

Ergebnisse

Probandenmessungen

Untersuchungsreihe I

Tabelle 6 zeigt die Gesamtzahl an Probanden je Messungen der Untersuchungsreihe I.

Messung	Probanden
la (pausenlos, 20 Mittelungen)	3
lb (20/5, 20 Mittelungen)	3

Tabelle 6. Anzahl der Probanden je Messung der Untersuchungsreihe I.

Abbildung 18 bis Abbildung 23 zeigen in jeweils einem Diagramm den Zeitverlauf der Amplitude bzw. der Phase für die beiden Messungen eines Probanden.

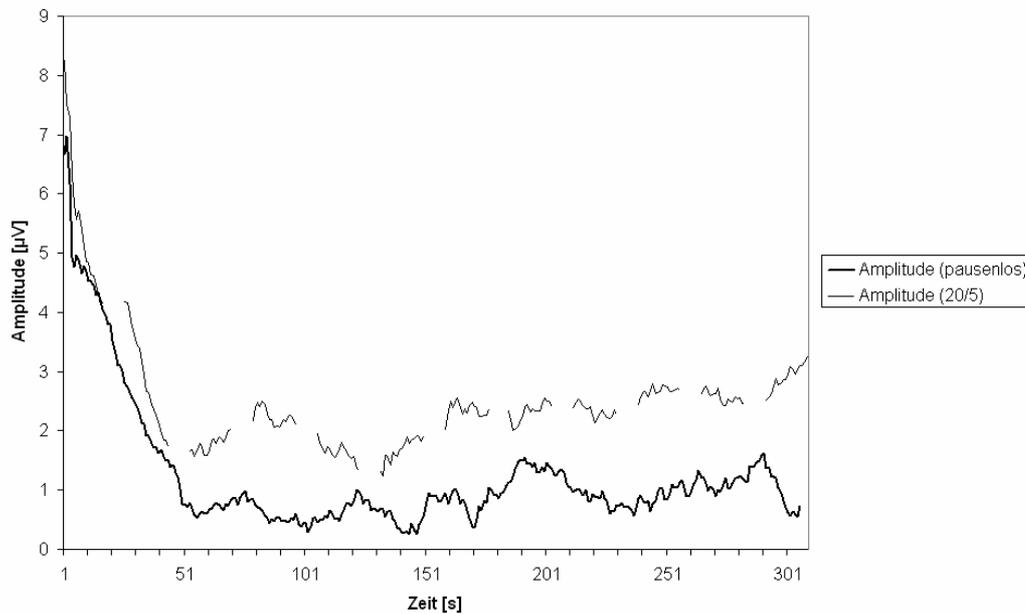


Abbildung 18. Trenddiagramm der Amplitude, Proband AM. Vergleich pausenlose Stimulation und unterbrochene Stimulation (20 s Stimulationsintervall, 5 s Stimulationspause).

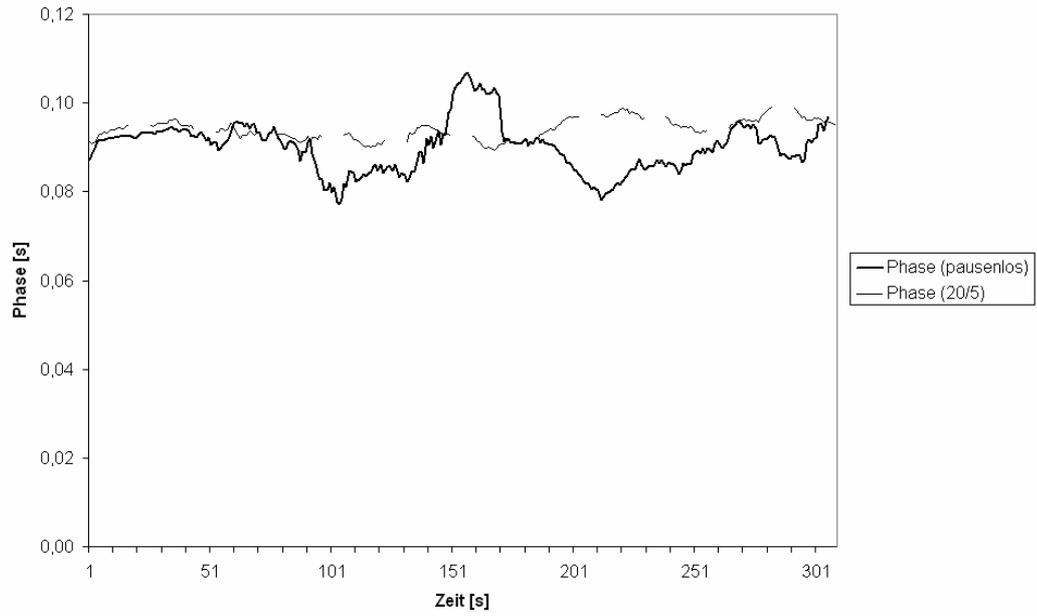


Abbildung 19. Trenddiagramm der Phase, Proband AM. Vergleich pausenlose Stimulation und unterbrochene Stimulation (20 s Stimulationsintervall, 5 s Stimulationspause).

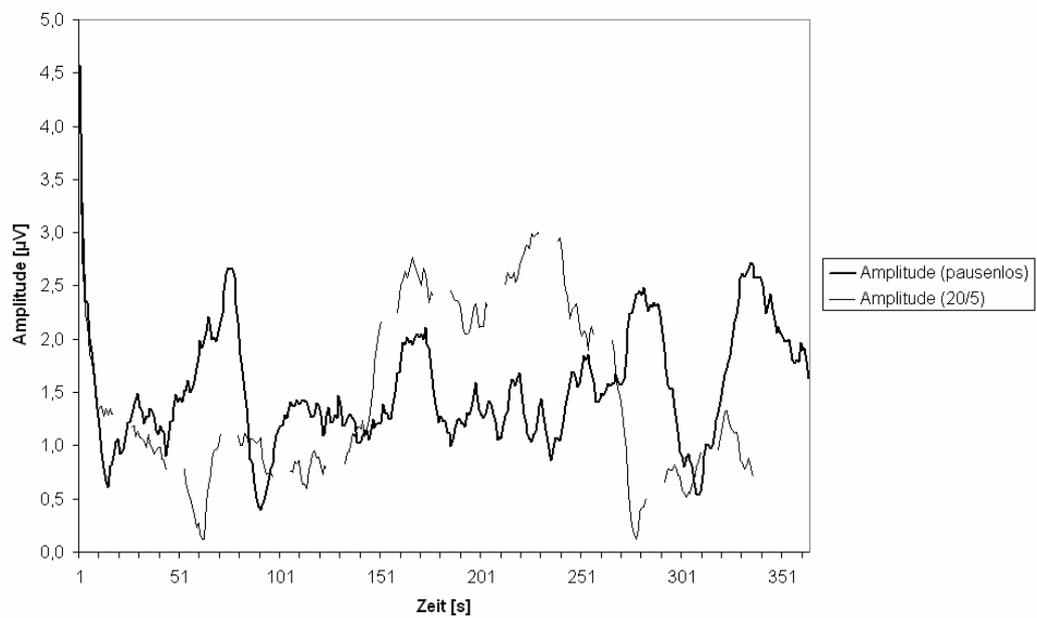


Abbildung 20. Trenddiagramm der Amplitude, Proband BR. Vergleich pausenlose Stimulation und unterbrochene Stimulation (20 s Stimulationsintervall, 5 s Stimulationspause).

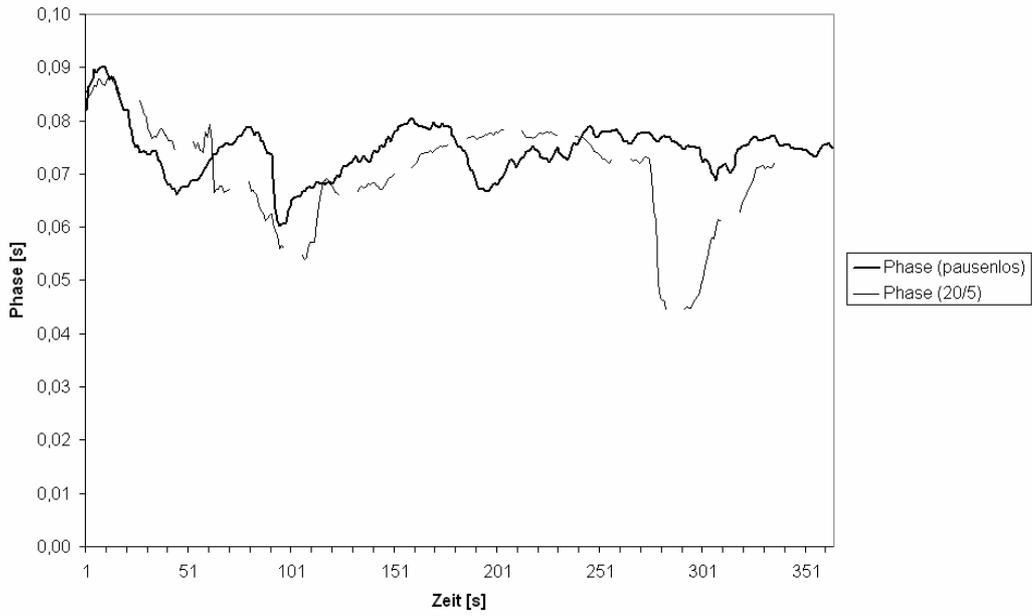


Abbildung 21. Trenddiagramm der Phase, Proband BR. Vergleich pausenlose Stimulation und unterbrochene Stimulation (20 s Stimulationsintervall, 5 s Stimulationspause).

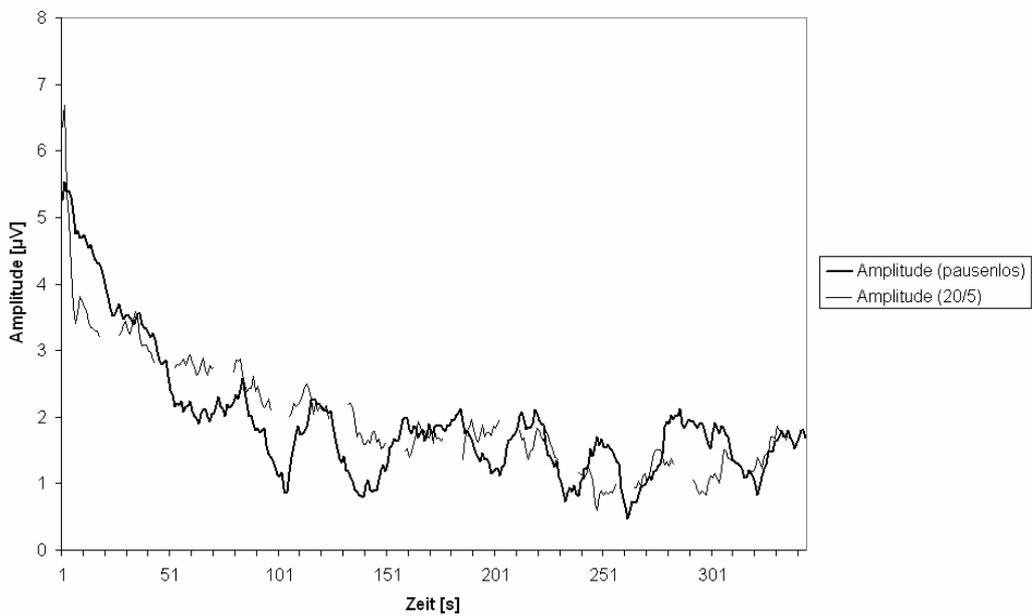


Abbildung 22. Trenddiagramm der Amplitude, Proband BRI. Vergleich pausenlose Stimulation und unterbrochene Stimulation (20 s Stimulationsintervall, 5 s Stimulationspause).

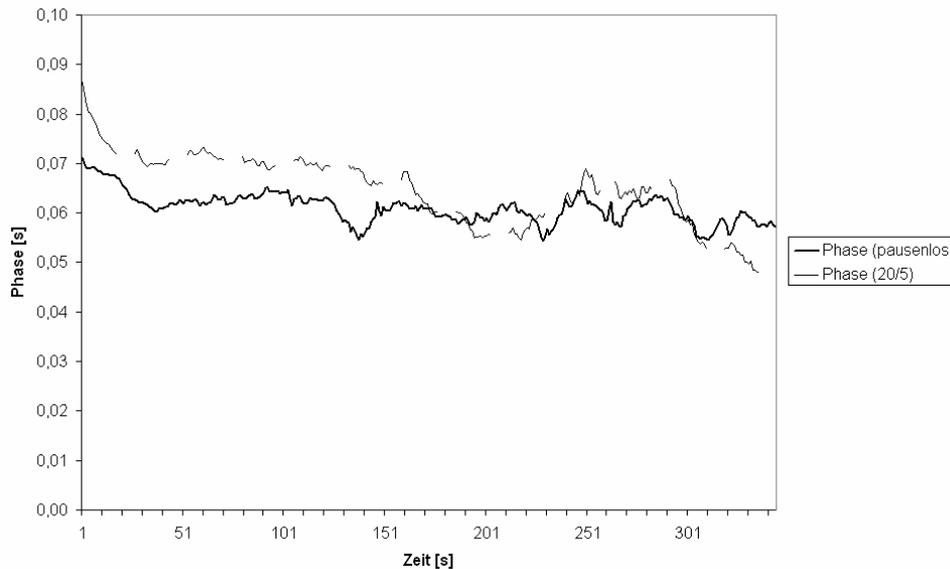


Abbildung 23. Trenddiagramm der Phase, Proband BRI. Vergleich pausenlose Stimulation und unterbrochene Stimulation (20 s Stimulationsintervall, 5 s Stimulationspause).

Für alle Messungen wurde der Mittelwert der Amplitude und der Phase berechnet. Bezüglich Messung Ib wurden nur 11 Stimulationsintervalle (**B – L**) berücksichtigt. Wegen der Eigenheiten der dynamischen Mittelung wurde das erste Stimulationsintervall ignoriert. Die dynamische Mittelung mit 20 Mittelungen bedeutet ja, dass zum Zeitpunkt t die Amplituden der Zeitpunkte t_{-19} bis t im Speicher vorhanden sind und zur Berechnung herangezogen werden. Im ersten Stimulationsintervall ist der Mittelungsspeicher deshalb noch nicht vollständig mit Rohwerten „aufgefüllt“.

Mit Messung Ia wurde entsprechend verfahren. Die Werte der Messung Ia, die zu korrespondierenden Zeitpunkten der 11 Stimulationsintervalle in Messung Ib gemessen wurden, wurden gemittelt. Das heißt, dass beide Mittelwerte Resultate gleich vieler Messwerte sind.

In einigen Messungen, bei denen die SNR auf zu geringe Werte abfiel, war eine eindeutige Bestimmung der Phasenlage nicht möglich. Tabelle 7 und Tabelle 8 zeigen die Mittelwerte für Amplitude und Phase der Untersuchungsreihe I:

Proband	Messung Ia, pausenlos, 20 av.	Messung Ib, 20/5, 20 av.
AM	0,943 μ V	2,30 μ V
BR	1,43 μ V	1,46 μ V
BRI	1,80 μ V	1,88 μ V

Tabelle 7. Untersuchungsreihe I, Mittelwerte der Amplitude.

Proband	Messung Ia pausenlos, 20 av.	Messung Ib 20/5, 20 av.
AM	90,23 ms	94,22 ms
BRI	60,73 ms	65,01 ms
BR	73,44 ms	n.b.

Tabelle 8. Untersuchungsreihe I, Mittelwerte der Phase. n. b. = Phasenlage wegen zu geringer Signalgüte nicht berechenbar.

Abbildung 24 und Abbildung 25 veranschaulichen den Vergleich der Amplitude bzw. der Phase zwischen Messung Ia und Messung Ib.

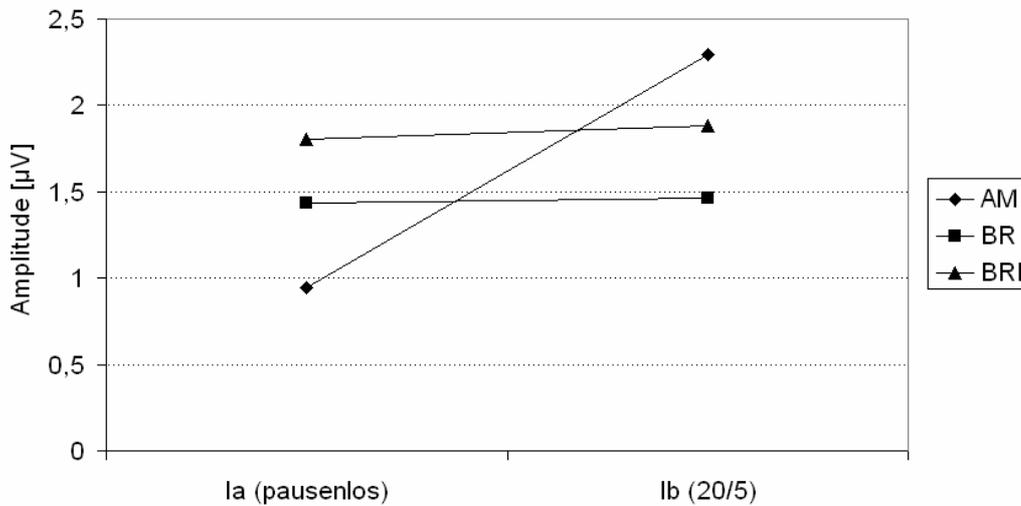


Abbildung 24. Vergleich der gemittelten Amplitude zwischen Messung Ia und Ib für alle 3 Probanden.

