
Formantfrequenzwerte der türkischen Vokale: Eine statistische Analyse der ersten zwei Formantfrequenzwerte der Vokale von drei Sprechern des Türkischen

Kenan OTURAN

Abstract: *This paper investigates first and second formant frequencies (F1 and F2) of the realizations of 8 turkish vowel phonemes /i/, /e/, /y/, /ø/, /a/, /u/, /o/ and /ɤ/. Three speakers of Turkish read a text in Turkish. 21 realizations for each of the 8 vowel classes were selected (3 speakers x 21 realizations = 63 realizations for each vowel classes). Digital formant frequency measurements were performed for the vowels; the obtained values are discussed in terms of descriptive statistics.*

Key words: *Turkish vowels, formant frequencies of vowels.*

Zusammenfassung: *Bei der vorliegenden Untersuchung geht es um die ersten zwei Formantfrequenzen (F1 und F2) der Realisierungen der türkischen Vokalphoneme /i/, /e/, /y/, /ø/, /a/, /u/, /o/ und /ɤ/. Drei Sprecher des Türkischen lasen einen Text in Türkisch, aus dem 21 Realisierungen für jede der 8 Vokalphonemklassen ausgewählt wurden (3 Sprecher x 21 Realisierungen = 63 Realisierungen für jede Vokalphonemklasse). Die Formantfrequenzen wurden mit Hilfe eines Computer-programms gemessen und die gemessenen Werte dann deskriptiv statistisch für jede Vokalphonemklasse diskutiert.*

Schlüsselwörter: *Türkische Vokale, Formantfrequenzen der Vokale.*

Öz: *Makalede 8 Türkçe ünlü ses biriminin (/i/, /e/, /y/, /ø/, /a/, /u/, /o/ ve /ɤ/) telaffuzlarındaki birinci ve ikinci formant frekansları konu olarak ele alınmıştır. Üç Türk konuşmacının okuduğu Türkçe metinden her 8 ünlü sesbiriminin 7 örneği seçilmiştir (3 konuşmacı x 21 örnek = her ünlü ses birimi için 63 telaffuz örneği). Bir bilgisayar programı yardımıyla her 21 örneğin formant frekansları ölçülmüş ve elde edilen değerler istatistiksel olarak tartışılmıştır.*

Anahtar sözcükler: *Türkçe ünlü, ünlü formant frekansları.*

1. EINLEITUNG

Außer einiger phonologisch orientiert-akustisch fundierten Arbeiten wie von Lotz (1962) und Selen (1979) ist uns keine Arbeit bekannt, die sich speziell statistisch mit den akustischen Merkmalen der betonten türkischen Vokale befaßt. Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um die akustischen Strukturen der silbenbildenden Vokale im Türkischen und die Verteilung ihrer Formantfrequenzen. Die vorliegende Untersuchung, die es zum Ziel nimmt, die statistischen Verhältnisse zwischen den einzelnen Realisationsklassen der türkischen Vokale zu ermitteln, ist das Ergebnis einer Pilotstudie für eine weitere umfangreichere Untersuchung.

2. DAS UNTERSUCHUNGSMATERIAL

2.1. Die Realisation des Textes

Als Untersuchungsmaterial wurde ein neutraler Lesetext gewählt, so daß die jeweilige Versuchsperson ohne emotionelle Vortragsweise den Text in neutraler Weise liest. Der Text, der dem Buch "Die Regel für die Phonetik und Intonation des Deutschen" (Alman Dilinin Fonetik ve Entonasyon Kuralları) von Selen (1985) entnommen ist, dauert ungefähr 15 Minuten.

Der Text wurde von drei Sprechern realisiert, die nach besonderen Gesichtspunkten ausgewählt wurden; es sind männliche Hochschulabsolventen aus der Türkei, deren Sprechtechnik auditiv weitgehend sozusagen Standardtürkisch gewährleistet. Die Aufnahmen wurden in der schallgedämmten Aufnahmekabine des Kölner Instituts für Phonetik mit dem Kassettenrekorder JVC- TD-X311 und mit dem Mikrofon Sennkreiser -MD 421 gemacht.

2.2. Formantanalyse (FFT-Analyse)

Insbesondere die der ersten zwei Vokalformanten (F1 und F2) sind grundlegende physikalische Eigenschaften von Vokalen, welche auf der Schallqualitätsebene für die Klangfarbenwahrnehmung entscheidend sind. Ihre Erfassung findet ihren Nutzen auch in technischen Anwendungen. Seit der Sonograph 1946 verfügbar wurde, haben viele Phonetiker unzählige Berichte zu den Formanten veröffentlicht. Hier sei nur Peterson u. Barney (1952), Fant (1956), Chiba u. Kajiyama (1958). Ungeheuer (1962) erinnert.

Im Unterschied zu der analogen Signalanalyse ist die hauptsächliche Charakteristika der digitalen Signalanalyse, daß sie auf diskreten Samplen basiert ist. Die Umwandlung eines zeitkontinuierlichen Signals in ein zeitdiskretes Signal erfolgt durch "Abtastung" und "Quantisierung" und schließlich die Umwandlung eines wert- und zeitdiskreten Signals in ein digitales, hier binäres Signal durch "Codierung" (Abb. 1).

Meiste Formen der spektralen Analyse (analoge und digitale) führen eine "Fourier Analyse" durch. Was bei der digitalen Analyse wichtig ist, ist nur, daß sie zeit- und

wertdiskrete Samplen gebraucht. Analoge Instrumente arbeiten mit einem zeit- und wertkontinuierlichen Sprachsignal, aber digitale Systeme führen eine Analyse des Sprachsignals auf diskreten Samplen durch. Der Allgemeine Prozeß ist als "Diskrete Fourier-Transformation" oder "DFT" bekannt. "FFT" (Fast Fourier Transform=Schnelle Fourier Transformation) ist meist gebrauchte Version von "DFT", weil sie mit einer schnelleren Methode der DFT-Rechnung arbeitet. "FFT" Methode arbeitet normalerweise mit Fenstern mit Samplenummern, die Doppelzahlen von Zwei sind; daraus kennen wir 64, 128, 256, 512 oder 1.024 Punkt FFT. FFT-Methode kann auch gebraucht werden, um Sonogramme zu erstellen, indem eine große Anzahl von spektralen Sektionen nebeneinander genommen und dann überlappt wird.

