

Aus dem Neurologisches Therapiezentrum (NTC)
Institut an der Heinrich-Heine-Universität,
Hohensandweg 37
D-40591 Düsseldorf
Leiter: Prof. Dr. med. V. Hömberg

Verbesserte Automatisierung durch Lernen unter Dual-Task Bedingungen ? Zwei Studien mit neurologisch erkrankten Patienten und Normalpersonen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Oliver Janke

2003

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez: Univ.-Prof. Dr. Raab
Dekan

Referent: Priv.-Doz. Dr. med. Netz

Korreferent: Prof. Dr. med. Siebler

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	Seite
1.1 Allgemeine Überlegungen	4
1.2 Der Begriff der Automatisierung	5
1.3 Das Dual-Task-Prinzip	8
1.3.1 Klärung des Aufmerksamkeitsbegriffes und Erstbeschreibung	8
1.3.2 Theoretische Modelle zur Informationsverarbeitung und des Arbeitsgedächtnisses	12
1.3.2.1 Das Norman und Shallice Modell „Attention to action“	14
1.3.3 Beispiele für den praktischen Einsatz des Dual-Task-Paradigma	16
1.4 Beurteilung eines Therapieerfolges mit Hilfe des Dual-Task-Ansatzes	19
1.5 Der Einfluss einer Dual-Task-Situation auf den Übungserfolg	20
 2. Fragestellung der Studien I und II	
2.1 Hintergründe und Fragestellungen der Studie I	21
2.2 Hintergründe und Fragestellungen der Studie II	22
 3. Methoden Studie I	
3.1 Pedalo	24
3.2 Probanden	26
3.3 Versuchsdesign	27
3.4 Beurteilung des Grades der Automatisierung (Workload)	31
 4. Methoden Studie II	
4.1 Patienten	33
4.1.1 Die European Stroke Scale (ESS)	34
4.2 Methoden und Versuchsdesign	35
4.2.1 Die krankengymnastischen Therapien	38
4.2.1.1 Durchführung der Zweitaufgabe in Gruppe 2	39
4.2.2 Auswertung der Videodokumente	40

5. Ergebnisse Studie I

5.1 Vortestvariablen	42
5.1.1 Vortestvariablen der Gruppe 1 (Single-Task-Gruppe)	42
5.1.2 Vortestvariablen der Gruppe 2 (Dual-Task-Gruppe)	43
5.1.3 Statistischer Vergleich der Vortestvariablen beider Gruppen	43
5.2 Auswertung der Pedalofahrten	44
5.2.1 Auswertung der Reaktionszeiten	46
5.2.2 Auswertung der Fahrtzeiten	48
5.2.2.1 Workload: Fahrtzeiten	50
5.2.3 Auswertung der sinusförmigen Kurve: zeitlicher Abstandes zwischen den Nulldurchgängen	51
5.2.3.1 Workload: zeitl. Abstand zwischen den Nulldurchgängen	53
5.2.4 Auswertung der sinusförmigen Kurve: Anzahl der Nulldurchgänge	55
5.2.4.1 Workload: Anzahl der Nulldurchgänge	57
5.2.5 Auswertung der sinusförmigen Kurve: Standardabweichung der Nulldurchgänge	58
5.2.5.1 Workload: Standardabweichung der Nulldurchgänge	60
5.2.6 Auswertung und statistischer Vergleich der letzten 11 Pedalofahrten	61
5.2.6.1 Auswertung der letzten 11 Reaktionszeiten	61
5.2.6.2 Auswertung der letzten 11 Fahrtzeiten	61
5.2.6.3 Auswertung der sinusförmigen Kurve: zeitlicher Abstandes zwischen den Nulldurchgängen der letzten 11 Pedalofahrten	62
5.2.6.4 Auswertung der sinusförmigen Kurve: Anzahl der Nulldurchgänge der letzten 11 Pedalofahrten	63
5.2.6.5 Auswertung der sinusförmigen Kurve: Standardabweichung der Nulldurchgänge der letzten 11 Pedalofahrten	63

6. Ergebnisse Studie II

6.1 Ausgewertete Daten der Studie I	65
6.2 Vortestvariablen	65
6.2.1 Vortestvariablen der Gruppe 1 (Single-Task-Gruppe)	65
6.2.2 Vortestvariablen der Gruppe 2 (Dual-Task-Gruppe)	67
6.2.3 Statistischer Vergleich beider Gruppen bzgl. der Vortestvariablen	67
6.2.4 Erkrankungsspektrum	68

6.3 Statistische Auswertung der Ergebnisse	68
6.3.1. Inter-Rater Korrelationen	68
6.3.1 Statistische Auswertung des motorischen Scores / Reaktionszeiten	69
6.3.3 Statistische Auswertung der Schrittdauern	71
6.3.4 Statistische Auswertung der Workload	73
6.3.5 Statistische Auswertung der Reaktionszeiten	74
7. Diskussion	
7.1 Diskussion der Ergebnisse der Studie I	77
7.2 Diskussion der Ergebnisse der Studie II	79
7.3 Sportpsychologisches Erklärungsmodell	81
7.4 Indikationen für weiterführende Studien	84
8. Literaturverzeichnis	87
9. Danksagungen	92
9. Anhang	
9.1 motorischer Score	
9.2 Lebenslauf	
9.3 Abstract	

1. Einleitung

1.1 Allgemeine Überlegungen

Eine allgemeine Definition des Begriffes "Rehabilitation" lautet: "(Versicherungsrechtliche) Maßnahmen zur medizinischen Wiederherstellung, beruflichen Wiederbefähigung und sozialen Wiedereingliederung in Form von Übergangshilfe, Übergangsgeld, nachgehender Fürsorge von Behinderten zur Beseitigung bzw. Minderung der Berufs-, Erwerbs- und Arbeitsunfähigkeit sowie der Folgen einer Schwerbehinderung und unter Einschränkung auch der Arbeitslosigkeit."

Diese Formulierung zeigt, dass der Erfolg von Rehabilitation unmittelbar im Alltag des Patienten sichtbar werden muß. Auf jeden Fall sollte ein Patient von einer, wie auch immer gearteten rehabilitativen Maßnahme profitieren und damit ein Zuwachs an Lebensqualität und Unabhängigkeit erreichen. Aufgrund der Vielzahl von Pathomechanismen und Ausprägungsgraden verschiedener Erkrankungen ist es für die Therapeuten schwierig, das individuelle Ausmaß an Therapieeinheiten für den jeweiligen Patienten zu bestimmen und den Erfolg der entsprechenden Maßnahmen, nicht nur für den momentanen Zustand, sondern auch für die Zeit nach der Rehabilitation zu ermessen.

Welter und Schönle definierten 1997 drei Grundprinzipien der neurologischen Rehabilitation: 1. eine ganzheitliche Betrachtung des Patienten, d.h. seine Gesamtpersönlichkeit und seine Gesamtlebenssituation ist von besonderer Wichtigkeit, nicht nur das vordergründige Behinderungsmuster; 2. statt der ätiologischen Diagnostik sollte eine Funktionsdiagnostik den Vorzug erhalten, da eine Rehabilitation nicht diagnosespezifisch, sondern konkret die Ausfälle / Einschränkungen behandeln sollte; 3. eine eventuelle Langfristigkeit einer rehabilitativen Behandlung ist unter Umständen von zwingender Notwendigkeit.