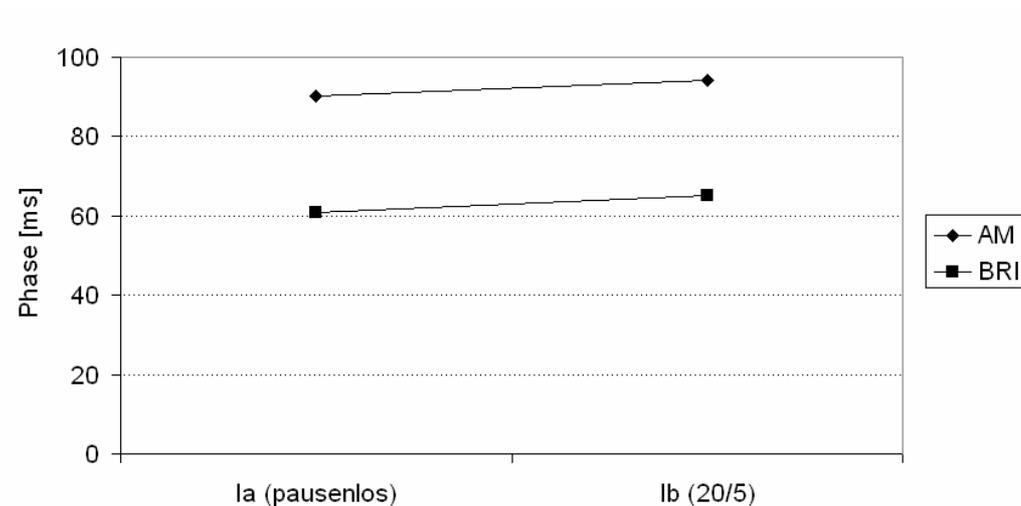


Abbildung 25. Vergleich der gemittelten Phase zwischen Messung Ia und Ib für 2 Probanden.

Untersuchungsreihe II

Tabelle 9 zeigt die Gesamtzahl an Probanden je Messung der Untersuchungsreihe II.

Messung	Probanden
Ila (pausenlos, 20 Mittelungen)	9
Ilb (20/10, 20 Mittelungen)	13
Ilc (20/5, 20 Mittelungen)	13
Ild (30/5, 20 Mittelungen)	11
Ile (20/5, 30 Mittelungen)	13

Tabelle 9. Anzahl der Probanden je Messung der Untersuchungsreihe II.

Betrachtung der Amplitude und des Signal-Rausch-Verhältnisses

Abbildung 26 bis Abbildung 34 zeigen den Vergleich des Zeitverlaufes der Amplitude zwischen Messung Ila und Ilb. Der Übersichtlichkeit wegen wurde die Amplitude des Rauschens (Stimulationspause, Okklusionsphasen) nur für Messung Ila abgebildet.

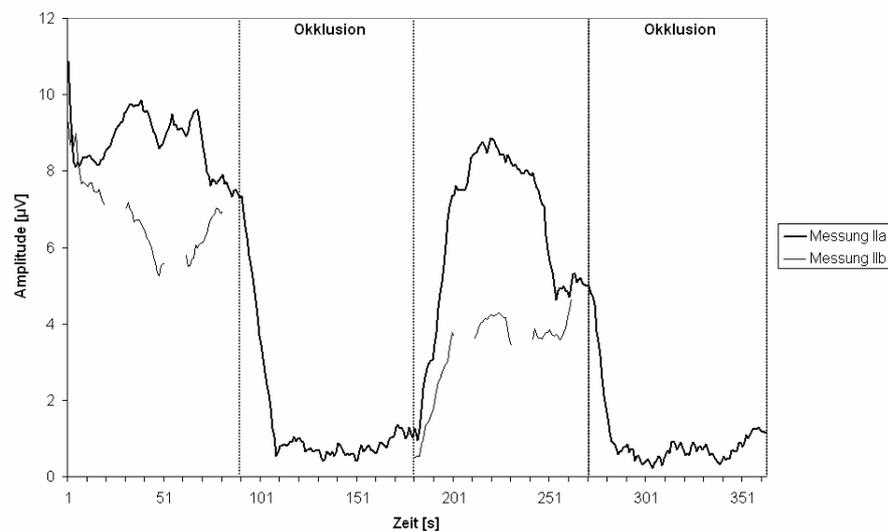


Abbildung 26. Trenddiagramme der Amplitude, Proband BB. Vergleich zwischen Messung Ila (pausenlos) und Ilb (20/10).

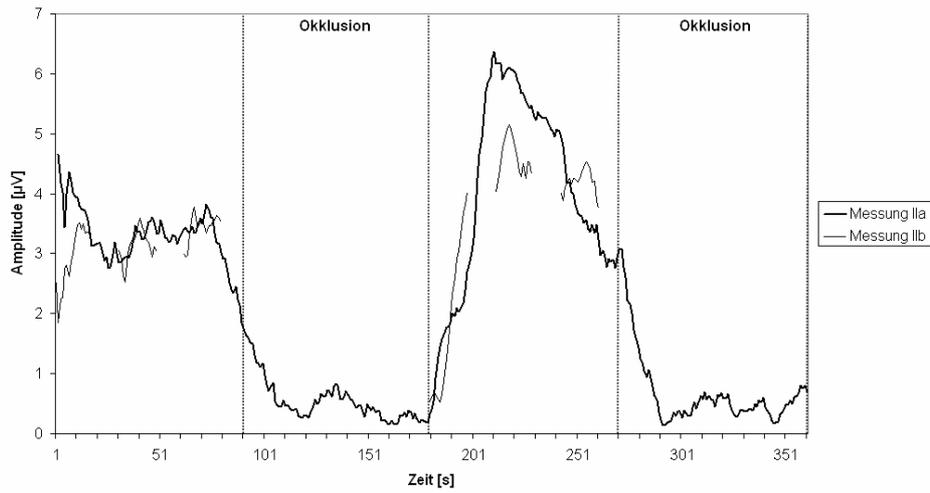


Abbildung 27. Trenddiagramme der Amplitude, Proband BE. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

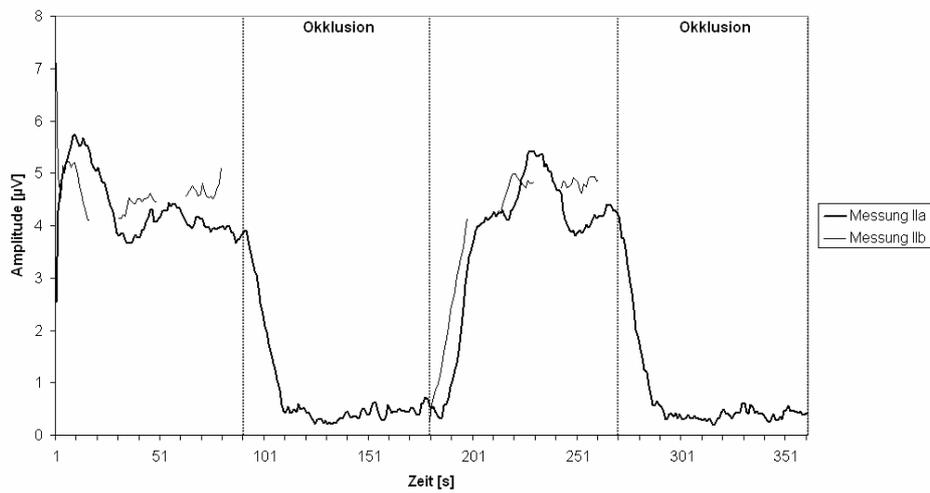


Abbildung 28. Trenddiagramme der Amplitude, Proband KL. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

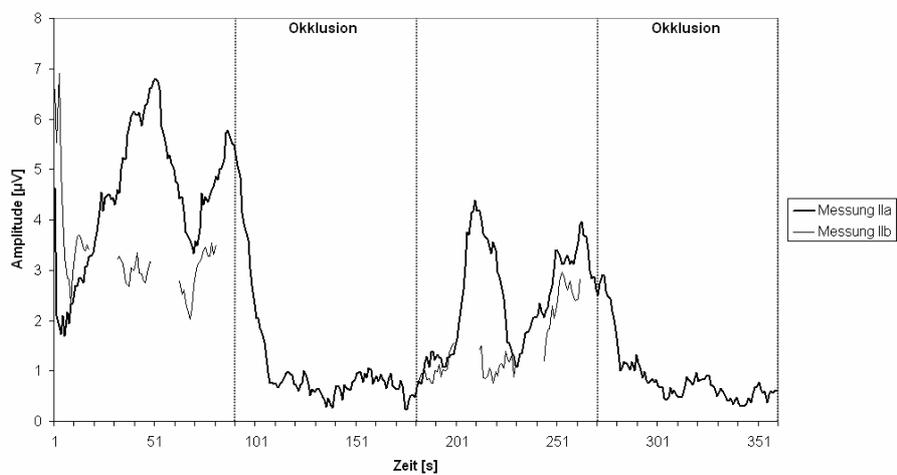


Abbildung 29. Trenddiagramme der Amplitude, Proband MJ. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

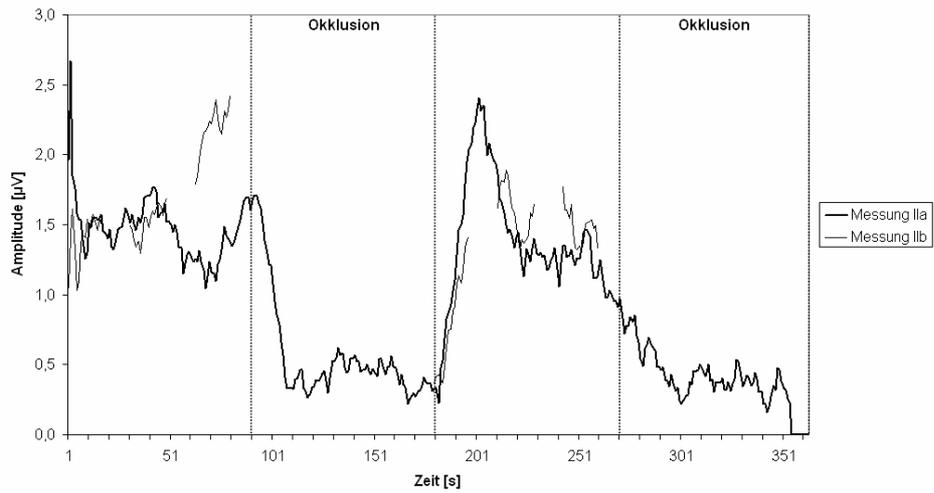


Abbildung 30. Trenddiagramme der Amplitude, Proband PA. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

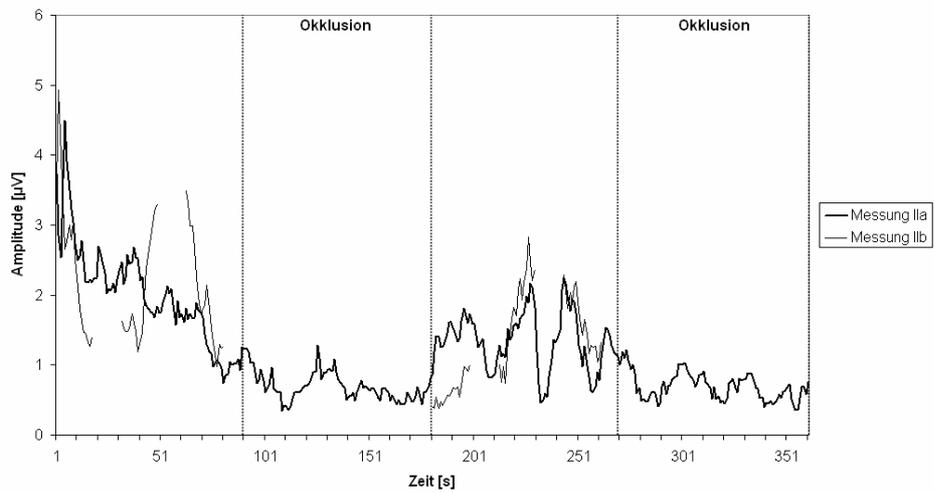


Abbildung 31. Trenddiagramme der Amplitude, Proband SC. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

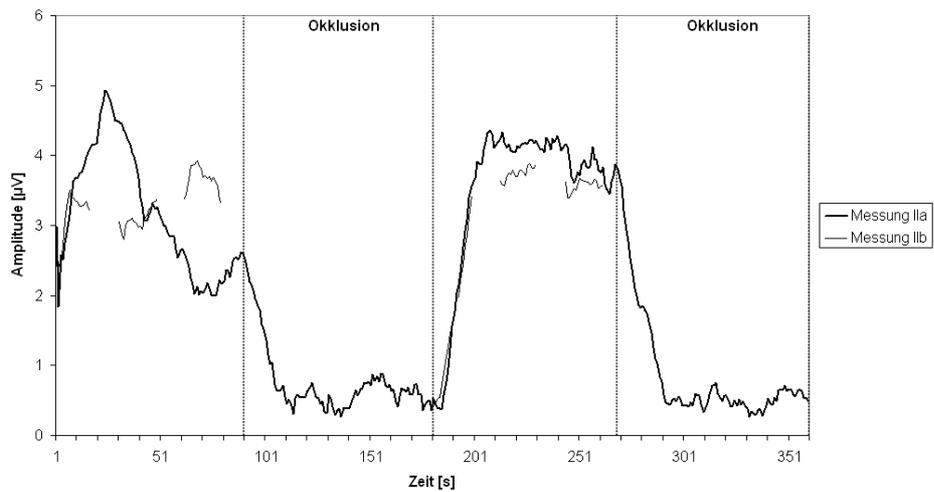


Abbildung 32. Trenddiagramme der Amplitude, Proband SK. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

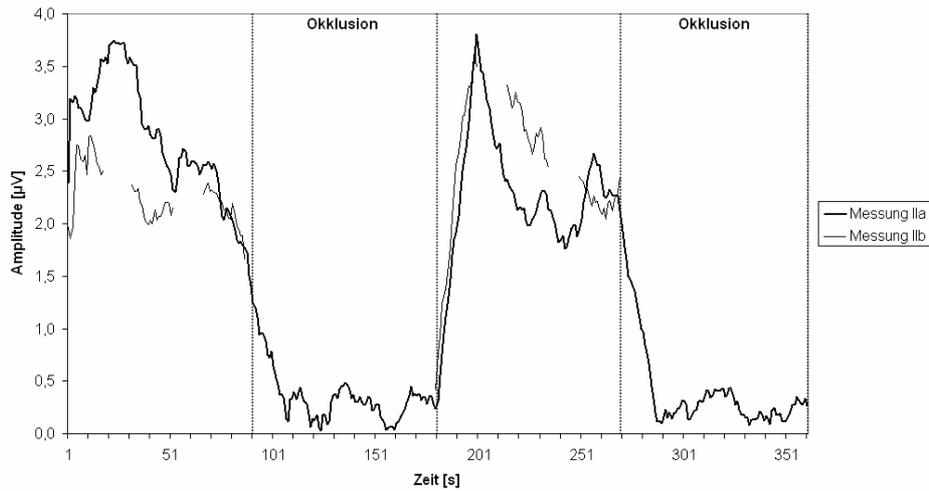


Abbildung 33. Trenddiagramme der Amplitude, Proband ST. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

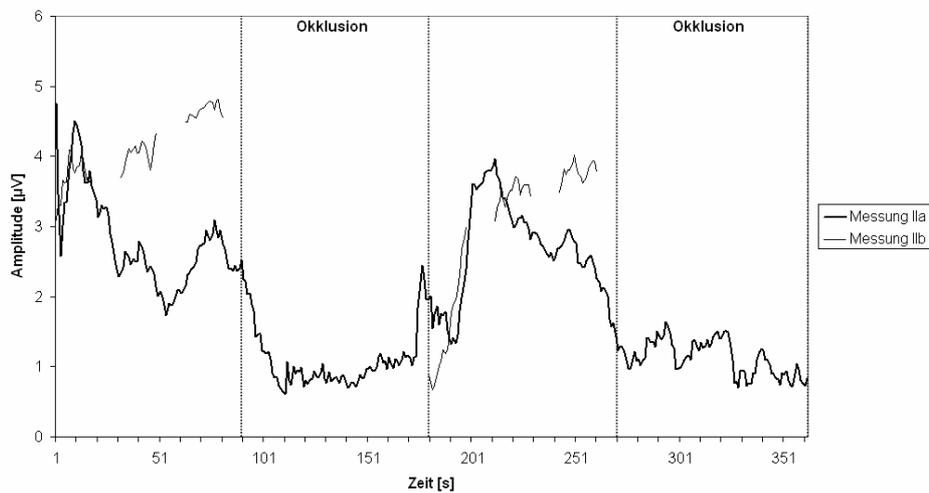


Abbildung 34. Trenddiagramme der Amplitude, Proband UA. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigen den Vergleich des Zeitverlaufes der Amplitude und der Phase zwischen Messung IIc (20 Mittelungen) und Messung IIe (30 Mittelungen) zweier Probanden. Bei 30 Mittelungen ist der vergleichsweise stabilere, aber auch trägere Verlauf der VEP-Charakteristika zu erkennen.

