

EKP-Untersuchungen zur Verarbeitung prosodischer Hinweisreize

Julia Holzgrefe

Department Linguistik, Universität Potsdam

1 Einleitung

Die Ebene der Prosodie ist von zentraler Bedeutung beim Verstehen gesprochener Sprache, denn prosodische Informationen unterstützen die syntaktisch-semantische Analyse. Insbesondere fallen syntaktische und prosodische Grenzen häufig zusammen. Dies bedeutet, dass syntaktische Grenzen im Sprachstrom anhand prosodischer Hinweisreize markiert werden. Ihre zentrale Rolle nimmt die Prosodie bereits im frühen Spracherwerb ein. Im Rahmen des *Prosodic Bootstrapping Accounts* (Gleitman & Wanner, 1982) wird davon ausgegangen, dass Säuglinge prosodische Informationen im Sprachstrom nutzen, um daraus Wissen über andere sprachliche Ebenen ihrer Zielsprache, zum Beispiel über die Syntax, abzuleiten. So wurde beispielweise bereits vielfach belegt, dass Säuglinge die Hinweisreize an prosodischen Grenzen nutzen, um Satz- und Phrasengrenzen zu erkennen (z. B. Hirsh-Pasek et al., 1987; Nazzi, Kemler Nelson, Jusczyk & Jusczyk, 2000; Soderstrom, Seidl, Kemler Nelson & Jusczyk, 2003; für einen Überblick siehe Schröder & Höhle, 2011). Aber welche Informationen genau nutzen Säuglinge und Erwachsene bei der Wahrnehmung prosodischer Grenzen?¹

Intonationsphrasen stellen in der prosodischen Hierarchie die größte prosodische Einheit unterhalb der Äußerung dar. Sie sind in der psycholinguistischen Forschung von besonderem Interesse, da gerade ihre Grenzen häufig mit großen syntaktischen Grenzen, wie

¹ Die hier vorgestellten Experimente sind Teil eines DFG-Projekts zur Verarbeitung von prosodischen Grenzmarkierungen bei Säuglingen und Erwachsenen („Development of prosodic competence in early first language acquisition: Behavioral and neurophysiological investigations“) unter der Leitung von Barbara Höhle, Isabell Wartenburger und Hubert Truckenbrodt.

Sätzen oder Teilsätzen, zusammenfallen. Im Deutschen werden Intonationsphrasengrenzen (IPGs) hauptsächlich durch drei prosodische Markierungen (*Cues*) signalisiert. Dies ist zum Einen die Veränderung der Tonhöhe, auch *Pitch* genannt, zum Beispiel ein Anstieg oder Abfall der Pitch-Kontur zu einem hohen oder tiefen Grenzton. Zudem zeigt sich an einer IPG eine finale Dehnung. Dies bedeutet, dass das letzte Segment oder die letzte Silbe vor der Grenze länger ist als ein vergleichbares Element in einer nicht-finalen Position. Drittens werden IPGs durch Sprechpausen zwischen zwei Intonationsphrasen markiert. In der Sprachproduktion treten diese drei Hinweisreize oft, aber nicht zwingend in Kombination auf (für das Deutsche: Peters, Kohler & Wesener, 2005). Perzeptionsstudien aus dem Englischen und dem Niederländischen deuten darauf hin, dass die Bedeutung der einzelnen Hinweisreize für die Wahrnehmung einer IPG einzelsprachspezifisch ist (Aasland & Baum, 2003; Sanderman & Collier, 1997; Scott, 1982; Streeter, 1978) und dass sich diese Gewichtung im Laufe des ersten Lebensjahres entwickelt (Johnson & Seidl, 2008; Seidl, 2007; Seidl & Cristià, 2008).