Therapiegrundlage rehabilitativer Behandlungen ist das erneute Einüben physiologischer Funktionsabläufe bzw. das Erlernen von Alternativstrategien. Häufig ist allerdings zu beobachten, dass Patienten ein in der Rehabilitationsphase neu

erlerntes Bewegungsmuster im privaten Umfeld nur mangelhaft anwenden, da sie sich nicht ausschließlich darauf konzentrieren können, sondern auch ihre Umgebung beachten müssen. Ein Fußgänger auf der Straße kann sich beispielsweise nicht nur auf seinen Gang konzentrieren, sondern muss noch auf den Verkehr achten. Eine Therapiemethode, die diesen Umstand in Betracht zieht und eine höhere Automatisierung und damit eventuell eine verbesserte Funktionsausführung in o.g. Situationen zulässt, würde einen Gewinn für den Patienten darstellen.

1.2 Der Begriff der Automatisierung

Viele Prozesse in unserem Leben laufen "automatisch" ab, das heißt, sie können ohne nachzudenken, ohne viel "Mühe" und ohne große Aufmerksamkeitsressourcen zu verbrauchen durchgeführt werden. Beispielsweise betrachten wir Lesen, Sprache verstehen oder auch Autofahren als weitgehend automatisiert, denn sie laufen ohne bewusste Kontrolle ab. Sie sind so stark eingeübt, dass uns nur noch wenige oder gar keine Fehler unterlaufen.

In der kognitiven Psychologie sind die Arbeiten von Schneider und Schiffrin zum Thema "Automatizität" wegweisend. Diese Autoren teilen kognitive Informationsverarbeitung in **a) kontrolliert** und **b) automatisiert** ein. Die Merkmale dieser zwei Arten von kognitiver Leistung sind folgende:

a) Kontrollierte Prozesse verbrauchen intensiv Aufmerksamkeitsressourcen, sind vom Probanden beeinfluss- und änderbar, von serieller Natur und abhängig von der, mit der Aufgabe verbundenen Anspruchshöhe. Verwaltet werden sie vom Kurzzeitgedächtnis ("short-term-store"). Kontrollierte Prozesse werden noch weiterhin in "accessible" und "veiled" unterschieden, also in Handlungen, die zum einen durch Vorschriften bzw. Anweisungen verwaltet und verändert werden können und zum anderen in solche, die keinen derartig "offenen" Zugang haben. "Accessible"-Prozesse sind meist sehr langsam in ihrer Ausführung.

b) Automatisierte Prozesse verbrauchen keine mentalen Ressourcen, der Vorgang ist so gut gelernt, dass er bereits vom Langzeitgedächtnis ("long-term-store") verwaltet wird. Er ist von paralleler Natur, schwierig zu beeinflussen oder zu ändern

(beispielsweise durch Änderungen der ausgeübten Aufgabenschwierigkeit). Einmal begonnen, ist ein automatisierter Prozess nur schwer oder gar nicht zu stoppen. Er muss, einmal angefangen, bis zum Ende ausgeübt werden. Automatisierte Prozesse benötigen, im Gegensatz zu den kontrollierten Prozessen, keine Aufmerksamkeit. Sie sind hochgradig eingeübt. Auch hier unterscheiden Shiffrin und Schneider zwei Untergruppen. Laut ihrer Meinung gibt es die "actional automatic sequences", die durch Aufforderungen zu speziellen "Subhandlungen", wie das Erhöhen von Aufmerksamkeit auf ein spezielles Ereignis oder das Ausführen von sichtbaren Reaktionen, wie zum Beispiel das Drücken von Tasten etc., charakterisiert sind, als auch die "informational automatic sequences", die kein Ausführen von derartigen "Subhandlungen" benötigen.

Bargh (1984) stellte mehrere Bedingungen auf, die einen automatischen Prozess charakterisieren sollen. Zum einen ist es nicht unbedingt notwendig, dass ein bestimmtes Ziel erreicht werden soll, um den Ablauf auszulösen. Die Ausführung geschieht unfreiwillig, allerdings immer im Zusammenhang mit einem für die Aufgabe relevanten Reiz. Zum anderen benötigen sie keine (kognitiven) Anstrengungen. Weiterhin unterliegen Aktivierung und Durchführung keiner willentlichen Kontrolle. Eine Durchführung läuft dann immer bis zum definitiven Ende.

Folgende Vorteile, die sich aus einem hoch automatisierten Prozess ergeben, können herausgestellt werden: Man ist in der Lage, mehrere Handlungen gleichzeitig durchzuführen, ohne in einen „Kapazitätskonflikt“ zu geraten. Weiterhin können Handlungen rationalisierter und effizienter (d.h. evtl. ohne großen Zeitaufwand bzw. ohne vermehrte „kognitive Anstrengung“ und mit reduzierter Gefahr der Ablenkbarkeit) ablaufen. Es ist möglich, komplexe Fertigkeiten zu entwickeln, die Grundlage von Expertentum sein können.

Ein Experiment, das die Auswirkungen einer hoch automatisierten Handlung sehr anschaulich darstellt, ist der sogenannte "Stroop-Effekt". 1935 veröffentlichte J.R. Stroop im *Journal of Experimental Psychology* einen Artikel, in dem er sich mit dem Begriff der "Interferenz" auseinandersetzte. Er führte Experimente durch, bei denen die Versuchspersonen Farbnamen visuell präsentiert bekamen und vorlesen sollten. Diese Worte waren aber ihrerseits mit einer Schriftfarbe versehen, die nicht

unbedingt immer zur entsprechenden Bedeutung des Wortes passte (beispielsweise das in roten Buchstaben geschriebene Wort "grün"). In einem anderen Experiment ließ Stroop die Versuchspersonen die Schriftfarbe der Worte laut benennen. Insgesamt zeigte sich, dass die Zeit von der Wortpräsentation bis zur Benennung der Schriftfarbe, bzw. Lesen des Wortes bei inkongruenter Farb-/Wortinhaltsbedingung länger war als in der kongruenten Bedingung. In einem dritten Experiment ließ Stroop seine Probanden das Benennen der Schriftfarbe in der inkongruenten Bedingung über 8 Tage üben und stellte fest, dass die Zeit zur Benennung abnahm und sich somit ein Übungseffekt einstellte.

Stroop erklärte diesen Effekt mit dem Auftreten von Interferenz zwischen dem Lesen des Wortes und der Benennung der Farbe. Lesen ist ein höchst automatisierter Prozess, der nach den oben genannten Kriterien abläuft. Das Wort initiiert eine einzelne Antwort, nämlich das Lesen, während die Schriftfarbe multiple Antworten auslöst, mehr Aufmerksamkeitsressourcen verbraucht und somit eine Zeitverzögerung verursacht. Experiment 3 läßt folgern, dass eine Reduktion der Interferenz zwischen einem automatisierten Prozess und einem anderen durch Übung erfolgen kann. Die Interferenz wird somit durch Übung verkleinert, der Vorgang ebenfalls automatisiert.

