



Charité - Universitätsmedizin Berlin
Centrum für Physiologie – CCM
Physiologisches Praktikum



ZNS

Saal 340

H. Alle, B. Marquez-Klaka

Name:

Vorname:

Sem.-Gr.:

Jahr:

Vorbereitung auf das Physiologie-Praktikum

Auszug aus der Lehrveranstaltungsordnung für das Praktikum der Physiologie, §2
Zugang zur Lehrveranstaltung:

„Nichterscheinen am ersten Lehrveranstaltungstag führt zum Verlust des Lehrveranstaltungsplatzes, es sei denn, der/die Student/Studentin...“

Weitere Hinweise zum Physiologischen Praktikum:

1. Bitte Garderobe, Taschen usw. im Garderobenfach deponieren und abschließen.
**Garderobe, Taschen usw. dürfen nicht im Praktikumssaal abgestellt werden.
Unfallgefahr! Arbeitsschutz!**
2. Bitte weißen Kittel zum Praktikum mitbringen (Ausnahme: Sinnesaal I) und anziehen (Arbeitsschutz!)

Praktikumsort:

Charité - Universitätsmedizin Berlin, CCM
Centrum für Physiologie
Physiologisches Praktikum
Virchowweg 6

Gebäude CCO
Ebene 01

Wo finde ich die theoretischen Hintergründe zum Praktikum? (Lehrbücher)	05
Beschreibung der Versuche, Versuchsprotokolle	06

Was sollte ich nach dem Praktikum wissen / können?

- Unterschiede zwischen Synaptischen Potenzialen (EPSP, IPSP) und Aktionspotenzialen (AP) erklären können
- Zelluläre Grundlagen der kortikalen Informationsverarbeitung (Schichten, Neuronenklassen, afferente und efferente Verbindungen, Neurotransmitter, Rezeptoren) benennen können
- Begriff der kortikalen Summenaktivität definieren können, Konventionen dazu kennen
- Beziehung zw. Einzelzell- und Summenaktivität, Signalamplituden beschreiben können
- Mechanismen der Rhythmusgenerierung und Synchronisation des EEGs erläutern können
- Messung eines (einfachen) EEGs und evozierter Potenziale durchführen können
- Nicht-invasive Stimulation kortikaler Neurone mittels transkranieller Magnetstimulation (TMS) zur Messung kortikomuskulärer Leitungszeiten durchführen können
- Sensomotorische Reaktionszeiten (auditorisch und visuell) kennen und Abschätzungen zentraler Verarbeitungszeiten für einfache Aufgaben durchführen können

Die vollständige Liste der Lernziele zum Thema ZNS sowie anderer für das Verständnis von Praktikumsinhalten wichtigen Themen (Sensorik, Signaltransduktion, Erregung, synaptische

Transmission, Muskel) finden Sie im Blackboard der Charité:

<https://lms.fu-berlin.de/webapps/portal/index.jsp?mandant=CUB>.

Wo finde ich die theoretischen Hintergründe?

In den gängigen Lehrbüchern (empfohlene Kapitel fettgedruckt):

Klinke, Pape, Kurtz Silbernagl, 6. Auflage (2010), Thieme Verlag

Kapitel 3 Membranpotenzial und Signalübertragung in Zellverbänden,
Kapitel 4.1 Skelettmuskel, Kapitel 17 Das zentrale Nervensystem,
Kapitel 23.5 Motorische Areale der zerebralen Kortex, Kapitel 25.2 Organisation
des Cortex cerebri, **Kapitel 26** Wachheit und Schlaf: Rhythmen des Gehirns im
Muster des Elektroenzephalogramms

Schmidt, Lang, 30. Auflage (2007), Springer Verlag

Kapitel 4.6 Aktionspotenziale, Kapitel 5 Erregungsleitung und synaptische
Übertragung, Kapitel 6.3 Kontraktionsaktivierung im quergestreiften Muskel,
7.8 Funktionelle Organisation der motorischen Rindenfelder, **Kapitel 8** Allgemeine
Physiologie der Großhirnrinde, **Kapitel 9.5** Subkortikale Aktivierungssysteme

Speckmann, Hescheler, Köhling, 5. Auflage (2008), Urban & Fischer Verlag

Kapitel 2.2-2.5 Aktionspotenzial, Erregungsleitung, Erregungs-
übertragung, Erregungsausbreitung im Neuronenverband, Kapitel 4.4.1 Primärer
motorischer Kortex, **Kapitel 5.1** Hirnfunktionen im Spiegel des EEG, Kapitel 5.4.1-
5.4.2 Gliederung des Kortex, Informationsverarbeitung im Kortex

Oder entsprechende Kapitel in Kurzlehrbüchern.

