

Eberhard-Karls-Universität Tübingen
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Kognitive Neurowissenschaft

Bachelorarbeit

Ereigniskorrelierte Potentiale bei der
Sequenzerkennung von Szenenfolgen

Julian Hofmeister

01.12.2013 - 26.03.2014

Gutachter

Prof. Dr. Hanspeter A. Mallot
Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaften
Universität Tübingen

Zweitgutachter

Prof. Dr. Hartmut Leuthold
Lehrstuhl für Biologische Psychologie
Universität Tübingen

Betreuer

Stephan Lancier
Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaften
Universität Tübingen

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und von dieser als Teil einer Prüfung angenommen.

Ort, Datum

Julian Hofmeister

Danksagung

Ich möchte mich bei all denen bedanken, die mich bei dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

An erster Stelle steht dabei mein Betreuer Stephan Lancier, der mich mit viel Geduld und Engagement zu jeder Zeit perfekt unterstützt hat. Melanie Schulz danke ich für Korrekturlesen und vor allem für das ständige Motivieren. Meinen Eltern möchte ich dafür danken, dass sie mir das Studium ermöglichen und damit diese Arbeit erst möglich gemacht haben. Marie Admard danke ich für das letzte Korrekturlesen. Außerdem danke ich allen Versuchspersonen für ihre Teilnahme.

Julian Hofmeister, März 2014

Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit werden Ereigniskorrelierte Potentiale bei der Sequenzerkennung von Szenenfolgen untersucht. Dazu wurde ein Versuch durchgeführt, der an die Old/New Tasks von RUGG und CURRAN (2007) angelehnt war und um eine Komponente zur Sequenzerkennung erweitert wurde. Die Versuchspersonen erhielten eine Reihe von 16 Bildern, wobei sich wiederzuerkennende Ziele und Distraktoren abwechselten. Die Bilder stellten alle räumliche Szenen dar und waren in Kategorien wie Wohnzimmer oder Küche unterteilt. Nach der Lernphase wurde den Versuchspersonen acht weitere Bilder präsentiert. Diese Testbilder setzten sich aus den vorher gelernten, aus den Distraktoren und aus neuen Bildern zusammen. Im Gegensatz zum Old/New Task wurden auch Zielbilder an falscher Position der Testphase präsentiert.

Ziel dieser Arbeit war es nun zum einen die von RUGG und CURRAN (2007) gefundenen Old/New Effekte nachzuweisen, sowie zu überprüfen, ob es für die Zielbilder an falscher Position ein eigenes charakteristisches ERP gibt. Außerdem wurde vermutet, dass die ERPs von Treffern und falschen Alarmen übereinstimmen, da diese Fälle aus Sicht der Versuchspersonen gleich sind. Von der allgemeinen Erkennungsleistung wurde angenommen dass sie wie bei Rugg relativ gut verlaufen wird. Außerdem wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Erkennungsleistung bei falscher Bildposition mit dem Abstand zwischen gelerntem und abgefragtem Bild steigt.

Die Hypothesen zur Psychophysik konnten bestätigt werden, bei den ERPs war dies nicht so klar. Ein großer Schwachpunkt dieser Arbeit ist die geringe Anzahl von Versuchspersonen, wodurch sinnvolle Aussagen über viele ERPs nicht oder nur eingeschränkt möglich sind. So wurde wie vermutet kein Unterschied zwischen den ERPs von Treffern und falschen Alarmen gefunden. Ein spezielles Sequenz-ERP konnte nicht bestätigt werden, es gab aber einige Anzeichen dafür. Der Old/New Effekt von Rugg konnte in manchen Teilen nachgewiesen werden, in anderen nicht.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
1 Einleitung	3
2 Material und Methoden	8
2.1 Versuchspersonen	8
2.2 Versuchsablauf	8
2.2.1 Allgemeiner Ablauf des Versuchs	8
2.2.2 Stimulimaterial	10
2.2.3 Auswahl und Verteilung der Bilder	12
2.3 Versuchsprogrammierung	13
2.4 Apparatur	13
2.5 Datenanalyse	14
2.5.1 Fehlende Daten	14
2.5.2 Aufbereitung der Daten	15
3 Ergebnisse	17
3.1 Psychophysik	17
3.1.1 Allgemeine Leistung	17
3.1.2 Verhaltensrelevante Bilder an falscher Position	19
3.2 Event-related Potentials	20
3.2.1 Scalp Maps	23
3.3 Old/New Effekt	26
3.3.1 Hit und False Alarms	27
3.3.2 Correct Rejections und False Alarms	28
4 Diskussion	30
4.1 Ausblick	31
Literaturverzeichnis	33
Anhang	34
A.1 EEG Impedanzwerte	34
A.2 Durch Artifact Rejection verworfene Daten	35
A.3 Übersicht ERP Daten	36
A.4 Übersicht ERP Daten Hit vs. False Alarms	37

Abbildungsverzeichnis

1	Erkennungsleistung abh. von Präsentationsdauer	3
2	Beispiel ERP	4
3	Ruggs old/new Effekt	6
4	Ablauf der Lernphase	9
5	Ablauf der Testphase	9
6	Der Korridor	10
7	verhaltensrelevantes Bild	11
8	Distraktor	11
9	Kategorienbeispiele	12
10	Position der Elektroden	14
11	Frequenzanalyse	15
12	Ergebnis Psychophysik	18
13	Ergebnis Psychophysik genauer	19
14	Erkennungsleistung bei falscher Position	20
15	Grand-Average	21
16	Scalp Maps 250 - 400 ms	24
17	Scalp Maps 400 - 500 ms	24
18	Scalp Maps 500 - 650 ms	24
19	Scalp Maps 650 - 800 ms	24
20	ERP bei Hit vs. Cr	26
21	ERP bei Hit vs. Fa	27
22	ERP bei Correct Rejections	29
23	Übersicht ERP Daten	36
24	Übersicht ERP Daten Hit vs. False Alarms	37

Tabellenverzeichnis

1	Verteilung der Bilder im Versuch	13
2	Anzahl Daten nach Artifact Rejection	16
3	Rohdaten der Psychophysikergebnisse	17
4	ANOVA der False Alarms	18
5	ANOVA über ERP: Elektrode	22
6	ANOVA über ERP: Bedingung	23
7	ANOVA über ERP: Interaktion	23
8	ANOVA über ERP	25
9	Signifikanzen bei Correct Rejections	28
10	Impedanzwerte	34
11	Anzahl durch Artifact Rejection verworfener Daten	35
12	Prozente der bei Artifact Rejection verworfenen Daten	35

1 Einleitung

In dieser Arbeit werden zwei Forschungsgebiete vereint, die, jedes für sich alleine, bereits seit Jahrzehnten erforscht werden, aber über die es zusammengenommen bisher wenig Forschungsarbeiten gibt: Szenenerkennung und Ereigniskorrelierte Potentiale.

Bei der Szenenerkennung ist seit längerem bekannt, dass die Erkennungsleistung von präsentierten Bildern stark von der Dauer der Präsentation abhängt (POTTER und LEVY (1969)). LIN (2010) spricht davon, dass das Erkennen einer Szene schon in 100 ms möglich ist, für das Speichern im Gedächtnis allerdings mindestens 300 ms mehr nötig sind (siehe auch POTTER (1993)).

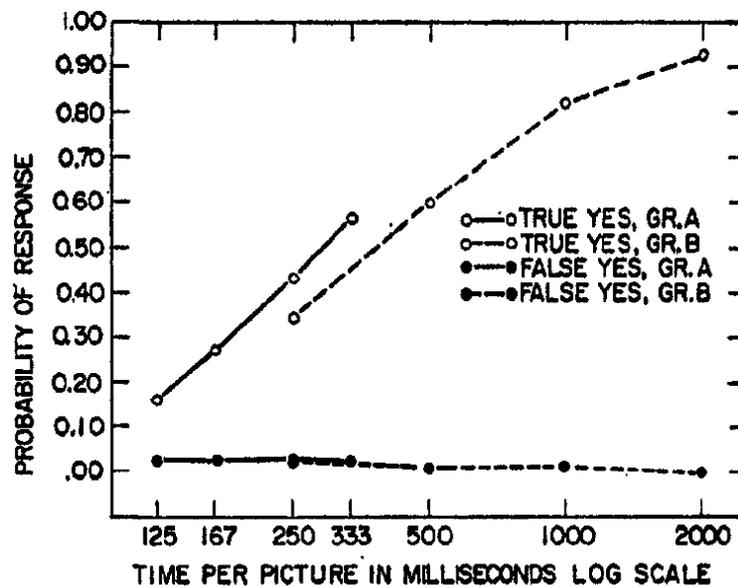


Abbildung 1: Erkennungsleistung abhängig von Präsentationsdauer der Bilder. Quelle: POTTER und LEVY (1969)

Unter Ereigniskorrelierten Potentialen, in dieser Arbeit wird die Abkürzung des englischen *Event-Related-Potential* ERP verwendet, versteht man Wellen im EEG, die mit einem bestimmten Ereignis korrelieren. Hierzu werden Versuche durchgeführt in denen eine oder mehrere Bedingungen variiert werden, wie z.B. bei CURRAN und CLEARY (2003), RUGG, MARK und WALLA (1998), FRIEDMAN (1990). Während die Versuchsperson den Versuch durchführt, wird ihr EEG-Signal abgeleitet und gespeichert. Bei der Auswertung wird das kontinuierliche EEG-Signal in zeitliche Segmente eingeteilt. Diese Epochen sind zeitlich an eine bestimmte Situation im Versuch gekoppelt, z.B. der Präsentation eines zu detektierenden Stimulus. Danach werden die Epochen den verschiedenen Versuchsbedingungen zugeordnet, wie z.B. *Stimulus wurde detektiert* oder *Stimulus wurde nicht*

1 Einleitung

detektiert. Um die Wellenform des zu dieser Bedingung gehörenden Potentials zu ermitteln, wird nun über alle betreffenden Epochen gemittelt (*averaging*). Somit verschwindet das allgemeine Rauschen und das Ereigniskorrelierte Potential kommt zum Vorschein.

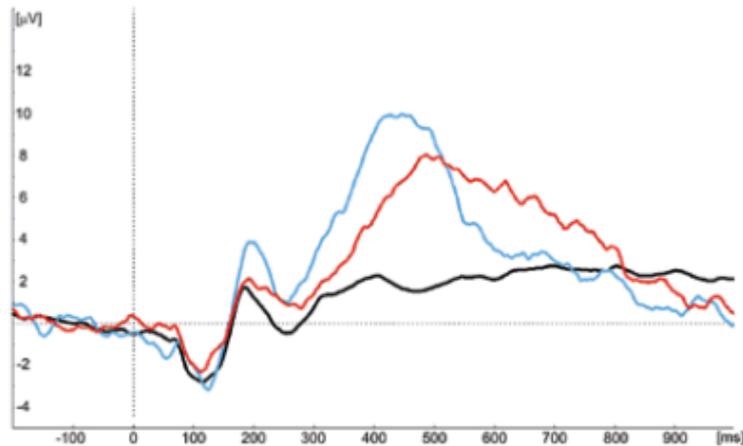


Abbildung 2: Allgemeines Beispiel für ERPs, jede Farbe steht für das ERP einer bestimmten Bedingung, hier: Standard, Zielstimulus und Distraktor. Quelle: LINDEN (2005)

Für das Erkennungsgedächtnis wird ein sogenanntes Zwei-Prozess-Modell vermutet, dabei sind zwei Prozesse beteiligt wenn zwischen gelernten und nicht gelernten Stimuli unterschieden werden soll. Diese Prozesse sind *familiarity* und *recollection*. Familiarity bezieht sich dabei mehr auf den Vergleich des Stimulus zu allen gelernten Stimuli, während recollection den Abruf von spezielleren Informationen, wie dem Kontext des Stimulus, ermöglicht (CURRAN und CLEARY (2003)). Als Beispiel hierfür macht Curran den Vergleich mit der Gesichtserkennung. Jedem ist es schon einmal passiert, dass ihm ein Gesicht bekannt vorkam (*familiarity*), einem aber Details wie der Name der Person nicht einfallen wollten (*recollection*).