2 Methode und Material

Um zu erforschen, welche Hinweisreize im Deutschen für die Wahrnehmung einer Intonationsphrasengrenze erforderlich sind, wurde die Verarbeitung bei Erwachsenen und Säuglingen mit der Methode der ereigniskorrelierten Hirnpotentiale (EKP) untersucht. In zahlreichen EKP-Studien (für das Deutsche z. B. Männel & Friederici, 2009; Pannekamp, Toepel, Alter, Hahne & Friederici, 2005; Steinhauer, Alter & Friederici, 1999) hat sich in der Vergangenheit eine EKP-Komponente etabliert, welche die Verarbeitung einer IPG im Sprachverstehensprozess widerspiegelt: Der sogenannte *Closure Positive Shift* (CPS) zeigt sich als eine breit auftretende Positivierung im EKP, die mit dem Schließen einer Intonationsphrase einhergeht. Bei Erwachsenen ist der CPS somit ein etablierter elektrophysiologischer Indika-

tor für die Wahrnehmung einer IPG, der die Verarbeitung prosodischer Informationen reflektiert. Ob bereits Säuglinge als Reaktion auf die Wahrnehmung einer IPG einen CPS zeigen, ist derzeit noch Gegenstand einer Debatte der aktuellen Forschungsliteratur (vgl. Pannekamp, Weber & Friederici, 2006 vs. Männel & Friederici, 2009, 2011).

Das Stimulusmaterial basierte auf Aufzählungen dreier Vornamen, die nach dem zweiten Vornamen eine Intonationsphrasengrenzen enthielten (Bsp. 1b) oder nicht (Bsp. 1a):

(1a) Ohne IPG: [Moni und Lilli und Manu]_{IP1}

(1b) Mit IPG: [Moni und Lilli]_{IP1} # [und Manu]_{IP2}

Die Stimuli mit IPG wurden im Experiment selbst nicht verwendet, sondern dienten nur als Referenz für die nachstehend beschriebenen akustischen Manipulationen, da sie an der IPG die drei prosodischen Hinweisseize enthielten: erstens, einen Anstieg der Tonhöhe auf dem zweiten Name hin zu einem hohen Grenzton am Ende des Namens, zweitens eine Dehnung des finalen Vokals des zweiten Namens und drittens eine Pause zwischen dem zweiten und dem dritten Namen der Aufzählung.

Mithilfe der Software Praat (Boersma & Weenik, 2010) wurden die Stimuli ohne IPG so manipuliert, dass zwei weitere experimentelle Bedingungen entstanden, anhand derer der Einfluss der Tonhöhenveränderung allein und in Kombination mit der finalen Dehnung untersucht werden sollte: Während Stimuli der Bedingung „mit Pitch-Cue“ den Anstieg der Tonhöhe und den hohen Grenzton auf dem zweiten Namen enthielten, enthielten Stimuli „mit Pitch-Cue und finaler Dehnung“ neben der Tonhöhenveränderung auch die Dehnung des finalen Vokals.

3 Erwachsenenstudie

In einem EKP-Experiment wurden 28 Versuchspersonen (davon 22 Frauen; Altersspanne: 20–30 Jahre, Altersdurchschnitt 23.5 Jahre) 180 Stimuli in pseudo-randomisierter Reihenfolge auditiv über Kopfhörer präsentiert. Je 60 Stimuli gehörten zu einer von drei experimentellen Bedingungen: (A) ohne IPG, (B) mit Pitch-Cue, (C) mit Pitch-Cue und finaler Dehnung. Im Anschluss an jeden Stimulus wurde den Probanden eine Entscheidungsfrage gestellt, mit der erhoben werden sollte, ob die Probanden eine interne Gruppierung innerhalb der Namensaufzählung wahrgenommen hatten. Die Probanden mussten per Knopfdruck entscheiden, ob sich die zuvor gehörte Namensaufzählung eher anhörte wie „[X und Y und Z]“ oder wie „[X und Y] [und Z]“, wobei die Auswahlmöglichkeiten visuell auf einem Computermonitor präsentiert wurden. Die EEG-Aufzeichnung erfolgte an 29 Elektroden (Abb. 1).

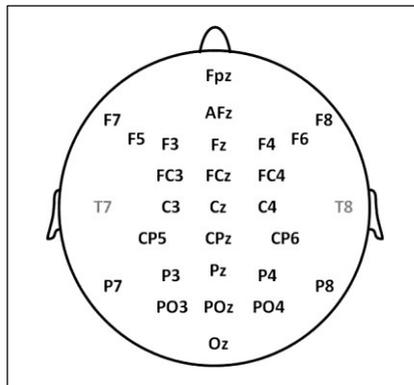


Abbildung 1. Schematische Darstellung der in der Erwachsenenstudie genutzten Elektrodenpositionen. Daten der hellgrauen Elektroden (T7/8) gingen nicht in die statistische Auswertung ein.

