

Effect of Ageing on Acoustic Characteristics of Voice Pitch and Formants in Czech Vowels

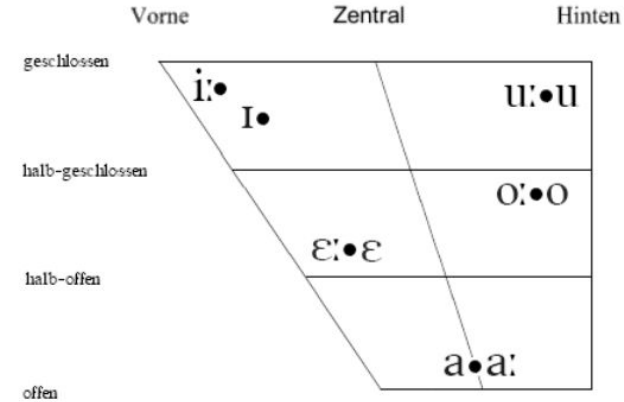
Tereza Tykalova, Dominik Skrabal, Tomas Boril, Roman Cmejla, Jan Volin,
Jan Rusz



Bernadette Anton
Phonetik und Phonologie slavischer Sprachen
Prof. Bistra Andreeva
20.01.2026

Inhalt

- Akustische Parameter von Vokalen
- Altersabhängige akustische Eigenschaften
- Ziele der Studie
- Methodik
 - Nicht messbare Daten und Messzuverlässigkeit
- Ergebnisse
- Fazit
- Quellen



Akustische Parameter von Vokalen

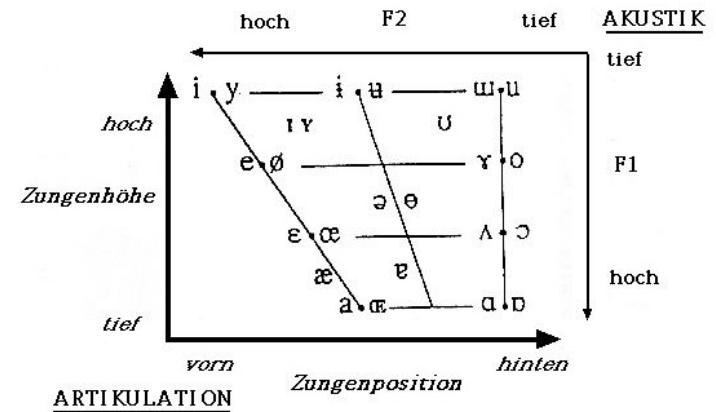
- F_1 und F_2 sind essentiell für phonemische Erkennung

F_1 : Öffnungsgrad des Mundes

F_2 : Zungenposition

- F_3 und F_4 : Tragen hauptsächlich zum Ausdruck von Emotionen bei, durch Lippenspreizung und -Hervorstülpen

- Vowel Space Area (VSA), Vokalraumfläche
 - Häufigste Darstellung zweidimensional mit $F_1 \times F_2$
 - Reduzierte VSA weist auf Vokalzentralisierung durch begrenzten artikulatorischen Bewegungsumfang



Akustische Parameter von Vokalen

- Maße wie die VSA werden eingesetzt als:
 - Bewertung der Wirkung von Stimm- und Sprachtherapie
 - Frühe Marker für neurologische Erkrankungen (wie z.B. Parkinson)
 - Diagnose obstruktiver Schlafapnoe und Überwachung des Krankheitsverlaufs
- Vokalformantmessungen sind auch relevant für
 - technische und linguistische Anwendungen (automatische Spracherkennung, Alters- und Geschlechtsidentifizierung)
 - forensische Wissenschaft
 - Studien von Zweitsprachen

Altersabhängige akustische Eigenschaften

Grundfrequenz f_0 :