Automatisierung spielt in vielen Alltagssituationen, teils bemerkt, teils unbemerkt, eine große Rolle. Dies trifft nicht nur für grundlegende motorische Prozesse zu, wie das Gehen, sondern auch für erlernte und geübte Abläufe, wie zum Beispiel das Autofahren oder das Klavier- bzw. Instrumentspielen. Grundlage für das Expertentum ist eine hoher Automatisierungsgrad dessen, was unter Umständen durch langwieriges und repetitives Einüben, im Sinne eines Überlernens ("overlearning"), erlernt und perfektioniert wurde. Im medizinischen Bereich kann Automatisierung auch ein erneutes Ziel sein. Wenn körperliche und / oder geistige Grundfunktionen durch eine Erkrankung beeinträchtigt wurden, kann eine Rehabilitationsbehandlung ein erneutes Einüben und Perfektionieren dieser Grundlagen bedingen. Bei Patienten, die beispielsweise aufgrund einer Hemiparese nach einem Schlaganfall nur eingeschränkte motorische Möglichkeiten der betroffenen Körperseite zur Verfügung haben, kann ein erneutes repetitives Trainieren und Üben Grundfunktionen (eingeschränkt) wieder herstellen. Auch hier wird versucht, ein

hohes Maß an Automatisierung zu erreichen, um dem prämorbidem Zustand möglichst nahe zu kommen. Besondere Verfahren zum Erreichen einer grösstmöglichen Automatisierung sind nicht bekannt. Lediglich repetitives, oftmals langwieriges Üben führt nach einiger Zeit, so die Vorstellung, zu einem hohen Automatisierungsgrad, wie es beispielweise Menschen, die das Spielen eines Musikinstrument beherrschen, besitzen. Allport, Antonis & Reynolds (1972) konnten zeigen, dass geübte Klavierspieler durchaus in der Lage sind, nahezu interferenzfrei Klavier zu spielen und gleichzeitig eine Zweitaufgabe durchzuführen.

1.3 Das Dual-Task-Prinzip

Das Dual-Task-Paradigma (auch Secondary-Task-, Subsidiary-Task- oder Auxiliary-Task-Paradigma genannt), ist eine häufig genutzte Methode in der kognitiven Psychologie zur Überprüfung und Evaluation von Automatisierungsgraden, Hemisphärenlokalisationen von zerebralen Loci und kognitiver Interferenz zweier Prozesse. Diese Methode wird angewandt, um das Arbeitsgedächtnis bzw. Kurzzeitgedächtnis zu überprüfen und zu explorieren (s.u.).

1.3.1 Klärung des Aufmerksamkeitsbegriffes und Erstbeschreibung

Zentraler Aspekt der kognitiven Psychologie ist die Frage, inwieweit ein Mensch in der Lage ist, aufmerksam zu sein und damit neue Informationen aufzunehmen und zu verwalten. Das Konstrukt "Aufmerksamkeit" wird allgemein definiert als "Zustand konzentrierter Bewußtheit, begleitet von einer Bereitschaft des zentralen Nervensystems, auf Stimulation zu reagieren". Die Verwaltung der bereits oben erwähnten kognitiven Ressourcen stellt ein weiteres wichtiges Element zum Verständnis der geteilten Aufmerksamkeit dar. Norman und Bobrow (1975) definierten "Ressourcen" folgendermaßen: "Resources are such things as processing effort, the various forms of memory capacity, and communication channels. Resources are always limited". Und zum Dual-Task-Paradigma: "Perhaps the best way to control resource is to require subjects to perform two tasks simultaneously."

Zum erstenmal beschrieben wurde das Dual-Task-Paradigma von Bahrnick, Fitts und Noble 1954 im "Journal of experimental Psychology". Grund zur Durchführung dieser

damaligen Studie war der Wunsch, eine Methode zu finden, die es erlaubt, Lernvorgänge sichtbar zu machen, die mit den üblichen Methoden nicht aufzudecken sind. Dazu sollten zwei Aufgaben gleichzeitig mit der Annahme durchgeführt werden, dass das Ergebnis der zweiten Aufgabe etwas über die Qualität der durchgeführten ersten Aufgabe aussagen kann.

Zu diesem Zweck konstruierten die Autoren eine Vorrichtung, bei der eine rotierende Walze, auf der Lichtpunkte in 5 nebeneinander angeordneten Abschnitten zufällig verteilt wurden, hinter einem Sichtfenster rotierte. Die Lichtpunkte tauchten dementsprechend in zufälliger Reihenfolge hinter diesem Sichtfenster auf. Weiterhin befanden sich 5 Tasten, entsprechend den fünf Abschnitten auf der Walze, unter diesem Sichtfenster. Sobald also einer dieser Lichtpunkte auftauchte, musste der Proband die korrespondierende Taste zu dem jeweiligen Abschnitt der Walze drücken, in dem der Lichtpunkt erschien. Diese Aufgabe gaben die Autoren eine übergeordnete Bedeutung und benannten sie entsprechend "Primary-Task". Die "Secondary-Task" bzw. "Loading-Task", also die Aufgabe, die zur Überprüfung des kognitiven Anspruchs der Hauptaufgabe dienen sollte, bestand aus einer Rechenaufgabe, bei der die Probanden die beiden letzten Zahlen einer vorgelesenen Reihe von Zahlen addieren und das Ergebnis dem Versuchsleiter mitteilen sollten. Die Auswertung dieses Experimentes ergab, dass Ergebnisse der Rechenaufgaben zu Beginn der Durchführung deutlich schlechter waren als zu einem späteren Zeitpunkt während des Experimentes, im geübten Zustand. Daraus schlossen die Autoren, dass die wachsende Automatisierung der "Primary-Task" erst gegen Ende der Hauptaufgabe soviel "kognitive Ressourcen" übriglässt, dass eine verbesserte Durchführung der "Secondary-Task" resultiert. Lernprozesse könnten so besser objektiviert und Automatisierungsgrade in verschiedenen Stadien eines Lernvorganges beurteilt werden.

Man muß davon ausgehen, dass die menschliche Informationsverarbeitung eingeschränkten kognitiven Kapazitäten / Ressourcen unterliegt. Wenn, wie beim Dual-Task-Prinzip, zwei Aufgaben gleichzeitig ausgeführt werden und der Anspruch in der Erstaufgabe konstant gehalten wird, ist die Leistung in der Zweitaufgabe ein Gradmesser für die verbleibenden kognitiven Ressourcen. Je mehr die Erstaufgabe eingeübt worden ist, desto weniger würden Aufmerksamkeitsressourcen verbraucht

und somit der Bearbeitung der Zweitaufgabe zur Verfügung stehen. Deshalb spiegelt das Resultat der Zweitaufgabe den Anspruch der Erstaufgabe indirekt wieder.

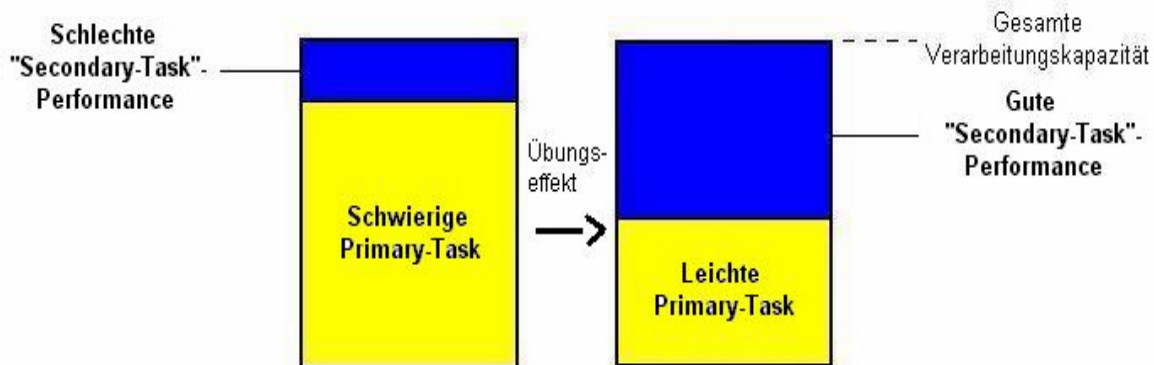


Abb. 1: Modellvorstellung zur Ressourcenteilung bei Durchführung einer Dual-Task-Aufgabe

Die Frage nach der kognitiven Anforderung einer Aufgabe, dem "operator's Workload", ist also die zentrale Frage an das Dual-Task-Paradigma. Der in der angloamerikanischen Literatur gebräuchliche Begriff "Workload" wurde von Meister (1976) als "die Diskrepanz zwischen Systeminput und der Fähigkeit, diesen Input zu verwalten", bezeichnet. Weitere Definitionen sind zum einen "subjektive Verfassung des Handelnden (z.B. Stress, etc.)", zum anderen "zusätzlicher kognitiver Anspruch durch eine Aufgabe bzw. durch eine Reihe von Aufgaben". Eine genügende Definition dieses Begriffes existiert nicht.

