

Untersuchung zur Repräsentation von verständlicher und unverständlicher Sprache im Kortex mit funktioneller MRT

Hagen Wierstorf und Stefan Uppenkamp

Medizinische Physik, Universität Oldenburg, 26111 Oldenburg

Einleitung

Die Verarbeitung von Sprache ist eine der ersten Funktionen des menschlichen Gehirns, für die versucht wurde, durch empirische Beobachtungen bestimmte spezifische Bereiche zu identifizieren. Paul Broca gelang es 1861 durch die anatomische Untersuchung des Gehirns eines Patienten mit Sprachstörungen ein eng umrissenes Hirnareal in der linken Hemisphäre diesen Störungen zuzuordnen. 1874 beschrieb Carl Wernicke eine Störung des Sprachverstehens und konnte diese ebenfalls mit einem anderen eng umgrenzten, weiter posterior liegenden Areal in Verbindung bringen [1]. Gemeinsam ist diesen beiden Hirnarealen, dass sie in der Regel in der linken Gehirnhälfte lokalisiert werden. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhundert wurden auf dem Gebiet der Neurolinguistik viele weitere, differenzierte Ergebnisse zur Lokalisation von sprachspezifischen Arealen anhand von Studien bei Aphasie-Patienten mit verschiedenen Hirnläsionen gefunden. Inzwischen lassen sich diese Erkenntnisse durch den Einsatz von funktionellen medizinischen Bildgebungsverfahren (PET und fMRT) weiter verfeinern.

Ein methodisches Problem der bildgebenden Verfahren bei der Untersuchung der Lateralisierung der Sprachfunktionen in eine Hemisphäre des Gehirns ist die Tatsache, dass jedes gesprochene Sprachsignal immer auch ein akustischer Stimulus ist, der im auditorischen Systems zunächst in beiden Hemisphären verarbeitet wird und so eine bilaterale Aktivierung bewirkt. Es herrscht noch keine endgültige Klarheit über die Hierarchie der Sprachverarbeitung und den genauen Beginn der Hemisphärenspezifität für Sprache.

Ziel dieser Studie ist es, die Bereiche im Gehirn zu lokalisieren, die den Inhalt von Sprache verarbeiten, unabhängig von den akustischen Eigenschaften des Sprachsignals. Zu diesem Zweck wurden Sprachaufnahmen mit einem Verfahren nach Blesser [2] verzerrt. Das dabei entstehende Signal wird als rotierte Sprache bezeichnet. Durch geschickte Darbietungsreihenfolge von unverzerrten und verzerrten Sprachsignalen ist es möglich, akustisch identische Signale entweder völlig unverständlich oder gut verständlich zu präsentieren. In einer Voruntersuchung wurde zunächst ein psychoakustisches Experiment zur Bestimmung der Verständlichkeit der rotierten Sprache durchgeführt. Die gewonnenen Ergebnisse wurden dann beim Versuchsdesign für das fMRT-Experiment berücksichtigt.

