

Agentbasierte Modellierung und Lautwandel

Jonathan Harrington

Dear Jonathan,

This is to remind you of mentioning that I will be interested in having some help with annotating the Basque corpus for around a month or two. I will make word-level annotations and run MAuS through the files beforehand, so that only the segmental boundaries need to be adjusted and no prior knowledge of Basque is required. Thus, any BA/MA student with a solid background on annotation should be able to do the job.

They can contact me through my email (egurtzegi@phonetik.uni-muenchen.de) or in my office (249).

Thanks a lot for your help.

Best,

Ander.

Hintergrund

1. Computationelle Modelle des Lautwandels
2. Phonetisch Asymmetrie und Lautwandel
- 3,4. Imitation und Dialektentwicklung
5. Exemplartheorie
6. Erste Hypothesen für das computationale Lautwandel-Model

Computationelle Modelle des Lautwandels

Komplexe Systeme

Lokale, zufällige Interaktionen führen zu komplexen Mustern in der Natur - ohne vorigen Entwurf oder Planung¹

Siehe vor allem Donella Meadows *Thinking in Systems: A Primer*.
London: Earthscan

Agent-basierte Modellierung²

Agenten (z.B.) Menschen interagieren miteinander; daraus entstehen gemeinsame Prinzipien des Gruppenverhaltens.

Sprache als komplexes System³

Die Phonologie einer Gemeinschaft ist emergent³ (entsteht aus lokalen Interaktionen zwischen Sprecher und Hörer).

1. Schoenefeld, V. Introduction to Complex Systems: Patterns in Nature

2. Castellano, C., Fortunato, S. & Loreto, V (2009) Statistical physics of social dynamics. *Review of Modern Physics*, 81, 591–646.

3. Oudeyer, 2011, *Perilus*, 77-97

Computationelle Modelle des Lautwandels

Computationelle Modelle bieten eine Methode, um den Ursprung des Lautwandels, seine Verbreitung, und die menschliche Sprachverarbeitung zu verknüpfen

Ursprung des Lautwandels

Lautwandel entsteht aus synchroner Variabilität und phonetischer Asymmetrie (Bias)

Verbreitung des Lautwandels

Lautwandel zumindest in der ersten Phase verbreitet sich in einer Gemeinschaft eventuell durch Imitation.

Das computationale Modell soll simulieren wie synchrone phonetische Asymmetrien durch die sprachliche Kommunikation zwischen Individuen vergrößert wird.

2. Phonetische Asymmetrie und Lautwandel

Synchronische phonetische Asymmetrie

[u]-Frontierung ist häufiger als
die Rückverlagerung von [i]

Prosodisch finale Entstimmung
wie im Engl. *sad*. (aber stimmlose
Laute phrasenfinal werden selten
stimmhaft).

s → ʃ ist synchron viel
häufiger als ʃ → s

Lautwandel

Viele Lautwandel-Beispiele der
[u]-Frontierung (e.g. Labov,
1994).

prosodisch finale Neutralisierung
(Rat/Rad = /rat).

s → ʃ ist ein häufiger
Lautwandel z.B. die
Entwicklung von /ʃ/ in
deutschem *Stein* usw.

3. Lautwandel-Verbreitung und Imitation

Sprecher imitieren sich gegenseitig

Neuere empirische Untersuchungen

- A-X-B. (A, B) = Ein Sprecher produziert eine Wortliste (A) hört einen anderen Sprecher (X) und wiederholt danach die Wortliste (B). B-X sind oft phonetisch ähnlicher als A-X ^(1, 2)
- Langfristige Konvergenz zwischen Sprechern ⁽³⁾
- Imitation betrifft auch nicht-sprachliche Bewegungen ^(4, 5) und andere linguistische Komponente (z.B. Syntax)⁶

1. Delvaux & Soquet (2007, *Phonetica*); 2. Nielsen (2011, *J. Phon*); 3. Pardo et al (2012, *J. Phon*). 4. Shockley et al (2009, *Top Cog Sci*, 1); 5. Sebanz et al (2006, *Trends Cog. Sci.*) 6. Garrod & Pickering, 2009, *Top.Cog.Sci*)

4. Lautwandel, Determinismus, Dialekt-Entwicklung

Eventuell durch gegenseitige Imitation

Trudgill (2008)¹: Neuseeland-Englisch ist wegen Dialektmischung aufgrund von Imitation (vor allem bei Kindern) entstanden.

Labov (2001)²: viele Lautwandel sind nicht sozial bedingt und entstehen mechanistisch durch Interaktionen.

Harrington, Palethorpe, Watson (2000)³: Verschiebung der aristokratischen Sprache der Königin in die Richtung einer Mittelstandsaussprache ohne dessen Werte zu erreichen.

1. Trudgill (2008) *Language in Society*, 37, 241-254. 2. Labov (2001), *Principles of linguistic change vol 2*. 3. [Harrington, Palethorpe, Watson \(2000\), *Nature*, 408, 927-928.](#)

5. Exemplantheorie und Lautwandel

Es gibt in der menschlichen Sprachverarbeitung eine statistische Beziehung zwischen Wörtern und deren im Gedächtnis gespeicherten Sprachsignale (Pierrehumbert, 2003a, b).