- Signifikante altersbedingte Senkung der F_0 bei Frauen, keine Veränderung bei Männern
- Ursache: Physiologische Veränderungen, insbesondere hormonelle Veränderungen nach der Menopause, wodurch die Stimmlippenmasse zunehmen kann

Vokaldauer:

- Signifikante Zunahme der Eckvokaldauer im fortgeschrittenen Alter für beide Geschlechter
- Starke negative Korrelation zwischen Artikulationsrate und durchschnittlicher Vokaldauer

Altersabhängige akustische Eigenschaften

Formantfrequenzen und VSA

- Im Gegensatz zu früheren Studien F_1 über alle untersuchten Vokale hinweg alters- und geschlechtsunabhängig
- Abnahme von F_2 von /a/ und /u/ für beide Geschlechter
- F_2 von /i/ blieb unverändert

Ziele der Studie

- Primär: Bewertung des Effekts des Alterns auf die Vokalartikulation im Tschechischen, da frühere Forschungsergebnisse widersprüchlich waren
- Sekundär: Bereitstellung normativer akustischer Daten für alle tschechischen Monophthonge, da Tschechisch zu den unterdokumentierten Sprachen gehört

Methodik

- Datenbank bestand aus 100 gesunden Sprechern (50 Männer, 50 Frauen) im Alter von 20-90 Jahren und enthielt 100 Vokale pro Proband
 - Einteilung in 6 Gruppen: 20-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69, 70-89
- Material: Lesepassage, die alle 10 Monophthonge enthält
 - /a/, /ɛ/, /ɪ/, /o/, /u/ und die langen Entsprechungen /a:/, /ɛ:/, /i:/, /o:/, /u:/
- Aus Lesepassage wurden akustische Merkmale extrahiert: Vokaldauer, VSA, Grundfrequenz, Formantfrequenzen sowie die Artikulationsgeschwindigkeit
- Insgesamt 10 Vorkommen jedes Vokals
- Faktoren wie prosodische Struktur, Merkmale des vorangehenden Konsonanten, Silbenbetonung und Position im Wort/Satz wurden berücksichtigt

Methodik

- Zusatz: Der Vokal /o:/ ist im Tschechischen eher selten und kommt fast ausschließlich in Lehnwörtern vor
 - Speziell entwickelte Abschnitte mit diesem Vokal wurden in die Mitte des Textes eingefügt
- Sprecher wurden angewiesen, die Abschnitte in der ihnen gewohnten Weise mit natürlichem Tempo und natürlicher Lautstärke vorzulesen

Methodik: Auswahlkriterien

- Um die Qualität der extrahierten Vokale zu gewährleisten galten folgende Kriterien:
 - Prosodische Struktur
Ausgewählte Zielwörter befanden sich an verschiedenen Positionen innerhalb der Sätze und Intonationsphrasen
 - Ein Vokal pro Wort
Es wurde nur ein Vokal pro Wort analysiert
 - Betonung
Analysierte Vokale kamen gleichermaßen aus betonten und unbetonten Silben. Das Tschechische hat eine feste Betonung auf der ersten Silbe, aber keine direkte Reduktion der Vokaldauer oder -qualität in unbetonten Silben
 - Minimierung der Koartikulation
Vokale wurden so weit wie möglich so gewählt, dass sie unterschiedlichen stimmlosen Plosiven, Frikativen, Affrikaten oder keinem Phonem folgten

Methodik: Auswahlkriterien

TABLE 1.
The Characteristics of the Preceding Consonant, As Well As the Syllable and Word Positions Related to the 10 Occurrences of Each Monophthong Investigated