Messung der Verständlichkeit der rotierten Sprache

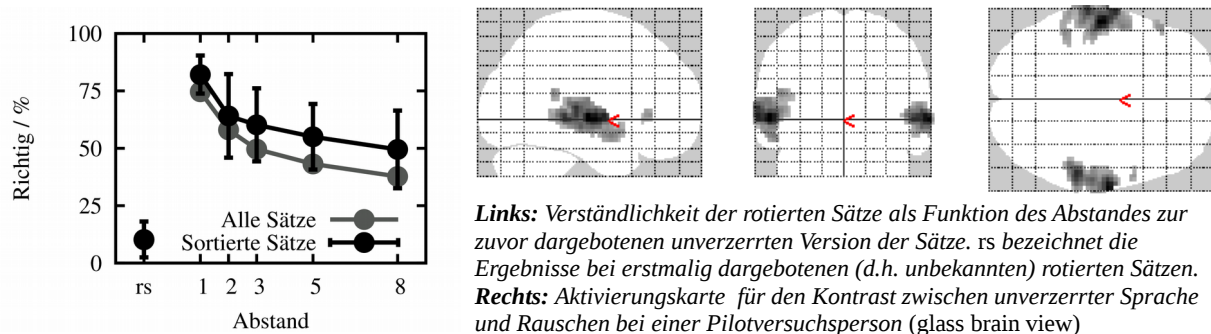
Stimuli: Als Sprachmaterial wurden 230 Sätze des Göttinger Satztests [3] verwendet. Diese sind zwischen 1,2 s und 2,9 s lang und enthalten jeweils 3-7 Wörter. Die einzelnen Sätze wurden bei 5700 Hz tiefpassgefiltert. Mit einem FIR Filter wurde dafür gesorgt, dass die rotierte Version ein ähnliches Langzeitspektrum aufweist wie die unverzerrte Version. Für jeden einzelnen Satz ist anschließend eine rotierte Version erstellt worden, indem der Satz mit einem Sinus bei einer Frequenz von 6000 Hz amplitudenmoduliert worden ist. Anschließend wurde er erneut bei 5700 Hz tiefpassgefiltert und die RMS-Werte der beiden Satzversionen wurden angepasst.

Darbietung: Jeder Satz wurde den Versuchspersonen dreimal dargeboten: zuerst in der rotierten Version, dann nach 0-30 weiteren Sätzen in der unverzerrten Version und nach 1, 2, 3, 5 oder 8 weiteren Sätzen wieder in der rotierten Version. Dabei wurden die Abstände zufällig bestimmt, der zweite jedoch mit der Einschränkung, dass alle fünf ausgewählten Zielabstände jeweils 36 mal dargeboten wurden. Abgesehen von diesen zu erfüllenden Kriterien fand die Darbietung der Sätze in zufälliger und für jede Versuchsperson anderer Reihenfolge statt. Nach jedem dargebotenen Satz sollte die Versuchsperson die Wörter wiederholen, die sie verstanden hatte oder meinte verstanden zu haben. Vor dem eigentlichen Experiment wurden die Probanden mit 60 anderen Sätzen aus dem Oldenburger Satztest [4] für die Aufgabe trainiert.

Versuchsdurchführung: Die Stimuli wurden mit einer Abtastrate von 44100 Hz erzeugt und über D/A-Wandler und Kopfhörerverstärker diotisch über einen Kopfhörer HDA200 in einer doppelwandigen Hörkabine dargeboten. An dem Versuch nahmen 15 normalhörende Probanden teil (mittleres Alter 25 Jahre). Ihnen wurde eine Aufwandsentschädigung für ihre Teilnahme gezahlt.

Ergebnisse: In der linken Abbildung sind die Mittelwerte über alle 15 Versuchspersonen dargestellt. Die graue Kurve stellt die Ergebnisse für alle Sätze dar, die schwarze Kurve für eine Auswahl von 152 Sätzen, in denen der Kontrast zwischen der verständlichen und der unverständlichen Version maximal war (s.u.). Mit der Abkürzung

rs sind die Ergebnisse für die maximal unverständliche rotierte Sprache bezeichnet, also für die Darbietung vor der unverzerrten Version. Die Abstände beziehen sich jeweils auf die Anzahl an Sätzen, die zwischen der unverzerrten Sprache und der danach dargebotenen rotierten Sprache abgespielt worden sind. Vormessungen bei vier Versuchspersonen hatten ergeben, dass bei unmittelbarer Aufeinanderfolge von unverzerrter und rotierter Version der Sätze (Abstand „Null“) eine Verständlichkeit der rotierten Sprache von ungefähr 95% erzielt wird. Mit größerem Abstand sinkt die Verständlichkeit auf weniger als 50% (für Abstände von 5 und größer). Werden die Ergebnisse für alle dargebotenen Sätze einzeln betrachtet, zeigt sich, dass der Unterschied in der Verständlichkeit zwischen der ersten rotierten Darbietung (rs) und den weiteren Darbietungen sehr verschieden ist. Die Sätze wurden nach diesem Kriterium sortiert, und dann wurden nur Sätze mit einem großen Unterschied für das nachfolgende MRT-Experiment ausgewählt, um auch in dieser Hinsicht ein möglichst homogenes Sprachmaterial zu erhalten. Die Ergebnisse für die ausgewählten 152 Sätze sind in der schwarzen Kurve dargestellt.



