen in einem bestimmten Bereich nicht unbedingt Auswirkungen auf die akustische Ausgabe haben müssen. Andererseits ist dieser Bereich jedoch begrenzt, was dazu führen kann, dass kleine Veränderungen außerhalb dieses Bereiches zu einer immensen akustischen Veränderung führen können.

Keith Johnson führt in seinem Buch *Acoustic and Auditory Phonetics* [9] ein Beispiel dazu an. Darin betrachtet er die Artikulation der Stimmlippen. Während des Sprechens können diese die ganze Bandbreite zwischen weit geöffnet (z.B. tiefes Atemholen) und fest verschlossen (z.B. Glottisverschlusslaut) einnehmen.
Die akustischen Auswirkungen einer Veränderung der Öffnung der Stimmlippen ist recht verschieden. Das in Abbildung 2.1 dargestellte Schaubild nach Johnson macht die Auswirkungen gut sichtbar.

Die Stimmlippenöffnung lässt sich graduell variieren, ohne dass in bestimmten Bereichen Änderungen der akustischen Ausgabe festzustellen sind. Im Übergangsbereich kann jedoch eine geringe Veränderung im Artikulationsapparat (hier der Stimmlippenöffnung) zu einem Unterschied in der akustischen Ausgabe und somit auch in der Wortbedeutung führen.
Stevens führt an, dass Sprachen eben diese Nichtlinearität nutzen. Die in Abbil-

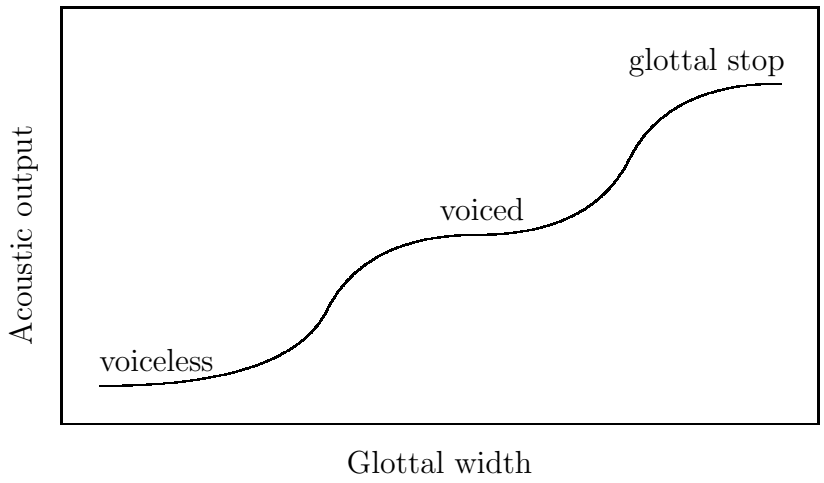


Abbildung 2.1: Die Plateaus der Kurve repräsentieren die Quantisierungsstufen der akustischen Ausgabe im Bezug zur Öffnung der Stimmlippen. [9]

dung 2.1 dargestellten Stabilitätsbereiche sind als Plateaus sichtbar. Im Beispiel von Johnson [9] lässt sich auf den Plateaus die Stimmlippenöffnung variieren und dennoch wird derselbe Laut, z.B. stimmhaft, produziert. Auf diese Art und Weise kann die Nichtlinearität in der Abbildung von Artikulation auf Akustik zur Bildung natürlicher Lautklassen führen. Die Stabilitätsbereiche lassen sich in manchen Fällen leichter, in anderen Fällen jedoch nur sehr schwer bestimmen. Nach Stevens [20] führt ein vollständiges Inventar an Stabilitätsbereichen auch zu einem Inventar an distinktiven phonetischen Eigenschaften, die zur Bedeutungsunterscheidung in Sprachen herangezogen werden können.

2.2 Das DIVA-Modell – Neuronale Kontrolle der Sprachbewegungen

Neben dem Artikulationsapparat nimmt das Gehirn in der Sprachproduktion eine wichtige Rolle ein. Nicht nur für die Konzeption einer Äußerung, auch für die Artikulation hat das Gehirn eine zentrale Funktion. Um jedoch die Sprachlaute korrekt zu formen, braucht das Gehirn vielfältige Informationen, dabei sind auditive genauso wichtig wie taktile und kinästhetische Abbildungen, sowie Repräsentationen der Muskelbefehle.

Das DIVA-Modell ist ein neuronales Modell des Spracherwerbs und der Sprach-

produktion, das von Frank H. Guenther [7] entwickelt wurde. Die Komponenten des Modells spiegeln die entsprechenden Regionen des Kleinhirns und Cortex cerebri wieder, die bei der Sprachproduktion aktiv werden. Im DIVA-Modell sind auch sogenannte Referenzrahmen bedeutsam, die nach Ansicht von Guenther beim Planen von Lautbewegungen benötigt werden. Referenzrahmen speichern Informationen, die für den jeweiligen Teil der Sprachproduktion wichtig sind. Diese Informationen können ausgetauscht werden, wobei Interaktionen zwischen den verschiedenen Regionen des Gehirns beobachtbar sind.
Folgende sechs Referenzrahmen benennt Guenther als für die Sprachproduktion von Bedeutung:

1. *Referenzrahmen der Muskellänge*
2. *Referenzrahmen der Artikulation*
3. *Taktiler Referenzrahmen*
4. *Referenzrahmen für Beschränkungen*
5. *Akustischer Referenzrahmen*
6. *Referenzrahmen der auditiven Wahrnehmung*

In Abbildung 2.2 ist das DIVA-Modell dargestellt. Es wurde bereits als mathematisches Modell in einer Computersimulation implementiert, das die Bewegungen eines artikulatorischen Synthetisators kontrolliert.
Die Produktion eines Phonems oder einer Silbe beginnt mit der Aktivierung der Zellen, die die Sprachlaute abbilden (*speech sound map*), und zwar werden dabei die Zellen aktiviert, die dem Laut entsprechen, der produziert werden soll. Guenther [8] führt an, dass vermutet wird, dass eben diese Zellen den Spiegelneuronen entsprechen. Eine weitere mögliche Interpretation sieht in diesen Zellen den Mentale Silbenspeicher (*mental syllabary*), von dem W. Levelt [11] spricht, und das im nächsten Unterkapitel (2.3) genauer betrachtet wird.
Die Aktivität der Zellen, in denen die Sprachlaute abgebildet werden, stellt Guenther wie folgt dar [8]:

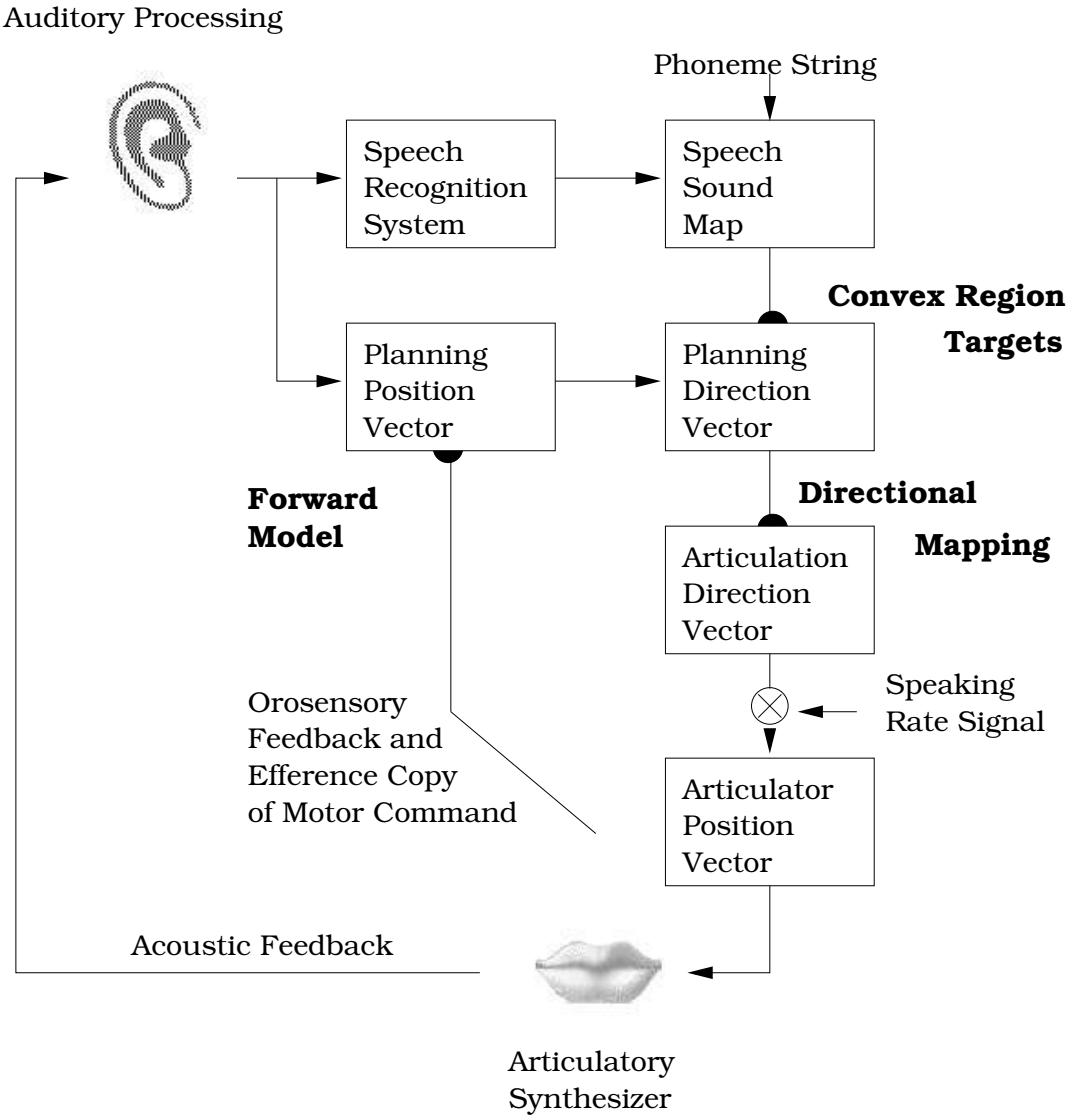


Abbildung 2.2: Ein Überblick über das DIVA-Modell. Es stellt den Ablauf der Produktion eines Phonems oder einer Silbe dar. Dabei wird die Produktion des Lautes von Kontrollsystemen überwacht. [7]

$P_i(t) = 1$ falls der Laut i produziert wird
$P_i(t) = 0$ andernfalls

Bei einer Aktivierung der Zellen werden, um den entsprechenden Laut zu produzieren, Signale an Zellen im somatosensorischen und auditorischen Kortex sowie primären Motorkortex gesandt. Diese Signale führen zur Produktion der Silbe, indem zwei parallel ablaufende Kontrollsysteme aktiviert werden. Das eine Kontrollsystem basiert auf Rück- (*feedback-based control subsystem*), das andere auf Vorwärtskopplung (*feedforward control subsystem*).

2.2.1 Feedbackbasiertes Kontrolluntersystem

Für die Produktion von Lauten werden kodierte sensorische Erwartungen verwendet. Diese werden mit dem aktuellen sensorischen Zustand verglichen. Die Rückkopplung besteht nun darin, dass die Diskrepanz zwischen dem Ziel und dem auditiven Zustand an das motorische Kortex zurückgemeldet werden. Dieses versucht dann, die Diskrepanz zu korrigieren. Die sensorischen Erwartungen werden durch sogenannte *Forward-Modelle* kodiert, die durch Projektionen vom prämotorischen und motorischen Kortex zum auditorischen Kortex gebildet werden.

2.2.2 Feedforwardbasiertes Kontrolluntersystem

Bei dieser Art von Kontrolle finden Projektionen im Gegensatz zu den in 2.2.1 erwähnten *Forward-Modellen* vom prämotorischen Kortex zum motorischen Kortex statt. Diese kodieren einen Befehl für den zu produzierenden Laut. Dieser kann mit der Zeit gelernt werden, indem die Befehle an das motorische Kortex aus den vorhergehenden Versuchen, den Laut zu produzieren gemittelt werden.

In der Phase, in der ein Kind noch keine Übung in der Produktion von Lauten hat, ist der Beitrag des Feedforward-Kontroll-Signals noch recht gering. Während dieser Phase der ersten Lautproduktionen, werden diese haupsächlich über Feedback kontrolliert. Durch die Überwachung der Befehle an den den motorischen Kortex, die vom Feedback-Kontrollsystem produziert werden, kallibriert sich das Feedforward-Kontrollsystem. Im Laufe der Zeit verbessert sich das Feedforward-Kontrollsystem und kann nach und nach Aufgaben des Feedback-Kontrollsystems

übernehmen. Das Feedback-Konrollsystem liefert weiterhin im Bedarfsfall verbesserte Kommandos, die dann in das Feedforward-Kontrollsystem einbezogen werden.

Abschließend lässt sich feststellen, dass das DIVA-Modell von Guenther in der Lage ist, einen breiten Bereich von Sprachproduktionsphänomenen abzudecken und sogar Sprachstörungen aufgrund von Hinschädigungen zu simulieren.

2.3 Theorie des lexikalischen Zugangs in der Sprachproduktion

In diesem Abschnitt soll Levelts Theorie *A theory of lexical access in speech producion* [12] näher betrachtet werden. Zuerst wird dazu ein Aufbau (*Blueprint of the speaker*) betrachtet.

2.3.1 Blueprint of the speaker

Eine schematische Darstellung dieses Modells ist in Abbildung 2.3 aufgeführt. Nachfolgend werden die einzelnen Stufen dieser Darstellung und das Modell erläutert.

Konzeptualisierung

Um ein lexikalisches Konzept eines Wortes zu erstellen, muss eine Vorbereitung stattfinden. Diese wird von Levelt „konzeptuelle Vorbereitung“ (*„conceptual preparation“*) genannt. Jedoch betont Levelt, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt, Dinge auszudrücken. Dies wird nach ihm „Verbalisierungsproblem“ (*„verbalization problem“*) genannt, also das Problem, Gedanken in Worte zu fassen. Zudem steht der Sprecher häufig vor dem Problem, dass er Objekte mit mehr als nur einem Wort bezeichnen kann. Als Beispiel führt er an, dass ein Objekt *Tier*, aber auch *Pferd* oder *Stute* genannt werden kann, je nachdem welche Intension der Sprecher hat und über welche Alternativen er verfügt. Levelt verwendet hier den Ausdruck „Perspektiven einnehmen“ (*„perspective taking“*).

Levelt führt nun an, dass, falls der Sprecher sich auf ein weibliches Pferd beziehen möchte, er dies tun kann, indem er das Wort *Stute* produziert. Diese Produktion

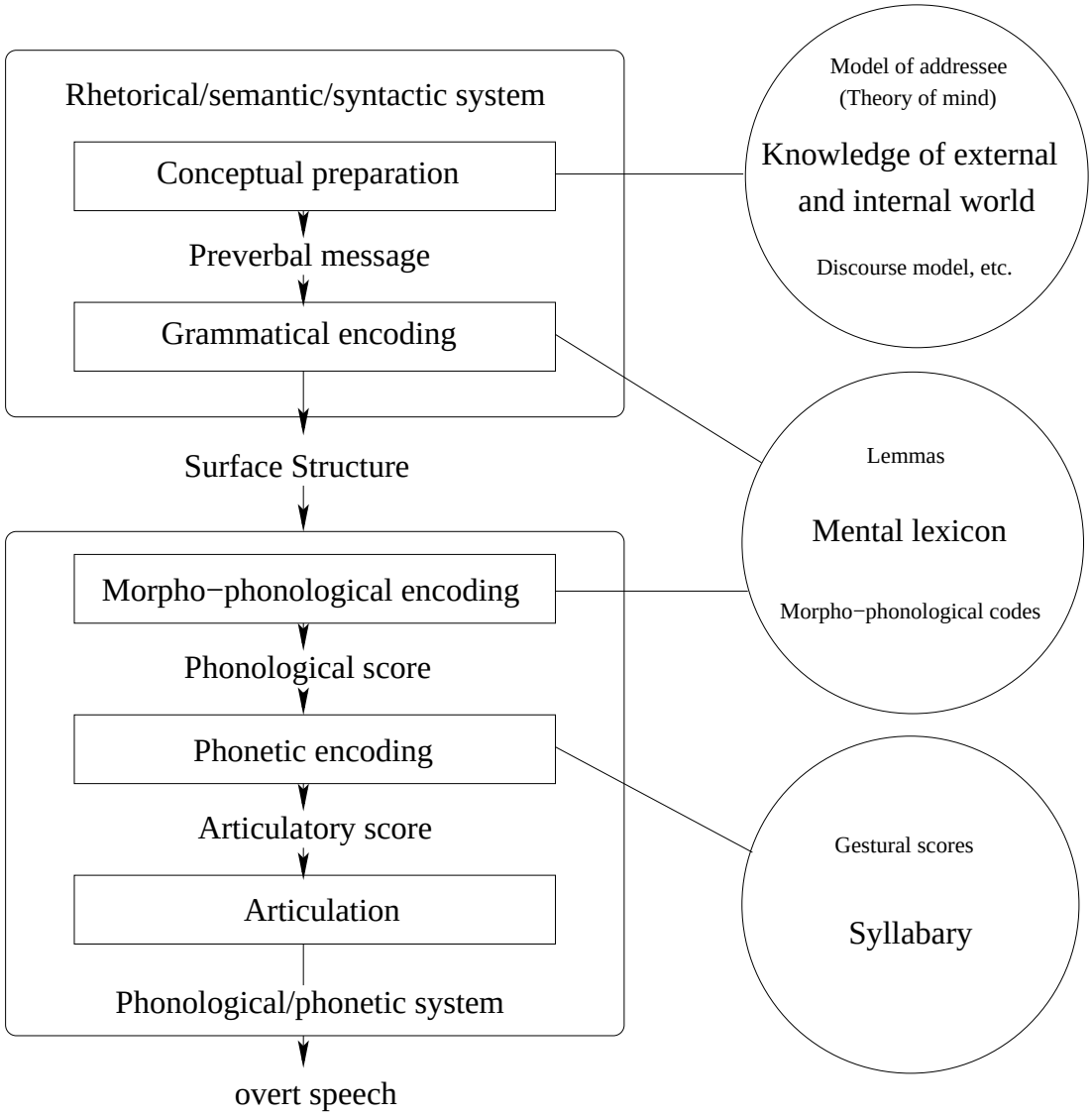


Abbildung 2.3: Das Sprachproduktionsmodell nach Levelt [12]. Diese Darstellung kann als Bauplan gesehen werden. Um eine Äußerung zu produzieren, durchläuft der Sprecher diese Abfolge.

beinhaltet jedoch, dass das lexikalische Konzepts Stute(X) aktiviert wird. Falls der Sprecher sich jedoch auf einen weiblichen Elefanten beziehen möchte, wird er ein solches Objekt als *weiblichen Elefanten* bezeichnen, weil es für ein solches Objekt kein lexikalisches Konzept gibt. Im Modell von Levelt ist für die Bildung dieser Konzepte eine Art Netzwerk implementiert, das Wörter mit semantisch miteinander verwandten Konzepten miteinander verknüpft.

Syntaktische Enkodierung

In diesem Schritt wird die „Lexikalische Auswahl“ (*„Lexical selection“*) angewandt, um Lemmas aus dem mentalen Lexikon zu bekommen. Während eines normalen Sprechakts werden dabei laut Levelt zwei oder drei Wörter aus einem Lexikon geholt, das mehrere zehntausend Lexikoneinträge besitzt. Außerdem wird in diesem Stadium die adäquate syntaktische Umgebung für das Wort geschaffen.

Phonologische Enkodierung

Nach dem Modell geht nun der Sprecher von der konzeptuell-syntaktischen Ebene auf die phonologisch-artikulatorische Ebene über. Seine Aufgabe besteht nun darin, für das ausgewählte Wort in seinem prosodischen Kontext eine geeignete artikulatorische Geste zu finden. Der erste Schritt hierzu ist, die phonologische Form des Wortes aus dem Lexikon zu holen.
Nach der Theorie werden drei Arten von Informationen aktiviert, wenn auf die Wortform zugegriffen wird.

1. *Die morphologische Aufmachung*
2. *Die metrische Form*
3. *Die segmentale Aufmachung*

In diesem Stadium kann nach Levelt noch keine Silibifizierung stattfinden wie er mit folgendem Beispiel erläutert. Das Wort *escort* hat die Silbenstruktur *e-scort*. Teilweise gehen Silben jedoch über Wortgrenzen hinaus wie im Satz *He'll escort us*. Dort ist die Silbenstruktur normalerweise *e-scor-tus*. Wörter werden also je nach Kontext anders silibifiziert, da die Silbenstruktur eines Wortes von seiner phonologischen Umgebung abhängt. Da bei gespeicherten Silbenstrukturen im mentalen Lexikon also eine Resilibifizierung vorgenommen werden müsste, ein

solcher Prozess aber äußerst ineffizient wäre, schließt Levelt in diesem Stadium die Silibifizierung aus und vermutet sie erst in der nächsten Stufe, der phonetischen Enkodierung.

Phonetische Enkodierung

Die phonetische Encodierung stellt eine Spezifikation der Artikulationsaufgabe dar. Ein bestimmtes Wort soll in einer bestimmten Umgebung produziert werden. Die phonetische Encodierung liefert dazu sogenannte gestische Ziele, die an den verschiedenen artikulatorischen Stufen ausgeführt werden sollen.
Hier führt Levelt nun das *„Mental Syllabary“*, den Mentalen Silbenspeicher ein. Dabei hat der Sprecher Zugang zu den häufigen Silben einer Sprache. Es wird angenommen, dass in Sprachen mit vielen Silben zu 80% nur die 500 häufigsten Silben verwendet werden. Für eine solche Vorstellung einer Silbendatenbank sprechen zum Einen die funktionalen Vorteile für den Sprecher, zumal sich der größte Teil seiner Rede mit Hilfe des Mentalen Silbenspeichers produzieren lässt, zum Anderen aber auch, dass Koartikulation meist silbenintern vorkommt. Nach Levelt handelt es sich bei den Silben im Mentalen Silbenspeicher um stark überlernte gestische Muster, die nicht jedesmals neu berechnet werden müssen, sondern sich fertig im Mentalen Silbenspeicher des Sprechers befinden.
Die oben erwähnten gestischen Ziele beinhalten fünf Schichten, da es auch in der Artikulation fünf unabhängige Schichten gibt: das glottale und velare System, sowie die drei Ebenen im oralen System, Zungenblatt, Zungenspitze und Lippen. Für die restlichen und unbekannten Silben wird ein zusätzlicher Mechanismus, eine Art phonetischer Komposition (siehe auch Kapitel 2.3.2 und Abbildung 2.4) benötigt.

Artikulation

Die gestischen Ziele des phonologischen Wortes werden schießlich vom Artikulationssystem ausgeführt. Ein genaues Modell eines solchen Systems ist nicht Teil von Levelts Theorie, wird von ihm jedoch als computationelles neuronales System angesehen.

Selbstkontrolle

Als Sprecher haben wir normalerweise die Möglichkeit, unsere sprachliche Ausgabe zu kontrollieren, da wir uns am meisten selbst hören. Somit lassen sich mit Hife unseres Erkennungssystems Fehler entdecken. Dies trifft nicht nur auf die sprachliche Ausgabe zu, auch die innere Rede lässt sich so kontrollieren. Danach kann die Selbskontrolle schon nach der phonologischen Encodierung stattfinden.

2.3.2 Die zwei Wege der Sprachproduktion

Eine der großen Weiterenwicklungen von Levelts Modell der Sprachproduktion ist die Ergänzung einer Wissensbasis, das *„syllabary“*. Auf diese Wissensbasis greift der Sprecher während der phonetischen Enkodierung zu. Mayer et al. schreiben in ihrer Studie [13], dass der Sprecher zwei Möglichkeiten hat, seine Äußerung phonetisch zu implementieren.

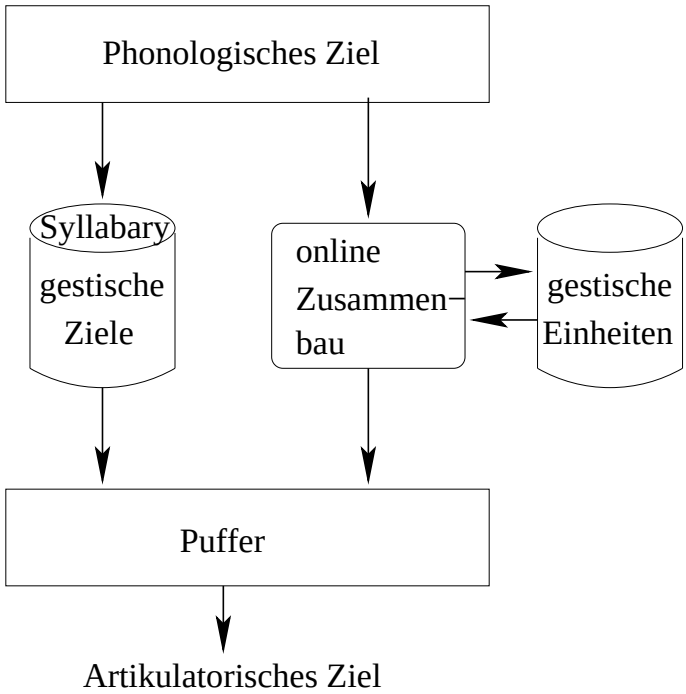


Abbildung 2.4: Die zwei Wege der Sprachproduktion. Es sind der direkte Weg (Zugriff über den Mentalen Silbenspeicher) und der indirekte Weg (online-Produktion) dargestellt.

Der Segmentale Weg

Dieser Weg wird als der indireke Weg genannt, die Silben werden hierbei aus segmentalen und subsegmentalen Atomen aufgebaut und nicht aus dem mentalen Silbenspeicher geholt. Bei diesem Weg nimmt sich der Sprecher Repräsentationen zur Hilfe, die aus invarianten phonologischen Segmenten bestehen. Um diese Segmente in den Sprachfluss zu integrieren, werden regelmäßige Grundsätze der Koartikulation angewandt.
Dieser Weg hat den Vorteil, dass neue Silben produziert werden können, jedoch ist die Produktion langsamer, die Versprecher häufen sich und die Koartikulation ist weniger stark ausgeprägt als beim direkten Weg.
Dieser Weg wird auch mit dem Begriff der *online-Produktion* bezeichnet.

Der Weg über den Mentalen Silbenspeicher

Bei der Sprachproduktion hat der Sprecher außerdem die Möglichkeit, auf den sogenannten Mentalen Silbenspeicher (*mental syllabary*) zuzugreifen. Dieser Mentale Silbenspeicher ist eine Art Datenbank, in der ganze gestische Programme abgespeichert sind, mithilfe derer sich die häufigen Silben einer Sprache produzieren lassen. Der Weg über den Mentalen Silbenspeicher wird auch direkter Weg genannt. Silben, die sich aus dem Silbenspeicher holen lassen, werden schneller produziert und sind weniger anfällig für Sprachfehler. Außerdem haben diese Silben einen höheren Grad an Koartikulation.

2.3.3 Hinweise auf den Mentalen Silbenspeicher

Was ist eine Silbe?

Cholin erläutert in ihrer Dissertation [5], dass sich Silben nur sehr schwer definieren lassen. Außerdem gestaltet sich der Nachweis schwierig, dass Silben tatsächlich einen relevanten Beitrag im psycholinguistischen Prozess des Sprechens und Hörens leisten.

Cholin beschreibt Silben folgendermaßen:
Eine Silbe besteht aus einer kurzen Zeichenkette, die aus Segmenten mit einer Sonoritätsspitze besteht, die meistens ein Vokal ist. Diese Spitze kann zusätzlich von einer oder mehreren Konsonanten eingerahmt sein.

Phonetisch werden Silben in folgende Bestandteile zerlegt: Onset, Nukleus und Coda. Diese Silbenpositionen spielen für die Feststellung phonologischer Prozesse eine wichtige Rolle. Solche phonologischen Prozesse können Allophonie, Koartikulation, Assimilation und Betonung sein. Die Silbe wird in phonetischer Hinsicht als die kleinste Planungseinheit der Artikulation angesehen.
Neben diesen linguistischen Belegen für Silben gibt es jedoch auch andere Hinweise auf die zentrale Rolle von Silben in der Sprachproduktion. Muttersprachler, die sonst nur ein sehr vages Sprachgefühl hinsichtlich linguistischer Strukturen haben, besitzen scheinbar ein recht genaues Wissen über die Anzahl der Silben in einem Wort. Die Frage, inwieweit Versprecher von Silben abhängen, lässt sich noch nicht abschließend beantworten, da hierfür noch nicht genügend experimentelle Hinweise gefunden wurden.

Experimentelle Untersuchung des *Mental Syllabary* von Cholin

Joana Cholin [5] untersucht experimentell die Existenz des Mentalen Silbenspeichers (*mental syllabary*). Evidenz für das von Levelt entwickelte Sprachmodell und die Existenz des *Mental Syllabary* geben dabei Analysen, die aufzeigen, dass 500 Silben ausreichen, um jeweils ca. 80% des gesprochenen Niederländischen, Deutschen oder Englischen abzudecken.
Cholin führte im Rahmen ihrer Dissertation mehrere Experimente durch, mit zwei davon wurden besonders die Rolle der Silben im Prozess der gesprochenen Wortproduktion untersucht. Als Methode wurde eine Variante des *Implicit-Priming-Paradigma* mit einer *Odd-man-out-Variante* gewählt, um den späten Prozess der On-line-Silbifizierung und einen möglichen Zugriff auf Silbenspeicher zu untersuchen. Während des Experiments produzierten die Probanden vorher gelernte Zielwörter, die in einem Experimentblock wiederholt wurden. Da die Reihen so gebildet waren, dass die zu nennenden Wörter alle vom gleichen Stamm abgeleitet waren, wurde ein Überlappen der Segmente in allen Reihen – sowohl den konstanten als auch den variablen – gewährleistet. Dabei hatten die konstanten Reihen immer die gleiche Silbenstruktur, in den variablen Reihen hatte eine Form eine andere Silbenstruktur. Das Überlappen der Segmente war notwendig, um zu überprüfen, ob Sprecher neben der segmentalen Information auch Informationen über die Silbenstruktur verwenden, um ihre Antwort zu präparieren. Kein Unterschied zwischen den Reaktionszeiten der konstanten und variablen Reihen

wäre zu erwarten gewesen, wenn sich die Präparation nur auf die segementale Struktur beschränken würde. Da jedoch angenommen wurde, dass die Silbe eine relevante Verarbeitungseinheit darstellt, konnte die Vorhersage getroffen werden, dass Sprecher ihre Äußerung nicht phonetisch vorbereiten können, wenn ihnen die Form der initialen Silben nicht bekannt ist. Während dies in den konstanten Reihen der Fall war, wurde in den variablen Reihen die initiale Silbe so variiert, dass die Äußerung phonetisch nicht vorbereitet werden kann. Die Ergebnisse der Experimente bestätigen diese Vorhersagen. Für die konstanten Reihen war der Vorbereitungseffekt signifikant höher als für die variablen Reihen. Diese Experimente reichen jedoch nicht aus, um einen Mentalen Silbenspeicher nachzuweisen. Von daher führte Cholin noch weitere Experimente durch. Die nächsten Experimente widmeten sich besonders der Frequenz der Silben. Dabei wurden hoch- und niederfrequente Silben kontrastiert. Dafür wurde ein neues Paradigma, eine Symbol-Positions-Assoziations-Lernaufgabe, entwickelt. Sobald ein Symbol an der entsprechenden Position auf dem Bildschirm erschien, sollten die Probanden so schnell und akkurat wie möglich mit einem gelernten Zielwort antworten. Dabei wurden bei zweisilbigen Wörtern, deren Frequenz der ersten Silbe manipuliert war, signifikante Silbenfrequenzeffekte gefunden. Bei hoch- oder niederfrequenten zweiten Silben wurden jedoch keine Effekte nachgewiesen. Dennoch konnten klare Evidenzen für die Existenz eines Mentalen Silbenspeichers aufgezeigt werden.
Cholin führte noch weitere Experimente durch: der zuvor gefundene Silbenfrequenzeffekt sollte mit einem anderen Paradigma repliziert werden, um die Interpretation zu stützen, dass die Vorbereitung auf Basis segmentaler und silbischer Information einen Zugriff auf gespeicherte Silben aus dem Gedächtnis beinhaltet. Dabei wurde eine Lese-Variane des *Implicit-Priming-Paradigmas* angewandt, um die Silbenvorbereitung (homogen versus heterogen) und Silbenfrequenz (hoch- versus niederfrequent) zu testen. Vorhergesagt wurde, dass es eine Interaktion zwischen beiden Faktoren gebe. Niederfrequente Silben sollten einen höheren Vorbereitungseffekt haben als hochfrequente Silben. Die Differenz zwischen niederfrequenten homogenen und heterogenen Reihen sollte größe sein, als die der hochfrequenten homogenen und heterogenen Reihen. Außerdem wurde davon ausgegangen, dass der Zugriff auf niederfrequente Silben im mentalen Silbenlexikon langsamer erfolgt als auf hochfrequente Silben. Deswegen fällt der Vorteil der Vorbereitung der niederfrequenten Silben höher aus als bei hochfrequenten Silben.

Auch diese Vorhersagungen wurden bestätigt: es gibt eine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Silbenvorbereitung und Silbenfrequenz.
Alle Experimente liefern starke Evidenz für die Annahme eines Mentalen Silbenspeichers.

fMRI-Untersuchungen des Mentalen Silbenspeichers

Mit ihrer Studie versuchten Mayer et al. [13] neuro-kognitive Unterschiede zwischen den beiden Wegen der Sprachproduktion im Deutschen zu finden. Dabei wurde untersucht, inwieweit sich neuro-kognitive Unterschiede in den beiden Wegen niederschlagen. Auf den Mentalen Silbenspeicher wurde dabei mittels Lesen und Sprechen von hochfrequenten Silben zugegriffen, auf die Online-Verarbeitung erfolgte der Zugriff über das Lesen und Sprechen von niederfrequenten Silben. Die 14 muttersprachlich deutschen Probanden zeigten nur bei der Produktion von hochfrequenten Silben erweiterte Aktivität im Temporallappen der linken Hemisphäre. Bei der Produktion von niederfrequenten Silben konnten solche Aktivitäten nicht beobachtet werden.
Diese Ergebnisse stützen zwar die Annahme eines Mentalen Silbenspeichers zeigen jedoch auch, dass die Repräsentationen im Silbenspeicher eher interne auditorische Modelle sind als artikulatorische Zieleinheiten.

Kapitel 3

Methode

Dieses Experiment soll nachprüfen, ob die in Kapitel 2.3 ausführlich beschriebene zusätzlich entwickelte Wissensbasis in Levelts Sprachproduktionsmodell –das *Mental Syllabary*– nachgewiesen werden kann. Mayer et al. [13] gehen in ihrer Studie davon aus, dass diese Theorie zu folgenden hier ebenfalls verwendeten Annahmen führt:

1. Bei den häufigen (gespeicherten) Silben (Speicher-Abruf) ist eine schnellere Produktion, weniger Versprecher sowie (bedingt durch die schnellere Produktion) mehr Koartikulation zu erwarten.

2. Für den indirekten Weg, also den Aufbau der Silben aus segmentalen und subsegementalen Atomen (online-Produktion) werden somit langsamere Produktionen und mehr Versprecher erwartet.

Da sich Produktionsgeschwindigkeiten nur sehr schwer ermitteln lassen, werden die beiden anderen Kriterien im Experiment betrachtet. Zum einen wird die Versprecherrate ermittelt, zum anderen die Koartikulation.

3.1 Material

Um dieses Experiment durchzuführen wurden verschiedene Listen mit hautpsächlich zweisilbigen Wörtern verwendet. Diese Wörter sind aus deutschen Silben zusammengesetzt, ergeben jedoch kein vorhandenes deutsches Wort. Diese „Unsinn“-Wörter wurden auf verschiedene Art entwickelt.