Zur Beurteilung des "Workloads", und damit indirekt auch des Grades der Automatisierung, bieten sich laut Meshkati et al. (1990) vier Methoden an.

1. Bewertung der Single-Task: Die zu bewertende Aufgabe kann unter verschiedenen Umständen beurteilt und in Kategorien eingeteilt werden. Dabei kann jede Komponente einer komplexen Hauptaufgabe einzeln, im Zusammenhang mit den anderen Komponenten, oder im Vergleich beurteilt werden. Beispielsweise wäre der Quotient aus der für die Lösung der Aufgabe benötigte Zeit und der insgesamt zur Verfügung stehenden Zeit ein objektiviertes Maß.

2. Bewertung der Secondary-Task: Hierbei gibt es mehrere Möglichkeiten, um die "Workload" zu beurteilen. Eine relative Aussage kann aus dem Vergleich des Ergebnisses der "Secondary-Task" gezogen werden, sofern die Performance der "Primary-Task" gleichgehalten wird. Eine schwierige "Primary-Task" wird ein schlechteres Ergebnis in der "Secondary-Task" bedingen, als eine leichte. Ein objektiver Workload-Index wäre dann die Performance-Differenz zwischen Single- und Dual-Task. Zum anderen kann durch die "Secondary-Task" Stress auf die Hauptaufgabe ausgeübt werden. "Workload"-Unterschiede werden dann durch den Performance Unterschied der "Primary-Task" beurteilt. Dabei kann, je nach Automatisierungsgrad, die gleiche Leistung in der Hauptaufgabe unter verschiedenen anspruchsvollen Zweitaufgaben erreicht werden.

3. Subjektive Einschätzung (durch Beurteilungsskalen / Interviews): Verschiedene aufgabenspezifische Eigenschaften sollen nach ihrem Ausprägungsgrad beurteilt werden. Dazu existieren bereits vorgefertigte Skalen, wie zum Beispiel die "Cooper-Harper scale" oder die "SWAT" (Subjective Workload Assessment Technique). Diese subjektive Einschätzung unterliegt aber einigen Kritikpunkten, wie zum Beispiel dem Einfluss der Aufgabenschwierigkeit auf das Urteil des Probanden. Je "negativer" die Aufgabe / Aufgabenschwierigkeit empfunden wird, desto schlechter wird sie bewertet.

4. Messung physiologischer Parameter: Veränderungen der "Workload" zeigen sich auch in Veränderung physiologischer Parameter. Die beiden gebräuchlichsten sind a) ereigniskorrelierte Potentiale (ERP's) und zum anderen b) Puls- bzw. Herzschlagvariabilität. Weitere Parameter sind Pupillengröße, Atemfrequenz, Cortisol- und Prolaktinmessungen oder "ACT" (deep Auditory Canal Temperature).

In der vorliegenden Arbeit wurde die einfache Reaktionszeit, „RT“ (Reaction Time), auf einen akustischen Reiz verwendet. Die Ermittlung von Reaktionszeiten sind heutzutage ein gebräuchliches Mittel in der Neuropsychologie zur Untersuchung von Verarbeitungsgeschwindigkeiten bzw. zur Bewertung verschiedener Grade von Aufmerksamkeit. Erstmals wurde 1868 vom niederländischen Physiologen F.C. Donders über den Gebrauch von Reaktionszeiten zu wissenschaftlichen Zwecken berichtet. Bei den ersten Experimenten sollte die sog. "Denkzeit" zwischen einem

sensorischen Signal und einer motorischen Antwort bestimmt werden. Neben der "simple reaction time", bei der nur ein Stimulus und eine Antwort existiert, werden noch die "recognition reaction time", bei der nur auf bestimmte, vorher festgelegte Stimuli reagiert, und die "choice reaction time", wobei auf verschiedene Stimuli mit entsprechenden (verschiedenen) Antworten reagiert werden soll, unterschieden.

.1.3.2 Theoretische Modelle zur Informationsverarbeitung und des Arbeitsgedächtnisses

Die für das Dual-Task-Paradigma grundlegende Annahme zur Informationsverarbeitung stellt die von Broadbent 1958 entworfene "filter-theory" dar. Danach funktioniert das Arbeitsgedächtnis als eine Art "single-channel operator", bei dem alle zur Informationsverarbeitung dienenden Input-Output Geschehnisse durch eine zentrale Instanz kontrolliert werden. Diese Kontrollinstanz ist allerdings in ihrer Kapazität limitiert, d.h. es können nur eine bestimmte Anzahl von mentalen Prozessen durchgeführt werden, ohne dass es zu einer Überlastung und damit zu einer Qualitätseinbuße kommt. Broadbent schlug dabei das Konstrukt einer sog. "S"- („sensory channel“) und einer "P"- („perceptual system“) Einheit vor.

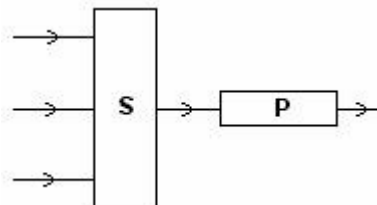


Abb. 2: "Single-channel operator"-Modell; aus Broadbent "Perception and Communication", 1958

Die S-Einheit nimmt alle einkommenden Informationen gleichzeitig (seriell) auf, während die nachfolgende P-Einheit nur eine Information nach der anderen in die weitere Bearbeitung zulässt, da deren Kapazität limitiert ist. Das S-System wirkt dabei als Kurzzeitspeicher, in dem wichtige Informationen für eine begrenzte Zeit zurückgehalten werden, solange das P-System noch nicht zu deren Bearbeitung bereit steht. Somit stellt das sog. P-System den eigentlichen "Flaschenhals" ("bottleneck") der Informationsbearbeitung dar. Laut dieser Gesamtvorstellung ist Aufmerksamkeit also „seriell“. Welford (1967) sprach im Rahmen von

Reaktionszeitexperimenten von einer "psychological refractory period", in der der zentrale Prozessor noch mit der Bearbeitung eines Stimulus beschäftigt ist, bevor ein weiterer bearbeitet werden kann.

In einer Reihe von durchgeführten Dual-Task-Experimenten wurde offensichtlich, dass verschiedene Aufgabenkombinationen zu verschiedenen Ergebnissen bezüglich der Zweitaufgabe führten. Man sprach davon, dass verschiedene Aufgaben auf unterschiedliche Art und Weise miteinander "interferierten". Bis heute ist es nicht gänzlich gelungen, genaue Aussagen über Menge und Art der Interferenz zwischen zwei bestimmten Aufgaben vorauszusagen. Kahneman (1973) versuchte diese Interferenz folgendermaßen zu charakterisieren: Er unterschied zwischen "structural interference" und "capacity interference". "Structural interference" entsteht immer dann, wenn zwei Aufgaben um gleiche kognitive Akzeptor- oder Effektormechanismen konkurrieren (beispielsweise wenn beide das visuelle System gebrauchen). Kahnemann betrachtete dies als "periphere Überlastung", zentrale Ressourcen spielten dabei keine Rolle. Im zweiten Fall, der "capacity interference", geht es um die "zentrale Überlastung". Die allgemeinen kognitiven Ressourcen sind dabei zu klein um beide Aufgaben in adäquater Weise auszuführen, ohne dass Performanceverluste entstehen. Norman und Bobrow (1975) teilten kognitive Verarbeitungsprozesse in ähnlicher Weise ein, nämlich in "data-limited" und "resource-limited". "Data-limited" bedeutet, dass eine eingeschränkte Verarbeitung durch bestimmte Merkmale der Aufgabe selbst hervorgerufen wird. Eine Erhöhung der gesamten kognitiven Ressourcen würde keine Verbesserungen bedeuten. Ist dies jedoch der Fall, spricht man von "resource-limited" Prozessen. Bourke, Duncan und Nimmo-Smith (1996) sprachen von einem allgemeinen Faktor, der neben aufgabenspezifischen Interaktionen für Leistungseinbußen in der Dual-Task-Bedingung verantwortlich ist. "Though evidence for specific conflicts is overwhelming, a further general source of interference is revealed when these are excluded, suggesting that both general and specific limits can apply."