Phonologische Einheiten entstehen, weil sich diese statistische Verteilungen von Wörtern an gewissen Stellen miteinander überlappen (die phonologische Abstraktion entsteht aus den im Gedächtnis gespeicherten Sprachsignalen)

Diese Verteilungen werden durch die wiederholte Wahrnehmung z.B. Kontakt mit einer neuen Aussprache geändert: dadurch entsteht **ein gradueller Wandel** in der Beziehung zwischen Phonologie und Sprachsignalen.

Pierrehumbert (2003a). *Language and Speech*, 46.115–54.; siehe auch pierrehumbert03b.pdf in der Literatur-Webseite

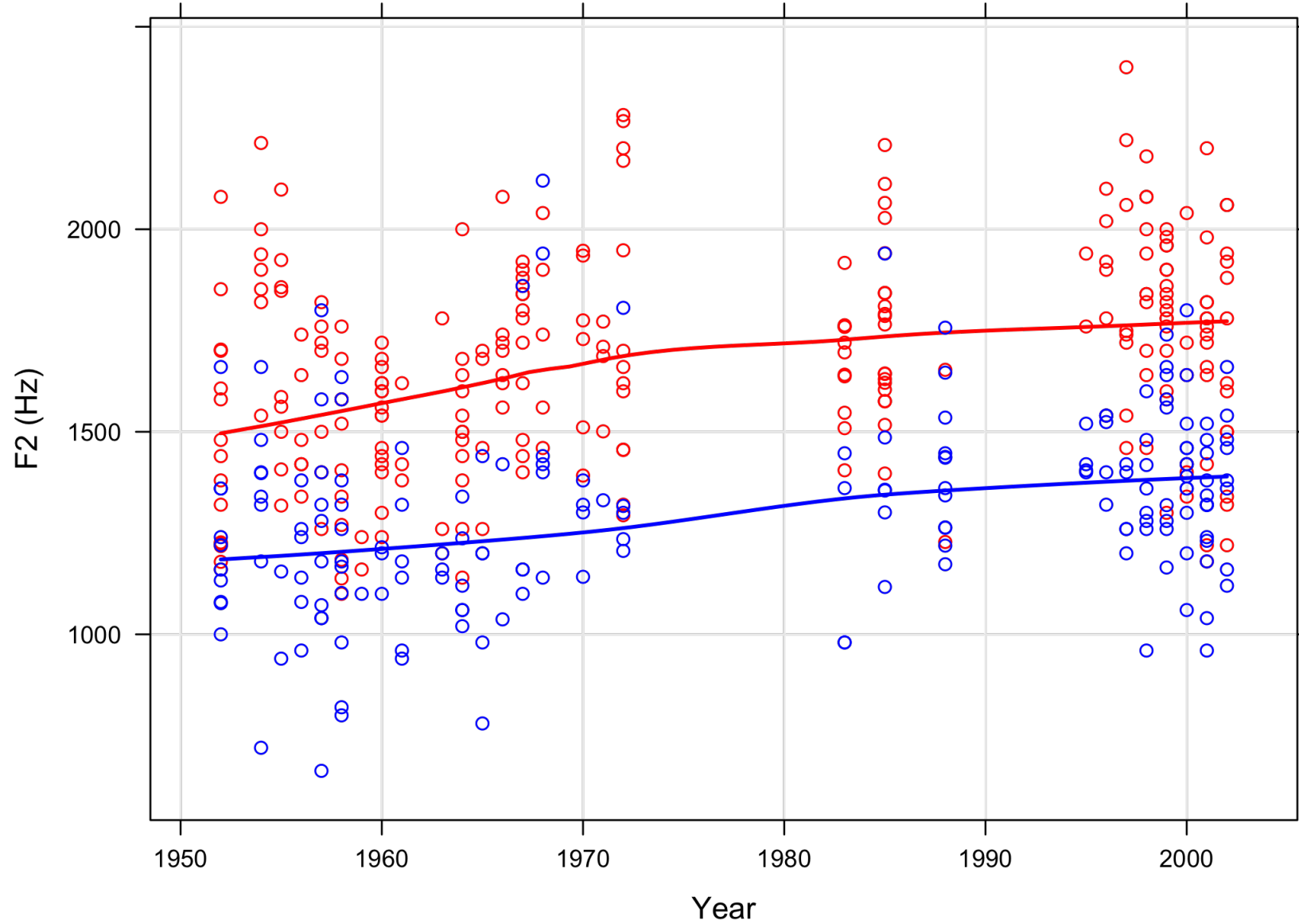
5. Gradueller Lautwandel Königin Elizabeth II

○ ju: (*few*)

Queen Ell: Christmas broadcasts

○

u: (*food*)



Ein computationelles Modell des Lautwandels

Interaktive sprachliche Kommunikation kann phonetische Variation vergrößern und führt zu Lautwandel nach den Prinzipien 1-3:

1. Communication density/population dynamics

z.B. Trudgill (2008)¹: die Gestaltung einer Aussprache entsteht aufgrund der gegenseitigen nicht-sozialen Imitation der Sprache (Fowler et al, 2008²; Sebanz et al, 2006³).