3.1.1 Stochastische Phonotaktik

Aus der Studie von Mayer et al. [13] stammen zwei Listen zweisilbiger „Unsinn"-Wörter verwendet. Diese Listen hatten 200 Wörter, die zufällig aus den 1000 häufigsten deutschen Silben extrahiert wurden und außerdem 200 Wörter, die zufällig aus den 1000 seltesten deutschen Silben extrahiert wurden. Falls das Ergebnis existierende deutsche Wörter oder Wörter, die deutschen Wörtern sehr ähnlich sind enthielt, wurden diese aus der Liste ausgeschlossen. Die Silbenkomplexität beider Listen wurde anschließend geprüft. Für das durchzuführende Experiment liegt eine Auswahl der beiden Listen mit jeweils 100 Wörtern vor.
Die Frequenzberechnung basierte dabei auf Probabilistische Silbenklassen, die aus multivariaten Clustern erzeugt werden (*Inducing Probabilistic Syllable Classes Using Multivariate Clustering [14], Probabilistic Syllable Modeling Using Unsupervised Learning Methods [15]*) und auf einen Korpus mit einer Größe von 31 Millionen Wörtern.
Bei der Berechunung gab es 5 Dimensionen:

1. Segmentale Struktur des Onset
2. Nukleus
3. Coda
4. Position der Silbe in mehrsilbigen Wörtern
5. Betonung der Silbe.

Diese Dimensionen mit ihren Wahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Silbe führt zu der Gesamtwahrscheinlichkeit der Liste. Eine solche Berechnung führt zu wesentlich realistischeren Häufigkeitszahlen als einfachere Methoden. Diese basieren meist nur auf segmentalen Strukturen. Da die Silbenhäufigkeit jedoch stark von der Postion und Betonung abhängt ist nach Mayer et al. eine solche Methode nicht ausreichend.
Tabelle 3.1 ist nach Mayer et al. gestaltet und stellt die Silbenstruktur und die Wahrscheinlichkeit der Silben dar. Sie soll jedoch nur einen kleinen Eiblick geben. Die ausführlichen Listen können im Anhang A.1 bis A.4 eingesehen werden.

Silbenstruktur	Hochfrequenten Silbenliste	Niederfrequenten Silbenliste
CCVC-CCVC	#26	#30
CCVC-CVCC	#24	#20
CVCC-CVCC	#46	#50
CVCC-CVCC	#4	#0
Insgesamt	#200	#200
Mittlere Wahrscheinlichkeit	0,00004	0,00000000001

Tabelle 3.1: Die Komplexität und Wahrscheinlichkeit der hochfrequenten und niederfrequenten Liste

3.1.2 CELEX

1986 wurde CELEX (*Centre for Lexical Information*) [4] in Nijmegen (Niederlande) gegründet. Bis zum Jahre 2000 gab CELEX drei große elektronische Datenbanken heraus, die online oder offline genutzt werden können und detailierte lexikalische Informationen des Englischen, Deutschen und Holländischen bieten. Das CELEX-Projekt wurde 2001 beendet.
Die deutsche Datenbank von CELEX (D2.5) wurde 1995 der Öffentlichkeit zugänglich gemacht und beinhaltet 51728 Lemmata mit 365530 zugehörigen Wortformen. Neben einer orthographischen Repräsentation bietet CELEX Repräsentationen der phonologischen, morphologischen und syntaktischen Eigenschaften von Lemmata sowie deren Häufigkeit.
Mithilfe dieser Datenbank entwickelte Bettina Brendel von der Universität Tübingen Listen mit niederfrequenten einfachen, niederfrequenten komplexen, hochfrequenten einfachen und hochfrequenten komplexen „Unsinn“-Wörtern. Diese Listen befinden sich im Anhang A.5 bis A.6.

3.1.3 Brain and Language

Zusätzlich wurde eine weitere Liste aus dem in der Zeitschrift *Brain and Language* veröffentlichten Artikel *Syllable frequency and syllable structure in apraxia of speech* [1] herangezogen. Der Artikel stammt von Ingrid Aichert und Wolfram Ziegler, die zur Entwicklungsgruppe Klinische Neuropsychologie am Krankenhaus München-Bogenhausen gehören. Diese Liste beihnhaltet ebenfalls Wörter verschiedener Silbenstrukturen und Häufigkeiten, welche jedoch ausschließlich tatsächlich existierende Wörter des Deutschen sind. Diese Liste kann ebenfalls im Anhang A.7 und A.8 eingesehen werden.

3.1.4 Trägersatz

Da sich Vokale in isolierter Umgebung möglicherweise anders verhalten als in einen Satz eingebettete Vokale, musste eine Lautumgebung geschaffen werden. Unterschiedliche Betonungen im Satz sind für die Untersuchung ohne Bedeutung, von daher wurden die Wörter immmer in denselben Satz eingebettet: *Ich habe [WORT] gesagt.*

3.2 Probanden und Aufnahmen

Am Experiment nahmen 16 Personen im Alter von 20 bis 35 Jahren teil. Die meisten von ihnen waren Studierende verschiedener Studiengänge. Die Probanden nahmen freiwillig am Experiment teil. Die Sprechergruppe bestand aus 8 Frauen und 8 Männern, deren Muttersprache Deutsch ist. Da sie aus den unterschiedlichen Regionen Deutschlands stammen, können dialektale Einflüsse nicht ausgeschlossen werden.
Die Sprachaufnahmen wurden im schallarmen Raum des Akkutstiklabors am IMS (Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung) der Universität Stuttgart gemacht. Dieser Raum weist eine Nachhallzeit von maximal 27ms auf und schwächt Störgeräusche von Außen um 50dB ab.
Ein von Hanns Maier (Universität Stuttgart) geschriebenes Aufnahmeprogramm (*rectool*) ermöglichte es, die Sätze auf dem Monitor im schallarmen Raum anzuzeigen und eine sofortige Bewertung der gesprochenen Sätze von außen vorzunehmen, um die für das Experiment bedeutende Versprecherrate zu berechnen.
Die Sprecher im schallarmen Raum hatten ein Kopfmikrofon (AKG C420), das sich ca. 3 Zentimeter von ihrem Mund entfernt befand. Außerdem bekamen sie eine Rückkopplung des Gesagten über Kopfhörer (Sennheiser HD 580 precision). Somit konnten die Probanden ihren eigenen Schall wie in anderen Räumen auch wahrnehmen und die Rückkopplung über das eigene Gehör wurde nicht unterbrochen, dadurch wurde ein natürlicher Sprechvorgang simuliert. Über den Kopfhörer konnte der Aufnahmeleiter auch eingreifen und Pausen u.ä. ankündigen. Damit die Verprecherrate gemessen werden konnte, durften die Probanden die Sätze vorher nicht still durchlesen, sondern mussten sie sofort vorlesen. Die Sätze wurden auf einen Linux-Rechner mit einer Abtastrate von 48 kHz aufgenommen.

3.3 Präparation der Daten

Für die weiteren Analysen, mussten die Wörter aus den jeweiligen Sätzen herausgelöst werden. Das Herausschneiden wurde mithilfe des Programmes *WaveSurfer* [2] realisiert. WaveSurfer ist ein frei erhältliches Programm, das umfassenden Ansprüchen genügt. Außerdem lassen sich hiermit Analysen von Sprachdateien und Annotationen erstellen. Dabei wurden entsprechende Sequenzen markiert und seperat abgespeichert. Leider war es nicht möglich diese Prozedur zu automatisieren, wodurch dieser Arbeitsschritt aufgrund der großen Datenmenge sehr zeitintensiv war.
Für die Weiterverarbeitung mussten die Daten gelabelt werden. Die Sprachsignale konnten mithilfe eines Aligners automatisch segmentiert werden. Dieses Programm wurde am Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung entwickelt. Dabei annotiert der Aligner die Sprachsignale auf Phonemebene, Wortebene, Silbenebene und auf syntaktischer Ebene (POS-Tags). Für die Verwendung des Aligners wurden die Sprachdateien zuerst in .sd-files umgewandelt.
Außerdem benötigt der Aligner Textdateien im sogenannten TeX-Style, in der sich die Verschriftlichung der Sprachdatei befindet. Das bedeutet, dass im gleichen Verzeichnis eine Textdatei ohne Umlaute und Sonderzeichen vorhanden sein muss. Dabei müssen die Textdateien die gleichen Dateistämme wie die Sprachdaten haben. Diese Textdateien konnten mithilfe eines Perl-Skripts automatisiert erstellt werden, da die Dateistämme bereits die Verschriftlichung der Sprachdatei beinhalten.

Die automatische Segmentierung des Aligners musste anschließend noch manuell korrigiert werden. Solche Korrekturen von Segmentgrenzen müssen auf allen Annotationsebenen nachvollzogen werden, deshalb wurde von der Snooker-Gruppe eine WaveSurfer-Konfiguration erstellt, die zeitlich übereinstimmende Segementgrenzen in mehreren Labelspuren synchron verschiebt. Diese musste in die Konfigurationsdatei von WaveSurfer eingebunden werden.

Zuletzt mussten aus den gelabelten Daten die Vokale herausgeschnitten werden. Dies geschah analog.

Kapitel 4

Analyse und Auswertung

In diesem Kapitel sollen nun die Analyse und die Auswertungen des Experimentes dargelegt werden. Zuerst wird dabei das Analysewerkzeug beschrieben, bevor statistische Auswertungen der Ergebnisse vorgenommen werden.

4.1 Analysewerkzeug

Für die Analyse wurde das Analysewerkzeug *harmonicsjob* verwendet. Dieses Werkzeug wurde von Manuel Kountz (IMS, Universität Stuttgart) geschrieben. Es führt die beiden von Wolfgang Wokurek (IMS, Universität Stuttgart) entwickelten Programme *hi1* und *hi2* aus. Dabei gibt *hi1* eine Formantschätzung der Sprachdaten und extrahiert die spektralen Parameter mittels der Schnellen Fouriertransformation. *hi1* schätzt somit F_0 anhand der Daten und versucht dann in den Daten die maximalen F_0-Spitze in der Umgebung zu finden. Danach werden die Ergebnisse von *hi1* an *hi2* übergeben. *hi2* ist ein sehr vielseitiges Werkzeug. Es verarbeitet die Dateien spektraler Merkmale, die von *hi1* generiert werden. Jedoch kann *hi2* nicht nur die Parameter extrahieren, die von *hi1* übergeben werden, sondern auch über Makro-Dateien eigene Parameter definieren. Außerdem kann *hi2* zu den Daten zugehörige Statistiken erstellen, die auch durch selbstdefinierte Attribute beeinflusst werden können.
In den beiden Programmen *hi1* und *hi2* ist teilweise implementiert, wovon Wolfgang Wokurek und Manfred Pfützer in ihrem noch unveröffentlichten Aufsatz *Multiparametrische Stimmprofildifferenzierung zu männlichen und weiblichen Normalstimmen auf der Grundlage akustischer Analysen* [17] schreiben. Zur spektralen Schätzung der Stimmqualitätsparameter werden die Beobachtungen von

Stevens und Hanson [22] verwendet. Stevens und Hanson fanden heraus, dass die Stimmeigenschaften Öffnungsquotient, Grad der glottalen Öffnung, Schiefe des Anregungsimpulses und die Verschlussrate dominant das Anregungsspektrum in jeweils einem bestimmten Frequenzbereich beeinflussen. Wolfgang Wokurek und Manfred Pfützer beschreiben deshalb wie Stimmqualitätsparameter aufgrund von geeigneten Vergleichen von verschiedenen höheren harmonischen Schwingungen mit den Grudschwingungen berechnet bzw. geschätzt werden können. Dazu schlagen sie drei Schritte vor:

1. Automatische Messung
   Bei diesem Schritt werden mit Hilfe von ESPS-Programmen [6] Grundfrequenzen, Frequenzen und Bandbreiten der esten vier Formanten und Schmalbandspektren aus dem Sprachsignal berechnet. Dabei werden die Daten alle 10ms analysiert. Tabelle 4.1 zeigt die wichtigsten protokollierten Daten

F_0	Grundfrequenz
F_1, F_2, F_3, F_4	Formantfrequenzen
B_1, B_2, B_3, B_4	Bandbreiten der Formanten
F_0P, $2F_0P$	Frequenzen der spektralen Spitzen der ersten beiden Harmonischen
H_1, H_2	Amplituden der ersten beiden Harmonischen
F_1P, F_2P, F_3P, F_4P	Frequenzen der spektralen Spitzen bei den Formanten
A_1P, A_2P, A_3P, A_4P	Amplituden der spektralen Spitzen bei den Formanten

Tabelle 4.1: Die wichtigsten protokollierten Daten

2. Formantkorrektur
   Formanten beeinflussen die Spektrallinien. Deswegen müssen sie berechnet und subtrahiert werden. Die Berechnung lässt sich bei Pfützer und Wokurek [17] nachschlagen.

3. Parameterschätzung
   Pfützer und Wokurek [17] erläutern, dass bei der Untersuchung eines Vokals die Definition und Berechnung durch die Dezibel-Abstände zwischen der korrigierten Grundwelle $H_1 \sim$ und den korrigierten spektralen Amplituden der zweiten Harmonischen $H_2 \sim$ und der Harmonischen bei den drei

Formanten $A_1 \sim$, $A_2 \sim$ und $A_3 \sim$ ausreichen. Bei abweichenden Artikulationen verschieben sich jedoch die Formanten und führen so, selbst bei unveränderter Stimme, zu veränderten Stimmqualitätsparametern.
Deshalb verwenden Pfützer und Wokurek spektrale Abstiegsgradienten anstelle der Amplitudendifferenz. Dabei wird der Amplitudenabstieg durch den Frequenzabstand geteilt. Der Abstiegsgradient zwischen der Grundfrequenz (erste Harmonische) und der doppelten Grundfrequenz (zweite Harmonische) wird mit dem Öffnungsquotienten (OQG – opening quotient gradient) in Verbindung gebracht.
Der Parameter GOG (glottal opening gradient – glottale Öffnung) bezeichnet den Abstiegsgradient zwischen der Grundfrequenz und der Harmonischen mit der höchsten Amplitude nach dem ersten Formanten.
Ein weiterer Stimmqualiltätsparameter ist der Abstiegsgradient zwischen der Grundfrequenz und der Harmonischen mit der höchsten Amplitude nach dem zweiten Formanten. Dieser Parameter wird als Parameter der Schiefe des glottalen Anregungsimpulses SKG (skewness gradient) bezeichnet.
Der letzte Abstiegsgradient zwischen der Grundfrequenz und der Harmonischen mit der höchsten Amplitude nach dem dritten Formanten hat die Bezeichnung RCG (rate of closure gradient) und ist ein Parameter der Verschlussrate.
Pfützer und Wokurek schreiben weiter, dass der Energieverlust der Schwingung im ersten Formanten im subglottalen Raum umso größer ist je unvollständiger der Glottalverschluss ist. Daraus folgt auch, dass damit die Bandbreite ebenfalls größer ist. Das Maß für die Unvollständigkeit des Glottalverschlusses wird als IC bezeichnet. Die Tabelle 4.2 stellt nochmals in der Übersicht die verschiedenen Parameter dar.

OQG	Öffnungsquotient
GOG	glottale Öffnung
SKG	Schiefe des glottalen Anregungsimpulses
RCG	Verschlussrate (Geschwindigkeit des glottalen Verschlusses
IC	Unvollständigkeit des glottalen Verschlusses

Tabelle 4.2: Die berücksichtigten Stimmqualitätsparameter

4.2 Die Daten

Wie schon im vorhergehenden Kapitel erwähnt, lagen dem Experiment drei verschiedene Listen vor. Insgesamt wurden 5245 Sätze aufgenommen, von denen 4326 fehlerfrei gesprochen wurden. Insgesamt wurden also 82,48% der Sätze korrekt gesprochen und 17,52% ($\hat{=}$ 919 Sätze) fehlerhaft. Davon entfallen 390 Sätze (42,44%) auf häufige und 529 Sätze (57,56%) auf seltene Konstruktionen. Von den korrekt ausgesprochenen Sätzen entfallen 2234 Sätze (51,64%) auf Konstruktionen mit häufigen Silben und 2092 (48,36%) auf Konstruktionen mit seltenen Silben.

Wenn nun die Verteilung über die Listen betrachtet wird, ist schnell zu erkennen, dass die von Mayer et al. entwickelte Liste, die fehleranfälligste ist. Dies liegt wahrscheinlich an der Komplexität der Liste, die viele Versprecher begünstigt. Von insgesamt 3197 Sätzen dieser Liste wurden 2336 (73,07%) korrekt ausgesprochen und 861 (26,93%) nicht korrekt ausgesprochen. Dabei wurden 1235 (52.87%) Äußerungen aus häufigen Silben und 1101 (47.13%) Äußerungen aus seltenen Silben fehlerfrei gesprochen. Von den 861 Versprechern entfallen 365 (42.39%) Aufnahmen auf seltene und 459 (53.31%) auf häufige Silbenkonstruktionen.
Die Liste, die mithilfe von CELEX durch Bettina Brendel entwickelt wurde, weist eine deutlich niedrigere Versprecherrate auf. Von insgesamt 1408 Aufnahmen sind 1351 Aufnahmen (95,95%) korrekt gesprochen und 57 (4,05%) fehlerhaft. Von den 1351 korrekt gesprochenen Aufnahmen entfallen 679 (50,25%) auf häufige Silben und 672 (49,74%) auf seltene Silben. Die nicht korrekt gesprochenen Aufnahmen teilen sich in 24 Aufnahmen (42,11%) aus Konstruktionen mit häufigen Silben und 33 Aufnahmen (57,89%) aus Konstruktionen mit seltenen Silben. Jedoch muss hier angemerkt werden, dass allein 11 fehlerhaft ausgesprochenen Aufnahmen von häufigen Silbenkonstruktionen auf eine einzige Sprecherin zurückzuführen sind. Diese ausgesprochen hohe Fehlerrate verfälscht das Gesamtergebnis.
Zuletzt soll hier noch kurz auf die dritte Liste, die der Zeitschrift *Brain and Language* entnommen wurde, eingegangen werden. Da es sich hier jedoch um Wörter der deutschen Sprache handelt, war die Fehlerquote ungleich niedriger. Von insgesamt 640 Aufnahmen wurden 639 (99,84%) korrekt und nur eine (0,16%) nicht korrekt ausgesprochen. Von den korrekten Aufnahmen entfallen 320 (50,08%) auf

häufige und 319 (49,92%) auf seltene Silbenkonstruktionen.
Da nur eine Aufnahme nicht korrekt gesprochen wurde, ist die erhöhte Fehlerquote bei den seltenen Silben nicht aussagekräftig.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse die Annahme stützen. Bei den häufigen Silben, also den im Mentalen Silbenspeicher gespeicherten, sind tatsächlich weniger Versprecher festzustellen als bei den seltenen, also online produzierten Silben. Dies tritt in allen Listen auf, jedoch am stärksten in der Liste Mayer et al. Wie schon oben erwähnt gibt es bei der Liste Bettina Brendel eine Sprecherin, die durch eine stark erhöhte Fehlerquote bei den häufigen Silben das Gesamtergebnis verfälscht. Wenn man diese Sprecherin nicht in das Ergebnis einbezieht, ist das Ergebnis noch deutlicher.

Liste	Silbenart	korrekt gesprochen		fehlerhaft gesprochen	
Liste Mayer et al.	insgesamt	73.07%	2336	26.93%	861
	häufig	57.49%	1235	42.39%	365
	selten	47.13%	1101	57.56%	495
Liste Bettina Brendel	insgesamt	95.95%	1351	4.05%	57
	häufig	*50,25%*	*679*	*42.11%*	*24*
	selten	49,74%	672	57.89%	33
Liste Brain and Language	insgesamt	99.84%	639	0.16%	1
	häufig	50.08%	320	0.00%	0
	selten	49.92%	319	100.0%	1
Insgesamt	insgesamt	82.48%	4326	17.52%	919
	häufig	51.64%	2234	42.44%	390
	selten	48.36%	2092	57.56%	529

Tabelle 4.3: Versprecher eingeteilt nach Silbenart

4.3 Statistische Auswertung

Um die Annahmen zu überprüfen, muss neben der Versprecherrate auch ermittelt werden, ob ein unterschiedlicher Grad an Koartikulation angenommen werden kann. Die folgenden statistischen Auswertungen sollen dazu dienen. Für eine sinnvolle Analyse der Daten werden neben den Formantwerten F_0 bis F_2 auch die Werte des *„perceptual vowel space“* benötigt. In seinem Aufsatz *Neural control of speech movements* beschreibt F.H. Guenther [7] wie sich diese Werte aus den For-

matwerten berechnen und weshalb dieser Vokalraum gewählt wird. Die Werte des *„perceptual vowel space“* sind unabhängig davon, ob die Äußerung von Männern, Frauen oder Kindern stammt. Von daher sind diese Werte sehr gut geeignet, um Daten miteinander zu vergleichen. Berechnet werden die Werte des *„perceptual vowel space“* folgendermaßen:

$$x_1 = log(F_1/SF_0)$$

$$x_2 = log(F_2/F_1)$$

$$x_3 = log(F_3/F_2)$$

$$SF_0 = 168(F_0/168)^{1/3}$$

Die Abweichung der Mittelwerte der x_1- und x_2-Werte von häufigen und seltenen Silben zeigt, inwieweit der Grad der Koartikulation voneinander abweicht.

Für die statistische Auswertung wurde in dieser Arbeit das Statistikprogramm R [18] herangezogen. R ist eine eigene Programmiersprache, die eine Umgebung für statistische Berechnungen und Graphiken bietet und als frei verfügbares Programm unter der GNU-Lizenz veröffentlicht wurde.
In R können aus den Tabellen die Formantwerte herausgezogen und die Werte des *„perceptual vowel space“* berechnet werden. Daneben stellt R die meisten statistischen Werkzeuge zur Verfügung.

4.3.1 Erstellung der Histogramme

Histogramme stellen graphisch die Häufigkeitsverteilung von Werten dar, sie können also auch als Verhältnisskala bezeichnet werden. So können Häufigkeitsverteilungen, die als reine Zahlen betrachtet unüberschaubar sind, übersichtlich dargestellt werden.
Um ein Histogramm zu erhalten, werden die Häufigkeiten als aneinanderstoßende Rechtecke dargestellt. Die Fläche der Rechtecke ist dabei proportional zu den Häufigkeiten.
In R lassen sich Histogramme aus den Daten erstellen, um jedoch eine bessere Vergleichbarkeit mit theoretischen Verteilungen zu bekommen wird in dieser Arbeit an Stelle der Frequenz die Dichte betrachtet. Außerdem lassen sich zusätzlich die Mittelwerte, Standardabweichungen und der Median in die Histogramme

eintragen. Ferner kann auch eine Dichtekurve, die sich den Histogrammwerten annähert, eingezeichnet werden. Die erstellten Histogramme sind im Anhang B abgebildet.

4.3.2 T-Test

Da Zahlen nur für sich genommen wenig Aussagekraft haben, müssen diese in einen Kontext gestellt werden. Um den Informationsgehalt einer Messung zu erhalten, wird deshalb die statistische Signifikanz betrachtet. Diese wird über Hypothesentests ermittelt, die zum Ziel haben auf der Basis von Stichproben zu überprüfen, ob eine theoretische Erkenntnis über die Grundgesamtheit angenommen oder abgelehnt werden kann. Dabei wird die theoretische Erkenntnis als Nullhypothese formuliert und im Gegensatz dazu eine Alternativhypothese aufgestellt. Außerdem wird ein Signifikanzniveau (Irrtumswahrscheinlichkeit) bestimmt, welche die Wahrscheinlichkeit dafür angibt, dass die Nullhypothese abgelehnt wird, obwohl sie richtig ist. Üblicherweise wird ein Signifikanzniveau von 5% gewählt. Als Konfidenzintervall wird dann der Bereich bezeichntet, in dem sich 95% aller Werte befinden. Als nicht signifikant gilt von daher eine Betrachtung, wenn deren standardisierte Prüfgröße (z-score) im Konfidenzintervall liegt, da in diesem Fall die Nullhypothese nicht abgelehnt werden kann.
Für Daten, deren Varianz unbekannt ist, wurde von William Sealey Gosset eine Wahrscheinlichkeitsverteilung entwickelt, die T-Verteilung genannt wird. Auf dieser Verteilung basiert ein Hypothesentest, der sogenannte T-Test.
Um die Signifikanz der Annahme dieser Arbeit zu bestimmen, werden aufgrund der vorher dargelegten statistischen Überlegungen T-Test durchgeführt. Dies lässt sich in R leicht umsetzen, da der Hypothesentest „T-Test“ bereits implementiert ist. Dabei gibt R das Konfidenzintervall, das Signifikanzniveau, den Wert der Teststatistik (t), die Anzahl der Freiheitsgrade (df) und die Überschreitungswahrscheinlichkeit (p-value) aus, so dass eingeschätzt werden kann, ob es sich um signifikante Abweichungen handelt oder nicht. Unterschreitet die Überschreitungswahrscheinlichkeit das Signifikanzniveau, wird die Nullhypothese abegelehnt und die Alternativhypothese trifft zu.

4.3.3 Betrachtung der Histogramme und der Signifikanz der einzelnen Vokale

Im Folgenden werden nun für die einzelnen Vokale verschiedene Histogramme betrachtet und verglichen, außerdem werden T-Tests durchgeführt, um die Signifikanz bewerten zu können. Zuerst werden dabei immer die Mittelwerte der x_1- und x_2-Werte der einzelnen Vokale für männliche und weibliche Sprecher getrennt betrachtet, dann für die Sprecher in der Gesamtheit und schließlich getrennt nach den Listen. Um die Arbeit übersichtlicher zu halten, sind die Histogramme im Anhang abgebildet.
Für den T-Test gilt hier die Nullhypothese, dass die tatsächliche Differenz der Mittelwerte bei Null liegt oder nicht mehr als üblich davon abweicht. Entsprechend ist die Alternativhypothese, dass die Mittelwerte deutlich voneinander abweichen, so dass eine rein zufällige Schwankung mit wenigstens 95% Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann.
Als signifikant wird also ein Ergebnis angesehen, wenn die Mittelwerte voneinander abweichen, so dass von einer erhöhten Koartikulation ausgegangen werden kann.
Da die Daten in diversen Schritten maschinell verarbeitet wurden, werden die Vokale in Sampa-Notation angegeben. Sampa eine maschinenlesbare und tastaturfreundliche ASCII-Kodierung einer Teilmenge des Internationalen Phonetischen Alphabets (IPA).
Zuerst werden hier die langen Vokale betrachtet, dannach die kurzen Vokale und abschließend die Diphtonge.

Der Vokal 9

Beim Vokal 9 handelt es sich um einen vorderen, halb offenen, gerundeten Vokal, der die Eigenschaft hat, dass bei seiner Produktion die Pharynx verengt wird. Der erste Formant hat einen Literaturwert von 500 Hz [16] (alle weiteren Literaturwerte sind ebenfalls [16] entnommen), der zweite einen Wert von 1550 Hz. F_1 ist für einen Vokal schon recht hoch, was an der Verengung im pharyngalen Raum liegt. Rechnet man die Literaturwerte in Werte des *perceptual vowelspace* um, dann erhält man einen x_2-Wert von 1.13. Die gemessen Daten weichen davon ab, zeigen jedoch, dass die Grössenordnung stimmt. Im Folgenden sollen die gemessenen Werte genauer betrachtet und überprüft werden, ob die Abweichungen

der Werte aus den häufigen und selten Silben signifikant sind.

Die Abbildung B.1 zeigt das Histogramm der männlichen Sprecher für den Vokal 9 aus häufigen und Abbildung C.26 für den Vokal aus seltenen Silben. Ein Unterschied ist bereits in den Histogrammen sichtbar. Auch ein Vergleich der Mittelwerte zeigt, dass für diesen Vokal die Mittelwerte relativ stark voneinander abweichen. Die genauen Werte sind in der Tabelle 4.4 ablesbar. Ein T-Test ergab bei einem Signifikanzniveau von 5% eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von $2.2e^{-16}$. Diese liegt somit eindeutig unter dem Signifikanzniveau von 0.05, von daher wird die Nullhypothese abgelehnt, die Abweichung ist also signifikant.
Der T-Test für die x_2-Werte ergab mit der gleichen Überschreitungswahrscheinlichkeit ebenfalls eine signifikante Abweichung.

Bei den weiblichen Sprechern lässt sich für den Vokal 9 ähnliches feststellen. Die T-Tests zeigen auch hier sowohl für die x_1- als auch für die x_2-Werte signifikante Abweichungen.

Bei den Sprechern insgesamt ergaben die T-Tests jedoch nur noch für die x_2-Werte signifikante Abweichungen.

Um beurteilen zu können, wie die Werte nach Listen aufgeteilt ausfallen, wurden für die verschiedenen Listen getrennt, soweit zu den Vokalen Daten vorhanden waren, T-Tests gemacht. Da für die Liste Mayer et al. nur Daten des Vokals 9 aus seltenen Silben vorhanden waren, wurde hier kein T-Test vorgenommen, Mittelwerte und Median sind jedoch ebenfalls der Tabelle unten entnehmbar. Die Listen Bettina Brendel und Brain and Language zeigen unterschiedliche Ergebnisse. So ergeben die T-Test für die Liste Bettina durchgängig signifikante Abweichungen, nicht jedoch die Tests für die Liste Brain and Language. Inwieweit das daran liegt, dass diese Liste tatsächliche (also auch eingeübte) Wörter enthält, kann hier nicht beantwortet werden.

Der Vokal E

Der Vokal E ist ein vorderer, halb offener, ungerundeter Vokal. Auch dieser weist eine Verengung im pharyngalen Raum auf, von daher sind die F_1-Werte erwar-

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.6949	1.6078	0.6790	1.5672	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.8498	1.4137	0.8049	1.4643	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.6403	1.4065	0.6245	1.4733	$5.15e^{-05}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.5524	1.0004	0.3787	0.18133	**signifikant**	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	0.6577	1.4704	0.6695	1.5576	0.2374	$2.2e^{-16}$
	selten	0.6752	1.1911	0.7536	1.2676	¬signifikant	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	–	–	–	–	–	–
	selten	0.7466	1.1632	0.803	1.2023	–	–
Liste Bettina	häufig	0.7836	1.7816	0.6735	1.8612	$8.778e^{-07}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.5958	1.1999	0.7236	1.3908	**signifikant**	**signifikant**
Liste BL	häufig	0.5985	1.3190	0.6913	1.4383	0.8943	0.1792
	selten	0.6004	1.2890	0.6913	1.4383	¬signifikant	¬signifikant

Tabelle 4.4: Werte für den Vokal 9

tungsgemäß hoch. Die Literatur gibt für diesen Vokal einen F_1-Wert von 500 Hz und einen F_2-Wert von 1900 Hz an. Nach der Berechnung des *perceptual vowel-space* ergibt sich hieraus ein x_2-Wert von 1.34, auch hier zeigt ein Vergleich mit den gemessenen Daten, dass die Größenordnung zutrifft.

Die Histogramme dieses Vokals sind ebenfalls im Anhang B zu finden. Diese zeigen Abweichungen zwischen den Daten aus häufigen und seltenen Silben. Ob es sich dabei jedoch um signifikante Abweichungen handelt, sollen die T-Test zeigen. Diese ergaben sowohl für die x_1- und x_2-Werte der männlichen, als auch der weiblichen Sprecher und der Sprecher insgesamt signifikante Abweichungen.

Auch die Betrachtung der Listen zeigt, dass die signifikanten Abweichungen vorherrschen. Sowohl die x_1- als auch die x_2-Werte der Listen Bettina Brendel und Brain and Language zeigen signifikante Abweichungen. Einzig die Liste Mayer et al. weist nur bei den x_2-Werten signifikante Abweichungen auf. Ein T-Test der x_1-Werte ergab für diese Liste keine signifikanten Abweichungen.

Der Vokal I

Dieser Vokal ist ebenfall ein vorderer, jedoch fast geschlossener, ungerundeter Vokal, der etwas zentraler liegt und ungespannt ist. Seine Formantwerte sind in

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.9712	1.4086	1.1069	1.3567	$6.603e^{-11}$	$2.2e^{-16}$
	selten	1.0325	1.2854	1.1762	1.2652	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.6443	1.0611	1.0989	1.3789	$2.2e^{-16}$	$1.604e^{-05}$
	selten	0.5499	1.0324	1.1413	1.2746	**signifikant**	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	0.7848	1.2178	0.8683	1.2259	$5.989e^{-08}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.7481	1.1388	0.6279	1.0971	**signifikant**	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	0.7932	1.2286	0.8823	1.2306	0.4963	$2.2e^{-16}$
	selten	0.7873	1.1629	0.7854	1.1351	¬signifikant	**signifikant**
Liste Bettina	häufig	0.8371	1.1813	1.1112	1.2072	$6.387e^{-08}$	$3.851e^{-07}$
	selten	0.7048	1.0931	0.4537	1.0569	**signifikant**	**signifikant**
Liste BL	häufig	0.6964	1.1445	0.6087	1.1601	0.004706	0.004523
	selten	0.7480	1.1992	0.8371	1.2699	**signifikant**	**signifikant**

Tabelle 4.5: Werte für den Vokal E

der Literatur F_1=325 Hz und F_2=2100 Hz. Daraus ergibt sich ein x_2-Wert von 1.87. In der Tabelle 4.6 sind die Mittelwerte und Median von x_1 und x_2 als auch die Überschreitungswahrscheinlichkeiten abgebildet. Im Anhang B sind die Histogramme dieses Vokals abgebildet.

Hier zeigen die T-Tests, dass in einigen Fällen keine signifikanten Abweichungen nachgewiesen werden können. Die Abweichungen der x_1-Werte bei den männlichen Sprechern sind nicht signifikant, die x_2- Werte weisen jedoch signifikante Abweichungen auf. Bei den weiblichen Sprechern sind die Signifikanzen ähnlich verteilt. Die x_2- Werte sind signifikant, die x_1-Werte jedoch nicht. Bei der Betrachtung aller Sprechern insgesamt weisen jedoch sowohl die x_1- als auch die x_2-Werte signifikante Abweichungen auf.

Bei der Betrachtung der Listen fällt auf, dass für die Liste Bettina Brendel für diesen Vokal keine Daten vorhanden sind. Die anderen beiden Listen, Mayer et al. und Brain and Language weisen beide in den x_2- Werte signifikante Abweichungen auf, bei den x_1-Werten nur die Liste Brain and Language.

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.7621	1.7214	0.735	1.7986	0.9309	0.001077
	selten	0.7635	1.6450	0.6936	1.7873	¬signifikant	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.4031	1.1773	0.3292	0.7571	0.7003	$1.015e^{-05}$
	selten	0.3996	1.0563	0.3336	0.7331	¬signifikant	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	0.5453	1.14114	0.4841	1.6158	0.01909	0.0001586
	selten	0.5711	1.3325	0.5435	1.5455	**signifikant**	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	0.5545	1.3984	0.4955	1.5937	0.9934	$6.516e^{-12}$
	selten	0.5544	1.7226	0.5809	1.8428	¬signifikant	**signifikant**
Liste Bettina	häufig	–	–	–	–	–	–
	selten	–	–	–	–	–	–
Liste BL	häufig	0.4423	1.5551	0.3110	1.08048	5.632^{-15}	$1.383e^{-13}$
	selten	0.5743	1.2567	0.5376	0.9045	**signifikant**	**signifikant**

Tabelle 4.6: Werte für den Vokal I

Der Vokal O

O ist ein hinterer, offener und gerundeter Vokal, dessen Literaturwerte für F_1 500 Hz und für $F_2 = 900$ Hz. Da es sich hier ebenfalls um einen Vokal mit pharyngaler Verengung handelt, ist der F_1-Wert entsprechend hoch. Aus den Literaturwerten lässt sich ein x_2-Wert von 0.59 errechnen.

Auch hier zeigen die Histogramme (s. Anhang B) teilweise beträchtliche Abweichungen. Ein Vergleich der Mittelwerte legt ebenfalls eine Abweichung nahe. Die T-Tests zu diesem Vokal bestätigen diesen ersten Eindruck. Die Abweichungen der x_1- und x_2-Werte bei männlichen und weiblichen Sprechern ergeben signifikante Abweichungen. Solche Abweichungen lassen sich jedoch bei den Sprechern insgesamt nur für die x_2-Werte feststellen.

Ein Vergleich der Listen lässt sich hier nicht ziehen, da ausschließlich für die Liste Mayer et al. und für die Daten aus häufigen Silben der Liste Brain and Language Daten verwendet werden konnten. Die Liste Mayer et al. ergibt aber für beide betrachteten Werte signifikante Abweichungen.

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	1.1502	0.6116	1.1463	0.5701	$4.069e^{-07}$	$1.114e^{-07}$
	selten	1.0564	0.7124	1.0537	0.6571	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	1.0201	0.6941	1.0578	0.6016	$3.732e^{-07}$	$3.579e^{-06}$
	selten	1.2142	0.8549	1.1861	0.8439	**signifikant**	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	1.0907	0.6495	1.1286	0.5779	0.8968	$5.51e^{-11}$
	selten	1.0884	0.7744	1.0878	0.7187	¬signifikant	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	1.1544	0.6334	1.1634	0.5697	0.00016	$6.788e^{-15}$
	selten	1.0884	0.7744	1.0878	0.7187	**signifikant**	**signifikant**
Liste Bettina	häufig	–	–	–	–	–	–
	selten	–	–	–	–	–	–
Liste BL	häufig	0.7799	0.7279	0.7866	0.6288	–	–
	selten	–	–	–	–	–	–

Tabelle 4.7: Werte für den Vokal O

Der Vokal U

Der Vokal U ist der letzte kurze Vokal, der hier betrachtet wird. Hierbei handelt es sich um einen hinteren, geschlossenen und gerundeten Vokal, der ungespannt ist. Die Literaturwerte (F_1=325 Hz, F_2=950 Hz) ergeben nach der Berechnung x_2=log(F_2/F_1) 1.07. Die Mittelwerte der gemessenen Daten liegen jedoch weitgehend darunter. Die Histogramme im Anhang weisen durchaus auch optisch Unterschiede auf.

