

“JE FRÜHER DESTO BESSER?” – ZUR NEUROPLASTIZITÄT DES SPRACHERWERBS

Can one acquire one or more foreign languages equally well at any age? From the perspective of cognitive neuroscience, this article takes stock of the current situation. In this context, the limitations and possibilities of the imaging methods used today to examine brain structures and functions are discussed.

In summary, from the point of view of brain research it can be said that the ability to learn foreign languages decreases over the course of one's life, which can be explained both by processes of maturation (specialisation) and degradation (dedifferentiation). However, future research in this area will have to give greater weight to individual aspects and focus on the use of longitudinal models and innovative statistical models.

● Martin Meyer Universität Zürich



Martin Meyer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Neuropsychologie des Psychologischen

Instituts der Universität Zürich. Wissenschaftlich beschäftigt er sich mit folgenden Themen: Evolution von Sprache und Kommunikation, funktionelle Neuroanatomie von Sprache und Hören, Neuropsychologie der Sprache über die Lebensspanne, Neuroplastizität des Tinnitus, neuromodulative Ansätze in der Behandlung des chronischen Tinnitus, neurokognitive Aspekte von Schwerhörigkeit und Hörverlust. Er ist (Mit-)Autor von mehr als 100 peer-reviewed Artikeln in internationalen Fachzeitschriften und Buchbeiträgen in Fachbüchern.

Die Frage, nach dem optimalen Zeitpunkt zum Erlernen einer Erst- oder Zweitsprache stellt sich heute aus der Sicht der Neuropsychologie in einem völlig anderen Licht dar, als das noch vor 30 Jahren der Fall gewesen ist. Unter anderem fallen in die letzten drei Dekaden zahlreiche Forschungen und Entdeckungen zur Plastizität des zentralen Nervensystems, denen zufolge unser Gehirn sich ein Leben lang verändert (May, 2011). Zweifelsohne bieten sich mehrsprachigen Menschen viele Vorteile, doch ist die Hirnforschung aus vielerlei methodischen Gründen noch weit davon entfernt, verallgemeinerbare und globale Modelle für den zeitlichen Ablauf eines idealen Zweitspracherwerbs zu skizzieren. Im Folgenden werde ich zusammenfassen, welche Erkenntnisse wir den kognitiven Neurowissenschaften im Hinblick auf Erst- und Zweitspracherwerb verdanken. Schlussendlich möchte ich in einem vorläufigen Fazit Stellung zu der Frage beziehen, ob ein früher Zeitpunkt für den Zweitspracherwerb aus neuropsychologischer Sicht aufgrund der heutigen Erkenntnislage vorteilhaft ist. Ein wichtiger Aspekt berührt die Frage,

ob und inwiefern, Anlage- oder Umwelteinflüsse beim Spracherwerb stärker ins Gewicht fallen. Gibt es so etwas wie ein Talent zum Sprachenlernen? Im Hinblick auf die Reifung des kindlichen Gehirns und den Vorgang des Spracherwerbs spielen nach jüngsten Erkenntnissen sowohl genetische als auch umweltbedingte Faktoren eine Rolle und üben mitunter Wechselwirkungen aufeinander aus, die wiederum neue Entwicklungsschritte und Veränderungen bedingen können (Arshavsky, 2009; Dehaene-Lambertz *et al.*, 2006). Insbesondere Beobachtungen, wie das Gehirn extrem früh geborener Kinder auf sprachliche Reize reagiert, lassen erstaunliche Schlüsse über die intrauterine Reifung sprachrelevanter Kortexteile zu (Mahmoudzadeh *et al.*, 2013). Es lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt bereits sagen, dass sich das oft bemühte Bonmot, wonach „Hans nimmermehr lernt, was Hänschen nicht gelernt hat“ aus der Perspektive der kognitiven Neurowissenschaften nicht undifferenziert auf die Frage nach einem obligatorischen Zeitfenster für den optimalen Erst- und Zweitspracherwerb anwenden lässt.