Durch sogenannte Old/New Tasks wurde versucht Ereigniskorrelierte Potentiale zu diesen beiden Prozessen zu finden. Stellvertretend für eine ganze Reihe ähnlicher Versuche sei hier RUGG, MARK und WALLA (1998) erwähnt. Den Versuchspersonen wurde über einen Bildschirm eine Folge von 68 Wörtern präsentiert, wobei ein Hinweis gegeben war, welche der folgenden Aufgaben die Versuchsperson mit dem präsentierten Wort durchführen sollte. Da die *Tiefe* der Verarbeitung des Wortes variiert werden sollte, wurde zwischen der sogenannten *shallow* und der *deep* Aufgabe unterschieden. Bei der shallow Aufgabe sollte die Versuchsperson angeben, ob der erste und der letzte Buchstabe des präsentierten Wortes in alphabetischer Reihenfolge war. Bei der deep Aufgabe sollte das Wort in einen kurzen Satz eingebaut werden. Durch dieses Einbauen in einen Kontext wurde erwartet, dass bei der Abfrage mehr recollection zum Tragen kommt und dadurch

ein Vergleich zum familiarity Prozess möglich ist.

Nach ca. 5 Minuten erfolgte die Abfrage. Dabei wurden sowohl die gelernten Wörter als auch 44 neue Wörter in zufälliger Reihenfolge abgefragt und die Versuchspersonen mussten entscheiden, ob sie das präsentierte Wort zuvor gelernt hatten oder nicht. Wörter welche in der deep-Bedingung gelernt wurden, wurden zu 94% wiedererkannt, in der shallow-Bedingung zu 49%. Neue Wörter wurden zu 86% korrekt als neu erkannt.

Bei der Betrachtung der ERPs wurde zunächst festgestellt, dass die Potentiale bei Treffern (im Folgenden als *Hit* bezeichnet) positiver verlaufen als die von nicht erkannten (*Miss*) und korrekt als neu erkannten (*Correct Rejections*, kurz *Cr*). Antworten bei denen Wörter fälschlicherweise als Treffer berichtet wurden (*False Alarms*, kurz *Fa*), wurden nicht ausgewertet. Diese stärkere Positivierung der Hits wird als *Old/New Effekt* bezeichnet. Untersucht man diesen Effekt genauer, so lässt er sich in den *mid-frontal* Effekt und den *parietal* Effekt aufteilen. Rugg spricht außerdem noch vom *posterior* Effekt auf den hier aber nicht weiter eingegangen werden soll.

Der mid-frontal Effekt tritt im mittleren vorderen Bereich des Gehirns im zeitlichen Bereich von 300 - 500 ms nach der Präsentation des Teststimulus auf und zeichnet sich durch eine ungefähr bei 0 μV verlaufende Kurve der Hits und eine im Negativen verlaufende Kurve der Miss und Cr aus. Daher auch oft die Bezeichnung FN400 - für frontal, negative, bei ca. 400 ms. Dieser mid-frontal Effekt wird im Allgemeinen mit dem Familiarity-Prozess in Verbindung gebracht (WARREN (1980) und CURRAN und CLEARY (2003)).

Der parietal Effekt dagegen tritt im parietalen Bereich 400 - 800 ms nach dem Teststimulus auf. Er zeichnet sich durch eine sehr starke Positivierung der Hit Kurve und eine schwächere Positivierung der Cr Kurve aus und wird mit Recollection assoziiert.

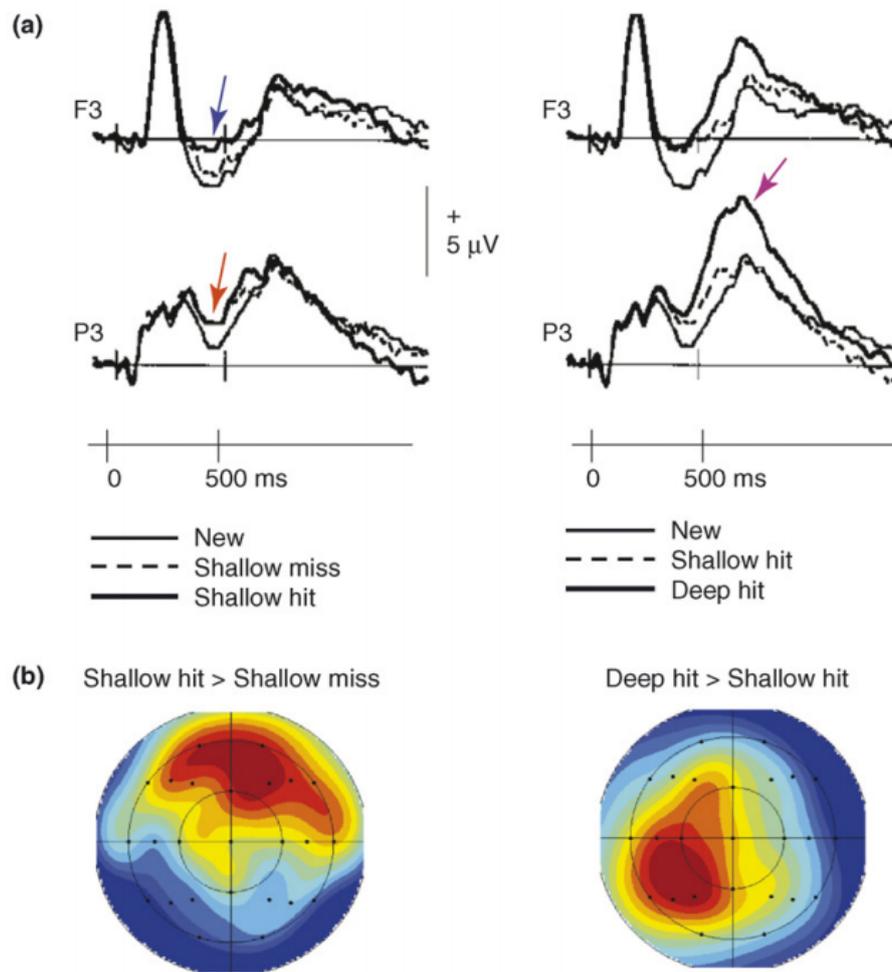


Abbildung 3: Old/New Effekt aus RUGG und CURRAN (2007). Die Pfeile zeigen folgende Old/New Effekte: Blau: mid-frontal, rot: posterior, lila: parietal.

In dieser Arbeit wurden nun die Bereiche Szenenerkennung und Ereigniskorrelierte Potentiale verknüpft. Dazu wurde ein Versuch durchgeführt, welcher an das Design der Präsentation schneller Szenenfolgen (Potter) angelehnt war, allerdings um die Komponente der Sequenzerkennung und der Untersuchung der ERPs nach dem Schema der Old/New Tasks erweitert. Hierzu wurde den Versuchspersonen eine Liste von verhaltensrelevanten Bildern und Distraktoren gezeigt. Nach der Lernphase mussten die Versuchspersonen dann nicht nur entscheiden, ob sie das abgefragt Bild zuvor gelernt hatten, sondern auch ob dieses an der gleichen Stelle der gelernten Liste vorkam. Aus diesem Versuchsaufbau ergaben sich mehrere Hypothesen. Zuerst stellte sich die Frage, ob der von Rugg beschriebene Old/New Effekt auch bei diesem Versuch auftritt. Zu beachten ist hierbei, dass als Stimulusmaterial Bilder von Räumen verwendet wurden, nicht Wörter wie bei

RUGG und CURRAN (2007) bzw. Gesicher bei CURRAN und CLEARY (2003). Auch stellte sich die Frage, ob ein ERP für die Sequenzerkennung auftritt, also ob sich das ERP der korrekten Zurückweisungen von nicht gelernten Bildern von der korrekten Zurückweisung von Bildern an falscher Stelle unterscheidet. Neben diesen beiden Fragestellungen wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich die Rate der korrekten Zurückweisung bei falscher Sequenz mit steigendem Abstand zwischen der Position des präsentierten und des (an falscher Position) abgefragten Bildes verbessert. Als weitere Hypothese wurde angenommen, dass sich die ERPs von Hit und False Alarms nicht unterscheiden, da die Versuchspersonen in beiden Fällen der Überzeugung sind das richtige Bild erkannt zu haben und aus ihrer Sicht diese beiden Bedingungen daher gleich sind. Die letzte Hypothese sagt aus, dass die Erkennungsleistung allgemein relativ hoch sein wird, da die Bilder sowohl in der Lern- als auch der Testphase verhältnismäßig lange gezeigt wurden.

2 Material und Methoden

Bei diesem Experiment wurde den Versuchspersonen Bilder von unterschiedlichen Räumen am PC gezeigt. Nach dieser Lernphase wurden weitere Bilder gezeigt, die zum Teil die Bilder der Lernphase und zum Teil neue Bilder enthielten, wobei die Versuchspersonen entscheiden mussten ob diese Bilder in der Lernphase präsentiert wurden oder nicht. Während dem gesamten Experiment wurden die EEG-Signale der Versuchspersonen aufgezeichnet.

2.1 Versuchspersonen

Am Versuch haben sechs Versuchspersonen teilgenommen, zwei davon weiblich und vier männlich, im Alter von 23 bis 54 Jahren ($M=29.3$, $SD=12.1$). Eine Versuchsperson war berufstätig, alle anderen Studenten unterschiedlicher Fachrichtungen. Die Teilnahme am Versuch war freiwillig und wurde mit 8€ pro Stunde vergütet. Allen Versuchspersonen war der Versuch unbekannt, sie wurden über die Möglichkeit des Versuchsabbruchs und der anonymen Verwendung ihrer Daten schriftlich aufgeklärt.

Damit genügend Daten gesammelt werden konnten wurde der Versuch von jeder Versuchsperson zweimal an unterschiedlichen Tagen durchgeführt. Die Versuchspersonen hatten keine Sehschwäche oder diese war korrigiert.

2.2 Versuchsablauf

2.2.1 Allgemeiner Ablauf des Versuchs

Das Experiment war blockweise aufgebaut. Zu Beginn eines Blocks wurde die Versuchsperson darüber informiert wie weit das Experiment fortgeschritten war, dies diente zum einen der Motivation der Versuchspersonen, zum anderen zum kurzzeitigen Ausruhen, um die Konzentration aufrecht zu erhalten. Sobald die Versuchsperson bereit war, startete sie mit einem Mausklick die Lernphase welche aus acht gleich aufgebauten Durchgängen bestand. Jeder Durchgang begann mit einem Schriftzug welcher für 800 ms darüber informierte um welchen Korridor es sich handelte („1. Korridor“), gefolgt von einer schematischen Darstellung zweier Türen (Abb. 6, im Folgenden *Korridor* genannt). Hier konnten die Versuchspersonen mit der entsprechenden Maustaste die linke oder die rechte Tür wählen. Dieses Auswählen hatte jedoch keinen Einfluss auf die folgende Präsentation der Räume, es diente nur dazu den Versuchspersonen eine zeitliche Kontrolle zu ermöglichen.

Nach einem Fixationskreuz welches für 350 ms in der Mitte des Bildschirms präsentiert wurde, wurde für 600 ms ein Bild präsentiert, welches den Raum hinter der ausgewählten Tür darstellte. Um zu verdeutlichen dass dies der gewählte Raum ist, wurde das Bild mit einem grünen Rahmen hinterlegt (siehe Abb. 7). Um möglichst wenig Augenbewegungen der Versuchsperson zu erreichen wurde in die Mitte des präsentierten Bildes ein grauer Kreis mit schwarzem Rand (Durchmesser: 14 Pixel) gezeichnet und die Versuchsperson vor dem Versuch angewiesen immer diesen Kreis zu fixieren.

Nach diesem - im Folgenden *verhaltensrelevantes Bild* genannt - wurde wieder für 350 ms ein Fixationskreuz gezeigt, gefolgt von dem Bild welches den nicht ausgewählten

2 Material und Methoden

Raum darstellt (*Distraktor*). Dieses Bild wurde wie das verhaltensrelevante Bild für 600 ms gezeigt, allerdings mit rotem statt grünem Rand (siehe Abb. 8). Auch auf dieses Bild wurde der graue Fixationskreis gezeichnet. Nach acht dieser Durchgänge war die Lernphase beendet.

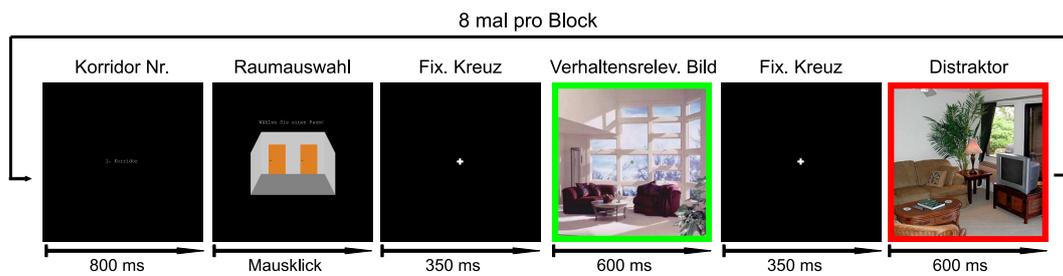


Abbildung 4: Schematischer Ablauf der Lernphase

Ein für 2,5 s präsentierter Schriftzug wies die Versuchsperson darauf hin, dass nun die Testphase begann. Auch diese Phase war blockweise aufgebaut. Begonnen hat jeder Block mit einem 800 ms dauernden Schriftzug um welchen Korridor es sich handelt. Darauf folgte ein Fixationskrenz mit einer zufälligen Dauer von 350 ms bis 450 ms. Dann wurde das sogenannte *Testbild* für 800 ms präsentiert. Dies war entweder ein Bild aus der Lernphase oder ein neues (mehr zur Verteilung der Bilder unter 2.2.3 - Auswahl und Verteilung der Bilder). Nach einem weiteren Fixationskrenz für 350 ms wurde die Versuchsperson gefragt, ob sie diesen Raum in diesem Korridor betreten hat oder nicht, also ob das verhaltensrelevante Bild präsentiert wurde. Durch den Hinweis auf den Korridor war auch die Reihenfolge der Räume relevant. Die Antwort wurde per Maustaste eingegeben (links = ja, rechts = nein).