Alle Aufnahmen wurden im Computer mit dem Softwareprogramm COOL mit 22 kHz und 16 bit digitalisiert und die Amplitudenwerte normalisiert. Die Formantfrequenzmessungen der Vokale wurden mit dem Softwareprogramm AKAN (Akustische Analyse) realisiert; von jedem Stimulus wurde ein Breitbandsonogramm (128-Punkt-Fenster in FFT) erstellt. Zur Messung der Formantfrequenzen wurden 11 LPC-Koeffizienten in einem 128-Punkt-Fenster gegeben.

2.3. Transkription der Türkischen Vokale

Aufgrund des nicht-einheitlichen Charakters der Transkriptionsformen der türkischen Vokale in der älteren phonetischen Literatur über das türkische Lautsystem (Lotz 1962, Demircan 1979, Selen 1979 und Ergenç 1984), die ausser Selen (1979) meistens die Vokale auditiv in artikulatorischen Umschreibungen und mit den hypothetischen Formantangaben (Lotz 1962) beschrieben, wurden die Formen nach Zimmer u. Orgun (1999) ausgewählt, die die türkischen Vokale nach Transkription von IPA (The International Phonetic association) auf Vokaltrapez der Kardinalvokale darstellen.

2.4. Die statistische Auswertung der Daten

Für jeden Vokal je 21 Realisationen wurden insgesamt 8 Stichproben durchgeführt. Die Tabellen für jede Stichprobe werden im Anhang angegeben. In den Tabellen ist jeder einzelne Formant durch 9 Zeilen je Kolonne pro Sprecher gekennzeichnet:

1. Die erste Zeile gibt die vorkommenden Formantfrequenzmaxima und die Prozentsätze dieser Vorkommen an.
2. Die zweite Zeile gibt die vorkommenden Formantfrequenzminima und die Prozentsätze dieser Vorkommen an.
3. Die Werte in der dritten Zeile geben an, zwischen welchen Formantfrequenzwerten sich sämtliche Realisationen eines Vokals je Sprecher bewegen.
4. Die vierte Zeile gibt die jeweils am häufigsten vorkommenden Frequenzwerte und die Prozentsätze dieser Häufigkeiten an.

5. Die fünfte Zeile gibt die Differenzen an, die bei den einzelnen Vokalen je Sprecher zwischen dem jeweiligen zentralen Formantfrequenzmaximum und dem Medianwert der vorkommenden Formantfrequenzen bestehen.
6. Die sechste Zeile gibt die Differenzen zwischen den Medianwerten und den Formantfrequenzminima an.
7. Die siebte Zeile gibt je Vokal und Sprecher die Medianwerte der sämtlichen vorkommenden Formantfrequenzwerte an.
8. Die achte Zeile gibt je Vokal und je Sprecher die arithmetischen Mittel der Formantfrequenzwerte an.
9. Die neunte und letzte Zeile gibt die arithmetischen Mittel der Streuungen an, die sich je Sprecher und Vokal innerhalb der vorkommenden Formantfrequenzwerte ergeben.

3. INTERPRETATION DER TABELLEN

3.1. Der Vokal [i] - je 21 Realisationen (Tabelle 1)

Sprecher 1 erreicht bei F2 das höchste Frequenzmaximum von 2356 Hz, wobei die übrigen Sprecher den gleichen Wert von dem Frequenzmaximum von 2204 Hz haben. Den niedrigsten minimalen Wert erreicht Sprecher 2 mit 1550 Hz. Die Formantfrequenzen variieren zwischen 494 und 570 Hz. Die höchste Energiekonzentration mit 28,5 % wird von Sprecher 1 und von Sprecher 2 erreicht. Die Werte der Häufigkeitsmaxima nähern sich bei allen drei Sprechern sowohl den Medianwerten als auch den arithmetischen Mitteln an. Die Differenz zwischen Frequenzmaximum und Medianwert ist bei Sprecher 3 am geringsten.

Die geringste Differenz zwischen Medianwert und dem Frequenzminimum erreicht Sprecher 1. Den höchsten Medianwert von 1938 Hz erreicht Sprecher 3, bei dem auch die arithmetischen Mittel der vorkommenden Frequenzwerte den höchsten Wert ergeben. Die Medianwerte sind bei allen Sprechern den arithmetischen Mitteln sehr angenähert. Die Streubreite im arithmetischen Mittel ist bei Sprecher 1 am geringsten.

Bei der Betrachtung der Meßwerte für F1 finden wir im Zuge der Untersuchung des Vokals [i] eindeutiger und klarere Verhältnisse vor als bei F2, auf die schon die Formantvariationsbreite mit Werten zwischen 114 und 152 Hz hinweist. Das höchste Frequenzmaximum 418 Hz wird von Sprecher 1 und von Sprecher 2 erreicht. Bei der Frequenzminima haben die drei Sprecher den gleichen Wert von 266 Hz mit den verschiedenen Prozentsätzen. Die Formantfrequenzbandbreite liegt ziemlich grösser als die der folgenden drei Vokale. Die höchste Energiekonzentration mit 52,3 %, deren Wert mit dem Medianwert gleich ist, wird von Sprecher 3 erreicht. Bis die Differenz zwischen Frequenzmaximum und Medianwert bei Sprecher 3 (38 Hz) sind alle andere Differenzwerte zwischen Frequenzmaximum-Medianwert und Frequenzminimum-Medianwert gleich. Alle Sprecher haben den gleichen Medianwert von 342 Hz, der sich den Werten der arithmetischen Mittel annähert. Den höchsten Wert von den arithmetischen Mitteln

erreicht mit 351 Hz Sprecher 2, bei dem auch die Streuungsbreite im arithmetischen Mittel am geringsten ist.

Zusammenfassend kann vom Vokal [i] gesagt werden, daß er eindeutige Stabilitätsmerkmale aufweist.

