




Phil List, Simon Menzen, Finn Köhne  
Donnerstag, der 18. November 2021

Versuchsprotokoll zum  
Fortgeschrittenenpraktikum:  
MEG-Lab

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Theorie
  - 2.1 Die akustischen Signale
  - 2.2 Die Cochlea
  - 2.3 Das MEG
3. Der Versuch
  - 3.1 Methoden und Versuchsdurchführung
  - 3.2 Versuchspersonen
  - 3.3 Datenanalyse
  - 3.4 Ergebnisse
4. Diskussion
5. Literaturverzeichnis

## 1. Einleitung

Dieser Versuch ist Teil des Blockpraktikums Psychophysik, Neurosensorik und auditorische Signalverarbeitung und untersucht, wie unterschiedliche Stimuli die Reaktion der Cochlea aufgrund von Phasenverzögerungen entlang dieser beeinflussen. Der Versuch setzt sich aus Teilen eines im Jahr 2002 bereits stattgefundenen Versuchs zusammen. Bei diesem Versuch wird die These überprüft, **ob sich die Synchronisation** entlang der Cochlea bei dem Eintreffen eines auditorischen Reizes im Gehör, durch geschickte Wahl der Stimuli, **bis zu dem primären auditorischen Kortex erhalten bleibt**. Daraus würde resultieren, dass die Amplituden der N19m-P30m Welle der zu messenden auditorisch evozierte Felder mittlerer Latenz (middle latency auditory evoked fields) größer werden  [1]. Die genauen Hintergründe der These werden in dem Theorieteil des Protokolls erläutert. Im Versuchsteil wird zuerst die Methodik und danach die Auswertung erläutert, um schlussendlich die Ergebnisse vorzustellen. Bei dem Versuch werden Magnetresonanztomographie (MRT) sowie auch Magnetoenzephalographie (MEG) angewandt. Im letzten Teil des Protokolls werden die gemessenen Daten **überprüft** und mit den Ergebnissen des bereits bekannten Versuchs abgeglichen und überprüft, ob die These bestätigt werden kann.

## 2. Theorie

Da der Versuch die Zusammenhänge von akustischen Signalen und der Cochlea untersucht, werden diese im Folgenden näher erläutert.

### 2.1 Die akustischen Signale

Für den Versuch ist es wichtig zu wissen, dass akustische Signale sich in ihren Phasenbeziehungen zwischen den Frequenzkomponenten unterscheiden. Die unterschiedlichen Frequenzen lassen sich entweder zusammen abspielen, dabei handelt es sich um einen Click, oder in chronologischer Reihenfolge zeitlich versetzt. Dies wird Up-Chirp, bei steigenden Frequenzen, und Down-Chirp, bei sinkenden Frequenzen, genannt. Hierbei lässt sich modellieren in welcher Geschwindigkeit, beziehungsweise nach welcher Gleichung die Frequenzanpassung stattfindet. Bei den hier verwendeten Signalen nehmen die Frequenzen exponentiell zu, beziehungsweise ab. Alle Stimuli wurden mit einer Abtastfrequenz von 44.1 kHz erzeugt. Die Frequenzen der Chirps befinden sich dabei jeweils in dem Intervall von 100 Hz bis 10 kHz. Der Pegel der Stimuli wurde jeweils an die Probanden angepasst, dafür wurde die Hörschwelle direkt vor dem Versuch bestimmt. In den Abbildungen 1 und 2 sind Beispiele des Up- und des Down-Chirps dargestellt. In der Abbildung 3 ist ein Beispiel für den Click zu sehen.

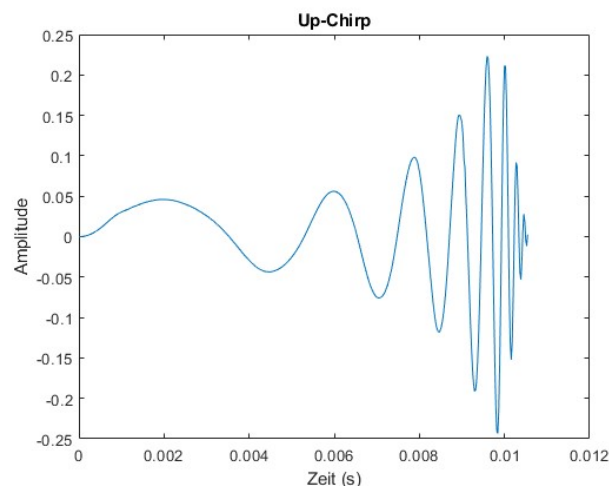


Abb. 1: Beispiel eines Up-Chirps.

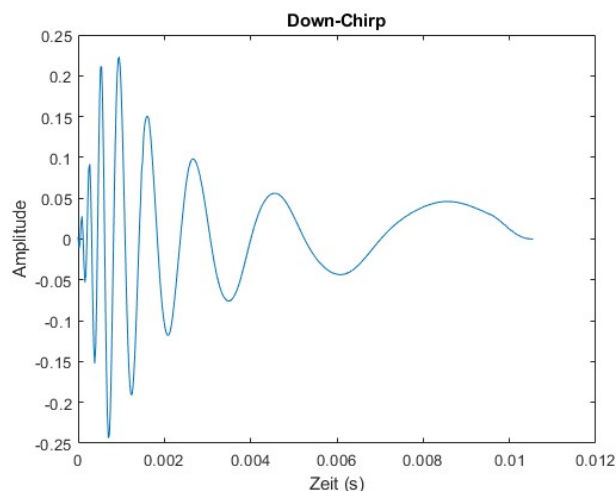


Abb. 2: Beispiel eines Down-Chirps.

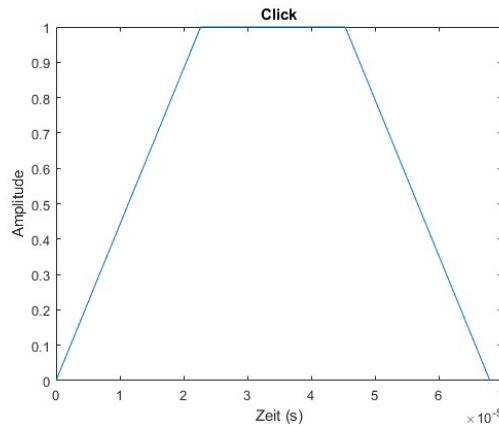


Abb. 3: Beispiel eines Clicks.