Ein großer Schritt in der Erforschung der Informationsverarbeitung war 1986 die Einführung des heute noch gültigen "Working Memory"-Modells von Baddeley und Hitch. Synonym werden die deutschen Begriffe "Arbeitsgedächtnis" oder "Kurzzeitgedächtnis" verwendet. Dabei gehen die Autoren von einem dreiteiligen

Modell aus, welches die Elemente "articulatory loop" zur sprachlichen Kodierung sensorischer Informationen, "visuo-spatial scratch-pad" zum kurzfristigen Behalten und der Manipulation von visuell-räumlichen Informationen und der "central executive" als Resteinheit für all jene Prozesse der Informationsverarbeitung, die nicht den beiden erstgenannten Einheiten zugesprochen werden können, besitzt. Dabei schreibt man der "central executive" all jene Leistungen zu, die mit der Verwaltung von kognitiven Kapazitäten zu tun haben.

In das Konstrukt der "central executive" integrierten Baddeley und Hitch eine weitere theoretische Vorstellung zur Aufmerksamkeit, die allerdings dem Aspekt "Motorik" einen besonderen Stellenwert einräumt. Es ist das von Norman und Shallice 1980 publizierte Aufmerksamkeitsmodell, welches sich auf den Zusammenhang von Aufmerksamkeit, Initialisierung und Durchführung motorischer Sequenzen und auch auf die parallele Durchführung dieser, konzentriert.

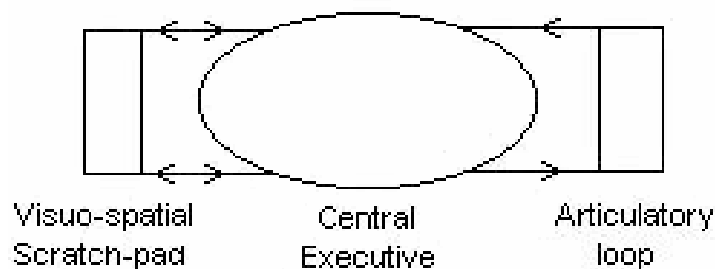


Abb. 3: "Working Memory" Modell von Baddeley und Hitch, 1986

1.3.2.1 Das Norman und Shallice Modell "Attention to action" (1980)

Dabei benutzen die Autoren den Begriff des "Schemas", welcher von Schmidt 1975 im Rahmen seines Modells zum Erlernen und Durchführen von Motorik etabliert wurde. Im Rahmen einer sog. "Schema-Theorie" existieren, laut den Autoren, zur Durchführung von Bewegungen sogenannte motorische Programme, die aus einer Sequenz gespeicherter Kommandos bestehen. Spezifizierungen bezüglich Größen und Geschwindigkeiten werden durch einen Lernvorgang erworben, welcher somit ein Schema festigt und stabilisiert. Dabei existiert eine hierarchische Struktur, wobei ein übergeordnetes Schema andere, nachgeordnete Schemata aktivieren und

beeinflussen kann. Zur zeitlich genauen Initialisierung eines Schemas benötigt man sogenannte "Trigger", externe oder interne, die die Aktivierung der momentan passenden motorischen Sequenz bewirken.

In dem Aufmerksamkeitsmodell von Norman und Shallice werden diese Schemata verwaltet. In dem Modell existieren sog. "horizontale Verbindungen" und "vertikale Verbindungen" (s. Abb. 4). Die "horizontale Verbindung" charakterisiert die Aktivierung eines Schemas. Hierbei werden sensorische Informationen empfangen und einer sogenannten "trigger data base" zugeführt. Dieser hypothetische Mechanismus wertet die eingehenden Informationen dahingehend aus, ob diese ausreichend zur Aktivierung eines oder mehrerer Schemata sind. Falls eine Schwelle überschritten wird, führt dies zur Aktivierung eines Schemas. Wenn zwei oder mehrere Schemata interferieren, d.h. wenn sie zum Beispiel die gleichen kognitiven Verarbeitungsstrukturen gebrauchen oder um ihre Auswahl konkurrieren, tritt ein Konfliktlösemechanismus in Kraft, das sog. "contention scheduling". Dieses operiert zwischen den Schemata, in dem es ähnliche oder einander ausschließende Schemata inhibiert oder gegebenenfalls aktiviert. Dabei kommt es vor, dass durch eine Hemmung eines Schemas ein qualitativer Performanceverlust resultiert. Wie groß dieser Performanceverlust sein kann ist, laut den Autoren, nicht vorhersagbar. Sobald eine Handlung sehr automatisiert ist, geht dies mit nur wenig oder keinem Performanceverlust einher.

Das "contention scheduling" alleine ist verantwortlich für die Konfliktlösung zwischen bereits etablierten, d.h. mit relativ gut automatisierten Handlungen verbundenen Schemata. Sobald allerdings Situationen auftreten, in denen sehr komplexe oder neue Aufgabe zu lösen sind, tritt ein weiterer Mechanismus in Kraft. Das "supervisory attentional system" ("SAS") beeinflusst das System über die bereits erwähnten vertikalen Verbindungen (s. Abb. 4). Durch diese werden Trigger von zu aktivierenden Schemata einer neuen (entweder erniedrigten oder erhöhten) Schwelle zugeordnet, so dass sie leichter bzw. schwerer aktiviert werden können. Dem SAS ist es prinzipiell unmöglich, aktivierend bzw. inaktivierend auf Schemata einzuwirken, es kann lediglich unterstützend wirken. Wichtig, wenn zwei Aufgaben gleichzeitig, im Sinne des Dual-Task-Paradigmas, ausgeführt werden müssen, ist allerdings fast ausschließlich das "contention scheduling".