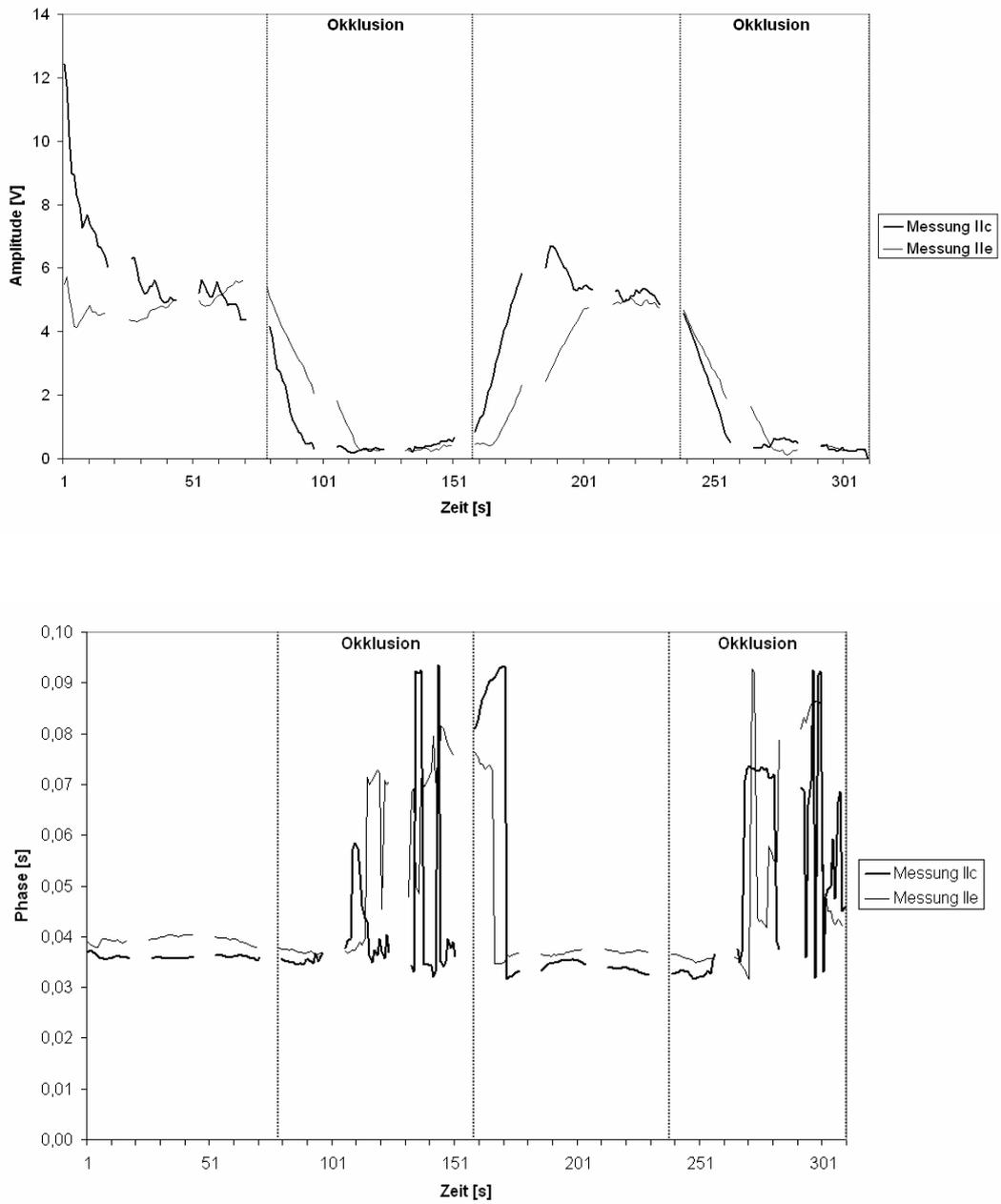


Abbildung 35. Verlauf von Amplitude (oben) und Phase (unten) bei unterschiedlicher Mittelung, Proband KL. Vergleich zwischen Messung Ilc (20/5, 20 Mittelungen) und Ile (20/5, 30 Mittelungen).

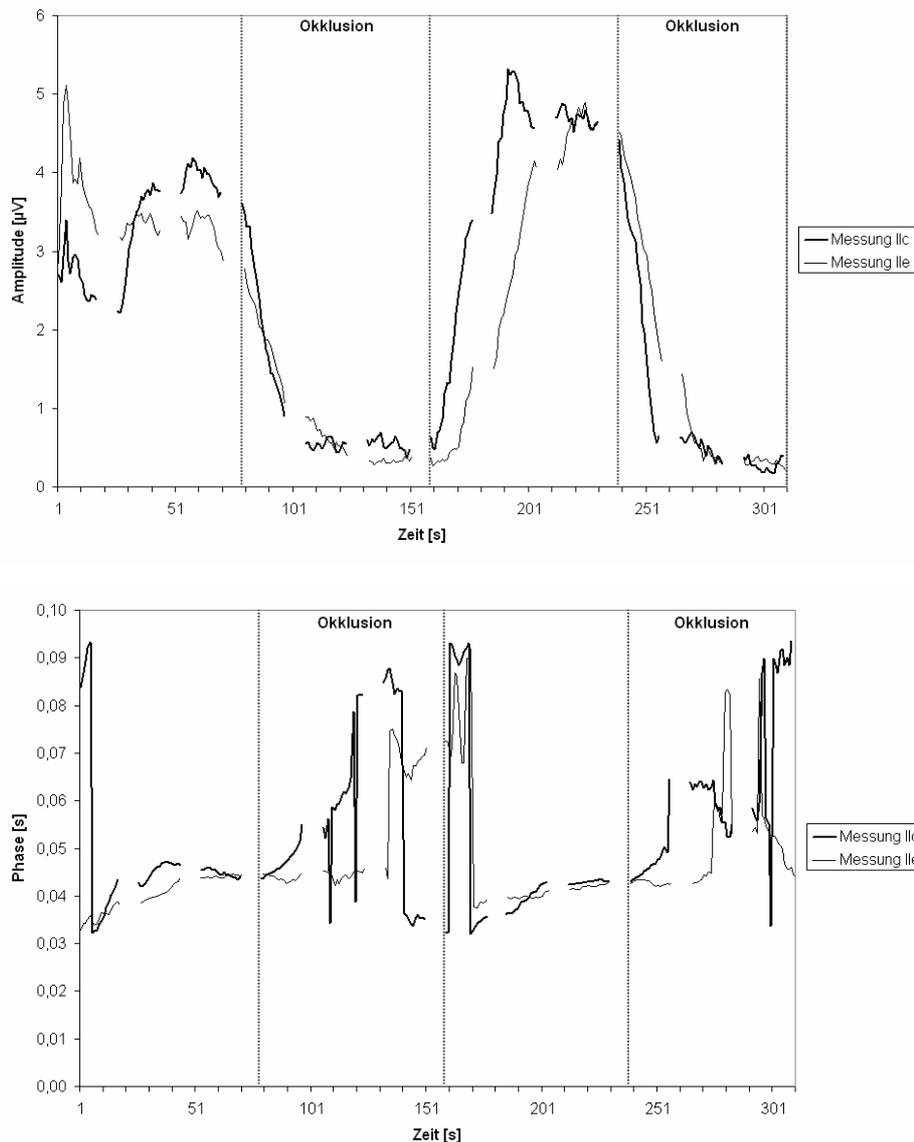


Abbildung 36. Verlauf von Amplitude (oben) und Phase (unten) bei unterschiedlicher Mittelung, Proband BE. Vergleich zwischen Messung Ic (20/5, 20 Mittelungen) und IIe (20/5, 30 Mittelungen).

Die verschiedenen Messungen der Untersuchungsreihe II wurden vorgenommen, um das Amplituden- und Phasenniveau, sowie die SNR zwischen pausenloser und durch verschieden lange Pausen unterbrochene Stimulation vergleichen zu können. Dazu wurden zunächst für jede Messung je ein Mittelwert der Signalamplitude und der Rauschamplitude berechnet.

Würde die Unterbrechung der Stimulation zu einem Wideranstieg der Amplitude führen, so wäre das Amplitudenniveau insgesamt höher. Damit wäre auch der

Amplitudenmittelwert der unterbrochenen Messung im Vergleich zur pausenlosen Messung größer.

Untersuchungsreihe II, Messungen b-d:

Wegen der dynamischen Mittelung wurde das jeweils erste Stimulationsintervall **A** der Stimulations- und der Okklusionsphasen (**1,2,3,4**) bei der Berechnung des Signals und des Rauschens ignoriert.

Es wurde der Mittelwert der Amplitude aus den Stimulationsintervallen **B** und **C** der zwei Stimulationsphasen **1** und **3** gebildet. Dieser Mittelwert wurde als „Signal“ betrachtet.

Weiterhin wurde der Mittelwert der Amplitude aus den Stimulationsintervallen **B** und **C** der zwei Okklusionsphasen **2** und **4** gebildet. Dieser Mittelwert steht für das „Rauschen“ (Noise), also für die unspezifische EEG-Aktivität bei 16 Hz und alle Störeinflüsse. Anhand der Mittelwerte der Amplitude aus Stimulations- und Okklusionsphase wurde die SNR ermittelt.

Untersuchungsreihe II, Messung a:

Bei dieser Messung musste sowohl die dynamische Mittelung mit 20 Mittelungen als auch das Zeitfenster, in dem das Okklusionstuch appliziert wurde, berücksichtigt werden. Deshalb wurden zur Berechnung der SNR je die ersten 25 als auch die letzten 5 Sekunden ignoriert. Es wurde der Mittelwert der Amplitude der 25. bis 85. Sekunde der Stimulationsphasen **1** und **3** (Signal) und der Mittelwert der Amplitude der 25. bis 85. Sekunde der Okklusionsphasen **2** und **4** (Noise) berechnet.

Tabelle 10 zeigt die Amplitude des Signals und des Rauschens aller Messungen der Untersuchungsreihe II. Tabelle 11 zeigt die SNR aller Messungen der Untersuchungsreihe II.

Proband	Messung IIa pausenlos, 20 av. [μ V]		Messung IIb 20/10, 20 av. [μ V]		Messung IIc 20/5, 20 av. [μ V]		Messung II d 30/5, 20 av. [μ V]	
	Signal	Rauschen	Signal	Rauschen	Signal	Rauschen	Signal	Rauschen
BB	8,15	0,697	5,10	0,623	6,46	0,895	6,17	0,671
BE	4,08	0,428	3,83	0,381	4,16	0,470	3,25	0,429
BR	-	-	1,32	0,308	1,22	0,249	1,38	0,350
BRI	2,60	0,372	-	-	2,61	0,390	-	-
EA	-	-	2,69	0,503	2,77	0,739	-	-
EE	-	-	1,66	0,391	2,83	0,350	-	-
KH	-	-	2,85	0,252	3,15	0,302	2,32	0,303
KL	4,26	0,391	4,65	0,383	5,36	0,377	4,51	0,375
MJ	3,93	0,669	2,34	0,654	5,03	0,846	2,11	0,885
PA	1,42	0,394	1,69	0,327	1,93	0,382	1,34	0,300
SC	1,54	6,82	1,84	0,567	1,30	0,498	2,75	0,609
SK	3,65	0,537	3,52	0,495	2,92	0,518	3,27	0,577
ST	2,56	0,251	2,36	0,165	2,47	0,217	2,09	0,257
UA	2,70	1,03	4,00	0,964	4,13	0,919	-	-
Mittelwert	3,49	1,16	2,91	0,46	3,31	0,51	2,92	0,48
Standardabw.	1,92	2,00	1,21	0,21	1,54	0,24	1,49	0,20

Tabelle 10. Untersuchungsreihe II: Amplitude des Signals und des Rauschens der einzelnen Messungen.

Proband	Messung IIa pausenlos, 20 av.	Messung IIb 20/10, 20 av.	Messung IIc 20/5, 20 av.	Messung II d 30/5, 20 av.
BB	11,69	7,22	8,18	9,19
BE	9,54	10,06	8,84	7,58
BR	-	4,30	4,89	3,95
BRI	6,99	-	6,70	-
EA	-	5,34	3,74	5,33
EE	-	4,26	8,09	-
KH	-	11,29	10,42	7,66
KL	10,91	12,13	14,19	12,02
MJ	5,88	3,57	5,94	2,39
PA	3,61	5,16	5,05	4,46
SC	2,26	3,25	2,62	4,51
SK	6,79	7,10	5,65	5,66
ST	10,20	14,31	11,42	8,13
UA	2,62	4,14	4,49	-
Mittelwert	7,05	7,09	7,16	6,44
Standardabweichung	3,47	3,68	3,23	2,76

Tabelle 11. Untersuchungsreihe II: SNR der einzelnen Messungen.

Abbildung 37 zeigt die Amplitudenmittelwerte des Signals der Messungen IIa bis II d.

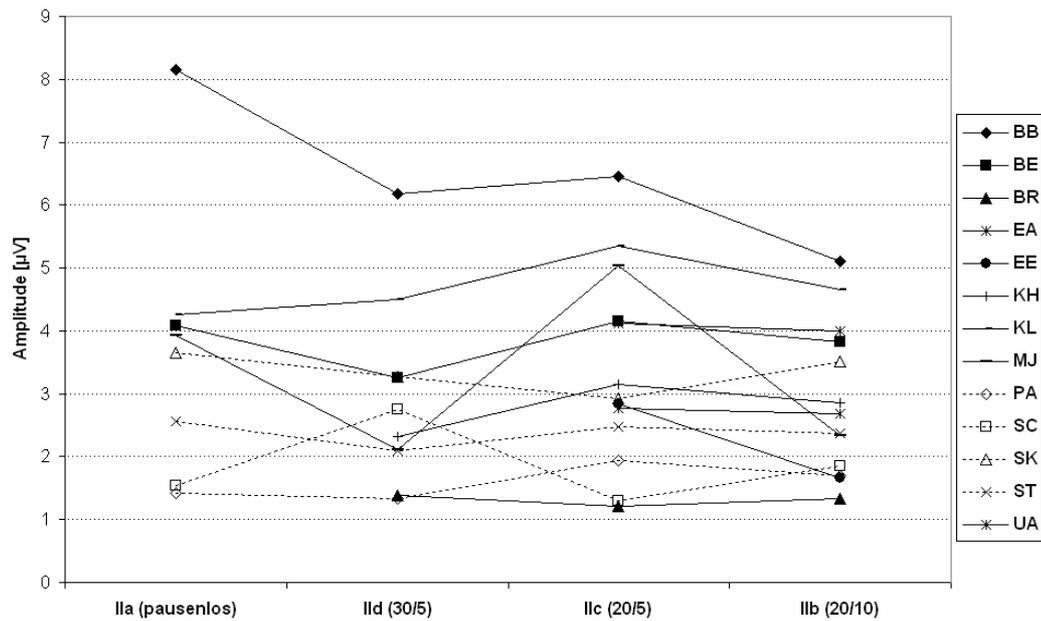


Abbildung 37. Untersuchungsreihe II: Amplitudenmittelwerte des Signals der Messungen IIa bis II d

Betrachtung der Phase

Bei einigen Messungen, in denen die SNR auf zu geringe Werte abfiel, war eine eindeutige Bestimmung der Phasenlage nicht möglich. Tabelle 12 zeigt die Gesamtzahl der für die Ermittlung der Phase verwertbaren Probanden je Messung der Untersuchungsreihe II.

Messung	Probandenmessungen gesamt	verwertbare Probandenmessungen
IIa (pausenlos, 20 av.)	10	9
IIb (20/10, 20 av.)	13	10
IIc (20/5, 20 av.)	14	11
IId (30/5, 20 av.)	10	9

Tabelle 12. Anzahl der zur Phasenermittlung verwertbaren Probanden je Messung der Untersuchungsreihe II.

Abbildung 38 bis Abbildung 43 zeigen den Vergleich des Zeitverlaufes der Phase zwischen den Messungen IIa und II b. Die Phasenlage des Rauschens (Stimulationspause bzw. Okklusionsphasen) wurde der Übersichtlichkeit halber nur für Messung IIa abgebildet.