## 2.2 Die Cochlea

Die Cochlea ist ein Teil des Innenohrs und hat die Funktion Frequenzen von eintreffenden akustischen Signalen zu erkennen. Dies ist möglich mithilfe der Basilarmembran, welche ein Bestandteil der Cochlea ist. Die Basilarmembran besitzt die Eigenschaft, dass sie sich von außen nach innen immer stärker ausweiten lässt und ihre Steifigkeit somit abnimmt. Dies hat zur Folge, dass ein eintreffendes Signal mit mehreren Frequenzen an unterschiedlichen Stellen der Cochlea stehende Wellen bildet, je nach Frequenz des Tons. Somit bilden hohe Frequenzen an der Basis der Cochlea stehende Wellen und niedrige Frequenzen demnach an dem Apex der Cochlea, an dem die Signale erst später eintreffen [2]. Der Up-Chirp wurde so erstellt, dass der Frequenzanstieg der verminderten Steifigkeit der Basilarmembran gleicht. Demnach wurden diese mit Gleichung 1 berechnet, in der  $c$  die Steifigkeit in Abhängigkeit vom Ort  $x$  ist. In diesem Fall sind  $\alpha = 3 \cdot 10 \text{ cm}^{-1}$  und  $C_0 = 10^4 \text{ N cm}^{-3}$  [1].

$$(1) \quad c(x) = C_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

Die These lässt sich somit begründen, dass bei einem Up-Chirp die Wegdifferenz der niedrigen gegenüber den höher liegenden Frequenzen kompensiert wird, da die niedrigen Frequenzen zuerst eintreffen und somit die stehenden Wellen aller Frequenzen möglichst synchron ausgebildet werden. Es wird überprüft, ob dieser Effekt bis zur Verarbeitung im primären auditorischen Kortex, der sich im Temporallappen befindet, erhalten bleibt.

In Abbildung 4 ist ein Beispiel für eine Gehirnantwort auf einen Stimulus zu sehen. Dabei handelt es sich um eine Messung mit dem EEG, jedoch ähnelt sich die generelle Form der Antwort der Messung mit der von dem MEG.

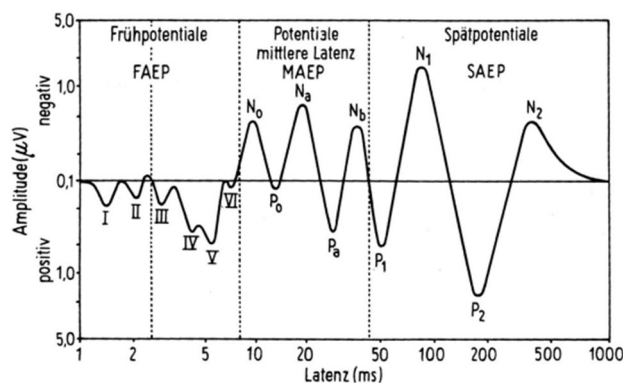


Abb. 4: Darstellung eines AEP mit der Einteilung in frühe, mittlere und späte AEPs Bezeichnung der jeweiligen Wellen mit römischen Buchstaben für FAEP bzw. P(positiv) oder N(negativ) für MAEP und SAEP. y-Achse: Spannung in  $\mu\text{V}$ , x-Achse: Latenz in [ms], Stimulus: 0 ms [3].

Betrachtet werden in diesem Versuch die Potentiale mittlere Latenz (MAEP), dessen Pendant am MEG als MLAEF bezeichnet wird. Dabei handelt es sich also um Felder und nicht um Potentiale. Diese Magnetfelder sind bei jeder Antwort des Gehirns auf einen Stimulus in den gemessenen Signalen vorhanden. Da jedoch die generelle Gehirnaktivität die Antwort auf den Stimulus überlagert, ist eine Mittelung über mehrere Epochen notwendig, um diese Signale sichtbar zu machen. Dies ist möglich, da die andere Gehirnaktivität unkorreliert zu der Antwort auf den Stimulus ist und somit durch Mittelung verschwindet. Dabei wird der Fokus auf die N19m-P30m Welle gelegt, da bereits belegt werden konnte, dass die Latenz dieser frequenzabhängig ist [1]. Somit eignet sie sich gut, um die Synchronisation des primären auditorischen Kortex zu untersuchen.

### 2.3 Das MEG

Das MEG wird in diesem Versuch verwendet, um Aktivitäten im primären auditorischen Kortex, der im Temporallappen liegt, zu bestimmen. Die generelle Idee ist, dass Magnetfelder, welche durch die Elektrophysiologische Aktivität des Gehirns induziert werden, gemessen werden. Der Vorteil des MEGs ist, dass es neben einer hohen zeitlichen Auflösung, welche im Bereich von ms liegt, auch eine gute räumliche Auflösung besitzt. Dies ermöglicht es Quellenlokalisierung durchzuführen. Jene wird in dem Versuch auch durchgeführt, indem ein Dipolfit angefertigt wird. Dies wird für diesen Versuch benötigt, da zu erwarten ist, dass sich die Antworten des primären auditorischen Kortex auf die unterschiedlichen Stimuli zwar unterscheiden, jedoch diese Unterschiede klein in Relation zu der Zeit sind. Es wird erwartet, dass die zeitliche Verschiebung, also die Latenz des Maximums der MLAEFs 10 ms beträgt. Die Nachteile des MEGs werden durch die starke magnetische Sensitivität bedingt, weshalb während einer Messung das MEG stark abgeschirmt sein muss, jedoch trotzdem ein Hintergrundrauschen durch externe Störquellen vorhanden sein kann und die Versuchspersonen sich ruhig verhalten müssen, da Bewegungen die Messdaten verfälschen.

### 3. Der Versuch

#### 3.1 Methoden und Versuchsdurchführung

Bei allen Messungen wurde sich an die Vorgaben von dem Artikel (Rupp et al., 2002) gehalten. Zusätzlich zu den Aufzeichnungen mit den 204 Gradiometern und 102 Magnetometern des MEGs wurden EKG-Daten und Elektromyogramme der Augenmuskulatur zur Artefaktbestimmung aufgezeichnet. Außerdem wurde eine Kappe getragen, an der fünf kleine Spulen zur Messung der Kopfposition, genannt head position indicator (HPI), angebracht sind, um die Positionierung des Kopfes während der Messungen aufzunehmen. Dies funktioniert dadurch, dass die HPI Spulen ein Magnetfeld induzieren, welches mit dem MEG gemessen wird. Während der Aufnahmen wurde den Versuchspersonen ein Stummfilm gezeigt und die Versuchspersonen befanden sich in einer aufrechten Sitzposition.