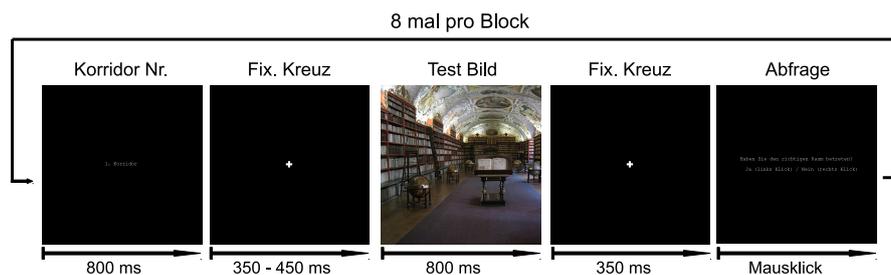


Abbildung 5: Schematischer Ablauf der Testphase

Am ersten Termin hat die Versuchsperson drei dieser Blöcke als Training durchlaufen. Nur bei diesen Trainingsblöcken erhielt sie nach jeder Entscheidung ein Feedback ob die Entscheidung richtig oder falsch war. Vor und nach dem Training wurde die Versuchsperson darauf hingewiesen immer das Fixationskrenz bzw. den grauen Fixationskreis auf

2 Material und Methoden

den Bildern zu fixieren und während der Präsentation der Bilder ruhig und entspannt zu sitzen und nicht zu blinzeln.

An jedem der beiden Termine wurden 50 Blöcke durchlaufen, so dass jede Versuchsperson insgesamt 800 Entscheidungen treffen musste (2 Termine * 50 Blöcke * 8 Durchgänge).

2.2.2 Stimulimaterial

Die verwendeten Bilder hatten eine ursprüngliche Größe von 256 * 256 Pixel. Da dies für die Präsentation zu klein war, wurden sie auf 700 * 700 hochskaliert. Der Rahmen um die Bilder hatte eine Breite von 30 Pixel. Die Bilder wurden in der Mitte des Bildschirms gezeigt, der Hintergrund war immer schwarz.



Abbildung 6: Die Raumauswahl vor jedem Durchgang in der Lernphase, der *Korridor*



Abbildung 7: Beispiel eines verhaltensrelevanten Bildes in der Lernphase (*grünes Bild*)



Abbildung 8: Beispiel eines Distraktors in der Lernphase (*rotes Bild*)

2.2.3 Auswahl und Verteilung der Bilder

Alle verwendeten Bilder stammten aus der *MIT Indoor Scene Recognition Database*¹. Insgesamt standen 96 Bilder zur Verfügung, welche in acht Kategorien aufgeteilt waren. Eine Kategorie bestand aus zwölf thematisch gleichen Bildern, also z.B. Schlafzimmer, Büro, Wohnzimmer usw. (Beispielbilder siehe Abb. 9)



Abbildung 9: Beispielbilder aus den Kategorien Büro und Schlafzimmer

Die Verteilung der Bilder in der Testphase wurde so gewählt, dass immer 50% der verhaltensrelevanten Bilder vorgekommen sind. Die anderen 50% setzten sich mit gleicher Wahrscheinlichkeit aus Distraktoren, neuen Bildern aus der selben Kategorie, neuen Bildern aus einer anderen Kategorie (jeweils auf den entsprechenden Korridor bezogen) und verhaltensrelevanten Bildern an einer falschen Position zusammen. Bei der Verteilung wurde darauf geachtet, dass keine dieser Fälle mehr als zwei mal pro Block vorkam. Die gesamte Verteilung der Bilder sowohl in der Lern- als auch der Testphase wurde vor dem eigentlichen Experiment erzeugt und war für alle Versuchspersonen die gleiche. Tab. 1 zeigt die Verteilung der Bilder für die ersten 4 Blöcke.

¹<http://web.mit.edu/torralba/www/indoor.html>

2 Material und Methoden

	Block 1								Block 2							
Trial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Gruppe	3	1	0	0	3	0	0	4	3	2	0	2	1	0	0	0

	Block 3								Block 4							
Trial	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Gruppe	0	1	2	4	0	0	0	2	0	4	0	0	3	0	1	3

Tabelle 1: Verteilung der Bilder in den ersten 4 Blöcken. Codierung der Gruppen: 0 = verhaltensrelevantes Bild, 1 = Distraktor, 2 = neues Bild aus gleicher Kategorie, 3 = neues Bild aus anderer Kategorie, 4 = verhaltensrelevantes Bild an falscher Position

2.3 Versuchsprogrammierung

Ein wichtiger und großer Teil dieser Arbeit war die Programmierung der Software des Versuchs, was komplett selbst übernommen wurde. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf der Anpassbarkeit des Codes. So kann der Versuch jederzeit mit neuem oder erweitertem Stimulusmaterial sowie mit veränderten Parametern durchgeführt werden. Dies betrifft sowohl die Anzahl der Stimuli pro Block als auch die Anzahl der Blöcke und grundsätzlich alle zeitlichen Parameter. Das Mitloggen der Daten passt sich an die geänderten Parameter automatisch an. Auch neue Gruppen von Stimuli (wie z.B. Bilder aus der gleichen Kategorie) können ohne größeren Aufwand eingebaut werden bzw. die Häufigkeit der Gruppen variiert werden. Des Weiteren ist der Code soweit modular aufgebaut, dass einzelne Teile wie z.B. die Zeichenroutine der Stimuli oder das Zeichnen des Korridors schnell und einfach geändert werden können.

2.4 Apparatur

Die Studie fand an der Universität Tübingen, Lehrstuhl für Kognitive Neurowissenschaft statt, in einem schallisolierten Raum, der auch eine sehr gute elektromagnetische Abschirmung bot. Der Versuch wurde an einem PC mit Intel Pentium D 2.8 GHz Prozessor, 2 GB Ram, NVIDIA GeForce 7300 LE, Windows 7 (32Bit), Matlab R2013a (32Bit) und Psychtoolbox 3.0.11 durchgeführt, der LCD-Monitor hatte eine Auflösung von 1280*1024 Pixel und eine Bildwiederholrate von 60 Hz. Die EEG-Daten wurden an einem PC mit Intel Pentium 4 3.0 GHz Prozessor, 2 GB Ram und Windows 7 (32Bit) aufgezeichnet. Zum Aufzeichnen der EEG- und Markerdaten wurde die Software *Recorder V-Amp Edition 1.20.0601* von Brain Vision verwendet, zum ersten Hoch- und Tiefpassfiltern und Exportieren *Analyzer V-Amp Edition 1.05.0005*.

Zum Ableiten der EEG-Signale kam eine actiCap mit 15 Kopf- und einer Augenelektrode zum Einsatz, wobei die Anordnung dem 10-20 System entsprach (Positionen der Elektroden siehe Abb. 10). Verstärkt wurden die Signale über einen V-Amp 16 von Brain Products. Aufgenommen wurden die EEG-Daten mit 500 Hz.

Beim Anlegen der Elektroden wurde die Impedanz der einzelnen Elektroden überprüft. Die maximale Impedanz lag bei $17\text{ k}\Omega$ ($M=4.13$, $SD=4.23$). Die Werte aller Elektroden finden sich in Tab. A.1 (A.1 - EEG Impedanzwerte).

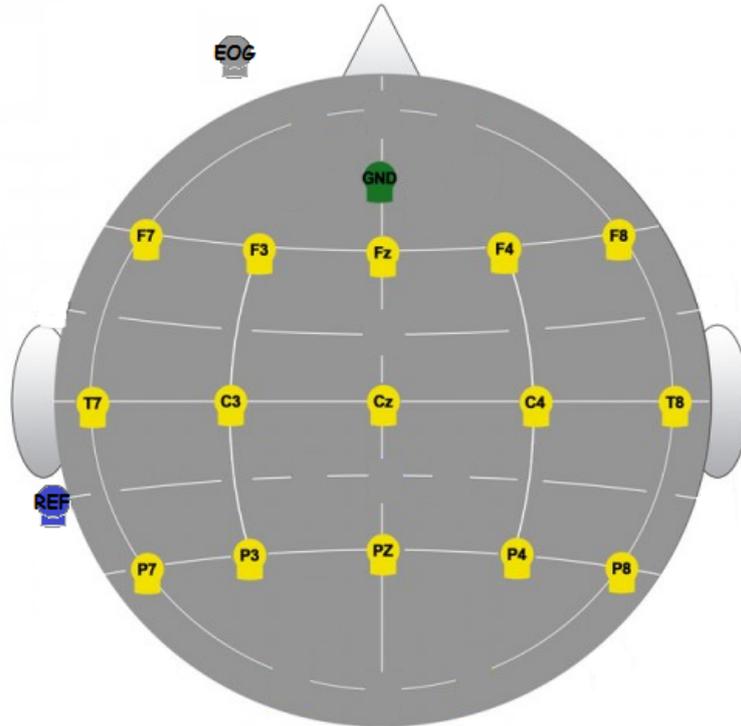


Abbildung 10: Anordnung der Elektroden, wobei EOG unter dem linken Auge am musculus orbicularis oculi angebracht war und die Referenzelektrode hinter dem linken Ohr auf dem processus mastoideus. (Quelle: http://www.gvb-gelimed.de/media/image/thumbnail/adultxs_schema2_720x600.jpg selbst bearbeitet)

Zur späteren Synchronisation von Versuch-Stimuli und EEG-Daten wurden über die LPT-Schnittstelle des Versuchs-PCs Triggersignale an den EEG-PC gesendet. Diese Trigger, im Folgenden Marker genannt, wurden jeweils direkt vor dem verhaltensrelevanten Bild (Marker S1), vor dem Distraktor (Marker S2), vor dem Testbild (Marker S4) und beim Entscheiden ob das Bild in der Lernphase enthalten war oder nicht (Marker S8) gesetzt.

2.5 Datenanalyse

2.5.1 Fehlende Daten

Für jede Versuchsperson sollten $2 * 400$ Durchgänge durchgeführt und aufgezeichnet werden. Allerdings kam es beim ersten Durchgang von VP1 zu einem zwischenzeitigen Ab-

bruch in der EEG-Aufzeichnung, so dass hier nur 344 Durchgänge aufgezeichnet wurden. Bei VP2 fehlen im ersten Durchgang die Marker von einem verhaltensrelevanten Bild und von zwei Distraktoren, was aber für die Auswertung nicht weiter problematisch ist, da hier nur die Marker der Testbilder zum tragen kommen.

Aufgrund von zu hohem Rauschen an beiden Terminen wurden die EEG-Daten von Versuchsperson 4 für die EEG-Auswertung komplett verworfen. Das Signal-Rausch-Verhältnis unterschied sich dabei nicht auffällig von den ERP's der anderen Versuchspersonen. Der Grund liegt vermutlich an einer externen Störquelle, über die eine Signalanalyse mittels Fouriertransformation Aufschluss geben könnte.

2.5.2 Aufbereitung der Daten

Am Anfang der Aufbereitung wurden alle Daten in *Analyzer V-Amp* mit einem Tief- und Hochpassfilter bei 100 bzw. 0.01 Hz gefiltert. Ein 50 Hz Filter wurde erwogen, um etwaige Störungen durch das Stromnetz zu eliminieren. Eine Frequenzanalyse ergab jedoch, dass ohne 50 Hz Filter nur ein minimal erhöhter Anteil von 50 Hz Frequenzen vorhanden ist und bei Einsatz des Filters unverhältnismäßig viel eliminiert würde (Abb. 11). Daher wurde der 50 Hz Filter nicht eingesetzt. Anschließend wurden die EEG-Daten wie auch die Marker in ein für Matlab lesbares Format exportiert und dort weiterverarbeitet.