3.2. Der Vokal [y] - je 21 Realisationen (Tabelle 2)

Die erreichten Formantfrequenzmaxima für F2 liegen mit Werten bis zu 1900 Hz niedriger als die des Vokals [i]. Die Formantfrequenzminima liegen erheblich niedriger als die beim Vokal [i], so daß der gesamte Komplex des F2 erheblich niedriger als der des Vokals [i] liegt. Die Frequenzbandvariationsbreite liegt niedriger als die beim Vokal [i], besonders bei Sprecher 1. Im Vergleich zu den des Vokals [i] sind die Interfrenzwerte zu den Maxima bzw. Minima entsprechend der kleineren Streuungsbreite niedriger. Die Differenz zwischen Frequenzmaximum und Medianwert ist bei Sprecher 1 am geringsten, der auch die geringste Differenz zwischen dem Medianwert und Frequenzminimum erreicht. Alle Sprecher haben den gleichen Medianwert, was auf eine sehr optimale Stabilität bei F2 hinweist. Die arithmetischen Mittel der vorkommenden Frequenzwerte ergeben bei Sprecher 3 den höchsten Wert. Die Medianwerte sind den arithmetischen Mitteln sehr angenähert. Die Streuungsbreite im arithmetischen Mittel, die im allgemeinen geringer als die des Vokals [i] ist, ist bei Sprecher 1 am gerinsten.

Die ermittelten Meßwerte für F1 weisen fast so klare Verhältnisse auf wie beim Vokal [i], aber immerhin absinkende Tendenzen. Die erreichten Formantfrequenzmaxima für F1 liegen mit Werten bis zu 456 Hz ein wenig höher als die beim Vokal [i]. Die Formantfrequenzminima für F2 liegen dagegen mit Werten bis zu 152 Hz niedriger als die beim Vokal, was zur höheren Formantfrequenzbandbreite bei [y] bis zu 266 Hz führt. Die Energiekonzentrationswerte liegen im Vergleich zu den Werten des Vokals [i] niedriger. Den höchsten Wert erreicht mit 42,8 % der Sprecher 3. Die Differenz zwischen Frequenzmaximum und Medianwert ist am geringsten bei Sprechern 1 und 2, die auch die geringste Differenz zwischen Frequenzminimum und Medianwert erreichen. Den höchsten Medianwert von 342 Hz erreichen Sprecher 2 und 3. Die arithmetischen Mittel der vorkommenden Frequenzwerte ergeben bei Sprecher 3 den höchsten Wert. Die Streuungsbreite ist bei Sprecher 3 am geringsten und die Werte sind durchschnittlich kleiner als die Werte des Vokals [i].

Zusammenfassend kann vom Vokal [y] gesagt werden, daß er erheblichere Stabilitätsmerkmale als der Vokal [i] aufweist.

3.3. Der Vokal [e]- 21 Realisationen (Tabelle 3)

Die Formantfrequenzmaxima liegen mit Werten bis 1976 Hz durchweg höher als die beim Vokal [y], bei Sprecher 3 sogar erheblich. Die Frequenzminima sind fast durchweg höher als die des Vokals [y], bei Sprecher 1 jedoch gleich hoch wie in der Realisation des Vokals [y]. Die Formantfrequenzen variieren zwischen 380-418 Hz, was im Vergleich zu

der Formantfrequenzvariationsbreite des Vokals [y] geringer ist. Die höchste Energiekonzentration mit 23,8 % wird von Sprecher 1 und 2 erreicht. Die Werte der Häufigkeitsmaxima nähern sich ziemlich sowohl den Medianwerten als auch den Werten der arithmetischen Mittel bei den Sprechern 1 und 2 ziemlich gut an. Den niedrigsten Interferenzwert zu den Maxima erreicht Sprecher 2. Die geringste Differenz zwischen dem Medianwert und dem Frequenzmaximum erreicht Sprecher 3. Die Medianwerte beim Vokal [e] zeigen weniger optimale Stabilität als die beim Vokal [y]. Den höchsten Medianwert mit 1786 Hz erreicht Sprecher 3. Die arithmetischen Mittel der vorkommenden Frequenzwerte beim Vokal [e] liegen im Gegensatz zum Vokal [y] nicht so nahe zu den Medianwerten. Die arithmetischen Streuungsmittel sind erheblich größer als die des Vokals [y].

Die Formantfrequenzmaxima für F1 liegen höher als beim Vokal [y], Sprecher 2 und Sprecher 3 erreichen das höchste Frequenzmaximum von 570 Hz. Die Formantfrequenzminima liegen auch erheblich höher als beim Vokal [y]. Sprecher 2 erreicht den niedrigsten Wert mit 380 Hz, der doppel so groß wie der niedrigste Wert von F1 beim Vokal [y] ist. Dementsprechend ist Formantfrequenzbandbreite bei F1 kleiner als die des Vokals [y] und variiert zwischen 114-190 Hz. Die höchste Energiekonzentration mit 85,7 % in der ganzen Untersuchung erreicht Sprecher 3 mit dem Wert 475 Hz, der sich ziemlich dem Medianwert annähert.

Die Energiekonzentrationswerte von Sprechern 1 und 2 sind mit ihren Medianwerten gleich, was auf eine Stabilität des F1 hinweist. Die Medianwerte streuen zwischen 38 und 152 Hz bei entsprechenden Interferenzen zu den Maxima bzw. Minima. Die Werte der arithmetischen Mittel und die Medianwerte decken sich mit den Häufigkeitsmaxima besser als die der Vokale [y] und [i]. Es fällt bei F1 auf, daß die arithmetischen Streuungsmittel bei [e] erheblich kleiner als die Mittel bei den vorangehenden Vokalen sind.

Zusammenfassend kann vom Vokal [e] gesagt werden, daß er erheblichere Stabilitätsmerkmale als die Vokale [i] und [y] aufweist.

3.4. Der Vokal [œ] - je 21 Realisationen (Tabelle 4)

Alle Sprecher erreichen die gleichen Formantfrequenzmaxima von 1596 Hz, die niedriger als die Formantfrequenzmaxima beim Vokal [e] liegen. Sprecher 1 und Sprecher 2 erreichen dieselbe Frequenzminima von 1330 Hz, während sie bei Sprecher 2 einen Wert von 1368 Hz ergibt. Die Formantfrequenzvariationsbreite des F2 ist bei [œ] am geringsten; die Frequenzen variieren zwischen 228 - 266 Hz. Die höchste Energiekonzentration mit 33,3 % wird von Sprecher 3 erreicht, bei dem der Wert der Häufigkeitsmaxima mit dem Medianwert gleich ist. Die Werte der Häufigkeitsmaxima bei Sprechern 1 und 2 decken sich mit den Medianwerten und den Werten der arithmetischen Mittel schlechter als beim Vokal [e]. Der geringeren Formantfrequenzvariationsbandbreite entsprechend sind die Differenzen zwischen Medianwert-Formantfrequenzmaxima bzw. -minima erheblich geringer als die der vorangehenden Vokale. Sprecher 1 und 3 erreichen den höchsten Medianwert von 1482, der sich auch den Werten von den arithmetischen Mitteln annähert. Die arithmetischen Streuungsmittel des F2 sind viel geringer als die der vorangehenden Vokale.