Praktikumsversuche und Protokolle

1. Bestimmung der Reaktionszeiten nach akustischer oder optischer Stimulation

1.1 Experimenteller Ansatz

Hierbei handelt es sich um audio-motorische und visuo-motorische Reaktionen. Im ersten Teil des Versuchs sind die Zeiten zwischen dem Auftreten eines akustischen bzw. optischen Signals und dem Drücken einer Taste durch den Probanden zu ermitteln (Reaktionszeit). Im zweiten Teil des Versuchs muß der Proband nach Erscheinen eines Reizes auf dem rechten oder linken Ohr bzw. in der rechten bzw. linken Hälfte des Bildschirms (Wo?) und nach Erscheinen des einen oder anderen Reizes (Was?) die rechte bzw. linke Taste drücken (Wahlzeit). Der Versuch wird am Rechner durchgeführt. Die optischen Reize werden über den Monitor dargeboten, die akustischen über einen Kopfhörer (**VORSICHT:** Lautstärke des Signals sollte angemessen sein, s. u.). Die Zeit zwischen den Reizen variiert stochastisch, so daß automatische rhythmische Antworten vermieden werden. Die Antwortreaktion besteht im Drücken einer Maustaste.

Die Reaktionszeitversuche wurden mit Hilfe der frei zugänglichen, in der Wissenschaft (Psychophysik, Psychologie, Verhaltensforschung) verwendeten Software DmDX (Forster K. I. & Forster J. C. (2003) DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers 35, 116-124.) erstellt. Eine detaillierte Anweisung zur Versuchsdurchführung finden Sie jeweils, wenn Sie das Protokoll starten.

1.2 Versuchsdurchführung

Schließen Sie bitte als erstes alle auf dem PC Ihres Arbeitsplatzes laufenden Anwendungsprogramme. Verbinden Sie den bereitgestellten Kopfhörer mit der Audiobuchse des PCs oder Monitors. Auf dem Desktop finden Sie im Ordner **Reaktionszeittests** das Programm DmDX. Starten Sie dieses durch Doppelklick. Unter „Browse“ (rechts oben im zentral angezeigten Fenster) finden Sie die nummerierten Protokolle der einzelnen Versuche. Arbeiten Sie diese bitte in der Reihenfolge der Nummerierung ab. Wählen Sie ein Protokoll per Doppelklick und starten es dann durch „Run“ (im zentralen Fenster links). Am Ende eines Durchgangs speichern Sie bitte die Daten (sie müssen nur das Speichern der Daten bestätigen). Beachten Sie bitte, daß die Windows-Lautstärkeeinstellung (rechts unten in Taskleiste) ungefähr bei einem Drittel des

Maximums steht, sonst ist das akustische Signal zu laut oder zu leise. (ggf. können Sie die Lautstärke über den Regler am unteren des Monitors einstellen)

Die Protokolle **mit** Anzeige der erzielten Reaktionszeit („mit Feedback“) dienen Ihrem Training, bitte notieren Sie sich hier die einzelnen erzielten Zeiten des jeweils ersten Durchgangs (im Anschluß an den Durchgang), damit Sie Ihre Lernkurve erkennen. Bei den übrigen Durchgängen wird die erzielte Reaktionszeit nicht mehr angezeigt, mit Hilfe der Auswerteanwendung „Auswertung.xls“ (finden Sie im Ordner Reaktionszeittests) erhalten Sie neben den Einzelzeiten unmittelbar Mittelwert und Standardabweichung (auf der ersten Seite den Button/Knopf „Daten importieren“ drücken), die Sie dann ebenfalls in die Tabelle eintragen.

1.3 Auswertung

Die Reaktionszeiten **aus den jeweils ersten** Durchgängen auditorisch und visuell sind als Lernkurve graphisch darzustellen (erzielte Reaktionszeit über Testreiz in chronologischer Reihenfolge von links nach rechts).

Lernkurven:

Reaktionszeiten:

Zeiten in ms	auditor.	visuell	auditor. +visuell	Wahl auditor. re/li	Wahl visuell: Wo?	Wahl visuell: Was?
Mittelwert						
SD						
Differenzierungszeit						

Als Differenzierungszeiten werden von den Wahlreaktionszeiten die einfachen Reaktionszeiten subtrahiert.