Für die Beurteilung der tatsächlichen Abweichungen zeigen die T-Tests für die männlichen Sprecher für x_1 und x_2 signifikante Abweichungen. Bei den weiblichen Sprechern ist nur eine tatsächliche Abweichung der x_1-Werte nicht jedoch der x_2-Werte messbar. Für die Sprecher insgesamt zeigt sich dasselbe, die Abweichungen der x_1-Werte sind signifikant, die der x_2-Werte jedoch nicht.

Die Werte der Listen Mayer et al. und Bettina Brendel sind signifikant. Für die Liste Brain and Language zeigt sich das gleiche Ergebnis wie schon für die weiblichen Sprecher und die Sprecher insgesamt. Hier sind nur die Abweichungen der x_1-Werte signifikant, nicht jedoch der x_2-Werte.

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.6954	1.2410	0.7229	1.0475	0.02283	0.04171
	selten	0.6719	1.2037	0.6983	1.1248	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.4804	1.0233	0.3813	0.9288	0.004565	0.1187
	selten	0.4571	1.0441	0.3798	0.9487	**signifikant**	¬signifikant
Sprecher insgesamt	häufig	0.5698	1.1099	0.5215	0.9739	0.9739	$6.785e^{-06}$
	selten	0.5398	1.1237	0.4989	1.0317	**signifikant**	¬signifikant
Liste Mayer	häufig	0.6457	1.0186	0.6850	0.9377	$2.2e^{-16}$	$2.668e^{-12}$
	selten	0.5644	1.0944	0.5426	1.0276	**signifikant**	**signifikant**
Liste Bettina	häufig	0.3784	1.3483	0.3141	1.1813	0.001032	0.0006573
	selten	0.3332	1.1943	0.2850	0.9319	**signifikant**	**signifikant**
Liste BL	häufig	0.4391	1.2596	0.3598	1.1736	$1.178e^{-08}$	0.0851
	selten	0.5147	1.2089	0.4525	1.0499	**signifikant**	¬signifikant

Tabelle 4.8: Werte für den Vokal U

Der Vokal a

Mit diesem Vokal beginnt die Betrachtung der langen Vokale.
Bei dem Vokal a handelt es sich um einen zentralen und offenen Vokal. Da bei diesem Vokal die Pharynx ebenfalls verengt wird, ist der F_1-Wert recht hoch und liegt in der Literatur bei 750 Hz. Der F_2-Wert liegt bei 1250 Hz. Daraus ergibt sich ein x_2-Wert von 0.51.

Auch bei diesem Vokal überwiegen die signifikanten Abweichungen. Diese lassen sich für die x_1-Werte der männlichen Sprecher ebenso feststellen wie für die der weiblichen Sprecher und der Sprecher insgesamt. Jedoch sind die x_2-Werte der männlichen und weiblichen Sprecher nicht signifikant abweichend.
Für alle Sprecher insgesamt sind jedoch die Abweichungen beider Werte signifikant.

Werden die Daten der Listen verglichen, ergeben sich für beide gemessenen Werte der Listen Mayer et al. und Bettina Brendel signifikante Abweichungen.
Bei der Liste Brain and Language sind nur die Abweichungen der x_2-Werte abweichend, nicht jedoch die der x_1-Werte.

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	1.2806	0.8248	1.5572	0.6351	$1.072e^{-08}$	0.3828
	selten	1.2016	0.8161	1.5408	0.6239	**signifikant**	¬signifikant
Weiblicher Sprecher	häufig	0.6654	1.1174	0.4027	1.2167	0.01552	0.6302
	selten	0.6413	1.1202	0.3707	1.2235	**signifikant**	¬signifikant
Sprecher insgesamt	häufig	0.8499	1.0323	0.4939	1.1351	$5.418e^{-09}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.8785	1.0012	0.5168	1.0771	**signifikant**	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	0.9334	0.9925	0.6226	1.0079	0.003022	$6.158e^{-06}$
	selten	0.9016	0.9620	0.5719	1.0234	**signifikant**	**signifikant**
Liste Bettina	häufig	0.9157	0.9918	0.5369	1.1292	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.6465	1.1919	0.3138	1.3215	**signifikant**	**signifikant**
Liste BL	häufig	0.9408	0.9945	0.5826	1.0041	0.7448	0.04551
	selten	0.9477	0.9679	0.6508	1.0684	¬signifikant	**signifikant**

Tabelle 4.9: Werte für den Vokal a

Der Vokal e

Hier handelt es sich um einen vorderen, halb geschlossenen, ungerundeten Vokal. Dieser Vokal hat einen ersten Formanten bei 375 Hz und einen zweiten Formanten bei 2050 Hz. Daraus lässt sich folgender x_2-Wert berechnen: 1.70.

Bei diesem Vokal ergeben die Abweichungen der x_1- und x_2-Werte für männliche und weibliche Sprecher verschiedene Signifikanzen. Während für die männlichen Sprecher die Abweichungen der Werte in beiden Fällen signifikant ist, trifft das auf die weiblichen Sprecher nicht zu. Beide Abweichungen sind nicht signifikant. Ein T-Test der Abweichungen für x_1 und x_2 ergaben signifikante Abweichungen in beiden Fällen.

Die Listen ergeben ebenfalls kein homogenes Bild. Während für die Liste Brain and Language beide betrachteten Werte des perceptual vowelspace signifikante Abweichungen aufweist, trifft dies bei den Listen Mayer et al. und Bettina Brendel nur auf die x_1-Werte, nicht aber für die x_2-Werte zu.

Der Vokal i

Für diesen vorderen, geschlossenen und ungerundeten Vokal liegt der Literaturwert F_1 bei 275 Hz und F_2 bei 2250 Hz. Aufgrund der hohen Zungenstellung bei

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.7734	1.7923	0.7820	1.8260	$2.2e^{-16}$	0.001359
	selten	0.8375	1.1770	0.8144	1.7936	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.4753	1.1195	0.3411	0.7825	0.8113	0.9812
	selten	0.4732	1.1199	0.3553	0.7138	¬signifikant	¬signifikant
Sprecher insgesamt	häufig	0.5551	1.2954	0.5434	1.2135	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.6455	1.4471	0.7207	1.6872	**signifikant**	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	0.6399	1.4088	0.6949	1.5434	$5.583e^{-08}$	0.2096
	selten	0.6868	1.4269	0.7701	1.6471	**signifikant**	¬signifikant
Liste Bettina	häufig	0.4874	1.3340	0.4159	1.1349	$2.2e^{-16}$	0.1012
	selten	0.6256	1.3706	0.7229	1.6797	**signifikant**	¬signifikant
Liste BL	häufig	0.6839	1.4837	0.7398	1.6856	$2.2e^{-16}$	0.01243
	selten	0.5565	1.4052	0.6436	1.6618	**signifikant**	**signifikant**

Tabelle 4.10: Werte für den Vokal e

der Produktion von i liegt der F_2-Wert recht hoch.

Die Histogramme der Daten aus häufigen und aus seltenen Silben im Anhang B weichen bei einer Betrachtung ziemlich voneinander ab. Dies legt signifikant Abweichungen nahe. T-Tests der Daten der männlchen Sprecher bestätigen diese Vermutung. Aber auch alle anderen Gruppen weisen durchweg signifikante Abweichungen auf. Für die Listen Bettina Brendel und Brain and Language konnte die Abweichung nicht bestimmt werden, da nur Daten aus häufigen Silben zur Untersuchung herangezogen werden konnten.

Der Vokal o

Der Vokal o ist ein hinterer, halb geschlossener, gerundeter Vokal. Seine Literaturwerte liegen für F_1 bei 375 Hz und für F_2 bei 850 Hz. Der x_2-Wert liegt von daher bei 0.82.
Für die männlichen und weiblichen Sprecher sowie die Sprecher insgesamt geben die Histogramme ein relativ homogenes Bild ab. Das trifft jedoch nicht auf die Histogramme der Listen zu. Dort weisen die Daten aus den häufigen Silben deutliche Unterschiede zu den Daten aus den seltenen Silben auf.

Um dies genauer angehen zu können, werden auch hier wieder T-Tests heran-

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.4908	2.1154	0.4958	2.1325	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.4200	2.2008	0.4497	2.1998	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.2967	1.8513	0.2606	2.2611	$2.2e^{-16}$	$1.587e^{-07}$
	selten	0.2283	2.0199	0.2045	2.29644	**signifikant**	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	0.3445	1.9365	0.2865	2.2098	$2.2e^{-16}$	0.03933
	selten	0.3793	1.9558	0.3283	2.1660	**signifikant**	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	0.4087	1.8573	0.3639	2.1065	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.3081	2.0998	0.3065	2.2286	**signifikant**	**signifikant**
Liste Bettina	häufig	0.3565	2.0544	0.2942	2.2701	–	–
	selten	–	–	–	–	–	–
Liste BL	häufig	0.3263	2.0431	0.2810	2.2359	–	–
	selten	–	–	–	–	–	–

Tabelle 4.11: Werte für den Vokal i

gezogen:
Ein T-Test der Abweichungen der x_1-Werte bei männlichen Sprechern ergibt eine Überschreitungswahrscheinlichkeit, die zum Ablehnen der Nullhypothese führt, und somit eine signifikante Abweichung anzeigt. Auch der T-Test für die x_2-Werte ergibt bei den männlichen Sprechern eine signifikante Abweichung. Bei den weiblichen Sprechern ergeben die T-Tests nur eine signifikante Abweichung bei den x_1-Werten, nicht jedoch bei den x_2-Werten. Die T-Tests bei den Sprechern insgesamt ergeben das gleiche Ergebnis wie für die weiblichen Sprecher: nur die Abweichungen der x_1-Werte sind signifikant, nicht jedoch die Abweichungen der x_2-Werte.
Bei den Listen Mayer et al. und Bettina sind wie bei den männlichen Sprechern in beiden Fällen signifikante Abweichungen zu beobachten. Die Liste Brain and Language verhält sich anders. Dort ergaben T-Tests nur für den x_2-Wert signifikante Abweichungen, nicht jedoch für den x_1-Wert.

Der Vokal u

Der Vokal u ist ein hinterer, geschlossener und gerundeter Vokal, dessen Literaturwerte für F_1 275 Hz und für F_2 850 Hz betragen. Damit ergibt sich ein x_2-Wert von 1.13. Die Histogramme lassen auf den ersten Blick einen Unterschied zwischen den Vokalen aus häufigen und seltenen Silben erkennen.

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.7823	0.8005	0.7151	0.7906	0.0006063	$4.273e^{-05}$
	selten	0.8503	0.8757	0.7744	0.7778	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.5409	0.8672	0.4459	0.7799	0.0005242	0.2435
	selten	0.5231	0.8746	0.4433	0.8179	**signifikant**	¬signifikant
Sprecher insgesamt	häufig	0.6104	0.8622	0.5769	0.7822	$2.2e^{-16}$	0.6139
	selten	0.6618	0.86396	0.6517	0.7847	**signifikant**	¬signifikant
Liste Mayer	häufig	0.7144	0.8605	0.5597	0.8503	$1.791e^{-07}$	0.0002524
	selten	0.6617	0.8860	0.6311	0.7953	**signifikant**	**signifikant**
Liste Bettina	häufig	0.6196	0.8266	0.6433	0.7553	0.0007536	$8.1e^{-08}$
	selten	0.6391	0.7868	0.7101	0.7578	**signifikant**	**signifikant**
Liste BL	häufig	0.6300	0.9333	0.6603	0.8117	0.1236	0.00433
	selten	0.6149	0.8915	0.6656	0.8339	¬signifikant	**signifikant**

Tabelle 4.12: Werte für den Vokal o

Auch hier bestätigen sich die Vermutungen. Die Unterschiede zwischen den x_1-Werten und x_2-Werten der Vokale aus seltenen und der Vokale aus häufigen Silben sind meistens signifikant.
Bei den männlichen Sprechern tritt eine signifikante Abweichung nur bei den x_1-Werten auf, die Abweichung der x_2-Werte dagegen ist nicht signifikant. Im Gegensatz dazu weisen beide Werte der weiblichen Sprecher Signifikanzen auf. Bei den Sprechern insgesamt verhält es sich jedoch wie bei den männlichen Sprechern.
Ähnlich verhält es sich bei den unterschiedlichen Listen, während für die Listen Bettina Brendel und Brain and Language beide Werte eine signifikante Abweichung aufweisen, verhält sich die Liste Mayer et al. wie die männlichen Sprecher und die Sprecher insgesamt. Sie zeigt also nur in den x_1-Werten Signifikanzen.

Der Vokal y

Der letzte der hier betrachteten langen Vokale ist der Vokal y. Hierbei handelt es sich um einen vorderen, geschlossenen und gerundeten Vokale. Seine Literaturwerte liegen bei 325 Hz (F_1) und 1700 Hz (F_2). Daraus errechnet sich ein x_2-Wert von 1.65.
Bei diesem Vokal ergaben die T-Tests der vorhandenen Daten durchweg signifikante Abweichungen. Für die Liste Brain and Language waren jedoch nur Mes-

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.4781	1.4756	0.4905	1.3227	0.0004741	0.442
	selten	0.4421	1.4546	0.4329	1.1750	**signifikant**	¬signifikant
Weiblicher Sprecher	häufig	0.3706	1.0724	0.3058	1.0165	$2.2e^{-16}$	$1.015e^{-05}$
	selten	0.3269	0.9458	0.3066	0.8758	**signifikant**	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	0.40159	1.1768	0.3311	1.0484	$8.165e^{-07}$	0.2503
	selten	0.3804	1.1902	0.3344	1.0029	**signifikant**	¬signifikant
Liste Mayer	häufig	0.6051	1.0029	0.6242	0.9533	0.0012	0.775
	selten	0.5480	1.0118	0.5478	0.9936	**signifikant**	¬signifikant
Liste Bettina	häufig	0.4277	1.1750	0.3930	1.0986	$2.2e^{-16}$	0.002152
	selten	0.3463	1.2352	0.3231	1.0476	**signifikant**	**signifikant**
Liste BL	häufig	0.3424	1.4368	0.2802	1.2889	$6.98e^{-09}$	$8.158e^{-13}$
	selten	0.3988	1.2049	0.3538	0.9677	**signifikant**	**signifikant**

Tabelle 4.13: Werte für den Vokal u

sungen aus seltenen Silben vorhanden, so dass hier keine Abweichung von entsprechenden Messungen aus häufigen Silben gemacht werden konnten. Die Daten der Mittelwerte und Median sind jedoch der Tabelle 4.14 zu entnehmen.

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.5880	1.6807	0.5913	1.6994	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.5445	1.8114	0.5296	1.8532	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.3567	1.4802	0.3020	1.6465	$3.317e^{-06}$	$1.523e^{-10}$
	selten	0.3372	1.5696	0.2925	1.8642	**signifikant**	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	0.4197	1.5301	0.3533	1.6539	$3.041e^{-05}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.4319	1.6421	0.3845	1.8432	**signifikant**	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	0.5433	1.5202	0.4863	1.5499	$2.2e^{-16}$	$4.009e^{-06}$
	selten	0.4529	1.5776	0.4201	1.7782	**signifikant**	**signifikant**
Liste Bettina	häufig	0.4294	1.5814	0.3697	1.6776	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.3598	1.8402	0.3247	2.0012	**signifikant**	**signifikant**
Liste BL	häufig	–	–	–	–	–	–
	selten	0.3747	1.8587	0.3209	1.9476	–	–

Tabelle 4.14: Werte für den Vokal y

Der Diphtong aI

Zuletzt sollen nun drei Diphtonge betrachtet werden. Auch wenn Neppert [16] aufgrund akustischer Daten keine Abgrenzungen zwischen Monophtongen und

Diphtongen sieht, sollen diese hier linguistisch unterschieden werden. Diphtonge werden als Verbindung zweier Vokalqualitäten definiert.

Eine Betrachtung der Histogramme zeigt Ähnlichkeiten aber auch Unterschiede. Die T-Tests zeigen in Tabelle 4.15 ein recht gemischtes Bild. In einigen Gruppen sind signifikante Abweichungen zu erkennen, in anderen nur teilweise. Durchgängig signifikant sind die Werte bei den männlichen Sprechern. Die weiblichen Sprecher weisen nur bei den x_2-Werten signifikante Abweichungen auf, die Sprecher insgesamt nur bei den x_1-Werten. Bei den Listen konnten nur für die Liste Bettina Brendel T-Tests durchgeführt werden. Diese waren durchweg nicht signifikant.

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	1.2166	1.0299	1.4250	0.9667	$3.394e^{-10}$	$2.2e^{-16}$
	selten	1.0463	1.0829	1.2973	1.0897	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.7078	1.0937	0.4369	1.1034	0.09683	0.001774
	selten	0.7466	1.0529	0.5821	1.0768	¬signifikant	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	0.8472	1.0777	0.5798	1.0747	$8.207e^{-08}$	0.1042
	selten	0.8075	1.0846	0.5358	1.1118	**signifikant**	¬signifikant
Liste Mayer	häufig	0.9229	1.0602	1.0221	1.0438	–	–
	selten	–	–	–	–	–	–
Liste Bettina	häufig	0.8666	1.0730	0.8315	1.0876	0.4286	0.5249
	selten	0.8819	1.0665	0.9112	1.0897	¬signifikant	¬signifikant
Liste BL	häufig	–	–	–	–	–	–
	selten	–	–	–	–	–	–

Tabelle 4.15: Werte für den Diphtong aI

Der Diphtong aU

Auch dieser Diphtong fällt in der Gesamtheit der betrachteten Vokale nicht aus der Reihe.
Die Histogramme belegen, dass Abweichungen vorhanden sind, jedoch sind sich einige Histogramme recht ähnlich.
Die Tabelle 4.16 zeigt die Werte des Diphtongs für die verschiedenen Sprechergruppen. Die T-Tests für die männlichen Sprecher ergaben sowohl bei der Betrachtung der x_1- als auch bei der Betrachtung der x_2-Werte signifikante Abwei-

chungen, dieses Ergebnis trifft auch auf die Sprecher insgesamt zu. Die weiblichen Sprecher zeigten nur in den x_2-Werten signifikante Abweichungen.

Bei den Listen zeigte die Liste Bettina Brendel auch in beiden Werten signifikante Abweichungen. Die Histogramme für diese Liste zeigen auch die stärksten sichtbaren Abweichungen.
Die Liste Mayer et al. weist nur in den x_1-Werten signifikante Abweichungen auf.

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	1.1180	0.66102	1.1699	0.5938	$2.2e^{-16}$	0.01502
	selten	1.9709	0.6747	1.2348	0.6239	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.7706	0.8456	0.7315	0.7921	0.1377	$7.502e^{-15}$
	selten	0.7552	0.9135	0.5702	0.8579	¬signifikant	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	0.8733	0.7908	0.8699	0.7109	$2.2e^{-16}$	0.03683
	selten	0.9602	0.8003	1.0067	0.7117	**signifikant**	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	0.9309	0.7689	0.9598	0.6666	$2.2e^{-16}$	0.1481
	selten	1.0362	0.7600	1.1300	0.6774	**signifikant**	¬signifikant
Liste Bettina	häufig	1.0082	0.7227	1.1407	0.6372	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.8552	0.8613	0.8338	0.7795	**signifikant**	**signifikant**
Liste BL	häufig	–	–	–	–	–	–
	selten	–	–	–	–	–	–

Tabelle 4.16: Werte für den Diphtong aU

Der Diphtong oy

Der letzte hier betrachtete Vokal ist der Diphtong oy. Eine Betrachtung der vorhandenen Histogramme im Anhang B zeigt optisch Abweichungen. Von daher verwundern die Ergebnisse in Tabelle 4.17 nicht weiter. Diese zeigen für alle vorhandenen Daten der betrachteten Sprechergruppen signifikante Abweichungen. Auch hier konnte nur eine von drei Listen aufgrund mangelnder Daten verwendet werden.

	Silbenart	Mittelwert		Median		Überschreitungs-wahrscheinlichkeit	
		x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
Männlicher Sprecher	häufig	0.8927	1.1190	1.0784	1.0176	$1.363e^{-09}$	0.0002541
	selten	1.0555	1.0107	1.1255	0.9462	**signifikant**	**signifikant**
Weiblicher Sprecher	häufig	0.6324	1.2319	0.4288	1.1972	$2.864e^{-08}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.7485	0.9547	0.7493	0.8922	**signifikant**	**signifikant**
Sprecher insgesamt	häufig	0.6824	1.2103	0.4560	1.1896	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.8579	0.9811	1.0297	0.9149	**signifikant**	**signifikant**
Liste Mayer	häufig	–	–	–	–	–	–
	selten	0.8953	1.0228	1.0342	0.9694	–	–
Liste Bettina	häufig	0.7163	1.1956	0.5133	1.1767	$2.2e^{-16}$	$2.2e^{-16}$
	selten	0.8637	0.9593	1.0449	0.8983	**signifikant**	**signifikant**
Liste BL	häufig	–	–	–	–	–	–
	selten	–	–	–	–	–	–

Tabelle 4.17: Werte für den Vokal oy

4.4 Ergebnisse

Das Ziel der Diplomarbeit ist, mittles einer Studie nachzuprüfen, ob ein Mentaler Silbenspeicher nachweisbar ist. Dazu wurden folgende Annahmen (siehe auch Kapitel 3) untersucht:

1. Eine geringere Versprecherrate bei den häufigen Silben und mehr Versprecher bei den seltenen Silben

2. Online produzierte Silben weisen weniger Koartikulation auf als häufige Silben.

In Abschnitt 4.2 wurde deshalb die Versprecherrate ermittelt. Aufgrund der während der Aufnahme manuell vorgenommenen Beurteilung (die später nochmals kontrolliert wurde), konnte die Anzahl der Versprecher abhängig nach Silbenart ermittelt werden. Die Tabelle 4.3 führt diese Versprecher eingeteilt nach Silbenart auf. Dabei kann beobachtet werden, dass die Versprecherquote bei den seltenen Silben tatsächlich höher ist als bei den häufigen Silben. Nur für die Liste Brain and Language kann kein aussagekräftiges Ergebnis herausgelesen werden, da nicht genügend fehlerhafte Aufnahmen vorliegen. Trotzdem bestätigt sich allgemein die erste Annahme.

Die statistische Auswertung in Kapitel 4.3 bestätigt insgesamt die zweite Annahme. Die meisten Vokale weisen signifikante Abweichungen auf. Wenn dies auch nicht für jeden Vokal bei jeder Sprechergruppe der Fall ist, kann den allen Vokalen in der Mehrheit signifikante Abweichungen aufgewiesen werden.

Daraus lässt sich schließen, dass es signifikante Unterschiede zwischen der Produktion von häufigen und seltenen Silben gibt.

Dass es dennoch Ergebnisse gibt, die von diesem Schluß abweichen, hat sicherlich unterschiedliche Gründe. So ist die manuelle Bewertung der Aufnahmen in richtig und falsch ausgesprochen subjektiv und kann, trotz nochmaliger Überprüfung Fehler aufweisen. Weiterhin können auch in den Arbeitsschritten Schneiden und Labeln Fehler aufgetreten sein. Eine weitere mögliche Fehlerquelle, die nicht ausgeschlossen werden kann, stellt sicherlich auch die automatische Formanterkennung dar. Außerdem sind die betrachteten Stichproben mit nur 16 Personen eher gering. Dennoch liefert diese Studie deutliche Hinweise auf die Existenz eines Mentalen Silbenspeichers.

Kapitel 5

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden verschiedene Sprachproduktionstheorien beleutchtet, wobei die Theorie von Levelt *A theory of lexical access in speech producion* [12] und die Erweiterung der Theorie um eine Wissensbasis [13], der sogenannte Mentale Silbenspeicher (*Mental Syllabary*) die Grundlage dieser Arbeit stellen. Anhand einer Studie sollte nachgeprüft werden, ob die Annahme eines Mentalen Silbenspeichers gestützt oder abgelehnt werden muss. Hierzu wurden Probanden gebeten, anhand verschiedener Listen deutsche Wörter und „Unsinn"-Wörter zu produzieren. Diese Äußerungen wurden aufgenommen und verschiedene Untersuchungen angestellt.
Angenommen wurde bei Existenz eines Mentalen Silbenspeichers, dass:

1. bei den häufigen (gespeicherten) Silben (Speicher-Abruf) eine schnellere Produktion, weniger Versprecher sowie (bedingt durch die schnellere Produktion) mehr Koartikulation zu erwarten ist.

2. für den indirekten Weg, also den Aufbau der Silben aus segmentalen und subsegementalen Atomen (online-Produktion) langsamere Produktionen und mehr Versprecher angenommen werden kann.

Durch verschiedene statistische Betrachtungen konnte festgestellt werden, dass bei häufigen Silben, bei denen nach der Theorie ein Speicher-Abruf vorgenommen wird, die Versprecherrate tatsächlich geringer ist als bei seltenen Silben, die online produziert werden müssen.
Um die Abweichungen der x_1- und x_2-Werte auf ihre Signifikanz hin beurteilen zu können, wurden T-Tests durchgeführt. Diese fielen in den meisten Betrachtungsgruppen signifikant aus. Von daher werden die oben genannten Annahmen

durch diese Studie gestützt. Häufige Silben weisen weniger Versprecher und einen höheren Grad an Koartikulation auf. Die nicht stark überlernten seltenen Silben haben aufgrund der notwendigen online-Produktion eine höhere Versprecherrate. Da jedoch regelmäßige Grundsätzen der Koartikulation angewandt werden, weisen diese Silben auch einen geringeren Grad an Koartikulation auf.

Somit konnte auch durch diese Studie die Evidenz eines Mentalen Silbenspeichers untermauert werden. Da auch Experimente von Levelt [11], Cholin [5] und anderen Hinweise liefern konnten, scheint die Annahme eines Mentalen Silbenspeichers wahrscheinlich. Auch die fMRI-Studie von Mayer et al. [13] konnte bestätigen, dass die Verarbeitung hochfrequenter Silben direkt vorgenommen wird und dabei eine zusätzliche Hirnregion aktiviert wird.

Erkenntnisse der Theorie können von daher auch zur Entwicklung effektiverer Therapien zur Behandlung von Sprachappraxie führen. Daneben bieten auch Übertragungen dieser Theorie auf Computermodelle neue verheißungsvolle Ansätze.
Dennoch sind weitere Studien notwendig, auch um einzelne Elemente des Modells genauer zu überprüfen und um die Verarbeitung im Gehirn genauer lokalisieren zu können.

Anhang A

Listen

session	lfd_no	item_sampa	translit	structur	probel	syl1	struc1	probability_1	platz1	syl2	struc2	probability_2	platz2
s1	01	kORtgant	Korrtgant	CVCC-CVCC	h	kORt	CVCC	0.00005618482061	423	gant	CVCC	0.00004932919995	297
s1	02	hantti:lt	Hanttielt	CVCC-CVCC	h	hant	CVCC	0.00002132360751	931	ti:lt	CVCC	0.00001084312641	869
s1	03	pflaUtsSakts	Pflautzschackts	CCVC-CVCC	s	pflaUts	CCVC	0.00000000000569	195	Sakts	CVCC	0.00000000000023	637
s1	04	mURpbE:nf	Murpbähnf	CVCC-CVCC	s	mURp	CVCC	0.00000000003625	847	bE:nf	CVCC	0.00000000000006	205
s1	05	Spy:pfkno:l	Spühpfknohl	CCVC-CCVC	s	Spy:pf	CCVC	0.00000000003570	836	kn:ol	CCVC	0.00000000000006	216
s1	06	kle:tspflax	Kleetzpflach	CCVC-CCVC	s	kle:ts	CCVC	0.00000000001891	521	pflax	CCVC	0.00000000000039	910
s1	07	kOlnbOkts	Kollnbockts	CVCC-CVCC	s	kOln	CVCC	0.00000000000224	83	bOkts	CVCC	0.00000000000003	133
s1	08	valtfants	Wahltfantz	CVCC-CVCC	h	va:lt	CVCC	0.00002976511660	651	pfy:Rm	CVCC	0.00000000000018	539
s1	09	gURppfy:Rm	Gurppführm	CVCC-CVCC	s	gURp	CVCC	0.00000000002519	972	StaN	CCVC	0.00006608427278	235
s1	10	va:ktStaN	Waaktstang	CVCC-CCVC	h	va:kt	CVCC	0.00002017639208	972	Stan	CCVC	0.00006608427278	235
s1	11	pfl2:mklYS	Pflöhmklüsch	CCVC-CCVC	s	pfl2:m	CCVC	0.00000000000641	214	klYS	CCVC	0.00000000000019	557
s1	12	pf9Rsbakts	Pförsbackts	CVCC-CVCC	s	pf9Rs	CVCC	0.00000000000452	161	bakts	CVCC	0.00000000000012	383
s1	13	k9lnbanf	Köllnbanf	CVCC-CVCC	s	k9ln	CVCC	0.00000000000392	142	banf	CVCC	0.00000000000009	297
s1	14	pflENSYns	Pflengschüns	CCVC-CVCC	s	pflEN	CCVC	0.00000000002437	635	SYns	CVCC	0.00000000000017	527
s1	15	vEstfant	Westfant	CVCC-CVCC	h	vEst	CVCC	0.00002393293574	843	fant	CVCC	0.00018137546544	115
s1	16	pflOkhUmp	Pflockhump	CCVC-CVCC	s	pflOk	CCVC	0.00000000000639	213	hUmp	CVCC	0.00000000000046	996
s1	17	pflaUSpflo:p	Pflaschpflohp	CCVC-CCVC	s	pflaUS	CCVC	0.00000000003073	746	pflo:p	CCVC	0.00000000000002	117
s1	18	pREnStan	Pfrennstann	CCVC-CCVC	h	pREn	CCVC	0.00005434943463	440	Stan	CCVC	0.00002089700934	551
s1	19	tsvaIntRaUt	Zwaintraut	CCVC-CCVC	h	tsvaIn	CCVC	0.00010227495633	261	tRaUt	CCVC	0.00001175955804	821
s1	20	pflOsp2:nf	Pflosspöhnf	CCVC-CVCC	s	pflOs	CCVC	0.00000000000274	103	p2:nf	CVCC	0.00000000000023	632
s1	21	baIstga:ls	Baistgahls	CVCC-CVCC	h	baIst	CVCC	0.00002679314942	776	ga:ls	CVCC	0.00001416499538	724
s1	22	RYnfalt	Rünnffalt	CVCC-CVCC	h	RYnf	CVCC	0.00004322476793	531	falt	CVCC	0.00011142246216	163
s1	23	laRstsy:mpf	Larszühmpf	CVCC-CVCC	s	laRs	CVCC	0.00000000003713	862	tsy:mpf	CVCC	0.00000000000036	861
s1	24	glaItStas	Gleitstass	CCVC-CVCC	h	glaIt	CCVC	0.00002558378728	803	Stas	CCVC	0.00005300207518	277
s1	25	gORpSUkts	Gorpschuckts	CVCC-CVCC	s	gORp	CVCC	0.00000000001093	356	SUkts	CVCC	0.00000000000025	681
s1	26	So:nfko:Rp	Schohnfkohrp	CVCC-CVCC	s	So:nf	CVCC	0.00000000002095	566	ko:Rp	CVCC	0.00000000000001	81
s1	27	Sve:RflUN	Schweerflung	CCVC-CCVC	h	Sve:R	CCVC	0.00007084033185	348	flUN	CCVC	0.00005281539080	281
s1	28	klaUSmo:mt	Klauschmohmt	CCVC-CVCC	s	klaUS	CCVC	0.00000000003580	837	mo:mt	CVCC	0.00000000000013	419
s1	29	gOYksgo:Rp	Goixgohrp	CVCC-CVCC	s	gOYks	CVCC	0.00000000002537	653	go:Rp	CVCC	0.00000000000000	13
s1	30	fYnfvalp	Fünfwalp	CVCC-CVCC	h	fYnf	CVCC	0.00002606363422	791	valp	CVCC	0.00005008382266	291
s1	31	pflOtsSanf	Pflotzschanf	CCVC-CVCC	s	pflOts	CCVC	0.00000000000101	31	Sanf	CVCC	0.00000000000016	502
s1	32	pRaInSlUN	Prainschlung	CCVC-CCVC	h	pRaIn	CCVC	0.00002172696252	912	SlUN	CCVC	0.00009046991220	186
s1	33	lYltsfo:Rp	Lültzfohrp	CVCC-CVCC	s	lYlts	CVCC	0.00000000004042	909	fo:Rp	CVCC	0.00000000000000	12
s1	34	maRkte:Rt	Marckteert	CVCC-CVCC	h	maRk	CVCC	0.00007677374164	320	te:Rt	CVCC	0.00002037405932	557
s1	35	kaRktINs	Karktings	CVCC-CVCC	h	kaRk	CVCC	0.00002363072727	852	tINs	CVCC	0.00006086296102	249
s1	36	fRaInvEnt	Frainwennt	CCVC-CVCC	h	fRaIn	CCVC	0.00016089410012	179	vEnt	CVCC	0.00003086410772	424
s1	37	pflUmsSmYs	Pflumschmüss	CCVC-CCVC	s	pflUm	CCVC	0.00000000002713	684	SmYs	CCVC	0.00000000000040	924
s1	38	vEltna:ls	Weltnahls	CVCC-CVCC	h	vElt	CVCC	0.00003662287958	609	na:ls	CVCC	0.00001267232938	765
s1	39	vIltta:ls	Willtahls	CVCC-CVCC	h	vIlt	CVCC	0.00002112377168	939	ta:ls	CVCC	0.00002880816146	439
s1	40	mYltspfYNt	Mültzpfüngt	CVCC-CVCC	s	mYlts	CVCC	0.00000000004317	973	pfYNt	CVCC	0.00000000000030	752
s1	41	tsEntve:nt	Zänntwehnt	CVCC-CVCC	h	tsEnt	DVDD	0.00041071410314	65	ve:nt	CVCC	0.00001726559124	629
s1	42	kYnfvakt	Künfwackt	CVCC-CVCC	h	kYnf	CVCC	0.00003589284703	617	vakt	CVCC	0.00002468838603	486
s1	43	kantvlas	Kantwalls	CVCC-CVCC	h	kant	CVCC	0.00002350094138	856	vals	CVCC	0.00005084389875	288
s1	44	lalsblIx	Lalsblich	CVCC-CCVC	h	lals	CVCC	0.00006256477055	385	blIx	CCVC	0.00005186220118	286
s1	45	kRIsStEs	Krisschtess	CVCC-CCVC	h	kRIs	CCVC	0.00003576454211	619	StEs	CCVC	0.00000962107607	951
s1	46	laRdkIxts	Larkdichts	CVCC-CVCC	h	laRk	CVCC	0.00002513318272	815	dIxts	CVCC	0.00001273337640	762
s1	47	dOYkspfYmpf	Doixpfümpf	CVCC-CVCC	s	dOYks	CVCC	0.00000000002866	709	pfYmpf	CVCC	0.00000000000023	633
s1	48	pRIslants	Prisslantz	CCVC-CVCC	h	pRIs	CCVC	0.00002250046888	884	lants	CVCC	0.00002124637761	543
s1	49	pE:lmho:xt	Pählmhohcht	CVCC-CVCC	s	pE:lm	CVCC	0.00000000003707	860	ho:xt	CVCC	0.00000000000007	253
s1	50	SR2:tsSRe:m	Schröhtzschrehm	CCVC-CCVC	s	SR2:ts	CCVC	0.00000000000780	255	SRe:m	CCVC	0.00000000000018	549