2. Asymmetrische Verteilungen

d.h. Bias in der phonetischen Variation



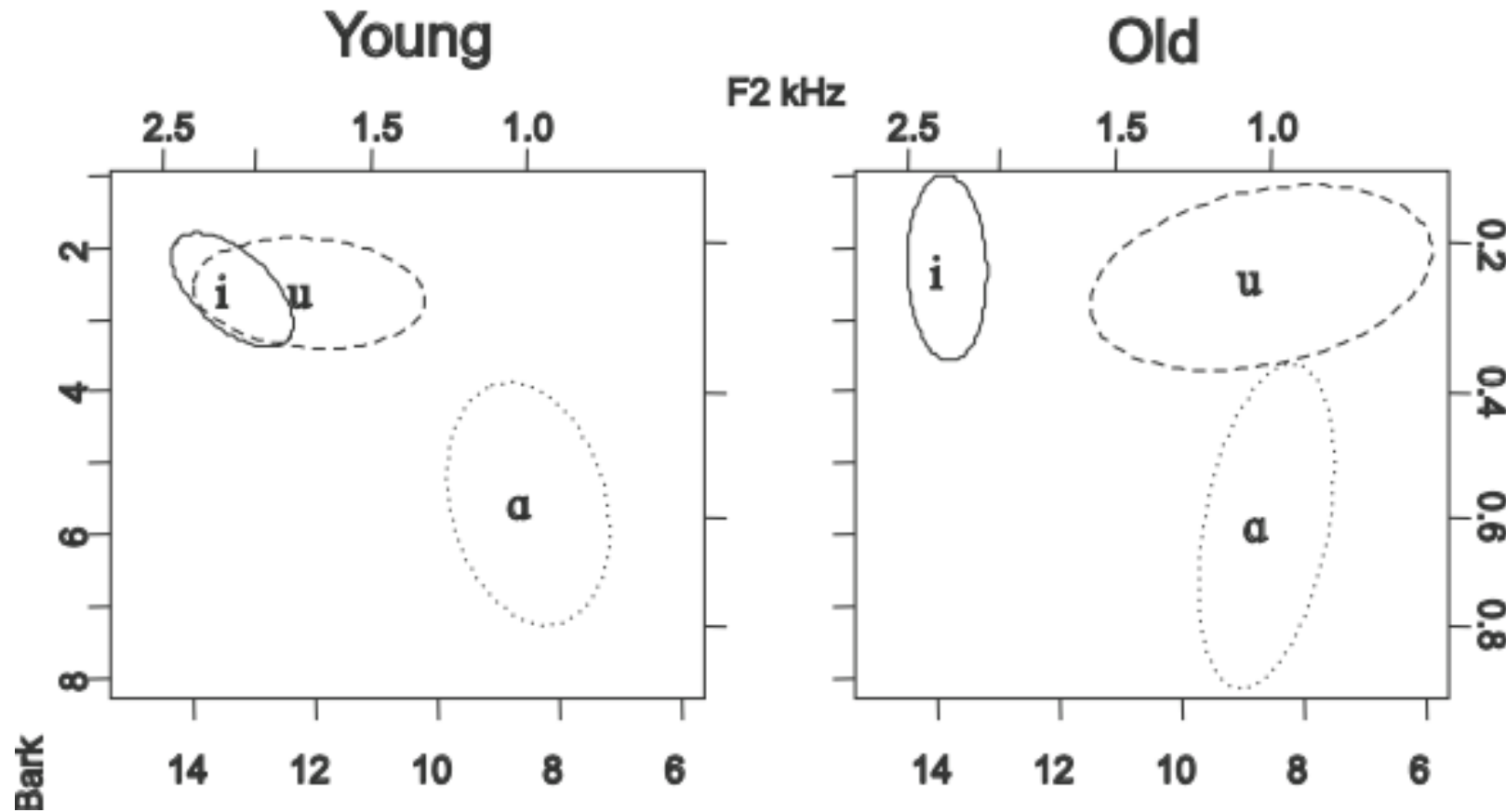
3. Individuen die diesen Bias vergrößern

Interaktion mit Individuen, deren phonetischen Werte in die Richtung der Variation verteilt sind, führt zu Wandel.

1. Trudgill (2008). *Language in Society*, 37, 241–254. 2. Fowler et al (2008). In A. Fuchs & V. Jirsa (Eds). *Understanding Complex Systems* (p. 261-279). 3. Sebanz et al (2006). *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 70-76.

Test der Hypothese

Für das computationelle Modell wurden in Harrington & Schiel (2017)¹ Daten aus Harrington, Kleber & Reubold (2008)² verwendet (ältere und jüngere Sprecher von Standardenglisch). Sie unterscheiden sich dadurch, dass [u] für jung frontierter ist.