Die Formantfrequenzmaxima des F1 liegen niedriger als die des Vokals [e]. Den höchsten Wert von 532 Hz erreicht Sprecher 1. Auch die Formantfrequenzminima liegen erheblich niedriger. Die Formantfrequenzen variieren zwischen 76 und 190 Hz. Die Bandbreiten sind niedriger als die des Vokals [e]. Die höchste Energiekonzentration mit 57,1 % erreicht Sprecher 3. Die Werte der Häufigkeitsmaxima sind mit den Medianwerten identisch, was auf eine erhebliche Stabilität der Werte hinweist. Entsprechend der kleineren Formantfrequenzvariationsbreite sind die Interferenzwerte zu den Maxima bzw. Minima etwas niedriger als die des Vokals [e]. Alle Sprecher haben den gleichen Medianwert von 418 Hz., der sich auch ziemlich den Werten der arithmetischen Mittel annähert. Entsprechend der kleineren Formantfrequenzvariationsbandbreite und geringeren Interferenzwerten zu den Maxima bzw. Minima weist F2 bei [œ] den geringsten Wert der arithmetischen Streuungsmittel unter den vorangehenden Vokalen.

Zusammenfassend kann vom Vokal [œ] gesagt werden, daß er die optimalsten Stabilitätsmerkmale unter den allen Vokalen aufweist.

3.5. Der Vokal [a] - je 21 Realisationen (Tabelle 5)

Die Formantfrequenzmaxima variieren zwischen 1550 und 1664 Hz. Die Frequenzminima variieren zwischen 874 und 1102 Hz. Der F2 weist im Vergleich zu den vorangehenden Vokalen die größte Frequenzvariationsbreite. Die Prozentwerte der Häufigkeitsmaxima sind ziemlich niedriger als die der vorangehenden Vokale. Die Interferenzwerte zu den Maxima bzw. Minima sind entsprechend der größeren Streuungsbreite durchweg höher. Die Medianwerte decken sich ziemlich gut mit den Werten der arithmetischen Formantfrequenzmittel, dabei liegen sie erheblich höher als die Werte der Häufigkeitsmaxima. Mit 223,3 erreicht F2 den höchsten Wert der arithmetischen Streuungsmittel unter den vorangehenden Vokalen.

Von den Werten der Frequenzminima und -maxima ausgehend weist F1 mit 304 Hz die größte Frequenzbandvariationsbreite unter den bisherigen Vokalen. Die Prozentwerte der Häufigkeitsmaxima sind den Prozentwerten des Vokals [y] ähnlich. Mit 228 Hz erreicht F1 den höchsten Wert bei der Differenz zwischen Medianwert und Frequenzmaximum. Die Differenz zwischen Medianwert und Frequenzminimum ist durchschnittlich höher als die der vorangehenden Vokale. Die Medianwerte decken sich zum größten Teil mit den Werten der arithmetischen Mittel. Bei Sprecher 2 ist der Medianwert mit dem Wert der Häufigkeitsmaxima identisch. Die arithmetischen Streuungsmittel sind höher als die der Vokale [y], [e] und [œ], aber durchschnittlich niedriger als die des Vokals [i].

Zusammenfassend kann vom Vokal [a] gesagt werden, daß hier die Verhältnisse im Vergleich zu den vorangehenden Vokalen weniger durchsichtig sind und daß im Vergleich zu anderen Vokalen weniger Stabilitätsmerkmale zu verzeichnen sind.

3.6. Der Vokal [ɯ] - je 21 Realisationen (Tabelle 6)

Die Formantfrequenzmaxima variieren zwischen 1558 und 1824 Hz. Die Formantfrequenzminima variieren zwischen 1026 und 1140 Hz. Die Frequenzbandvariationsbreite ist ausschließlich der des Vokals [a] ziemlich groß im Vergleich zu den vorangehenden Vokalen. Die Prozentwerte der Häufigkeitsmaxima nähern sich den Werten des Vokals [a] an. Der Interferenzwert mit 494 Hz zu den Maxima ist der höchste unter denen der vorangehenden Vokale. Die Interferenzwerte zu den Minima sind ziemlich hoch, aber niedriger als die des Vokals [a]. Die Medianwerte decken sich durchweg gut mit den Werten der arithmetischen Formantfrequenzmittel und mit den Werten der Häufigkeitsmaxima. Mit 166,6 erreicht F2 den zwei höchsten Wert der arithmetischen Streuungsmittel nach dem Vokal [a].

Von den Werten der Frequenzminima und -maxima ausgehend weist F1 mit 342 Hz bei Sprecher 3 die größte Frequenzbandvariationsbreite unter den vorangehenden Vokalen. Die Prozentwerte der Häufigkeitsmaxima sind ähnlich zu denen des Vokals [a]. Die Interferenzwerte zu den Maxima bzw. Minima sind entsprechend der größten Streuungsbreite mit 116,6 (bei Sprecher 3) durchweg höher als die der vorangehenden Vokale. Die Medianwerte (den größten Wert mit 456 Hz erreicht Sprecher 3) decken sich gut mit den Werten der Häufigkeitsmaxima, dabei nähern sie sich den Werten der arithmetischen Formantfrequenzmittel weniger an. Sprecher 3 erreicht bei F1 mit 116,6 den höchsten Wert der arithmetischen Streuungsmittel unter den vorangehenden Vokalen

Zusammenfassend kann vom Vokal [ɯ] gesagt werden, daß er weniger Stabilitätsmerkmale aufweist, aber mehr als der Vokal [a].