Tabelle A.1: Liste Mayer et al., Teil 1

session	lfd_no	item_sampa	translit	structur	probel	syl1	struc1	probability_1	platz1	syl2	struc2	probability_2	platz2
s2	01	blUpfkno:R	Blupfknohr	CCVC-CCVC	s	blUpf	CCVC	0.00000000001020	341	kno:R	CCVC	0.00000000000002	111
s2	02	vEtstdEnt	Wätztdent	CVCC-CVCC	h	vEtst	CVCC	0.00001999150641	980	dEnt	CVCC	0.00004432104380	322
s2	03	b9Rsg@sk	Börsgesk	CVCC-CVCC	s	b9Rs	CVCC	0.00000000002248	595	g@ask	CVCC	0.00000000000046	995
s2	04	kalsma:kt	Kallsmajkt	CVCC-CVCC	h	kals	CVCC	0.00005887100085	409	ma:kt	CVCC	0.00001161127351	830
s2	05	do:ltbYpt	Dohltbüpt	CVCC-CVCC	s	do:lt	CVCC	0.00000000001184	375	bYpt	CVCC	0.00000000000021	589
s2	06	StaUkjy:Rm	Stauckjührm	CCVC-CVCC	s	StaUk	CCVC	0.00000000000512	177	jy:Rm	CVCC	0.00000000000020	577
s2	07	ROYksjy:lk	Roixjühlk	CVCC-CVCC	s	ROYks	CVCC	0.00000000002030	552	jy:lk	CVCC	0.00000000000018	538
s2	08	SlaUkblUpf	Schlauckblupf	CCVC-CCVC	s	SlaUk	CCVC	0.00000000000888	293	blUpf	CCVC	0.00000000000012	384
s2	09	mOftsSYpt	Moftzschüpt	CVCC-CVCC	s	mOfts	CVCC	0.00000000002899	716	SYpt	CVCC	0.00000000000038	890
s2	10	pOltscho:mt	Poltzhohmt	CVCC-CVCC	s	pOlts	CVCC	0.00000000004188	948	ho:mt	CVCC	0.00000000000004	169
s2	11	StExtsi:Rt	Stechziert	CCVC-CVCC	h	StEx	CCVC	0.00003537778524	622	tsi:Rt	CVCC	0.00001719526128	631
s2	12	SROtsR@sk	Schrotzresk	CVCC-CVCC	s	SROts	CCVC	0.00000000001431	432	R@sk	CVCC	0.00000000000036	851
s2	13	malsSti:t	Mallsschtiet	CVCC-CCVC	h	mals	CVCC	0.00018711306247	156	Sti:t	CCVC	0.00001083006024	873
s2	14	Sta:xbRIx	Stahchbrich	CCVC-CCVC	h	Sta:x	CCVC	0.00005558028159	433	brix	CCVC	0.00009054296065	185
s2	15	haRktIxt	Harkticht	CVCC-CVCC	h	haRk	CVCC	0.00002380835879	847	tIxt	CVCC	0.00018529238873	111
s2	16	PflUSblo:R	Pfluschblohr	CCVC-CCVC	s	pflUS	CCVC	0.00000000000712	234	blo:R	CCVC	0.00000000000000	6
s2	17	gRUntaIlt	Grunntailt	CCVC-CVCC	h	gRUn	CCVC	0.00002138140483	926	taIlt	CVCC	0.00001048755782	898
s2	18	MIRblaIt	Mirkblait	CVCC-CCVC	h	mIRk	CVCC	0.00001961672509	995	blaIt	CCVC	0.00001308757429	751
s2	19	StEnbli:t	Stennbliet	CCVC-CCVC	h	StEn	CCVC	0.00014755158070	188	bli:t	CCVC	0.00001365904546	734
s2	20	pR2:sSmo:s	Pröhsschmohs	CCVC-CCVC	s	pR2:s	CCVC	0.00000000000695	228	Smo:s	CCVC	0.00000000000010	346
s2	21	hUmpbo:mt	Humpbohmt	CVCC-CVCC	s	hUmp	CVCC	0.00000000004048	910	bo:mt	CVCC	0.00000000000001	63
s2	22	klaUtspfYRm	Klautzpfürm	CCVC-CVCC	s	klaUts	CCVC	0.00000000000663	219	pfYRm	CVCC	0.00000000000039	911
s2	23	di:ptba:ls	Dietbahls	CVCC-CVCC	h	di:pt	CVCC	0.00003173775714	675	ba:ls	CVCC	0.00001001812240	931
s2	24	StElti:Rt	Stelltiert	CCVC-CVCC	h	StEl	CCVC	0.00003989064865	571	ti:Rt	CVCC	0.00003832293440	363
s2	25	m9ltspfYl	Möltzpfülm	CVCC-CVCC	s	m9lts	CVCC	0.00000000004331	979	pfYlm	CVCC	0.00000000000032	790
s2	26	StEtsdRIx	Stezdrich	CCVC-CCVC	h	StEs	CCVC	0.00002216986481	901	dRIx	CCVC	0.00004207112822	334
s2	27	flYkStal	Flückstall	CCVC-CCVC	h	flYk	CCVC	0.00003065374536	700	Stal	CCVC	0.00005260392025	283
s2	28	dORppy:lm	Dorppühlm	CVCC-CVCC	s	dORp	CVCC	0.00000000003934	889	py:lm	CVCC	0.00000000000011	372
s2	29	SlIslIxts	Schlisslichts	CCVC-CVCC	h	SlIs	CCVC	0.00003149314963	684	lIxts	CVCC	0.00003903806405	359
s2	30	tsUmppOnf	Zumpponf	CVCC-CVCC	s	tsUmp	CVCC	0.00000000004133	934	pOnf	CVCC	0.00000000000037	869
s2	31	pflUkSm2:	Pfluckschmöhs	CCVC-CCVC	s	pflUk	CCVC	0.00000000001636	476	Sm2:s	CCVC	0.00000000000015	480
s2	32	mUltstUmp	Mullztump	CVCC-CVCC	s	mUlts	CVCC	0.00000000002438	636	tUmp	CVCC	0.00000000000012	407
s2	33	pflUNflE:s	Pflungfläh s	CCVC-CCVC	s	pflUN	CCVC	0.00000000000742	239	flE:s	CCVC	0.00000000000013	414
s2	34	pflORSOkts	Pflorrschockts	CCVC-CVCC	s	pflOR	CCVC	0.00000000001318	412	SOkts	CVCC	0.00000000000006	233
s2	35	ve:Rtta:Rt	Wehrttahrt	CVCC-CVCC	h	ve:Rt	CVCC	0.00003459696330	636	ta:Rt	CVCC	0.00001834286727	609
s2	36	na:Rtvast	Nahrtwast	CVCC-CVCC	h	na:Rt	CVCC	0.00003340212253	648	vast	CVCC	0.00002106041705	548
s2	37	StOxklUN	Stochklung	CCVC-CCVC	h	StOx	CCVC	0.00004723348947	497	klUN	CCVC	0.00002292402212	517
s2	38	blaUtsgli:S	Blautzgliesch	CCVC-CCVC	s	blaUts	CCVC	0.00000000000584	202	gli:S	CCVC	0.00000000000039	908
s2	39	gRYnhe:lt	Grünnhehlt	CCVC-CVCC	h	gRYn	CCVC	0.00003527732189	624	he:lt	CVCC	0.00000990099949	937
s2	40	mYnfvaft	Münfwafft	CVCC-CVCC	h	mYnf	CVCC	0.00007537044064	326	vaft	CVCC	0.00004319938657	330
s2	41	blatsSmOs	Blatzschmoss	CCVC-CCVC	s	blats	CCVC	0.00000000001845	513	SmOs	CCVC	0.00000000000023	638
s2	42	pflUsmo:Rp	Pflussmohrp	CCVC-CVCC	s	pflUs	CCVC	0.00000000000631	210	mo:Rp	CVCC	0.00000000000000	115
s2	43	StERtE:Rt	Sterrtährt	CCVC-CVCC	h	StER	CCVC	0.00005961166839	404	tE:Rt	CVCC	0.00001079744025	878
s2	44	StInlalp	Stinnlalp	CCVC-CVCC	h	StIn	CCVC	0.00002597791329	794	lalp	CVCC	0.00006400499112	240
s2	45	So:ktspYlm	Schohktzpülm	CVCC-CVCC	s	So:kts	CVCC	0.00000000003005	734	pYlm	CVCC	0.00000000000023	635
s2	46	zInthants	Sinthantz	CVCC-CVCC	h	zInt	CVCC	0.00006423950868	376	hants	CVCC	0.00001286575818	755
s2	47	di:RxtaIpt	Dierchtaipt	CVCC-CVCC	h	di:Rx	CVCC	0.00008504967640	302	taIpt	CVCC	0.00000934454045	974
s2	48	fRaUftRa:R	Frauftrahr	CVCC-CCVC	h	fRaUf	CCVC	0.00007273488359	339	tRa:R	CCVC	0.00002161262993	541
s2	49	dRE:fkno:N	Drähfknohng	CCVC-CCVC	s	dRE:f	CCVC	0.00000000003818	874	kno:N	CCVC	0.00000000000002	110
s2	50	kRIntRa:l	Krinntrahl	CCVC-CCVC	h	kRIn	CCVC	0.00002898284940	729	tRa:l	CCVC	0.00003422845486	402

Tabelle A.2: Liste Mayer et al., Teil 2

session	lfd_no	item_sampa	translit	structur	probel	syl1	struc1	probability_1	platz1	syl2	struc2	probability_2	platz2
s3	01	pflURkno:t	——	CCVC-CCVC	s	pflUR	CCVC	0.00000000003037	740	kno:t	CCVC	0.00000000000005	194
s3	02	kly:Sfle:s	——	CCVC-CCVC	s	kly:S	CCVC	0.00000000002564	659	fle:s	CCVC	0.00000000000016	489
s3	03	gRYkle:lt	——	CCVC-CVCC	h	gRYk	CCVC	0.00006263922768	384	le:lt	CCVC	0.00001406103351	726
s3	04	kEntle:nt	——	CVCC-CVCC	h	kEnt	CVCC	0.00004113764978	555	le:nt	CVCC	0.00002215016365	533
s3	05	pOYksko:mt	——	CVCC-CVCC	s	pOYks	CVCC	0.00000000002033	553	ko:mt	CVCC	0.00000000000004	170
s3	06	lYRsSe:nf	——	CVCC-CVCC	s	lYRs	CVCC	0.00000000000884	288	Se:nf	CVCC	0.00000000000014	456
s3	07	nORtti:pt	——	CVCC-CVCC	h	nORt	CVCC	0.00003520958643	625	ti:pt	CVCC	0.00000975286991	945
s3	08	StYklaRk	——	CCVC-CVCC	h	StYk	CCVC	0.00005210789251	457	laRk	CVCC	0.00001914929900	586
s3	09	fRaUslEnt	——	CCVC-CVCC	h	fRaUs	CCVC	0.00006082535309	398	lEnt	CVCC	0.00004403224050	325
s3	10	pRE:lpfERt	——	CCVC-CVCC	s	pRE:l	CCVC	0.00000000002791	697	pfERt	CVCC	0.00000000000019	560
s3	11	pfYktmo:nf	——	CVCC-CVCC	s	pfYkt	CVCC	0.00000000001260	394	mo:nf	CVCC	0.00000000000007	256
s3	12	RUntdy:Rn	——	CVCC-CVCC	h	RUnt	CVCC	0.00008955071805	290	dy:Rn	CVCC	0.00001212801728	798
s3	13	fRaUxStalt	——	CCVC-CCVC	h	fRaUx	CCVC	0.00003369100330	645	Stalt	CCVC	0.00001149738558	836
s3	14	lanthe:nt	——	CVCC-CVCC	h	lant	CVCC	0.00003069392463	698	he:nt	CVCC	0.00001328631774	746
s3	15	SR2:sple:s	——	CCVC-CCVC	s	SR2:s	CCVC	0.00000000002104	568	ple:s	CCVC	0.00000000000014	455
s3	16	bRaUsfEnt	——	CCVC-CVCC	h	bRaUs	CCVC	0.00003212667978	665	fEnt	CVCC	0.00003265360483	415
s3	17	StaInve:lt	——	CCVC-CVCC	h	StaIn	CCVC	0.00004194104368	546	ve:lt	CVCC	0.00001086937873	868
s3	18	pflOmkno:m	——	CCVC-CCVC	s	pflOm	CCVC	0.00000000001177	373	kno:m	CCVC	0.00000000000000	16
s3	19	StaRStaf	——	CCVC-CCVC	h	StaR	CCVC	0.00003088258483	693	Staf	CCVC	0.00001013448133	920
s3	20	kRantRa:t	——	CCVC-CCVC	h	kRan	CCVC	0.00005319959790	449	tRa:t	CCVC	0.00001034643499	909
s3	21	fRaUkto:nf	——	CCVC-CVCC	s	fRaUk	CCVC	0.00000000000473	168	to:nf	CVCC	0.00000000000018	552
s3	22	StYnki:Rt	——	CCVC-CCVC	h	StYn	CCVC	0.00003030499744	706	ki:Rt	CVCC	0.00001665388509	643
s3	23	klaUkmo:xt	——	CCVC-CVCC	s	klaUk	CCVC	0.00000000000816	266	mo:xt	CVCC	0.00000000000025	670
s3	24	vOlnfo:mt	——	CVCC-CVCC	s	vOln	CVCC	0.00000000003159	768	fo:mt	CVCC	0.00000000000001	72
s3	25	nIRtma:Rt	——	CVCC-CVCC	h	nIRt	CVCC	0.00007257437159	342	ma:Rt	CVCC	0.00001021876889	918
s3	26	bly:pfpflo:n	——	CCVC-CCVC	s	bly:pf	CCVC	0.00000000002836	704	pflo:n	CCVC	0.00000000000009	312
s3	27	pfYRslo:xt	——	CVCC-CVCC	s	pfYRs	CVCC	0.00000000000450	160	lo:xt	CVCC	0.00000000000008	279
s3	28	bYRsSo:nf	——	CVCC-CVCC	s	bYRs	CVCC	0.0000000000240	593	So:nf	CVCC	0.00000000000002	128
s3	29	mEntta:kt	——	CVCC-CVCC	h	mEnt	CVCC	0.00002302142041	867	ta:kt	CVCC	0.00001124122414	847
s3	30	pflEskno:p	——	CCVC-CCVC	s	pflEs	CCVC	0.00000000002073	561	kno:p	CCVC	0.00000000000011	367
s3	31	gUltsRy:mpf	——	CVCC-CVCC	s	gUlts	CVCC	0.00000000001694	488	Ry:mpf	CVCC	0.00000000000043	959
s3	32	dEntnINs	——	CVCC-CVCC	h	dEnt	CVCC	0.00012308336114	224	nINs	CVCC	0.00002246779989	528
s3	33	fORthi:Rt	——	CVCC-CVCC	h	fORt	CVCC	0.00003281592348	652	hi:Rt	CVCC	0.00002883502751	438
s3	34	klUtsSRe:k	——	CCVC-CCVC	s	klUts	CCVC	0.00000000000154	57	SRe:k	CCVC	0.00000000000038	885
s3	35	ble:tspflo:x	——	CCVC-CCVC	s	ble:ts	CCVC	0.00000000001665	481	pflo:x	CCVC	0.00000000000000	45
s3	36	gOftsmYkts	——	CVCC-CVCC	s	gOfts	CVCC	0.00000000002015	550	mYkts	CVCC	0.00000000000041	929
s3	37	pf9ltspy:mpf	——	CVCC-CVCC	s	pf9lts	CVCC	0.00000000002065	559	pfy:mpf	CVCC	0.00000000000008	287
s3	38	StEsli:Rt	——	CCVC-CVCC	h	StEs	CCVC	0.00003003208007	711	ti:Rt	CVCC	0.00001114973593	854
s3	39	klaIntRi:t	——	CCVC-CCVC	h	klaIn	CCVC	0.00011736244758	236	tRi:t	CCVC	0.00001723695705	630
s3	40	bRaUfma:ls	——	CCVC-CVCC	h	bRaUf	CCVC	0.00003841865725	585	ma:ls	CVCC	0.00003428261155	401
s3	41	bOktsmOkts	——	CVCC-CVCC	s	bOkts	CVCC	0.00000000003909	885	mOkts	CVCC	0.00000000000024	649
s3	42	l9ltspo:mt	——	CVCC-CVCC	s	l9lts	CVCC	0.00000000004055	917	po:mt	CVCC	0.00000000000000	47
s3	43	tUmppfy:Nt	——	CVCC-CVCC	s	tUmp	CVCC	0.00000000001023	344	pfy:Nt	CVCC	0.00000000000014	452
s3	44	dRaItStat	——	CCVC-CCVC	h	dRaIt	CCVC	0.00003489947982	631	Stat	CCVC	0.00003619261452	380
s3	45	SvURlaInt	——	CCVC-CVCC	h	SvUR	CCVC	0.00002159104266	921	laInt	CVCC	0.00000929438326	975
s3	46	kUntmant	——	CVCC-CVCC	h	kUnt	CVCC	0.000050011537286	470	mant	CVCC	0.00003658765229	376
s3	47	l9Rspo:xt	——	CVCC-CVCC	s	l9Rs	CVCC	0.00000000000887	289	po:xt	CVCC	0.00000000000001	96
s3	48	fRy:pfgo:xt	——	CCVC-CVCC	s	fRy:pf	CCVC	0.00000000002580	662	go:xt	CVCC	0.00000000000002	108
s3	49	halsSEft	——	CVCC-CVCC	h	hals	CVCC	0.00005573126568	431	SEft	CVCC	0.00001981207696	571
s3	50	vORttsEnt	——	CVCC-CVCC	h	vORt	CVCC	0.00002862823432	737	tsEnt	CVCC	0.00014654318202	133

Tabelle A.3: Liste Mayer et al., Teil 3

session	lfd_no	item_sampa	translit	structur	probel	syl1	struc1	probability_1	platz1	syl2	struc2	probability_2	platz2
s4	01	blaUkkly:S	——	CCVC-CCVC	s	blaUk	CCVC	0.00000000000719	237	kly:S	CCVC	0.00000000000009	309
s4	02	m9Rsbo:nf	——	CVCC-CVCC	s	m9Rs	CVCC	0.00000000000948	320	bo:nf	CVCC	0.00000000000001	64
s4	03	pflONkno:x	——	CVCC-CCVC	s	pflON	CCVC	0.00000000000322	127	kno:x	CCVC	0.00000000000000	25
s4	04	fly:pfpfy:ks	——	CCVC-CVCC	s	fly:pf	CCVC	0.00000000001475	447	pfy:ks	CVCC	0.00000000000013	422
s4	05	vIRtlakt	——	CVCC-CVCC	h	vIRt	CVCC	0.00004647750349	502	lakt	CVCC	0.00003344658047	408
s4	06	tROnkla:k	——	CCVC-CCVC	h	tROn	CCVC	0.00002165833354	919	kla:k	CCVC	0.00001116676549	849
s4	07	mantde:Rt	——	CVCC-CVCC	h	mant	CVCC	0.00007565192773	324	de:Rt	CVCC	0.00002602376339	471
s4	08	dy:ltmE:nf	——	CVCC-CVCC	s	dy:lt	CVCC	0.00000000000797	261	mE:nf	CVCC	0.00000000000044	967
s4	09	SlOnfe:lt	——	CCVC-CVCC	h	SlOn	CCVC	0.00002193516989	907	fe:lt	CVCC	0.00001230589198	781
s4	10	vIxtva:ls	——	CVCC-CVCC	h	vIxt	CVCC	0.00008727341073	295	va:ls	CVCC	0.00001217628893	793
s4	11	knanbi:Rt	——	CCVC-CVCC	h	knan	CCVC	0.00003593144118	616	bi:Rt	CVCC	0.00002046752861	555
s4	12	bIlthEnt	——	CVCC-CVCC	h	bIlt	CVCC	0.00002414427282	838	hEnt	CVCC	0.00002339385980	507
s4	13	va:tstde:lt	——	CVCC-CVCC	h	va:tst	CVCC	0.00002002034446	977	de:lt	CVCC	0.00001049501343	897
s4	14	pfYltsbi:nf	——	CVCC-CVCC	s	pfYlts	CVCC	0.00000000002058	557	bi:nf	CVCC	0.00000000000031	764
s4	15	SlInStEl	——	CCVC-CCVC	h	SlIn	CCVC	0.00002589641235	795	StEl	CCVC	0.00001051580866	896
s4	16	bE:msbYkts	——	CVCC-CVCC	s	bE:ms	CVCC	0.00000000004348	981	bYkts	CVCC	0.0000000000006	207
s4	17	blaIntRUN	——	CCVC-CCVC	h	blaIn	CCVC	0.00002378103586	848	tRUN	CCVC	0.00006298393146	244
s4	18	baIptfalp	——	CVCC-CVCC	h	baIpt	CVCC	0.00002386800083	846	falp	CVCC	0.00005313371968	275
s4	19	maRsho:nf	——	CVCC-CVCC	s	maRs	CVCC	0.00000000003967	895	ho:nf	CVCC	0.00000000000030	745
s4	20	StapStEN	——	CCVC-CCVC	h	Stap	CCVC	0.00007725715091	317	StEN	CCVC	0.00001187825000	815
s4	21	mIltfe:nt	——	CVCC-CVCC	h	mIlt	CVCC	0.00002763854034	762	fe:nt	CVCC	0.00001832125394	611
s4	22	ma:lkS2:Rk	——	CVCC-CVCC	s	ma:lk	CVCC	0.00000000002050	555	S2:Rk	CVCC	0.00000000000009	318
s4	23	pflUtsSRe:p	——	CCVC-CCVC	s	pflUts	CCVC	0.00000000000366	138	SRe:p	CCVC	0.0000000000000	482
s4	24	vEktta:ks	——	CVCC-CVCC	h	vEkt	CVCC	0.00002010365164	974	ta:ks	CVCC	0.00001229798468	782
s4	25	nIxttIxts	——	CVCC-CVCC	h	nIxt	CVCC	0.00014693894559	189	tIxts	CVCC	0.00001669320074	641
s4	26	va:sthaIlt	——	CVCC-CVCC	h	va:st	CVCC	0.00002015162460	973	haIlt	CVCC	0.00001005550802	927
s4	27	tsvaIttRa:k	——	CCVC-CCVC	h	tsvaIt	CCVC	0.00003796378507	592	tRa:ka	CCVC	0.00004153634207	340
s4	28	pR2:kbo:xt	——	CCVC-CVCC	s	pR2:k	CCVC	0.00000000001623	475	bo:xt	CVCC	0.00000000000001	65
s4	29	StaltsIxt	——	CCVC-CVCC	h	Stal	CCVC	0.00004449500931	517	tsIxt	CVCC	0.00001509880223	695
s4	30	tsvaIltRaIt	——	CCVC-CCVC	h	tsvaIl	CCVC	0.00002089632668	951	tRaIt	CCVC	0.00001650680800	648
s4	31	pE:msfo:xt	——	CVCC-CVCC	s	pE:ms	CVCC	0.0000000000654	654	fo:xt	CVCC	0.00000000000001	73
s4	32	bRaUkglu:S	——	CCVC-CCVC	s	bRaUk	CCVC	0.00000000003550	830	glu:S	CCVC	0.00000000000007	252
s4	33	StIsma:ks	——	CCVC-CVCC	h	StIs	CCVC	0.00003398738215	643	ma:ks	CVCC	0.00001457177299	707
s4	34	bo:nfko:xt	——	CVCC-CVCC	s	bo:nf	CVCC	0.00000000001149	367	ko:xt	CVCC	0.00000000000008	276
s4	35	kOYksSE:nf	——	CVCC-CVCC	s	kOYks	CVCC	0.00000000001935	535	SE:nf	CVCC	0.00000000000011	373
s4	36	pflaUkpo:nf	——	CCVC-CVCC	s	pflaUk	CCVC	0.00000000000701	229	po:nf	CVCC	0.00000000000015	476
s4	37	mORplo:mt	——	CVCC-CVCC	s	mORp	CVCC	0.00000000001573	461	lo:mt	CVCC	0.00000000000004	171
s4	38	maxtlals	——	CVCC-CVCC	h	maxt	CVCC	0.00002430152137	833	lals	CVCC	0.00006497750420	239
s4	39	pfle:tspfy:lm	——	CCVC-CVCC	s	pfle:ts	CCVC	0.00000000001623	474	pfy:lm	CVCC	0.00000000000015	472
s4	40	SRUtspflo:m	——	CCVC-CCVC	s	SRUts	CCVC	0.00000000003299	784	pflo:m	CCVC	0.00000000000000	32
s4	41	pfaRsgo:mt	——	CVCC-CVCC	s	pfaRs	CVCC	0.00000000001891	522	go:mt	CVCC	0.00000000000001	74
s4	42	klatsbly:S	——	CCVC-CCVC	s	klats	CCVC	0.00000000002095	565	bly:S	CCVC	0.00000000000037	865
s4	43	pf9ktpfy:mpf	——	CVCC-CVCC	s	pf9kt	CVCC	0.00000000001264	395	pfy:mpf	CVCC	0.00000000000011	368
s4	44	StanSla:k	——	CCVC-CCVC	h	Stan	CCVC	0.00035835104268	79	Sla:k	CCVC	0.00002116174513	545
s4	45	Svo:Rte:Rn	——	CCVC-CVCC	h	Svo:R	CCVC	0.00002989494169	714	te:Rn	CVCC	0.00001885135643	595
s4	46	blUtspflo:t	——	CCVC-CCVC	s	blUts	CCVC	0.00000000002160	578	pflo:t	CCVC	0.00000000000001	88
s4	47	mYRslo:nf	——	CVCC-CVCC	s	mYRs	CVCC	0.00000000000945	318	lo:nf	CVCC	0.00000000000033	802
s4	48	StEkfals	——	CCVC-CVCC	h	StEk	CCVC	0.00002580242327	798	fals	CVCC	0.00005395035428	271
s4	49	StatStax	——	CCVC-CCVC	h	Stat	CCVC	0.00003324595736	650	Stax	CCVC	0.00001739258789	624
s4	50	pflEtsbe:nf	——	CCVC-CVCC	s	pflEts	CCVC	0.00000000000768	250	be:nf	CVCC	0.00000000000008	271

Tabelle A.4: Liste Mayer et al., Teil 4

Wort	hochfrequente einfache Silbe	Wort	hochfrequente komplexe Silbe
dahtet	HFs01	blietet	HFc01
dehtet	HFs02	trahtet	HFc02
gietet	HFs03	zietet	HFc03
mohtet	HFs04	trietet	HFc04
tietet	HFs05	zahtet	HFc05
neutet	HFs06	grohtet	HFc06
guhtet	HFs07	zohtet	HFc07
kahtet	HFs08	frietet	HFc08
lehtet	HFs09	krietet	HFc09
mahtet	HFs10	dreitet	HFc10
nehtet	HFs11	frühtet	HFc11
pohtet	HFs12	frautet	HFc12
wietet	HFs13	spietet	HFc13
mehtet	HFs14	klahtet	HFc14
gahtet	HFs15	schlietet	HFc15
rühtet	HFs16	freitet	HFc16
sohtet	HFs17	bleitet	HFc17
heitet	HFs18	zeitet	HFc18
dietet	HFs19	stehtet	HFc19
teitet	HFs20	schlahtet	HFc20
meitet	wHFs01	zuhtet	wHFc01
fohtet	wHFs02	grühtet	wHFc02

Tabelle A.5: Liste Bettina, hochfrequente einfache und komplexe Silben

Wort	niederfrequente einfache Silbe	Wort	niederfrequente komplexe Silbe
geitet	LFs01	grehtet	LFc01
peutet	LFs02	frohtet	LFc02
huhtet	LFs03	schleutet	LFc03
dühtet	LFs04	krohtet	LFc04
pühtet	LFs05	frähtet	LFc05
pautet	LFs06	gnühtet	LFc06
lähtet	LFs07	plohtet	LFc07
seutet	LFs08	pleutet	LFc08
fuhtet	LFs09	zaudet	LFc09
kähtet	LFs10	stautet	LFc10
mautet	LFs11	plähtet	LFc11
sautet	LFs12	drautet	LFc12
föhtet	LFs13	truhtet	LFc13
geutet	LFs14	greutet	LFc14
reutet	LFs15	spühtet	LFc15
dohtet	LFs16	zähtet	LFc16
köhtet	LFs17	trühtet	LFc17
neitet	LFs18	gnahtet	LFc18
döhtet	LFs19	fröhtet	LFc19
nühtet	LFs20	schwähtet	LFc20
keutet	wLFs01	klöhtet	wLFc01
pöhtet	wLFs02	prehtet	wLFc02

Tabelle A.6: Liste Bettina, niederfrequente einfache und komplexe Silben

Category	No.	Syllable	Syllable-rank	Syllable-freq (abs)	Word	Word-freq. (per mio.)	English translation
Low-frequency syllable CV	1.	[dy:]	2152	164	Dübel	0	dowel
	2.	[kɛ:]	1474	404	Käse	6	Cheese
	3.	[hu:]	1446	434	Hupe	2	Horn
	4.	[bu:]	1224	596	Busen	5	Bosom
	5.	[hy:]	1040	850	Hügel	3	Hill
	6.	[ʃa:]	956	988	Schale	5	Bowl
	7.	[do:]	9512	996	Dose	3	Tin
	8.	[kø:]	937	1021	Köder	1	Bait
	9.	[mø:]	881	1144	Möwe	2	Gull
	10.	[ke:]	865	1170	Kehle	8	Throat

Category	No.	Syllable	Syllable-rank	Syllable-freq (abs)	Word	Word-freq. (per mio.)	English translation
Low-frequency syllable CVC	11.	[gɛm]	5722	3	Gemse	0	Chamois
	12.	[tul]	4555	10	Tulpe	0	Tulip
	13.	[ʃI]	3586	30	Schinken	2	Ham
	14.	[tym]	2929	60	Tümpel	5	Pool
	15.	[fIs]	2827	69	Fistel	3	Fistula
	16.	[mul]	2245	145	Mulde	5	Hollow
	17.	[pis]	2096	178	Piste	3	Course
	18.	[ʁam]	1871	231	Rampe	1	Ramp
	19.	[lIn]	1713	285	Linse	2	Lens
	20.	[pul]	1696	292	Pulver	8	Powder

Tabelle A.7: Liste Brain and Language, niederfrequente Silben

Category	No.	Syllable	Syllable-rank	Syllable-freq (abs)	Word	Word-freq. (per mio.)	English translation
High-frequency syllable	21.	[di:]	1	249.844	Diele	10	Floor
CV	22.	[zo:]	37	47.247	Sohle	2	Sole
	23.	[ha:]	82	23.115	Hase	7	Rabbit
	24.	[le:]	84	22.800	Leber	8	Liver
	25.	[de:]	117	13.898	Degen	1	Sword
	26.	[va:]	130	12.787	Vase	4	Vase
	27.	[hø:]	230	6711	Höhle	6	Cave
	28.	[ʁo:]	239	6345	Rose	7	Rose
	29.	[ʃi:]	269	5667	Schiene	2	Rail
	30.	[nu:]	359	4018	Nudel	0	Noodle

Category	No.	Syllable	Syllable-rank	Syllable-freq (abs)	Word	Word-freq. (per mio.)	English translation
High-frequency syllable	31.	[man]	24.852	0	Mandel	0	Almond
CVC	32.	[kan]	13.637	7	Kante	0	Edge
	33.	[mus]	11.985	1	Muskel	2	Muscle
	34.	[hal]	9984	2	Halde	5	Dump
	35.	[fal]	6127	2	Falke	3	Falcon
	36.	[lɛn]	0	145	Lende	5	Loin
	37.	[van]	3324	0	Wanze	3	Bug
	38.	[fɛl]	1	231	Felge	1	Rim
	39.	[mIs]	2696	285	Mistel	0	Mistletoe
	40.	[vIn]	1536	292	Windel	1	Diaper

Tabelle A.8: Liste Brain and Language, hochfrequente Silben

Anhang B

Histogramme

Die Histogramme stellen graphisch die Häufigkeiten der x_1-Werte für die verschiedenen Vokale dar. Um die Histogramme besser mit theoretischen Verteilungen vergleichen zu können, wurde die Dichte gewählt und in der Abbildung zusätzlich eine Dichtekurve, die die Histogrammwerte annähert, errechnet. Diese ist in rot eingezeichnet. Der Mittelwert ist an der mittleren blauen Linie ablesbar, die beiden Linien links und rechts davon tragen die Standardabweichung ausgehend vom Mittelwert ab. Die schwarze Linie bezeichnet den Median. Da Median und Mittelwert manchmal aufeinander fallen, sind diese nicht immer gut zu erkennen. Die Histogramme sind im Folgenden sortiert nach Vokalen abgebildet. Dabei kommen immer zuerst die häufigen und seltenen Histogramme der männlichen Sprecher, dann die der weiblichen Sprecher, dann aufgeteilt nach Listen, zuerst die Liste Mayer et al., dann die Liste Bettina Brendel und zuletzt die Liste Brain and Language.

B.1 Vokal 9

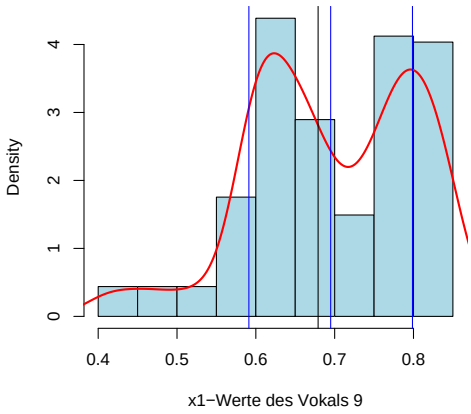


Abbildung B.1: Histogramm für den Vokal 9 der männlichen Sprecher für häufige Silben

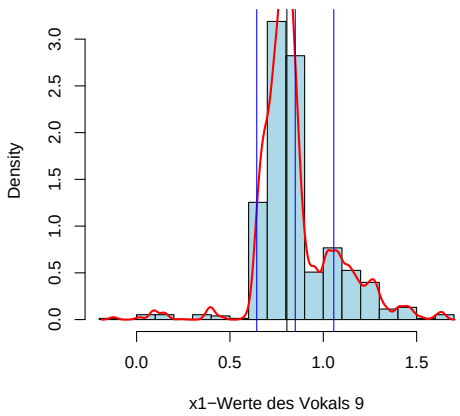


Abbildung B.2: Histogramm für den Vokal 9 der männlichen Sprecher für seltene Silben

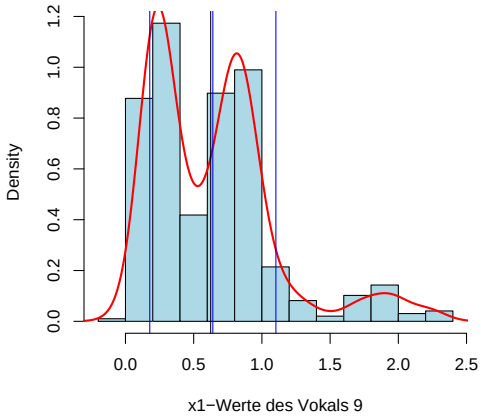


Abbildung B.3: Histogramm für den Vokal 9 der weiblichen Sprecher für häufige Silben

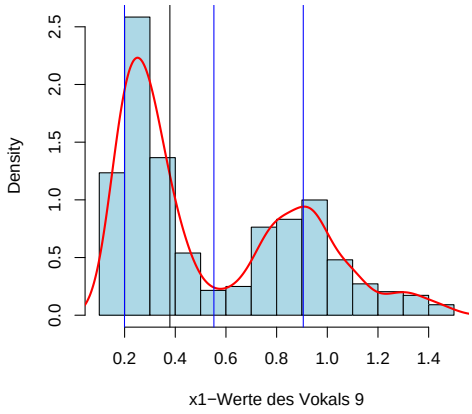


Abbildung B.4: Histogramm für den Vokal 9 der weiblichen Sprecher für seltene Silben