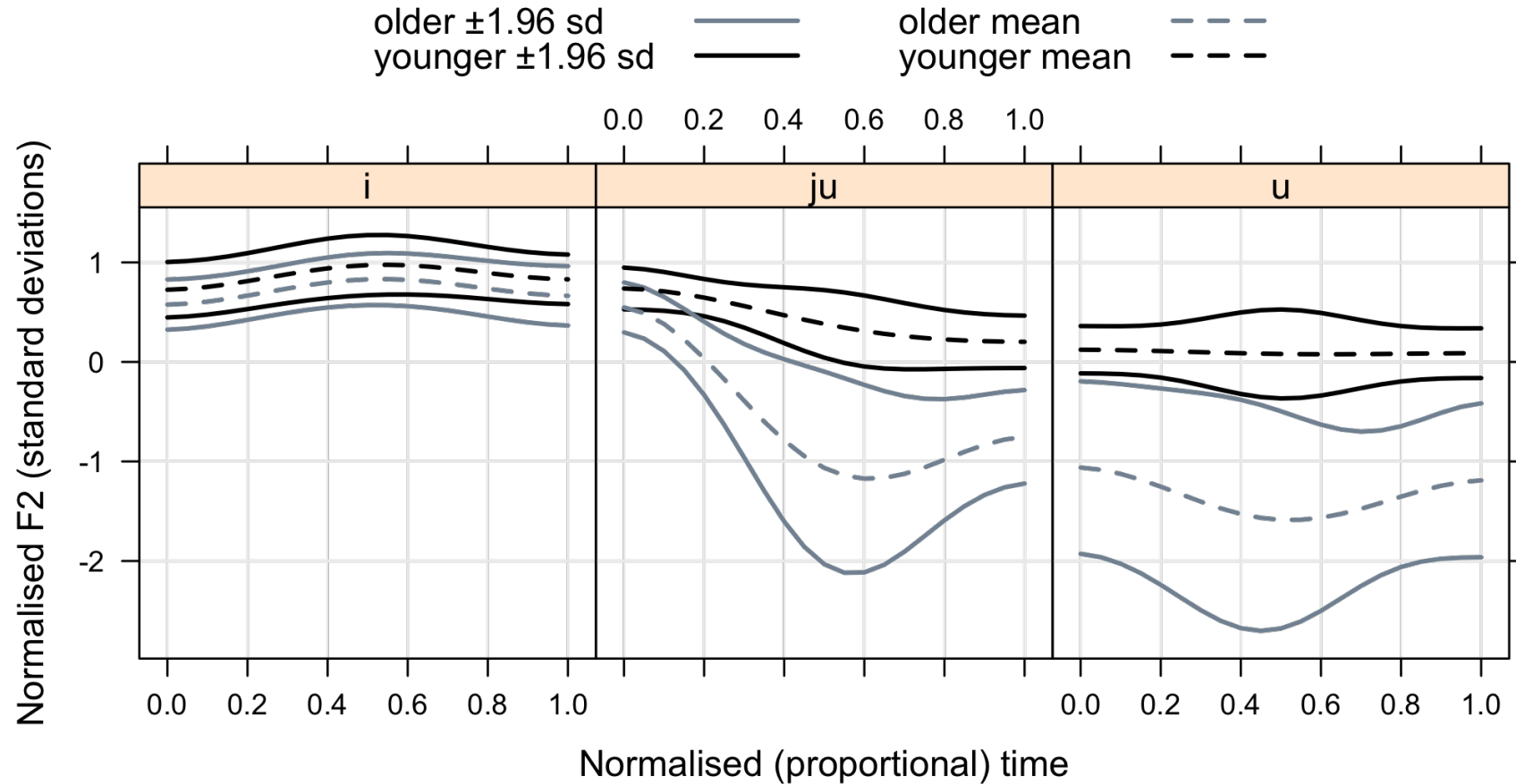


1. [Harrington & Schiel \(2017\) *Language*](#)

2. [Harrington, Kleber, Reubold \(2008\), *JASA*, 123, 2825-2835](#)

Test der Hypothese

Die Richtung der Variation ist auch asymmetrisch: alt streut mehr in die Richtung von jung als umgekehrt.



Insofern müsste alt eher in die Richtung von jung gezogen werden, wenn sie miteinander interagieren.

Sprecher, Materialien

Daten aus Harrington, Kleber, Reubold (2008)

27 Sprecher, 14 alt (Alter 69.2 Jahre), 13 jung (Alter 18.9 yrs)

Sie produzierten 10 Wiederholungen 54 isolierter Wörter.
Die agentbasierte Modellierung verwendete Minimalpaare:
11 Wörter × 10 Wiederholungen = 110 Produktionen pro
Sprecher:

	/f/	/s/	/k/	/h/
i	feed	seep	keyed	heed
ju	feud		queued	hewed
u	food	soup	cooed	who 'd

Das agent-basierte Lautwandel- Modell

Im Gegensatz zu fast allen anderen computationellen Lautwandel-Modellen:

1. Harrington & Schiel (2017) verwendeten akustische Signale von tatsächlichen Sprechern (den Sprechern aus Harrington, Kleber, Reubold, 2008) mit einem Agenten pro Sprecher.
2. Die Agenten tauschen dynamische Signale aus. Dadurch können auch dynamische Lautwandel modelliert werden (z.B. Monophthonge → Diphthonge)

Akustische Parameter

F2-Trajektorien in /i, ju, u/ (e.g. *feed, feud, food*)

Lineare Zeitnormalisierung (jede Trajektorie hat die Dauer zwischen 0 und 1)

DCT-Transformation: Jede F2-Trajektorie wurde als ein Punkt in einem 3D-Raum parametrisiert. Die DCT-Koeffiziente C_0 , C_1 , C_2 (im Verhältnis zum F2-Mittelwert, -lineare Steigung, und Krümmung) waren die Achsendimensionen.