3.7. Der Vokal [u] - je 21 Realisationen (Tabelle 7)

Die Formantfrequenzmaxima des F2 variieren zwischen 912 und 1216 Hz. Die Formantfrequenzminima variieren zwischen 532 und 570 Hz. Sprecher 3 erreicht mit 646 den größten Wert von Formantfrequenzbandvariationsbreite, der vergleichsweise bei den anderen Sprechern (418- 342) ziemlich niedrig ist. Die Prozentwerte der Häufigkeitsmaxima sind ähnlich zu denen des Vokals [ɯ]. Die Differenz zwischen Frequenzmaximum und Medianwert ist bei Sprecher 3 mit 465 Hz entsprechend der größten Formantfrequenzbandvariationsbreite am größten. Die Differenzwerte zu den Minima, die bei allen Sprechern gleich sind, scheinen im Vergleich zu den vorangehenden Vokalen durchschnittlich zu sein. Die Medianwerte decken sich ziemlich gut mit den Werten der Häufigkeitsmaxima und der arithmetischen Formantfrequenzmittel. Nach dem Vokal [œ] zeigt der Vokal [u] zweitgeringste Werte in den arithmetischen Streuungsmitteln unter den vorangehenden Vokalen auf.

Entsprechend den Werten der Maxima bzw. Minima bei F1 sind die Werte der Formantfrequenzvariationsbandbreiten ziemlich niedrig. Die Prozentwerte der Häufigkeitsmaxima sind im Vergleich zu den der vorangehenden Vokale durchschnittlich. Die Interferenzwerte zu den Maxima bzw. Minima sind durchweg niedrig. Die Medianwerte, die bei allen Sprechern gleich sind und sich mit den Werten der Häufigkeitsmaxima genau

decken, nähern sich den Werten der arithmetischen Formantfrequenzmittel gut an. Die durchschnittlichen Werte der arithmetischen Streuungsmittel bei F1 liegen im Vergleich zu den Werten der Vokale [i], [y], [e], [a] und [ɯ] niedriger.

Zusammenfassend kann vom Vokal [u] gesagt werden, daß er ziemlich große Stabilitätsmerkmale aufweist, aber weniger als die Vokale [i], [y] und [e].

3.8. Der Vokal [o] - je 21 Realisationen (Tabelle 8)

Die Werte der Formantfrequenzbandvariationsbreiten bei F2 nähern sich den Werten der Vokale [a] und [ɯ]. Entsprechend der großen Variationsbreite sind die Differenzen zu den Maxima bzw. Minima groß. Die Medianwerte, die sich zwischen 874 und 950 Hz streuen, decken sich außer den Werten des Sprechers 3 weder mit den Werten der Häufigkeitsmaxima noch mit den Werten der arithmetischen Mittel. Die Werte der arithmetischen Streuungsmittel zeigen durchschnittlich die höchsten Werte (bei Sprecher 3 -167,1 und bei Sprecher 2 -250) unter den vorangehenden Vokalen auf.

Im Gegensatz zu F2 liegen die Variationsbreiten bei F1 niedriger. Die Prozentwerte der Häufigkeitsmaxima liegen durchschnittlich hoch. Entsprechend den kleineren Formantfrequenzbandvariationsbreiten liegen Interferenzwerte zu den Maxima bzw. Minima niedrig. Im Unterschied zu F2 decken sich die Medianwerte bei F1 mit den Werten der Häufigkeitsmaxima und mit den Werten der arithmetischen Formantfrequenzmittel besser; bei Sprecher 1 ist der Medianwert mit dem Wert der arithmetischen Mittel und bei Sprecher 2 ist der Wert der Häufigkeitsmaxima mit dem Medianwert gleich. Die Werte der arithmetischen Streuungsmittel sind ziemlich niedrig und nähern sich den Werten des Vokals [œ] an.

Zusammenfassend kann vom Vokal [o] gesagt werden, daß er zu beachtende Stabilitätsmerkmale aufweist, aber weniger als der Vokal [u].

3.9. Die Medianwerte der vorkommenden Formantfrequenzen (Tabelle 9)

Auch zum Zweck einer konzentrierten Übersicht über die Formantverhältnisse wurde eine weitere Liste erstellt, und zwar anhand der Medianwerte, die an den Tabellenrändern arithmetisch gemittelt sind.

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die vorliegenden gemittelten statistischen Bewertungen über die Formantfrequenzwerten im stationären vokalischen Teil der betonten und unbetonten türkischen Silben sind mit Vorsicht zu interpretieren:

Erstens sind die gemessenen Werte von Realisierungen der drei männlichen Sprechern, die nach einem auditiven Eindruck Standardtürkisch sprachen aber phonetisch nicht

geschult waren. Zweitens wurden die Realisierungen der Vokale ohne Berücksichtigung des Silbenakzents und der phonotaktischen Lautumgebung aus dem Text genommen, wobei die Formantfrequenzwerte der Vokale durch Erhöhung der Grundfrequenz und durch Koartikulation große dynamische Änderungen erleben könnten.

Die in unserer Untersuchung gemittelten Formantfrequenzwerte der türkischen Vokale stehen im allgemeinen zwischen den Werten der sogenannten gespannten (tense) und ungespannten (lax) synthetischen Kardinalvokale (Delattre, Liberman u. Cooper 1951). Unter sich zeigen sie jedoch verschiedene Tendenzen, was diesen Abstand zwischen den gespannten und ungespannten Vokalen betrifft. Während sich die Werte von [i], [e], [y] und [u] mehr den Werten der ungespannten Vokale [I], [E], [Y] und [U] anzunähern scheinen, tendiert der Wert von [o] dem gespannten [o]. Der Wert von [a] scheint eine zentralere Position als alle tiefe Kardinalvokale zu nehmen. Der Wert von [ɯ] erscheint überraschender Weise sehr zentralisierter als der Kardinalvokal [ʊ] auf der Vokaltrapez, so dass man behaupten könnte, dieser Wert entspricht dem Wert des Mittelzungenvokals (open-mid, zentral, unrounded) [ə]. Der Grund könnte in der Tatsache liegen, dass die Mittelzungenvokale am meistens in ihren Formantbewegungen von der Koartikulation beeinflussbar sind. Hier scheint die Transkription von Zimmermann u. Orgun problematisch zu sein, weil sie den Vokal auditiv als „ungerundeter, hoher Hinterzungenvokal“ interpretieren, wogegen sich unser gemittelter Wert von diesem Vokal in unserer Untersuchung spricht.