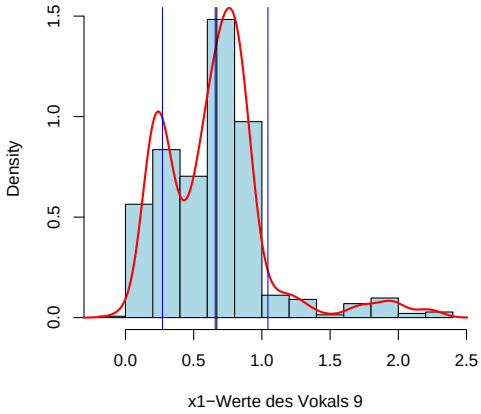


Abbildung B.5: Histogramm für den Vokal 9 insgesamt bei häufigen Silben

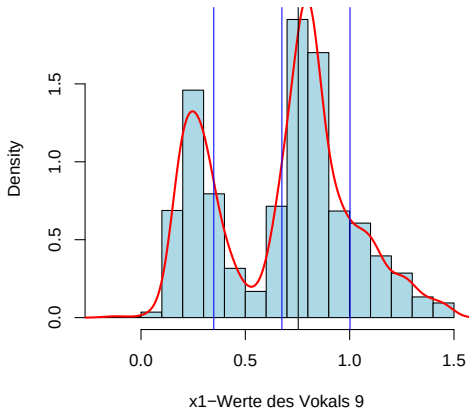


Abbildung B.6: Histogramm für den Vokal 9 insgesamt bei seltenen Silben

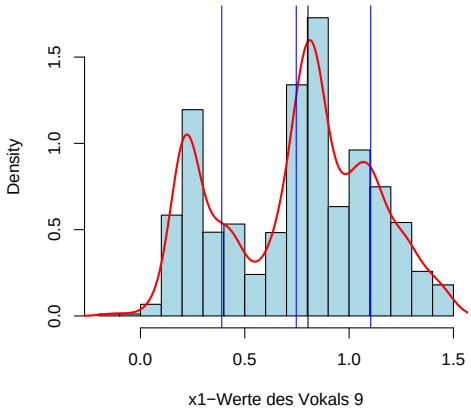


Abbildung B.7: Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

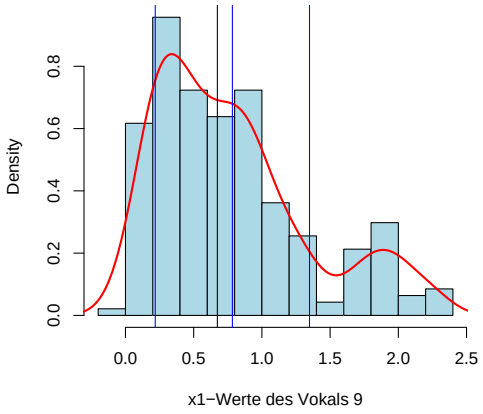


Abbildung B.8: Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

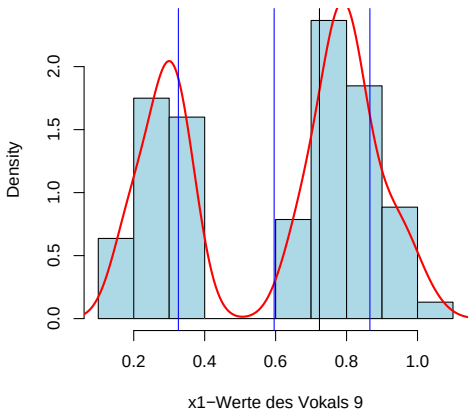


Abbildung B.9: Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

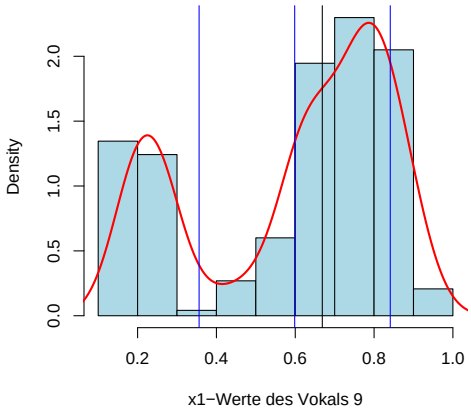


Abbildung B.10: Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

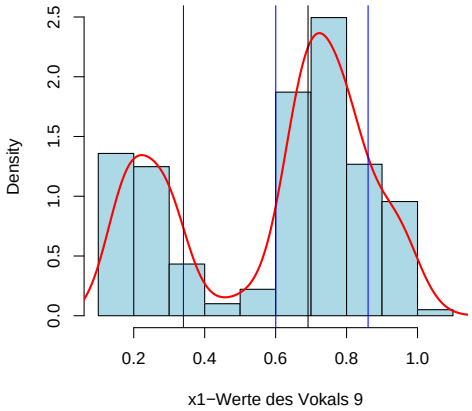


Abbildung B.11: Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben

B.2 Vokal E

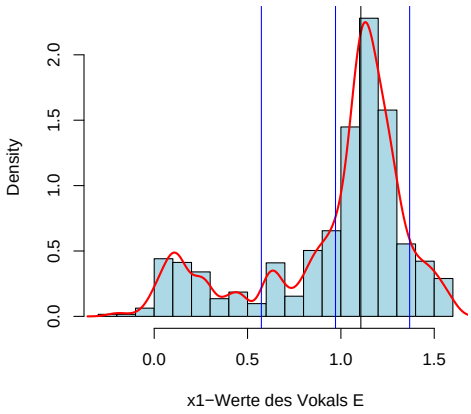


Abbildung B.12: Histogramm für den Vokal E der männlichen Sprecher für häufige Silben

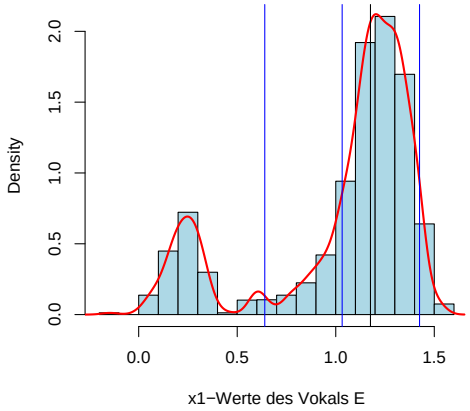


Abbildung B.13: Histogramm für den Vokal E der männlichen Sprecher für seltene Silben

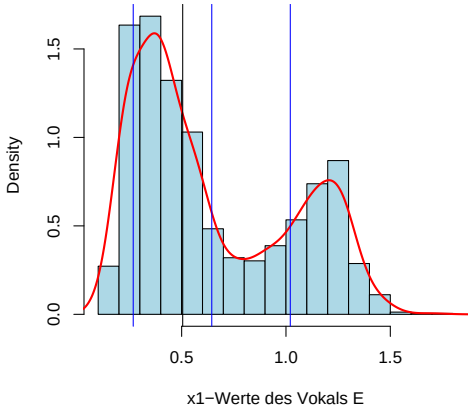


Abbildung B.14: Histogramm für den Vokal E der weiblichen Sprecher für häufige Silben

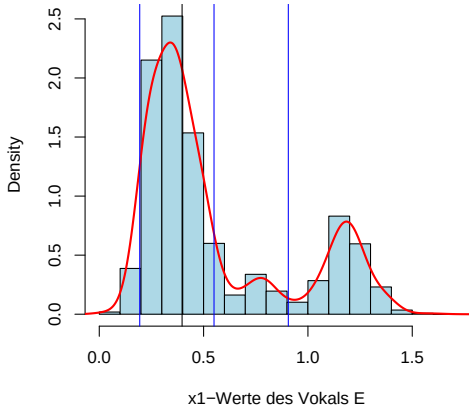


Abbildung B.15: Histogramm für den Vokal E der weiblichen Sprecher für seltene Silben

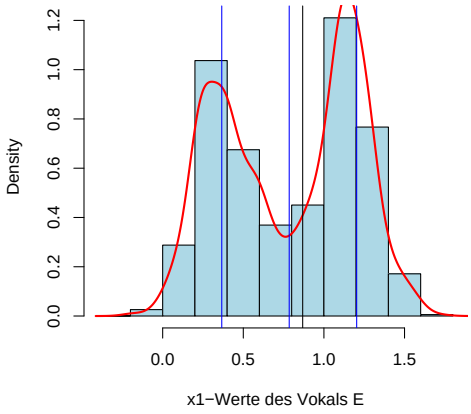


Abbildung B.16: Histogramm für den Vokal E insgesamt bei häufigen Silben

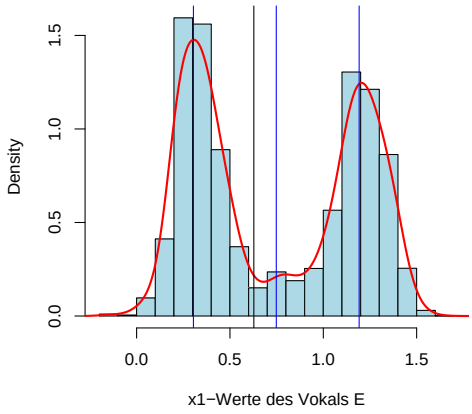


Abbildung B.17: Histogramm für den Vokal E insgesamt bei seltenen Silben

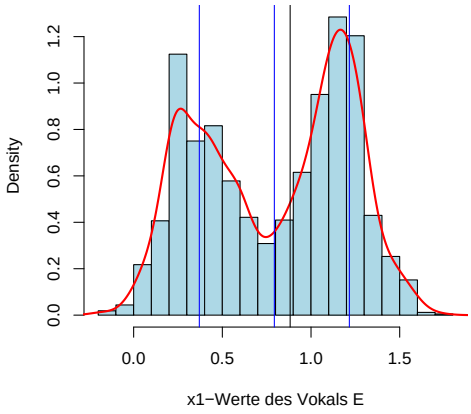


Abbildung B.18: Histogramm für den Vokal E für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

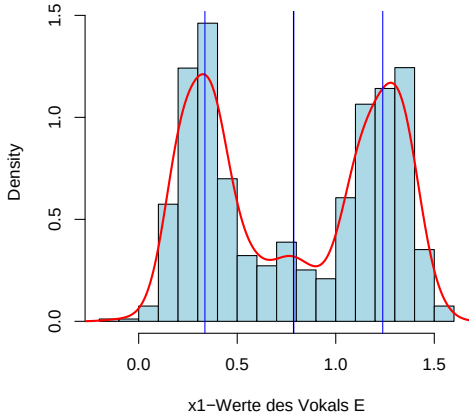


Abbildung B.19: Histogramm für den Vokal E für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

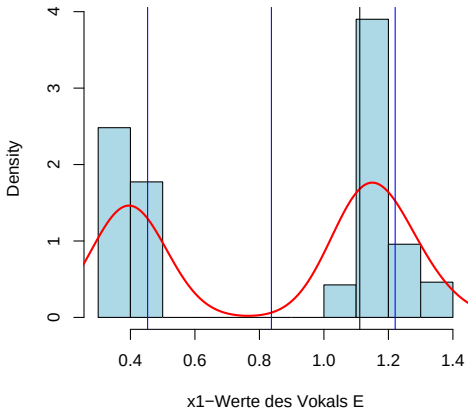


Abbildung B.20: Histogramm für den Vokal E für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

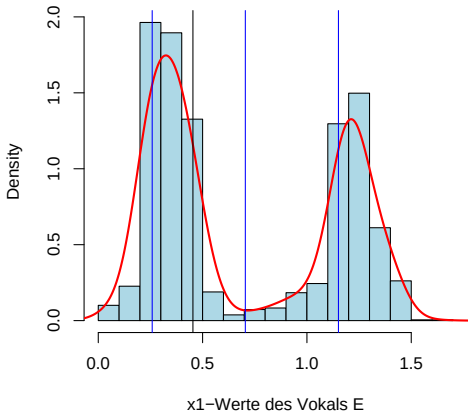


Abbildung B.21: Histogramm für den Vokal E für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

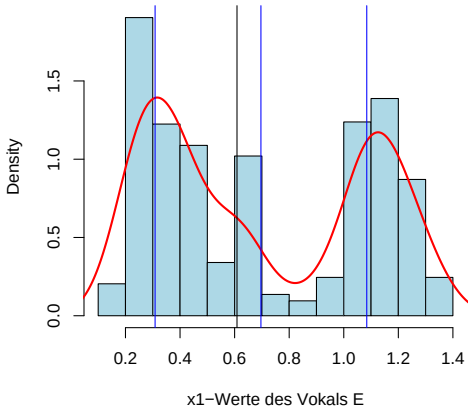


Abbildung B.22: Histogramm für den Vokal E für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

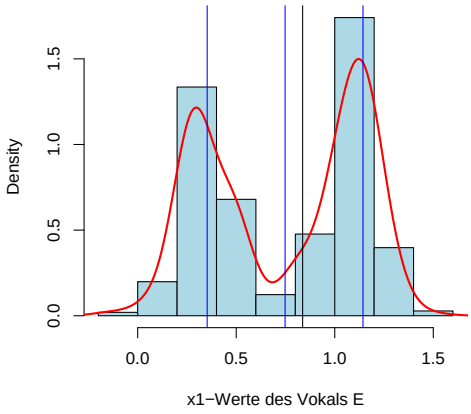


Abbildung B.23: Histogramm für den Vokal E für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben

B.3 Vokal I

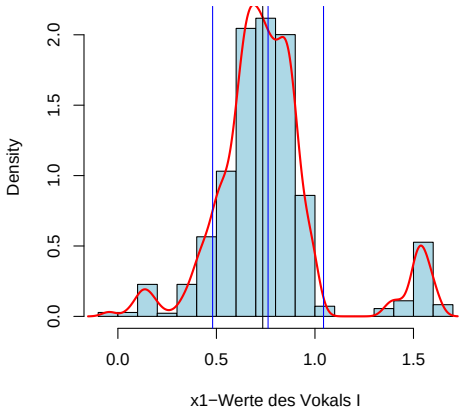


Abbildung B.24: Histogramm für den Vokal I der männlichen Sprecher für häufige Silben

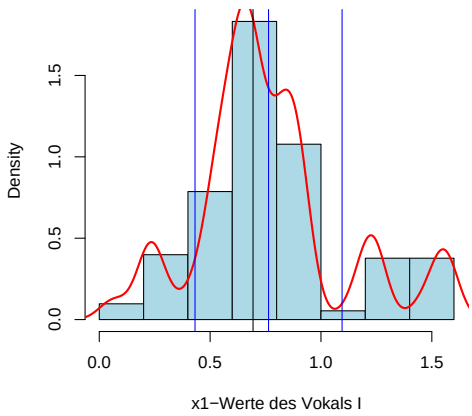


Abbildung B.25: Histogramm für den Vokal I der männlichen Sprecher für seltene Silben

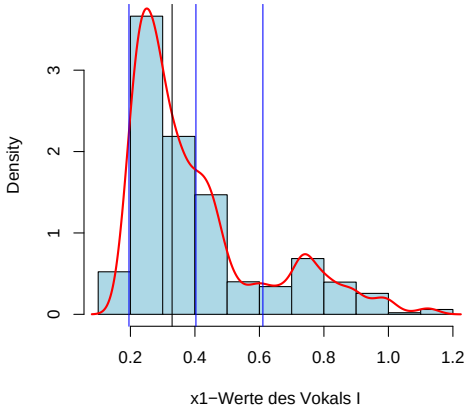


Abbildung B.26: Histogramm für den Vokal I der weiblichen Sprecher für häufige Silben

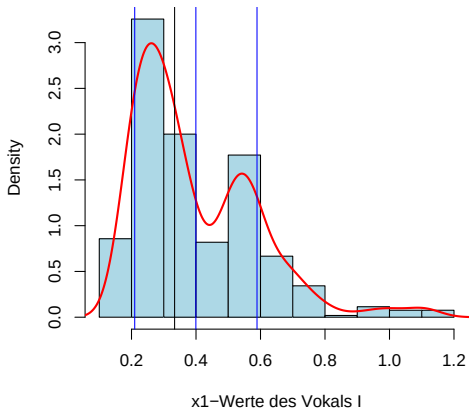


Abbildung B.27: Histogramm für den Vokal I der weiblichen Sprecher für seltene Silben

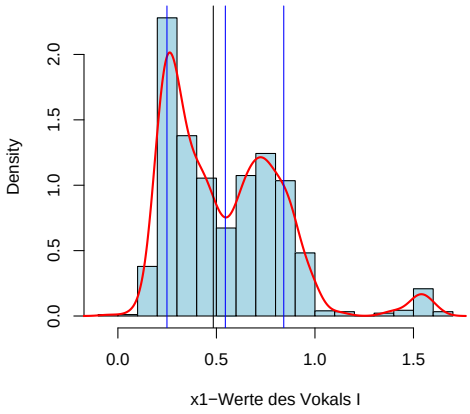


Abbildung B.28: Histogramm für den Vokal I insgesamt bei häufigen Silben

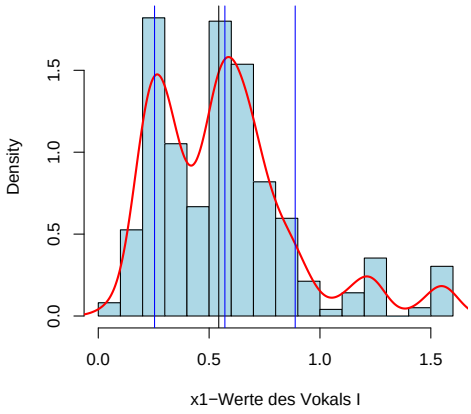


Abbildung B.29: Histogramm für den Vokal I insgesamt bei seltenen Silben

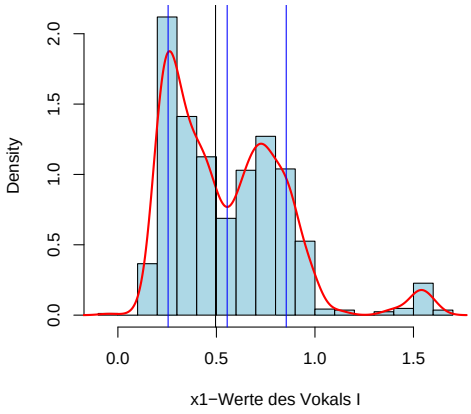


Abbildung B.30: Histogramm für den Vokal I für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

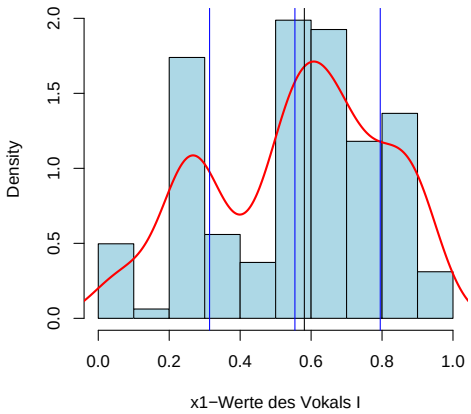


Abbildung B.31: Histogramm für den Vokal I für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

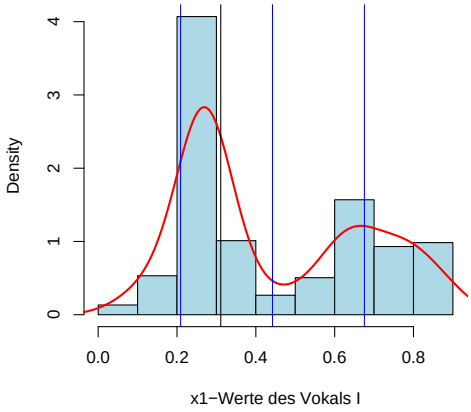


Abbildung B.32: Histogramm für den Vokal I für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

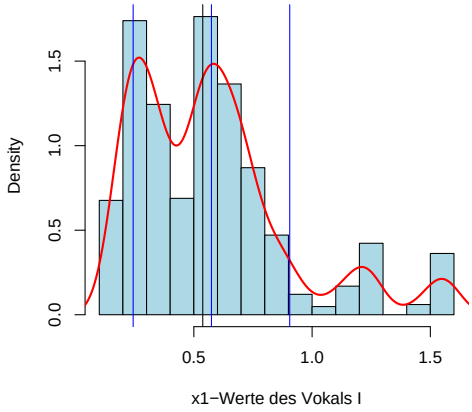


Abbildung B.33: Histogramm für den Vokal I für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben

B.4 Vokal O

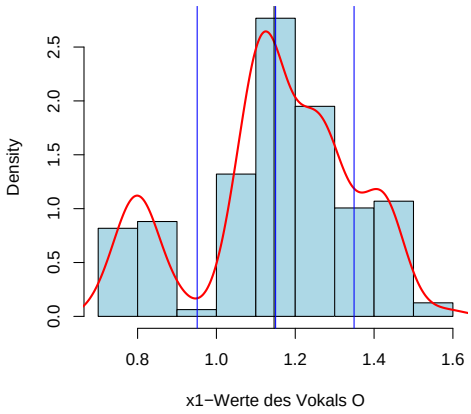


Abbildung B.34: Histogramm für den Vokal O der männlichen Sprecher für häufige Silben

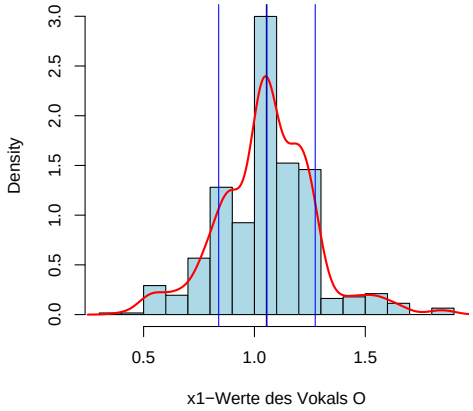


Abbildung B.35: Histogramm für den Vokal O der männlichen Sprecher für seltene Silben

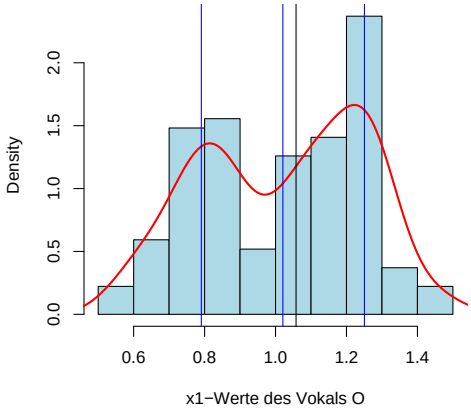


Abbildung B.36: Histogramm für den Vokal O der weiblichen Sprecher für häufige Silben

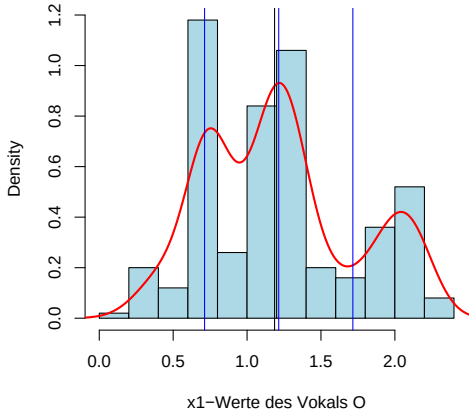


Abbildung B.37: Histogramm für den Vokal O der weiblichen Sprecher für seltene Silben

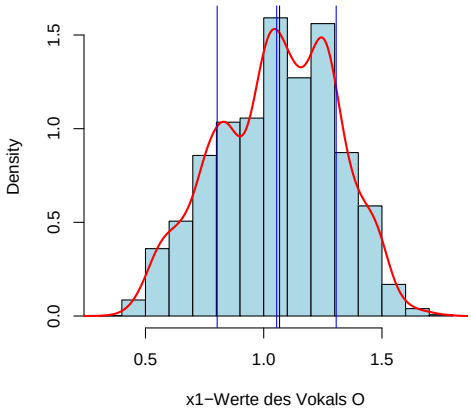


Abbildung B.38: Histogramm für den Vokal O insgesamt bei häufigen Silben

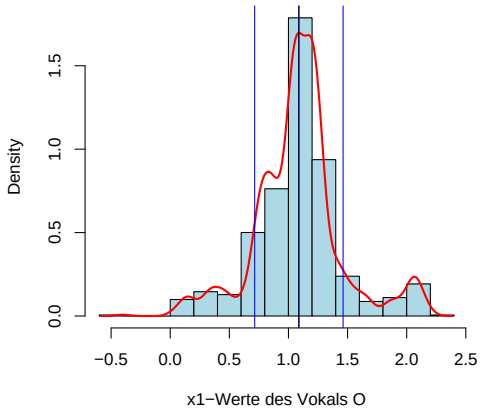


Abbildung B.39: Histogramm für den Vokal O insgesamt bei seltenen Silben

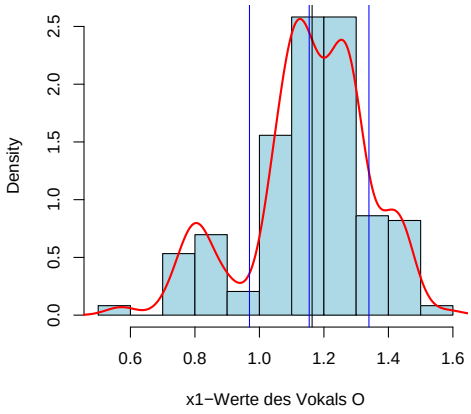


Abbildung B.40: Histogramm für den Vokal O für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

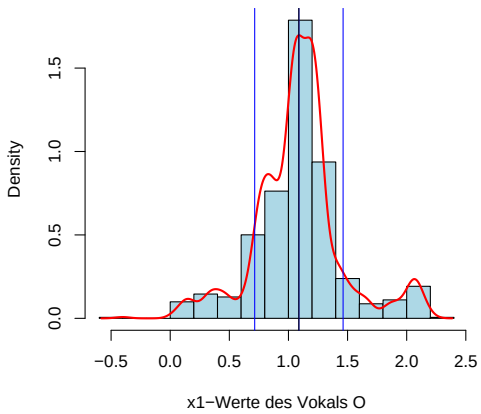


Abbildung B.41: Histogramm für den Vokal O für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

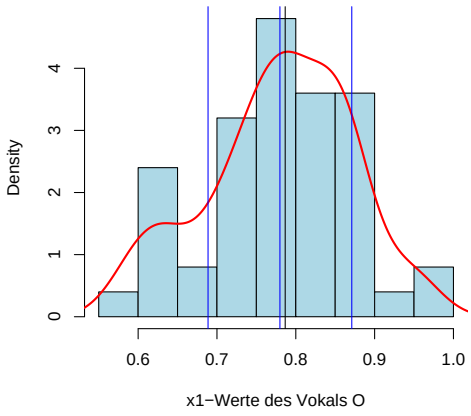


Abbildung B.42: Histogramm für den Vokal O für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

B.5 Vokal U

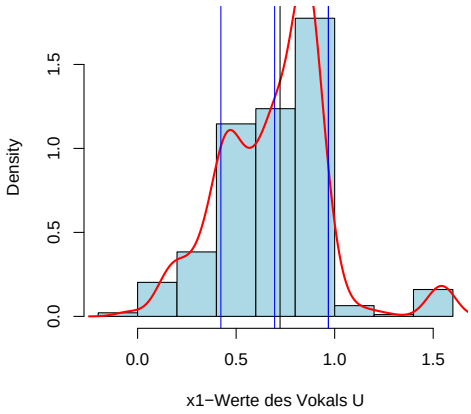


Abbildung B.43: Histogramm für den Vokal U der männlichen Sprecher für häufige Silben

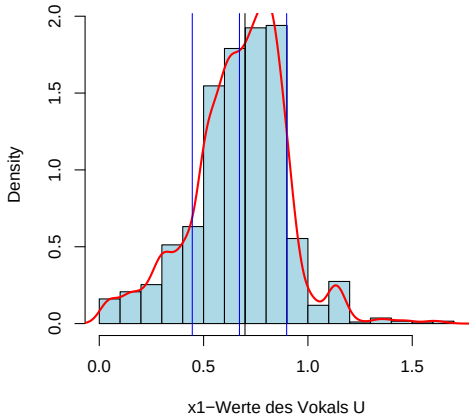


Abbildung B.44: Histogramm für den Vokal U der männlichen Sprecher für seltene Silben

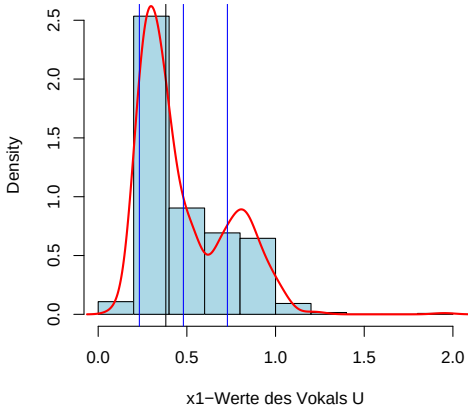


Abbildung B.45: Histogramm für den Vokal U der weiblichen Sprecher für häufige Silben

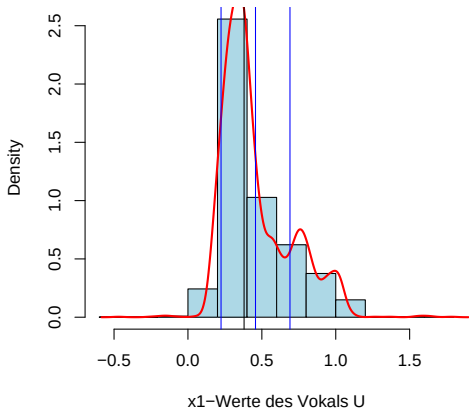


Abbildung B.46: Histogramm für den Vokal U der weiblichen Sprecher für seltene Silben

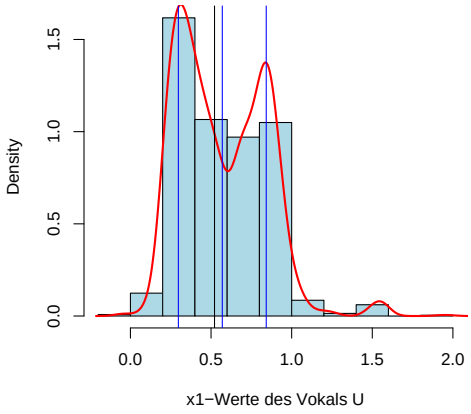


Abbildung B.47: Histogramm für den Vokal U insgesamt bei häufigen Silben

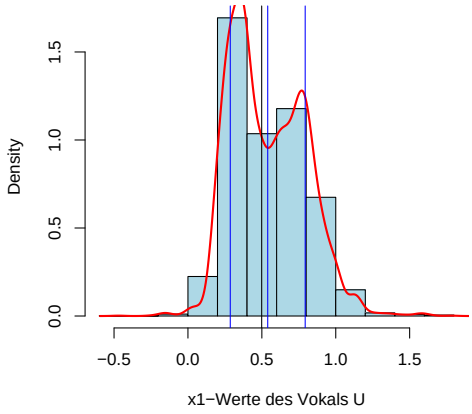


Abbildung B.48: Histogramm für den Vokal U insgesamt bei seltenen Silben

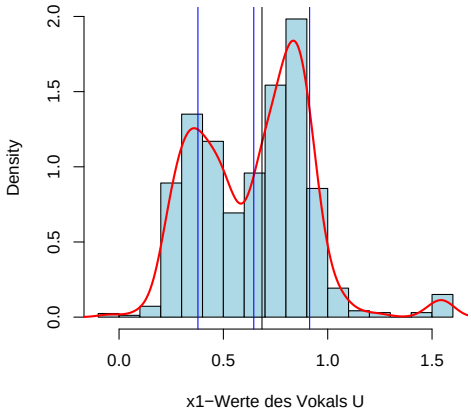


Abbildung B.49: Histogramm für den Vokal U für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

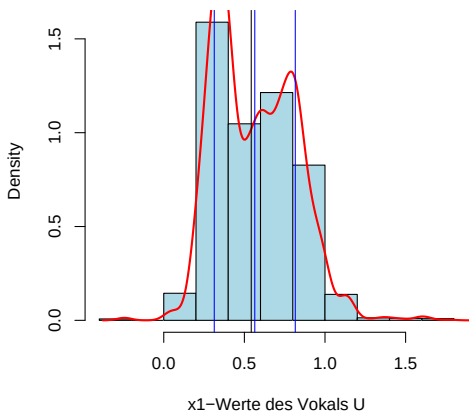


Abbildung B.50: Histogramm für den Vokal U für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

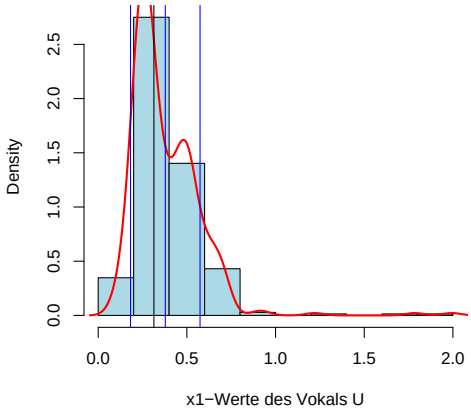


Abbildung B.51: Histogramm für den Vokal U für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

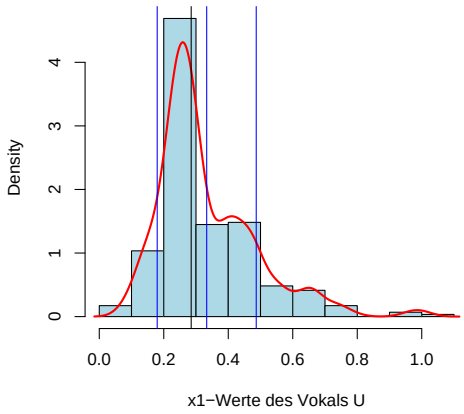


Abbildung B.52: Histogramm für den Vokal U für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

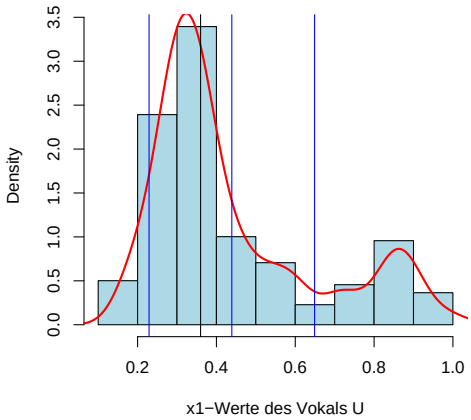


Abbildung B.53: Histogramm für den Vokal U für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

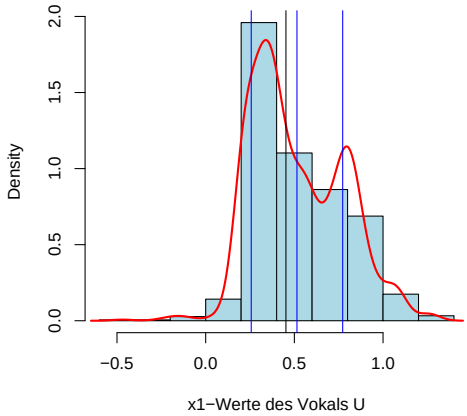


Abbildung B.54: Histogramm für den Vokal U für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben

B.6 Vokal a

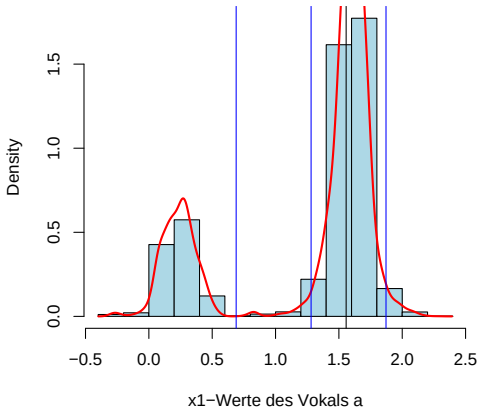


Abbildung B.55: Histogramm für den Vokal a der männlichen Sprecher für häufige Silben

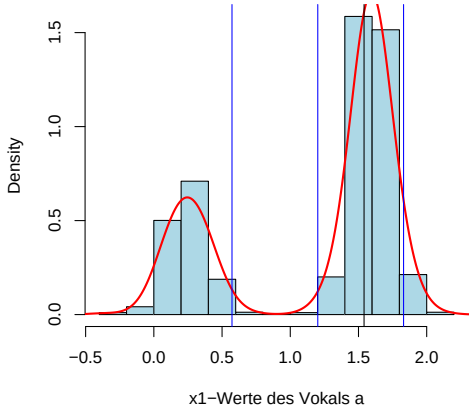


Abbildung B.56: Histogramm für den Vokal a der männlichen Sprecher für seltene Silben

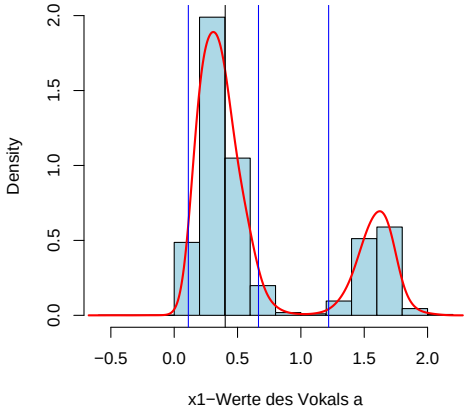


Abbildung B.57: Histogramm für den Vokal a der weiblichen Sprecher für häufige Silben

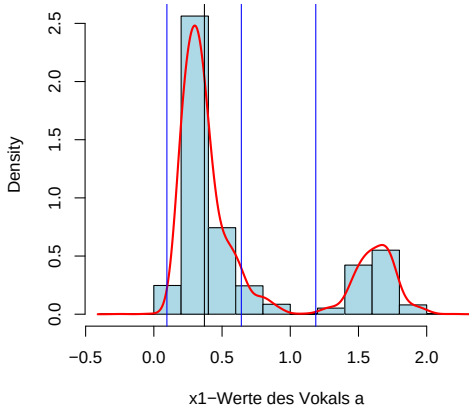


Abbildung B.58: Histogramm für den Vokal a der weiblichen Sprecher für seltene Silben

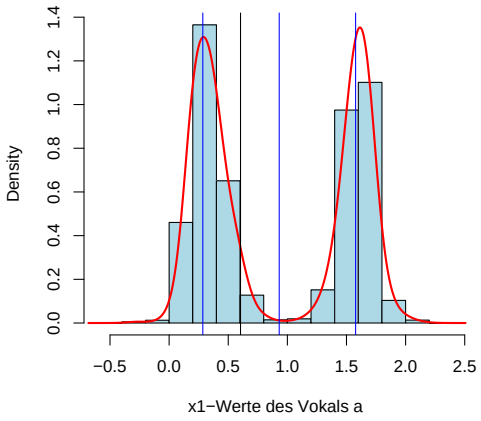


Abbildung B.59: Histogramm für den Vokal a insgesamt bei häufigen Silben

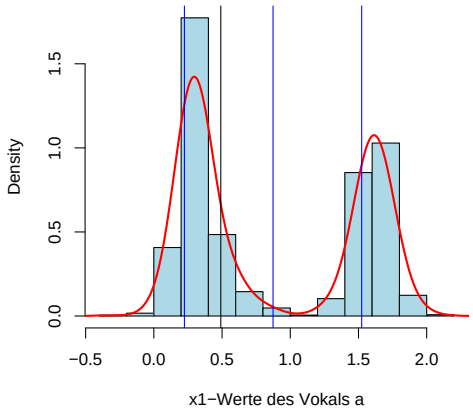


Abbildung B.60: Histogramm für den Vokal a insgesamt bei seltenen Silben

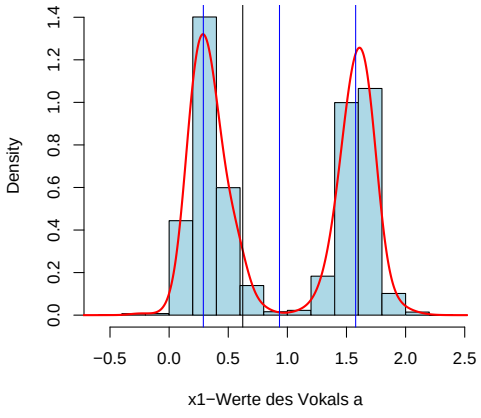


Abbildung B.61: Histogramm für den Vokal a für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