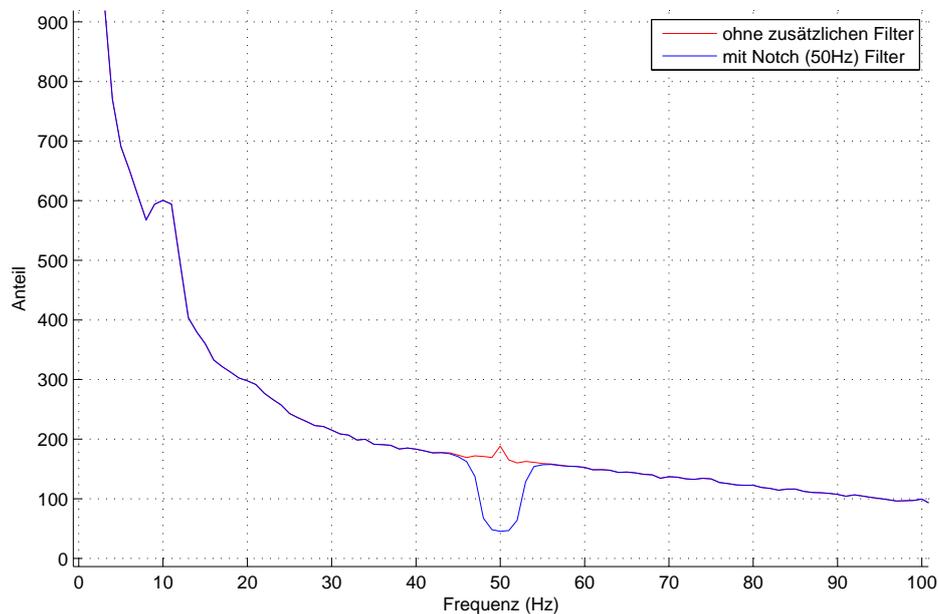


Abbildung 11: Frequenzanalyse mit und ohne 50 Hz Filter

2 Material und Methoden

Ein weiterer Teil der Arbeit war die Entwicklung eines Programms zur Auswertung der Psychophysikdaten und der EPRs, auch diese Programmierung wurde komplett selbst übernommen und steht für Folgeversuche zur Verfügung. Die Daten der kontinuierlichen EEG-Aufzeichnung wurden Anhand der Marker, welche den Zeitpunkt der Testbildpräsentation definieren, in Segmente eingeteilt. Diese Segmente begannen 200 ms vor dem Testbild und endeten 800 ms nach der Präsentation, dauerten also insgesamt 1000 ms. Nach diesen 800 ms endete auch die Präsentation des Testbildes und die Versuchsperson konnte ihre Entscheidung melden. Im Folgenden wird der Zeitpunkt 0 ms immer als der Zeitpunkt gesehen, ab dem das Testbild präsentiert wurde.

Da Blinzler und Augenbewegungen die EEG-Signale stark verfälschen (LUCK (2005) Seite 151ff) wurde versucht entsprechende Segmente für die weitere Auswertung nicht zu berücksichtigen. Dafür wurde ein Kriterium von $\pm 50\mu V$ definiert. Überschritten die Werte der Augenelektrode dieses Kriterium an einer oder mehreren Stellen, so wurde dieses Segment verworfen. Dies betraf 852 von 3944 Segmenten was 21.6% entsprach. Wie viele Segmente dann noch verwendet werden konnten ist in Tab. 2 ersichtlich, genauere Tabellen dazu im Anhang (A.2 - Durch Artifact Rejection verworfene Daten).

Um bessere Vergleiche zur Auswirkung der verschiedenen Fälle in der Testphase treffen zu können wurde jedes Signal um seine *Baseline* im Bereich vor der Präsentation des Testbildes bereinigt. Dazu wurde in jedem Segment und für das Signal jeder einzelnen Elektrode der arithmetische Mittelwert von -200 bis 0 ms gebildet und dann vom Signal abgezogen (vgl. LUCK (2005) Seite 236f).

Zur Untersuchung der Hypothesen dieser Studie wurden alle Segmente einer zu betrachtenden Bedingung einer Versuchsperson gemittelt, dadurch wurde nicht-phasisches Rauschen unterdrückt und das phasische Signal, also das ERP kam zum Vorschein. Das *Grand Average* errechnete sich aus der Mittlung der ERPs aller Versuchspersonen.

VP	grüne		alle		rote		gl. Kat		and. Kat		f pos	
	Hit	Miss	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr
1	158	102	60	192	10	54	8	48	6	48	36	42
2	272	35	26	268	3	74	1	65	1	64	21	65
3	280	83	95	263	10	79	2	78	3	84	80	22
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	283	27	42	270	3	76	2	68	4	68	33	58
6	208	111	40	277	10	78	6	67	0	69	24	63
Σ	1201	358	263	1270	36	361	19	326	14	333	194	250

Tabelle 2: Wie viele Daten nach der Artifact Rejection noch verwendet werden konnten

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden Treffer als Hit, Auslasser als Miss, korrekte Zurückweisung als Correct Rejection (Cr) und falsche Alarmer als False Alarms (Fa) bezeichnet. Wird von *fpos* gesprochen, so sind damit die verhaltensrelevanten Stimuli an falscher Position gemeint.

3.1 Psychophysik

3.1.1 Allgemeine Leistung

VP	grüne		alle		falsche		rote		gl. Kat		and. Kat		f pos	
	Hit	Miss	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr
1	253	147	94	306	42	246	20	86	14	78	8	82	52	60
2	358	42	32	368	6	282	4	102	1	91	1	89	26	86
3	312	88	101	299	16	272	10	96	3	89	3	87	85	27
4	356	44	27	373	14	274	4	102	9	83	1	89	13	99
5	366	34	55	345	12	276	4	102	4	88	4	86	43	69
6	263	137	49	351	19	269	10	96	6	86	3	87	30	82
M	318,0	82,0	59,7	340,3	18,2	269,8	8,7	97,3	6,2	85,8	3,3	86,7	41,5	70,5
SD	50,3	50,3	31,2	31,2	12,5	12,5	6,3	6,3	4,7	4,7	2,6	2,6	25,3	25,3

Tabelle 3: Rohdaten der Psychophysikergebnisse. Spalten *grüne* (verhaltensrelevante) und *alle* beinhalten das komplette Antwortverhalten der Versuchspersonen, die rechte Hälfte unterteilt die Spalte *alle* in feinere Abstufungen:

- falsche:* alle nicht verhaltensrelevanten Bilder (Summe der folgenden drei Spalten)
- rote:* Distraktor
- gl. Kat:* ein neues Bild aus der gleichen Kategorie
- and. Kat:* ein neues Bild aus einer anderen Kategorie
- f pos:* ein verhaltensrelevantes Bild an der falschen Stelle

Da die Bedingungen Hit und Miss sowie Correct Rejection und False Alarms voneinander abhängig sind, wurde hier ein gepaarter t-Test berechnet. Dieser Test ergab signifikante Unterschiede zwischen Hit und Miss ($p=.0022$) und zwischen False Alarm und Correct Rejection ($p=.00011$), siehe dazu auch Abb. 12. Bei dieser Auswertung wurden noch alle Fälle von False Alarm und Correct Rejection zusammen genommen. Danach erfolgte eine feinere Unterteilung dieser Fälle.

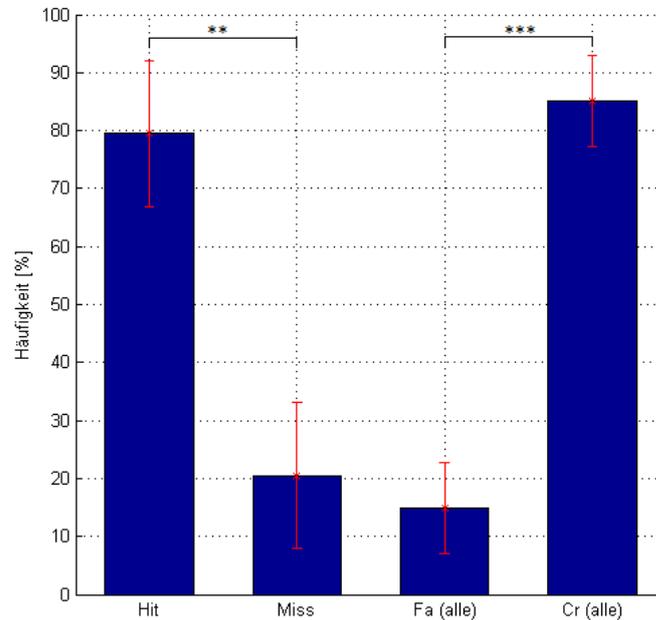


Abbildung 12: Ergebnis Psychophysik, wobei *alle* für alle nicht verhaltensrelevanten Stimuli steht. Feinere Aufschlüsselung siehe Abb. 13

Da Cr und Fa in jeder Unterbedingung (Distraktor, Bild aus gleicher Kategorie usw.) immer zusammen 100% ergeben, reicht es aus nur einen der beiden Fälle auf Signifikanz zu untersuchen. Für den Vergleich der Erkennungsleistung dieser Unterbedingungen wurde ANOVA mit Messwiederholungen angewandt. Diese ergab eine starke Signifikanz der Bedingung ($F(3)=11.704$, $p=.000$) und folgende paarweise (post-hoc, Least Square Deviation - LSD) Signifikanzen:

	Distraktor	gleiche Kategorie	andere Kategorie	falsche Position
Distraktor			$p=.032$	$p=.018$
gleiche Kategorie				$p=.025$
andere Kategorie	$p=.032$			$p=.013$
falsche Position	$p=.018$	$p=.025$	$p=.013$	

Tabelle 4: Paarweise Signifikanzen bei False Alarms, nur angegeben wenn signifikant.

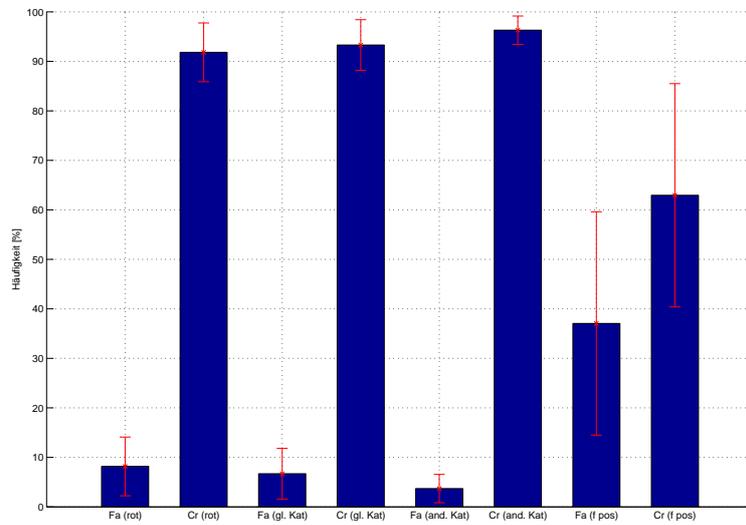


Abbildung 13: Ergebnis Psychophysik, nur die Daten der nicht verhaltensrelevanten Stimuli, aufgeschlüsselt nach Art des Bildes

3.1.2 Verhaltensrelevante Bilder an falscher Position

Mit besonderem Interesse wurden die verhaltensrelevanten Bilder an falscher Position betrachtet. Hier stellte sich vor allem die Frage ob der Abstand zwischen Bildposition in der Lernphase und (falscher) Bildposition in der Testphase sich auf die Erkennungsrate auswirkt.

In Abb. 14 sieht man, dass mit ansteigendem sequentiellm Abstand die Erkennungsleistung zunimmt. Eine ANOVA mit Messwiederholung bestätigte einen signifikanten Zusammenhang zwischen Erkennungsleistung und sequentiellm Abstand ($F(6)=7.792$, $p=.000$).