Die akustische Festlegung der Formantfrequenzwerte von den türkischen Vokalen und die daraus zu gewinnenden auditiven Eindrücke müssen in diesem Sinne in einer umfangreicheren akustischen Untersuchung weitgehend erklärt werden, wo Phonotaktik und koartikulationbedingte Formantfrequenzen in Erwägung gezogen werden könnten.

¹ Peterson u. Barney (1952) stellten die ersten zwei Formantfrequenzwerten des Amerikanischenglischen anhand der Realisierungen (isoliert gesprochene Wörter) von 76 Sprechern (33 männliche Erwachsene, 28 weibliche Erwachsene und 15 Kinder) dar und Rausch (1972) berichtet von den ersten zwei Formantfrequenzen der deutschen Vokale anhand der Realisierungen (im Text gesprochene Wörter) von 4 phonetisch geschulten Sprechern.

Abb. 1. Die Umwandlung eines zeitkontinuierlichen Signals in ein zeitdiskretes Signal (nach Lücke 1995,).

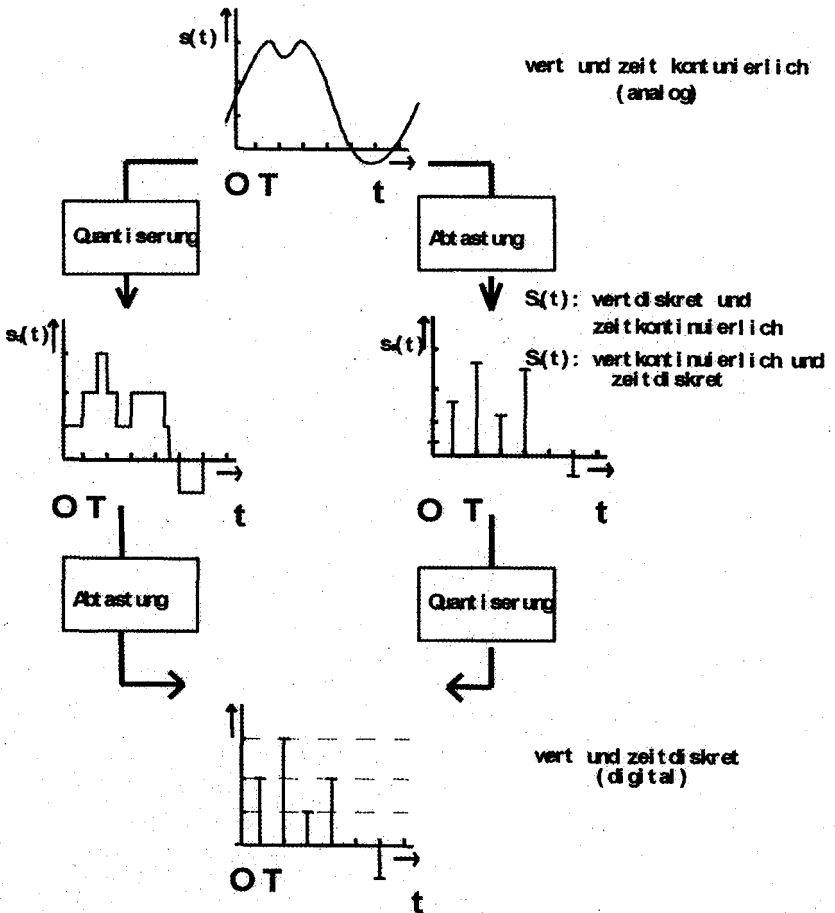
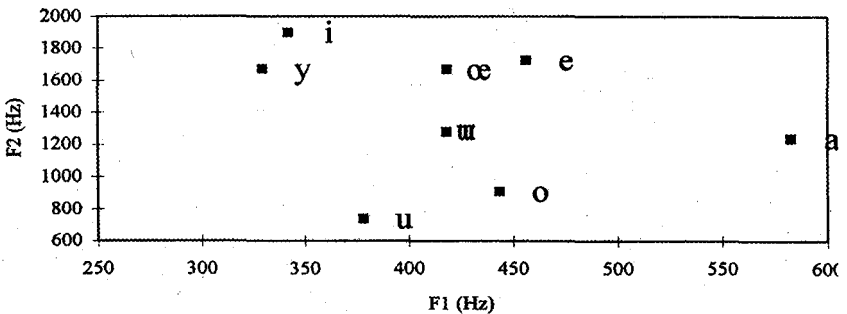


Abb. 2. Akustische Formantkarte der türkischen Vokale.



Tab. 1. Statistische Bewertungen der Formantmessungen des Vokals [i].

[i] - je 21 Realisationen		Sprecher 1	Sprecher 2	Sprecher 3
Formantfrequenzmaxima %	F1	418 %28,3	418 % 9,5	380 %23,8
	F2	2356 %4,7	2204 %4,7	2204 %9,5
Formantfrequenzminima %	F1	266 %14,2	266 %4,7	266 %4,7
	F2	1786 %19	1550 %4,7	1786 %14,2
Formantfrequenzbandbreiten	F1	152	152	114
	F2	570	654	494
Häufigkeitsmaxima %	F1	304 %33,3	342 %42,8	342 %52,3
	F2	1224 %28,5	1938 %23,8	1918 %28,5
Diff.: Medianwerte - F.frequenzmaxima	F1	76	76	38
	F2	494	304	266
Diff.: Medianwerte- F.frequenzminima	F1	76	76	76
	F2	76	350	152
Medianwerte	F1	342	342	342
	F2	1862	1900	1938
Arithmetische Formantfrequenzmittel	F1	322,2	351	327,7
	F2	1885,5	1886,6	1972,9
Arithmetische Streuungsmittel	F1	89,7	37,8	80,2
	F2	127,4	148,7	141,2

Tab. 2. Statistische Bewertungen der Formantmessungen des Vokals [i].