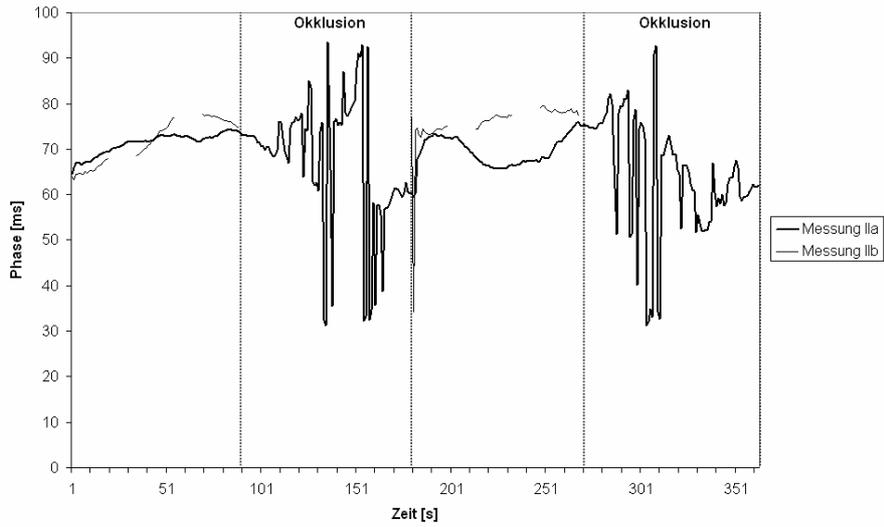


Abbildung 38. Trenddiagramme der Phase, Proband BB. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

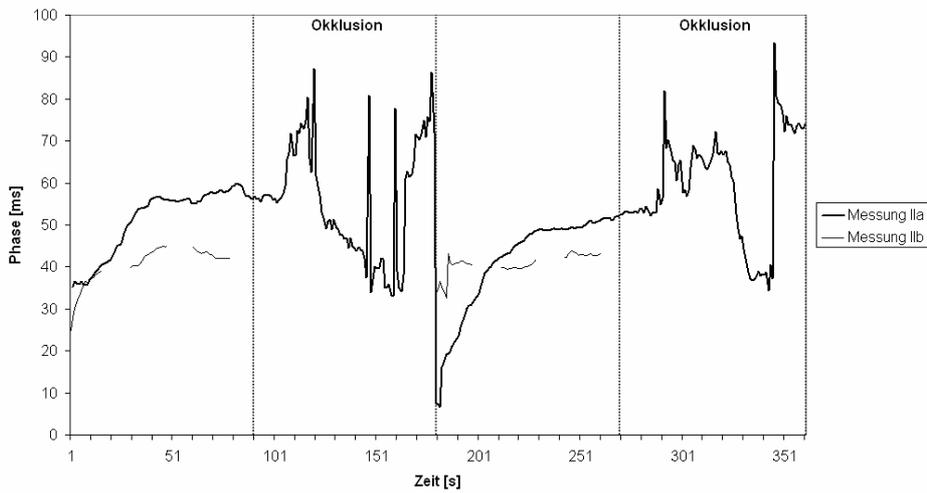


Abbildung 39. Trenddiagramme der Phase, Proband BE. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

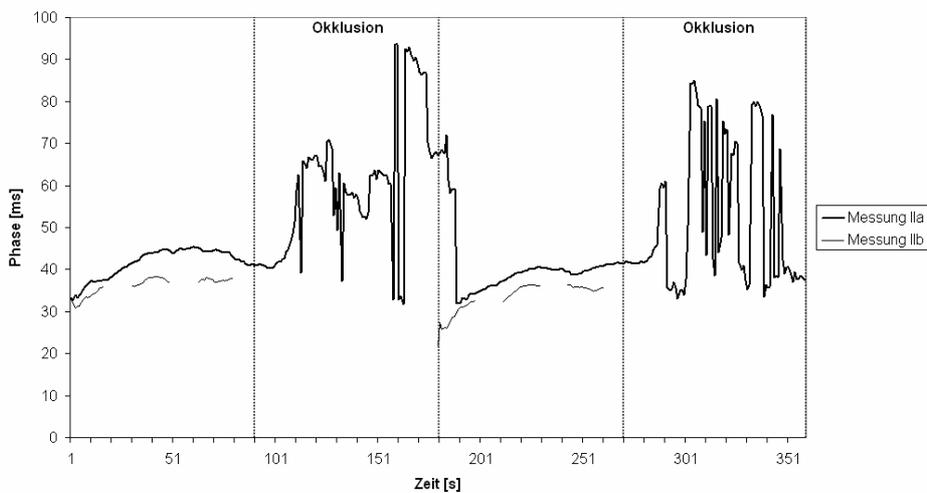


Abbildung 40. Trenddiagramme der Phase, Proband KL. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

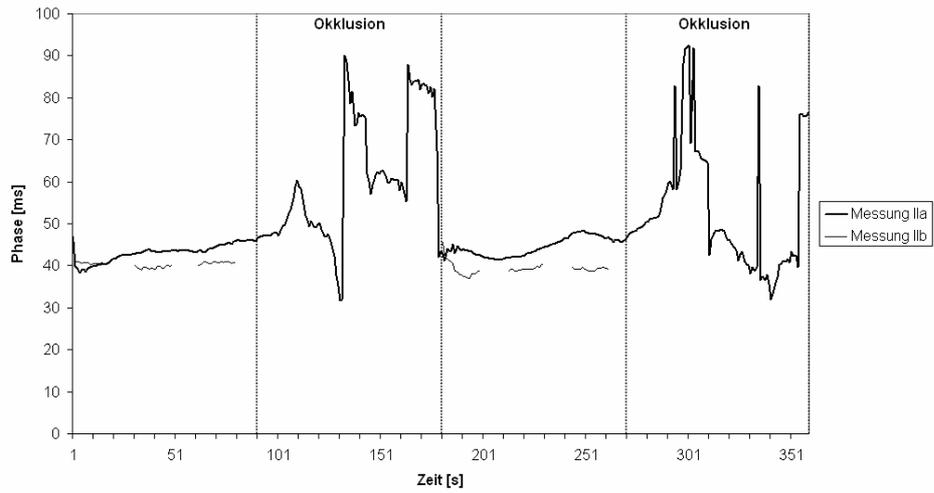


Abbildung 41. Trenddiagramme der Phase, Proband SK. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

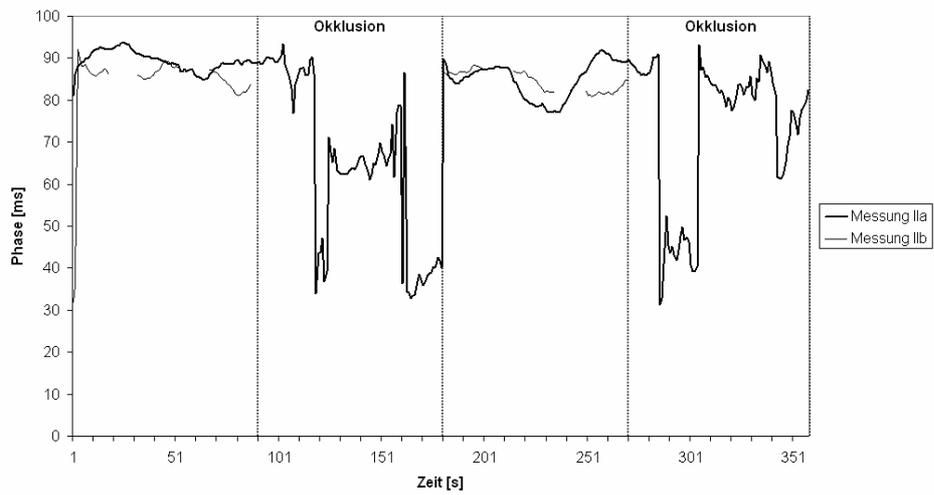


Abbildung 42. Trenddiagramme der Phase, Proband ST. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

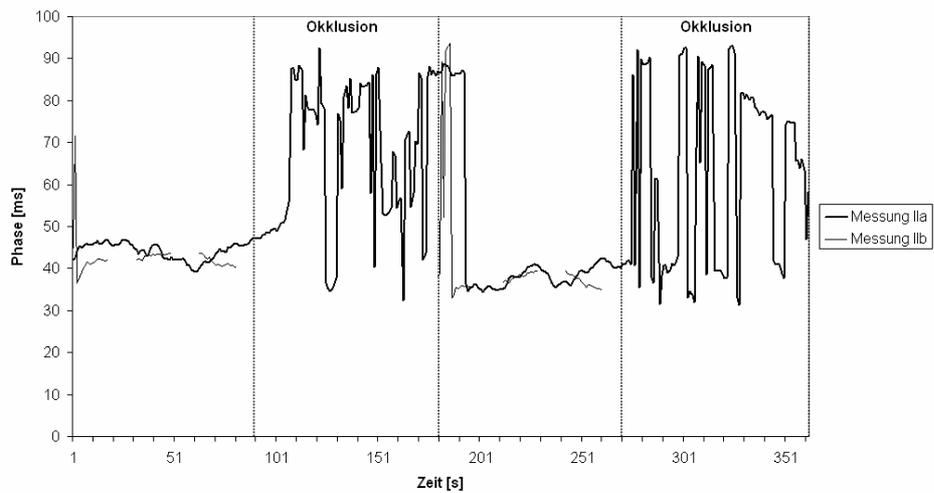


Abbildung 43. Trenddiagramme der Phase, Proband UA. Vergleich zwischen Messung IIa (pausenlos) und IIb (20/10).

Für die Vergleichbarkeit des Phaseniveaus zwischen pausenloser und durch verschieden lange Intervalle unterbrochene Stimulation wurde für jede Messung der Mittelwert der Phase berechnet. Würde die Unterbrechung der Stimulation eine Verminderung der Phase bewirken, so würde dies sich auch im Mittelwertvergleich zwischen unterbrochener und pausenloser Stimulation widerspiegeln.

Untersuchungsreihe II, Messungen b-d:

Es wurde der Mittelwert der Phase der einzelnen Messungen berechnet. Auch in diesem Fall musste die dynamische Mittelung berücksichtigt werden. Das jeweils erste Stimulationsintervall **A** der Stimulationsphasen **1** und **3** wurde ignoriert. Es wurde der Mittelwert der Phase aus den Stimulationsintervallen **B** und **C** der Stimulationsphasen **1** und **3** berechnet.

Untersuchungsreihe II, Messung a:

Es wurde der Mittelwert der Phase der 25. bis 85. Sekunde der Stimulationsphasen **1** und **3** (Signal) berechnet.

Die dynamische Mittelung wurde wieder berücksichtigt, ebenso das Zeitfenster, in dem das Okklusionstuch appliziert wurde (Ignorieren der ersten 25 und letzten 5 Phasenwerte der Stimulationsphasen).

Tabelle 13 zeigt die gemittelte Phase aller Messungen der Untersuchungsreihe II. Abbildung 44 stellt grafisch die gemittelte Phase sämtlicher Messungen der Untersuchungsreihe II dar. Die Messungen sind nach der Größe des Quotienten (Länge des Stimulationsintervalls / Länge der Stimulationspause) angeordnet.

In dieser Abbildung fällt auf, dass sich die Mittelwerte der Phase in zwei Gruppen anordnen. Dies ist aller Wahrscheinlichkeit nach aber rein methodisch bedingt. Wegen der Zyklik von Sinussignalen lässt sich die Zeitverschiebung der Antworten nur +/- der halben Wellenlänge (bei 16 Hz: 62,5 ms) ermitteln. Um wie viele ganze Wellenlängen die Antworten verschoben sind ist nicht bekannt. Man kann folglich keine Aussage darüber treffen, welcher vorherige Blitz denn nun eigentlich die jeweilige Antwort verursacht hat. Es kann der Blitz vor der tatsächlich aufgezeichneten Latenz sein, aber auch jeder andere Blitz n Wellenlängen zuvor.

Proband	Messung IIa pausenlos, 20 av. [ms]	Messung IIb 20/10, 20 av. [ms]	Messung IIc 20/5, 20 av. [ms]	Messung II d 30/5, 20 av. [ms]
BB	70,4	76,0	71,7	75,6
BE	50,9	42,2	43,1	46,9
BR	-	n.b.	n.b.	n.b.
BRI	55,5	-	64,5	-
EA	-	87,5	93,6	90,7
EE	-	84,7	90,9	-
KH	-	84,1	86,6	80,8
KL	41,5	36,4	35,1	38,5
MJ	31,9	n.b.	32,7	n.b.
PA	34,1	31,2	32,8	30,1
SC	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
SK	44,2	39,7	n.b.	41,6
ST	86,5	84,4	82,5	80,2
UA	41,0	39,8	38,8	-

Tabelle 13. Untersuchungsreihe II: gemittelte Phase der einzelnen Messungen. n.b. = Phase wegen zu geringer Signalgüte nicht berechenbar.

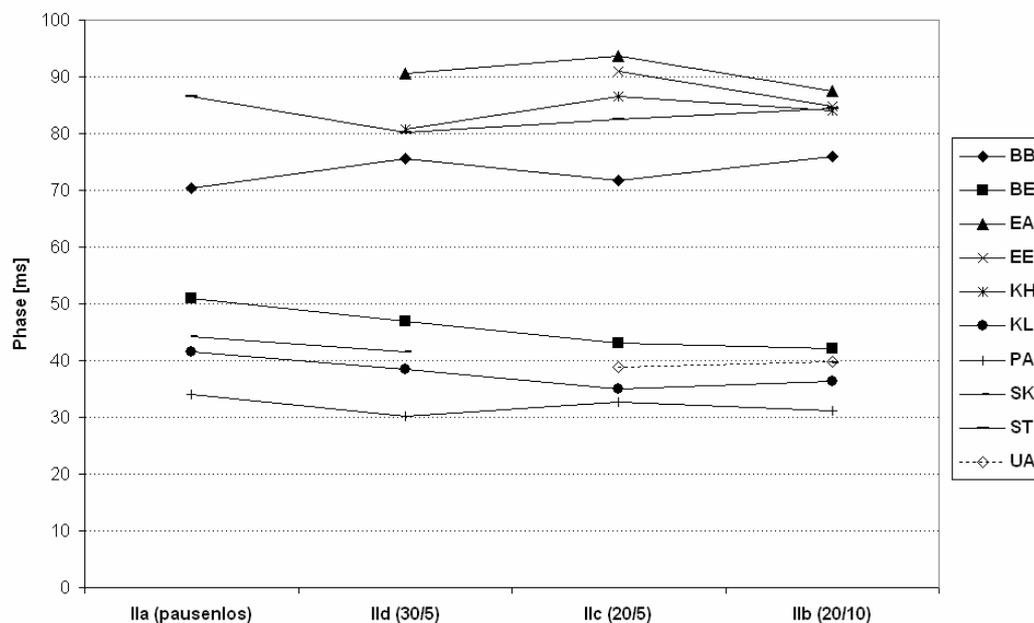


Abbildung 44. Untersuchungsreihe II: gemittelte Phase der einzelnen Messungen. Datenpunkte ohne direkte Bezugsmöglichkeit zu auf der Abszisse benachbarten Messungen wurden nicht abgebildet.

Die Antworten mit den kleineren Phasenwerten zwischen 30 und 50 ms sind vermutlich nicht durch den unmittelbar vorangehenden Stimulus ausgelöst worden, sondern durch einen Blitz, der eine Wellenlänge früher auslöste. Addiert man zu den kleineren Phasenwerten die einfache Wellenlänge von 62,5 ms, so ordnen sie sich in die Gruppe der übrigen Werte zwischen 70 und 100 ms ein.

Statistische Analyse

1. Voraussetzung für alle weiteren Analysen ist, dass mit der Methodik eine sichere Unterscheidung zwischen der elektrischen Aktivität bei visueller Stimulation und der unspezifischen EEG-Aktivität möglich ist.

Dafür wurden Signal und Rauschen der Messung IIa mit dem Wilcoxon-Test analysiert: Für 9 Probanden wurden die Amplitudenmittelwerte des Signals mit denen des Rauschens verglichen. Die Amplitude des Signals war signifikant größer als die des Rauschens ($p < 0,01$).

2. Mittels des statistischen Vergleiches von Amplitude, SNR und Phase der einzelnen Messungen der Untersuchungsreihe II sollten mögliche Niveauunterschiede der Charakteristika zwischen der pausenlosen (IIa) und den verschiedenartig unterbrochenen Messungen (IIb-IIId) aufgedeckt werden. Dies würde die Hypothese bestätigen, dass die Unterbrechung der Stimulation den Verlauf von Amplitude und Phase signifikant beeinflusst.

Zunächst wurden jeweils die Amplitudenmittelwerte des Signals, die SNR, sowie die Phasenmittelwerte der Messung IIb (20/10) mit den entsprechenden Werten der Messungen IIc (20/5) und IIId (30/5) verglichen. Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Stimulationsparametern und den genannten VEP-Charakteristika festgestellt werden. Tabelle 14 zeigt die p-Werte der einzelnen Tests.

Für die Messungen IIa (pausenlose Stimulation) und IIb (20/10) wurden je 4 Mittelwerte der Amplitude und der Phase berechnet (Mittelwert der Amplitude bzw. der Phase während der Stimulationsintervalle 1b, 1c, 3b und 3c der Messung IIb [Abbildung 13] sowie der korrespondierenden Zeitpunkte der Messung IIa). Für alle Probanden wurden diese 4 Mittelwerte zwischen den beiden Messungen mit einer zweifaktoriellen ANOVA verglichen. Bezüglich der Amplitude wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den

beiden Messungen festgestellt ($p=0,99$). Die Phase hingegen war in Messung IIb signifikant kleiner als in Messung IIa ($p=0,027$).

Mit einer einfaktoriellen ANOVA wurden die 4 Mittelwerte der Phase der Messung IIa und IIb untersucht. Es wurde festgestellt, dass die Phase im Verlauf der Messung IIa signifikant anstieg ($p=0,0069$), während keine signifikante Änderung im Verlauf der Messung IIb festzustellen war ($p=0,117$).

<u>Amplitude</u>	IIb (20/10) – IIc (20/5)	IIb (20/10) – IId (30/5)
p-Wert	0,064	0,445

<u>SNR</u>	IIb (20/10) – IIc (20/5)	IIb (20/10) – IId (30/5)
p-Wert	0,65	0,074

<u>Phase</u>	IIb (20/10) – IIc (20/5)	IIb (20/10) – IId (30/5)
p-Wert	0,515	0,779

Tabelle 14. Vergleich der Amplitude, SNR und Phase der einzelnen Messungen der Reihe II. P-Werte der Wilcoxon-Tests.

Untersuchungsreihe III

Tabelle 15 zeigt die Gesamtzahl an Probanden je Messungen der Untersuchungsreihe III.

Messung	Probanden
IIIa (OD, 10 * 30/10)	3
IIIb (OD, 10 * 60/60)	2
IIIc (OD, 10 * 60/60, Helladaptation)	1

Tabelle 15. Anzahl der Probanden je Messung der Untersuchungsreihe III

Bei den Messungen dieser Reihe wurden für jede Sekunde des Stimulationsintervalls die entsprechenden 10 Messwerte gemittelt. Aus den 10 „rohen“ Stimulationsintervallen wurde ein Durchschnitts-Stimulationsintervall gebildet. Abbildung 45 bis Abbildung 47 zeigen den Zeitverlauf der Amplitude des gemittelten Stimulationsintervalls der Messung IIIa bis IIIc für alle Probanden. In Messung IIIc adaptierte der Proband während der Stimulationspausen an Raumhelligkeit.