Unabhängig von der Frage, in welchem Kontext ein Mensch eine Erst- oder Fremdsprache lernt, lässt sich aus heutiger Sicht mit Sicherheit sagen, dass sich die Sprachen nicht distinkt im Gehirn organisieren, sondern in überlappenden, wenn nicht sogar deckungsgleichen Gehirnregionen manifestieren, Teile des Schläfen-, des Stirn- und des Scheitellappens umfassen und zusammen mit Fasertrakten im Kern das zerebrale Sprachnetzwerk bilden (Friederici, 2012). Auch wenn nach weit verbreitetem Glauben die linke Hemisphäre im menschlichen Gehirn ausschliesslich zuständig für Sprache ist, haben neurowissenschaftliche Studien in den letzten Jahren zwingende Evidenz für eine Beteiligung rechtshemisphärischer Areale geliefert (Vigneau *et al.*, 2011). Was aber trägt die rechte Hemisphäre zu sprachlichen Funktionen bei und welche Rolle spielen diese Aspekte für den Spracherwerb? Eine komplexe Funktion wie Sprache global einer Hemisphäre zuzuschreiben ist zum einen neurobiologisch unplausibel. Zum anderen interagieren die beiden Hemisphären bei nahezu allen sensorischen und kognitiven Funktionen über interhemisphärische Verbindungen miteinander, so dass man bestenfalls von einer Hemisphärendominanz für bestimmte Funktionen sprechen kann. Im Fall von Lautsprache ist es mittlerweile erwiesen, dass Regionen in der linken Hemisphäre sowohl elementare als auch höhere Sprachfunktionen unterstützen (Friederici, 2011). Wodurch aber ist diese Dominanz einer Hemisphäre zu erklären? Das 'Asymmetric Sampling in Time' (AST) Modell, erklärt die Spezialisierung der linken und rechten auditorischen Areale mit der spezifischen zeitlichen Auflösung zur Verarbeitung von Sprachsignalen (Poppel, 2003). Während die linke Hörrinde im Gehirn primär auf die Verarbeitung schneller zeitlicher Modulationen (ca. 40 Hz) im akustischen Signal spezialisiert ist, wird das kontralaterale Areal präferiert von langsamen zeitlichen Modulationen (ca. 4 Hz) aktiviert. Mit anderen Worten, das akustische Signal, unabhängig davon, ob es sich um Sprache, Musik, akustisches Rauschen, einen anderen Klang oder ein Geräusch handelt, wird von zeitlichen Integrationsfenstern unterschiedlicher Länge auf charakteristische temporale Muster untersucht. So wäre zum Beispiel die Verarbeitung phonologischer Muster ein Privileg der linken Hemisphäre (Zaehle *et al.*, 2004),

während die Repräsentation von melodischen und prosodischen Konturen der Sprache eine Domäne der rechten Hemisphäre ist (Liem *et al.*, 2014).

Aus diesem Sachverhalt lassen sich zwei Schlüsse ziehen. Zum einen stellt Lautsprache für das Gehirn keine distinkte Kategorie oder ein ausgewiesenes neurales Register dar. Ähnlich wie beliebige visuelle Reize lässt sich Sprachverarbeitung auf der elementaren Ebene als Verarbeitung spektrottemporaler Muster beschreiben. Erkennt das Gehirn einen akustischen Reiz aufgrund der darin enthaltenen phonetischen und prosodischen Muster als Lautsprache, wird im weiteren geprüft, ob es sich um die Muttersprache, eine andere gut bekannte Sprache, allenfalls um eine weniger gut beherrschte Sprache, oder sogar um eine gänzlich unbekannte Sprache handelt. Charakteristische neurale Muster lassen unter Umständen auf die Vertrautheit mit einer Sprache schliessen. Dabei gelten langsame neurale Schwingungen im θ -Bereich als ein Grundrhythmus, der im Zusammenhang mit allen Sprachen, vertrauten wie fremden, beobachtet werden kann (Ding *et al.*, 2017), während schnelle Modulationen im *gamma*-Band charakteristischerweise nur dann auftreten, wenn das Gehirn eines Sprechers auch subtile phonetische Informationen einer Mutter- oder vertrauten Fremdsprache erkennen und adäquat verarbeiten kann (Pena & Melloni, 2012).