Zuerst wurde die Hörschwelle der Probanden für beide Ohren gemessen und der Pegel der Stimuli entsprechend angepasst. Gewählt wurde hierbei, dass der Pegel jeweils bei 40 dB oberhalb der Hörschwelle liegt. Danach wurden drei Messdurchgänge mit kurzen Pausen dazwischen durchgeführt. Jeder Messdurchgang dauerte 8 Minuten, in denen jeweils 1200 Stimuli präsentiert wurden. Diese Stimuli wurden über Insteckkopfhörer, welche in den Gehörgang eingeführt werden, auf beiden Ohren dargeboten. Hierbei wurden die Messwerte kontinuierlich aufgenommen.

#### 3.2 Versuchspersonen

An dem Versuch haben 3 Versuchspersonen teilgenommen, bei denen keine Hörschäden zu dem Zeitpunkt des Versuchs vorlagen. Alle Teilnehmer sind männlich und befinden sich in einem Alter von 20 bis 22 Jahren. Für alle Versuchspersonen waren es die ersten Messungen mit einem MEG.

Eine strukturelle T1 Aufnahme ist für die zweite und dritte Versuchsperson vorhanden, für die erste Versuchsperson wird ein Ersatzmodell verwendet. Bei der ersten Versuchsperson ist außerdem zu vermerken, dass auf dem linken Ohr der Kopfhörer schlechter positioniert war und somit auf dem Ohr schlechter gehört wurde.

#### 3.3 Datenanalyse

Die achtminütigen Messungen wurden zunächst in 1200 Epochen aufgeteilt. Jede Epoche beginnt 50 ms vor einen Stimulus und endet 350 ms nach diesem. Die Analyse der Messdaten wurde mit der Fieldtrip Toolbox durchgeführt [4]. In der Vorverarbeitung wurden die Signale mit einem Bandpassfilter, dessen Frequenzband zwischen 16 Hz und 120 Hz liegt, sowie mit einem Notch-Filter, der die Netzfrequenz von 50 Hz und deren Vielfaches, 100 Hz, abschwächt, gefiltert. Zur Artefaktbeseitigung wurden alle Epochen, bei denen der Z-Wert um das Fünffache größer ist als normal aus der Messreihe entfernt. Dieser Z-Wert gibt die Abweichung der Werte von dem Mittelwert  $\mu$  an, im Bezug zu der Standardabweichung  $\sigma$ , wie in der Gleichung 2 zu sehen ist.

$$(2) \quad Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Somit werden Signale mit starkem Rauschen abgefangen. Außerdem werden Epochen mit extremen Ausschlägen nicht berücksichtigt. Zuvor wurde bereits eine Vorverarbeitung mit der Maxfilter-Software durchgeführt, da die Daten verrauscht waren.

Zur Bestimmung der Positionen und Orientierungen der Dipole, welche im Bereich zwischen 20-50 ms gefittet wurden, der N19m-P30m Welle der evozierten Potentiale im Gehirn, werden die Daten der Clicks und Down-Chirps zusammengefügt und gemeinsam gemittelt. Diese Quellen-Modellierung erfolgte durch Kombination der MEG und MRT Daten. Dabei wurden

sowohl die Daten der **Gradiometer** als auch die Daten der **Magnetometer** verwendet. Es wird zunächst in beiden Hemisphären ein Dipol gefittet, welcher einer Symmetriebedingung genügt. Diese Symmetriebedingung verlangt, dass die beiden Dipole symmetrisch in beiden Hemisphären gefittet werden. Anschließend wird jeweils ein weiterer Dipol bestimmt, welcher der Lage des realen Dipols genauer entspricht. Dieser Dipol genügt nicht mehr einer Symmetriebedingung. Dieser zweistufige Vorgang wird gewählt, da so die Rechenzeit minimiert werden kann. Während der weiteren Datenanalyse werden die gefitteten Dipole konstant gehalten und auf die Stimuli angewendet, sowie auf die drei Konditionen gefittet.

Die Dipolmomente der akustisch evozierten Felder wurden für alle Versuchspersonen und Stimuli auf zwei verschiedene Weisen berechnet. Bei beiden wurde die Dipolorientierung aber als konstant angesehen. Einmal wurde dies mit der zeitlich gemittelten Orientierung (Gemittelte Dipolorientierung) und einmal mit der Singulärwertzerlegung (SVD) der zeitlichen Verläufe der Dipolmomente erstellt. Es wurden zwei Methoden verwendet, da diese von Fieldtrip unterstützt werden und aus dem Artikel an dem sich orientiert wird **nicht hervorgeht welche Methode benutzt wurde** und eine andere Software verwendet wurde (vgl. Rupp et al., 2002). Bei der Gemittelten Dipolorientierung werden alle Orientierungen der Dipole für die gepoolte Kondition der Down-Chirps und der Clicks gemittelt und die gemittelte Orientierung für alle Konditionen zum Dipolfit verwendet. Bei der zweiten Methode wird mithilfe einer **Singulärwertzerlegung aus den drei Dipolkomponenten**, also den jeweiligen Koordinaten, die Orientierung berechnet, die die meiste Varianz erklärt. Abschließend werden die drei Komponenten entlang dieser Orientierung projiziert. Für den Mittelwert wurde die Orientierung zwischen 20 ms und 50 ms nach Darbietung des Stimulus aus den gepoolten Click und Down-Chirp Daten gemittelt. Somit hat die Antwort nur noch eine räumliche Komponente.

### 3.4 Ergebnisse

In Abbildung 5 ist die Positionierung sowie die Orientierung der Dipole in den beiden Hemisphären der zweiten Versuchsperson aus verschiedenen Perspektiven zu sehen. Es ist zu erkennen, dass die Dipole in der Nähe des primären auditorischen Kortex in beiden Hemisphären liegen. Allerdings sind die beiden Dipole leicht versetzt zueinander platziert.