3.1 Ergebnisse

Die visuelle Inspektion der EKP-Daten zeigte einen CPS für die Bedingung (C) – „mit Pitch Cue und Dehnung“ – wohingegen sich der

EKP-Kurvenverlauf die Bedingung (B) – „mit Pitch-Cue“ – nicht von der Kontrollbedingung (A) ohne IPG unterschied. Dieses Muster zeigte sich über frontale, zentrale und parietale Elektroden und wird in Abbildung 2 beispielhaft an der zentralen Mittellinienelektrode Cz illustriert. Eine statistische Datenanalyse über 27 Elektroden bestätigte dieses Reaktionsmuster: Eine ANOVA über die gemittelten Amplitudenwerte im Zeitfenster 100–400 ms nach dem zweiten Namen zeigte einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor experimentelle Bedingung ($F_{2,54}=9.08$, $p<.001$). Nachfolgende paarweise t -Tests zeigten, dass die Mittelwerte für die Bedingung (C) signifikant positiver waren als für die Bedingungen (B) und (A); Bedingung (B) unterschied sich hingegen nicht von Bedingung (A).

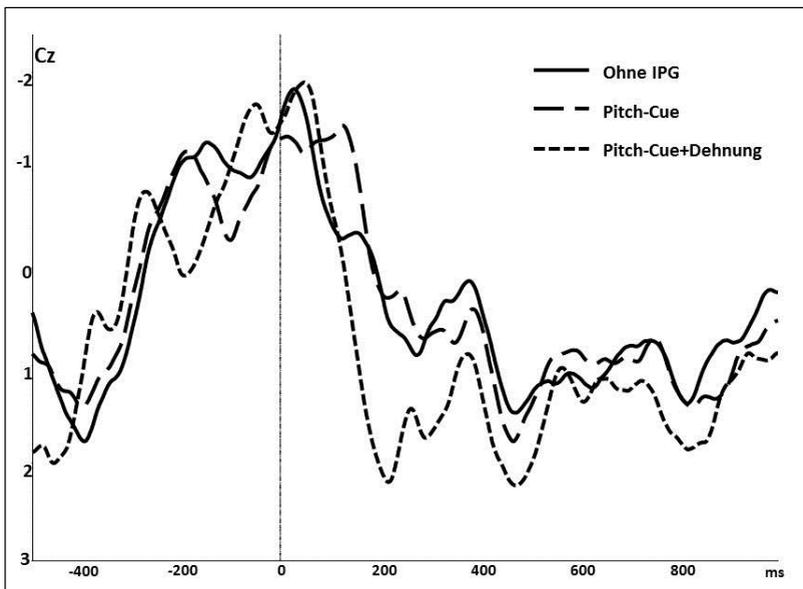


Abbildung 2. Grand Average EKPs (gemittelt über alle Probanden) an der Cz-Elektrode. Der Nullpunkt der x-Achse entspricht dem Ende des zweiten Namens in den Stimuli (s. Methode und Material).

Ein vergleichbares Muster fand sich in den Verhaltensdaten (Abb. 3). Eine ANOVA über die Anteilsdaten ergab auch hier einen Haupteffekt für den Faktor Bedingung ($F_{2,54}=81.45, p<.001$). Nachfolgende paarweise t -Tests zeigten, dass sich alle drei Bedingungen signifikant voneinander ($p<.001$) unterscheiden. Darüber hinaus zeigte sich aber insbesondere, dass der Anteil der Stimuli, die als [X und Y] [und Z] beurteilt wurden, in den Bedingungen (A) und (B) signifikant unter 0.5 liegt und nur für Bedingung (C) – „mit Pitch Cue und Dehnung“ – signifikant über 0.5 liegt ($p<.05$).

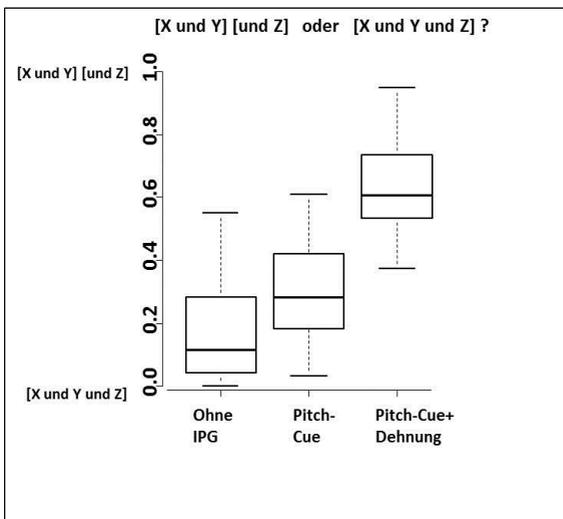


Abbildung 3. Anteil der Stimuli, die von den erwachsenen Probanden als [X und Y] [und Z], das heißt mit interner Gruppierung, beurteilt wurden. Die Whisker stellen den 1,5fachen Interquartilsabstand dar.