Aber wie betrachtet man diese Vorgänge aus der Perspektive des Gehirns eines Neugeborenen oder eines mehrere Monate alten Kleinkinds? Ist die Muttersprache für das Kind eine vertraute Sprache, weil es den Klang gewohnt ist oder gilt jede Sprache als Fremdsprache, weil der Säugling erfahrungsgemäss nicht versteht, was zu ihm gesagt wird? Wie also kommt die Sprache in den Kopf oder ist sie etwa schon dort vorhanden? Zum einen weiss man heute, dass charakteristische neuroanatomische Asymmetrien in den Bereichen, welche zu einem späteren Zeitpunkt die Schlüsselregionen für die zerebrale Sprachorganisation darstellen werden, bereits während des letzten Trimesters der Schwangerschaft weitgehend ausgebildet und ausgereift sind (Kasprian *et al.*, 2011; Steinmetz, 1996). Zum anderen zeigen Studien im Gehirn ungeborener Kinder deutliche Reaktionen in den auditorischen Rindengebieten auf die Sprache der Mutter (Jardri *et al.*, 2008). Man kann also davon ausgehen,

So lässt sich mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit sagen, dass je früher der natürliche (nicht schulische) Erwerb einer Sprache im Kleinstkindalter beginnt, umso stabiler gestaltet sich die neurale Manifestation der elementaren phonetischen und insbesondere prosodischen Muster.

dass Neugeborene zum Zeitpunkt der Geburt sowohl über die neurale „Hardware“ wie auch über intrauterine Erfahrungen in der Sprachverarbeitung verfügen. In einer länderübergreifenden Studie (USA und Schweden) konnte gezeigt werden, dass Säuglinge unmittelbar nach der Geburt in der Lage sind, Phoneme ihrer Muttersprache zu erkennen, während sie erkennbar weniger deutlich auf die Präsentation vergleichbarer Stimuli in einer Fremdsprache reagierten (Moon *et al.*, 2013). Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Erstkontakt mit der Muttersprache bei sich normal entwickelnden Kindern intrauterin erfolgt. Neugeborene, die eine solche sprachliche Kompetenz zeigen, profitieren sicherlich von intrauterinem Lernen und Spracherwerb und demonstrieren kein angeborenes Wissen¹. Eine Studie, welche Neugeborenen Lautsprache präsentierte, konnte feststellen, dass die Gehirne der Babies mit rechts lateralisierten Aktivierungen auf normale Sätze mit gewöhnlicher Intonation reagierten (Perani *et al.*, 2011). Spielte man den Neugeborenen hingegen Sätze vor, bei denen die Prosodie durch Signalmanipulation entfernt wurde (Meyer *et al.*, 2004), fanden sich nur diffuse Aktivierungsmuster ausserhalb der üblichen sprachrelevanten Regionen. Offensichtlich sind langsame akustische Modulationen im Sprachsignal (Rhythmus, Intonation, Veränderungen der Sprechgeschwindigkeit) unverzichtbare Signale, die das Gehirn in der prälexikalischen Phase benötigt, um sich die prosodischen Eigenschaften einer Sprache anzueignen. Die Diskrimination der einer Sprache eigenen Phoneme dürfte gleichzeitig oder kurz darauf erfolgen. Mittlerweile weiss man, dass die ersten neun Lebensmonate für diese einfachste Form des Spracherwerbs entscheidend sind (Kuhl, 2010). Kommt ein Kind in diesem Zeitraum mit mehr als einer Sprache