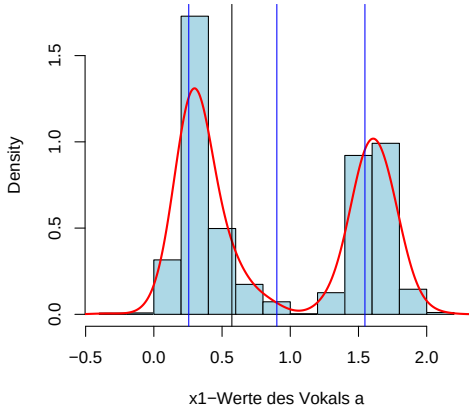


Abbildung B.62: Histogramm für den Vokal a für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

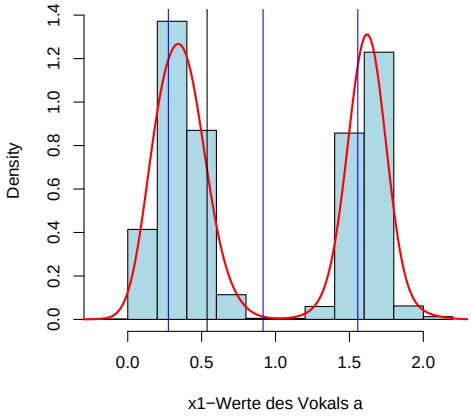


Abbildung B.63: Histogramm für den Vokal a für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

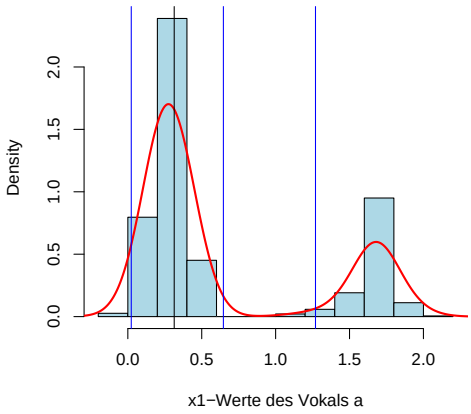


Abbildung B.64: Histogramm für den Vokal a für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

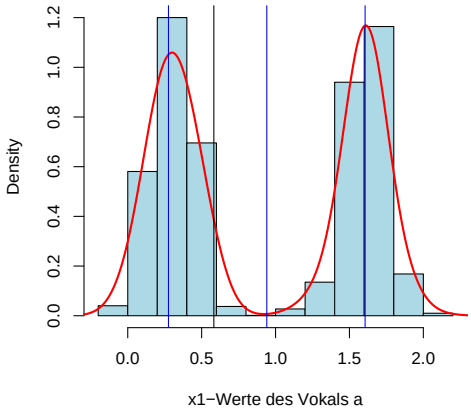


Abbildung B.65: Histogramm für den Vokal a für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

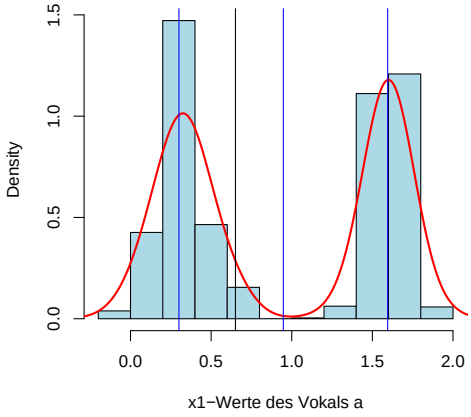


Abbildung B.66: Histogramm für den Vokal a für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben

B.7 Vokal e

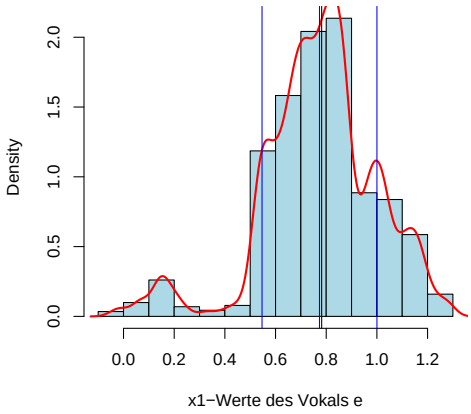


Abbildung B.67: Histogramm für den Vokal e der männlichen Sprecher für häufige Silben

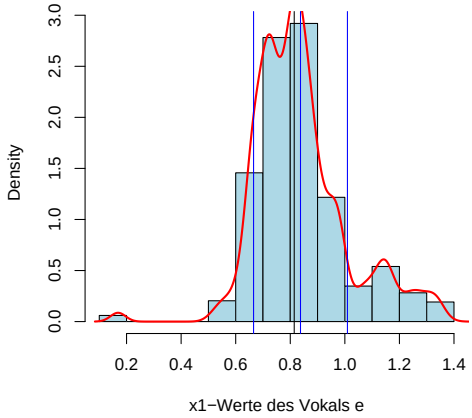


Abbildung B.68: Histogramm für den Vokal e der männlichen Sprecher für seltene Silben

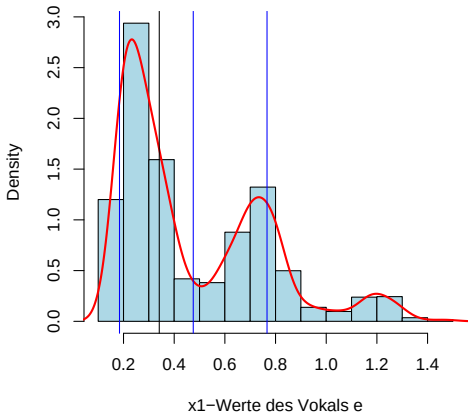


Abbildung B.69: Histogramm für den Vokal e der weiblichen Sprecher für häufige Silben

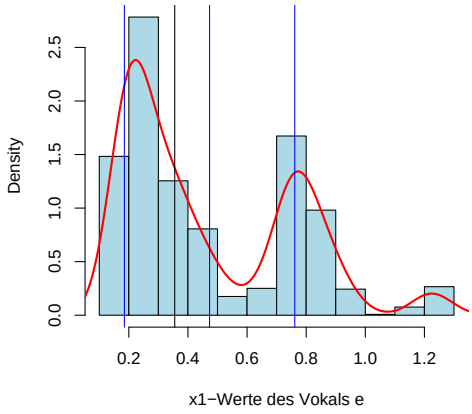


Abbildung B.70: Histogramm für den Vokal e der weiblichen Sprecher für seltene Silben

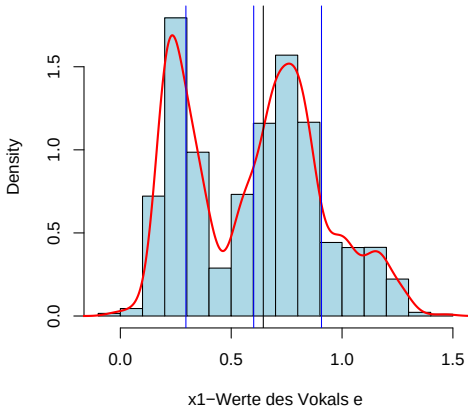


Abbildung B.71: Histogramm für den Vokal e insgesamt bei häufigen Silben

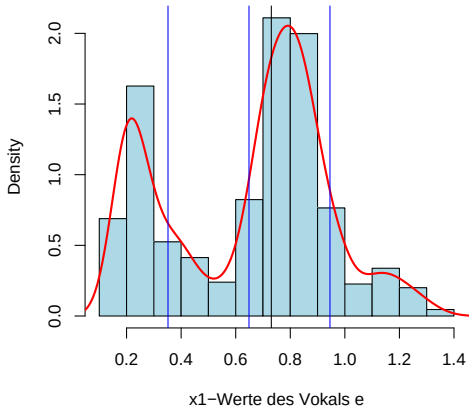


Abbildung B.72: Histogramm für den Vokal e insgesamt bei seltenen Silben

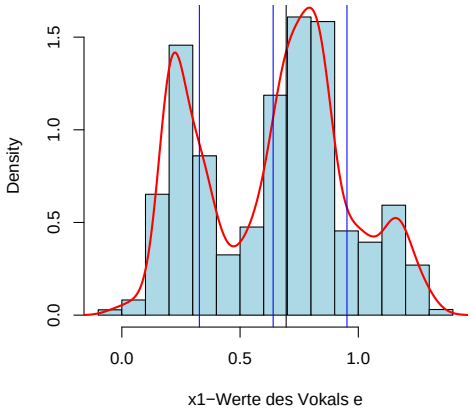


Abbildung B.73: Histogramm für den Vokal e für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

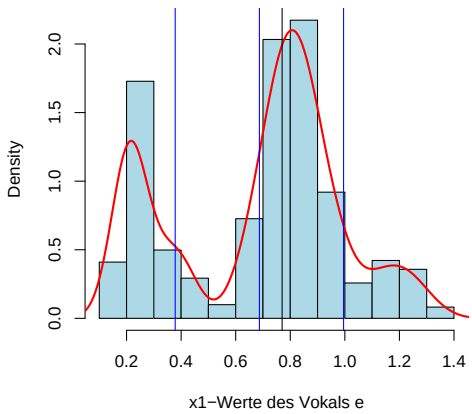


Abbildung B.74: Histogramm für den Vokal e für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

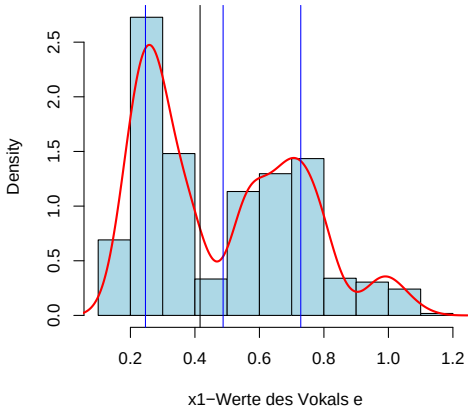


Abbildung B.75: Histogramm für den Vokal e für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

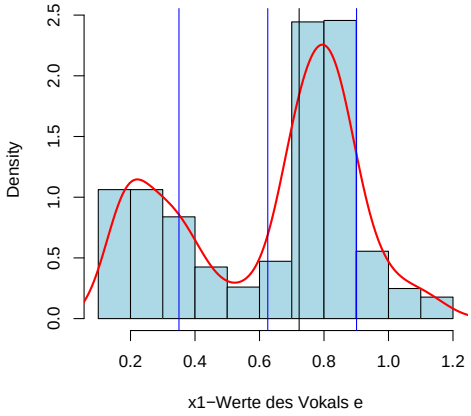


Abbildung B.76: Histogramm für den Vokal e für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

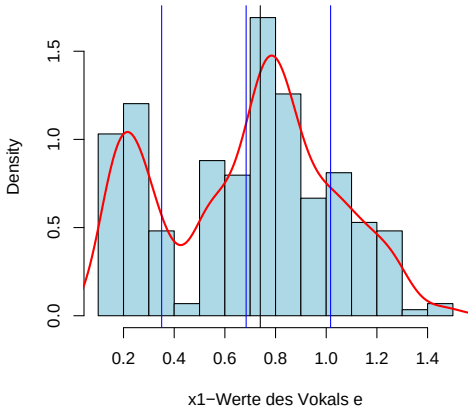


Abbildung B.77: Histogramm für den Vokal e für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

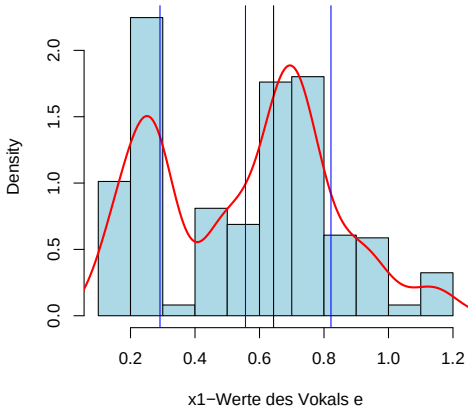


Abbildung B.78: Histogramm für den Vokal e für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben

B.8 Vokal i

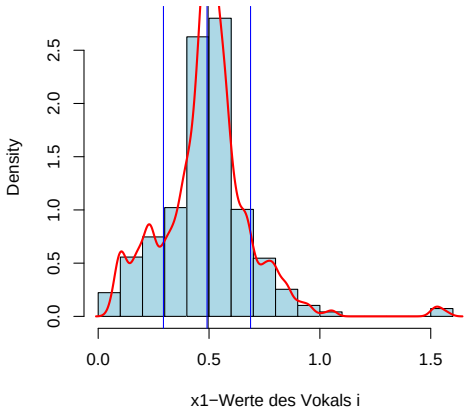


Abbildung B.79: Histogramm für den Vokal i der männlichen Sprecher für häufige Silben

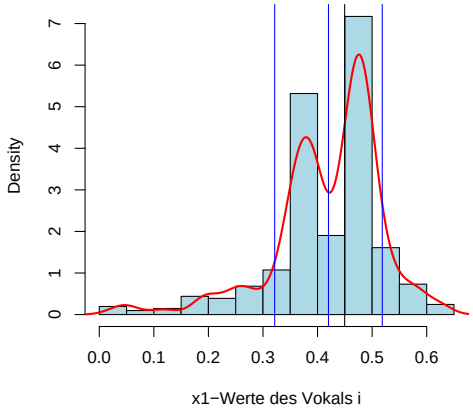


Abbildung B.80: Histogramm für den Vokal i der männlichen Sprecher für seltene Silben

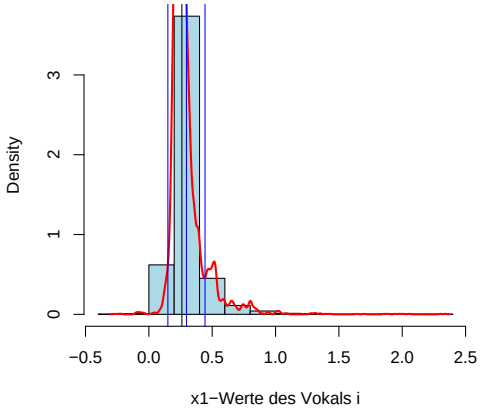


Abbildung B.81: Histogramm für den Vokal i der weiblichen Sprecher für häufige Silben

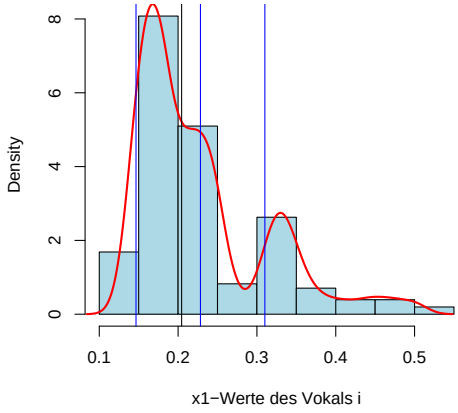


Abbildung B.82: Histogramm für den Vokal i der weiblichen Sprecher für seltene Silben

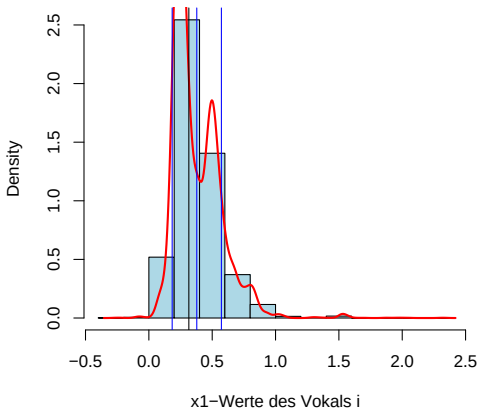


Abbildung B.83: Histogramm für den Vokal i insgesamt bei häufigen Silben

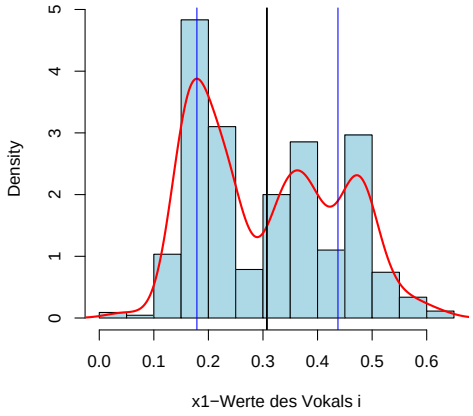


Abbildung B.84: Histogramm für den Vokal i insgesamt bei seltenen Silben

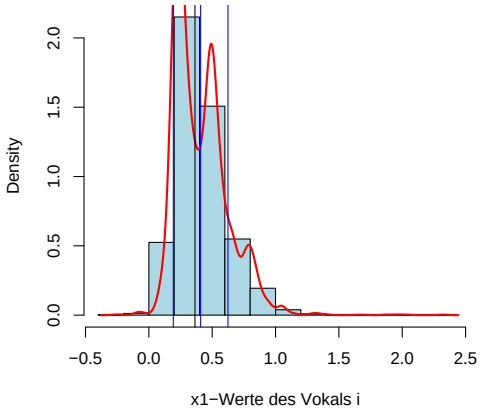


Abbildung B.85: Histogramm für den Vokal i für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

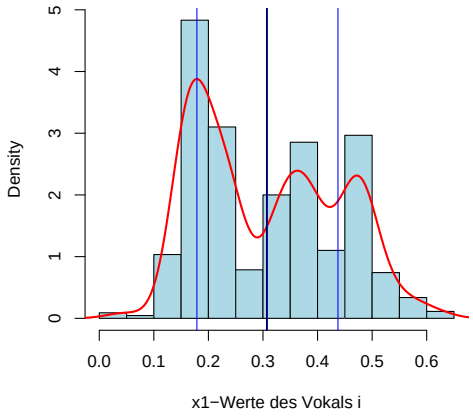


Abbildung B.86: Histogramm für den Vokal i für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

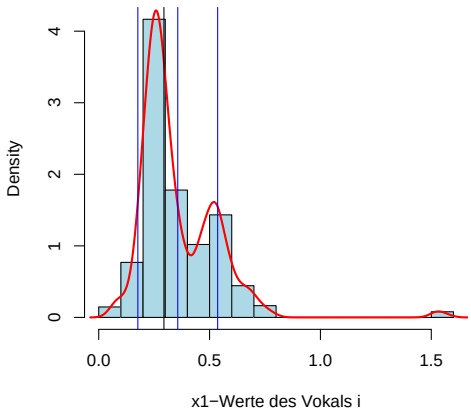


Abbildung B.87: Histogramm für den Vokal i für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

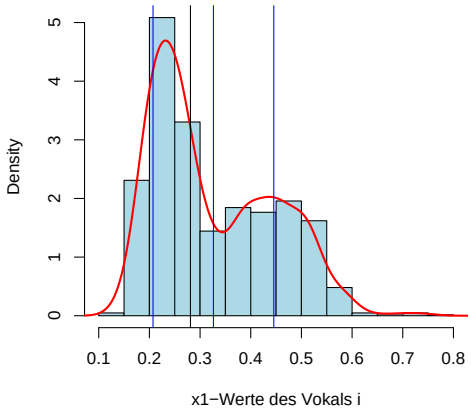


Abbildung B.88: Histogramm für den Vokal i für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

B.9 Vokal o

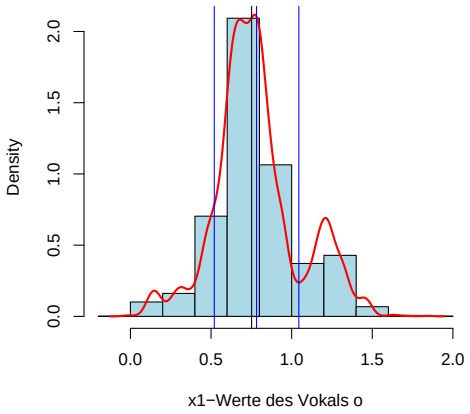


Abbildung B.89: Histogramm für den Vokal o der männlichen Sprecher für häufige Silben

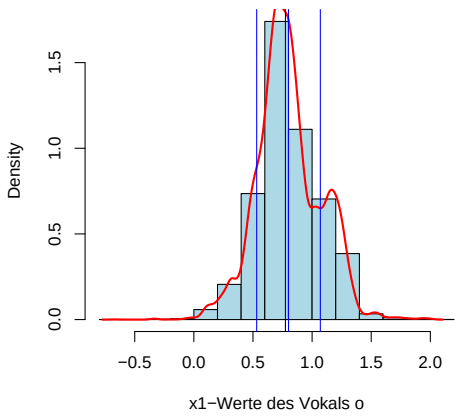


Abbildung B.90: Histogramm für den Vokal o der männlichen Sprecher für seltene Silben

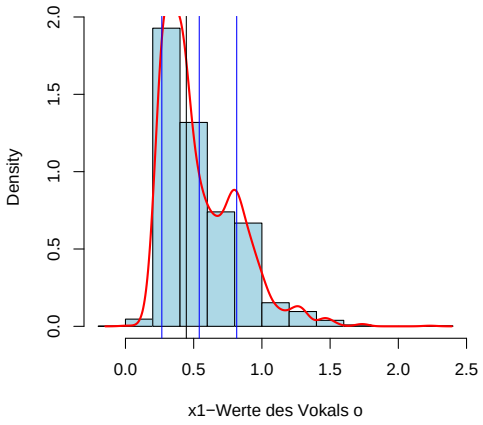


Abbildung B.91: Histogramm für den Vokal o der weiblichen Sprecher für häufige Silben

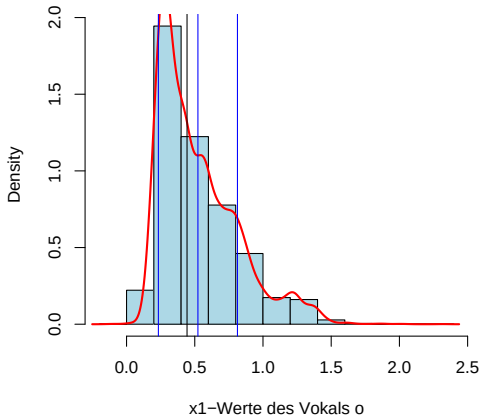


Abbildung B.92: Histogramm für den Vokal o der weiblichen Sprecher für seltene Silben

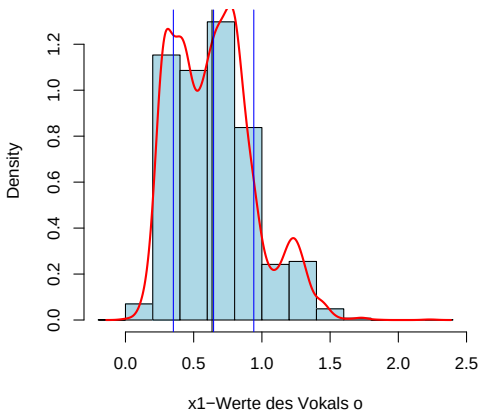


Abbildung B.93: Histogramm für den Vokal o insgesamt bei häufigen Silben

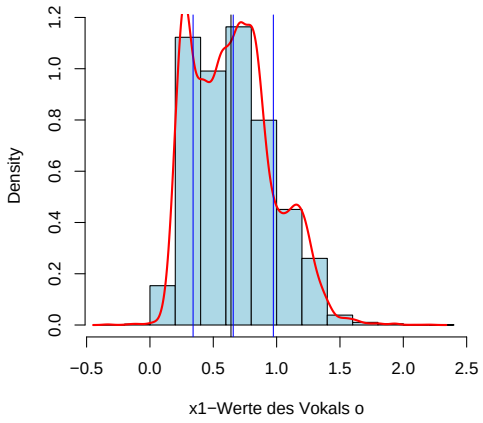


Abbildung B.94: Histogramm für den Vokal o insgesamt bei seltenen Silben

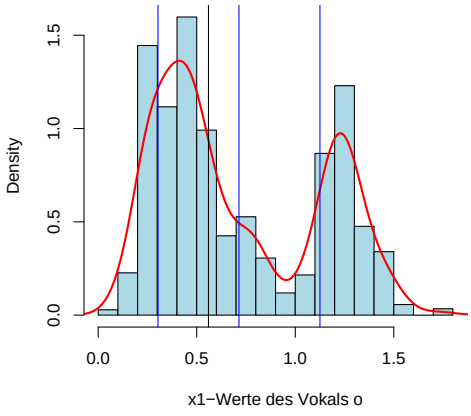


Abbildung B.95: Histogramm für den Vokal o für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

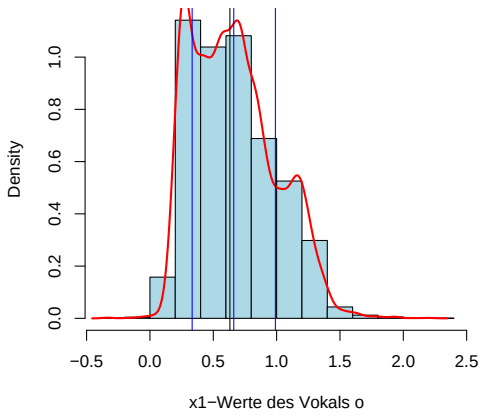


Abbildung B.96: Histogramm für den Vokal o für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

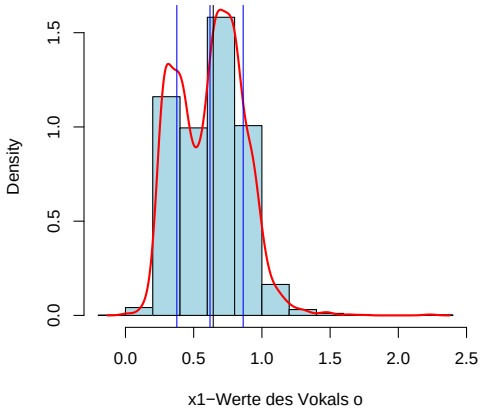


Abbildung B.97: Histogramm für den Vokal o für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

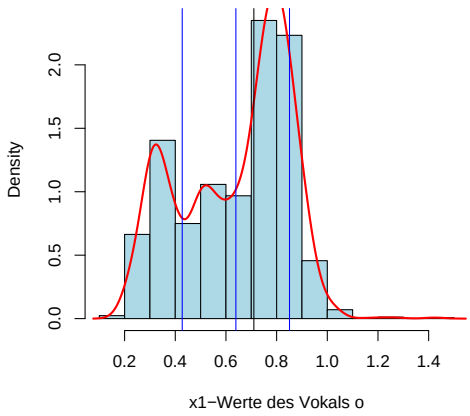


Abbildung B.98: Histogramm für den Vokal o für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

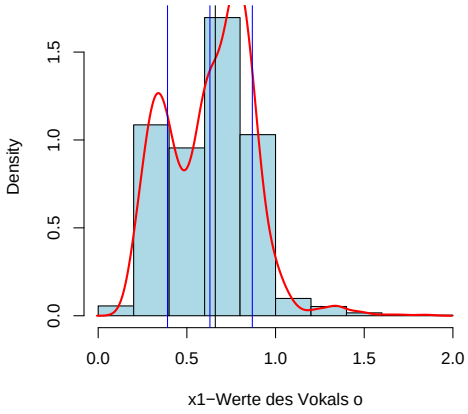


Abbildung B.99: Histogramm für den Vokal o für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

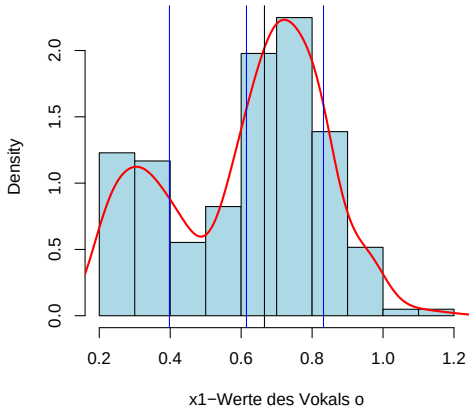


Abbildung B.100: Histogramm für den Vokal o für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben

B.10 Vokal u

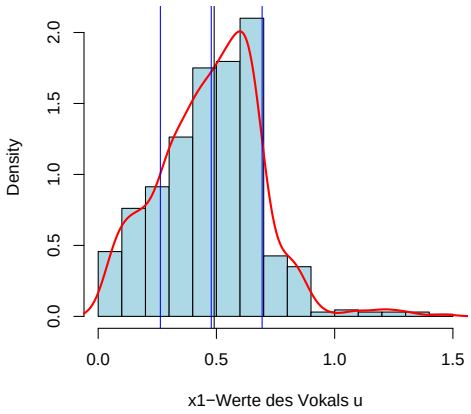


Abbildung B.101: Histogramm für den Vokal u der männlichen Sprecher für häufige Silben

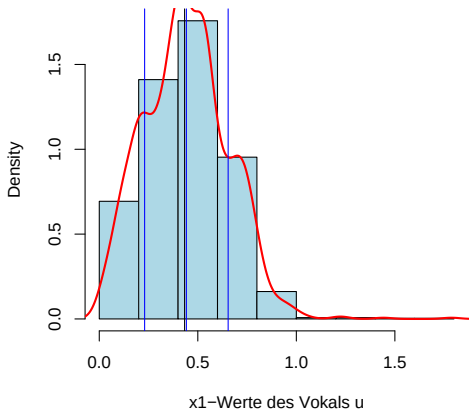


Abbildung B.102: Histogramm für den Vokal u der männlichen Sprecher für seltene Silben

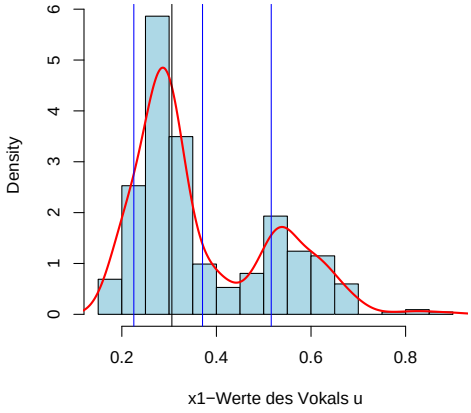


Abbildung B.103: Histogramm für den Vokal u der weiblichen Sprecher für häufige Silben

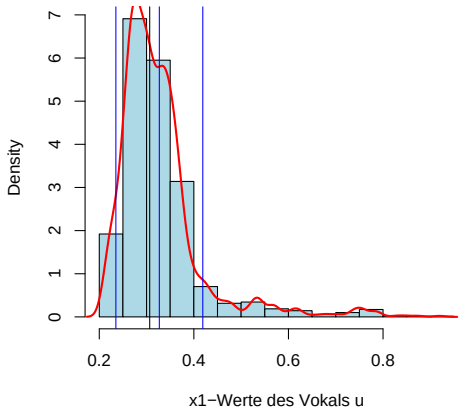


Abbildung B.104: Histogramm für den Vokal u der weiblichen Sprecher für seltene Silben

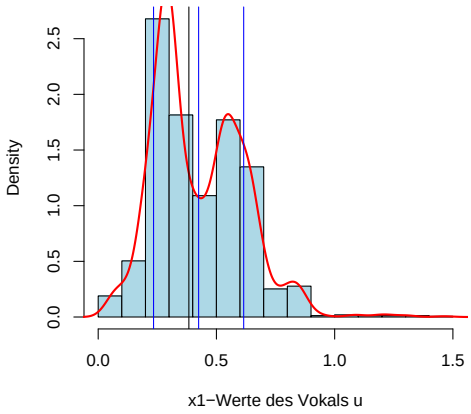


Abbildung B.105: Histogramm für den Vokal u insgesamt bei häufigen Silben

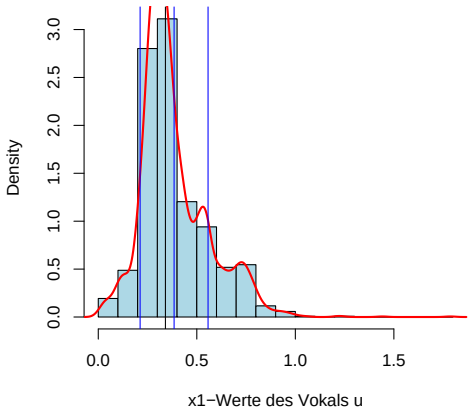


Abbildung B.106: Histogramm für den Vokal u insgesamt bei seltenen Silben

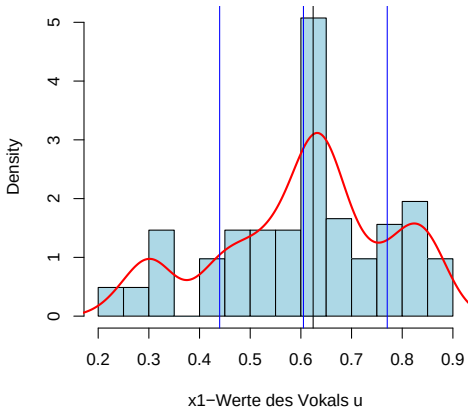


Abbildung B.107: Histogramm für den Vokal u für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

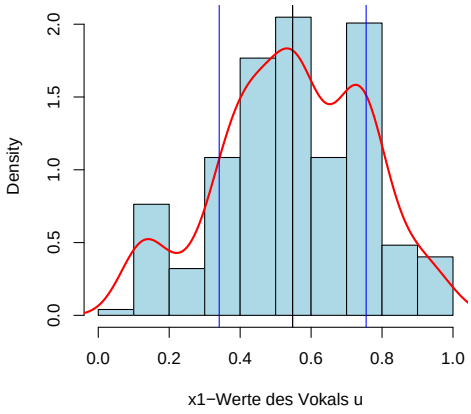


Abbildung B.108: Histogramm für den Vokal u für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

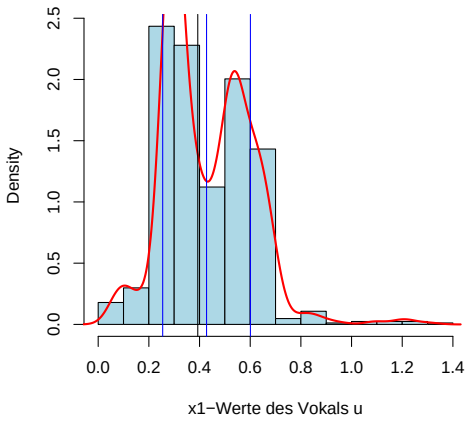


Abbildung B.109: Histogramm für den Vokal u für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

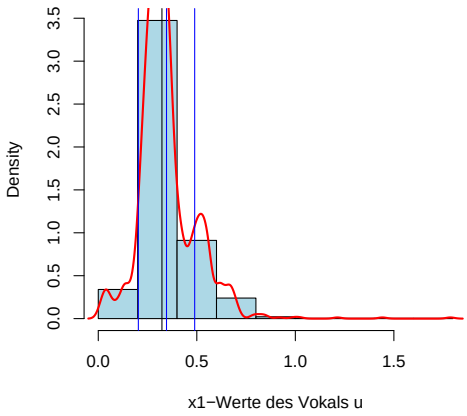


Abbildung B.110: Histogramm für den Vokal u für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

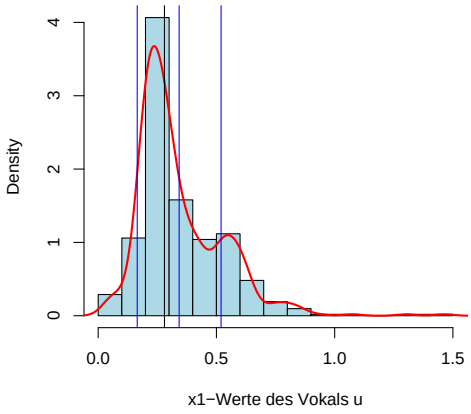


Abbildung B.111: Histogramm für den Vokal u für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben

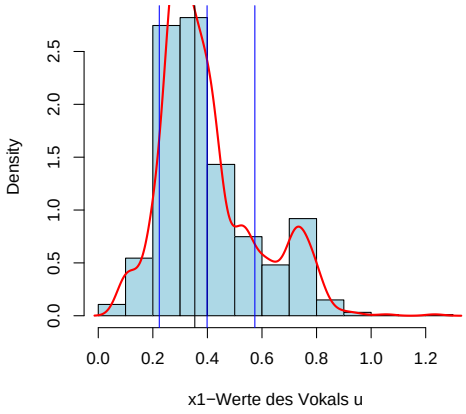


Abbildung B.112: Histogramm für den Vokal u für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben

B.11 Vokal y

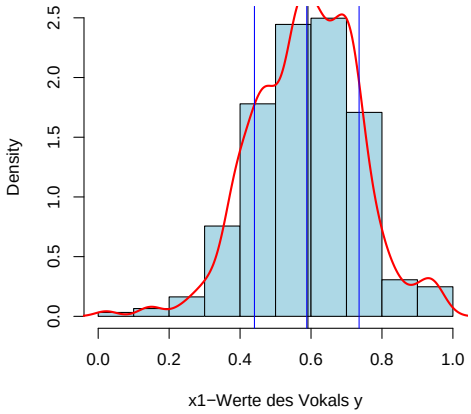


Abbildung B.113: Histogramm für den Vokal y der männlichen Sprecher für häufige Silben

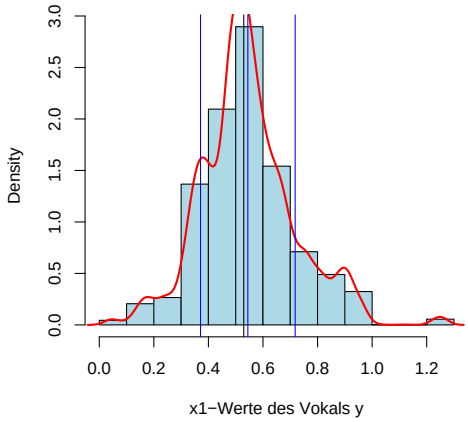


Abbildung B.114: Histogramm für den Vokal y der männlichen Sprecher für seltene Silben

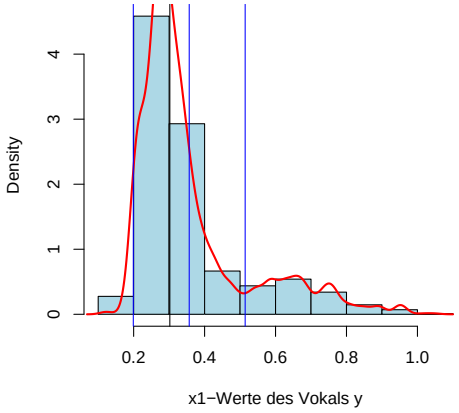


Abbildung B.115: Histogramm für den Vokal y der weiblichen Sprecher für häufige Silben

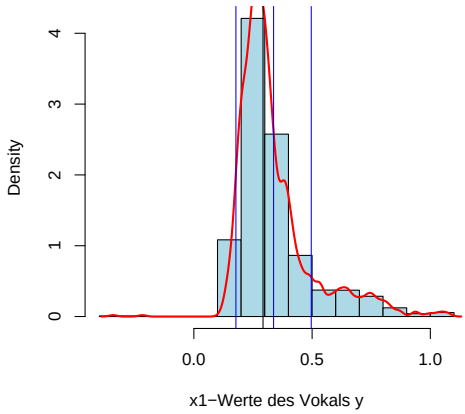


Abbildung B.116: Histogramm für den Vokal y der weiblichen Sprecher für seltene Silben

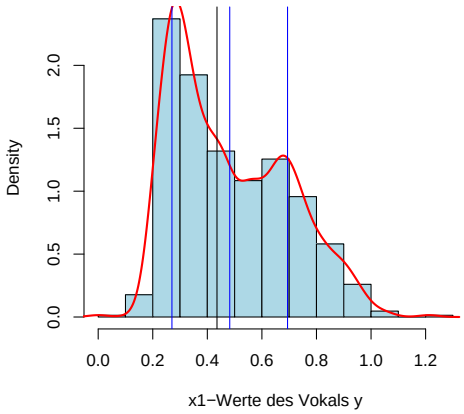


Abbildung B.117: Histogramm für den Vokal y insgesamt bei häufigen Silben

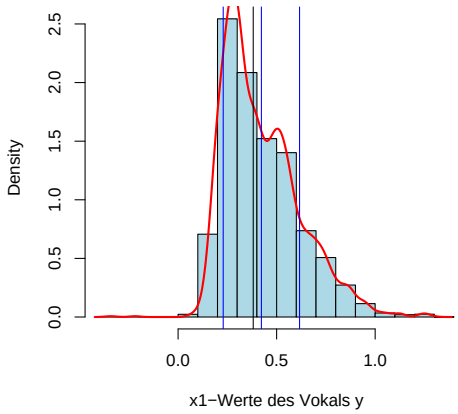


Abbildung B.118: Histogramm für den Vokal y insgesamt bei seltenen Silben

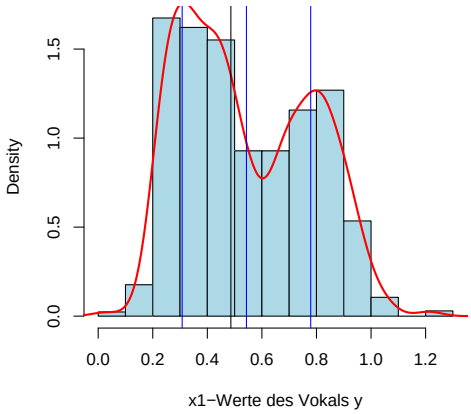


Abbildung B.119: Histogramm für den Vokal y für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

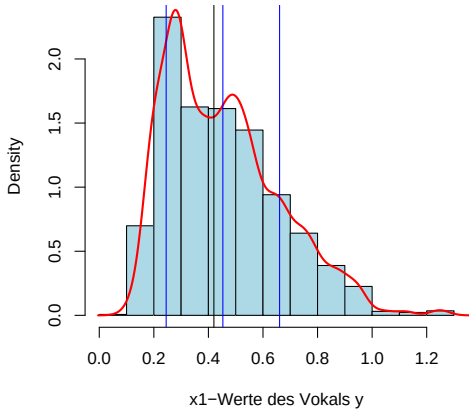


Abbildung B.120: Histogramm für den Vokal y für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

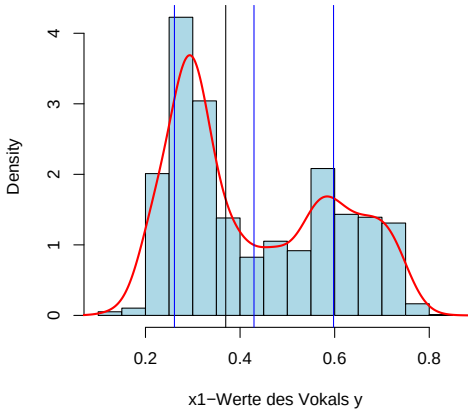


Abbildung B.121: Histogramm für den Vokal y für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

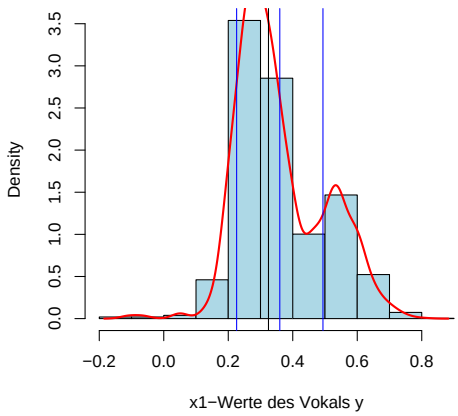


Abbildung B.122: Histogramm für den Vokal y für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

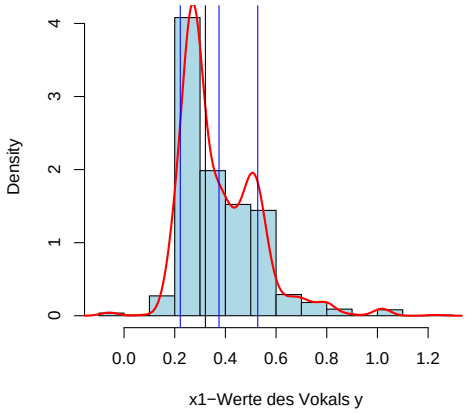


Abbildung B.123: Histogramm für den Vokal y für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben

B.12 Vokal aI

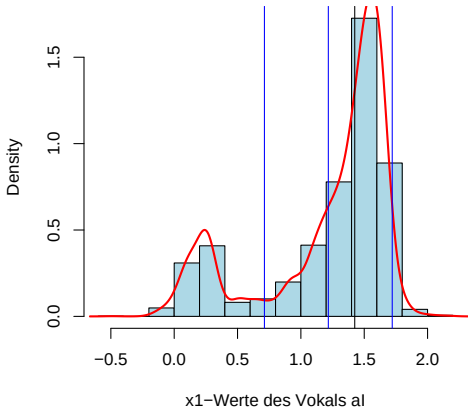


Abbildung B.124: Histogramm für den Vokal aI der männlichen Sprecher für häufige Silben

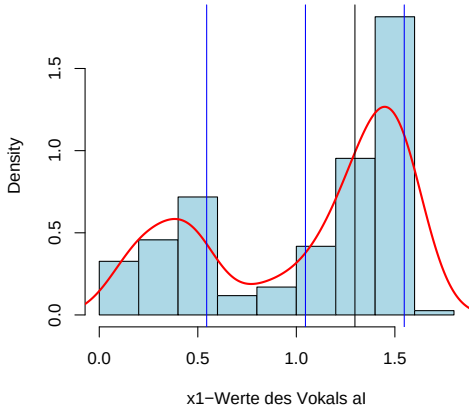


Abbildung B.125: Histogramm für den Vokal aI der männlichen Sprecher für seltene Silben

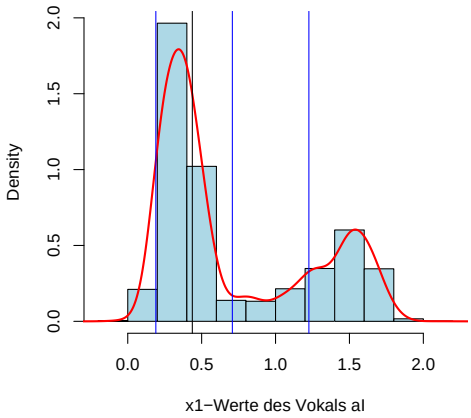


Abbildung B.126: Histogramm für den Vokal aI der weiblichen Sprecher für häufige Silben

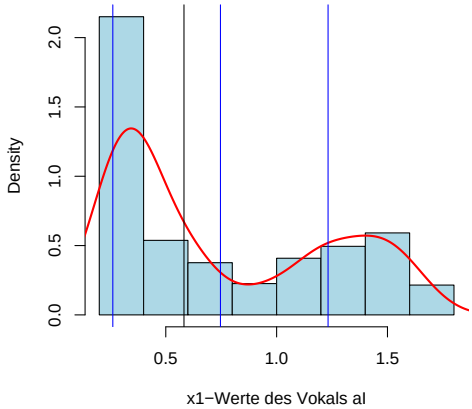


Abbildung B.127: Histogramm für den Vokal aI der weiblichen Sprecher für seltene Silben

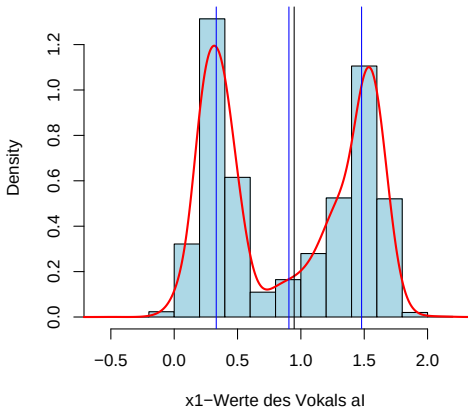


Abbildung B.128: Histogramm für den Vokal aI insgesamt bei häufigen Silben

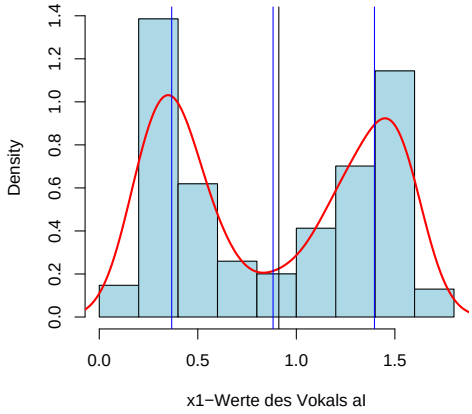


Abbildung B.129: Histogramm für den Vokal aI insgesamt bei seltenen Silben

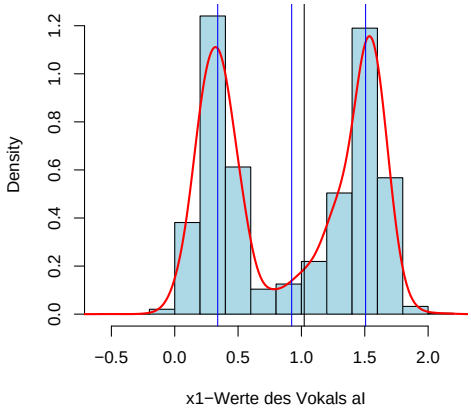


Abbildung B.130: Histogramm für den Vokal aI für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

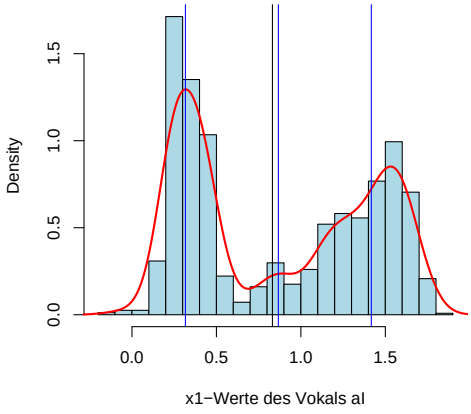


Abbildung B.131: Histogramm für den Vokal aI für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

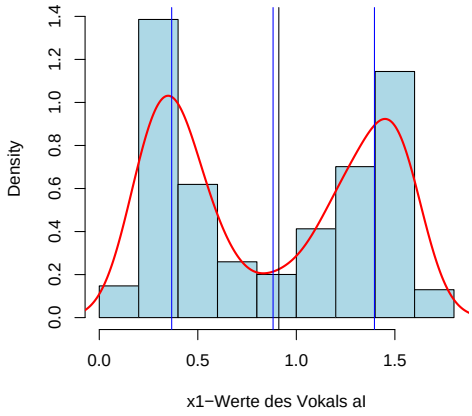


Abbildung B.132: Histogramm für den Vokal aI für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

B.13 Vokal aU

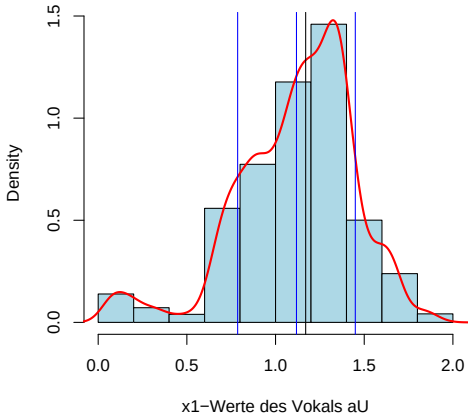


Abbildung B.133: Histogramm für den Vokal aU der männlichen Sprecher für häufige Silben

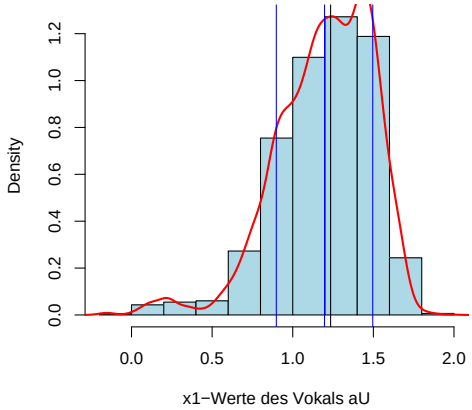


Abbildung B.134: Histogramm für den Vokal aU der männlichen Sprecher für seltene Silben

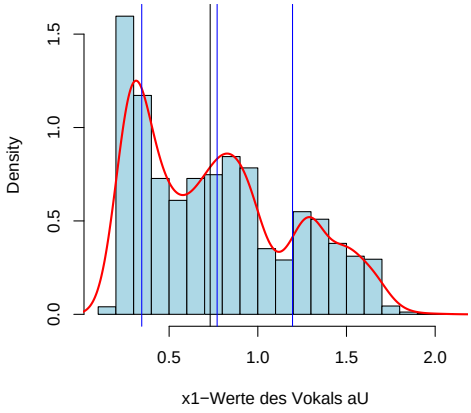


Abbildung B.135: Histogramm für den Vokal aU der weiblichen Sprecher für häufige Silben

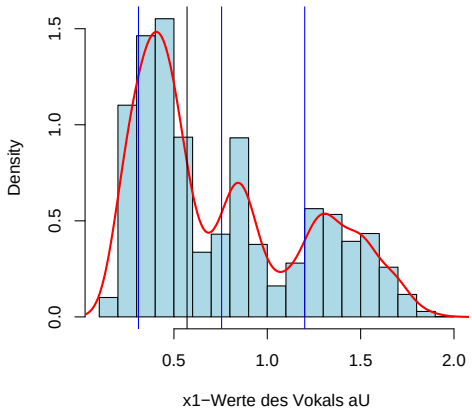


Abbildung B.136: Histogramm für den Vokal aU der weiblichen Sprecher für seltene Silben

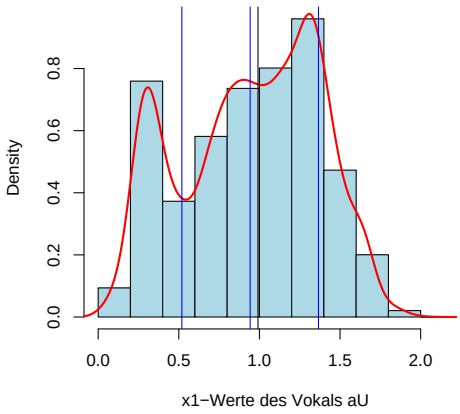


Abbildung B.137: Histogramm für den Vokal aU insgesamt bei häufigen Silben

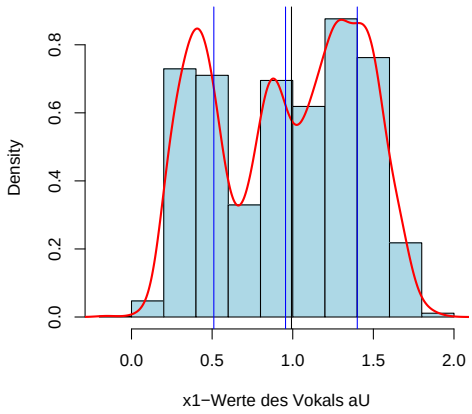


Abbildung B.138: Histogramm für den Vokal aU insgesamt bei seltenen Silben

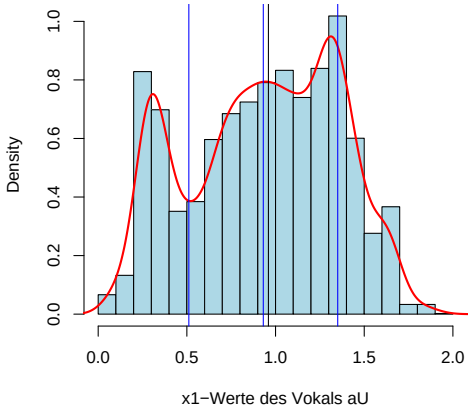


Abbildung B.139: Histogramm für den Vokal aU für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben

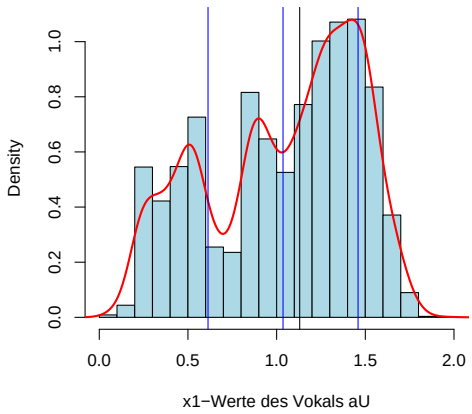


Abbildung B.140: Histogramm für den Vokal aU für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

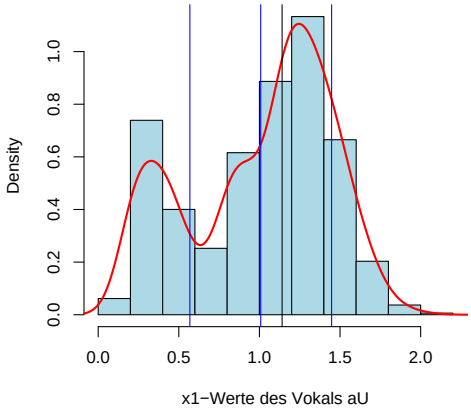


Abbildung B.141: Histogramm für den Vokal aU für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

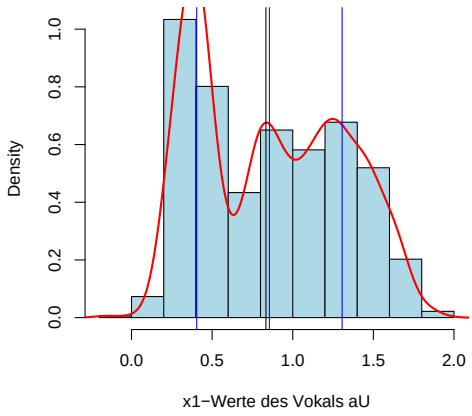


Abbildung B.142: Histogramm für den Vokal aU für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

B.14 Vokal oy

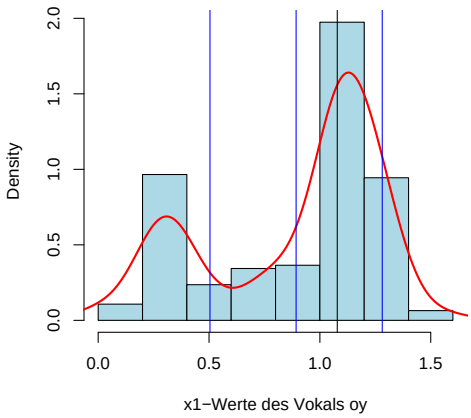


Abbildung B.143: Histogramm für den Vokal oy der männlichen Sprecher für häufige Silben

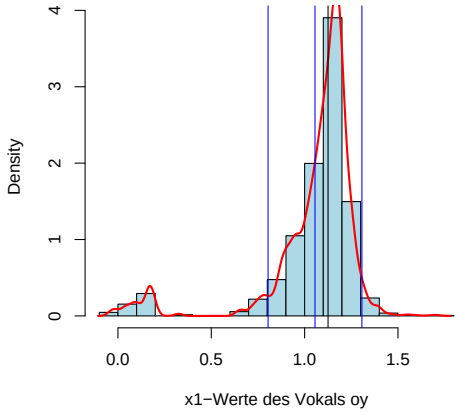


Abbildung B.144: Histogramm für den Vokal oy der männlichen Sprecher für seltene Silben

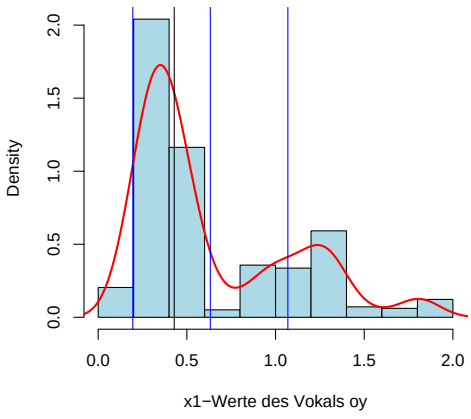


Abbildung B.145: Histogramm für den Vokal oy der weiblichen Sprecher für häufige Silben

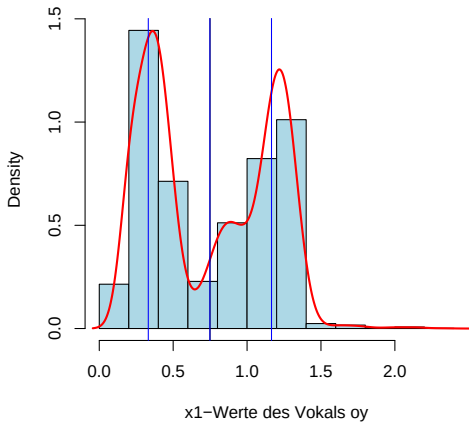


Abbildung B.146: Histogramm für den Vokal oy der weiblichen Sprecher für seltene Silben

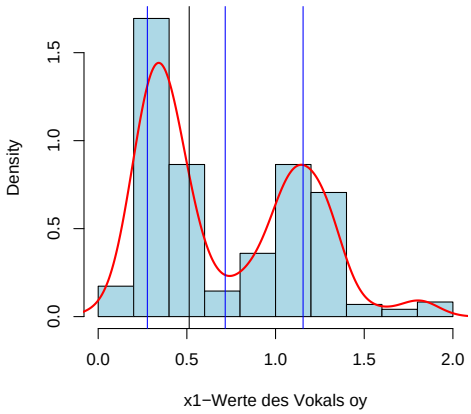


Abbildung B.147: Histogramm für den Vokal oy insgesamt bei häufigen Silben

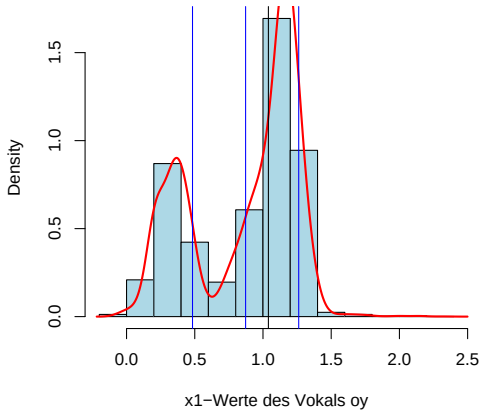


Abbildung B.148: Histogramm für den Vokal oy insgesamt bei seltenen Silben

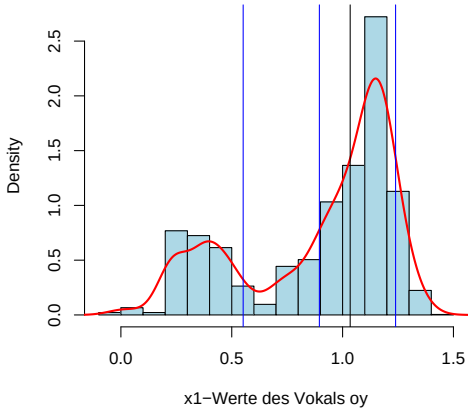


Abbildung B.149: Histogramm für den Vokal oy für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben

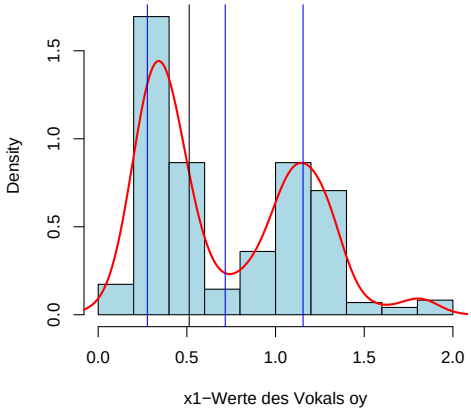


Abbildung B.150: Histogramm für den Vokal oy für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben

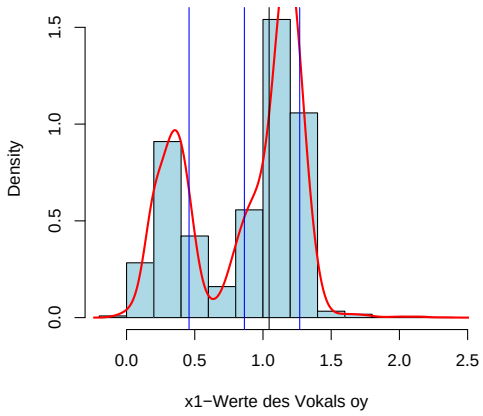


Abbildung B.151: Histogramm für den Vokal oy für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben

Anhang C

x_1/x_2-Verteilung

C.1 Kurze Vokale

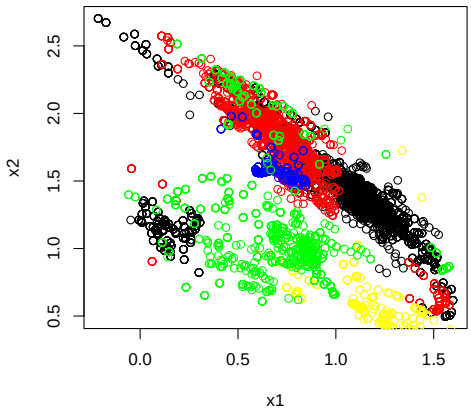


Abbildung C.1: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (9, E, I, U, O) in häufigen Silben bei männlichen Sprechern

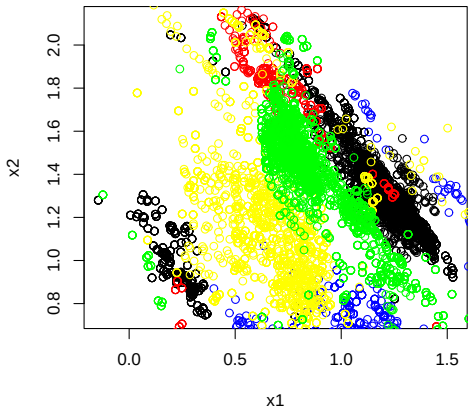


Abbildung C.2: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (U, E, I, O, 9) in seltenen Silben bei männlichen Sprechern

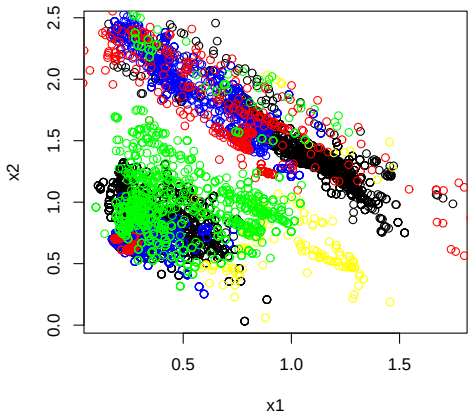


Abbildung C.3: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (E, 9, I, O, U) in häufigen Silben bei weiblichen Sprechern

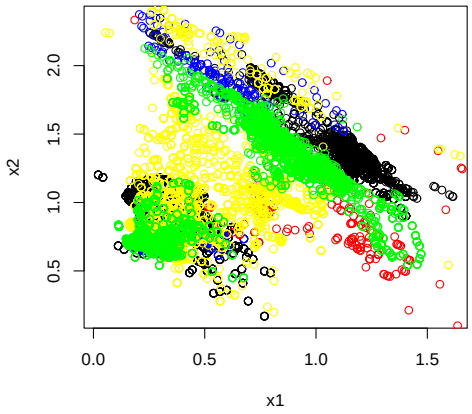


Abbildung C.4: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (E, O, I, U, 9) in seltenen Silben bei weiblichen Sprechern

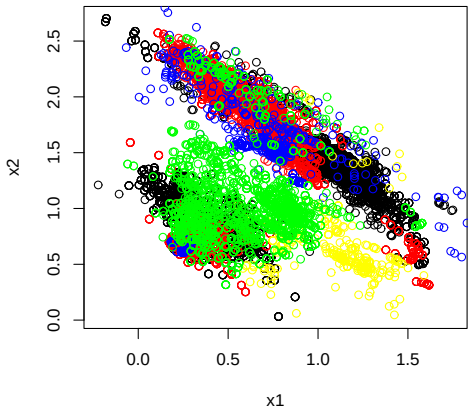


Abbildung C.5: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (E, I, 9, O, U) in häufigen Silben bei Sprechern insgesamt

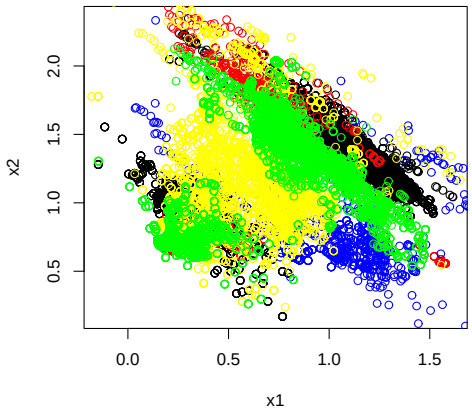


Abbildung C.6: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (E, I, O, U, 9) in seltenen Silben bei Sprechern insgesamt

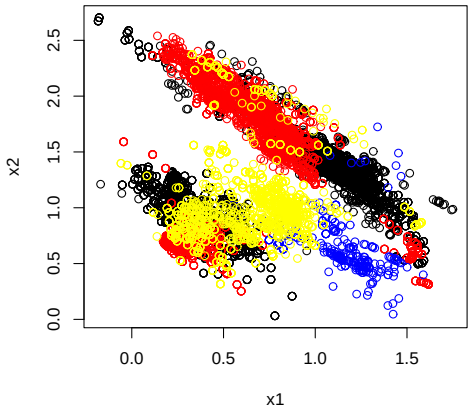


Abbildung C.7: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (E, I, O, U) in häufigen Silben für die Liste Mayer et al.

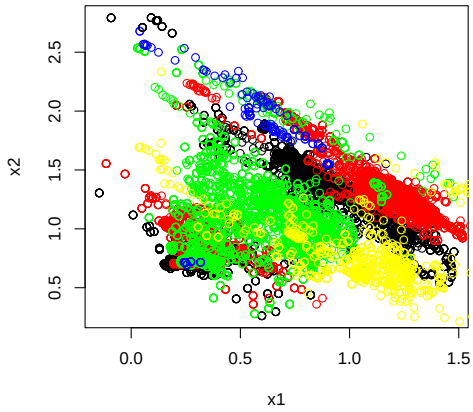


Abbildung C.8: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (9, E, I, O, U) in seltenen Silben für die Liste Mayer et al.