	a	ɛ	ɪ	o	u	a:	ɛ:	i:	o:	u:
Manner										
Stop	7	5	2	7	5	4	8	5	7	3
Fricative	2	2	3	1	3	3	1	3	3	3
Affricative	-	3	3	1	1	2	-	2	-	2
Liquid	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-
No consonant	1	-	2	1	1	-	-	-	-	2
Place of articulation										
Bilabial	3	2	1	2	1	-	1	2	2	2
Alveolar	4	5	4	4	4	8	5	2	5	4
Postalveolar	-	2	2	-	-	1	-	3	-	-
Palatal	-	-	1	-	-	-	-	3	-	-
Velar	2	1	-	3	4	1	3	-	2	2
Glottal	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-
No consonant	1	-	2	1	1	-	-	-	-	2
Syllable stress										
Stressed	5	5	5	5	4	3	4	5	5	4
Unstressed	5	5	5	5	6	7	6	5	5	6
Position of the Syllable										
Beginning	5	5	5	5	5	4	4	6	5	4
Middle	2	2	2	3	-	4	2	-	5	1
End	3	3	3	2	5	2	4	4	-	5
Position of the word										
Beginning	3	2	3	2	2	3	3	1	4	-
Middle	6	4	6	7	5	4	3	4	3	4
End	1	4	1	1	3	3	4	5	3	6

Methodik: Analyseparameter

- Mit Praat wurden ausgewertet:

1. Vokaldauer
2. Grundfrequenz f_0
3. F1
4. F2
5. F3
6. F4

Zusätzlich wurden abgeleitet:

7. Vokaltraktfläche (VSA)
Gebildet durch die Eckvokale in der zweidimensionalen Formantebene
8. Artikulationsrate

Nicht messbare Daten

- Vokaldauer:
Konnte bei 1% der Zielvokale aufgrund von Fehllesungen nicht gemessen werden
- Grundfrequenz, F_1 und F_2 :
Fehlten in 3-4% der Daten. Hauptgründe waren die Vokaldauer (unter 30ms), plötzliche Tonhöhenabfälle oder generell schwache Energie des Signals
- F_3 und F_4 :
Nicht messbar bei 15% bzw 23% der Daten. Grund: Formanten waren entweder verschmolzen oder fehlten ganz.

Trotzdem waren die nicht messbaren Daten so verteilt, dass immer mindestens 5 Vorkommen jedes Monophthongs für die weitere Analyse verfügbar war.

Ergebnisse

- Basieren auf einer 6x2x2 repeated measure ANOVA (RM-ANOVA) mit den Faktoren
 - Alter (6 Gruppen; 20-29 bis 70-89)
 - Geschlecht (Männer, Frauen)
 - Vokaldauer (kurz, lang)