in intensiven Kontakt verzögert sich der Spracherwerb auch in späteren Stadien vielleicht unmerklich, jedoch ist die Repräsentation dieser beiden oder mehrerer Sprachen dafür umso fester im Gehirn verdrahtet. Das menschliche Gehirn hat offenkundig eine angelegte Präferenz für Lautsprache, die in den ersten Lebensmonaten noch zunimmt (Vouloumanos *et al.*, 2010) und in der Entwicklung einer spezialisierten phonetischen und prosodischen Kompetenz resultiert (Homae *et al.*, 2006; Telkemeyer *et al.*, 2011). Man geht heute davon aus, dass dieser Prozess unilgbare Spuren im Gehirn hinterlässt, so dass man eine im jüngsten Alter erworbene Sprache faktisch nicht völlig vergessen kann (Pierce *et al.*, 2014). Der frühe Zeitpunkt und die evolutionäre Bedeutung des Spracherwerbs sorgen demnach für eine praktisch unverlernbare Repräsentation zumindest der elementaren spektrot temporalen Muster einer einmal auf natürlichem Weg mehr oder weniger automatisch erworbenen Sprache. So lässt sich mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit sagen, dass je früher der natürliche (nicht schulische) Erwerb einer Sprache im Kleinstkindalter beginnt, umso stabiler gestaltet sich die neurale Manifestation der elementaren phonetischen und insbesondere prosodischen Muster.

Zweit- oder Mehrspracherwerb zu einem späteren Zeitpunkt, entweder in „natürlicher Umgebung“ oder im Rahmen des Fremdsprachunterrichts in der Schule, nehmen sicherlich einen anderen Verlauf. Belastbare neurowissenschaftliche Längsschnittstudien existieren bislang nicht. Von der Existenz einer „kritischen Periode“ nach deren Ablauf ein Fremdspracherwerb nicht mehr mit hoher Kompetenz möglich ist, kann aber aus heutiger Sicht nicht die Rede sein. Aus der Forschung zur Reifung des Gehirns geht jedoch hervor, dass die sprachrelevanten Areale von Kindern bis ca. zum elften Lebensjahr relativ plastisch sind (Sowell *et al.*, 2004), d.h. mit hoher Lernkompetenz ausgestattet sind und somit deutlich später eine voll ausgereifte Funktionsstufe erreichen (Brauer *et al.*, 2008) als primäre auditorische und visuelle Hirnareale, die bereits nach wenigen Lebensmonaten als weitgehend ausgereift betrachtet werden. Es zeigt sich derzeit überdeutlich, dass

¹ Die zukünftige Forschung in diesem Bereich wird sicherlich die harten Fronten in der alten „Nature vs. Nurture“-Debatte aufweichen, da man davon ausgehen kann, dass die pränatale Aufnahme sprachlicher Reize wiederum möglicherweise genetische Expressionen auslöst, die in Reifungsprozessen münden, welche wiederum die Wahrnehmungs- und Lernkompetenzen des Gehirns unterstützt.

der Zeitpunkt des Zweitspracherwerbs bestenfalls als einer von vielen Aspekten in diesem Komplex zu betrachten ist. Bildgebende Studien an bilingualen Erwachsenen konnten zeigen, dass neben dem Zeitpunkt des Zweitspracherwerbs andere Faktoren wie Exposition und Motivation einen entscheidenden Einfluss auf den Lernerfolg haben (Martensson *et al.*, 2012; Perani *et al.*, 2003; Wartenburger *et al.*, 2003). Besonders ins Gewicht fallen bei Erwachsenen aber die interindividuellen Unterschiede sowohl in den Lernkurven als auch in den neuralen Mustern. Eine longitudinale Studie zum Erlernen fremdsprachlicher phonetischer Muster konnte zeigen, dass erwachsene Probanden, die während des Trainings deutliche Fortschritte gemacht haben, am Ende Aktivierung in sprachrelevanten Arealen der linken Hemisphäre aufwiesen, während „schlechte“ Lerner dieser „fremdsprachlichen“ Muster diffuse Reaktionen in nicht sprachsensitiven Arealen zeigten (Wong *et al.*, 2007). Wodurch diese individuellen Unterschiede erklärbar sind, ist bislang weitgehend unklar. Genetische Faktoren sind ebenso plausibel wie Vorteile einer prä- und postnatalen besonders intensiven Exposition zu akustischen und lautsprachlichen Reizen. Wahrscheinlich zeichnet eine Interaktion zwischen anlage- und umweltbedingten Faktoren für die individuellen Unterschiede verantwortlich. Es scheint sich jedoch abzuzeichnen, dass Fremdspracherwerb im jungen und mittleren Erwachsenenalter auch aus neuropsychologischer Sicht massiv von den Vorgängen im Gehirn von kleinen und nicht mehr ganz so kleinen Kindern abweicht. Zum einen scheint sich die zerebrale Spezialisierung für bestimmte sprachliche Funktionen erst langsam über die ersten Lebensjahre hinweg zu entwickeln. Zum anderen fallen Motivation, kognitive Fähigkeiten und Lernstrategien bzw. bewährte pädagogische Konzepte beim Zweitspracherwerb sowie beim Fremdsprachenlernen im Erwachsenenalter stärker ins Gewicht.