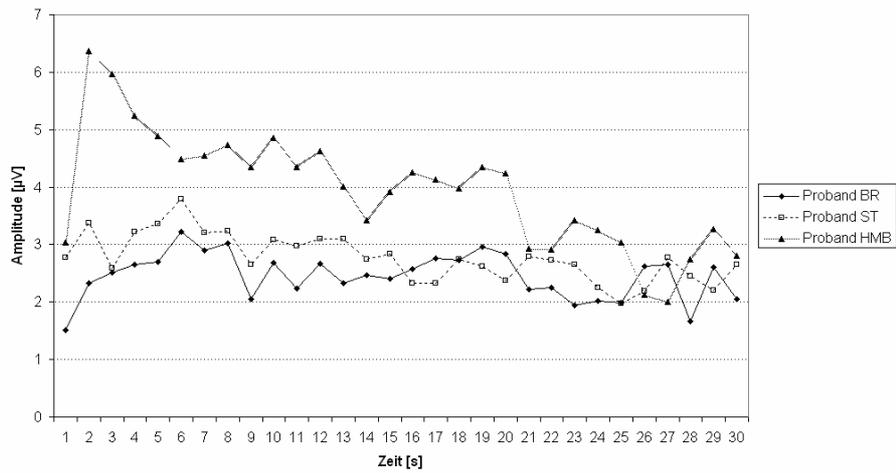


Abbildung 45. Messung IIIa. Zeitverlauf der Amplitude während des gemittelten Stimulationsintervalls. 3 Probanden.

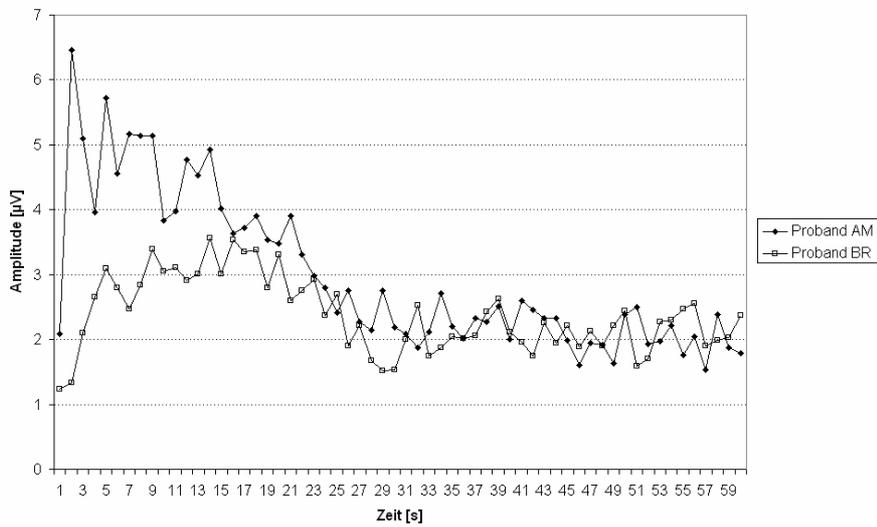


Abbildung 46. Messung IIIb. Zeitverlauf der Amplitude während des gemittelten Stimulationsintervalls. 2 Probanden.

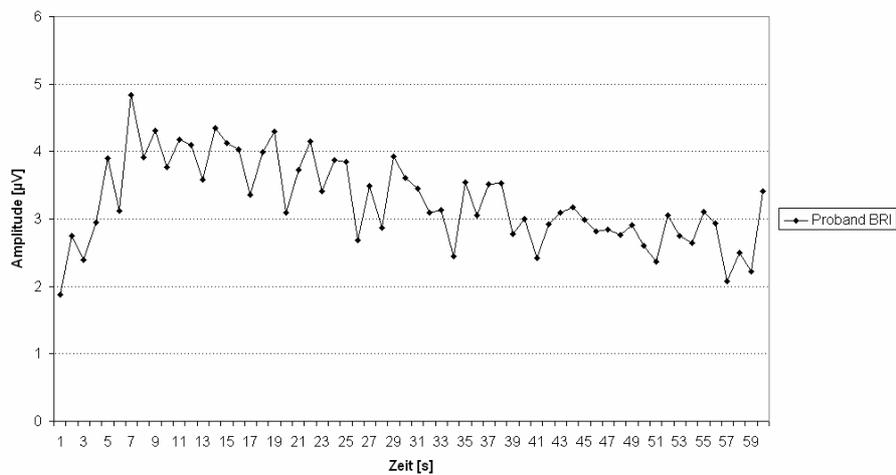


Abbildung 47. Messung IIIc. Zeitverlauf der Amplitude während des gemittelten Stimulationsintervalls. Während der Pausen Adaptation an Raumhelligkeit. 1 Proband.

Prä- und intraoperative Messungen der Patienten

Patientin HB

Die Patientin war zum Zeitpunkt der Untersuchungen 55 Jahre alt. Sie litt seit dem 10. Lebensjahr unter einer fokalen Epilepsie des linken Temporallappens mit radiologischem Verdacht auf Hippokampusklerose. Aufgrund der entstandenen Pharmakoresistenz und der hohen Anfallsfrequenz wurde eine Temporalpolresektion und Amygdalohippokampektomie links geplant. Abbildung 48 und Abbildung 49 zeigen die präoperativen Messungen einen Tag vor der Operation.

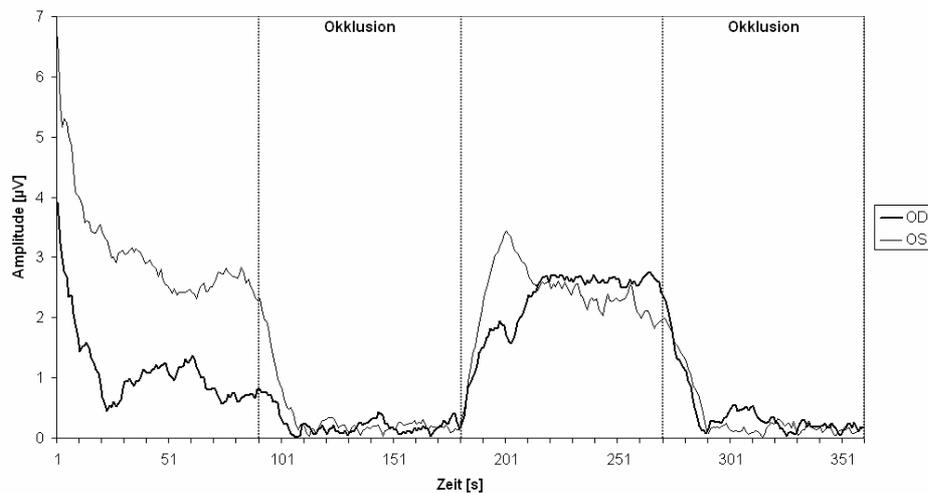


Abbildung 48. Präoperative Messungen der Patientin HB. Trenddiagramm der Amplitude für rechts- und linksseitige pausenlose Stimulation.

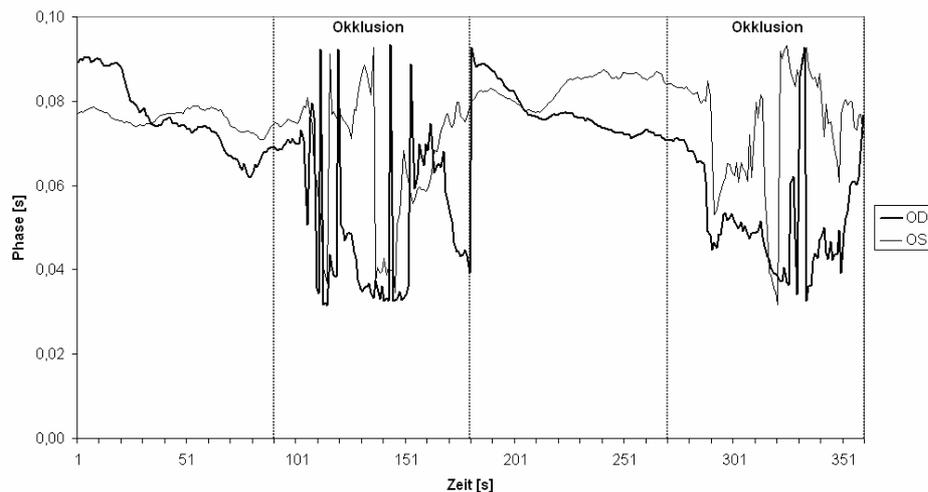


Abbildung 49. Präoperative Messungen der Patientin HB. Trenddiagramm der Phase für rechts- und linksseitige pausenlose Stimulation.

Als Prämedikation erhielt die Patientin Flunitrazepam (1 mg p.o.) am Vorabend und Midazolam (7,5 mg p.o.) am Morgen der Operation. Die Narkose wurde als TIVA mit den Pharmaka Propofol und Remifentanyl eingeleitet und aufrechterhalten. Während der Operation lagen die Infusionsraten des Propofol zwischen 4,2 und 8,3 mg/kg/h, die des Remifentanyl zwischen 0,07 und 0,16 µg/kg/min. Als Muskelrelaxans kam Rocuronium zum Einsatz. Der Blutdruck lag systolisch konstant zwischen 100 und 120 mmHg, diastolisch zwischen 50 und 60 mmHg. Die Sauerstoffsättigung war stabil bei Werten um 99%. Auch die übrigen Narkoseparameter lagen im gesamten OP-Verlauf in den Normalbereichen.

Abbildung 50 bis Abbildung 52 zeigen drei repräsentative intraoperative Messungen bei Intervallstimulation.

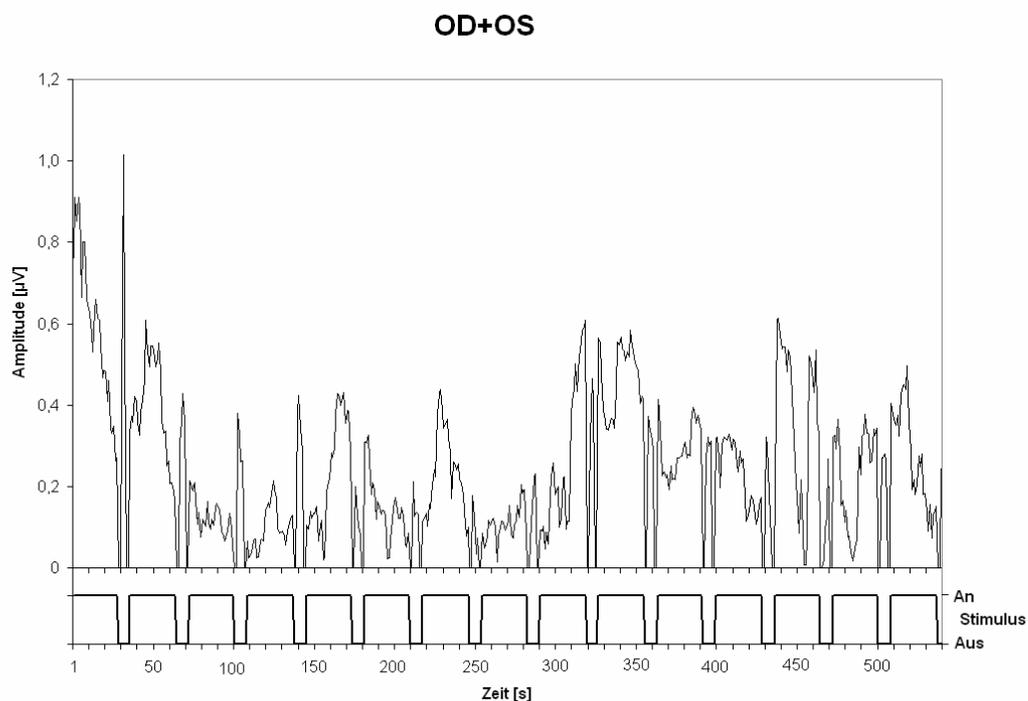


Abbildung 50. Intraoperative Messung der Patientin HB. Trenddiagramm der Amplitude. Binokulare Stimulation. 20 Mittelungen. Stimulationsintervall: 30 s, Stimulationspause: 5 s. Das Amplitudenniveau (<0,6 µV) ist trotz binokularer Stimulation deutlich niedriger als in den präoperativen Messungen (>2 µV)

Die Amplitude der Fundamentalantwort war intraoperativ deutlich niedriger als präoperativ. Präoperativ wurden konstant Amplituden größer als 2 µV verzeichnet, intraoperativ lag die Amplitude selbst bei binokularer Stimulation unter 0,5 µV.

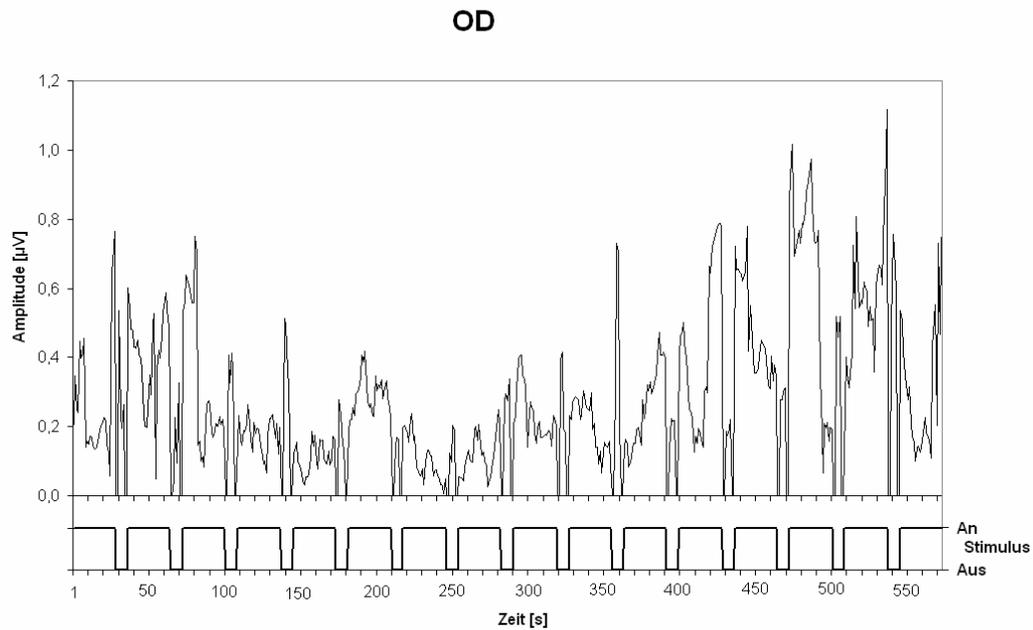


Abbildung 51. Intraoperative Messung der Patientin HB. Trenddiagramm der Amplitude. Stimulation des rechten Auges. 20 Mittelungen. Stimulationsintervall: 30 s, Stimulationspause: 5 s.

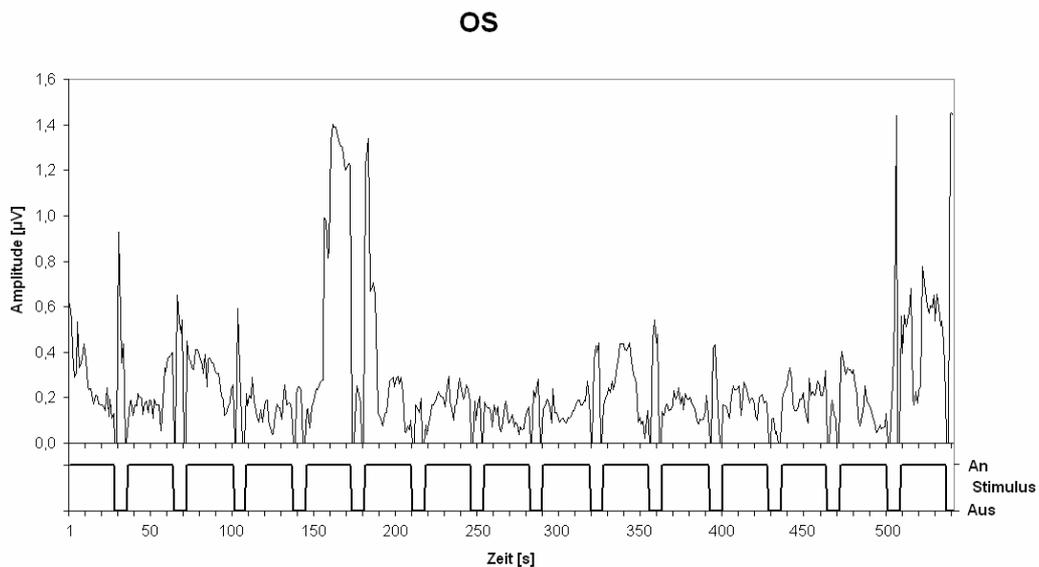


Abbildung 52. Intraoperative Messung der Patientin HB. Trenddiagramm der Amplitude. Stimulation des linken Auges. 20 Mittelungen. Stimulationsintervall: 30 s, Stimulationspause: 5 s.

Die Differenzierung von Signal und Rauschen wurde wie in den übrigen OP durch Unterbrechung der Messungen, anhand der spektralen Darstellung und der konventionellen Kurvenanalyse versucht. Es war zu keinem Zeitpunkt eine eindeutige

Unterscheidung zwischen Signal und Rauschen möglich. Aufgrund der geringen Signalgüte ließ sich ebenso wenig die Phasenlage der Fundamentalantwort bestimmen. Dennoch war die Operation erfolgreich und der postoperative Verlauf komplikationslos. Die in der augenärztlichen Kontrolluntersuchung durchgeführte Perimetrie war unauffällig.