2. Aufzeichnung und Analyse des Elektroenzephalogramms (EEG)

2.1 Messprinzip

Zwischen den Nervenzellen im Neokortex, deren Aktivität mit dem EEG registriert wird, und den Ableitorten auf der Kopfhaut liegen Gewebe und Flüssigkeitsräume (Hirnhäute, Liquorraum, Gefäße, Knochen, Haut), die die extrazellulären Korrelate der an den Dendriten generierten synaptischen Potenzialänderungen weiterleiten, aber auch stark abschwächen. Deshalb muß die kortikale Summenaktivität zunächst verstärkt werden (PowerLab 4/25T), dann in digitale Signale gewandelt werden (Analog/Digital-Wandler, PowerLab 4/25T), um mittels des PCs (Programm *Chart* auf dem Desktop) dargestellt und ausgewertet werden zu können. Die Signale werden im Praktikumsversuch mit einer Frequenz von 1 kHz abgetastet und digitalisiert (maximale Amplitudenauflösung 16 Bit oder 65536 ($= 2^{16}$) Amplitudenteile). Um die Auswertung und Darstellung zu erleichtern, werden die Messspuren digital gefiltert, mit einer unteren Grenzfrequenz von 0,3 Hz (Hochpaßfilter: schneidet alle Frequenzen unterhalb von ca. 0,3 Hz ab) und einer oberen von 500 Hz (Tiefpassfilter: schneidet alle Frequenzen oberhalb von ca. 500 Hz ab).

2.2 Anlegen der Elektroden

Grundsätzlich unterscheidet man monopolare von bipolaren Ableitungen (pseudounipolare Ableitung siehe Kapitel EKG). Bei monopolaren Ableitungen befindet sich eine Elektrode über erregbarem Gewebe, die zweite über nicht erregbarem Gewebe (z. B. Mastoid). Das bedeutet, daß Signale als Differenz jeweils zwischen einem der konventionellen Ableitorten für ein Standard-EEG und dem Mastoid (Referenzelektrode) abgeleitet werden. Bei der bipolaren Ableitung befinden sich beide Elektroden über erregbarem Gewebe, bzw. hier werden Signale als Differenz zwischen zwei der konventionellen Ableitorten für ein Standard-EEG gemessen.

Wir bringen eine Elektrode über dem visuellen Kortex, zwei andere über der Stirn (genauer gesagt über den Stirnhöhlen) an. Die okzipitale Elektrode wird ca. 1 - 2 cm kranial und lateral der Protuberantia occipitalis externa angebracht, die Stirnelektroden sind zum einen die Elektrode, gegen die die Signale aus dem okzipitalen Kortex gemessen werden, zum anderen eine Erdungselektrode. Sie verwenden Knopfelektroden, die auf die Kopfhaut aufgesetzt und mittels Gummibändern fixiert werden (in der Klinik mit einer EEG-Haube). Um den Übergangswiderstand zwischen Kopfhaut und Ableitelektrode, der $< 5 \text{ k}\Omega$ sein sollte, möglichst niedrig zu halten, wird die Kopfhaut an den vorgesehenen Ableitstellen mit einer Peelingcreme aufgeraut und entfettet. Um den

Kopf legen Sie nun ein Gummiband, unter das Sie die mit einer speziellen Elektrodenpaste beladenen Ableitelektroden an die vorpräparierten Stellen schieben (das Gummiband nicht zu fest fixieren. Das dicke graue Kabel, das die dünnen Kabel der Ableitelektroden mit dem A/D-Wandler verbindet, besitzt auf Probandenseite (Verbindung Elektrodenkabel - dickes Kabel) eine Kennzeichnung der Elektrodensteckplätze. „Neg.“ bringen Sie bitte okzipital (als „aktive“ Elektrode unserer unipolaren Ableitung), „Pos.“ (als Referenzelektrode) und „Ground“ (Erdung) stirnseitig an, die Farbe der dünnen Kabel ist irrelevant.

Bitte belassen Sie die Elektroden aus dem EEG-Versuch, dieselbe Konfiguration wird für den VEP-Versuch (Messung der visuell evozierten Potenziale) benötigt!