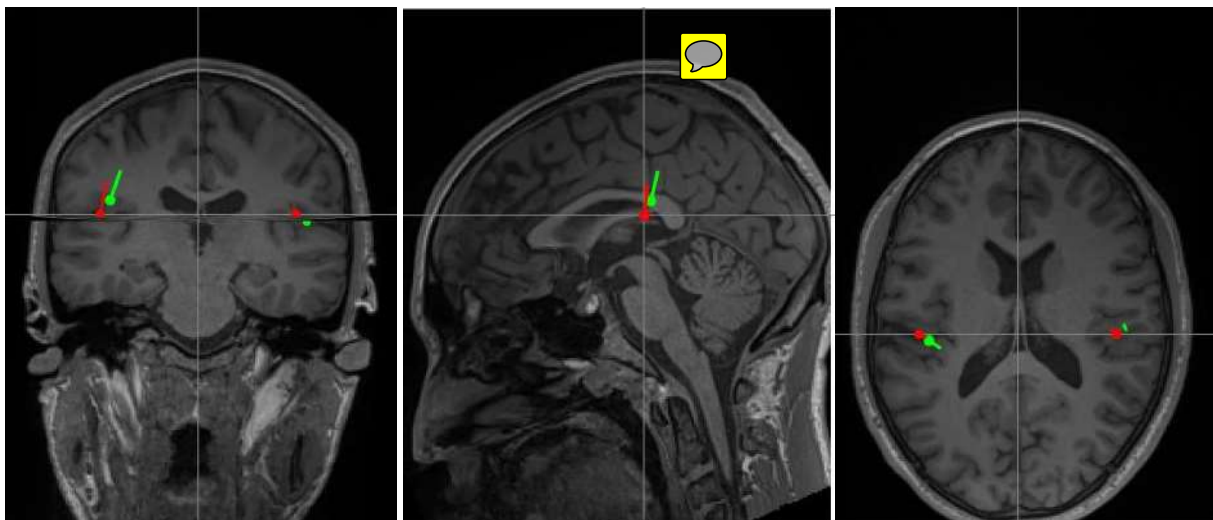


Abb. 5: Dipole in beiden Hemisphären von Versuchsperson 2 coronaler, sagittaler und axialer Ebene. Hierbei genügen die roten Dipole einer Symmetriebedingung und werden verwendet um die Grünen Dipole, welche keiner Symmetriebedingung genügen, zu bestimmen

In Abbildung 6 sind die über die Epochen, welche nicht durch die in der Analyse angewandten Kriterien ausgeschlossen wurden, gemittelten auditorisch evozierten Felder, ohne Dipolfit, der



102 Kanäle dargestellt. In Abbildung 7 sind die Daten eines Kanals, welcher über dem Temporallappen liegt, zu sehen.

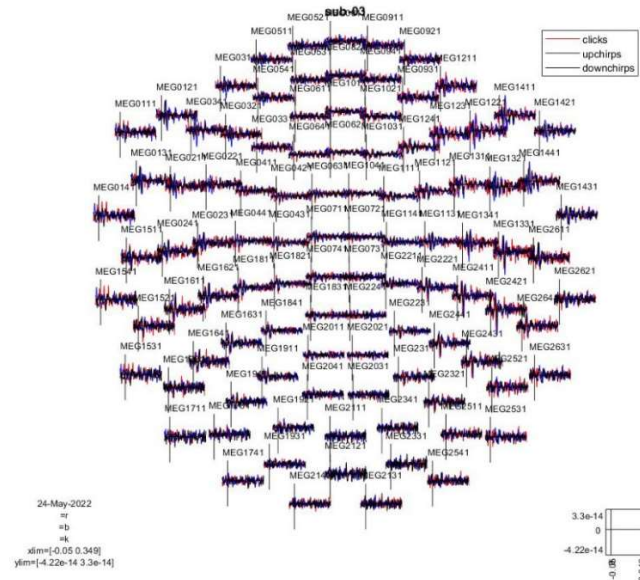


Abb. 6: Über die Epochen gemittelten auditorisch evozierte Felder, der 102 Kanäle

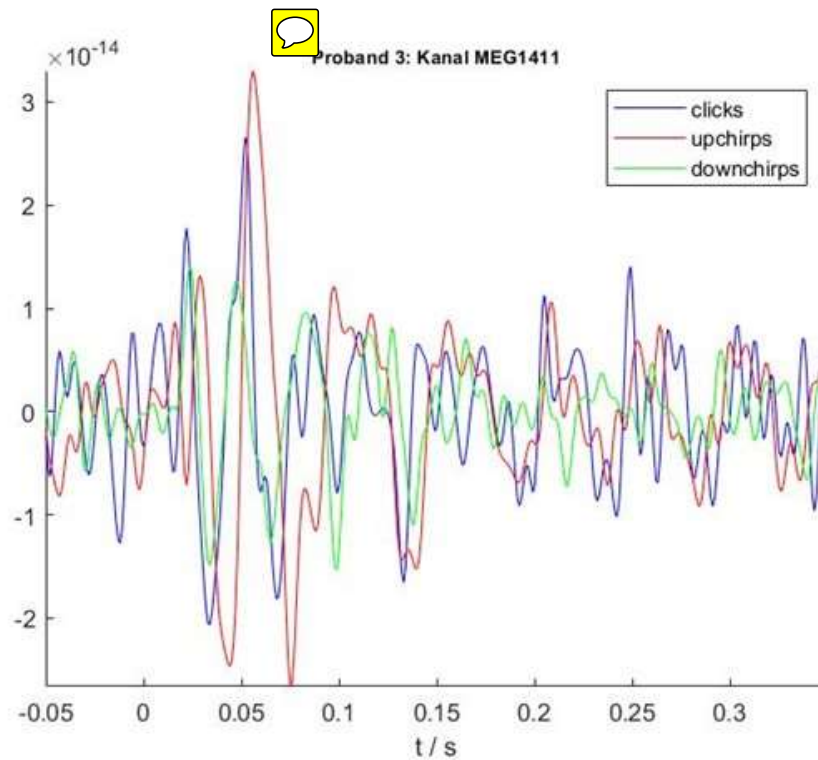


Abb. 7: Über die Epochen gemittelten auditorisch evozierte Felder, eines Kanals der über dem Temporallappen liegt

Die Abbildungen 8, 9 und 10 zeigen die zeitlichen Verläufe der Dipolmomente, die mit der zeitlich gemittelten räumlichen Orientierung berechnet wurden, in beiden Hemisphären aller drei Versuchspersonen. Die N19m-P30m Welle als Antwort auf das akustische Signal ist bei allen Signalen deutlich zu erkennen. Dies ist ebenso in den Abbildungen 11, 12 und 13 der Fall. Dort sind die zeitlichen Verläufe der Dipolmomente, deren Orientierung mit der SVD berechnet wurden, abgebildet.