Diskrete Cosinus-Transformation

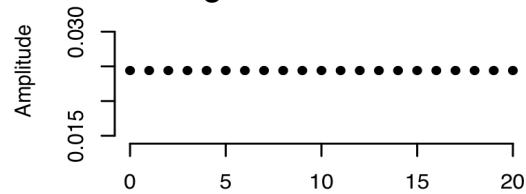
F2-
Trajektorie

DCT-Koeffs.

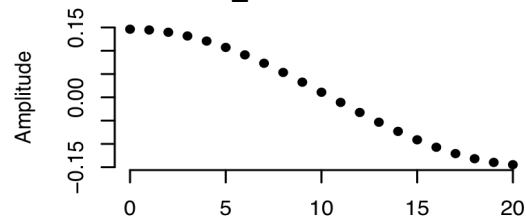
F2-
Rekonstruktion

Amplituden von Kosinuswellen

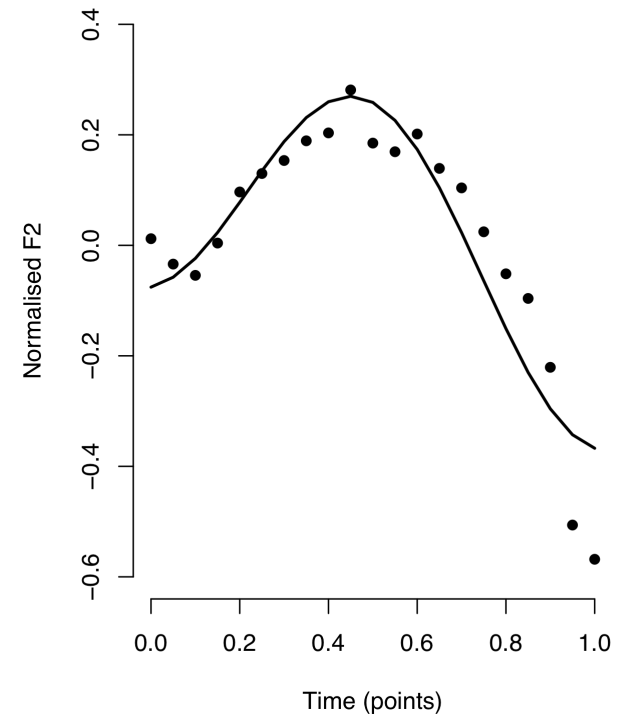
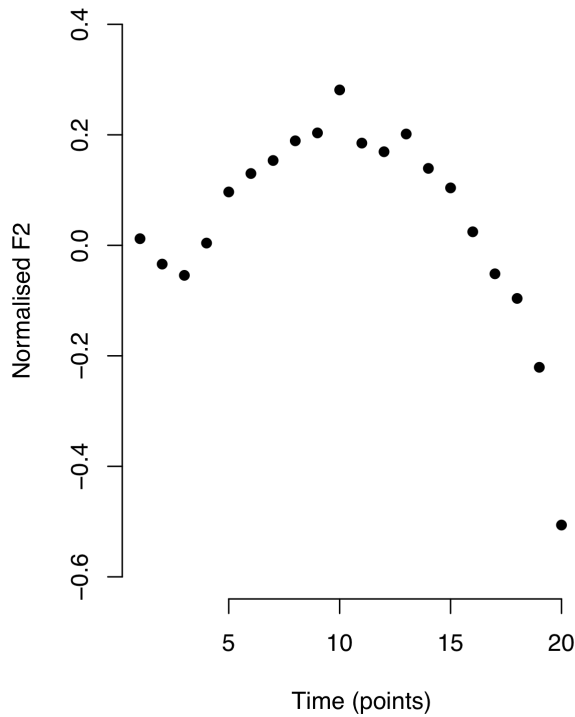
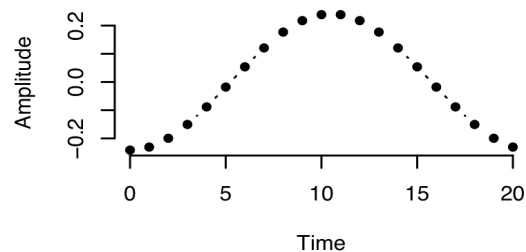
C_0 (Mittelwert)



C_1 (Steigung)