Messung der Gehirnaktivität durch rotierte Sprache

Stimuli: Als Teststimuli im fMRT-Experiment wurden die 152 Sätze des Göttinger Satztests verwendet, die im psychoakustischen Experiment den größten Unterschied in der Verständlichkeit aufwiesen. Aus je zwei Sätzen wurden 6 s lange Stimulus-Dateien erzeugt, mit einer Pause von 200 ms zwischen den beiden Sätzen. Für alle Satzpaare wurde sowohl eine rotierte als auch eine unverzerrte Version erzeugt. Aus den verbleibenden Sätzen des Göttinger Satztests wurden zufällig weitere 38 Satzpaare gebildet und mit sprachsimulierendem Rauschen bei einem S/N von -6 dB zusammengemischt, so daß auch für diese Sätze eine Sprachverständlichkeit von etwa 50% erzielt wird. Zwei weitere Schallbedingungen waren das sprachsimulierende Rauschen alleine und „Stille“ (keine Stimulusdarbietung) als *baseline*. Alle Stimuli werden diotisch über MR-kompatible Kopfhörer bei einem Pegel von 65 dB HL dargeboten.

Darbietung: Wie im psychoakustischen Experiment wird während der fMRT-Messung jedes Satzpaar insgesamt dreimal dargeboten (außer die Sprache im Störgeräusch): zuerst verzerrt, nach einem Abstand von 0-4 anderen Stimuli unverzerrt, und nach einem weiteren Abstand von entweder 0 oder 5 anderen Stimuli wieder verzerrt. Die wiederholte Darbietung der rotierten Sprache entspricht einer Verständlichkeit von 95% bzw. 55%. Stimuli für diese beiden Abstände werden im Verlauf des Experiments insgesamt 38 mal dargeboten. Ebenso gibt es 38 Darbietungen von Sprache im Rauschen, Rauschen alleine und Stille. Die Reihenfolge der einzelnen Satzpaare ist unter Beachtung der Abstandsvorschriften für jede Versuchsperson zufällig.

Versuchsdurchführung und erste Ergebnisse: Alle fMRT-Messungen werden mit einem MR-Tomographen Siemens Sonata 1,5 Tesla im Klinikum Oldenburg durchgeführt. Dabei erfolgt die Stimulusdarbietung in einem *sparse imaging* Versuchsparadigma [5] mit einer Meßwiederholrate von $TR = 9$ s. In der rechten Abbildung ist beispielhaft für eine Pilotmessung bei einem Probanden die Aktivierung aus dem Kontrast von unverzerrter Sprache und Rauschen als *glass brain view* dargestellt. Die gemessene Aktivierung für diesen einfachen Kontrast Sprache vs. Rauschen ist wie erwartet bilateral und umfasst weite Bereiche des auditorischen Kortex. Sie liegt jedoch außerhalb des primären auditorischen Kortex (A1) im medialen Teil von Gyrus temporalis transversus. Eine detaillierte Analyse und Diskussion der Ergebnisse bei 15 audiologisch unauffälligen Versuchspersonen wird während der Tagung vorgestellt.

- [1] Wernicke C (1874) Der aphasische Symptomenkomplex. Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis. Breslau: M. Cohn & Weigert.
- [2] Blesser B (1972) J Speech Hear Res **15**, 5-41
- [3] Kollmeier B, Wesselkamp M (1997) J Acoust Soc Am **102**, 2412-2421
- [4] Wagener KC, Kühnel V, Kollmeier B (1999) Z Audiol **38**, 4-15
- [5] Hall DA, Haggard MP, Akeroyd MA, Palmer AR, Summerfield Q, Elliott MR, Gurney EM, Bowtell RW (1999) Hum Brain Mapp **7**, 213-223