[y] - je 21 Realisationen	Formanten	Sprecher 1	Sprecher 2	Sprecher 3
Formantfrequenzmaxima %	F1	380 %4,7	456 %4,7	418 %4,7
	F2	1786 %9,7	1862 %4,7	1900 %4,7
Formantfrequenzminima %	F1	228 %23,8	190 %4,7	266 %4,7
	F2	1520 %9,5	1406 %9,5	1444 %4,7
Formantfrequenzbandbreiten	F1	152	266	152
	F2	266	456	456
Häufigkeitsmaxima %	F1	304 %33,3	304 %33,3	342 %42,8
	F2	1710 %23,8	1672 %14,2	1672 %33,3
Diff.: Medianwerte - F.frequenzmaxima	F1	76	114	76
	F2	114	190	228
Diff.: Medianwerte- F.frequenzminima	F1	76	152	76
	F2	152	266	228
Medianwerte	F1	304	342	342
	F2	1672	1672	1672
Arithmetische Formantfrequenzmittel	F1	293,1	342	346,2
	F2	1643	1648,1	1679,2
Arithmetische Streuungsmittel	F1	46,7	55	35,2
	F2	73	119,5	10,2

Tab. 3. Statistische Bewertungen der Formantmessungen des Vokals [e].

[e] - je 21 Realisationen		Sprecher 1	Sprecher 2	Sprecher 3
Formantfrequenzmaxima %	F1	532 %14,2	570 %4,7	570 %9,5
	F2	1938 %4,7	1863 %14,2	1976 %4,7
Formantfrequenzminima %	F1	418 %23,8	1380 %9,5	456 %42,8
	F2	1520 %4,7	1444 %4,7	1596 %4,7
Formantfrequenzbandbreiten	F1	114	190	114
	F2	418	418	380
Häufigkeitsmaxima %	F1	456 %38	418 %57,1	475 %85,7
	F2	1672 %23,8	1710 %23,8	1862 %19
Diff.: Medianwerte - F.frequenzmaxima	F1	76	152	76
	F2	254	152	190
Diff.: Medianwerte- F.frequenzminima	F1	38	38	38
	F2	163	266	190
Medianwerte	F1	456	418	494
	F2	1684	1710	1786
Arithmetische Formantfrequenzmittel	F1	467	439,7	486,7
	F2	1669,2	1711,8	1804
Arithmetische Streuungsmittel	F1	38,4	45,8	35,2
	F2	278,3	114,3	95

Tab. 4. Statistische Bewertungen der Formantmessungen des Vokals [æ].

[æ] - je 21 Realisationen		Sprecher 1	Sprecher 2	Sprecher 3
Formantfrequenzmaxima %	F1	532 %4,7	494 %4,7	494,%14,2
	F2	1596 %19	1596 %4,7	1596 %4,7
Formantfrequenzminima %	F1	342 %4,7	380 %9,7	418 %57,1
	F2	1330 %4,7	1368 %9,7	1330 %4,7
Formantfrequenzbandbreiten	F1	190	114	76
	F2	266	228	266
Häufigkeitsmaxima %	F1	418 %52,3	418 %42,8	418 %57,1
	F2	1406 %28,5	1406 %28,5	1482 %33,3
Diff.: Medianwerte - F.frequenzmaxima	F1	114	76	76
	F2	114	152	114
Diff.: Medianwerte- F.frequenzminima	F1	76	38	0
	F2	152	76	152
Medianwerte	F1	418	418	418
	F2	1482	1444	1482
Arithmetische Formantfrequenzmittel	F1	432,4	423,4	439,7
	F2	1486,6	1460,2	1487,4
Arithmetische Streuungsmittel	F1	44,1	32,4	28,3
	F2	81,4	65,3	63,9

Tab. 5. Statistische Bewertungen der Formantmessungen des Vokals [a].

[a] - je 21 Realisationen		Sprecher 1	Sprecher 2	Sprecher 3
Formantfrequenzmaxima %	F1	676 %4,7	722 54,7	722 %42,8
	F2	1664 %4,7	1550 %4,7	1634 %4,7
Formantfrequenzminima %	F1	494 %9,5	418 %4,7	532 %19
	F2	874 %4,7	1102 %19	988 %4,7
Formantfrequenzbandbreiten	F1	182	304	190
	F2	790	448	646
Häufigkeitsmaxima %	F1	570 %38	494 %38	722 %42,8
	F2	1140 %19	1102 19228	1175 %9
Diff.: Medianwerte - F.frequenzmaxima	F1	68	228	76
	F2	410	296	418
Diff.: Medianwerte - F.frequenzminima	F1	114	76	114
	F2	380	152	228
Medianwerte	F1	608	494	646
	F2	1254	1254	1216
Arithmetische Formantfrequenzmittel	F1	594,9	526,5	640,5
	F2	1271,3	1271,3	1242,6
Arithmetische Streuungsmittel	F1	48,7	66,1	79
	F2	233,3	148,4	156

Tab. 6. Statistische Bewertungen der Formantmessungen des Vokals [u].

[u] - je 21 Realisationen		Sprecher 1	Sprecher 2	Sprecher 3
Formantfrequenzmaxima %	F1	532 %4,7	494 %4,7	684 %4,7
	F2	1558 %4,7	1824 %4,7	1748 %4,7
Formantfrequenzminima %	F1	342 %9,5	342 %9,5	342 %4,7
	F2	1140 %4,7	1102 %4,7	1026 %9,5
Formantfrequenzbandbreiten	F1	190	152	342
	F2	418	722	722
Häufigkeitsmaxima %	F1	418 %28,5	380 %42,8	418 %33,3
	F2	1292 %23,8	1330 %19	1216 %19
Diff.: Medianwerte - F.frequenzmaxima	F1	114	114	228
	F2	304	494	494
Diff.: Medianwerte- F.frequenzminima	F1	76	38	114
	F2	114	228	228
Medianwerte	F1	418	380	456
	F2	1254	1330	1254
Arithmetische Formantfrequenzmittel	F1	432,2	403,5	436,9
	F2	1282,9	1360,7	1300
Arithmetische Streuungsmittel	F1	49,2	38,8	116,6
	F2	96	171	166,6

Tab. 7. Statistische Bewertungen der Formantmessungen des Vokals [u].