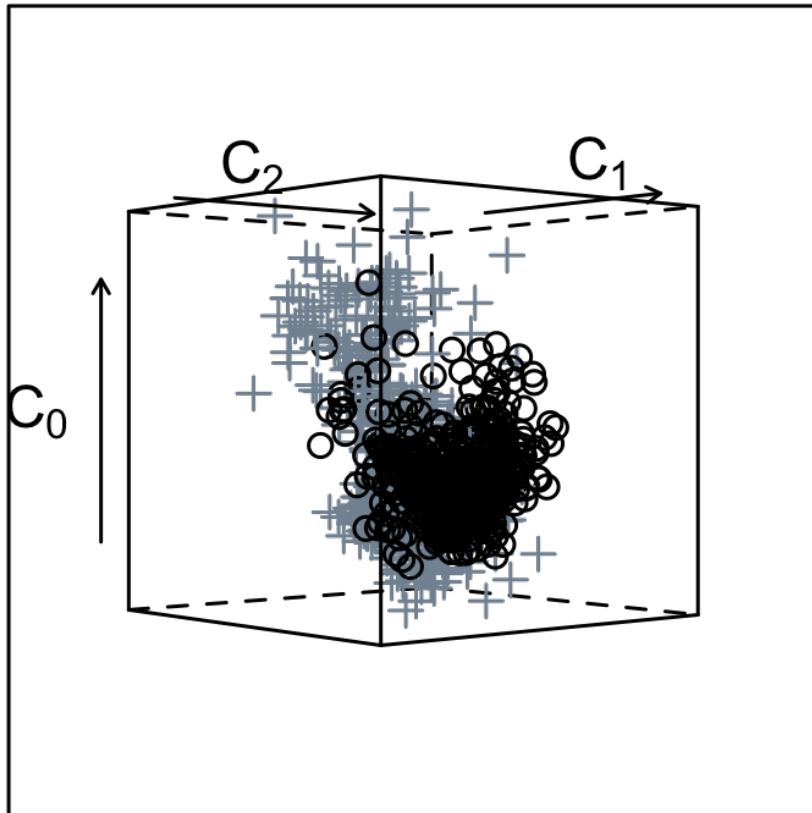
C_2 (Krümmung)



Alt streut mehr in die Richtung von jung als umgekehrt

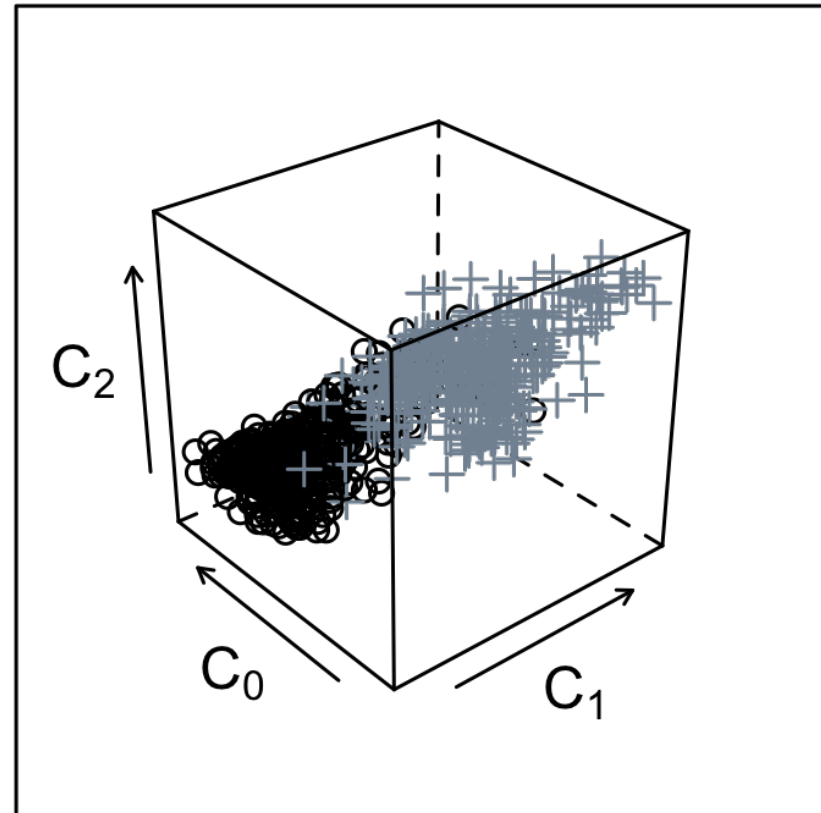
/u/

older +
younger ○



/ju/

older +
younger ○



Agent-basierte Modellierung: Sprecher und Agenten

22 Sprecher: 11 alt, 11 jung

Ein Agent pro Sprecher. Jeder Agent besitzt diese Information:

- Wortklassen (11 *soup, seep, food...*)
- Phonologische Klassen: /i, ju, u/
- Die DCT-Koeffiziente (Parametrisierung der Signale)

Typischerweise 110 Objekte Pro Agent

Ein *Objekt* enthält 5 Informationsteile: z.B. {seep, /i/, 3 DCT Koeffiziente.}

Interaktion

Zwei Agenten wurden auf eine zufällige Weise ausgewählt. Einer ist der **Agentsprecher**, der andere der **Agenthörer**

Agentsprecher (AS)

- Eine Wort im Lexikon wurde auf eine zufällige Weise gewählt
- Konstruktion einer Gaussglocke im 3D-Raum der Wortklasse (basiert auf ca. 10 Wiederholungen des Wortes)
- Eine Stichprobe wurde durch die Gaussglocke generiert (= der Agent spricht).
- Das Wort + Sprachsignal (3 DCT Koeffiziente) wurde dem Agenthörer übertragen...

Der Agenthörer

1. Aufnahme von einem Objekt ins Gedächtnis

Um z.B. einen wahrgenommenen 'heed' aufzunehmen, musste das Signal probabilistisch näher an die Verteilung von /i/ als von /ju, u/ sein – um zu vermeiden, dass für den Hörer unwahrscheinliche Signale aufgenommen wurden.