3.2 Diskussion

Erwachsene Probanden zeigten einen CPS für Stimuli, die als Hinweis auf eine IPG eine Tonhöhenveränderung und eine finale Dehnung aufweisen, jedoch nicht, wenn nur die Tonhöhenveränderung in den Stimuli vorhanden war. Dieses Reaktionsmuster spiegelt sich auch in den Verhaltensdaten wider, da nur die Stimuli mit dem kombinierten

Hinweisreiz als Stimuli mit interner Gruppierung (d. h. mit prosodischer Grenze nach dem zweiten Namen) beurteilt wurden.

4 Säuglingsstudie

180 Stimuli der oben beschriebenen drei experimentellen Bedingungen wurden in einem EKP-Experiment 32 sechs Monate alten Säuglingen (davon 22 Mädchen; Altersspanne: 0.6;4–0.6;28, Altersdurchschnitt: 0.6;17) auditiv über Lautsprecher präsentiert. Die Säuglinge saßen während des etwa elf Minuten dauernden Experiments auf dem Schoß eines Elternteils und schauten ein stummes Babyvideo. Die EEG-Aufzeichnung erfolgte an 31 Elektrodenpositionen (Abb. 4).

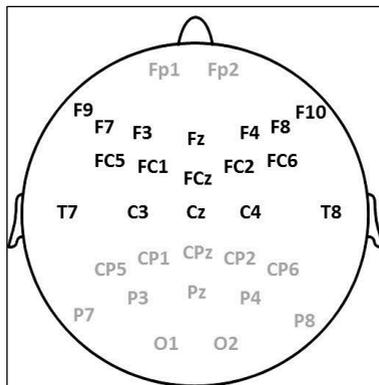


Abbildung 4. Schematische Darstellung der in der Säuglingsstudie genutzten Elektrodenpositionen. Daten der schwarz beschrifteten fronto-zentralen Elektroden gingen in die statistische Auswertung ein.

4.1 Ergebnisse

Die visuelle Inspektion der EKP-Daten zeigte an frontalen und zentralen Elektrodenpositionen einen CPS für die Bedingung (C) – „mit Pitch Cue und Dehnung“ – wohingegen sich der EKP-Kurvenverlauf die Bedingung (B) – „mit Pitch-Cue“ – nicht von der Kontrollbedin-

gung (A) ohne IPG unterschied (Abb. 5). Eine statistische Datenanalyse über 17 fronto-zentrale Elektroden bestätigte dieses Bild: Eine ANOVA über die gemittelten Amplitudenwerte im Zeitfenster 200–300 ms nach dem zweiten Namen ergab einen signifikanten Haupteffekt für den Faktor experimentelle Bedingung ($F_{2,62}=5.93$, $p<.01$). Nachfolgende paarweise t -Tests zeigten signifikant positivere Mittelwerte für die Bedingung (C) als für die Bedingungen (B) und (A); Bedingung (B) unterschied sich hingegen nicht von Bedingung (A).

4.2 Diskussion

Die EKP-Daten der Säuglinge zeigen ein ähnliches Muster wie die Daten der erwachsenen Probanden.