Patientin PM

Die Patientin war zum Zeitpunkt der Untersuchungen 62 Jahre alt. Sie litt an einem linksseitigen frontobasalen Meningeom, an dem sie bereits 1983 und dann 1995 wegen eines Rezidivs operiert wurde. Die Wiedervorstellung erfolgte wegen subjektiver Sehverschlechterung des linken Auges. Die augenärztliche Untersuchung ergab folgenden Visus: OD 0,8 cc (cum correctione, nach Korrektur von Brechungsfehlern), OS 0,6 cc. Am Fundus des linken Auges war eine partielle Optikusatrophie zu beobachten. Abbildung 53 zeigt die präoperative 30°-Schwellenwertperimetrie. Auf dem linken Auge sind deutliche zentrozökale und temporale Ausfälle zu erkennen.

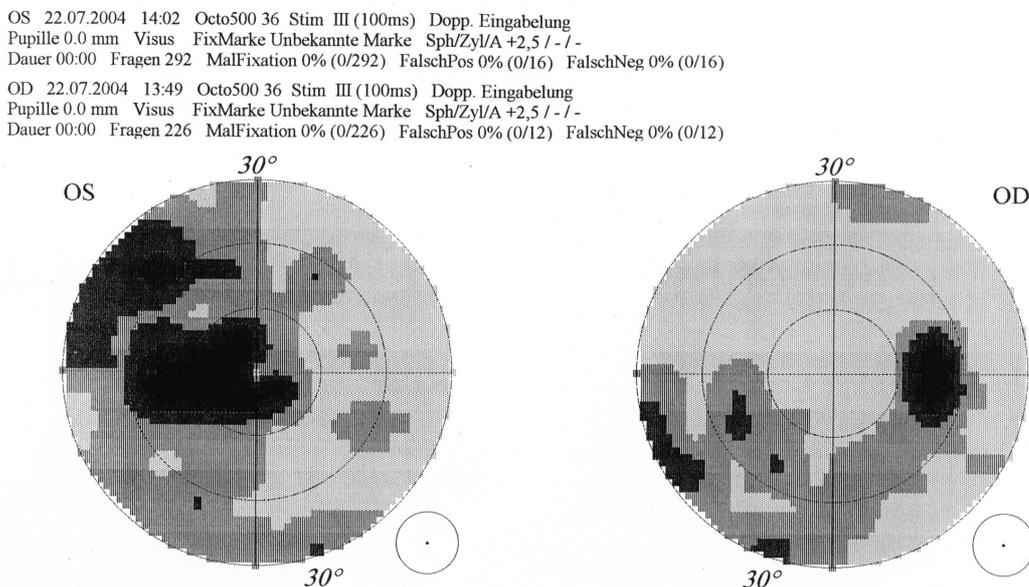


Abbildung 53. Präoperative 30°-Schwellenwertperimetrie der Patientin PM. Auf dem linken Auge sind deutliche zentrozökale und temporale Ausfälle zu erkennen. Mittlere Defekttiefe rechts 4,4 dB, links 7,0 dB.

Abbildung 54 und Tabelle 16 zeigen die präoperativ abgeleiteten transienten Muster-VEP. Hier fällt eine linksseitige Amplitudenverminderung und Gipfelatenzverlängerung des P100 auf.

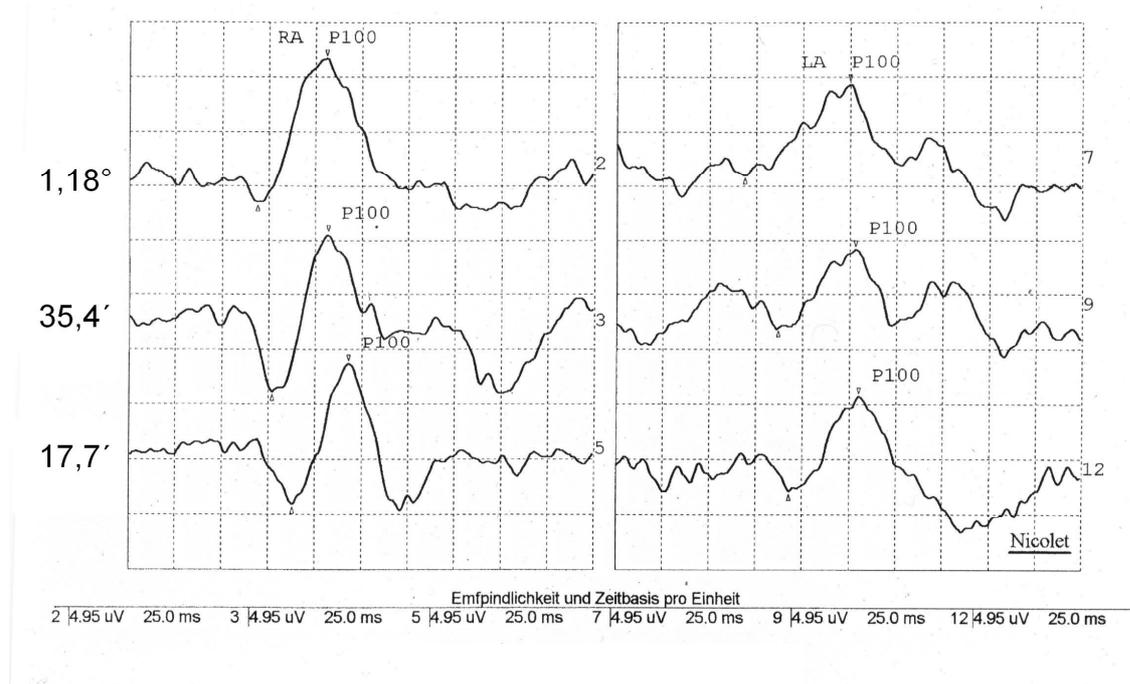


Abbildung 54. Präoperativ abgeleitete tVEP auf Musterstimulation, Patientin PM. Musterkantenlängen: 1,18°, 35,4' und 17,7'.

		OD	OS
1,18°	P100 Amplitude	13,29 µV	8,44 µV
	Gipfellatenz	106 ms	125 ms
35,4'	P100 Amplitude	14,36 µV	7,28 µV
	Gipfellatenz	107 ms	128 ms
17,7'	P100 Amplitude	12,91 µV	8,85 µV
	Gipfellatenz	118 ms	130 ms

Tabelle 16. P100-Amplitude und -Gipfellatenz der präoperativ abgeleiteten tVEP auf Musterstimulation, Patientin PM.

Die MRT und CT-Aufnahmen bestätigten den Verdacht eines erneuten Meningeomrezidivs frontobasal mit Kompression des Nervus opticus links.

Abbildung 55 und Abbildung 56 zeigen Amplitude und Phase zweier präoperativer Messungen im Seitenvergleich 5 Tage vor der Operation. Wie bei den transienten Muster-VEP ist die Amplitude bei rechtsseitiger Stimulation deutlich größer.

Die Patientin erhielt Midazolam (7,5 mg p.o.) als Prämedikation am Morgen der Operation. Die intraoperative VEP-Ableitung erfolgte in Mydriasis durch Applikation von Tropicamid/Phenylephrin auf die Bindehaut beider Augen.

Die Narkose wurde mit Propofol und Remifentanil eingeleitet und aufrechterhalten. Während der Operation lagen die Infusionsraten des Propofol zwischen 4 und 8 mg/kg/h, die des Remifentanil zwischen 0,09 und 0,2 µg/kg/min. Zur Aufrechterhaltung

wurde intermittierend zusätzlich das Inhalationsanästhetikum Isofluran in niedrigen Konzentrationen gegeben (0,2 Vol%). Als Muskelrelaxans wurde bolusweise Rocuronium verabreicht.

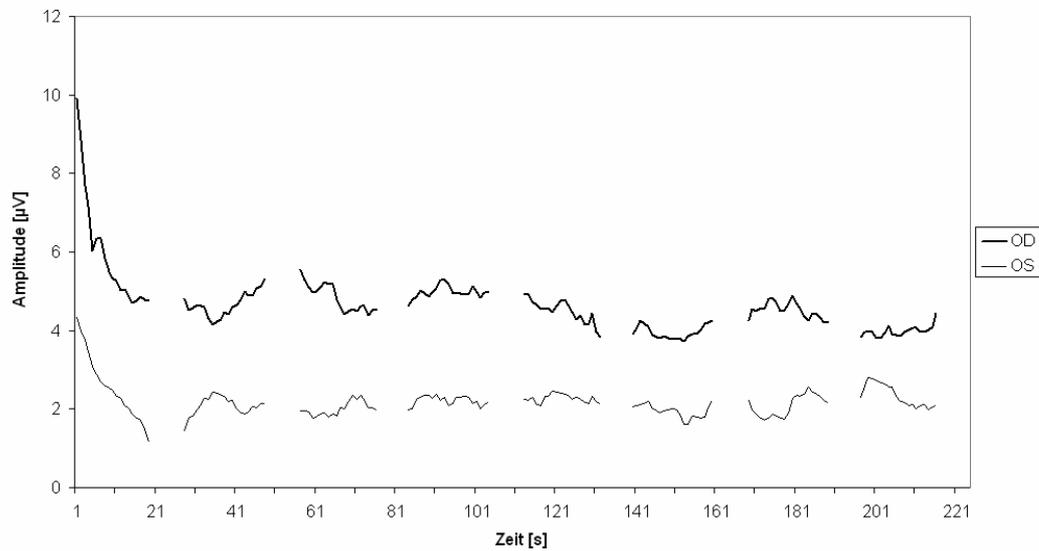


Abbildung 55. Präoperative Messung der Patientin PM. Trenddiagramm der Amplitude. Vergleich zwischen rechts- und linksseitiger Stimulation. 20 Mittelungen. Stimulationsintervall=22 s, Stimulationspause=5 s. Die Amplitude des Rauschens ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht abgebildet.

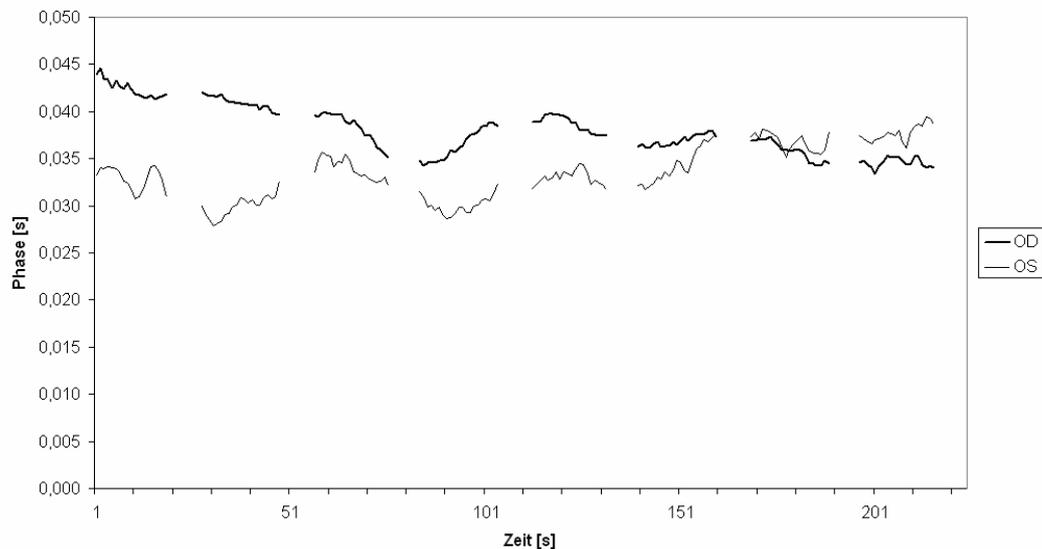


Abbildung 56. Präoperative Messung der Patientin PM. Trenddiagramm der Phase. Vergleich zwischen rechts- und linksseitiger Stimulation. 20 Mittelungen. Stimulationsintervall=22 s, Stimulationspause=5 s. Die Phasenlage des Rauschens ist aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht abgebildet.

Der Blutdruck lag systolisch zwischen 100 und 150 mmHg, diastolisch zwischen 40 und 70 mmHg, zumeist aber um 100/50 mmHg. Die Sauerstoffsättigung war stabil bei 100%. Die übrigen Narkoseparameter lagen in den Normbereichen.

Abbildung 57 und Abbildung 58 zeigen den Vergleich zwischen präoperativem und intraoperativem Zeitverlauf der Amplitude.

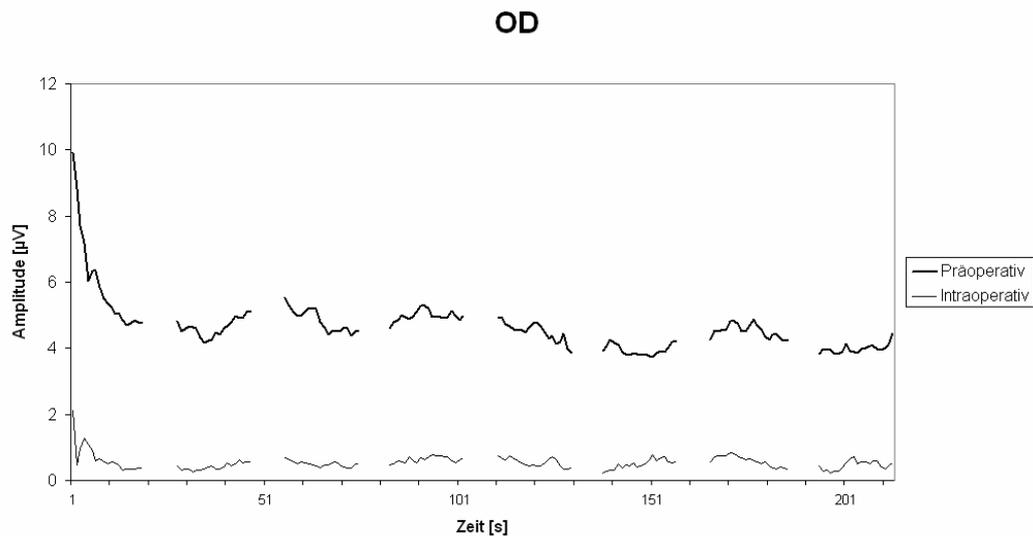


Abbildung 57. Vergleich zwischen prä- und intraoperativem Zeitverlauf der Amplitude, Patientin PM. Stimulation des rechten Auges. 20 Mittelungen. Stimulationsintervall=22 s, Stimulationspause=5 s.

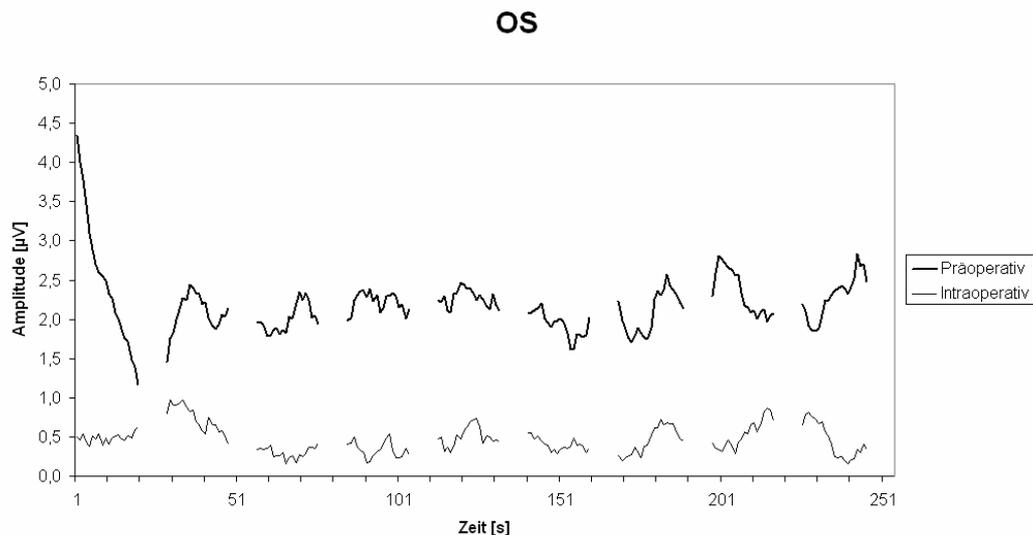


Abbildung 58. Vergleich zwischen prä- und intraoperativem Zeitverlauf der Amplitude, Patientin PM. Stimulation des linken Auges. 20 Mittelungen. Stimulationsintervall=22 s, Stimulationspause=5 s.

Unter Allgemeinanästhesie war die Amplitude der Fundamentalantwort deutlich geringer als während der präoperativen Messungen. Zudem konnte kein deutlicher und stabiler Unterschied zwischen Signal und Rauschen festgestellt werden.

Die Patientin wurde dennoch erfolgreich behandelt. Ein postoperatives Kontroll-CT zeigte zwar Reste des Meningeoms im Bereich der Siebbeinzellen und der linken Keilbeinhöhle, diese sollten aber ohnehin zu einem späteren Zeitpunkt durch einen HNO-Arzt reseziert werden.

Eine Woche nach der Operation wurde die augenärztliche Kontrolluntersuchung durchgeführt. Der Visus war auf dem linken Auge auf 0,7 cc angestiegen und die Perimetrie zeigte einen Rückgang der Ausfälle auf dem linken Auge (Abbildung 59).