In jüngster Zeit rückt das so genannte dritte Lebensalter auch im Zusammenhang mit dem Fremdspracherwerb immer stärker in den Fokus des allgemeinen Interesses (Kliesch *et al.*, 2018; Pfenninger & Polz 2018). Zum einen wird Bilingua-

Zweit- oder Mehrspracherwerb zu einem späteren Zeitpunkt, entweder in “natürlicher Umgebung” oder im Rahmen des Fremdsprachunterrichts in der Schule, nehmen sicherlich einen anderen Verlauf. Belastbare neurowissenschaftliche Längsschnittstudien existieren bislang nicht.

lität als kognitive Reserve betrachtet, die eventuell den Verlauf neurodegenerativer Krankheiten verzögert und unterdrückt (Schweizer *et al.*, 2012). Zum anderen erwacht bei immer mehr Senioren und Seniorinnen der Wunsch, im Ruhestand noch einmal eine Sprache zu lernen. Doch ist dieses Vorhaben aus neuropsychologischer Sicht überhaupt realistisch? Natürlich behält das Gehirn, die Fähigkeit neue Kenntnisse zu erwerben und neue Fertigkeiten zu lernen, unter normalen Umständen ein Leben lang bei. Vor allem aber der altersbedingte Hörverlust und die durch die altersabhängige Atrophie des Gehirns eingeschränkte kognitive Leistungsfähigkeit erschweren unter Umständen das adäquate Erlernen einer Fremdsprache. Systematische Untersuchungen, die dieser Frage im Längsschnitt mit neuropsychologischen Methoden nachzugehen versuchen, stehen vor gravierenden Herausforderungen. Die Heterogenität älterer Personen im Hinblick auf Bildungshintergrund, neurologischen, physischen und audiologischen Status, lebenslange Gewohnheiten (Ernährung, Schlaf etc.), soziale Umgebung oder zum Beispiel chronische Erkrankungen und Medikation ist massiv. Zudem zeigen Resultate aus jüngerer Forschung, dass sich die zerebrale Organisation für Sprache im dritten Lebensalter verändert (Giroud *et al.*, 2018). Sowohl die linkshemisphärische Dominanz wie auch die zugrundeliegende Neuroarchitektur verändern sich infolge von Alter und dem damit einhergehenden Verlust an sensorischer und kognitiver Leistungsfähigkeit. Das Gehirn des Menschen, welches von der Evolution nicht auf ein solch hohes Alter vorbereitet ist, wie es Menschen heute erreichen, kann somit nicht auf bewährte Konzepte zurückgreifen. Es reagiert dagegen mit einem Umbau zugunsten von Robust-