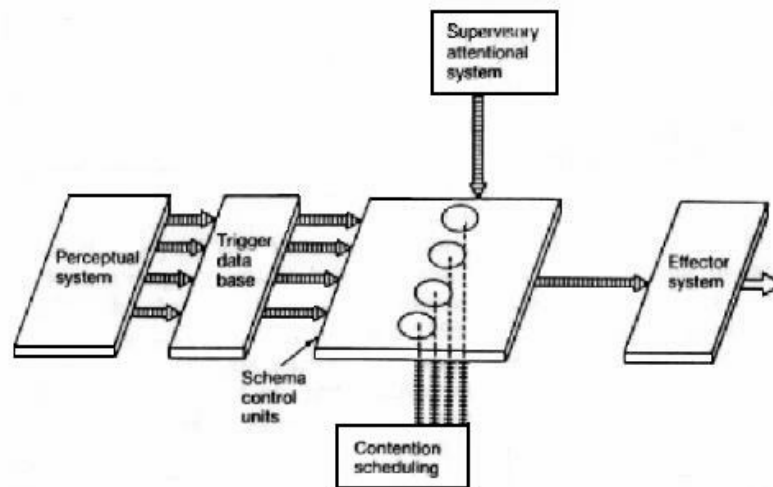


Abb. 4: Norman und Shallice' "Attention to action"- Modell, 1980

1.3.3 Beispiele für den praktischen Einsatz des Dual-Task-Paradigmas

Die Bestimmung der "Workload" durch das Dual-Task-Paradigma ist seit der Erstbeschreibung 1954 ein häufig eingesetztes Verfahren im klinisch / neuropsychologischen- und auch im nicht-klinischen Bereich. Die Grundfragestellung bei den meisten Experimenten war, ob Aufgabe A einen höheren bzw. niedrigeren kognitiven Anspruch ausübt als eine ähnliche Aufgabe B. Eingesetzt wurde dieses Verfahren u.a. in der Arbeitspsychologie (bei der Beurteilung von beruflichen Stresssituationen, der Auswahl geeigneter Mitarbeiter, Beurteilung von Lern-/Trainingserfolgen) und, eher im theoretischen Sinne, in der Neuropsychologie.

Ein typisches Beispiel für eine arbeitspsychologische Anwendung zeigte Brown (1968). In dieser Studie wurden Testfahrten von 52 angehenden Busfahrern durchgeführt, die über 5 Wochen geschult worden waren. Unter den verschiedenen angewandten Beurteilungsmöglichkeiten (subjektive Einschätzung durch den Versuchsleiter; Zeitmessung) stellte sich das Dual-Task-Paradigma als das sensitivste Mittel zur Beurteilung des Trainererfolges heraus. Dabei hatten die Schüler während des Fahrversuches eine gleichzeitige akustische

Memorierungsaufgabe zu bewältigen. Es zeigte sich, dass die Fahrer, die die Abschlußprüfung bestanden, auch die größte "Reservekapazität" (gemessen durch die Dual-Task-Aufgabe) besaßen.

Wie weit kognitive Ressourcen durch das Alter oder verschiedenste (neurologische) Erkrankungen beeinträchtigt sind, stellt eine klinische Fragestellung des Dual-Task-Paradigmas dar. Ärzte in der Universität von Umea in Schweden (1997) beobachteten beispielsweise, dass viele ältere Menschen aufhören zu gehen, wenn sie gleichzeitig eine Konversation beginnen wollen. Unter der Annahme, dass die gleichzeitige Ausführung dieser beiden Handlungen (Gehen und Sprechen) eine zu große kognitive Anforderung darstellt, untersuchte man diese Beobachtung in Verbindung mit der Vorhersage von Stürzen bei älteren Menschen. Es konnte der statistische Zusammenhang erbracht werden, dass diejenigen, die nicht gleichzeitig gehen und sprechen konnten, eine höhere Inzidenz an Stürzen aufwiesen. Somit wäre diese Beobachtung ein guter Vorhersagewert bezüglich Gangsicherheit.

In einer eigenen Studie zum Thema "Dual-Task" (2000), in der neben gesunden Probanden auch Patienten mit einer Hemiparese miteinbezogen wurden, sollte sowohl frei, als auch auf einer Linie gegangen werden. Als "Secondary-Task" wurde der "PASAT" (Paced Auditory Serial Addition Task) gewählt. Als Ergebnis zeigte sich, dass die Patienten eine signifikant reduzierte Gehstrecke und Ganggeschwindigkeit aufwiesen. In der Dual-Task-Situation zeigte sich wiederum die Patientengruppe in der Bedingung "freies Gehen und PASAT" deutlich eingeschränkter, als die gesunden Probanden, welches sicherlich ein Hinweis darauf ist, dass Patienten empfindlicher auf Situationen mit geteilter Aufmerksamkeit reagieren, als gesunde Versuchspersonen. Eine Studie von Haggard et al. (2000) konnte interessanterweise zeigen, dass die Hemisphärenlokalisation des zerebralen Defektes keinen Einfluss auf die Höhe des Leistungsverlustes bei Aufgaben unter Dual-Task-Bedingungen besitzt. Brown und Marsden (1991) konnten in Ihren Studien zeigen, dass auch Patienten mit extrapyramidalen Erkrankungen, in diesem Fall der Parkinsonerkrankung, in Aufgaben mit Dual-Task-Bedingungen schlechter abschnitten, als eine Gesundengruppe. Als "Primary-Task" wurde eine Version des bereits oben erwähnten "Stroop Tests" gewählt und als "Secondary-Task" entweder repetitive Fußbewegungen (mit einer vorgegebenen Frequenz von etwas 2 Hz) oder

die Benennung von Zufallszahlen. Die Autoren schlossen daraus, dass auch Patienten mit extrapyramidalen Erkrankungen verringerte zentrale Verarbeitungsressourcen besitzen.

Shumway-Cook, Woollacott, Kerns und Baldwin (1997) führten eine Studie zur posturalen Stabilität mit jüngeren und älteren Probanden, mit und ohne Sturzerlebnissen, durch. Auch sie benutzen das Dual-Task-Paradigma in einer Aufgabe, bei der die Probanden während der Erhaltung und Bestimmung der Schwerpunktsverhältnisse auf einer speziellen Plattform, eine andere kognitive Aufgabe (Sätze komplettieren; visuelle Orientierungsaufgabe) zu absolvieren hatten. Das Ergebnis zeigte, dass ältere Menschen mit Sturzerlebnissen in der Dual-Task-Bedingung im erhöhten Masse eingeschränkt waren. In einer Studie mit Alzheimerpatienten (Camicioli, Howieson, Lehman, Kaye, 1997) konnte gezeigt werden, dass die Ganggeschwindigkeit bei erkrankten Probanden unter Dual-Task-Bedingungen geringer war als bei gesunden Testpersonen. Auch hier zeigt sich das Dual-Task-Paradigma als empfindlicher Test zur Objektivierung vermindeter kognitiver Ressourcen bei dementiellen Prozessen.

Mehrere Studien zum Thema Schädel-Hirn Trauma und Dual Task (z.B.: McDowell, Whyte, D'Esposito, 1997; Vilkki, Virtanen, Surma-Aho, Servo, 1996; etc.) konnten zeigen, dass die Dual-Task-Performance, als Zeichen eines gestörten Arbeitsgedächtnisses, sowohl im akuten, als auch fortgeschrittenen Stadium noch eindeutig eingeschränkt ist. Im Gegensatz dazu zeigten sich viele gebräuchliche Tests (neuropsychologische, motorische), zumindest im fortgeschrittenen Stadium, in vielen Fällen nicht mehr sensitiv.