2.3 EEG-Registrierung

PC, PowerLab 4/25T und Drucker sind bereits eingeschaltet. Nachdem die Elektroden am Probanden angebracht wurden, rufen Sie auf der Arbeitsoberfläche (Desktop) „EEG“ auf. Auf dem Bildschirm erscheinen mehrere Fenster, allerdings noch ohne Messspuren. Klicken Sie jetzt auf „Start“. Kontrollieren Sie zunächst, ob die Ableitung frei von Störungen ist. Ist dies der Fall, können Sie mit dem Protokoll beginnen, ist dies nicht der Fall, versuchen Sie, die Störungen zu beseitigen (Elektrodensitz und -kontakt, Einstreuung).

Ihr Versuchsprotokoll besteht aus 3 Teilen:

Sie betrachten zunächst Artefakte, die durch erregbares Gewebe verursacht werden, das außerhalb Ihres ZNS liegt, dann beobachten Sie, wie sich die Schreckreaktion (Startle-Reflex) bei Wiederholung eines (irrelevanten) akustischen Reizes abschwächt (Habituation), und zuletzt versuchen Sie, den Berger-Effekt zu reproduzieren. Dabei analysieren Sie die Veränderungen des EEGs beim Übergang vom konzentrierten Wachzustand zum entspannten Wachzustand und umgekehrt. Sie können Textmarken mit Hilfe der Funktionstasten F1 bis F12 setzen, um die EEG-Aktivität den jeweiligen Bedingungen zuzuordnen (Belegung siehe Fenster oder auf am Platz ausliegendem Blatt).

Mögliche Artefakte bei der EEG-Registrierung

Ziehen Sie kurz die dünnen Elektrodenkabelstecker der Stirnableitungen aus dem Anschluß am dicken grauen Kabel. Woher rührt dieses Artefakt?

Lassen Sie den Probanden während der Ableitung die Zähne zusammenbeißen (F1) und Lidschläge ausführen (F2). Woher rühren die beobachteten Artefakte?

Lassen Sie den Probanden während der Ableitung nach oben (F3), unten (F4), links (F5), rechts (F6) blicken. Woher rühren die beobachteten Artefakte?

Habituation

Als nächstes lassen Sie den Probanden ruhig, entspannt mit geschlossenen Augen sitzen. Schlagen Sie mit dem Praktikumsskript o.ä. flach und möglichst laut auf den Tisch. Wie verhält sich der Proband unmittelbar nach dem 1. akustischen Reiz (F9), und wie wirkt sich das auf das EEG aus? Wiederholen Sie nun den Reiz noch dreimal in unregelmäßigen Abständen (F10 – F12). Wie verhalten sich die EEG-Veränderungen nach jedem weiteren Reiz?

Berger-Effekt

Da Sie nun verschiedene Artefaktmöglichkeiten kennen, sollten Sie in der Lage sein, ein möglichst artefaktfreies EEG abzuleiten. Der Proband sitzt entspannt vor dem Monitor und verfolgt aufmerksam sein EEG. Dann soll er - weiterhin möglichst entspannt - seine Augen schließen (F7) und diese für ca. 20 Sekunden geschlossen halten, um sie dann auf Kommando wieder zu öffnen (F8). Was beobachten Sie?

2.4 EEG-Auswertung und Ausdruck der Bildschirmansicht

Zur Auswertung dient das Programm „Chart View“ selbst, in dem Sie die auszuwertenden Abschnitte mittels des Cursors hervorheben können, dieser Bereich wird dann im -> Zoom View rechts unten vergrößert dargestellt, hier lassen sich Amplitude, ggf. auch Frequenz ablesen. Aus dem im Zoom View dargestellten Bereich wird das -> Spektrum (Amplitude² (μV^2) als Funktion der Frequenz in Hz) berechnet.

Bedingung	Mittlere Frequenz (Hz)	Mittlere Amplitude (μV)
Diskonnectierte Stirnkabel		
Beißen (EMG)		
Lidschlag		
Augen offen, konzentriert		
Augen geschlossen, entsp.		

Wie groß sind die Amplituden während α - bzw. β -Aktivität im Vergleich zu typischen Amplituden eines muskelevozierten Potenzials (MEP, siehe Versuchsteil Transkranielle Magnetstimulation) und Potenzialen, die Sie in EKG-Ableitungen gemessen haben? Ausdrucken können Sie eine Bildschirmansicht mittels des Programms „Hardcopy“, das Sie auf der Arbeitsoberfläche finden.