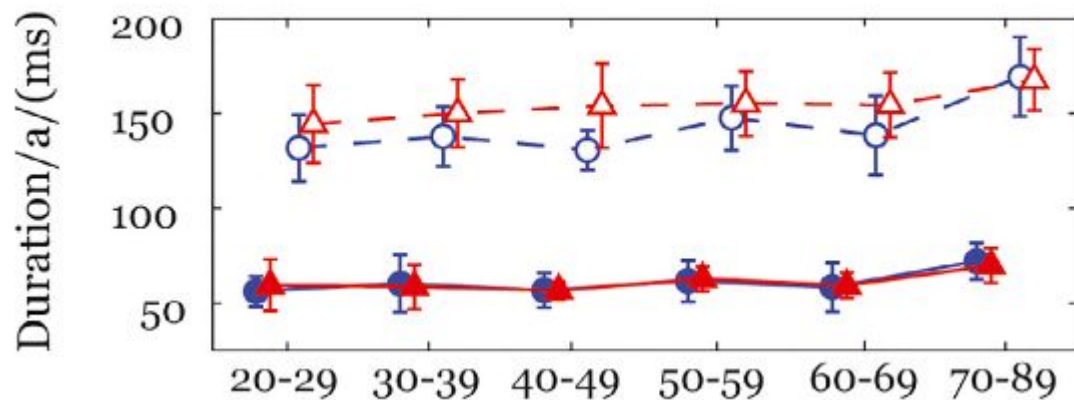
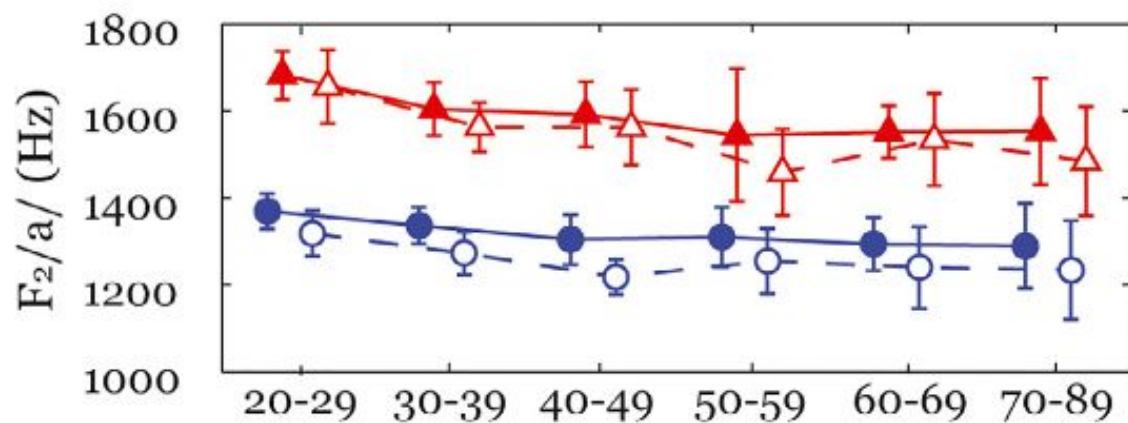
RM-ANOVA

- Varianzanalyse für Messwiederholungen
- Vergleicht Mittelwerte mehrerer Bedingungen innerhalb derselben Stichprobe, statt verschiedene Gruppen miteinander zu vergleichen
- Prüft, ob sich diese Mittelwerte stärker voneinander unterscheiden, als man es durch Zufall erwarten würde
- Ergebnis: F-Wert, der angibt, ob es einen Effekt der Bedingung/Zeit gibt
 - Wenn ja: Post-hoc Tests um herauszufinden, zwischen welchen Zeitpunkten oder Bedingungen die Unterschiede liegen

Haupteffekt ALTER

Vokal /a/

- Signifikanter Haupteffekt bei:
 - F_2 : P-Wert = 0,002
Post-hoc-Vergleiche: Signifikant höhere F_2 -Werte in der Altersgruppe 20-29 im Vergleich zu 40-89.
-> Altersbedingte Reduzierung der F_2 -Frequenz
 - Vokaldauer: P-Wert < 0,001
Post-hoc-Vergleiche: Signifikant erhöhte Vokaldauer in der Altersgruppe 70-89 im Vergleich zu den jüngeren Gruppen



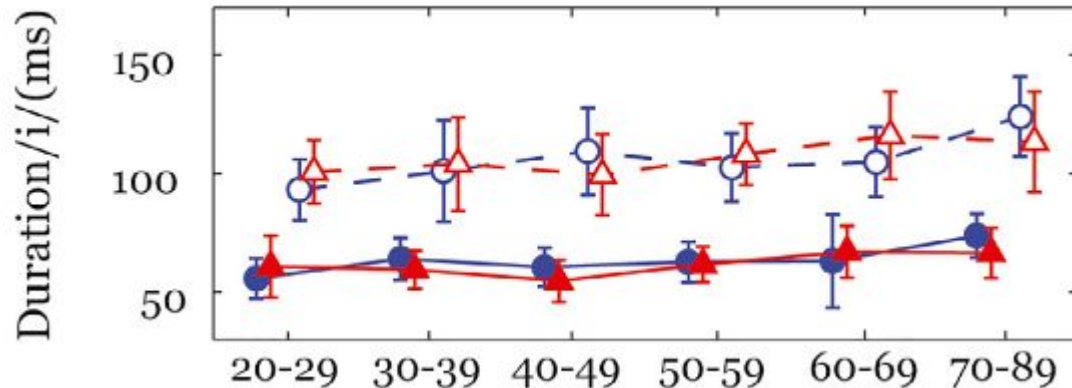
—●— Men - short vowel
-○- Men - long vowel