Eine andere Zielsetzung hatte die Arbeit von Wright und Kemp (1992). In einem Dual-Task-Paradigma verglichen sie die zusätzlichen kognitiven Ansprüche beim Gehen durch die Benutzung von Gehhilfen. 10 gesunde Probanden sollten dazu eine definierte Gehstrecke ohne und mit verschiedenen Gehhilfen (zwei Arten von Rollatoren) gehen. Während der Gehprobe musste eine Reaktionszeitaufgabe bewältigt werden. Auf einen Piepton hatten die Probanden mit einer Lautäußerung zu antworten. Aufgenommen wurde diese durch ein Kehlkopfmikrofon, wobei die Reaktionszeit zwischen Piepton und Lautäußerung ermittelt wurde. Es stellte sich

heraus, dass die Benutzung einer Gehhilfe vermehrten kognitiven Anspruch benötigt. Speziell das Gehen mit einer Standardgehhilfe benötigte die meiste Aufmerksamkeit, verglichen zu dem anderen Modell. Die Autoren schlugen vor, das Dual-Task-Paradigma im klinischen Einsatz einzuführen um Lerneffekte, z.B. nach einem Training des Gehens mit solch einer Gehhilfe, besser sichtbar zu machen. Ebersbach et al. (1995) konnten in ihrer Studie zeigen, dass erhöhter kognitiver Anspruch durch das "Dual-Task-Paradigma" Versuchspersonen zwang, ihre "Gehstrategie" zu modifizieren um ihr Balance aufrecht zu halten. Auch hier konnte beobachtet werden, dass das gleichzeitige Ausführen einer Zweitaufgabe ("digit-span" und Knöpfen) zu einem Performanceverlust führt. Es zeigte sich, dass sich bei genauerer Analyse der Gangparameter, die Zeit für die "double-support"-Phase des Gangzyklusses in der Dual-Task-Situation erhöhte. Die Autoren sahen dies als Zeichen dafür an, dass gerade die Balance am empfindlichsten auf kognitive Ablenkung reagiert. Unter der Bedingung "fast finger tapping" als Zweitaufgabe ergab sich interessanterweise eine verringerte Schrittzeit, als Hinweis für strukturelle Interferenz der beiden Aufgaben "Gehen" und "finger tapping".

1.4 Beurteilung eines Therapieerfolges mit Hilfe des Dual-Task-Ansatzes

Systematische Studien, in denen durch das Dual-Task-Prinzip ein Therapieerfolg bei Patienten, im Sinne einer erhöhten Automatisierung, nachgewiesen wurde, existieren jedoch nicht. Bisher wurden, speziell im medizinischen bzw. Rehabilitationsbereich, gängige Beurteilungsmethoden, wie zum Beispiel spezielle Scales ("Functional Independence Measure (FIM)"; "Barthel Index (BI)" etc.) oder einfach die Beurteilung und Erfahrung der Therapeuten als Verlaufsparemeter und als Prognosekriterium benutzt. Bisher kam dem Dual-Task-Paradigma, bezüglich der Erfolgskontrolle durchgeführter Therapiemaßnahmen, eine untergeordnete Rolle zu. Die Erfolgsbeurteilung bezieht sich aber immer auf die Situation in der Lernphase, also meist in einer Klinik. Schwierig wird die Berücksichtigung der Situation, in der der Patient auf sich alleine gestellt, also ohne Beobachtung und ständige Korrekturen das Erlernte anzuwenden versucht. Das bedeutet auch, wie bereits erwähnt, dass neben der Aufmerksamkeit auf die neu erlernte Fähigkeit oftmals noch gleichzeitig anders ausgerichtete Aufmerksamkeiten verlangt werden.

Allerdings wird eine unstrukturierte Form des Dual-Task-Ansatzes von vielen Physiotherapeuten spontan eingesetzt, in dem sie sich z.B. mit Patienten, die erneut das Gehen erlernt haben, spontan während des Gehens unterhalten oder sogar währenddessen Gruppen- bzw. Ballspiele durchführen. Häufig kann bei Patienten, die sich in einem fortgeschrittenen Stadium der Übungsbehandlungen befinden, eine zunehmende Ausführung des Gehens bzw. der motorischen Aktivität und des gleichzeitigen Sprechens und damit eine erhöhte Flexibilität bemerkt werden. Somit ist ein einfaches Monitoring des Trainingstadiums bzw. des Therapieerfolges mit diesem Ansatz durch den Therapeuten möglich.

1.5 Der Einfluss einer Dual-Task-Situation auf den Übungserfolg

In einer unveröffentlichten Diplomarbeit der Diplom-Psychologin A. Karlmeyer (1996), in der sie sich mit Gedächtnis- und Lernprozessen unter Dual-Task-Anwendung beschäftigte, konnte gezeigt werden, dass sich eine für Lernprozesse übliche Selbstverbalisation der Lernenden eher negativ auswirkt. Probanden neigen in einer Lernsituation dazu, bewusst oder unbewusst Lerninhalte "mitzusprechen" oder sich "erklärend" bewusst zu machen. Aufgrund der Dual-Task-Situation an sich würde, bedingt durch die notwendige Durchführung einer kognitiven Zweitaufgabe, eine Selbstverbalisation bezüglich der Hauptaufgabe unterdrückt werden.

2. Fragestellung der Studien I und II

Wie bereits aus der Einleitung deutlich wurde, dient das Dual-Task-Paradigma bereits seit Jahren als Möglichkeit zur Überprüfung kognitiver Fähigkeiten im neuropsychologischen Bereich. In der klinischen Anwendung ist dieser Methode jedoch bisher zu wenig Bedeutung zugekommen. Gerade im ursprünglichen Sinne, der Objektivierung von Automatisierungsgraden und versteckten Lernprozessen, besitzt das Dual-Task-Paradigma ein noch nicht ausreichend beachtetes diagnostisches und therapeutisches Potential, welches beispielsweise im medizinisch-rehabilitativen Bereich Anwendung finden könnte.

Genauer betrachtet könnte gesagt werden, dass der Alltag aus vielen verschiedenen Dual-Task-Situationen besteht. Die einfachste Dual-Task-Situation wäre bereits "talking while walking", Reden und gleichzeitiges Gehen. Eine häufig zu machende Beobachtung ist, dass die in der Rehabilitationsphase erlernten Fähigkeiten in der Alltagssituation nur fehlerhaft oder auch unvollständig umgesetzt werden, da in Situationen mit geteilter Aufmerksamkeit die Automatisierung nicht ausreicht um eine korrekte Ausführung zu gewährleisten. Die bisher genutzten Standardevaluationsmethoden könnten somit häufig zu einer "Fehleinschätzung" des Therapieerfolges führen. Diese bewerten zwar den Erfolg der durchgeführten Massnahmen in der Lernphase aber eine Beurteilung des Grades der Automatisierung des Erlernten um ggf. eine Aussage über die "Alltagsfähigkeit" machen zu können, ist dabei nicht vorgesehen. Der Gedanke liegt nahe, dass schon während der Lernphase die Alltagssituation des Patienten möglichst gut simuliert werden sollte, damit ein bestmöglicher Transfer erlernter Leistungen in das häusliche Umfeld des Patienten zustande kommt. Wenn darüber hinaus versucht werden würde, bereits das Lernen unter geteilte Aufmerksamkeit (also einer Dual-Task-Situation) zu stellen, wäre dies eine Möglichkeit, der häuslichen Situation nahe zu kommen. In dieser Arbeit wird versucht, ein Lernen unter geteilter Aufmerksamkeit und darüber hinaus eine Evaluationsmethode zu etablieren. Idealerweise könnte das Dual-Task-Prinzip beides vereinen.

Schließlich zeigt die Literaturübersicht, dass Versuche die Workload unter Dual-Task-Bedingungen zu erfassen, nur in Teilaspekten durchgeführt wurde. Bisher wurde vorausgesetzt, dass entweder die "Primary-" oder die "Secondary-Task"

konstant bleibt. Es sollte daher ein Test entwickelt werden, der Veränderungen beider Parameter, evtl. auch beider gleichzeitig, beabsichtigt. Dadurch wäre auch eine routinemäßige Überprüfung des Automatisierungsgrades im klinischen Alltag auf einer solideren Basis als bisher möglich. In beiden Studien sollte die Berechnung der Workload erfolgen und als zusätzliches Beurteilungskriterium geprüft werden.