#### sub-01: feste Dipolorientierung nach zeitlicher Mittelung

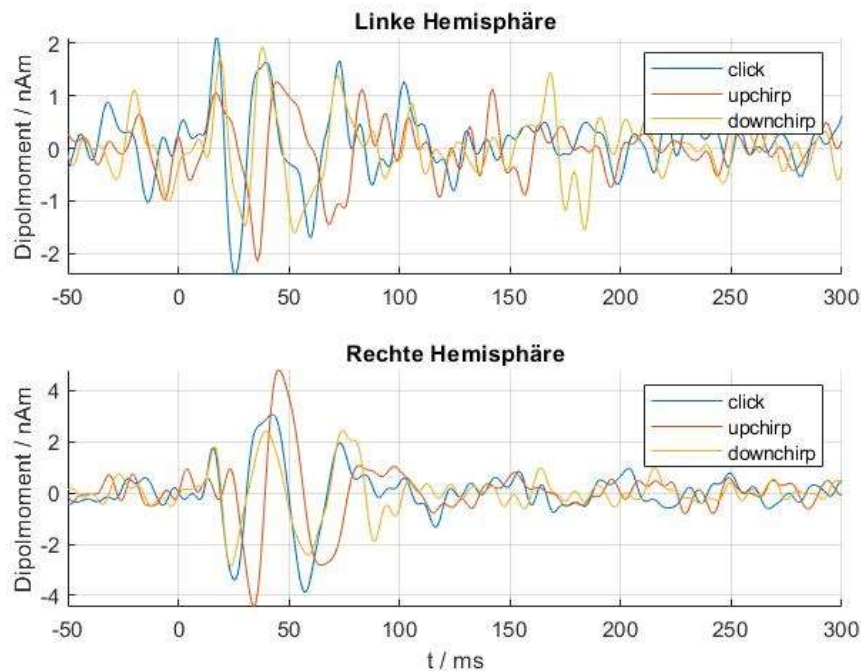


Abb. 8: Dipolmomente mit zeitlich gemittelter räumlicher Orientierung von Versuchsperson 1



#### sub-02: feste Dipolorientierung nach zeitlicher Mittelung

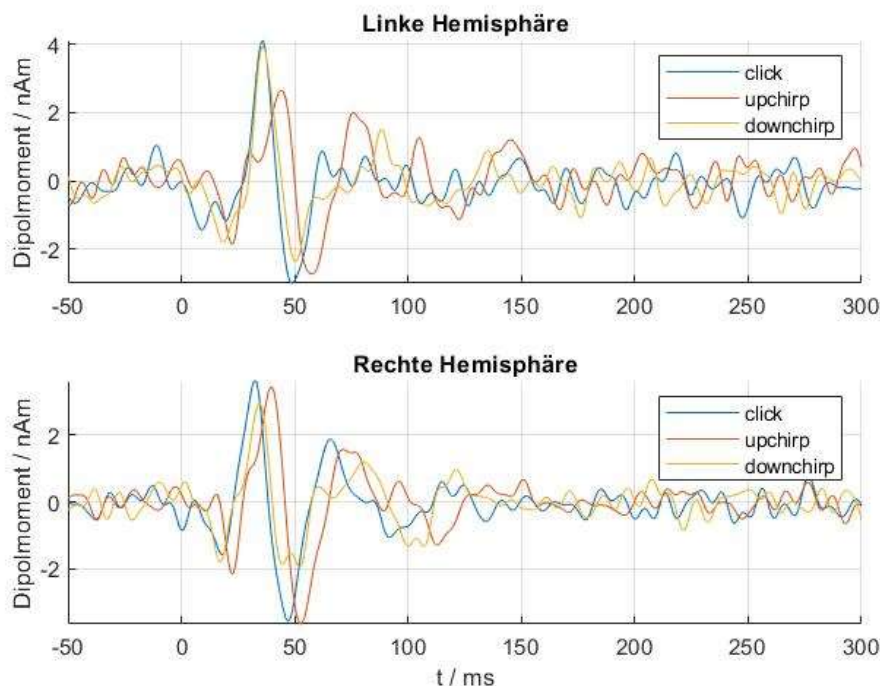


Abb. 9: Dipolmomente mit zeitlich gemittelter räumlicher Orientierung von Versuchsperson 2

### sub-03: feste Dipolorientierung nach zeitlicher Mittelung

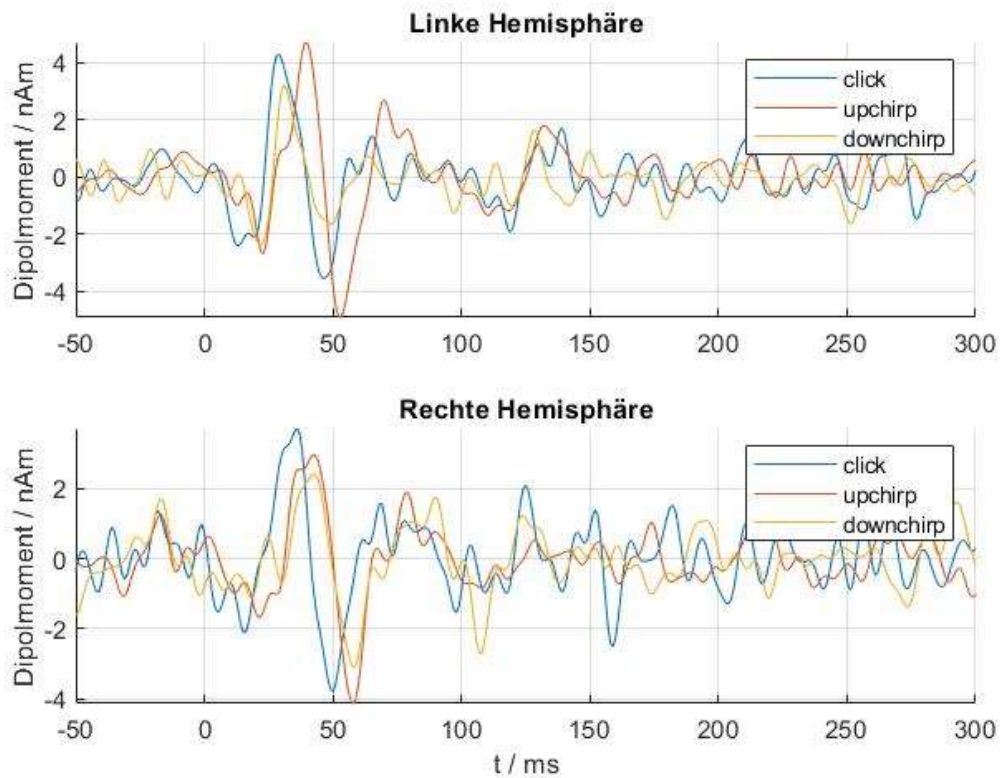


Abb. 10: Dipolmomente mit zeitlich gemittelter räumlicher Orientierung von Versuchsperson 3