Literatur

- Arshavsky, Y. I. (2009). Two functions of early language experience. *Behavioural Brain Research*, 60, 327-340.
- Brauer, J., Neumann, J. & Friederici, A. D. (2008). Temporal dynamics of perisylvian activation during language processing in children and adults. *NeuroImage*, 41, 1484-1492.
- Dehaene-Lambertz, G., Hertz-Pannier, L. & Dubois, J. (2006). Nature and nurture in language acquisition: anatomical and functional brain-imaging studies in infants. *Trends in Neurosciences*, 29, 367-373.
- Ding, N., Patel, A. D., Chen, L., Butler, H., Luo, C. & Poeppel, D. (2017). Temporal modulations in speech and music. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 81, 181-187.
- Friederici, A. D. (2011). The brain basis of language processing: from structure to function. *Physiological Review*, 91, 1357-1392.
- Friederici, A. D. (2012). The cortical language circuit: from auditory perception to sentence comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 262-268.
- Giroud, N., Hirsiger, S., Muri, R., Kegel, A., Dillier, N. & Meyer, M. (2018). Neuroanatomical and resting state EEG power correlates of central hearing loss in older adults. *Brain Structure and Function*, 223, 145-163.
- heit auf Kosten von Spezialisierung, was insbesondere für den Fremdspracherwerb ein massives Problem darstellen könnte. Gerade das Erlernen und Beherrschen einer neuen Sprache benötigt spezialisierte Systeme für die Verarbeitung phonetischer und prosodischer Merkmale, die aufgrund frontaler Atrophie nicht ohne weiteres durch erhöhten Aufwand an Aufmerksamkeit, Konzentration oder Arbeitsgedächtnis kompensiert werden können, so wie man es im Gehirn von jungen Erwachsenen beobachtet haben will. Zukünftige Forschung in diesem Bereich wird darauf angewiesen sein, individuelle Lern- und Trainingsverläufe unter Bezugnahme innovativer statistischer Modelle zu beobachten und auszuwerten sowie ein Augenmerk auf potentielle Neuromarker zu haben (Kliesch *et al.*, 2018). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass auf die im Titel des Textes angeführte
- Frage nach dem optimalen Zeitpunkt für den Zweit- und Mehrspracherwerb keine allgemein gültige und befriedigende Antwort gegeben werden kann. Zu gross ist die Anzahl der Parameter, die die Qualität und den Verlauf des Fremdspracherwerbs neben dem Zeitpunkt des Lernbeginns beeinflussen. Ein früher Zeitpunkt ist sicherlich kein Negativum für den Lernerfolg und insbesondere im höheren Erwachsenenalter sind die individuellen Erwerbs- und Lernfähigkeiten aus neuropsychologischer Sicht deutlich eingeschränkt. Es stellt sich nun die Frage, inwiefern die Entwicklung neuer technischer Anwendungen sowie psychologischer und pädagogischer Konzepte eine Antwort auf die Frage finden, wie man Fremdspracherwerb auch gerade in Schulen, Kursen und vergleichbaren Situationen im jungen, mittleren und hohen Erwachsenenalter unterstützen kann.
- Homae, F., Watanabe, H., Nakano, T., Asakawa, K. & Taga, G. (2006). The right hemisphere of sleeping infants perceives sentential prosody. *Neuroscience Research*, 54, 276-280.
- Jardri, R., Pins, D., Houfflin-Debarge, V., Chaffiotte, C., Rocourt, N., Pruvo, J.-P., Steinling, M., Delion, P. & Thomas, P. (2008). Fetal cortical activation to sound at 33 weeks of gestation: a functional MRI study. *NeuroImage*, 42, 10-18.
- Kasprian, G., Langs, G., Brugger, P. C., Bittner, M., Weber, M., Arantes, M. & Prayer, D. (2011). The prenatal origin of hemispheric asymmetry: an in utero neuroimaging study. *Cerebral Cortex*, 21, 1076-1083.
- Kliesch, M., Giroud, N., Pfenninger, S. E. & Meyer, M. (2018). Research on second language acquisition in old adulthood: what we have and what we need. In: D. Gabrys-Barker (ed.), *Third age learners of foreign languages*. Bristol: Multilingual Matters, pp. 48-76.
- Kuhl, P. K. (2010). Brain mechanisms in early language acquisition. *Neuron*, 67, 713-727.
- Liem, F., Hurschler, M., Jäncke, L. & Meyer, M. (2014). On the planum temporale lateralization in suprasegmental speech perception: evidence from a study investigating behavior, structure, and function. *Human Brain Mapping*, 35, 1779-1789.
- Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Goudjil, S., Dubois, J., Grebe, R. & Wallois, F. (2013). Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 4846-4851.
- Martensson, J., Eriksson, J., Bodammer, N. C., Lindgren, M., Johansson, M., Nyberg, L. & Lovden, M. (2012). Growth of language-related brain areas after foreign language learning. *NeuroImage*, 63, 240-244.