2. Entfernung aus dem Gedächtnis

Wenne z.B. *heed* vom Hörer aufgenommen wird, dann wird der unwahrscheinlichste *heed*-Token (= der Token am weitesten entfernt in der Verteilung) aus dem Hörer-Gedächtnis entfernt. Dadurch bleibt nach einer Interaktion die Anzahl der Wiederholungen pro Wort konstant.

Modelle und Vorhersagen

Drei ABMs wurden durchgeführt mit

(a) 11 älteren Sprechern

(b) 11 jüngeren Sprechern

(c) Allen 22 Sprechern

Vorhersagen

Kein Wandel in /ju, u/ in (a, b) da die Gruppen homogen sind (haben entweder vordere oder hintere /u/s).

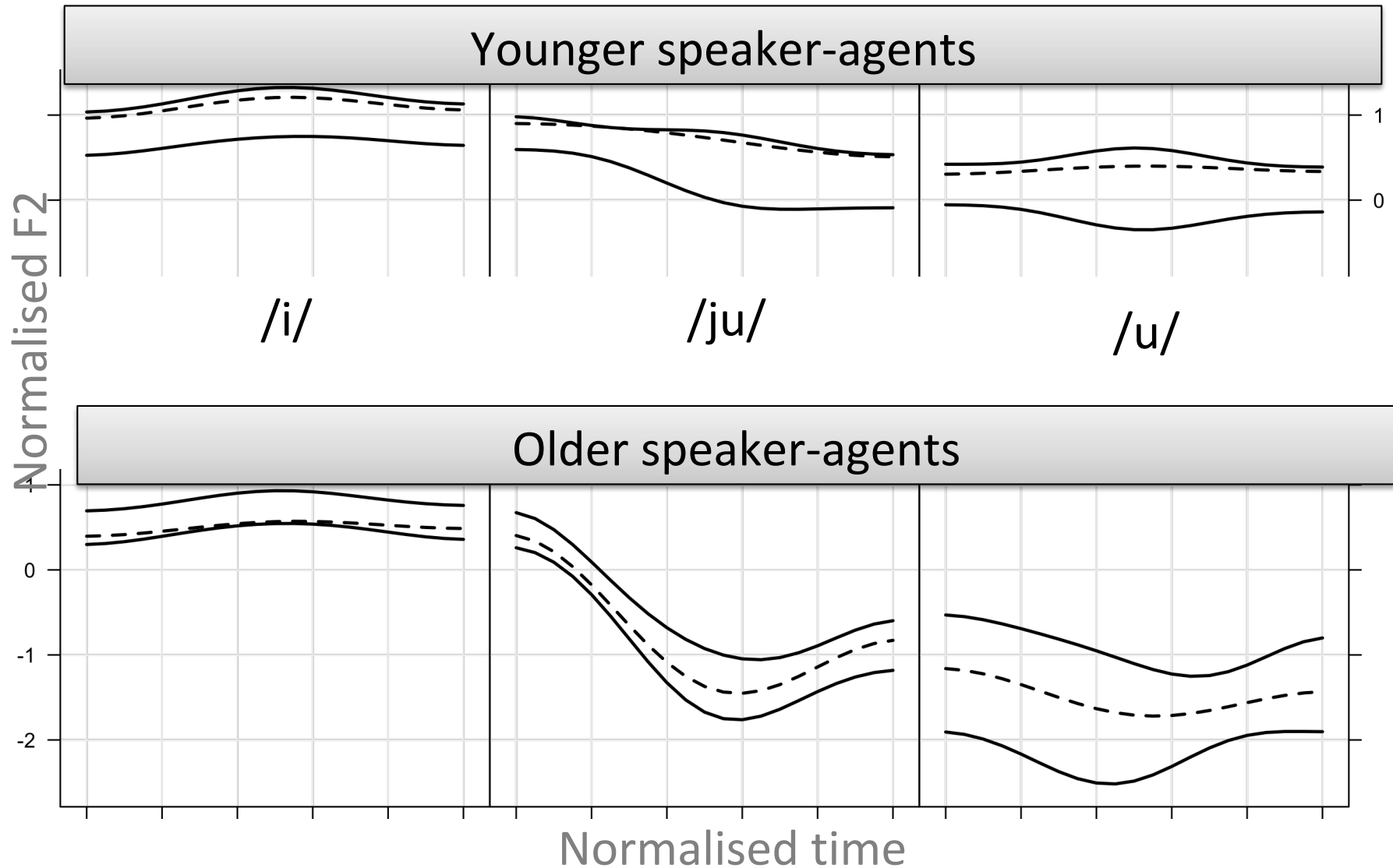
Der Wandel in (c) ist asymmetrisch: /ju, u/ von alt wird in die Richtung von jung gezogen

Kein Wandel in /i/ in (a, b, c) (da in /i/ wenig Sprechervariation vorhanden ist).