### sub-01: feste Dipolorientierung nach SVD

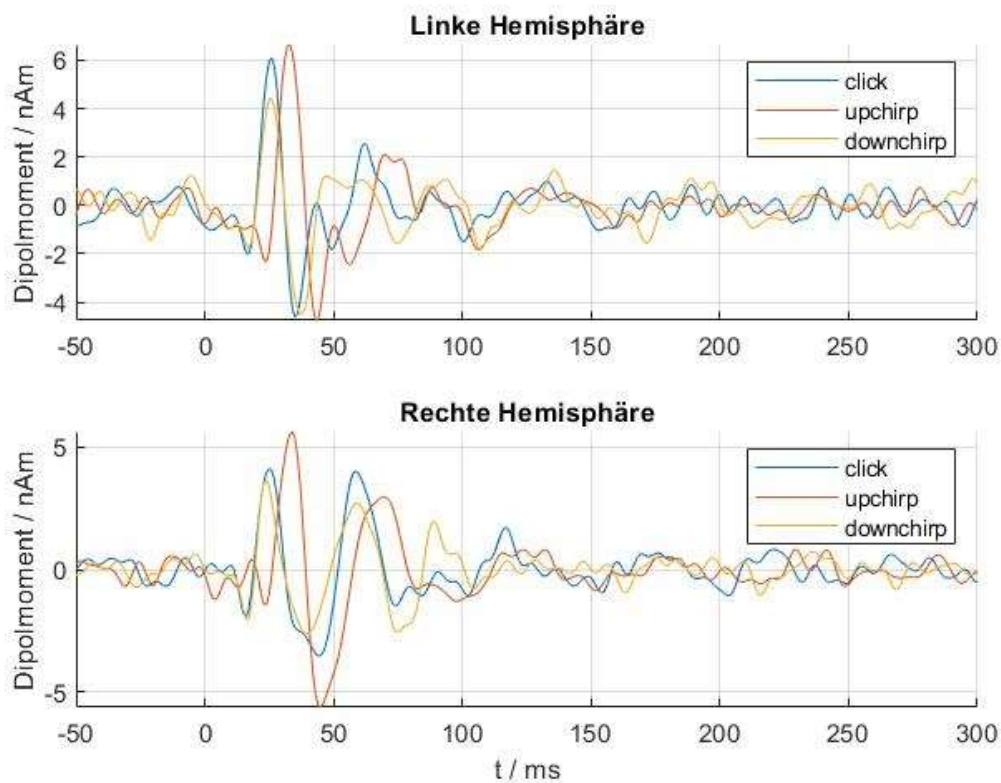


Abb. 11: Dipolmomente mit räumlicher Orientierung nach SVD von Versuchsperson 1

### sub-02: feste Dipolorientierung nach SVD

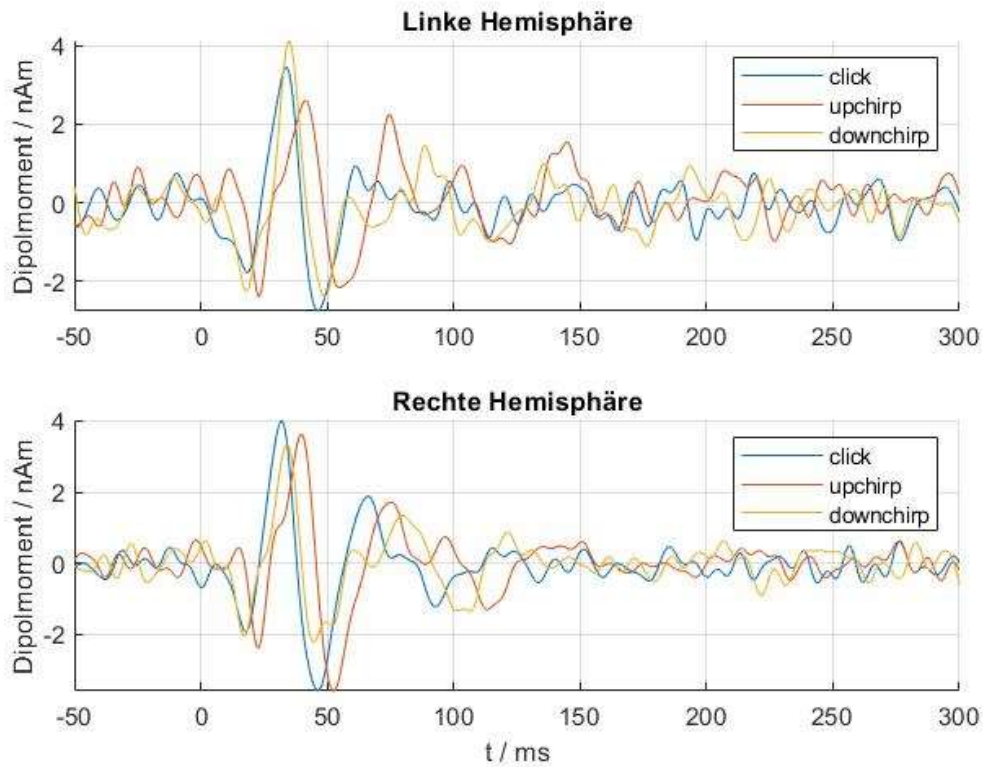


Abb. 12: Dipolmomente mit räumlicher Orientierung nach SVD von Versuchsperson 2

### sub-03: feste Dipolorientierung nach SVD

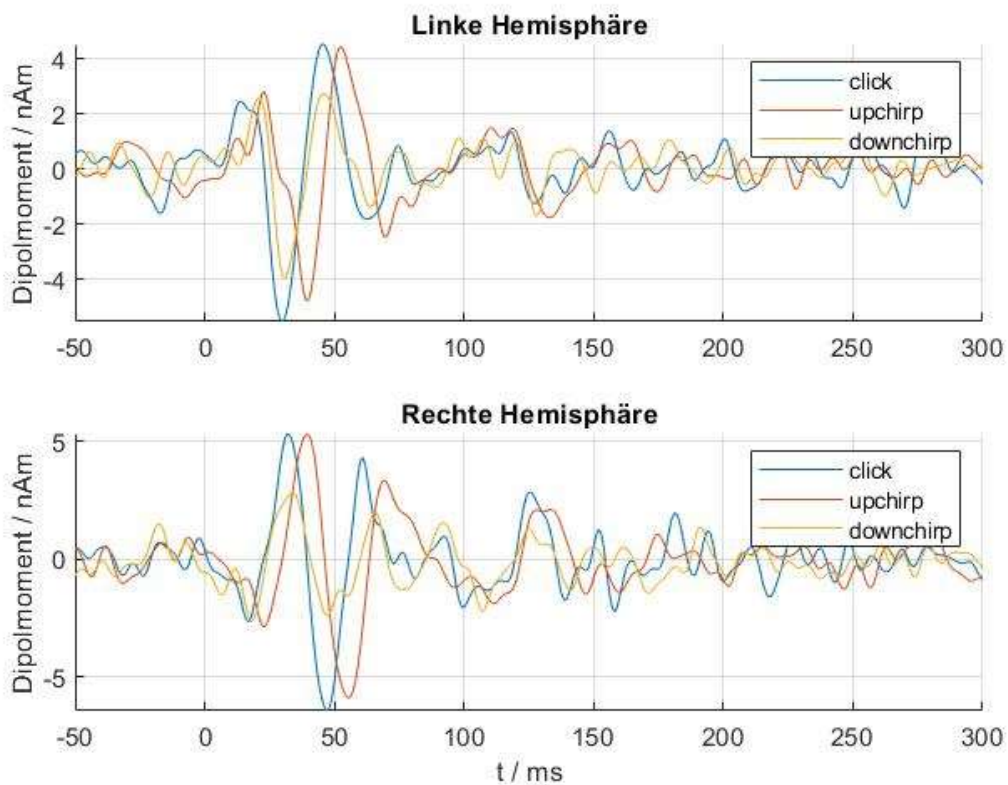


Abb. 13: Dipolmomente mit räumlicher Orientierung nach SVD von Versuchsperson 3



Außerdem sind in den Abbildungen 14 und 15 die Dipolmomente mit beiden Berechnungsmethoden als Mittelwert über alle Probanden aller drei Versuchspersonen erstellt wurden, zu sehen.