—▲— Women - short vowel
-△- Women - long vowel

Haupteffekt ALTER

Vokal /i/

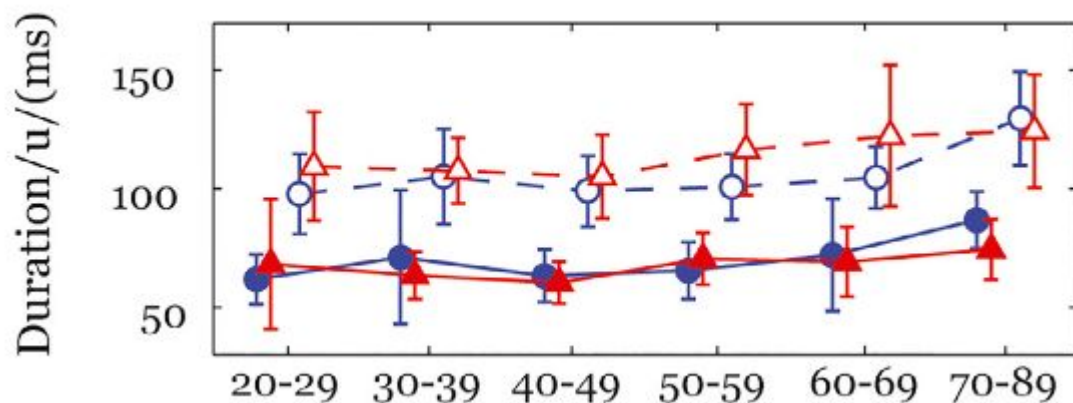
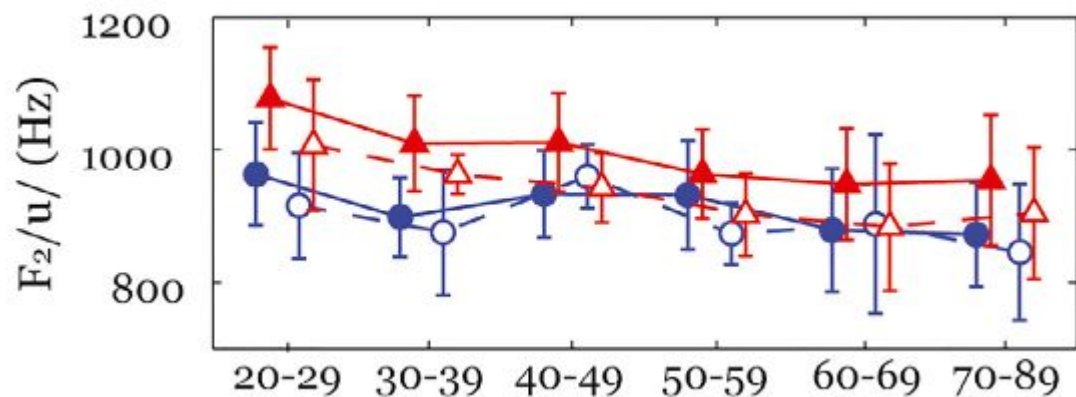
- Signifikanter Haupteffekt bei:
 - Vokaldauer: P-Wert = 0,003
Die Altersgruppe 70-89 zeigte signifikant verlängerte Vokaldauer im Vergleich zu den Gruppen 20-59.