OS 17.03.2005 14:35 Octo101 dCT1 (1) Stim III (100ms) Dynamic
 Pupille 6.1 mm Visus FixMarke Unbekannte Marke Sph/Zyl/A +2,0 / - / -
 Dauer 06:56 Fragen 200 MalFixation 0% (0/200) FalschPos 0% (0/10) FalschNeg 10% (1/10)
 OD 17.03.2005 14:26 Octo101 dCT1 (1) Stim III (100ms) Dynamic
 Pupille 5.8 mm Visus FixMarke Unbekannte Marke Sph/Zyl/A +2,25 / - / -
 Dauer 06:23 Fragen 197 MalFixation 1% (1/197) FalschPos 10% (1/10) FalschNeg 0% (0/10)

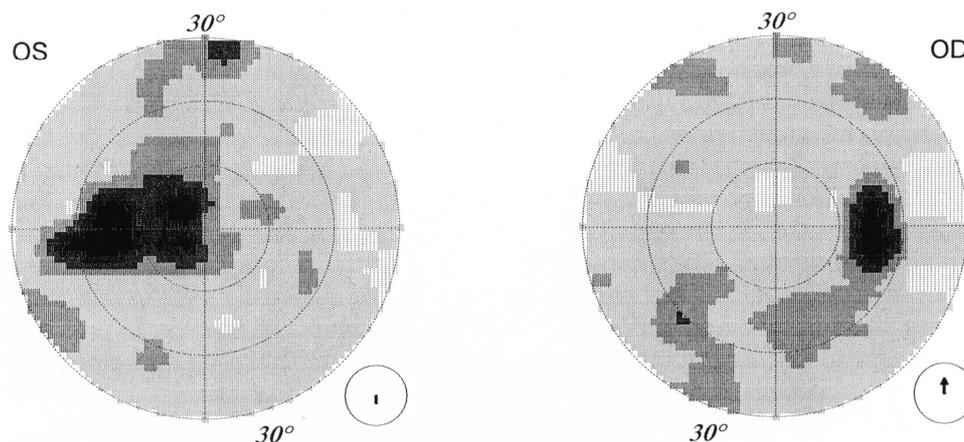


Abbildung 59. Postoperative 30°-Schwellenwertperimetrie der Patientin PM. Im Vergleich zur präoperativen Untersuchung ist auf dem linken Auge ein Rückgang der Ausfälle zu erkennen. Mittlere Defekttiefe rechts 2,3 dB, links 3,5 dB.

Patientin SO

Die Patientin war zum Zeitpunkt der Untersuchungen 43 Jahre alt. Sie litt an einem 14*13 mm großen suprasellären Meningeom linksseitig mit Pelottierung des Chiasma opticum. Kompressionsbedingt bestand außerdem eine Hypophysenvorderlappeninsuffizienz.

Die Patientin wurde zwei Tage vor der Operation eingehend augenärztlich untersucht. Der Visus betrug rechts 1,0 cc und links 0,8 cc. Das linke Auge zeigte einen relativen

afferenten Pupillendefekt (RAPD). Die Fundus beider Augen waren unauffällig, insbesondere war links keine Optikusatrophie zu beobachten.

Die statische 30°-Perimetrie zeigte linksseitig deutliche, rechts lediglich angedeutete temporale Ausfälle. Die mittlere Defekttiefe betrug rechts +3,4 dB, links +7,1 dB.

Abbildung 60 zeigt die präoperative 30°-Schwellenwertperimetrie beider Augen.

OS 29.03.2005 14:41 Octo101 dCT1 (1) Stim III (100ms) Dynamic
Pupille 4,9 mm Visus FixMarke Unbekannte Marke Sph/Zyl/A - / - / -
Dauer 06:37 Fragen 190 MalFixation 3% (5/190) FalschPos 0% (0/9) FalschNeg 0% (0/10)
OD 29.03.2005 14:31 Octo101 dCT1 (1) Stim III (100ms) Dynamic
Pupille 5,0 mm Visus FixMarke Unbekannte Marke Sph/Zyl/A - / - / -
Dauer 06:49 Fragen 186 MalFixation 2% (4/186) FalschPos 0% (0/9) FalschNeg 0% (0/10)

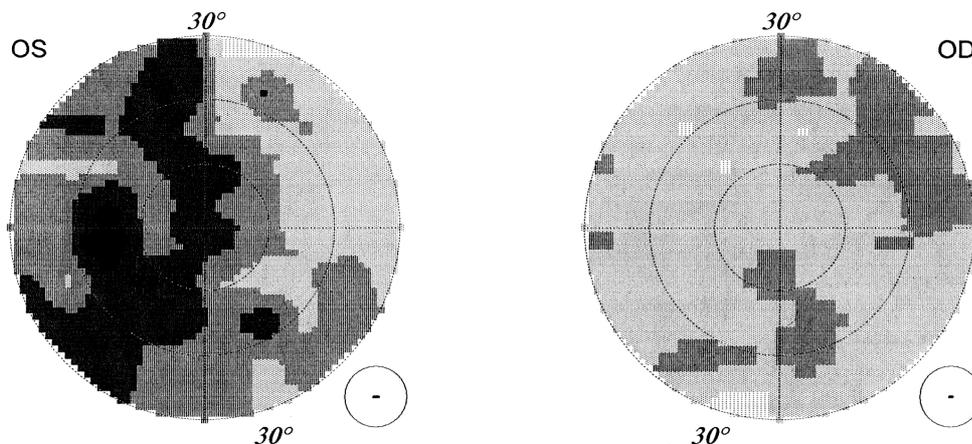


Abbildung 60. Präoperative 30°-Schwellenwertperimetrie der Patientin SO. Auf dem linken Auge sind mehr als rechts deutliche temporale Gesichtsfeldausfälle (inkomplette, inkongruente bitemporale Hemanopsie) zu erkennen. Mittlere Defekttiefe rechts 3,4 dB, links 7,1 dB.

Abbildung 61 und Abbildung 62 zeigen die präoperativen Messungen der Patientin im Seitenvergleich zwei Tage vor der Operation. Die Amplitude der Fundamentalantwort war beidseits vergleichsweise niedrig. Außerdem war kein deutlicher Niveauunterschied der Amplitude oder der Phase zwischen der stärker betroffenen und der weniger betroffenen Seite zu erkennen.

Als Prämedikation erhielt die Patientin 7,5 mg Midazolam p.o. am Morgen der Operation. Die Narkose erfolgte als TIVA mit den Pharmaka Propofol (3,4 bis 6,9 mg/kg/h) und Remifentanyl (0,1 bis 0,2 µg/kg/min). Die Muskelrelaxation erfolgte mit Rocuronium. Der systolische Blutdruck lag zwischen 90 und 140 mmHg, der diastolische zwischen 40 und 90 mmHg. Die Sauerstoffsättigung lag konstant bei 100%.

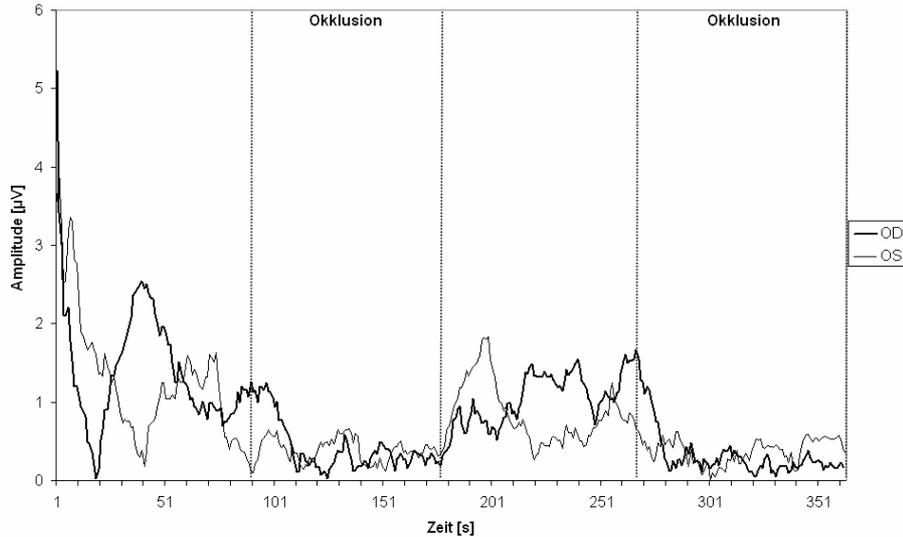


Abbildung 61. Präoperative Messung der Patientin SO. Trenddiagramm der Amplitude. Vergleich zwischen rechts- und linksseitiger Stimulation. 20 Mittelungen. Pausenlose Stimulation.

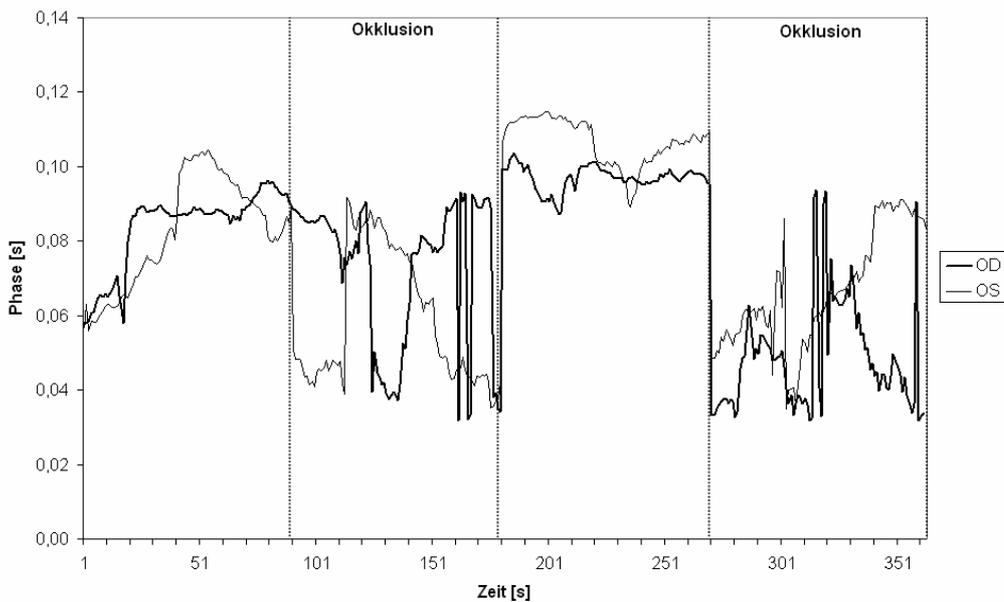


Abbildung 62. Präoperative Messung der Patientin SO. Trenddiagramm der Phase. Vergleich zwischen rechts- und linksseitiger Stimulation. 20 Mittelungen. Pausenlose Stimulation.

Nach Einleitung der Anästhesie, aber noch vor Beginn der Operation, wurde durch den Anästhesisten die Propofolzufuhr auf 0,05 mg/kg/h reduziert. Die in Abbildung 63 aufgeführte Messung wurde kurz nach Reduktion der Propofolzufuhr begonnen. Abbildung 64 zeigt die Mittelwerte der Amplitude der Stimulationsintervalle (Signal) und der Stimulationspausen (Rauschen) dieser Messung. Auffällig an dieser Messung ist,

dass das die Amplitude beständig über der des Rauschens lag, sowie der Gipfel gegen Ende. Die Amplitude des Signals stieg deutlicher an als die des Rauschens. Kurze Zeit nach Beginn dieses Anstiegs wurde die Propofolzufuhr wieder auf 5 mg/kg/h erhöht. Nach einigen Minuten waren Signal und Rauschen selbst bei Darstellung der Mittelwerte nicht mehr zu differenzieren (Abbildung 65).

OD

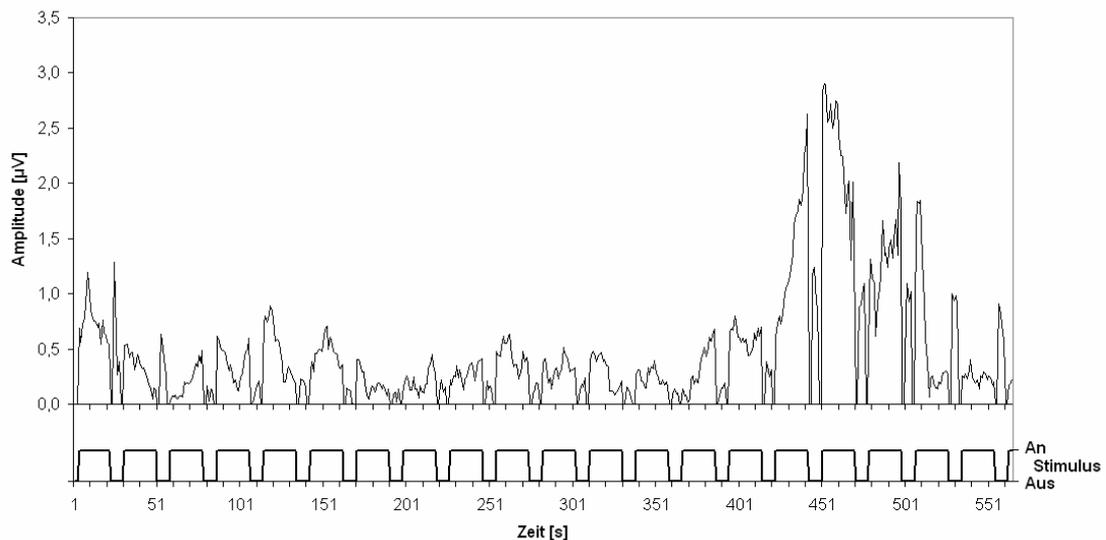


Abbildung 63. Messungen der Patientin SO in Allgemeinanästhesie aber vor Operationsbeginn. Trenddiagramm der Amplitude bei rechtsseitiger Stimulation. Stimulationsintervall 20 s, Stimulationspause 5 s, 20 Mittelungen. Die Propofolzufuhr wurde kurz vor Beginn der Messung auf 0,05 mg/kg/h reduziert. Bei Auftreten des Peaks gegen Ende der Messung wurde das Propofol wieder auf 5 mg/kg/h erhöht.

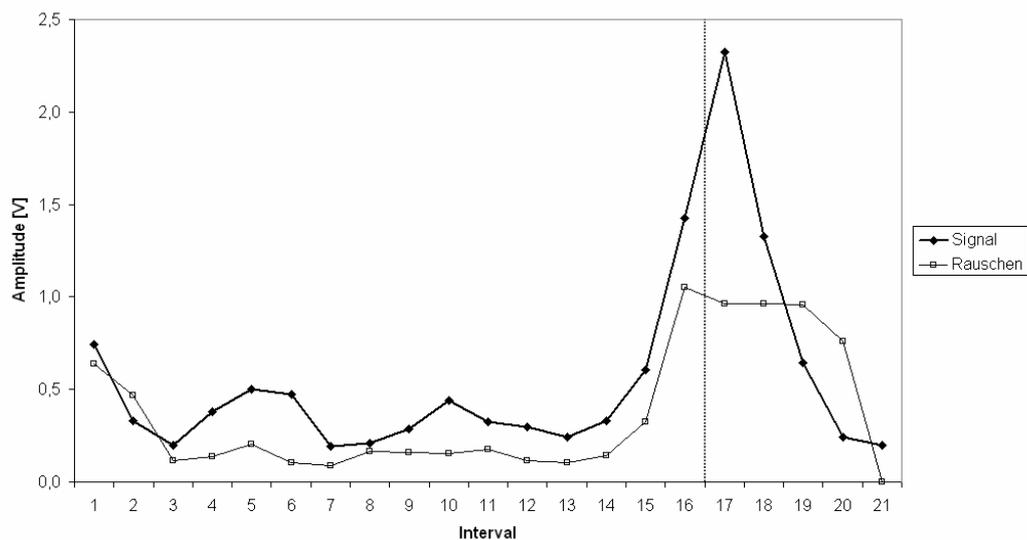


Abbildung 64. Messungen der Patientin SO in Allgemeinanästhesie aber vor Operationsbeginn. Mittelwerte der Amplitude für jedes Stimulationsintervall (Signal) und jede Stimulationspause (Rauschen).

Während der übrigen Messungen fiel auf, dass sich die Amplitude während der Stimulationsintervalle und der Stimulationspausen ähnlich verhielt. Außerdem zeigte die Fundamentalantwort bei binokularer Stimulation keine größere Amplitude als bei monokularer Stimulation.

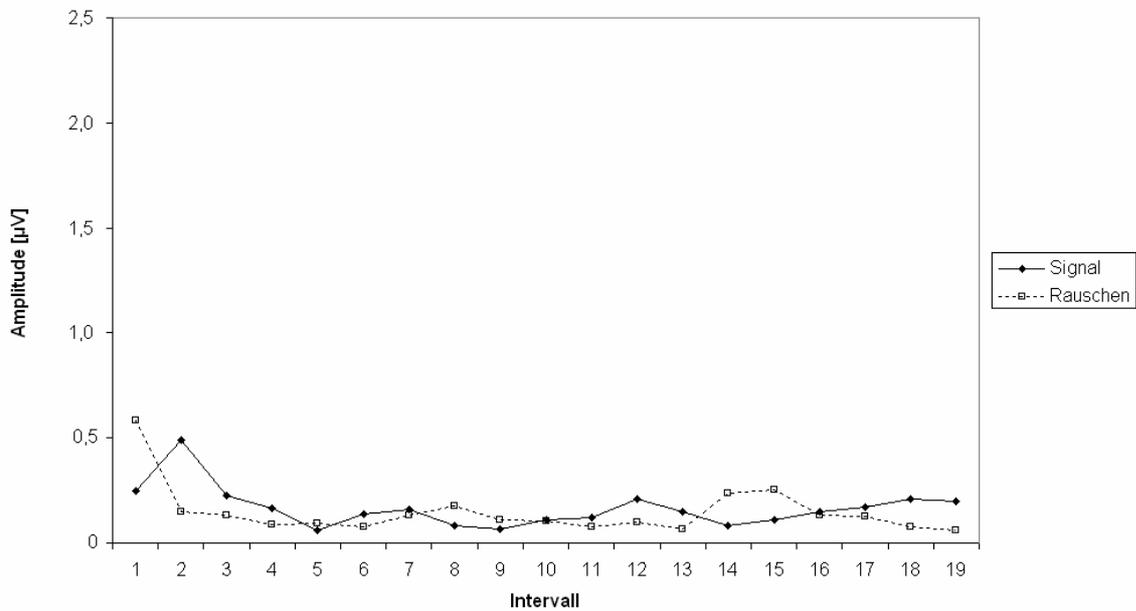


Abbildung 65. Messungen der Patientin SO in Allgemeinanästhesie unter regulärer Propofolzufuhr. Mittelwerte der Amplitude für jedes Stimulationsintervall (Signal) und jede Stimulationspause (Rauschen). Stimulation des rechten Auges. Stimulationsintervall 20 s, Stimulationspause 5 s, 20 Mittelungen. Die Skalierung entspricht derjenigen in Abbildung 64.