### Mittelwert: feste Dipolorientierung nach zeitlicher Mittelung

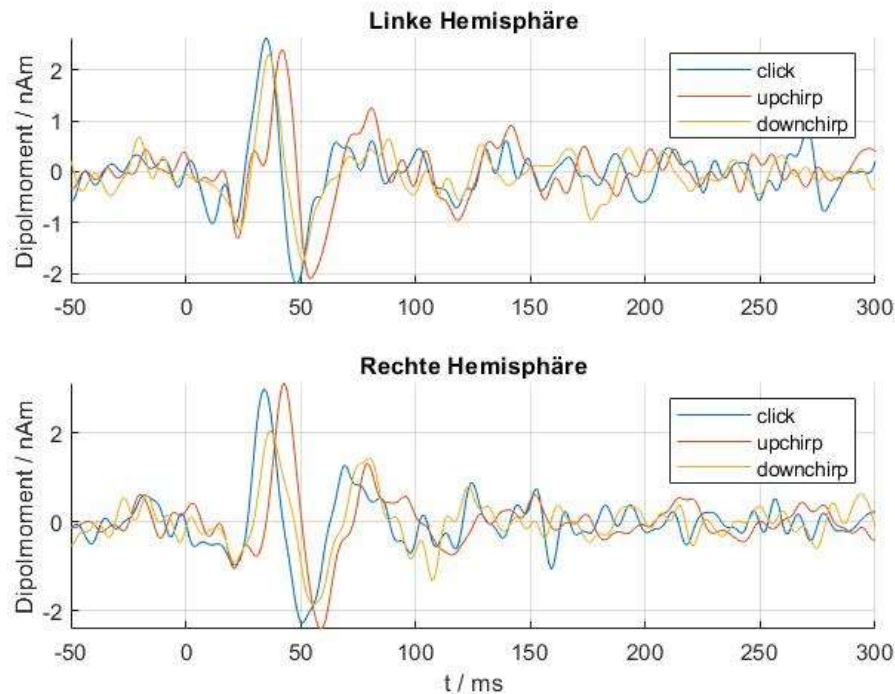


Abb. 14: Mittelwerte der Dipolmomente mit zeitlich gemittelter räumlicher Orientierung

### Mittelwert: feste Orientierung nach SVD

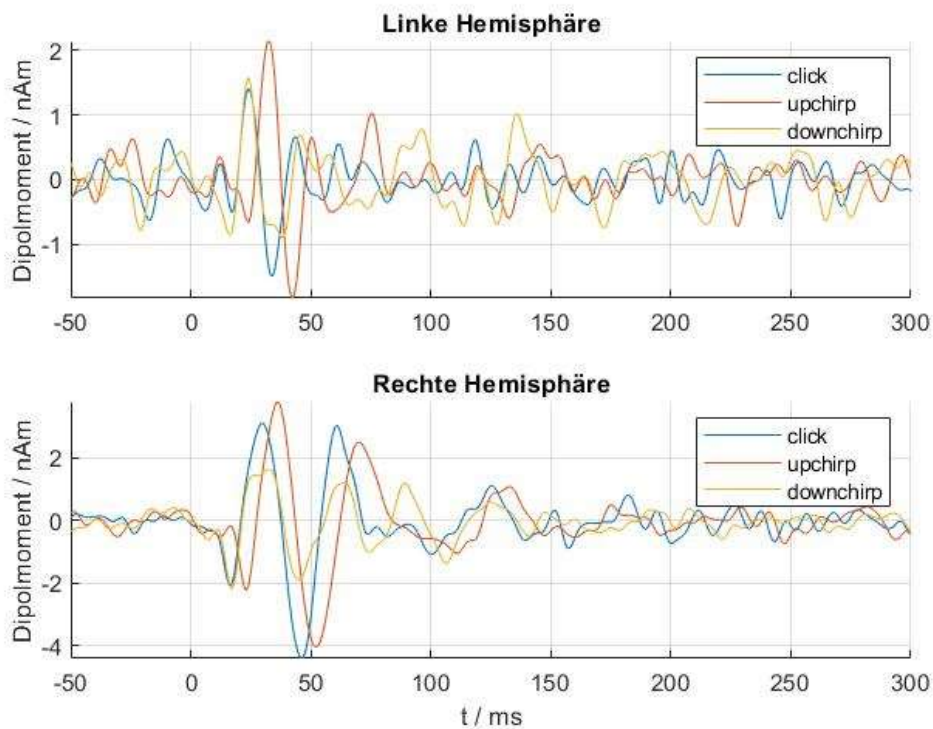


Abb. 15: Mittelwerte der Dipolmomente mit räumlicher Orientierung nach SVD

#### 4. Diskussion

Die These des Versuchs ist, dass der Up-Chirp ein größeres Dipolmoment verursacht als der Click und der Down-Chirp. In dem Versuch, dessen Ergebnis überprüft wird, beträgt die Latenz des N19m-P30m Komplex des Dipolmoments bei dem Up-Chirp 10 ms (vgl. Rupp et al., 2002). Diese beiden Ergebnisse werden im folgenden Abschnitt näher überprüft.

Es werden die Ergebnisse der Testpersonen jeweils einzeln betrachtet, da die Anzahl mit drei gering ist und somit aus der Betrachtung des Durchschnitts fehlerhafte Schlüsse gezogen werden könnten. Jedoch werden schlussendlich auch einmal die Durchschnitte betrachtet und deren Ergebnisse diskutiert.