Haupteffekt ALTER

Vokal /u/

- Signifikanter Haupteffekt bei:
 - F_2 : P-Wert = 0,009
Die F_2 -Frequenz war in der Gruppe 20-29 signifikant höher als bei den Gruppen 50-89.
Ähnlich wie bei /a/ deutet dies auf eine altersbedingte Abnahme von F_2 hin.
 - Vokaldauer: P-Wert = 0,002
Die Vokaldauer war in der Gruppe 70-89 signifikant erhöht im Vergleich zu den Gruppen 20-59.



—●— Men - short vowel
-○- Men - long vowel

—▲— Women - short vowel
-△- Women - long vowel

Haupteffekt GESCHLECHT

- Für alle drei Eckvokale (/a/, /i/, /u/) signifikanter Haupteffekt in fast allen akustischen Parametern
- F_0, F_1, F_2, F_3, F_4 signifikant unterschiedlich zwischen Männern und Frauen

Haupteffekt VOKALDAUER

- Für alle Eckvokale wurde ein signifikanter Haupteffekt der Vokaldauer (kurz vs. lang) festgestellt.

Interaktionen

- ALTER x GESCHLECHT:

Interaktion für die Grundfrequenz wurde bei allen drei Eckvokalen gefunden.
P-Wert = 0,04

- VOKALDAUER x GESCHLECHT:

Interaktion für F_1 bei /a/, F_2 bei /i/ und /u/ gefunden, und für die Vokaldauer bei /a/ und /u/.

-> weist auf vokalspezifische physiologische Unterschiede in den Messbereichen zwischen männlichen und weiblichen Sprechern hin.

P-Wert = 0,03

- ALTER x VOKALDAUER:

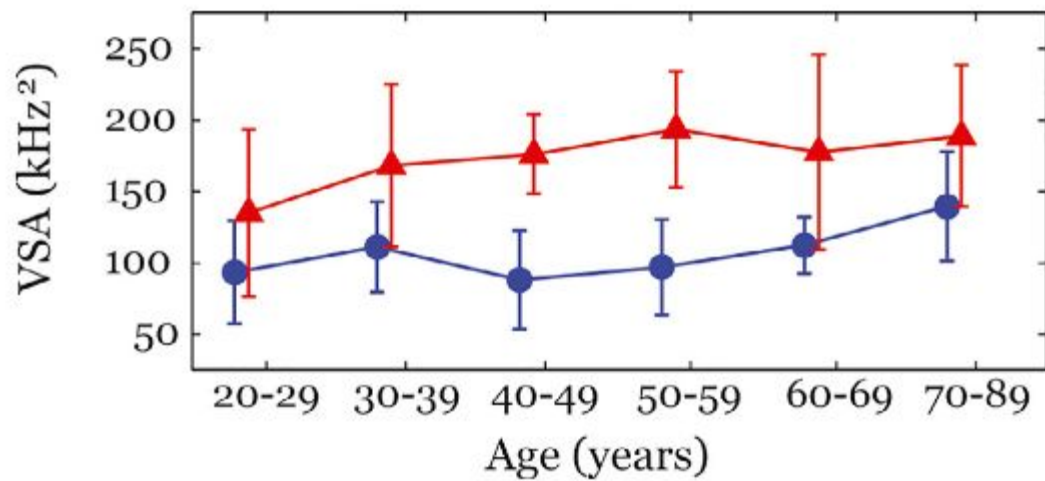
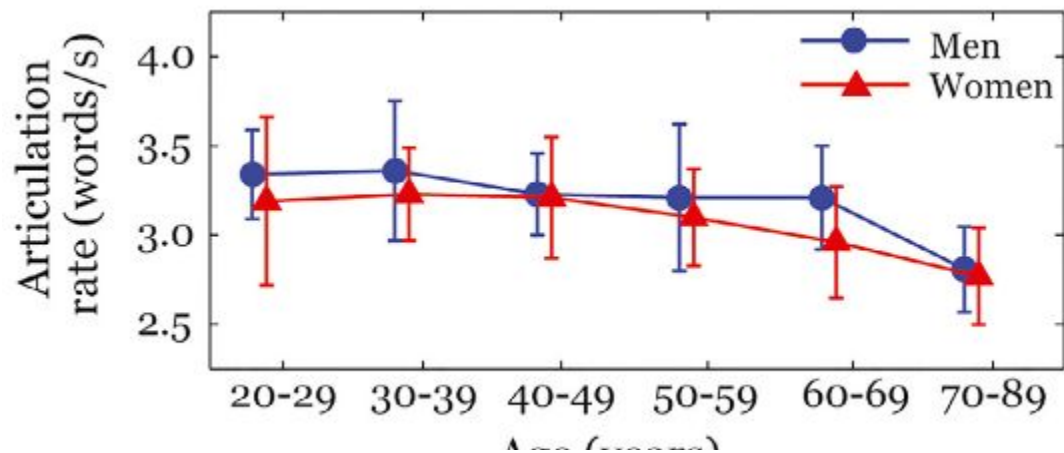
Signifikante Interaktion nur für F_2 bei /i/ festgestellt.