3. Aufzeichnung und Analyse des visuell evozierten Potenzials (VEP)

3.1 Messprinzip

Durch eine Blitzlampe mit und ohne Graufilter werden Lichtblitze mit niedriger und hoher Intensität erzeugt. Das VEP wird von der Kopfhaut über der Area 17 abgeleitet (Elektroden wie im EEG-Versuch). Der Verlauf des VEP weist eine charakteristische Abfolge positiver und negativer Wellen auf. Die am besten reproduzierbare Komponente ist bei visueller Reizung eine positive (nach unten gerichtete) Welle mit einer Gipfelzeit nach ca. 100 ms nach Reiz (deshalb auch P100 genannt).

Der Potentialverlauf wird sowohl durch die Charakteristika des Reizes als auch durch das Wach- und Aufmerksamkeitsniveau beeinflusst. Insbesondere die späten VEP-Komponenten (ab 200 ms nach Reizgabe) werden bei Entspannung größer. Da die Potentiale nach visueller Stimulation häufig kleiner sind als andere gleichzeitig registrierte bioelektrische Aktivitäten, sind die einzelnen VEPs kaum sichtbar. Man bedient sich deshalb einer speziellen Mittelungstechnik (*signal averaging*), um das Verhältnis zwischen dem Nutzsignal (EP) und den Störsignalen zu verbessern. Der Averager zeichnet für einen bestimmten Zeitbereich nach dem Stimulus (Analysezeit) die Potential-Kurve auf und legt sie in einen Speicher ab. Dieser Prozess wird N-mal wiederholt. Dabei werden die gespeicherten Signalverläufe laufend summiert und durch die Anzahl der Reizwiederholungen dividiert (zeitbezogene Mittelung). Dieses Verfahren verbessert das Verhältnis von Nutz- und Störsignal (in der Regel um den Faktor „Quadratwurzel aus N“). Der gemittelte Signalverlauf wird dann zur Auswertung auf dem Monitor dargestellt.

3.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Kontraindikation: bekannte Krampfneigung

Klicken Sie auf dem Desktop „VEP“ an. Es erscheint das Registrierfenster. Sorgen Sie dafür, daß auch gleich die Fenster „Notebook“ und „Datapad“ erscheinen. Das „Datapad“ übernimmt die Gipfelzeiten und die Amplituden des von Ihnen auf die Messspur gesetzten Cursors.

Klicken Sie jetzt auf das Registrierfenster. Auf dem Bildschirm unten rechts wird "Start" aktiv.

Klicken Sie "Start". Es werden jetzt mit einer Frequenz von ca. 1 Hz Lichtblitze ausgelöst, die ihrerseits das Aufnahmeprogramm Scope triggern. Angezeigt wird jeweils der Mittelwert aller bis dahin registrierten Einzeldurchläufe. Beobachten Sie wie sich mit jedem Durchlauf das Signal-Rausch-Verhältnis verbessert und die Kurve glatter wird. Achten Sie auf das Signal um 100 ms nach dem Trigger. Letzterer fällt mit 0 ms auf der Zeitachse zusammen.

Sie führen den VEP-Versuch insgesamt 2x durch, mit und ohne den Graufilter. Das entspricht einer geringen und einer höheren Intensität des visuellen Reizes. Sie können nach den Aufnahmen zu den jeweiligen Durchgängen blättern.

	1. Intensität "Low"		2. Intensität "High"	
	Gipfelzeit (ms)	Amplitude (μ V)	Gipfelzeit (ms)	Amplitude (μ V)
P100				

4. Bestimmung der kortikomuskulären Leitungszeit (KML) und der zentralmotorischen Leitungszeit (ZML)

Ein wichtiger Kennwert zur Beurteilung der Integrität der am schnellsten leitenden Axone des kortikospinalen Traktes ist die zentralmotorische Leitungszeit (ZML). Diese wird als Differenz aus kortikomuskulärer Leitungszeit (KML) und peripherer motorischer Leitungszeit (PML) berechnet.

4.1 Messprinzip

Mit der Transkraniellen Magnetstimulation (TMS) können Motoneurone des kortikospinalen Trakts (als Teil des ZNS) nichtinvasiv stimuliert werden. Die Messgrößen, die erhoben werden, sind Latenz und Amplitude eines muskelevozierten Potenzials, z. B. des kurzen Daumenmuskelabspreizers, M. abductor pollicis brevis. Prinzipiell funktioniert die Methode jedoch an allen quergestreiften, für Oberflächenelektroden zugänglichen Muskeln.