Das Dipolmoment, welches mithilfe der Gemittelte Dipolorientierung berechnet wurde, der ersten Versuchsperson stimmt in der rechten Hemisphäre mit den Erwartungen überein, wie in der Abb. 8 zu erkennen ist. Die Amplitude des P30m Komplex des Up-Chirps liegen höher als die des Clicks und des Down-Chirps. Ebenfalls ist ein zeitlicher Versatz zu sehen. Die linke Hemisphäre weist hingegen Abweichungen auf. Diese und weitere Abweichungen lassen sich damit begründen, dass für diese Versuchsperson lediglich ein Template<sup>1</sup> anstatt eines anatomischen MRT vorhanden war. Diese Abweichung ist jedoch nicht bei den Ergebnissen vorhanden, welche mithilfe der SVD berechnet wurden, welche in der Abb. 11 dargestellt sind. Die Ergebnisse stimmen dabei auf beiden Seiten mit den Erwartungen überein. Dies lässt darauf schließen, dass die Methoden der Berechnung das Ergebnis beeinflussen.


Bei der zweiten Versuchsperson ist zu erkennen, dass bei beider<sup>2</sup> Berechnungsmethoden bei beiden Hemisphären die Werte nicht mit den Erwartungen übereinstimmen, wie in den Abb. 9 und 12 zu sehen ist. Jedoch sind die auditorisch evozierten Felder zu erkennen. Dies lässt dazu schließen, dass während dem Messverfahren ein Fehler unterlaufen sein könnte, da keine Hörschäden der Testperson bekannt sind. Es kann aber auch weitere Gründe geben, so sind die Ergebnisse subjektiv und können für verschiedene Personen unterschiedlich ausfallen. Diese Fehler könnten an mehreren Stellen aufgetreten sein, da mehrere und unterschiedliche Messungen für die Berechnung benötigt werden<sup>3</sup>. So könnte das Kopfmodell, welches mit dem MRT angefertigt wurde, fehlerhaft sein. Ebenfalls könnte die manuelle Abmessung des Kopfes und die Bestimmung von Nasion, RPA und LPA ungenau sein. Während der Messung mit dem MEG können auch die Messwerte fehlerhaft bestimmt worden sein, indem die Versuchsperson nicht den richtigen Abstand zu dem MEG währt oder durch Bewegungen ein Rauschen verursacht. Diese Epochen werden zwar herausgefiltert, jedoch müssen, wie in der Theorie beschrieben, genug Epochen für die weitere Analyse vorhanden sein, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Ein weiterer möglicher Grund ist, dass durch das Schauen des Stummfilms ein visueller Stimulus geboten wird, der nicht unkorreliert ist, und somit zu Artefakten führt. Dass die Abweichungen auf die Geräte, insbesondere das MEG und das MRT, zurückzuführen sind wird ausgeschlossen, da die anderen Testreihen nicht darauf hinweisen. Somit ist der Fehler wahrscheinlich während der Messung aufgetreten.

Das Ergebnis der dritten Versuchsperson weist wieder unterschiedliche Ergebnisse bei den beiden Methoden der Berechnung auf. Das Ergebnis was mithilfe von SVD bestimmt wurde und in Abbildung 13 zu sehen ist, zeigt in beiden Hemisphären, dass zwar die Amplitude des Dipolmoments des Up-Chirps in beiden Hemisphären höher ist als bei dem Down-Chirp und auch die Latenz beträgt etwa 10 ms was der Erwartung entspricht, jedoch gleich hoch ist wie das Dipolmoment des Clicks. Hingegen zeigt das Ergebnis, welches mithilfe der Gemittelte Dipolorientierung Methode bestimmt wurde, dass das Dipolmoment in der linken Hemisphäre den Erwartungen entspricht, jedoch in der rechten Hemisphäre das Dipolmoment des Clicks höher liegt, wie in Abbildung 10 zu sehen ist. Die Messungenauigkeiten lassen sich wie bei der zweiten Versuchsperson begründen und sind somit vermutlich während des Messverfahrens aufgetreten.



Schlussendlich werden die gemittelten Ergebnisse der drei Versuchspersonen für beide Berechnungsmethoden betrachtet. Der Durchschnitt, der mit der SVD bestimmten Ergebnisse ist in der Abb. 15 zu sehen und entspricht den Erwartungen auf beiden Seiten, obwohl die Ergebnisse einzelner Versuchspersonen abweichen. Die Ergebnisse der ersten Versuchsperson beeinflussen den Mittelwert jedoch am stärksten, da die Amplituden höher liegen. Hingegen zeigt der Durchschnitt der mit der Gemittelte Dipolorientierung Methode bestimmten Ergebnisse, welcher in der Abb. 14 zu sehen ist, Abweichungen auf. So stimmen zwar die Ergebnisse der rechten Hemisphäre mit den Erwartungen überein, aber bei der linken Hemisphäre liegt das Dipolmoment des Clicks höher als bei dem Up-Chirp. Diese Abweichung ist auf die Abweichungen bei den einzelnen Versuchspersonen zurückzuführen.

Somit lässt sich abschließend sagen, dass die Ergebnisse des Versuches zwar Ungenauigkeiten aufweisen, diese jedoch bekannte Gründe haben und die Abweichungen nicht in allen Fällen auftreten. Auffällig ist die Differenz der schlussendlichen Ergebnisse bei Nutzung unterschiedlicher numerischen Verfahren bei der Berechnung. Hierbei weist SVD generell Ergebnisse auf, die näher an den Erwartungen liegen, wie es besonders bei dem Durchschnitt aller Versuchspersonen zu sehen ist. Die These, dass die Verzögerung in der Hörbahn auch noch in der Antwort des primären auditorischen Kortex, in dem auch die Dipole bestimmt wurden, durch größere Dipolmomente bei Up-Chirps messbar ist, kann also nicht mit absoluter Sicherheit belegt werden, jedoch deuten die Ergebnisse in diese Richtung.

## 5. Literaturverzeichnis

[1]  Kupp, A., Uppenkamp, S., Gutschalk, A., Beucker, R., Patterson, R.D., Dau, T., Scherg, M., 2002, The representation of peripheral neural activity in the middle-latency evoked field of primary auditory cortex in humans

[2] DocCheckFlexikon, Basilararmembran, URL: <https://flexikon.doccheck.com/de/Basilararmembran#:~:text=1%20Definition,der%20Sitz%20des%20Corti%20Organs.:> 03.05.2022

[3]  markus Engelmann; 2012, Untersuchungen von Komponenten akustisch evozierter Potentiale an schwerhörigen Industriearbeitern, Seite 20 

[4] Robert Oostenveld, Pascal Fries, Eric Maris, and Jan-Mathijs Schoffelen. FieldTrip: Open Source Software for Advanced Analysis of MEG, EEG, and Invasive Electrophysiological Data. Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2011, Article ID 156869, 9 pages, 2011. doi:10.1155/2011/156869.