May, A. (2011). Experience dependent-structural plasticity in the adult human brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 475-482.

Meyer, M., Steinhauer, K., Alter, K., Friederici, A. D. & von Cramon, D. Y. (2004). Brain activity varies with modulation of dynamic pitch variance in sentence melody. *Brain and Language*, 89, 277-289.

Moon, C., Lagercrantz, H. & Kuhl, P. K. (2013). Language experienced in utero affects vowel perception after birth: a two-country study. *Acta Paediatrica*, 102, 156-160.

Pena, M. & Melloni, L. (2012). Brain oscillations during spoken sentence processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24, 1149-1164.

Perani, D., Abutalebi, J., Paulesu, E., Brambati, S., Scifo, P., Cappa, S. F. & Fazio, F. (2003). The role of age of acquisition and language usage in early, high-proficient bilinguals: an fMRI study during verbal fluency. *Human Brain Mapping*, 19, 170-182.

Perani, D., Saccuman, M. C., Scifo, P., Anwander, A., Anwander, A., Spada, D., Baldoli, C., Poloniato, A., Lohmann, G. & Friederici, A. D. (2011). Neural language networks at birth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 16056-16061.

Pfenninger, S.E. & Polz, S. (2018). Foreign language learning in the third age: A pilot feasibility study on cognitive, socio-affective and linguistic drivers and benefits in relation to previous bilingualism of the learner. *Journal of the European Second Language Association (JESLA)*, 2(1), 1-13.

Pierce, L. J., Klein, D., Chen, J. K., Dalcenserie, A. & Genesee, F. (2014). Mapping the unconscious maintenance of a lost first language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111, 17314-17319.

Poeppl, D. (2003). The analysis of speech in different temporal integration windows: cerebral lateralization as "asymmetric sampling in time". *Speech Communication*, 41, 245-255.

Schweizer, T. A., Ware, J., Fischer, C. E., Craik, F. I. & Bialystok, E. (2012). Bilingualism as a contributor to cognitive reserve: evidence from brain atrophy in Alzheimer's disease. *Cortex*, 48, 991-996.

Sowell, E. R., Thompson, P. M., Leonard, C. M., Welcome, S. E., Kan, E. & Toga, A. W. (2004). Longitudinal mapping of cortical thickness and brain growth in normal children. *Journal of Neuroscience*, 24, 8223-8231.

Steinmetz, H. (1996). Structure, function and cerebral asymmetry: in vivo-morphometry of the planum temporale. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 20, 587-591.

Telkemeyer, S., Rossi, S., Nierhaus, T., Steinbrink, J., Obrig, H. & Wartenburger, I. (2011). Acoustic processing of temporally modulated sounds in infants: evidence from a combined near-infrared spectroscopy and EEG study. *Frontiers in Psychology*, 1, 62.

Vigneau, M., Beaucois, V., Hervé, P. Y., Jobard, G., Petit, L., Crivello, F., Mellet, E., Zago, L., Mazoyer, B. & Tzourio-Mazoyer, N. (2011). What is right-hemisphere contribution to phonological, lexico-semantic, and sentence processing? Insights from meta-analysis. *NeuroImage*, 54, 577-593.

Vouloumanos, A., Hauser, M. D., Werker, J. F. & Martin, A. (2010). The tuning of human neonates' preference for speech. *Child Dev*, 81, 517-527.

Wartenburger, I., Heekeren, H. R., Abutalebi, J., Cappa, S. F., Villringer, A. & Perani, D. (2003). Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron*, 37, 1-20.

Wong, P. C. M., Perrachione, T. K. & Parrish, T. B. (2007). Neural characteristics of successful and less successful speech and word learning in adults. *Human Brain Mapping*, 28, 995-1006.

Zaehle, T., Wüstenberg, T., Meyer, M. & Jäncke, L. (2004). Evidence for rapid auditory perception as the foundation of speech processing – a sparse temporal sampling fMRI study. *European Journal of Neuroscience*, 20, 2447-2456.