Zunahme von F_2 bei langen Vokalen in der männlichen Gruppe von 50-59.

P-Wert = 0,01

VSA und Artikulationsrate

- VSA:
Die 6x2 ANOVA zeigte keinen signifikanten Effekt des Alters auf die VSA.
- Artikulationsrate:
Negative Korrelation zwischen Artikulationsrate und Vokaldauer.
-> langsamere Sprecher produzieren längere Vokale
- Korrelation VSA und Vokaldauer:
Positive Korrelation zwischen der Größe des VSA und der durchschnittlichen Vokaldauer.
-> Vokaldauer könnte ein kompensatorischer Mechanismus sein, um artikulatorische Präzision aufrechtzuerhalten



Charakteristika tschechischer Vokale

- Vokaldauer

Durchschnittliche Dauer: 65ms (kurz), 128 (lang)

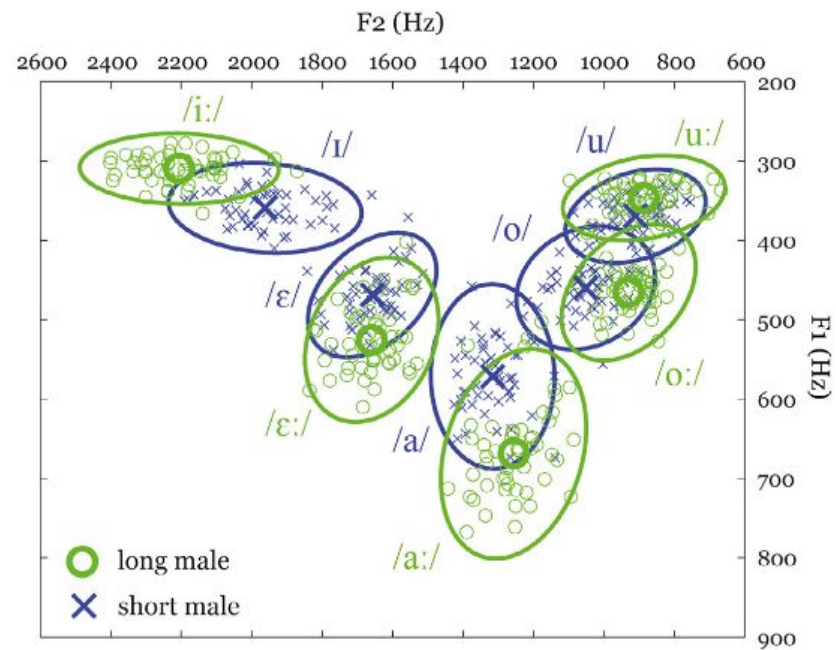
Keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Geschlechtern