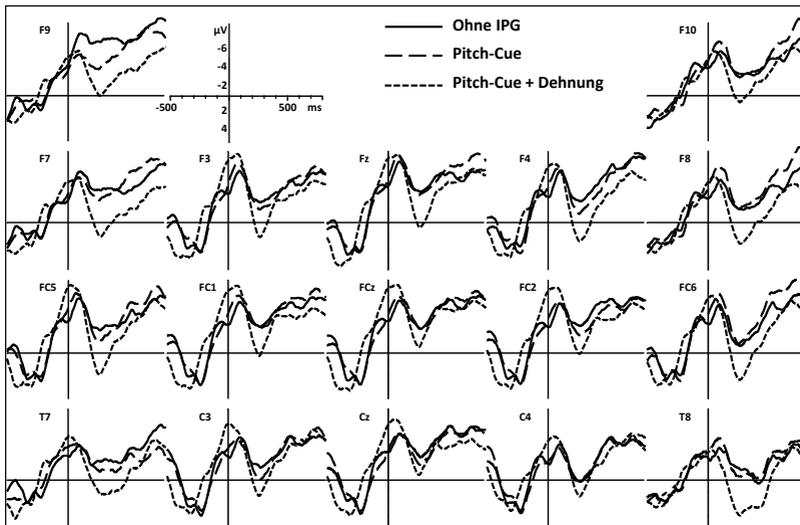


Abbildung 5. Grand Average EKPs (gemittelt über alle Probanden) an 17 fronto-zentralen Elektroden. Der Nullpunkt der x-Achse entspricht dem Ende des zweiten Namens in den Stimuli (s. Methode und Material).

An fronto-zentralen Elektroden wird auch hier ein CPS evoziert, wenn Tonhöhenveränderung und finale Dehnung in Kombination als IPG-

Hinweisreize auftreten. Ist jedoch nur die Tonhöhenveränderung als Hinweisreiz in den Stimuli vorhanden, unterscheidet sich die Hirnantwort der Säuglinge nicht von der Reaktion auf die Stimuli ohne IPG.

5 Diskussion und Zusammenfassung

In der vorgestellten Studie wurde untersucht, welche der im Deutschen auftretenden prosodischen Hinweisreize Erwachsene und Säuglinge bei der Wahrnehmung und Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen (IPG) nutzen. Als Indikator für die Verarbeitung einer IPG wurde bei den elektrophysiologischen Untersuchungen das Auftreten des *Closure Positive Shift* (CPS) in den ereigniskorrelierten Hirnpotentialen der Probanden herangezogen. Insbesondere wurde der Frage nachgegangen, ob eine Tonhöhenveränderung (hier: Tonhöhenanstieg hin zu einem hohen Grenzton) allein oder eine Kombination aus diesem Pitch-Cue und der finalen Dehnung ausreichen, um einen CPS auszulösen.

Die behavioralen Ergebnisse und die EKP-Daten der Erwachsenenstudie zeigen, dass die Kombination von Tonhöhenveränderung und finaler Dehnung ausreicht, um eine IPG wahrzunehmen. Die Pause zwischen zwei Intonationsphrasen ist somit als Hinweisreiz nicht zwingend erforderlich. Dieses Ergebnis deckt sich insofern mit den EKP-Untersuchungen von Männel und Friederici (2009) und Steinhauer et al. (1999), als dass in diesen Studien ein CPS auch als Reaktion auf Stimuli auftrat, aus denen die Pause an der IPG herausgeschnitten worden war. Darüber hinaus hat die aktuelle Studie gezeigt, dass die Tonhöhenveränderung allein als Hinweis auf eine IPG nicht ausreicht, um den CPS auszulösen. Dies weist darauf hin, dass eine Kombination prosodischer Hinweisreize für die Verarbeitung von Intonationsphrasengrenzen erforderlich ist.

Im Gegensatz zu früheren Ergebnissen (Männel & Friederici, 2009) konnte in der hier skizzierten Säuglingsstudie eine Positivierung als Hirnantwort auf prosodische Grenz-Cues elizitiert werden. Die Ergebnisse der sechs Monate alten Säuglinge ähneln dabei den

EKP-Daten der Erwachsenen: Die Kombination aus Tonhöhenveränderung und finaler Dehnung ruft einen CPS hervor, die Tonhöhenveränderung allein jedoch nicht. Dies deutet darauf hin, dass die Bedeutung und Gewichtung prosodischer Hinweisreize im Deutschen zumindest auf elektrophysiologischer Ebene bereits sehr früh der Verarbeitung bei Erwachsenen und damit dem zielsprachlichen Muster entspricht. Auf der Verhaltensebene zeigen Säuglinge erst etwas später ein vergleichbares Muster: Mithilfe der *Headturn Preference Procedure* wurde gezeigt, dass acht Monate alte Säuglinge Stimuli mit Grenz-Cues von Stimuli ohne IPG unterscheiden können, wenn Tonhöhenveränderung und finale Dehnung in Kombination vorhanden sind, wohingegen die Tonhöhenveränderung allein auch hier nicht für eine Diskriminierung der Bedingungen ausreichte (Wellmann, Holzgreffe, Petrone, Truckenbrodt, Wartenburger & Höhle, 2012).