Die Versuchsanordnung besteht aus der Stimulationseinheit (Pulskondensator im Stimulatorgehäuse und Doppelspule, die über dem primären Motorkortex des Probanden platziert wird) und der Signalaufnahmeelektroden am Zielmuskel. Das von der Doppelspule erzeugte Magnetfeld ist sehr fokal und erzeugt im Nervengewebe Ionenströme, die bei richtiger Positionierung zur Depolarisation von Axonen und zur Generierung von Aktionspotenzialen führen.



Abb.: Spulenpositionierung über dem primären motorischen Kortex (M1). Beachten Sie die tangentielle Anlage der Spule an die Kalotte und den nach dorsolateral orientierten Spulengriff. Das erzeugte Magnetfeld der Doppelspule ist mittig zwischen den Spulenlöchern maximal.

4.2 Versuchsdurchführung und Auswertung

Kontraindikation: erhöhte zerebrale Anfallsbereitschaft, Schwangerschaft, implantierte biomedizinische Geräte (Cochleaimplantat, Medikamentenpumpe, Hirnschrittmacher und Herzschrittmacher) sowie intrakranielle Metallpartikel (z. B. Gefäßclips). Zahnkronen, Osteosynthesematerial oder Drahtzerklagen nach Sternotomie sind unproblematisch.

Schritt 1: Anbringen der Oberflächen Elektroden auf dem linken *M. abductor pollicis brevis* (Muskelbauchmitte) und dem distalen Interphalangealgelenk. Erdung Handgelenk links.

Schritt 2: Auffinden des optimalen Reizortes über dem Motorkortex (mit z. B. 40 bis 50 % der maximalen Stimulatorintensität).

Schritt 3: Bestimmung der erforderlichen Reizstärke (zunächst Motorische Ruheschwelle: minimale Reizstärke, die im entspannten Muskel ausreicht, um bei Stimulation über dem optimalen Reizort bei > 50 % der Durchläufe ein kleines MEP auszulösen. Dann Einstellung der Stimulatorintensität von 1,2 mal der individuellen motorischen Ruheschwelle. Messung einiger MEPs.

Schritt 4: Vorinnervation des Zielmuskels. Die Messung der KML sollte nicht im relaxierten, sondern im mit ca. 20 % der maximalen Willkürkraft isometrisch vorgespannten Muskel erfolgen (siehe EMG-Aktivität Ruhe vs. isometrische Kontraktion). Das kortikospinale System wird dadurch gebahnt, was zu einer Verkürzung der MEP-Latenz um etwa 2 - 3 ms führt.

Schritt 5: 3 - 5 MEP aufzeichnen, wobei das zeitliche Intervall zwischen den einzelnen Messungen > 5 s sein sollte. Die MEP-Latenz entspricht der Zeit zwischen Beginn des TMS-Pulses (Stimulationsartefakt) und dem Beginn der ersten konsistenten negativen Deflektion des Potenzials. Als KML wird die kürzeste gemessene MEP-Latenz notiert.

Schritt 6: Bestimmung der peripheren motorischen Leitungszeit (PML, wird im Praktikum nicht durchgeführt, siehe Praktikum Reflexe!). Messmethoden sind die Muskeldehnungsreflex-Methode und F-Wellenmethode. Die PML für den *M. abductor pollicis brevis* beträgt bei intakten α -Motoneuronen im Mittel ca. 13,7 ms. (Das TMS-Buch, Springer Verlag, 2007)

Ruheschwelle (% maximale Stimulatorintensität):

Bei 1,2-facher Intensität der Ruheschwelle **in Ruhe**

Latenz (ms): MEP-Amplitude (mV):

Bei 1,2-facher Intensität der Ruheschwelle **vorinnerviert** (s. o.), entspricht **KML**

Latenz (ms): MEP-Amplitude (mV):

Berechnung der zentralmotorischen Leitungszeit : $KML - PML$ (s. o.) = ms.

Abschätzung der Latenz vom primären visuellen Kortex (V1) zum primären motorischen Kortex (M1) aus der visuell evozierten Reaktionszeit (motorische Antwort) für verschiedene Bedingungen (einfach, Wahlreaktion) und der KML (elektrische Antwort, muskelevoziertes Potenzial bzw. Muskelsummenaktionspotential; beachte Latenz zwischen Beginn MEP und motorischer Antwort):