- Formantstruktur

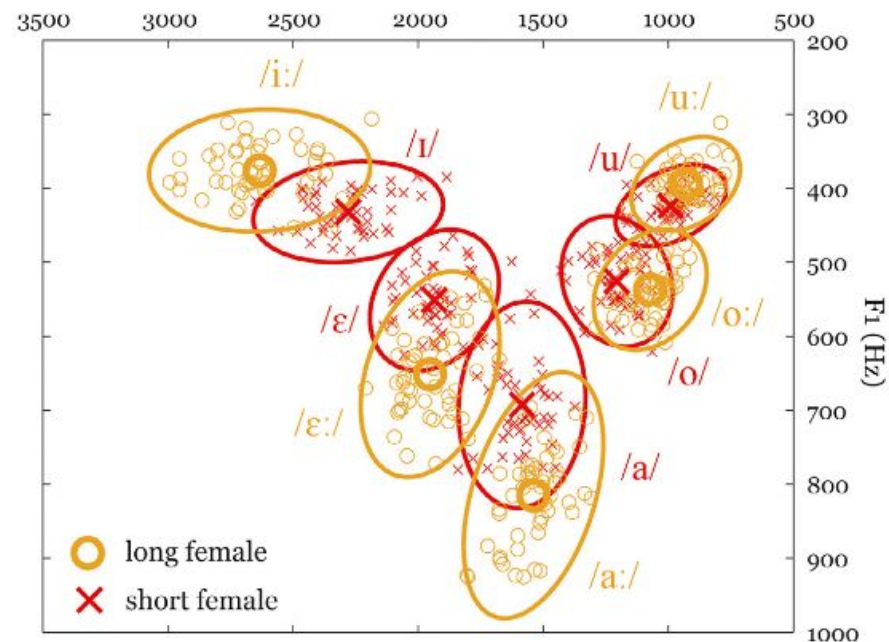
Deutlicher spektraler Unterschied zwischen dem kurzen /ɪ/ und dem langen /i:/.

-> Bestätigt frühere Perzeptionsstudien, die geringfügige qualitative Unterschiede in der Formantstruktur der kurzen und langen Gegenstücke von /a/, /ɛ/, /o/ und /u/ feststellten.

- Vokallänge ist systematisch akustisch relevant
 - Kurze Vokale sind stärker zentralisiert
Besonders /ɪ/, /ɛ/, /ɔ/
 - Lange Vokale wie /i:/, /u:/, /a:/ liegen
näher an Extrempositionen des Vokalraums
- > Männliche Sprecher artikulieren kurze
Vokale ökonomischer und weniger extrem



- Insgesamt höhere F_1 - und F_2 -Werte (kürzerer Vokaltrakt)
- Trennung zwischen langen und kurzen Vokalen ist klarer als bei Männern
- Besonders bei /a:/ vs /a/ starke vertikale Separation sichtbar



Fazit

- Altersbedingte Veränderungen in den Vokalformantfrequenzen waren entweder gering oder wirkten der Vokalzentralisierung entgegen
- Verlängerung der Vokaldauer als möglicher kompensatorischer Mechanismus zur Aufrechterhaltung von artikulatorischer Präzision in älteren Sprechern
- In älteren Sprechern kein Trend zur Reduktion/Zentralisierung des VSA beobachtet
-> Analyse der individuellen Unterschiede in der Vokalartikulation
möglicherweise geeignet zur frühen Erkennung von Neurodegeneration (z.B. Parkinson)

Quellen

- Tykalova, T., Skrabal, D., Boril, T., Cmejla, R., Volin, J., & Rusz, J. (2021). Effect of ageing on acoustic characteristics of voice pitch and formants in Czech vowels. *Journal of Voice*, 35(6), 931.e21-931.e33.
<https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2020.02.022>
- <https://www.phonetik.uni-muenchen.de/studium/skripten/SGL/SGLKap3.html>
- https://www.coli.uni-saarland.de/elaut/Languages_Sites/sampaTschechisch.htm