Ergebnisse 1: Kaum Änderungen innerhalb der Altersgruppen

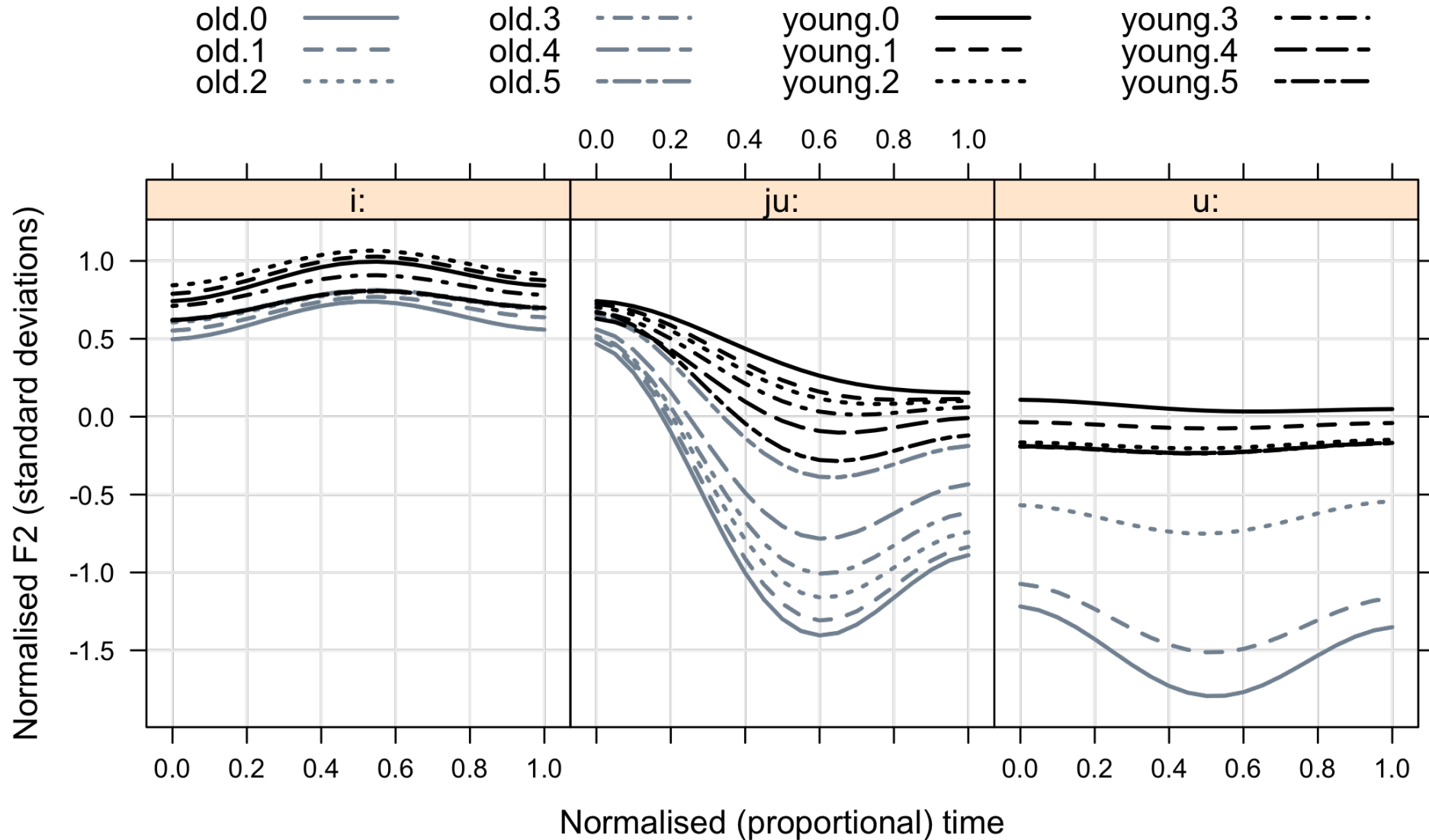
Original \pm 2 s.d.

Mitterwert nach 30000 paarweise Interaktionen



Ergebnisse 2: alt → jung, wenn alt und jung miteinander interagiert

(old.3 = alt nach 30000 Interaktionen)



Simulationen

<ftp://ftp.bas.uni-muenchen.de/pub/BAS/ABM/Animations/StartHere.html>

Aktuelle Forschungen zur agent-basierten Modellierung am IPS

Phonetische Varianten: derselben phonologischen Kategorie

/u/ fronting in SBE: Harrington & Schiel (2017)

... verschiedener Kategorien

/s/ → /ʃ/ in Wörtern wie 'stream' in australisch-englisch (Stevens, Harrington, Schiel, in press; Harrington et al, 2018).

Metathese

Alt andalusische Sprecher: pa^hta → jung andalusisch [pat^ha] (*pasta*). (Croneberg, MA thesis, 2018).

A phonological split

leiden in alt-fränkischen Sprechern → *leiten/leiden* in jung fränkischen Sprechern (Cronenberg, MA thesis 2018)

A phonological merger

Neuseeland-englisch *fair/fear* sind für jung beide /fiə/; für alt werden sie noch als /feə, fiə/ differenziert.

Weitere Literatur

Johanna Croneberg (2018). Agent-based Modelling in Spoken Language. MA-Arbeit, IPS. In /vdata/Seminare/Prosody/lit

Stevens, M., Harrington, J., Schiel, F., & Stevens, M. (2018)
[Associating the origin and spread of sound change using agent-based modelling applied to /s/-retraction in English.](#) *Glossa*, in press.

Harrington, J., Kleber, F., Reubold, U., Schiel, F., & Stevens, M. (2018)
[Linking cognitive and social aspects of sound change using agent-based modeling.](#) *Topics in Cognitive Science*, 1-21.