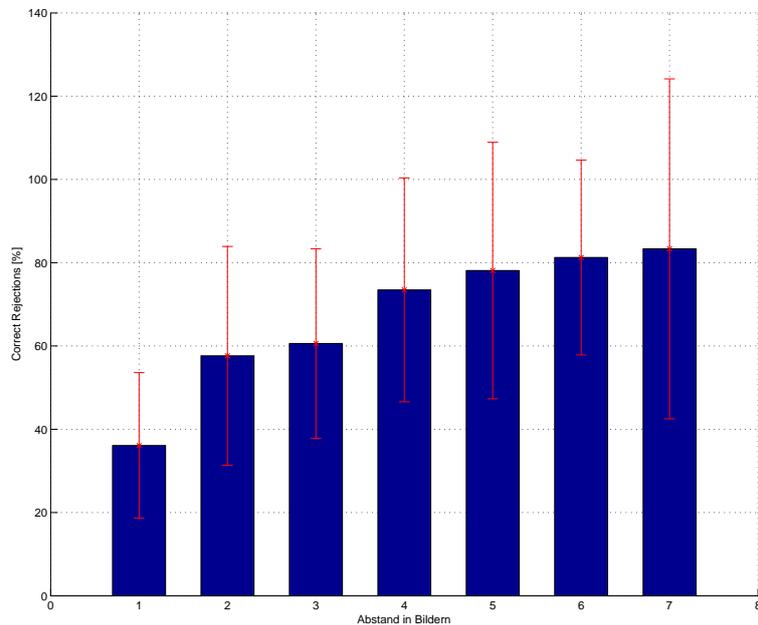


Abbildung 14: Erkennungsleistung bei verhaltensrelevanten Bildern an falscher Position, abhängig vom Abstand der Bildposition zwischen Lern- und Testphase

3.2 Event-related Potentials

Zur genaueren Untersuchung der ERPs und um statistische Aussagen über die Ähnlichkeit bzw. Unterschiede zwischen ERPs treffen zu können wurden zeitliche Intervalle festgelegt. Diese Einteilung lehnte sich zum Teil an RUGG und NAGY (1989) an, wurde aber an die hier vorliegenden Daten angepasst. Alle Angaben in diesem Abschnitt beziehen sich auf Abb. 15. Das erste Intervall beginnt bei 250 ms, da hier bei Fz und Cz die Negativierung beginnt und geht bis 400 ms, bis zum Peak bei Pz. Das zweite Intervall endet mit der Negativierung bei Pz bei 500 ms, das dritte bei 650 ms, da sich hier Hit und Fa(fpos) kreuzen. Das vierte und letzte Intervall endet dann bei 800 ms, dem Ende der Teststimuluspräsentation. Für die ANOVAs mit Messwiederholungen wurden die Mittelwerte der Spannungswerte innerhalb eines Zeitintervalls pro Versuchsperson herangezogen.

3 Ergebnisse

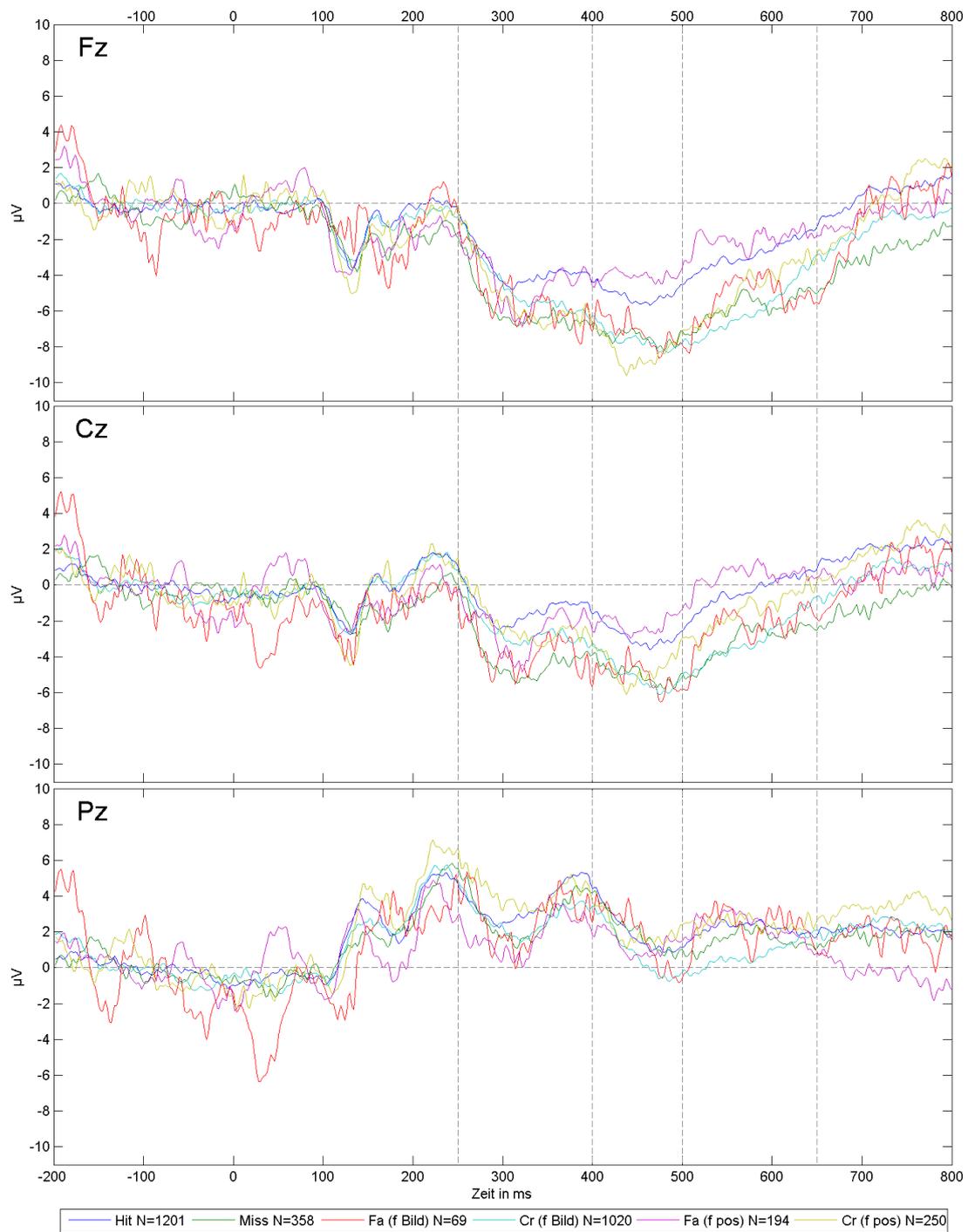


Abbildung 15: Grand-Average der inneren drei Elektroden

3 Ergebnisse

Um einen ersten Überblick über die Zusammenhänge der Daten zu erhalten wurden die Effekte von Elektrode und Bedingung sowie deren Interaktion untersucht. Bei den Bedingungen wurden nur die interessantesten Kombinationen (siehe Tab. 5) untersucht. Dazu wurden zweifaktorielle ANOVAs mit Messwiederholung gerechnet. Dabei wurden die Daten der inneren neun Elektroden in die oben genannten Intervalle eingeteilt und je zwei Bedingungen (z.B. Hit gegen Miss) getestet.

Der Faktor Elektrode zeigte in den Zeitintervallen bis 650 ms einen signifikanten Unterschied für alle getesteten Kombination von Bedingungen. Des Weiteren konnte gezeigt werden das sich in den Zeitintervallen bis 650 ms die Bedingungen Hit und Miss signifikant unterscheiden sowie in den gleichen Zeitintervallen Hits von Correct Rejections bei denen eine verhaltensrelevante Szene an der falschen Position gezeigt wurde. Interaktion zwischen Elektroden und Bedingungen wurde vor allem im Bereich zwischen 400-500 ms festgestellt sowie für die Bedingung Hit und Cr(andere) in den Zeitintervallen von 400-800 ms (Siehe Tab. 5 - 7).

Effektgröße: Elektrode

	250-400 ms	400-500 ms	500-650 ms	650-800 ms
Hit - Miss	$F(8)=6.539,$ $p=.000$	$F(8)=5.815,$ $p=.000$	$F(8)=3.905,$ $p=.003$	
Hit - Cr(fpos)	$F(8)=7.279,$ $p=.000$	$F(8)=6.162,$ $p=.000$	$F(8)=4.107,$ $p=.002$	
Hit - Cr(andere)	$F(8)=7.076,$ $p=.000$	$F(8)=6.240,$ $p=.000$	$F(8)=4.138,$ $p=.002$	
Hit - Fa(fpos)	$F(8)=6.783,$ $p=.000$	$F(8)=5.361,$ $p=.000$	$F(8)=3.488,$ $p=.005$	
Hit - Fa(andere)	$F(8)=4.142,$ $p=.002$	$F(8)=3.907,$ $p=.003$	$F(8)=2.932,$ $p=.014$	
Fa(fpos) - Cr(fpos)	$F(8)=6.840,$ $p=.000$	$F(8)=5.691,$ $p=.000$	$F(8)=3.712,$ $p=.004$	

Tabelle 5: ANOVA über ERP Daten, Effektgröße: Elektrode, nur angegeben wenn signifikant

3 Ergebnisse

Effektgröße: Bedingung

	250-400 ms	400-500 ms	500-650 ms	650-800 ms
Hit - Miss	$F(1)=9.501,$ $p=.037$	$F(1)=11.992,$ $p=.026$	$F(1)=11.860,$ $p=.026$	
Hit - Cr(fpos)				
Hit - Cr(andere)	$F(1)=12.556,$ $p=.024$	$F(1)=19.807,$ $p=.011$	$F(1)=16.782,$ $p=.015$	
Hit - Fa(fpos)				
Hit - Fa(andere)				
Fa(fpos) - Cr(fpos)				

Tabelle 6: ANOVA über ERP Daten, Effektgröße: Bedingung, nur angegeben wenn signifikant

Interaktion zwischen Elektrode und Bedingung

	250-400 ms	400-500 ms	500-650 ms	650-800 ms
Hit - Miss				$F(8)=3.381,$ $p=.006$
Hit - Cr(fpos)		$F(8)=3.000,$ $p=.013$		
Hit - Cr(andere)		$F(8)=3.174,$ $p=.009$	$F(8)=3.357,$ $p=.007$	$F(8)=6.902,$ $p=.000$
Hit - Fa(fpos)		$F(8)=2.700,$ $p=.022$		
Hit - Fa(andere)				
Fa(fpos) - Cr(fpos)		$F(8)=4.317,$ $p=.001$		

Tabelle 7: ANOVA über ERP Daten, Interaktion zwischen Elektrode und Bedingung, nur angegeben wenn signifikant

3.2.1 Scalp Maps

Zur besseren Anschaulichkeit wurden über die selben Daten (allerdings mit allen 15 Elektroden) Scalp Maps wie z.B. bei RUGG, MARK und WALLA (1998) erstellt. Diese wurden mit dem Matlab Tool *eeglab 13.1* erstellt. Dargestellt sind die Differenzen der Spannungen in den jeweiligen Bedingungen, gemittelt über die angegebenen Intervalle.

3 Ergebnisse

Die Angaben der Skala sind in μV .

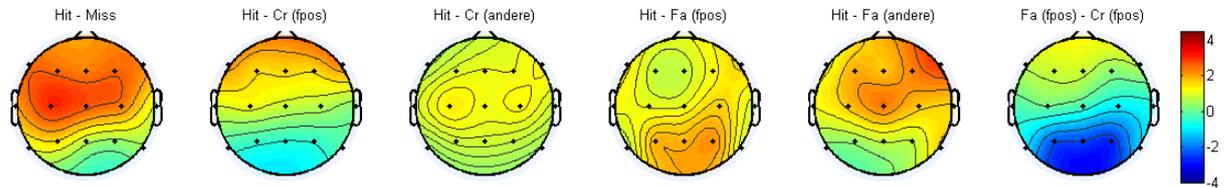


Abbildung 16: Scalp Maps im Intervall von 250 - 400 ms

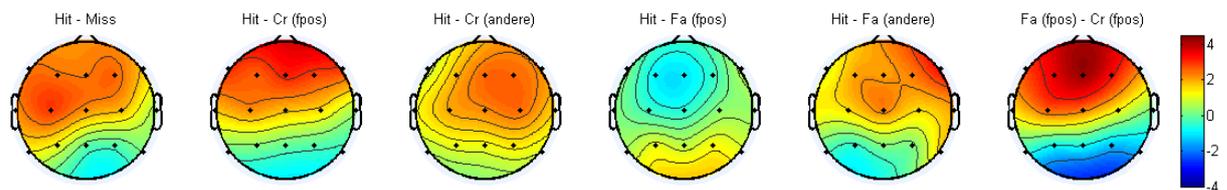


Abbildung 17: Scalp Maps im Intervall von 400 - 500 ms

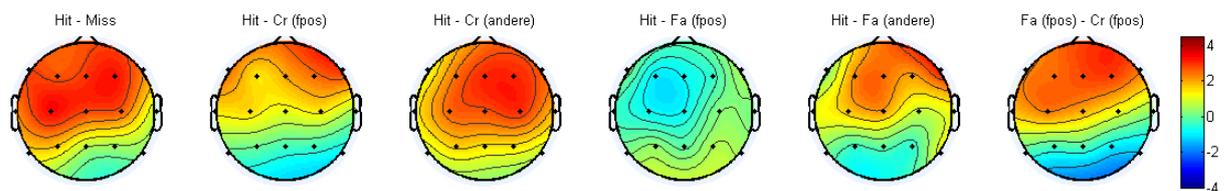


Abbildung 18: Scalp Maps im Intervall von 500 - 650 ms

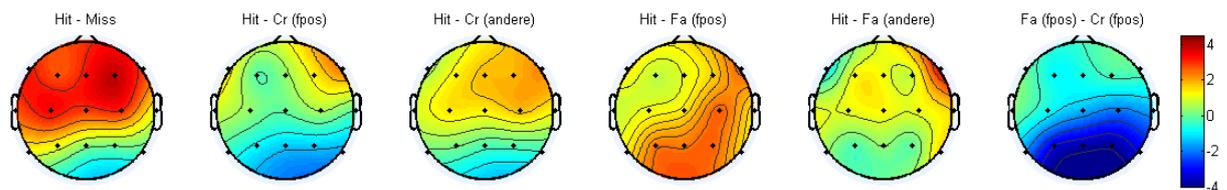


Abbildung 19: Scalp Maps im Intervall von 650 - 800 ms

Da bei Hit-Miss, Hit-Cr(fpos) und Fa(fpos)-Cr(fpos) scheinbar ein Effekt von vorne nach hinten, aber nicht von links nach rechts vorliegt, wurde dies weiter untersucht. Dazu wurden nur die inneren neun Elektroden betrachtet. Außerdem wurden immer drei gemittelt um diesen Richtungseffekt zu untersuchen. Um den Effekt von vorne nach

3 Ergebnisse

hinten zu ermitteln wurden die je die vorderen, mittleren und hinteren drei Elektroden gemittelt, für den Effekt von links nach rechts die linken, mittleren und rechten drei. Über diese Daten wurden dann wieder ANOVAs gerechnet.