6 Literatur

- Aasland, W. A. & Baum, S. R. (2003). Temporal parameters as cues to phrasal boundaries: A comparison of processing by left- and right-hemisphere brain-damaged individuals. *Brain and Language*, *87*, 385–399.
- Boersma, P. & Weenink, D. (2010). Praat: Doing phonetics by computer (Version 5.1.29) [Computer program].
- Gleitman, L. R. & Wanner, E. (1982). Language acquisition: The state of the state of the art. In E. Wanner & L. R. Gleitman (Hrsg.), *Language Acquisition: The State of the Art* (3–48). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hirsh-Pasek, K., Kemler Nelson, D., Jusczyk, P., Wright Cassidy, K., Druss, B. & Kennedy, L. (1987). Clauses are perceptual units for young infants. *Cognition*, *26*, 269–286.
- Johnson, E. K. & Seidl, A. (2008). Clause segmentation by 6-month-old infants: A crosslinguistic perspective. *Infancy*, *13*, 440–455.

- Männel, C. & Friederici, A. D. (2009). Pauses and intonational phrasing: ERP studies in 5-month-old German infants and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *21*, 1988–2006.
- Männel, C. & Friederici, A. D. (2011). Intonational phrase structure processing at different stages of syntax acquisition: ERP studies in 2-, 3-, and 6-year-old children. *Developmental Science*, *14* (4), 786–798.
- Nazzi, T., Kemler Nelson, D. G., Jusczyk, P. W. & Jusczyk, A. M. (2000). Six-month-olds' detection of clauses embedded in continuous speech: Effects of prosodic well-formedness. *Infancy*, *1*, 123–147.
- Pannekamp, A., Toepel, U., Alter, K., Hahne, A. & Friederici, A. D. (2005). Prosody-driven sentence processing: An event-related brain potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*, 407–421.
- Pannekamp, A., Weber, C. & Friederici, A. D. (2006). Prosodic processing at the sentence level in infants. *NeuroReport*, *17*, 675–678.
- Peters, B., Kohler, K. J. & Wesener, T. (2005). Phonetische Merkmale prosodischer Phrasierung in deutscher Spontansprache. In K. J. Kohler, F. Kleber & B. Peters (Hrsg.), *Prosodic Structures in German Spontaneous Speech* (143–184). Kiel: IPDS.
- Sanderman, A. & Collier, R. (1997). Prosodic phrasing and comprehension. *Language and Speech*, *40*, 391–409.
- Scott, D. R. (1982). Duration as a cue to the perception of a phrase boundary. *Journal of the Acoustical Society of America*, *71*, 996–1007.
- Seidl, A. (2007). Infants' use and weighting of prosodic cues in clause segmentation. *Journal of Memory and Language*, *57*, 24–48.

- Seidl, A. & Cristià, A. (2008). Developmental changes in the weighting of prosodic cues. *Developmental Science*, *11*, 596–606.
- Soderstrom, M., Seidl, A., Kemler Nelson, D. G. & Jusczyk, P. W. (2003). The prosodic bootstrapping of phrases: Evidence from prelinguistic infants. *Journal of Memory and Language*, *49*, 249–267.
- Schröder, C. & Höhle, B. (2011). Prosodische Wahrnehmung im frühen Spracherwerb. *Sprache Stimme Gehör*, *35*, 130–136.
- Steinhauer, K., Alter, K. & Friederici, A. D. (1999). Brain potentials indicate immediate use of prosodic cues in natural speech processing. *Nature Neuroscience*, *2*, 191–196.
- Streeter, L. A. (1978). Acoustic determinants of phrase boundary perception. *Journal of the Acoustical Society of America*, *64*, 1582–1592.
- Wellmann, C., Holzgrefe, J., Truckenbrodt, H., Wartenburger, I. & Höhle, B. (2012). How each prosodic boundary cue matters: Evidence from German infants. *Frontiers in Psychology*, *3*, 580.

Kontakt

Julia Holzgrefe

julia.holzgrefe@uni-potsdam.de