OS 01.06.2005 11:48 Octo101 dCT1 (1) Stim III (100ms) Dynamic
 Pupille 3.7 mm Visus FixMarke Unbekannte Marke Sph/Zyl/A - / - / -
 Dauer 06:56 Fragen 197 MalFixation 1% (1/197) FalschPos 0% (0/10) FalschNeg 0% (0/10)
 OD 01.06.2005 11:38 Octo101 dCT1 (1) Stim III (100ms) Dynamic
 Pupille 4.8 mm Visus FixMarke Unbekannte Marke Sph/Zyl/A - / - / -
 Dauer 06:34 Fragen 187 MalFixation 1% (1/187) FalschPos 22% (2/9) FalschNeg 0% (0/10)

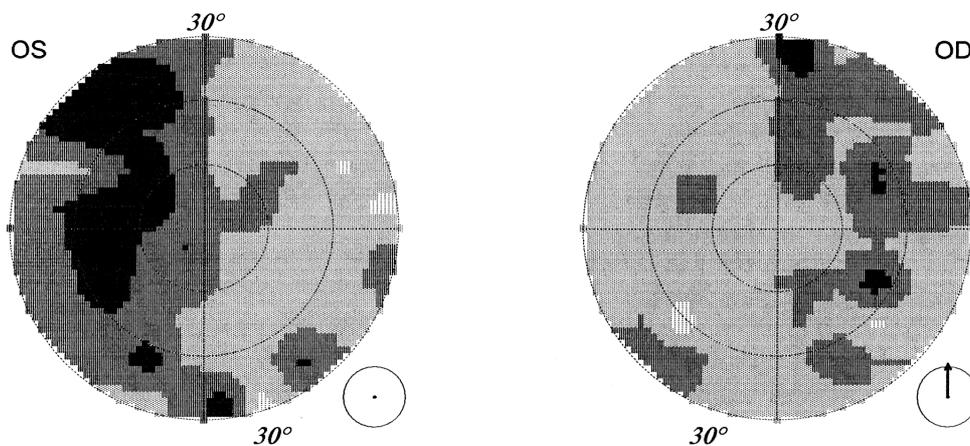


Abbildung 66. Postoperative 30°-Schwellenwertperimetrie der Patientin SO. Im Vergleich zur präoperativen Untersuchung sind die linksseitigen Ausfälle leicht regredient. Mittlere Defekttiefe rechts +3,9 dB, links +5,8 dB.

Der Eingriff verlief erfolgreich und das Meningeom konnte vollständig entfernt werden. Zwei Monate nach der Operation waren die linksseitigen Skotome in der Schwellenwertperimetrie rückläufig, die mittlere Defekttiefe betrug nur noch 5,8 dB (Abbildung 66). Ein RAPD war nicht mehr nachweisbar.

Patient WH

Der Patient war zum Zeitpunkt der Untersuchungen 35 Jahre alt. Er litt seit dem 29. Lebensjahr an einer zunehmend pharmakoresistenten fokalen Epilepsie des rechten Temporallappens mit vegetativen Auren und automotorischen Anfällen. Er wurde zur Amygdalohippocampektomie aufgenommen.

Abbildung 67 und Abbildung 68 zeigen die Messungen am Tage vor der Operation.

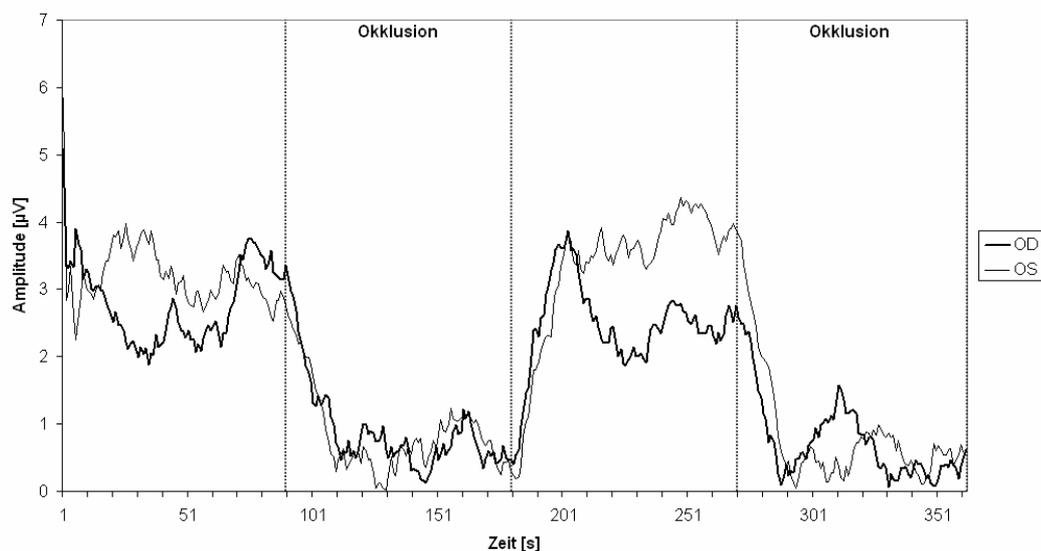


Abbildung 67. Präoperative Messungen des Patienten WH. Trenddiagramm der Amplitude für rechts- und linksseitige pausenlose Stimulation.

Der Patient wurde mit 7,5 mg Midazolam p.o. am Morgen der Operation prämediziert. Die Narkose wurde mit intravenös applizierten Pharmaka eingeleitet und als Kombinationsnarkose aufrechterhalten. Eingesetzt wurden Propofol (5,9 bis 7 mg/kg/h), Remifentanyl (0,1 bis 0,2 µg/kg/min), Isofluran (0,4 bis 0,7 Vol%) und Rocuronium (Bolusgaben). Der systolische Blutdruck lag zwischen 100 und 120 mmHg, der diastolische zwischen 50 und 70 mmHg. Die Sauerstoffsättigung lag konstant bei 99%.

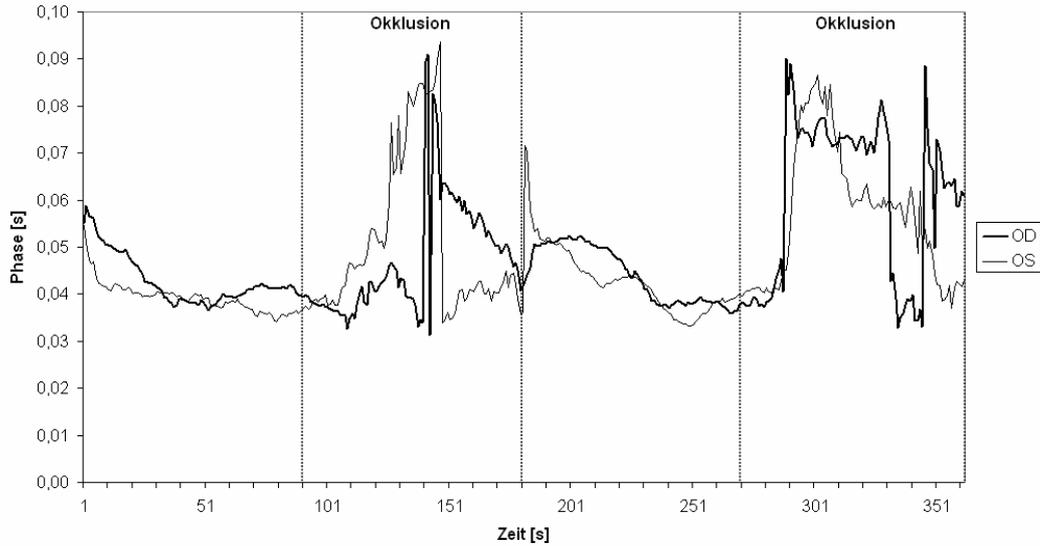


Abbildung 68. Präoperative Messungen des Patienten WH. Trenddiagramm der Phase für rechts- und linksseitige pausenlose Stimulation.

Abbildung 69 zeigt die Amplitudenmittelwerte der einzelnen Intervalle einer repräsentativen intraoperativen Messung bei binokularer Stimulation sowie.

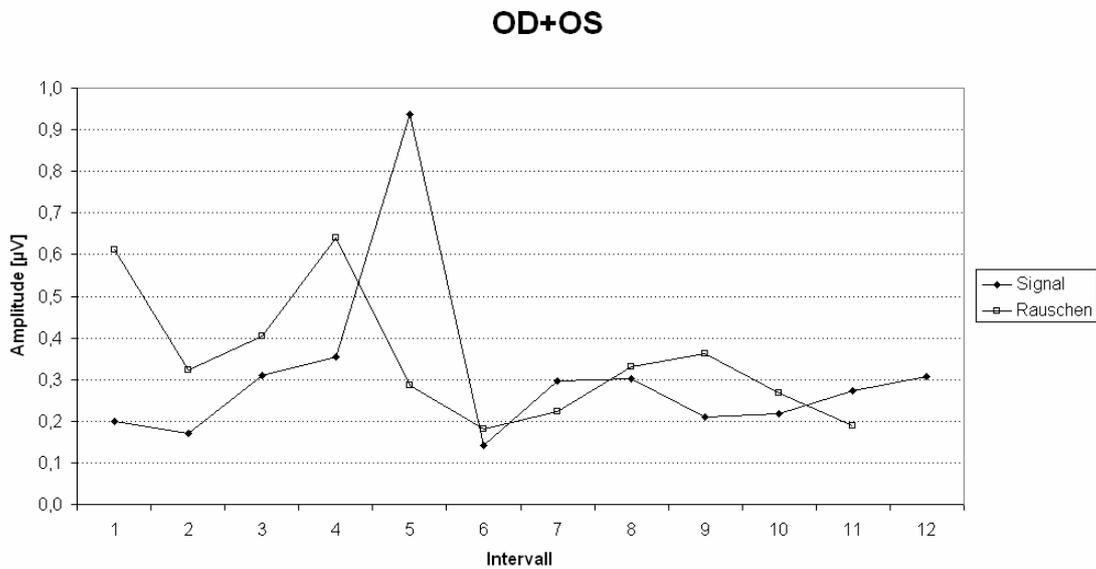


Abbildung 69. Intraoperative Messung des Patienten WH. Mittelwerte der Amplitude für jedes Stimulationsintervall (Signal) und jede Stimulationspause (Rauschen).

Abbildung 70 zeigt eine weitere intraoperative Messung bei binokularer Stimulation, allerdings ohne dynamische Mittelung. Abbildung 71 zeigt das während der Operation auf der Stimulationsfrequenz abgeleitete Rauschen ohne Stimulation und ebenfalls ohne Mittelung. Diese beiden Messungen wurden mit dem U-Test nach Mann und

Whitney analysiert. Die während der Stimulation gemessenen Amplitudenwerte der Fundamentalantwort wurden mit einer gleichen Anzahl an Amplitudenwerten des Rauschens bei 16 Hz verglichen. Es wurde festgestellt, dass das Signal signifikant größer als das Rauschen ist ($p < 0,01$).

Während der Operation konnte aber zu keinem Zeitpunkt ein stabiler und deutlicher Unterschied zwischen Signal und Rauschen festgestellt werden. Wie bei den anderen Patienten wurde die Signalgüte anhand der konventionellen Kurvendarstellung und des Spektrums sowie durch den Vergleich Stimulation/Pause beurteilt.

Es sei daran erinnert, dass die beschriebene Methodik die eindeutige ad-hoc Unterscheidung zwischen Signal und Rauschen auch unter Narkose und darauf aufbauend eine sofortige und einfache Erkennung von Funktionsänderungen ermöglichen sollte. Eine statistische Signalanalyse a posteriori bietet letztlich keine suffiziente funktionelle Beurteilung.

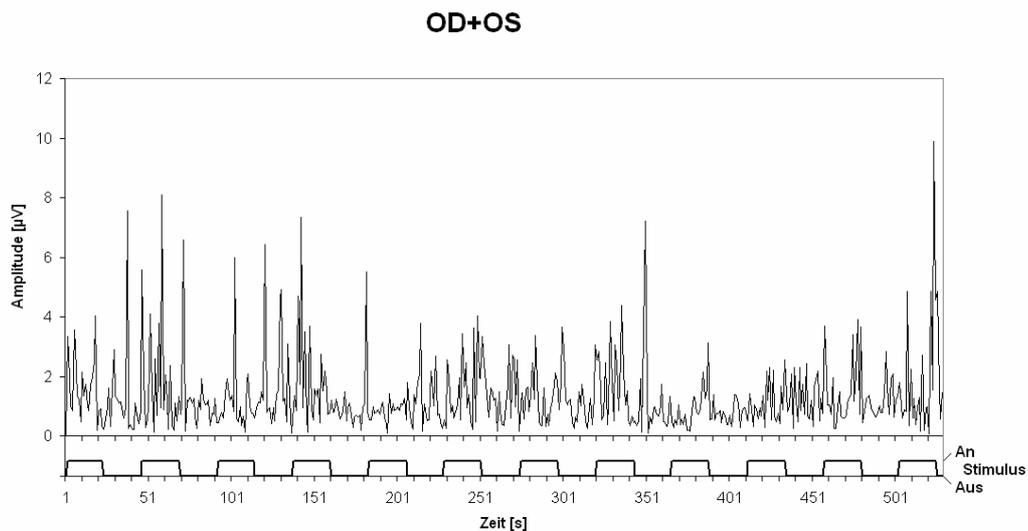


Abbildung 70. Intraoperative Messung des Patienten WH. Amplitude der Fundamentalantwort auf binokulare Stimulation. Stimulationsintervall: 20 s, Stimulationspause 20 s. Keine Mittelung (Rohsignal).

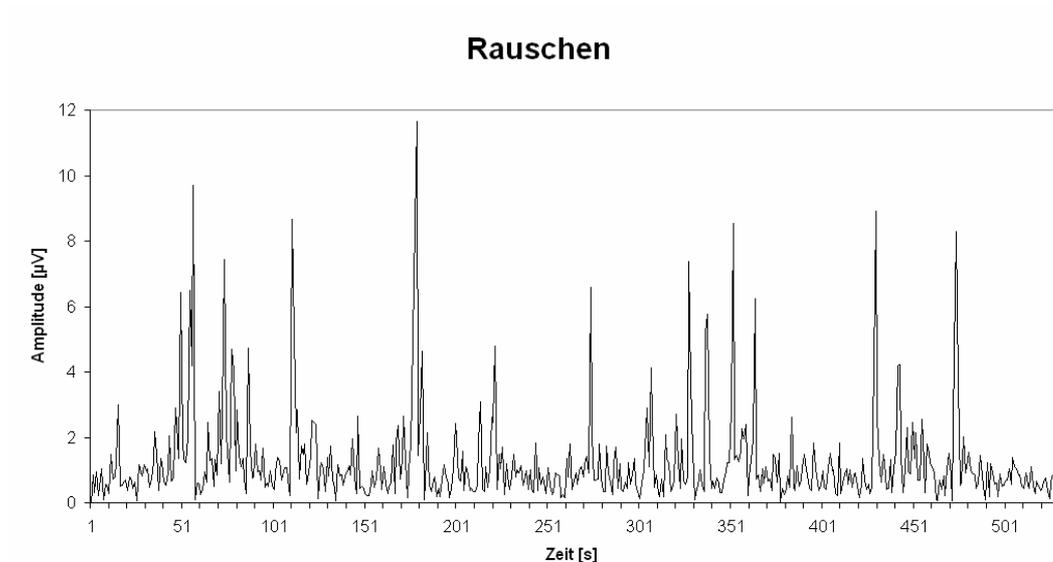


Abbildung 71. Intraoperative Messung des Patienten WH. Aufzeichnung der Amplitude des Rauschens bei 16 Hz. Keine Mittelung (Rohsignal).

Nicht dokumentierte Patientenmessungen

Weitere 6 Patienten wurden mit früheren Versionen der IOM-Software untersucht. In diesen Versionen fehlte die Möglichkeit des Exportes der aufgezeichneten Daten, daher können diese Messungen in der vorliegenden Arbeit nicht präsentiert werden.

Die oben ausführlich dargestellten prä- und intraoperativen Patientenmessungen können aber als repräsentativ für alle vorgenommenen Patientenmessungen betrachtet werden. Bei den nicht dokumentierten Patientenuntersuchungen war trotz guter präoperativer Ableitbarkeit ebenso wenig eine intraoperative Funktionsbeurteilung möglich.