Effektgröße: Elektrode

	250-400 ms	400-500 ms	500-800 ms
Hit - Miss (V/H)	$F(2)=6.713, p=.019$	$F(2)=6.156, p=.024$	
Hit - Miss (L/R)			
Hit - Cr(fpos) (V/H)	$F(2)=7.397, p=.015$	$F(2)=6.402, p=.022$	
Hit - Cr(fpos) (L/R)	$F(2)=5.090, p=.037$		
Fa(fpos) - Cr(fpos) (V/H)	$F(2)=7.006, p=.017$	$F(2)=5.958, p=.026$	
Fa(fpos) - Cr(fpos) (L/R)			

Tabelle 8: ANOVA Ergebnisse für innere 9 Elektroden, je drei gemittelt. (V/H) = Vorne/Hinten, (L/R) = Links/Rechts, nur angegeben wenn signifikant. Im Bereich 500-650 ms und 650-800 traten gar keine Signifikanzen auf, daher zusammengefasst.

Wie durch die Scalp-Maps schon vermutet zeigte sich ein Effekt zwischen vorne und hinten, allerdings nur in den ersten beiden Zeitintervallen. Ein Effekt zwischen links und rechts zeigte sich nur bei Hit-Cr(fpos) bei 250-400 ms.

3.3 Old/New Effekt

In Anlehnung an RUGG und CURRAN (2007) wurde versucht sowohl den mid-frontal als auch den parietal old/new Effekt zu finden. Dazu wurden über die F3 und P3 Elektroden einfaktorielle ANOVA gerechnet, mit den Bedingungen Hit, Cr(andere) und Cr(fpos).

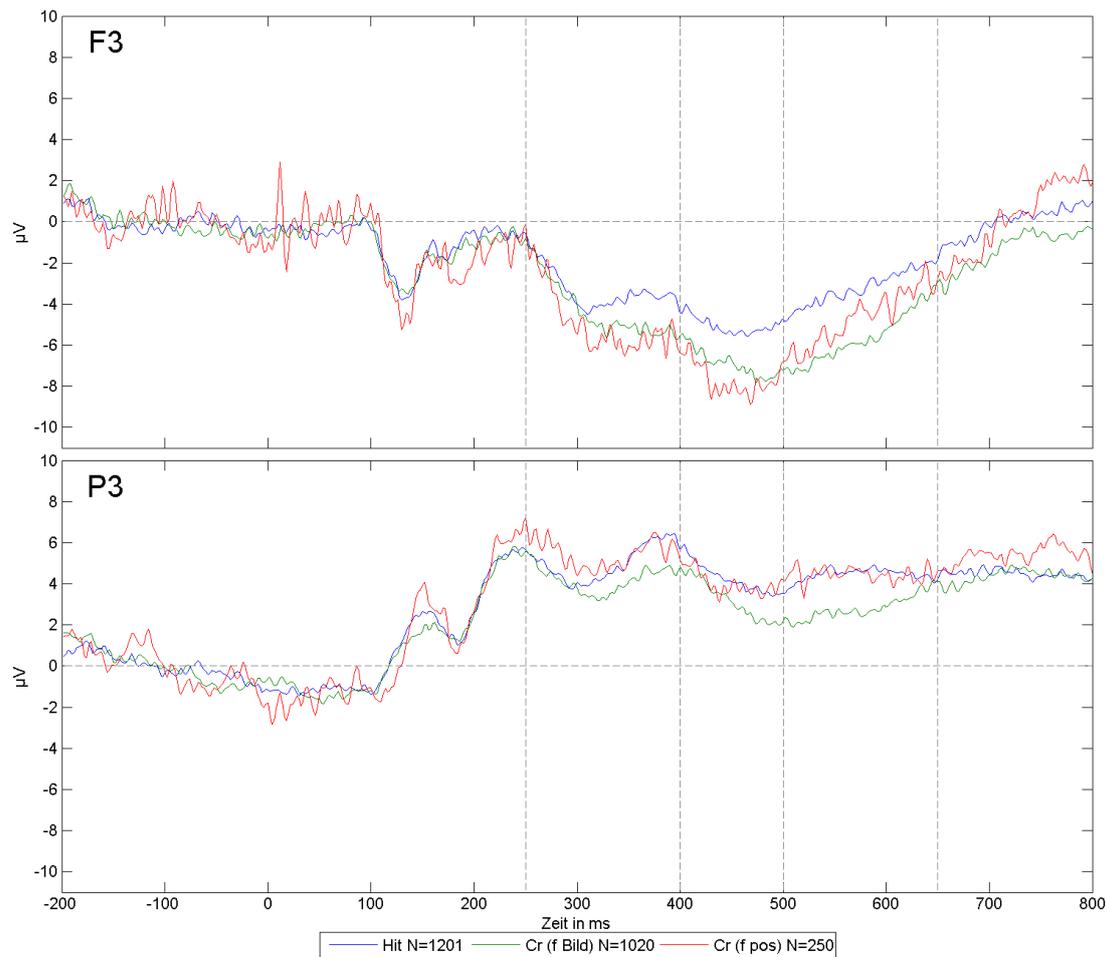


Abbildung 20: ERPs bei Hit und Cr (falsche Position/falsches Bild), F3 und P3 Elektrode

Ergebnis der ANOVAs: Ein allgemeiner Effekt der Bedingung konnte bei F3 nur im Zeitraum von 500-650 ms gefunden werden ($F(2)=7.475$, $p=.015$), bei den paarweise Vergleichen (post-hoc, Least Square Deviation - LSD) der Bedingungen unterschieden sich allerdings Hit und Cr(andere) im Bereich von 400-500 ms ($p=.047$) und von 500-650 ms ($p=.043$) signifikant. Dies ist vergleichbar mit dem mid-frontal old/new Effekt von RUGG und CURRAN (2007), siehe Abb 3. Außerdem unterschieden sich Cr(andere) und Cr(fpos) im Bereich von 650-800 ms ($p=.029$).

3 Ergebnisse

Bei P3 gab es wie bei F3 einen allgemeinen Effekt der Bedingung von 500-650 ms ($F(2)=4.514$, $p=.049$). Dies entspricht zusammen mit einem signifikanten Unterschied beim paarweisen Vergleich von Hit und Cr(andere) in den Bereichen 250-400, 400-500 und 500-650 ms ($p=.033$, $p=.019$, $p=.022$) den Unterschieden die beim parietal old/new Effekt festgestellt wurden.

3.3.1 Hit und False Alarms

Da bei den Bedingungen Hit und False Alarms die Versuchsperson der Überzeugung ist den Stimulus detektiert zu haben, besteht hier die Annahme, dass auch die ERP Signale gleich oder zumindest ähnlich sind. Die ANOVA im vorherigen Abschnitt bestätigt dies auf den ersten Blick, da die Bedingung sowohl bei Hit - Fa(fpos) als auch bei Hit - Fa(andere) keine Signifikanz liefert. Trotzdem soll dieser Bereich nun genauer untersucht werden. Auffällig ist hier die entgegengesetzte Amplitude von Fa(fpos) und Fa(andere) im Bereich 0 - 100 ms (siehe Abb.21). Dieser Effekt trat bei fast allen Elektroden auf, vor allem aber bei den hinteren. (Plot aller Elektroden siehe A.4).

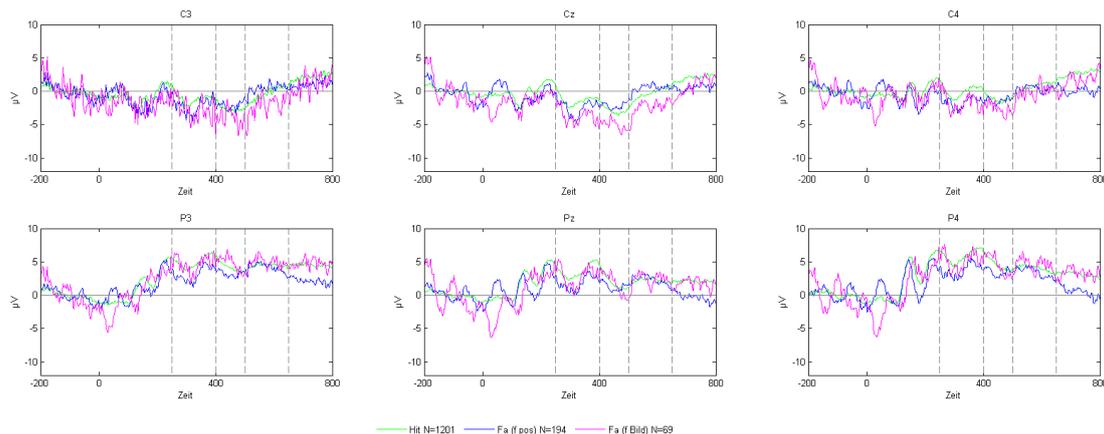


Abbildung 21: ERPs bei Hit und Fa (fpos/andere)

Um diesen Effekt genauer zu untersuchen wurde wieder eine Reihe von ANOVAs über die einzelnen Zeitintervalle gerechnet, wobei hier noch die Intervalle 0-100 ms und 100-250 ms dazu kamen. Untersucht wurden nur die Elektroden Cz, C4, Pz, P4. Diese ANOVAs lieferten keine Signifikanz für die Bedingung, auch nicht im Bereich 0-100 ms, lediglich für die Elektroden im Bereich 250-400 ms ($F(3)=6.140$, $p=.009$) und 400-500 ms ($F(3)=5.319$, $p=.015$).

3.3.2 Correct Rejections und False Alarms

Eine weitere Frage bezog sich auf die Correct Rejections und False Alarms. Hier wurde getestet ob sich die ERPs der einzelnen Unterbedingungen (Distraktor, Bild aus gleicher Kategorie, Bild aus anderer Kategorie, verhaltensrelevantes Bild an falscher Position) signifikant unterscheiden. Da aufgrund der guten Erkennungsleistung der Versuchspersonen bei den False Alarms nur sehr wenige Daten vorlagen (Distraktor N=36, gl. Kat. N=19, andere Kat N=14, fpos N=194) wurde die folgende Analyse nur für die Correct Rejections durchgeführt.

Die ERP-Daten der inneren neun Elektroden wurden wieder in folgenden Intervalle eingeteilt: 250-400 ms, 400-500 ms, 500-650 ms, 650-800 ms. Innerhalb dieser Intervalle wurde für jede der Cr-Bedingungen der Mittelwert pro Versuchsperson berechnet und mit diesen Daten dann eine ANOVA gerechnet, welche diese Effekte ergab:

	250-400 ms	400-500 ms	500-650 ms	650-800 ms
Elektrode	$F(8)=6.975,$ $p=.000$	$F(8)=6.514,$ $p=.000$	$F(8)=4.318,$ $p=.001$	$F(8)=2.513,$ $p=.030$
Bedingung				$F(3)=5.048,$ $p=.017$
El. * Bed.	$F(24)=2.835,$ $p=.000$	$F(24)=3.021,$ $p=.000$		$F(24)=2.014,$ $p=.009$

Tabelle 9: Signifikanzen bei Correct Rejections, nur angegeben wenn signifikant

Abb. 22 zeigt die ERP-Signale der hier betrachteten Bedingungen. Bei den paarweisen Vergleichen (post-hoc, Least Square Deviation - LSD) der Bedingungen ergaben sich signifikante Unterschiede von gleicher Kategorie zu anderer Kategorie in den Intervallen 500-650 ms ($p=.015$) und 650-800 ms ($p=.007$), sowie von anderer Kategorie zu falscher Position, ebenfalls bei 500-650 ms ($p=.017$) und 650-800ms ($p=.048$).