[u] je 21 Realisationen		Sprecher 1	Sprecher 2	Sprecher 3
Formantfrequenzmaxima %	F1	418 %23,8	418 %28,5	456 %9,5
	F2	912 %4,7	950 %9,5	12516 %4,7
Formantfrequenzminima %	F1	266 %4,7	304 %4,7	304 %4,7
	F2	570 %14,2	532 %4,7	570 %9,5
Formantfrequenzbandbreiten	F1	152	114	152
	F2	342	418	646
Häufigkeitsmaxima %	F1	380 %42,8	380 %33,3	380 %33,3
	F2	798 %23,8	646 %19	760 %19
Diff.: Medianwerte - F.frequenzmaxima	F1	38	18	76
	F2	152	228	456
Diff.: Medianwerte- F.frequenzminima	F1	114	76	76
	F2	190	190	190
Medianwerte	F1	380	380	380
	F2	760	722	760
Arithmetische Formantfrequenzmittel	F1	369,1	374,5	389
	F2	732,8	745,5	799,8
Arithmetische Streuungsmittel	F1	41,8	34,5	39,6
	F2	105,5	115,5	167,1

Tab. 8. Statistische Bewertungen der Formantmessungen des Vokals [o].

[o] - je 21 Realisationen		Sprecher 1	Sprecher 2	Sprecher 3
Formantfrequenzmaxima %	F1	570 %4,7	456 528,5	532 %9,5
	F2	1254 %9,5	1330 %9,5	1406 %9,5
Formantfrequenzminima %	F1	418 547,6	380 %23,8	380 %4,7
	F2	760 %14,2	722 %4,7	798 %9,5
Formantfrequenzbandbreiten	F1	152	76	152
	F2	494	608	608
Häufigkeitsmaxima %	F1	418 %47,6	418 %47,6	494 %38
	F2	798 %42,8	950 %23,8	950 %19
Diff.: Medianwerte - F.frequenzmaxima	F1	114	38	76
	F2	380	190	152
Diff.: Medianwerte- F.frequenzminima	F1	38	38	76
	F2	114	190	152
Medianwerte	F1	456	418	456
	F2	874	912	950
Arithmetische Formantfrequenzmittel	F1	456	419,8	468,6
	F2	937,5	895,2	997
Arithmetische Streuungsmittel	F1	46,5	28,1	38,6
	F2	160,4	250	167,1

Tab. 9. Statistische Medianwerte der Formantfrequenzen; deren arithmetische Mittel, die arithmetischen Mittel der arithmetischen Mittel von F2+F1, das arithmetische Mittel letzterer Mittel.

Formanten	Vokale	Medianwerte			Arithmetische Mittel	
		Sprecher 1	Sprecher 2	Sprecher 3	a.M. ¹	a.M.M. ²
F2	i	1862	1900	1938	1900	1121
F1		342	342	342	342	
F2	y	1672	1672	1672	1672	100,6
F1		304	342	342	329,3	
F2	e	1684	1710	1786	1726,6	1091,3
F1		456	418	494	456	
F2	œ	1482	1444	1482	1469,3	943,6
F1		418	418	418	418	
F2	a	1254	1254	1216	1241,3	911,9
F1		608	494	646	582,6	
F2	ɯ	1254	1330	1254	1279,3	848,6
F1		418	380	456	418	
F2	u	760	722	760	747,3	561,6
F1		380	380	380	380	
F2	o	874	912	950	912	677,6
F1		456	418	456	443,3	
a.M.FF2		1355,5	1368	1382,2	894,53	
a.M. FF1		422,75	399	441,75		
a.M. FF2 FF1		889	883,5	912		

1 Arithmetische Mittel der Medianwerte

2 Arithmetische Mittel der arithmetischen Mittel

LITERATURVERZEICHNIS

- Barney, H.L. u. Peterson, G. E. (1952)**, *Control Methods in a Study of the Vowels*. The Journal of the Acoustical Society of Amerika. 24 (2), 175-184.
- Bosch, K. (1994)**, *Statistik für nicht Statistiker*. Zufall oder Wahrscheinlichkeit?. Oldenburg Verlag: München.
- Chiba, T. u. Kajiyama, M. (1958)**, *The Vowel, Its Natur and Structure*. Phonetic Society of Japan: Tokyo.
- Clark, J. u. Yallop, C. (1991)**, *An Introduction to Phonetics and Phonology*. Basil Blackwell: Oxford and Cambridge, MA
- Demircan, Ö. (1979)**, *Türkiye Türkçesinin Ses Düzeni, Türkiye Türkçesinde Sesler*. Ankara Üniversitesi Basımevi, Türk Dil Kurumu Yayınları: 461: Ankara.
- Ergenç, I. (1984)**,. *Almanca ve Türkçe'nin Ses Yapılarının Karşılaştırılması*. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Yayınları , 345: Ankara.
- Fant, G. (1970)**, *Acoustic Theory of Speech Production-With Calculations based on X-Ray studies of Russian Articulations*. Mauton: The Hague and Paris.
- Heller, K. u. Rosemann, B. (1974)**, *Planung und Auswertung empirischer Untersuchungen*. Klett: Stuttgart.
- Lotz, J. (1962)**, *Thoughts on Phonology as applied to the Turkish Vowels*, in: *Poppe, N. (ed.)*, American Studies in Altaic Linguistics, Indiana University Publications, Uralic and Altaic Series, 13: The Hague, 343-351.
- Lü, S. (1982)**, *Analyse der Formanten chinesischer Vokale*. IPK-Köln-Berichte, 12, 127-167.
- Lüke, H.D. (1995)**, *Signalübertragung, Grundlagen der digitalen und analogen Nachrichtenübertragungssysteme*. Springer: Berlin u.a.
- Rausch, A. (1972)**, *Untersuchungen zur Vokalartikulation im Deutschen*. Beiträge zur Phonetik von Heirich Kelz und Arsen Rausch. Helmut Buske Verlag: Hamburg, 35-82.
- Selen, N. (1979)**, *Söyleyiş Sesbilimi, Akustik Sesbilim ve Türkiye Türkçesi*. Ankara Üniversitesi Basımevi, Türk Dil Kurumu Yayınları: 454: Ankara.

- Selen, N. (1985)**, *Alman Dilinin Fonetik ve Entonasyon Kuralları*. Anadolu Üniversitesi Yayınları, 115: Eskişehir.
- Ungeheuer, G. (1962)**, *Elemente einer akustischen Theorie der Vokalartikulation*. Springer: Berlin.
- Zimmer, K. u. Orgun, O. (1999)**, *Turkish. Handbook of the International Phonetic Association, a guide to the use of the International Phonetic Association*. Cambridge University Press: Cambridge, 154-146.