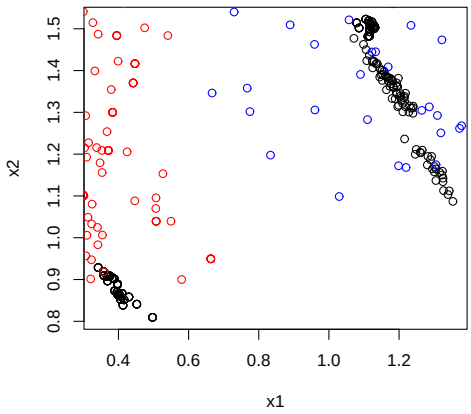


Abbildung C.9: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (E, U, 9) in häufigen Silben für die Liste Bettina Brendel

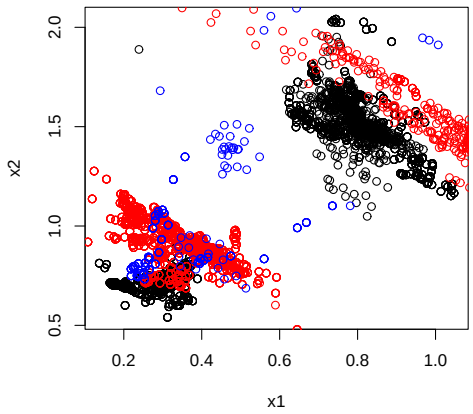


Abbildung C.10: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (9, E, U) in seltenen Silben für die Liste Bettina Brendel

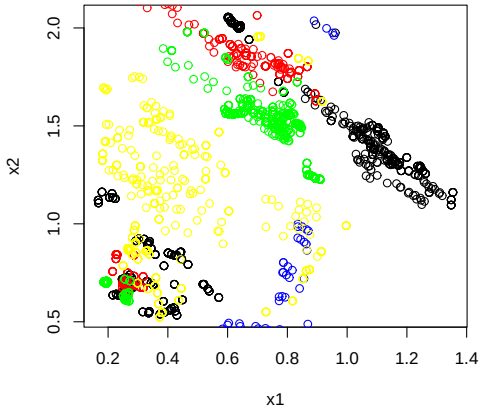


Abbildung C.11: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (E, I, O, U, 9) in häufigen Silben für die Liste Brain and Language

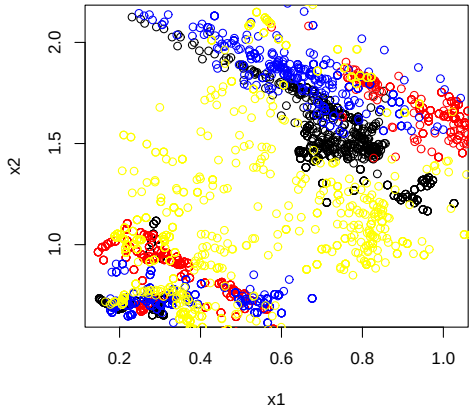


Abbildung C.12: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale (9, E, I, U) in seltenen Silben für die Liste Brain and Language

C.2 Lange Vokale

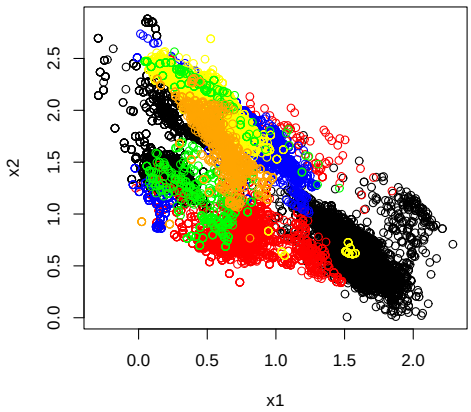


Abbildung C.13: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, e, i, o, u, y) in häufigen Silben bei männlichen Sprechern

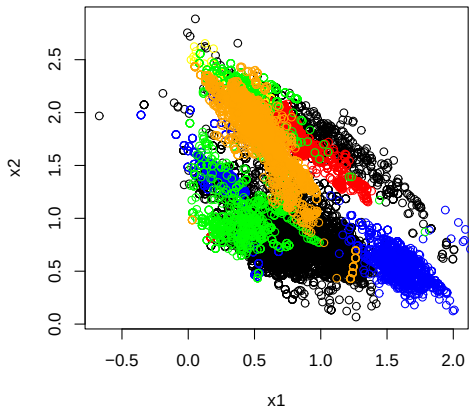


Abbildung C.14: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (o, e, i, a, u, y) in seltenen Silben bei männlichen Sprechern

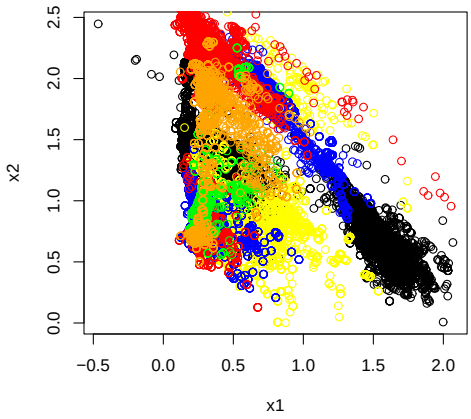


Abbildung C.15: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, i, e, o, u, y) in häufigen Silben bei weiblichen Sprechern

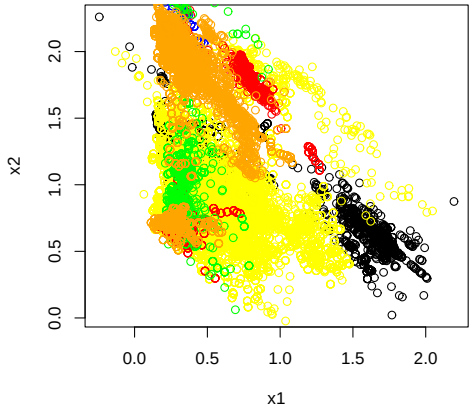


Abbildung C.16: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, e, i, o, u, y) in seltenen Silben bei weiblichen Sprechern

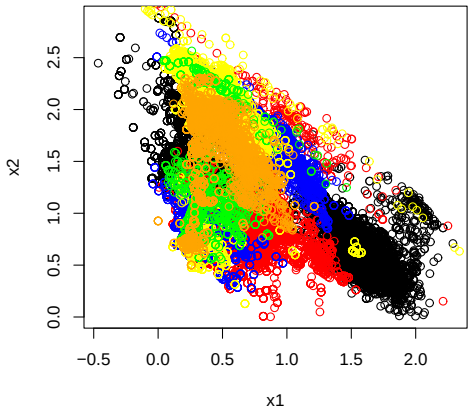


Abbildung C.17: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, o, e, i, u, y) in häufigen Silben bei Sprechern insgesamt

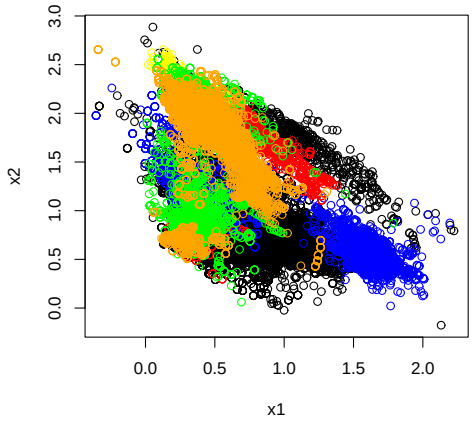


Abbildung C.18: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (o, e, a, i, u, y) in seltenen Silben bei Sprechern insgesamt

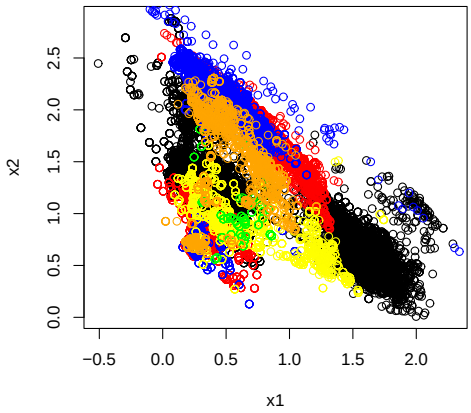


Abbildung C.19: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, e, i, o, u, y) in häufigen Silben für die Liste Mayer et al.

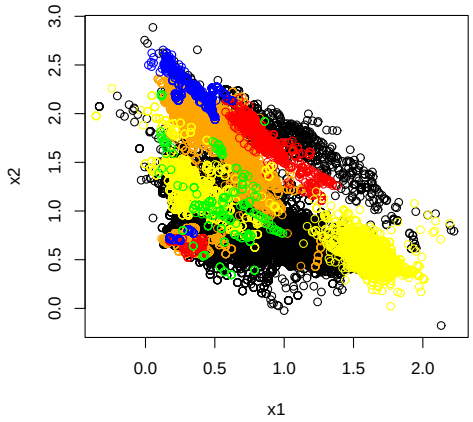


Abbildung C.20: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, e, i, o, u, y) in seltenen Silben für die Liste Mayer et al.

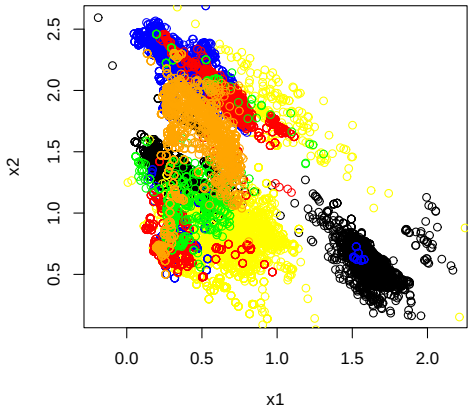


Abbildung C.21: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, e, i, o, u, y) in häufigen Silben für die Liste Bettina Brendel

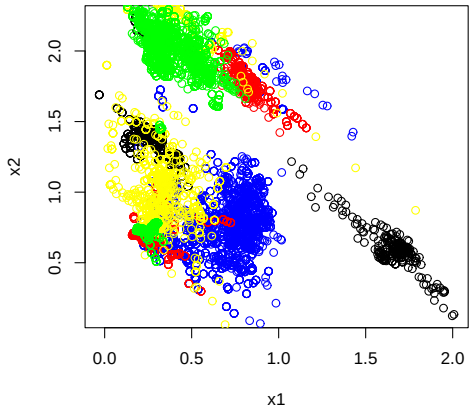


Abbildung C.22: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, e, o, u, y) in seltenen Silben für die Liste Bettina Brendel

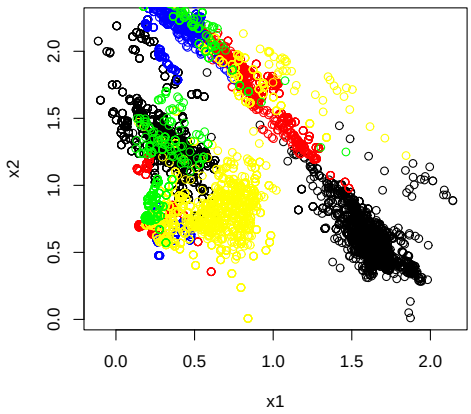


Abbildung C.23: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, e, i, o, u) in häufigen Silben für die Liste Brain and Language

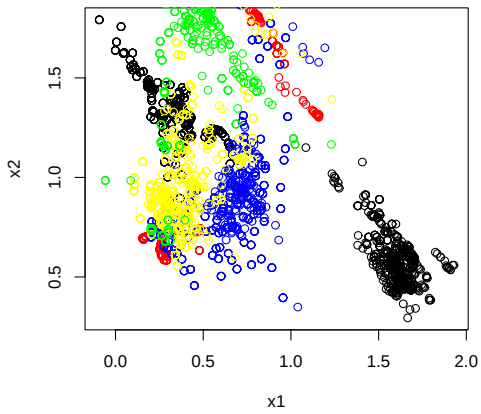


Abbildung C.24: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale (a, e, o, u, y) in seltenen Silben für die Liste Brain and Language

C.3 Diphtonge

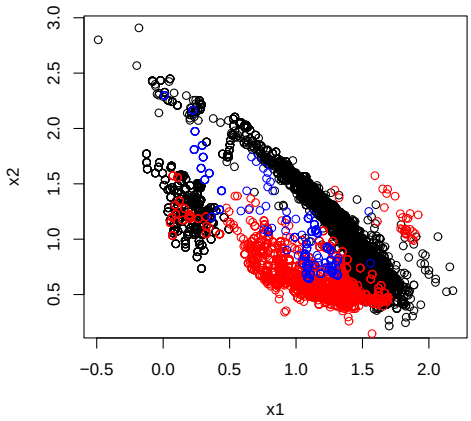


Abbildung C.25: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (aI, aU, oy) in häufigen Silben bei männlichen Sprechern

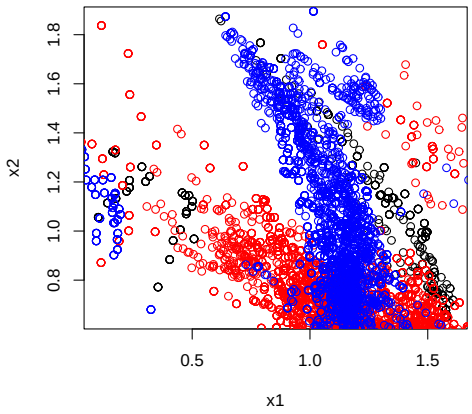


Abbildung C.26: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (aI, aU, oy) in seltenen Silben bei männlichen Sprechern

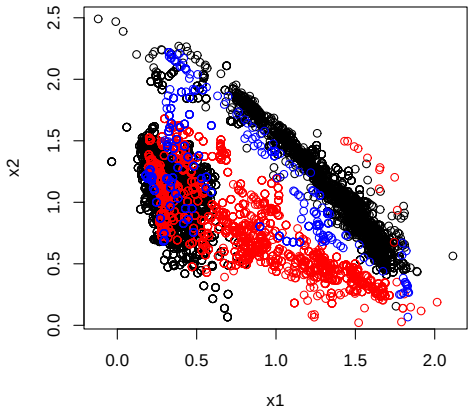


Abbildung C.27: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (aI, aU, oy) in häufigen Silben bei weiblichen Sprechern

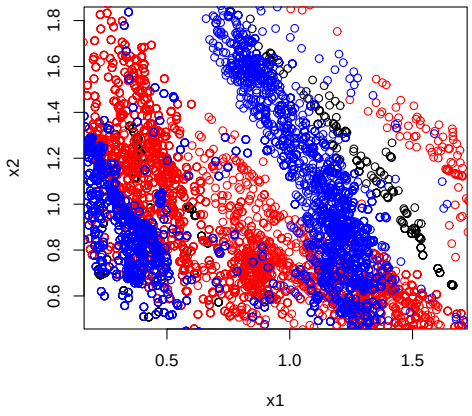


Abbildung C.28: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (aI, aU, oy) in seltenen Silben bei weiblichen Sprechern

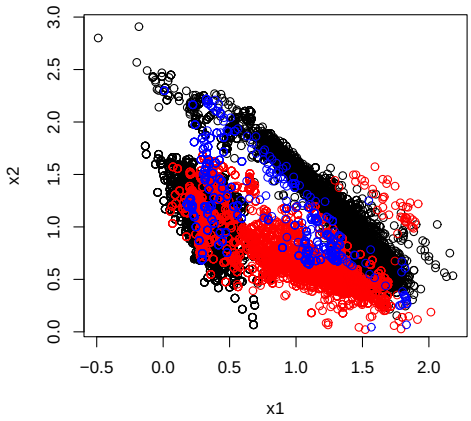


Abbildung C.29: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (aI, aU, oy) in häufigen Silben bei Sprechern insgesamt

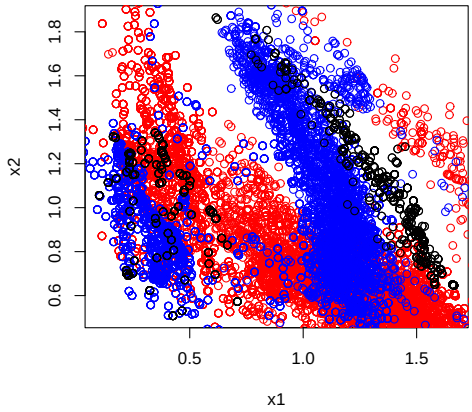


Abbildung C.30: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (aI, aU, oy) in seltenen Silben bei Sprechern insgesamt

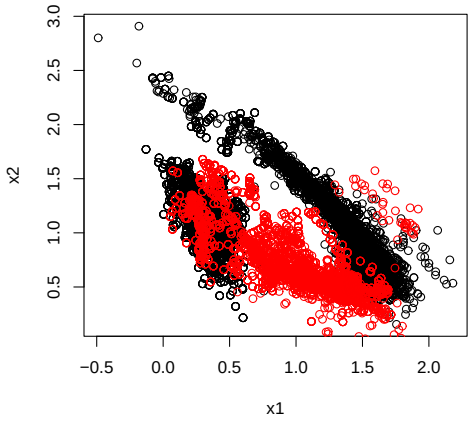


Abbildung C.31: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (aI, aU) in häufigen Silben für die Liste Mayer et al.

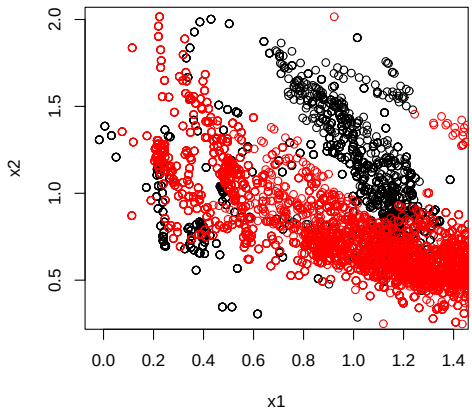


Abbildung C.32: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (oy, aU) in seltenen Silben für die Liste Mayer et al.

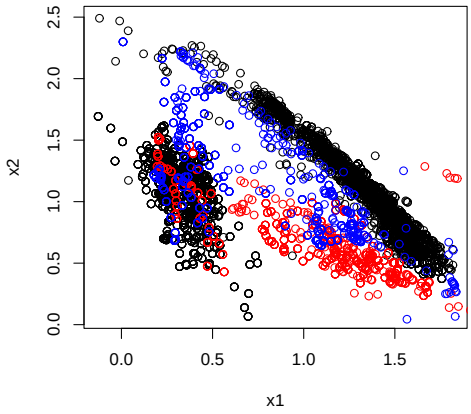


Abbildung C.33: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (aI, aU, oy) in häufigen Silben für die Liste Bettina Brendel

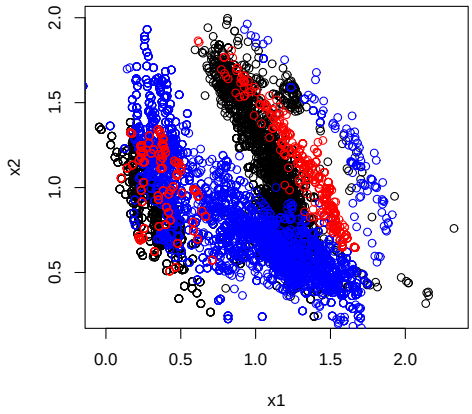


Abbildung C.34: Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge (oy, aI, aU) in seltenen Silben für die Liste Bettina Brendel

Tabellenverzeichnis

3.1 Komplexität und Wahrscheinlickeit der Listen 20

4.1 Protokollierte Daten 24
4.2 Stimmqualitätsparameter 25
4.3 Versprecherrate 27
4.4 Werte für den Vokal 9 32
4.5 Werte für den Vokal E 33
4.6 Werte für den Vokal I 34
4.7 Werte für den Vokal O 35
4.8 Werte für den Vokal U 36
4.9 Werte für den Vokal a 37
4.10 Werte für den Vokal e 38
4.11 Werte für den Vokal i 39
4.12 Werte für den Vokal o 40
4.13 Werte für den Vokal u 41
4.14 Werte für den Vokal y 41
4.15 Werte für den Diphtong aI 42
4.16 Werte für den Diphtong aU 43
4.17 Werte für den Vokal oy 44

A.1 Liste Mayer et al., Teil 1 49
A.2 Liste Mayer et al., Teil 2 50
A.3 Liste Mayer et al., Teil 3 51
A.4 Liste Mayer et al., Teil 4 52
A.5 Liste Bettina, hochfrequente Silben 53
A.6 Liste Bettina, niederfrequente Silben 53
A.7 Liste Brain and Language, niederfrequente Silben 54

A.8 Liste Brain and Language, hochfrequente Silben 55

Abbildungsverzeichnis

2.1 Stabilitätsbereiche 5
2.2 DIVA-Modell 7
2.3 blueprint of the speaker 10
2.4 Zwei Wege der Sprachproduktion 13

B.1 Histogramm für den Vokal 9 der männlichen Sprecher für häufige Silben 57
B.2 Histogramm für den Vokal 9 der männlichen Sprecher für seltene Silben 57
B.3 Histogramm für den Vokal 9 der weiblichen Sprecher für häufige Silben 57
B.4 Histogramm für den Vokal 9 der weiblichen Sprecher für seltene Silben 57
B.5 Histogramm für den Vokal 9 insgesamt bei häufigen Silben 58
B.6 Histogramm für den Vokal 9 insgesamt bei seltenen Silben 58
B.7 Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben 58
B.8 Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben 59
B.9 Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben 59
B.10 Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben 59
B.11 Histogramm für den Vokal 9 für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben 59
B.12 Histogramm für den Vokal E der männlichen Sprecher für häufige Silben 60

B.13 Histogramm für den Vokal E der männlichen Sprecher für seltene Silben 60
B.14 Histogramm für den Vokal E der weiblichen Sprecher für häufige Silben 60
B.15 Histogramm für den Vokal E der weiblichen Sprecher für seltene Silben 60
B.16 Histogramm für den Vokal E insgesamt bei häufigen Silben 61
B.17 Histogramm für den Vokal E insgesamt bei seltenen Silben 61
B.18 Histogramm für den Vokal E für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben 61
B.19 Histogramm für den Vokal E für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben 61
B.20 Histogramm für den Vokal E für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben 62
B.21 Histogramm für den Vokal E für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben 62
B.22 Histogramm für den Vokal E für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben 62
B.23 Histogramm für den Vokal E für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben 62
B.24 Histogramm für den Vokal I der männlichen Sprecher für häufige Silben 63
B.25 Histogramm für den Vokal I der männlichen Sprecher für seltene Silben 63
B.26 Histogramm für den Vokal I der weiblichen Sprecher für häufige Silben 63
B.27 Histogramm für den Vokal I der weiblichen Sprecher für seltene Silben 63
B.28 Histogramm für den Vokal I insgesamt bei häufigen Silben 64
B.29 Histogramm für den Vokal I insgesamt bei seltenen Silben 64
B.30 Histogramm für den Vokal I für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben 64
B.31 Histogramm für den Vokal I für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben 64

B.32 Histogramm für den Vokal I für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben . . . 65
B.33 Histogramm für den Vokal I für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben . . . 65
B.34 Histogramm für den Vokal O der männlichen Sprecher für häufige Silben . . . 66
B.35 Histogramm für den Vokal O der männlichen Sprecher für seltene Silben . . . 66
B.36 Histogramm für den Vokal O der weiblichen Sprecher für häufige Silben . . . 66
B.37 Histogramm für den Vokal O der weiblichen Sprecher für seltene Silben . . . 66
B.38 Histogramm für den Vokal O insgesamt bei häufigen Silben . . . 67
B.39 Histogramm für den Vokal O insgesamt bei seltenen Silben . . . 67
B.40 Histogramm für den Vokal O für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben . . . 67
B.41 Histogramm für den Vokal O für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben . . . 67
B.42 Histogramm für den Vokal O für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben . . . 68
B.43 Histogramm für den Vokal U der männlichen Sprecher für häufige Silben . . . 69
B.44 Histogramm für den Vokal U der männlichen Sprecher für seltene Silben . . . 69
B.45 Histogramm für den Vokal U der weiblichen Sprecher für häufige Silben . . . 69
B.46 Histogramm für den Vokal U der weiblichen Sprecher für seltene Silben . . . 69
B.47 Histogramm für den Vokal U insgesamt bei häufigen Silben . . . 70
B.48 Histogramm für den Vokal U insgesamt bei seltenen Silben . . . 70
B.49 Histogramm für den Vokal U für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben . . . 70
B.50 Histogramm für den Vokal U für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben . . . 70

B.51 Histogramm für den Vokal U für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben . . . 71
B.52 Histogramm für den Vokal U für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben . . . 71
B.53 Histogramm für den Vokal U für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben . . . 71
B.54 Histogramm für den Vokal U für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben . . . 71
B.55 Histogramm für den Vokal a der männlichen Sprecher für häufige Silben . . . 72
B.56 Histogramm für den Vokal a der männlichen Sprecher für seltene Silben . . . 72
B.57 Histogramm für den Vokal a der weiblichen Sprecher für häufige Silben . . . 72
B.58 Histogramm für den Vokal a der weiblichen Sprecher für seltene Silben . . . 72
B.59 Histogramm für den Vokal a insgesamt bei häufigen Silben . . . 73
B.60 Histogramm für den Vokal a insgesamt bei seltenen Silben . . . 73
B.61 Histogramm für den Vokal a für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben . . . 73
B.62 Histogramm für den Vokal a für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben . . . 73
B.63 Histogramm für den Vokal a für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben . . . 74
B.64 Histogramm für den Vokal a für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben . . . 74
B.65 Histogramm für den Vokal a für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben . . . 74
B.66 Histogramm für den Vokal a für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben . . . 74
B.67 Histogramm für den Vokal e der männlichen Sprecher für häufige Silben . . . 75
B.68 Histogramm für den Vokal e der männlichen Sprecher für seltene Silben . . . 75

B.69 Histogramm für den Vokal e der weiblichen Sprecher für häufige Silben . . . 75
B.70 Histogramm für den Vokal e der weiblichen Sprecher für seltene Silben . . . 75
B.71 Histogramm für den Vokal e insgesamt bei häufigen Silben 76
B.72 Histogramm für den Vokal e insgesamt bei seltenen Silben 76
B.73 Histogramm für den Vokal e für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben . . . 76
B.74 Histogramm für den Vokal e für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben . . . 76
B.75 Histogramm für den Vokal e für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben . . . 77
B.76 Histogramm für den Vokal e für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben . . . 77
B.77 Histogramm für den Vokal e für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben . . . 77
B.78 Histogramm für den Vokal e für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben . . . 77
B.79 Histogramm für den Vokal i der männlichen Sprecher für häufige Silben . . . 78
B.80 Histogramm für den Vokal i der männlichen Sprecher für seltene Silben . . . 78
B.81 Histogramm für den Vokal i der weiblichen Sprecher für häufige Silben . . . 78
B.82 Histogramm für den Vokal i der weiblichen Sprecher für seltene Silben . . . 78
B.83 Histogramm für den Vokal i insgesamt bei häufigen Silben 79
B.84 Histogramm für den Vokal i insgesamt bei seltenen Silben 79
B.85 Histogramm für den Vokal i für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben . . . 79
B.86 Histogramm für den Vokal i für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben . . . 79
B.87 Histogramm für den Vokal i für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben . . . 80

B.88 Histogramm für den Vokal i für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben 80
B.89 Histogramm für den Vokal o der männlichen Sprecher für häufige Silben 81
B.90 Histogramm für den Vokal o der männlichen Sprecher für seltene Silben 81
B.91 Histogramm für den Vokal o der weiblichen Sprecher für häufige Silben 81
B.92 Histogramm für den Vokal o der weiblichen Sprecher für seltene Silben 81
B.93 Histogramm für den Vokal o insgesamt bei häufigen Silben 82
B.94 Histogramm für den Vokal o insgesamt bei seltenen Silben 82
B.95 Histogramm für den Vokal o für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben 82
B.96 Histogramm für den Vokal o für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben 82
B.97 Histogramm für den Vokal o für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben 83
B.98 Histogramm für den Vokal o für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben 83
B.99 Histogramm für den Vokal o für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben 83
B.100 Histogramm für den Vokal o für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben 83
B.101 Histogramm für den Vokal u der männlichen Sprecher für häufige Silben 84
B.102 Histogramm für den Vokal u der männlichen Sprecher für seltene Silben 84
B.103 Histogramm für den Vokal u der weiblichen Sprecher für häufige Silben 84
B.104 Histogramm für den Vokal u der weiblichen Sprecher für seltene Silben 84
B.105 Histogramm für den Vokal u insgesamt bei häufigen Silben 85
B.106 Histogramm für den Vokal u insgesamt bei seltenen Silben 85

B.107 Histogramm für den Vokal u für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben . . . 85
B.108 Histogramm für den Vokal u für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben . . . 85
B.109 Histogramm für den Vokal u für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben . . . 86
B.110 Histogramm für den Vokal u für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben . . . 86
B.111 Histogramm für den Vokal u für die Liste Brain and Language bei häufigen Silben . . . 86
B.112 Histogramm für den Vokal u für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben . . . 86
B.113 Histogramm für den Vokal y der männlichen Sprecher für häufige Silben . . . 87
B.114 Histogramm für den Vokal y der männlichen Sprecher für seltene Silben . . . 87
B.115 Histogramm für den Vokal y der weiblichen Sprecher für häufige Silben . . . 87
B.116 Histogramm für den Vokal y der weiblichen Sprecher für seltene Silben . . . 87
B.117 Histogramm für den Vokal y insgesamt bei häufigen Silben . . . 88
B.118 Histogramm für den Vokal y insgesamt bei seltenen Silben . . . 88
B.119 Histogramm für den Vokal y für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben . . . 88
B.120 Histogramm für den Vokal y für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben . . . 88
B.121 Histogramm für den Vokal y für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben . . . 89
B.122 Histogramm für den Vokal y für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben . . . 89
B.123 Histogramm für den Vokal y für die Liste Brain and Language bei seltenen Silben . . . 89
B.124 Histogramm für den Vokal aI der männlichen Sprecher für häufige Silben . . . 90

B.125 Histogramm für den Vokal aI der männlichen Sprecher für seltene Silben 90
B.126 Histogramm für den Vokal aI der weiblichen Sprecher für häufige Silben 90
B.127 Histogramm für den Vokal aI der weiblichen Sprecher für seltene Silben 90
B.128 Histogramm für den Vokal aI insgesamt bei häufigen Silben . . . 91
B.129 Histogramm für den Vokal aI insgesamt bei seltenen Silben 91
B.130 Histogramm für den Vokal aI für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben 91
B.131 Histogramm für den Vokal aI für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben 92
B.132 Histogramm für den Vokal aI für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben 92
B.133 Histogramm für den Vokal aU der männlichen Sprecher für häufige Silben 93
B.134 Histogramm für den Vokal aU der männlichen Sprecher für seltene Silben 93
B.135 Histogramm für den Vokal aU der weiblichen Sprecher für häufige Silben 93
B.136 Histogramm für den Vokal aU der weiblichen Sprecher für seltene Silben 93
B.137 Histogramm für den Vokal aU insgesamt bei häufigen Silben . . . 94
B.138 Histogramm für den Vokal aU insgesamt bei seltenen Silben . . . 94
B.139 Histogramm für den Vokal aU für die Liste Mayer et al. bei häufigen Silben 94
B.140 Histogramm für den Vokal aU für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben 94
B.141 Histogramm für den Vokal aU für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben 95
B.142 Histogramm für den Vokal aU für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben 95
B.143 Histogramm für den Vokal oy der männlichen Sprecher für häufige Silben 96

B.144 Histogramm für den Vokal oy der männlichen Sprecher für seltene Silben . . . 96
B.145 Histogramm für den Vokal oy der weiblichen Sprecher für häufige Silben . . . 96
B.146 Histogramm für den Vokal oy der weiblichen Sprecher für seltene Silben . . . 96
B.147 Histogramm für den Vokal oy insgesamt bei häufigen Silben . . . 97
B.148 Histogramm für den Vokal oy insgesamt bei seltenen Silben . . . 97
B.149 Histogramm für den Vokal oy für die Liste Mayer et al. bei seltenen Silben . . . 97
B.150 Histogramm für den Vokal oy für die Liste Bettina Brendel bei häufigen Silben . . . 98
B.151 Histogramm für den Vokal oy für die Liste Bettina Brendel bei seltenen Silben . . . 98

C.1 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in häufigen Silben bei männlichen Sprechern . . . 99
C.2 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in seltenen Silben bei männlichen Sprechern . . . 99
C.3 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in häufigen Silben bei weiblichen Sprechern . . . 100
C.4 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in seltenen Silben bei weiblichen Sprechern . . . 100
C.5 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in häufigen Silben bei Sprechern insgesamt . . . 100
C.6 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in seltenen Silben bei Sprechern insgesamt . . . 100
C.7 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in häufigen Silben für die Liste Mayer et al. . . . 101
C.8 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in seltenen Silben für die Liste Mayer et al. . . . 101
C.9 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in häufigen Silben für die Liste Bettina Brendel . . . 101
C.10 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in seltenen Silben für die Liste Bettina Brendel . . . 101

C.11 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in häufigen Silben für die Liste Brain and Language 102
C.12 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für kurze Vokale in seltenen Silben für die Liste Brain and Language 102
C.13 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in häufigen Silben bei männlichen Sprechern 103
C.14 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in seltenen Silben bei männlichen Sprechern 103
C.15 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in häufigen Silben bei weiblichen Sprechern 103
C.16 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in seltenen Silben bei weiblichen Sprechern 103
C.17 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in häufigen Silben bei Sprechern insgesamt 104
C.18 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in seltenen Silben bei Sprechern insgesamt 104
C.19 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in häufigen Silben für die Liste Mayer et al. 104
C.20 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in seltenen Silben für die Liste Mayer et al. 104
C.21 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in häufigen Silben für die Liste Bettina Brendel 105
C.22 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in seltenen Silben für die Liste Bettina Brendel 105
C.23 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in häufigen Silben für die Liste Brain and Language 105
C.24 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für lange Vokale in seltenen Silben für die Liste Brain and Language 105
C.25 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in häufigen Silben bei männlichen Sprechern 106
C.26 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in seltenen Silben bei männlichen Sprechern 106
C.27 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in häufigen Silben bei weiblichen Sprechern 106

C.28 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in seltenen Silben bei weiblichen Sprechern 106
C.29 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in häufigen Silben bei Sprechern insgesamt 107
C.30 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in seltenen Silben bei Sprechern insgesamt 107
C.31 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in häufigen Silben für die Liste Mayer et al. 107
C.32 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in seltenen Silben für die Liste Mayer et al. 107
C.33 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in häufigen Silben für die Liste Bettina Brendel 108
C.34 Verteilung der x_1- und x_2-Werte für Diphtonge in seltenen Silben für die Liste Bettina Brendel 108

Literaturverzeichnis

[1] Aichert, Ingrid; Ziegler, Wolfram *Syllable frequency and syllable structure in apraxia of speech.*

[2] Beskow, Jonas; Sjölander Kåre *WaveSurfer* http://www.speech.kth.se/wavesurfer Brain and Language Volume 88, Pages 148-159. (2004)

[3] Bußmann, Hadumod *Lexikon der Sprachwissenschaft* Alfred Kröner Verlag Stuttgart. (1990)

[4] CELEX http://www.ru.nl/celex/

[5] Cholin, Joana *Syllables in Speech Production: Effects of Syllable Preparation and Syllable Frequency.* MPI Series in Psycholinguistics 26. (2004)

[6] ESPS Programs Version 5.3.1. Entropic Inc. 1999

[7] Guenther, Frank H. *Neural control of speech movements* A. Meyer and N. Schiller (eds.), Phonetics and Phonology in Language Comprehension and Production: Differences and Similarities. Berlin: Mouton de Gruyter.

[8] Guenther, Frank H.; Ghosh Satrajit S. *A Model of Cortical an Cerebellar Function in Speech.* Proceedings of the XVth International Congress of Phonetic Sciences. Barcelona: 15th ICPhS Organizing Committee. (2003)

[9] Johnson, Keith *Acoustic and Auditory Phonetics* University of California, Berkley. Blackwell Publishing (2002)

[10] Lauterbach, Katharina N. R. *Silbenfrequenz und Silbenkomplexität: Modelle zum „Mental Syllabary“ und ihre Bedeutungen für den klinischen Bereich* Magisterarbeit. (2004)

[11] Levelt, Willem J. M.; Wheeldon, L. *Do speakers have access to mental syllabary?* Cognition 50:239-69. (1994)

[12] Levelt, Willem J.M.; Roelofs, Ardi; Meyer, Antje S. *A theory of lexical access in speech production* Behavioral and Brain Sciences 22:1-75. (1999)

[13] Mayer, Jörg; Ackermann, Hermann; Dogil, Grzegorz; Erb, Michael; Grodd, Wolfgang *Syllable retrieval vs. online assembly: fMRI examination of the syllabary.* Proceedings of the XVth International Congress of Phonetic Sciences. Barcelona: 15th ICPhS Organizing Committee. (2003)

[14] Müller, Karin; Möbius, Bernd; Prescher, Detlef *Inducing Probabilistic Syllable Classes Using Multivariate Clustering* In Proceedings of the 38th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2000), Hong Kong, China.

[15] Müller, Karin *Probabilistic Syllable Modeling Using Unsupervised Learning Methods* AIMS 2002, Vol.8, No.3 PhD Thesis, University of Stuttgart, Institute of Natural Language Processing (IMS)

[16] Neppert, Joachim M.H. *Elemente einer Akustischen Phonetik* Hamburg: Buske, 1999

[17] Pützer, Manfred; Wokurek, Wolfgang *Multiparametrische Stimmprofildifferenzierung zu männlichen und weiblichen Normalstimmen auf der Grundlage akustischer Analysen* noch unveröffentlicht

[18] R Development Core Team *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org.

[19] Rizzolatti G.; Craighero L. *The mirror-neuron system* Annual Review of Neuroscience 27:169-92 (2004)

[20] Stevens, Kenneth N. *On the quantal nature of speech.* Journal of Phonetics. 17:3-45 (1972)

[21] Schneider, Katrin *Eine akustische Studie der Frequenz- und Amplitudenparameter deutscher Vokale* Diplomarbeit. (2001)

[22] Stevens, Kenneth N.; Hanson H. M. *Classification of glottal vibration from acoustic measurements* Fujimura O., Hirano M. (Eds.) Vocal Fold Physiology. Cambridge MA: Hiltop Univeristy Press. 1994:147-170

[23] Varley, Rosemary; Whiteside, Sandra P. *What is the underlying impairment in acquired apraxia of speech?* Aphasiology 15, 2001:39-49

[24] Wikipedia http://de.wikipedia.org/wiki

[25] Woods, Anthony; Fletcher, Paul; Hughes, Arthur *Statistics in language studies* Cambridge Textbooks in Linguistics (1986)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen, die mich in vielfältiger Weise unterstützt haben, meinen Dank aussprechen:

An erster Stelle möchte ich mich bei **Prof. Dr. Grzegorz Dogil** bedanken. Sein Wissen über die kognitiven Verarbeitung von Sprachen haben mein Interesse an diesem Gebiet geweckt.

Bedanken möchte ich mich aber auch bei allen, die mir bei der Realisierung meiner Diplomarbeit unterstützt haben:

- **Wolfgang Wokurek** für unkomplizierte Gespräche und hilfreiche Hinweise
- **Manuel Kountz** für die Erklärungen und die Geduld alles bei Bedarf nochmals zu erläutern
- **Hanns Maier** für das Aufnahmetool und die Einweisung
- **Sabine Dieterle** für die schnelle Beschaffung von Informationen
- Den Probanden **Alexander, Andreas, Carmen, Christiane, Claudius, Hanfried, Karin, Karoline, Larissa, Peggy, Rainer, Sebastian, Sonja, Sven, Tobias und Vanessa** dafür dass ihr bereit wart, mir eine Stunde zu opfern und euch die Zunge verknoten zu lassen
- **Sven Markert** für das Korrekturlesen, auch wenn du manchmal an meinen Deutschkünsten gezweifelt hast
- **Alexander Benner** für hilfreiche Gespräche, Tipps und für viele Kleinigkeiten, die doch viel ausmachen

Ich möchte mich aber auch bei denen bedanken, die mir auf andere Weise geholfen haben. Mein Dank gilt meinen Eltern, dafür dass sie mich auf meinem Weg unterstützt haben. Viele andere haben für mich gebetet oder waren auf andere Weise eine Hilfe für mich. Vielen Dank. Danken möchte ich deshalb auch Gott, meinem HERRN, der mich mit vielem Guten versorgt hat und der es nie an Unterstützung und Ermutigung hat fehlen lassen.