3 Ergebnisse

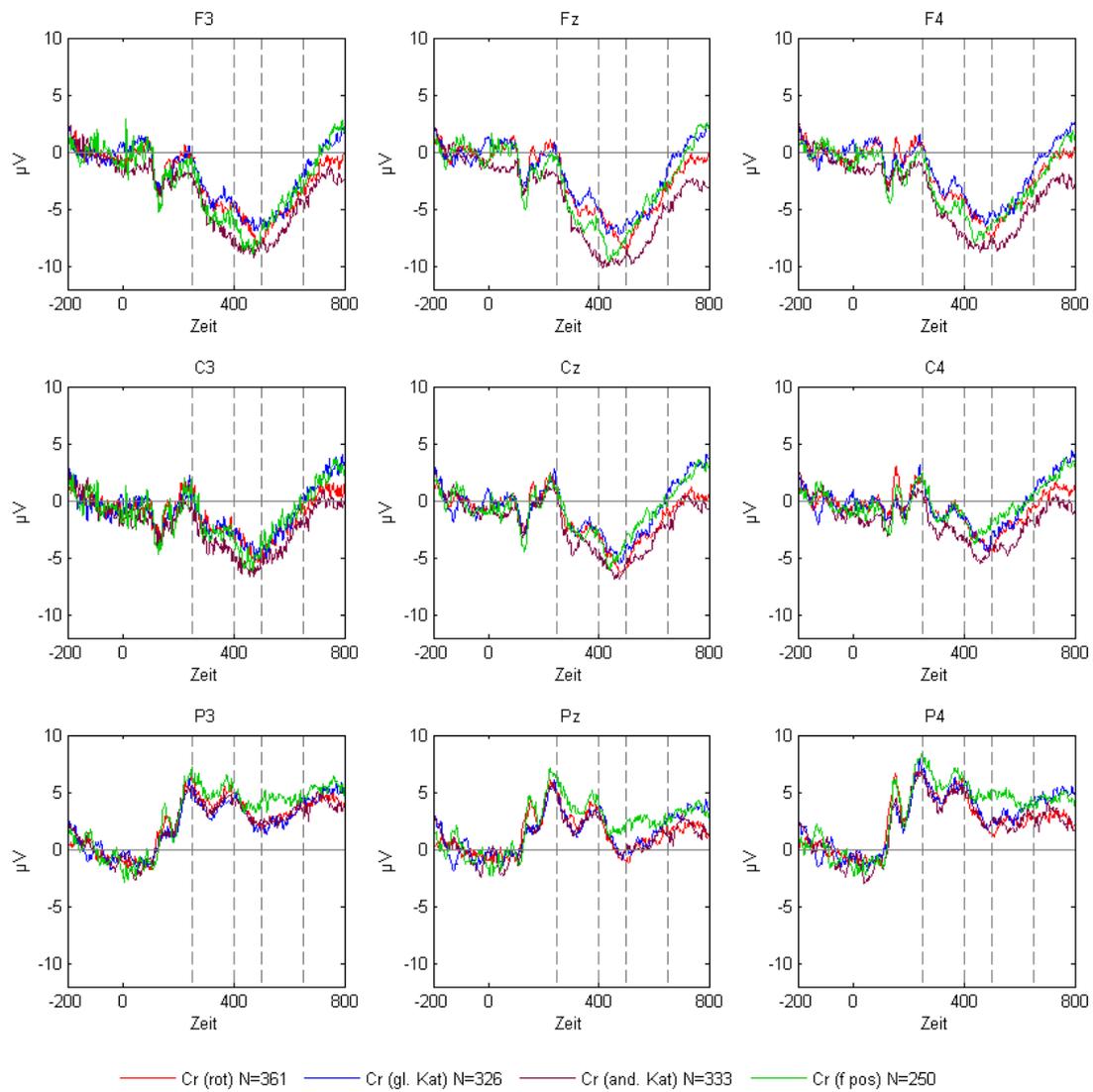


Abbildung 22: ERPs bei allen Correct Rejection Fällen, innere neun Elektroden, über alle Versuchspersonen gemittelt

4 Diskussion

Die Hypothesen zur Psychophysik können als bestätigt angesehen werden. Die allgemeine Erkennungsleistung liegt mit ca. 80% Hits und grob 85% Cr im erwarteten Rahmen und lässt sich mit den erreichten Werten von RUGG, MARK und WALLA (1998) vergleichen. Besonders zu beachten ist die sehr niedrige Rate von False Alarms bei Distraktoren und neuen Bildern. Der niedrigste Wert wurde bei neuen Bildern aus einer anderen Kategorie erzielt ($M = 3.3$, $SD = 2.6$). Dies ist dadurch zu erklären, dass es relativ unwahrscheinlich ist, dass der Versuchsperson ein noch nicht gesehenes Bild als bekannt vorkommt. Da es auch noch aus einer anderen Kategorie kommt, ist eine Verwechslung mit einem ähnlichen Bild mehr oder weniger ausgeschlossen. Klar ist aber auch, dass bei einer so geringen Anzahl von Daten eine Auswertung der EEG-Daten für diesen Fall keinen Sinn mehr macht.

Sowohl Abb. 14 als auch die statistische Auswertung zum Einfluss des Abstandes zwischen gelerntem und abgefragtem Bild an falscher Position auf die Erkennungsleistung sprechen ganz klar für einen deutlichen Effekt des Abstandes. Vermutlich wird also keine Sequenz gelernt, sondern nur der zeitliche Abstand kodiert. Dies deckt sich auch mit mündlichen Berichten der Versuchspersonen nach dem Versuch, dass ihnen die komplette Sequenz nicht vor Augen war und sie nur grob einschätzen konnten, ob das Bild am Anfang, in der Mitte oder am Ende der Lernphase präsentiert wurde. Dies deutet darauf hin, dass nahe beieinander liegende Szenen zeitlich zusammengefasst werden.

Im Gegensatz zur Psychophysik lassen sich die ERP betreffenden Hypothesen weniger klar bestätigen oder verwerfen.

Der Old/New Effekt konnte nur teilweise nachgewiesen werden. Relativ klar nachweisen lässt sich die im Gegensatz zu den Cr positiver verlaufende Kurve der Hits, wie es eben auch bei RUGG und CURRAN (2007) der Fall war. Im frontalen Bereich konnte dieser Effekt im zeitlichen Bereich von 400 - 650 ms statistisch nachgewiesen werden, was zeitlich relativ genau mit Rugg zusammenpasst. Im parietalen Bereich konnte ein signifikanter Unterschied sogar von 250 - 650 ms gezeigt werden, was auch in Übereinstimmung mit Rugg steht, da dort der Unterschied beim parietalen Effekt länger ist als beim frontalen. Allerdings zeigen sich auch deutliche Unterschiede. So verläuft die Hit Kurve bei Rugg bei 500 ms nahe dem Nullniveau, in dieser Arbeit deutlich im negativen Bereich. Auch die Positivierung im parietalen Bereich bei ca. 600 ms konnte hier nicht festgestellt werden, eher eine Negativierung bei 400 ms. Der größte Unterschied ist das Fehlen des starken, spitzen Peaks im frontalen Bereich bei 250 ms. Dies könnte sich möglicherweise durch den Unterschied des Stimulusmaterials erklären, bei Rugg waren dies Wörter, in dieser Arbeit Bilder. Da der Recollectionprozess auf die starke parietale Positivierung bei 600 ms zurückgeführt wurde, scheint dieser Prozess bei der hier erforderlichen Szenenerkennung nicht zum tragen zu kommen. Da aber sowohl Anzahl, zeitlicher Abstand zwischen Lern- und Testphase, als auch Art der Stimuli sich zwischen dem Versuch dieser Arbeit und Rugg stark unterscheiden, sollten alle Vergleiche mit Vorsicht betrachtet werden. Hier lässt sich nur sagen, dass es im Gegensatz zu RUGG und CURRAN (2007) nicht möglich

war die Ergebnisse einem dieser beiden Prozess zu zuweisen.

Ein klares ERP für die Sequenzerkennung konnte nicht gefunden werden. Hierfür hätte es signifikante Unterschiede zwischen dem ERP von verhaltensrelevanten Bildern an falscher Position und Distraktoren bzw. neuen Bilder geben müssen. Es gibt zwar Anzeichen für einen solchen Effekt, so unterscheiden sich die Kurven von korrekt zurückgewiesenen neuen Bildern aus einer anderen Kategorie von korrekt zurückgewiesenen an falscher Position im Bereich von 500 - 800 ms signifikant, zu den anderen beiden Bedingungen konnte ein solcher Unterschied nicht gefunden werden. Auch gab es im gleichen zeitlichen Bereich einen Unterschied zwischen neuen Bildern aus gleicher Kategorie zu neuen Bildern aus einer anderen Kategorie, was den zuvor erwähnten Unterschied im Bezug auf ein ERP der Sequenzerkennung eher abschwächt. Auch hier muss beachtet werden, dass die Datengrundlage schmal ist, sie betrug z.B. für Cr(fpos) nur 250 Datensätze. Daher sind auch hier alle Aussagen mit Vorsicht zu genießen.

Die Vermutung, dass die ERPs von Hit und False Alarms nicht zu unterscheiden sind, da aus Sicht der Versuchsperson in beiden Fällen das verhaltensrelevante Bild erkannt wurde, scheint sich zu bestätigen. Die Plots der Grand Averages von Hit, Fa(fpos) und Fa(andere) lassen zwar augenscheinlich Unterschiede vermuten, dies konnte aber durch die statistische Auswertung nicht belegt werden. Interessant war hier der Zeitbereich von 0 bis 100 ms, da die Kurven des Grand Average von Fa(fpos) und Fa(andere) entgegengesetzt verlaufen (Abb. 21). Da dieser Effekt durch die Statistik nicht belegt werden konnte, wurden die Daten der einzelnen Versuchspersonen betrachtet. Hier fiel auf, dass der Effekt bei den einzelnen Versuchspersonen nicht auftritt, sich also nur aus der Mittelung über alle Versuchspersonen ergibt. Allerdings muss hier wieder beachtet werden, dass nur sehr wenig Daten vorlagen (Fa(andere) N=69) und somit alle Aussagen mit großer Vorsicht zu genießen sind. Da die Tendenz der Auswertung aber in die vermutete Richtung geht, würde die Hypothese vermutlich durch deutlich mehr Versuchspersonen bestätigt werden.

Allgemein lässt sich sagen dass die Hypothesen der Psychophysik bestätigt wurden, für die Hypothesen der ERPs gab es teilweise Hinweise bzw. Teilbestätigungen. Für eine klare Aussage zu den ERPs waren aber zu wenig Daten vorhanden, hier können Folgeversuche für mehr Klarheit sorgen.

4.1 Ausblick

Die größte Schwäche dieser Arbeit ist sicherlich die geringe Anzahl an Versuchspersonen und die daraus resultierende geringe Anzahl einiger Datensätze bzw. das hohe Rauschen in den EEG-Daten und die damit verbundene schwache Aussagekraft der Ergebnisse. Dies alles würde sich durch wiederholen des Versuchs mit mehr Versuchspersonen erübrigen.

Eine weitere Verbesserung des Versuchs wäre das Hinzufügen einer weiteren Abfrage hinter der eigentlichen Abfrage. Wenn die Versuchspersonen nach der eigentlichen Abfrage gefragt werden, würden wie sicher sie sich mit ihrer Entscheidung waren, so würden

4 Diskussion

sich die Daten aufteilen lassen. Möglicherweise würde dann bei den als *sicher* angegebenen Daten eine noch stärkere Übereinstimmung der ERPs von Hit und False Alarms auftreten.

Interessant wäre es auch den selben Versuch mit anderem Bildmaterial durchzuführen. Somit könnte festgestellt werden ob es einen bestimmten Effekt für Bilder von räumlichen Szenen gibt oder nicht.

Literatur

- Curran, Tim und Cleary, Anne M.:** Using ERPs to dissociate recollection from familiarity in picture recognition. *Cognitive Brain Research* 15, 191-205 2003
- Friedman, David:** Cognitive Event-Related Potential Components During Continuous Recognition Memory for Pictures. *Psychophysiology* Vol. 27, No. 2 1990
- Lin, Jeffrey Y.:** Enhanced Memory for Scenes Presented at Behaviourally Relevant Points in Time. *PLoS Biol* 8(3) 2010
- Linden, David E.:** The P300: Where in the Brain Is It Produced and What Does It Tell Us? *The Neuroscientist*, 2005 11:563 2005
- Luck, Steven J.:** An Introduction to the Event-Related Potential Technique. Cambridge, Massachusetts 02142: The MIT Press, 2005, ISBN 978-0-262-62196-0
- Potter, Mary C.:** Very short-term conceptual memory. *Memory & Cognition*, 21(2), 156-161 1993
- Potter, Mary C. und Levy, Ellen I.:** Recognition Memory for a Rapid Sequence of Pictures. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 81, No. 1, 10-15 1969
- Rugg, Michael D. und Curran, Tim:** Event-related potentials and recognition memory. *Trends in Cognitive Sciences* Vol.11 No. 6 2007
- Rugg, Michael D., Mark, Ruth E. und Walla, Peter:** Dissociation of the neural correlates of implicit and explicit memory. *Nature* Vol 392 1998
- Rugg, Michael D. und Nagy, Margaret E.:** Event-related potentials and recognition memory for words. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 72: 395-406 1989
- Warren, L. R.:** Evoked-potential correlates of recognition memory. *Biol. Psychol.* 11, 21-35 1980

Anhang

A.1 EEG Impedanzwerte

Elektrode	Versuchsperson											
	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b
F7	4	1	12	0	15	2	0	1	9	3	1	1
F3	4	1	0	3	16	4	3	1	0	1	3	1
Fz	2	4	1	4	0	1	3	0	0	1	0	0
F4	14	5	6	3	13	1	11	0	8	2	4	2
F8	2	2	13	0	5	0	9	3	3	0	4	1
T7	14	4	9	1	10	2	13	1	0	3	4	0
C3	11	4	11	7	15	2	5	4	3	0	4	1
Cz	10	3	5	3	4	0	3	4	2	2	2	1
C4	5	6	13	2	17	1	12	4	1	3	3	1
T8	1	0	17	0	12	0	2	4	8	2	0	1
P7	7	2	12	3	0	5	0	1	2	3	5	2
P3	6	9	0	2	0	3	11	0	3	0	6	1
Pz	2	5	2	3	5	8	7	4	1	3	7	1
P4	7	7	16	1	1	2	3	0	6	1	7	0
P8	1	7	2	2	15	0	0	3	4	4	2	3
EOG	5	9	16	7	10	4	3	9	3	2	3	2
<i>M</i>	5.9	4.3	8.4	2.6	8.6	2.2	5.3	2.4	3.3	1.9	3.4	1.1
<i>SD</i>	4.3	2.8	6.1	2.1	6.4	2.2	4.5	2.4	3.0	1.3	2.2	0.8

Tabelle 10: Impedanzwerte in $k\Omega$ vor Beginn der EEG-Messungen, a und b für ersten und zweiten Termin einer Versuchsperson

A.2 Durch Artifact Rejection verworfene Daten

VP	grüne		alle		rote		gl. Kat		and. Kat		f pos	
	Hit	Miss	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr
1	76	36	26	94	8	27	5	24	2	27	11	16
2	86	7	6	100	1	28	0	26	0	25	5	21
3	32	5	6	36	0	17	1	11	0	3	5	5
4	alle											
5	83	7	13	75	1	26	2	20	0	18	10	11
6	55	26	9	74	0	18	0	19	3	18	6	19
Σ	332	81	60	379	10	116	8	100	5	91	37	72

Tabelle 11: Wie viele Daten bei der Artifact Rejection verworfen wurden

VP	grüne		alle		rote		gl. Kat		and. Kat		f pos		<i>M</i>	<i>SD</i>
	Hit	Miss	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr	Fa	Cr		
1	32.5	26.1	30.2	32.9	44.4	33.3	38.5	33.3	25.0	36.0	23.4	27.6	31.9	6.0
2	24.0	16.7	18.8	27.2	25.0	27.5	0.0	28.6	0.0	28.1	19.2	24.4	19.9	10.1
3	10.3	5.7	5.9	12.0	0.0	17.7	33.3	12.4	0.0	3.4	5.9	18.5	10.4	9.4
4	---				---								---	
5	22.7	20.6	23.6	21.7	25.0	25.5	50.0	22.7	0.0	20.9	23.3	15.9	22.7	11.0
6	20.9	19.0	18.4	21.1	0.0	18.8	0.0	22.1	100.0	20.7	20.0	23.2	23.7	25.3
<i>M</i>	22.1	17.6	19.4	23.0	18.9	24.5	24.4	23.8	25.0	21.8	18.4	21.9	21.7	2.6
<i>SD</i>	8.0	7.5	8.9	7.7	19.0	6.5	23.0	7.9	43.3	12.0	7.2	4.7	7.7	

Tabelle 12: Wie viele Daten bei der Artifact Rejection verworfen wurden

A.3 Übersicht ERP Daten

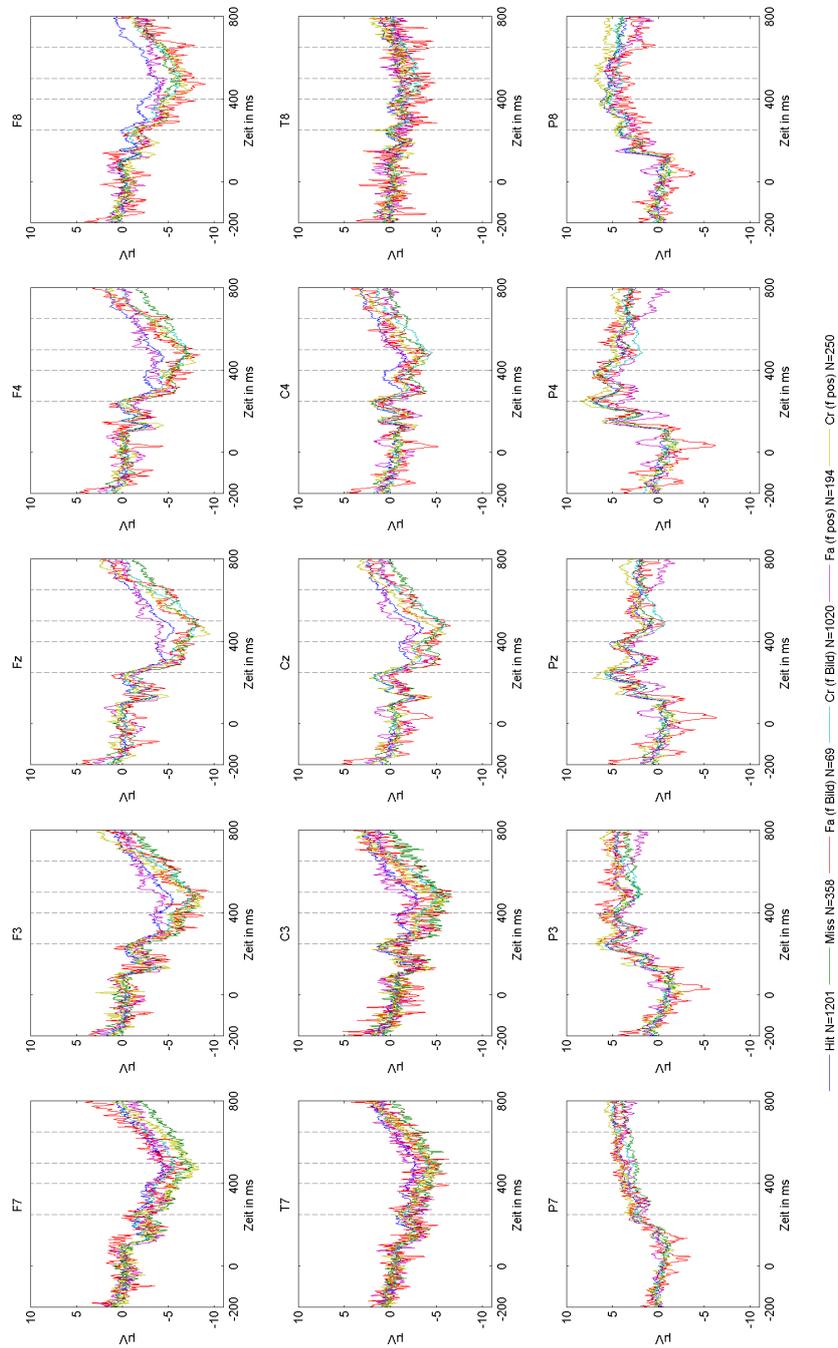


Abbildung 23: Übersicht über die ERP Daten der wichtigsten Fälle, alle 16 Elektroden

A.4 Übersicht ERP Daten Hit vs. False Alarms

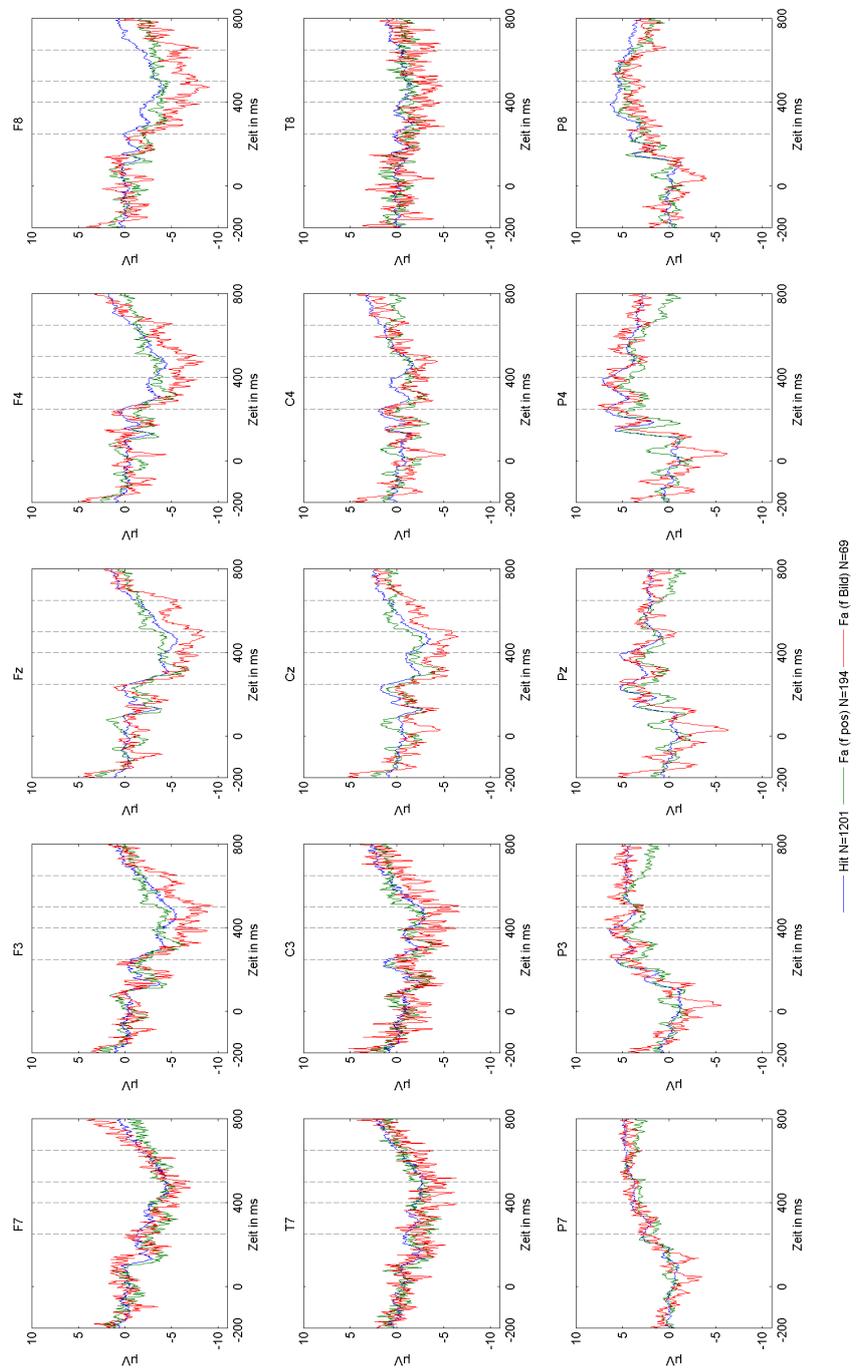


Abbildung 24: Übersicht über die ERP Daten Hit/Fa(fpos)/Fa(alle) alle 16 Elektroden