2.2 Hintergründe und Fragestellungen der Studie I:

Bisher wurden zur Beurteilung des Lernerfolges fast ausschließlich isolierte motorisch objektivierbare Parameter eingesetzt. Das Dual-Task-Prinzip könnte dabei die Möglichkeit eröffnen, den "Grad der Automatisierung" auch bei komplexeren motorischen Handlungen sensibler zu erfassen. Denkbar ist, dass sich oberhalb einer bestimmten (objektivierbaren) Schwelle die motorischen Parameter nicht oder nur gering verändern und erst der zusätzliche Einsatz einer Dual-Task-Situation weitere Informationen über die kognitiven Belastung und damit indirekt über den Grad der Automatisierung liefert. Gerade im Bereich des Leistungssports weiß man, dass ein hoher Automatisierungsgrad oft nur dann erreichbar ist, wenn eine große Anzahl von Wiederholungen durchgeführt bzw. wenn eine sehr ausgedehnte Übungspraxis angewandt wird.

In der **Studie I** sollte initial geprüft werden, ob das Dual-Task-Prinzip im Rahmen einer motorischen Lernaufgabe an einer gesunden Probandengruppe durchzuführen ist. Lässt sich der Grad der kognitiven Belastung einer neu erlernten motorischen Aufgabe allein aus (motorischen) Performance-Parametern ablesen, oder liefert die Testung unter Dual-Task-Bedingungen davon unabhängige Informationen? Profitieren Probanden, die unter Dual-Task-Bedingungen lernen gegenüber solchen, die ein herkömmliches motorisches Training betreiben ?

2.1 Hintergründe und Fragestellungen der Studie II:

Ziel dieser Studie ist es herauszufinden, ob es gezielte Therapieansätze gibt, die rascher zu einer geringeren kognitiven Belastung der neu erworbenen Funktionen im Verlauf führen und die auch von neurologisch erkrankten Probanden im Rahmen einer Rehabilitationsbehandlung durchführbar sind. Als Ansatz wurde auch hierbei untersucht, ob das Lernen von motorischen Funktionen bereits initial unter Dual-

Task-Bedingungen hierzu geeignet ist. Eine zunächst schlechtere motorische Performance wurde dabei in Kauf genommen.

Eine große Anzahl von Wiederholungen, die, wie bereits erwähnt wurde, im Bereich des Leistungssports üblich ist, wäre aus naheliegenden Gründen im Rahmen einer Rehabilitationsphase nicht praktikabel.

3. Probanden, Methoden und Versuchsdesign der Studie I

3.1 Pedalo

Das Dual-Task-Paradigma sollte zuerst an einer gesunden Probandengruppe angewandt werden. Im Rahmen einer neu zu erlernenden motorischen Aufgabe sollte ein Bewegungsablauf eingeübt werden, der den Probanden unbekannt bzw. noch nicht ausreichend automatisiert war. In der einen Gruppe war in der Trainingsphase gleichzeitig, im Sinne des Dual-Task-Paradigmas, eine weitere Aufgabe zu lösen, während in der anderen Gruppe die motorische Lernaufgabe allein im Vordergrund stand. Es wurde ein Pedalo zum Erlernen dieser motorischen Aufgabe benutzt. Motiv für die Auswahl des Pedalos war es, eine motorische Lernaufgabe zu finden, die eine lokomotorische Aufgabe beinhaltet, deren Durchführung messbar und objektivierbar ist. Desweiteren sollte sie für die Versuchspersonen (Vpn) bis dahin unbekannt sein, so dass tatsächlich ein Neuerlernen notwendig war.

Eigentlich als Kinderspielzeug konzipiert, dient das Pedalo in dieser Studie als Fortbewegungsinstrument, zu dessen Gebrauch ein komplexer Bewegungsablauf neu erlernt werden muss. Grundsätzlich besteht das Pedalo aus zwei Tretflächen (Pedalen), die mit insgesamt 6 Rädern verbunden sind (s. Foto). Davon sind jeweils 2 Räder seitlich links, zwischen den Pedalen und seitlich rechts angebracht. Bedingt durch eine spezielle Verbindung der Tretflächen mit den Rädern ist es möglich, durch Auf- und Abtreten der Pedale eine nach vorne (bzw. nach hinten) gerichtete Rollbewegung zu produzieren. Dabei sind zunächst hohe Anforderungen an Balance, Koordination und Motorik erforderlich, um den gewünschten Effekt mit der dazu nötigen Körperbewegung zu erreichen.

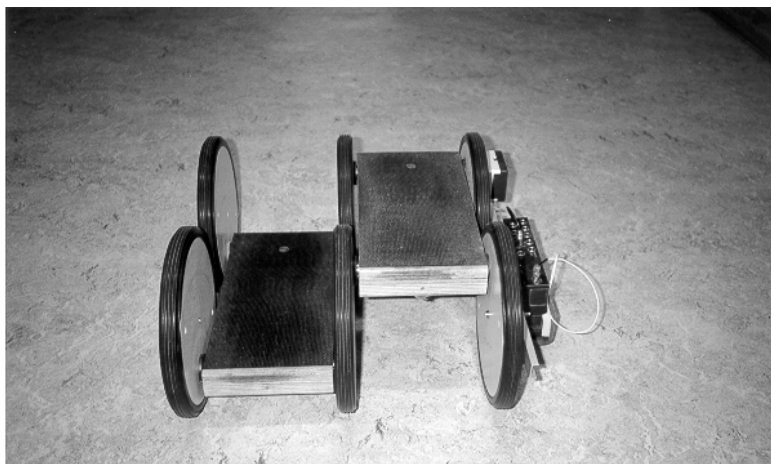
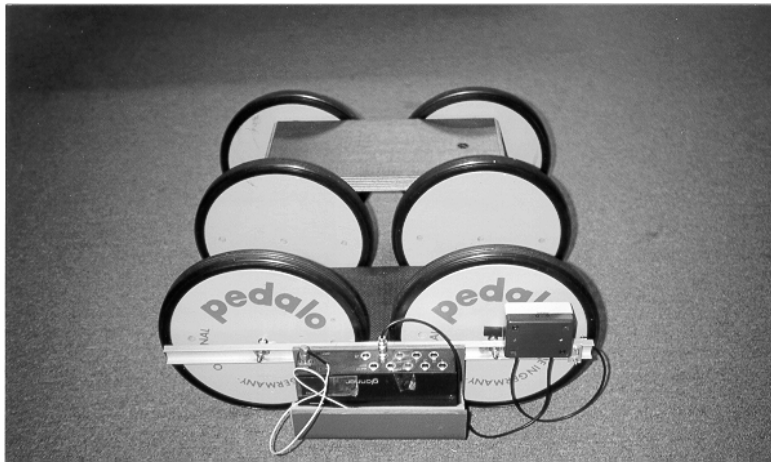


Abb. 1 Pedalo mit Funkanlage

In verschiedenen Publikationen wird das Pedalo zur Bewegungsförderung, gerade bei Kindern, empfohlen. Ehrlich und Heimann (1987) sahen den Gebrauch des Pedalos im Rahmen eines pädagogisch / psychologischen Konzeptes. Das Pedalo kann, Ihrer Meinung nach, eingesetzt werden zur Förderung von Koordination, Motorik und Gleichgewicht, als auch daraus resultierend zur Verbesserung von Reaktions- und Konzentrationsfähigkeiten. Bewusst stellen die Autoren heraus, dass nicht nur motorische Fähigkeiten im Vordergrund stehen, sondern auch kognitiven Eigenschaften gleich wichtig sind. Häufiges Üben führe zur qualitativen und quantitativen Verbesserung von Bewegungsabläufen. Allgemein sprechen die Autoren von einem "hohen Aufforderungscharakter" des Pedalos, welches die relativ schnelle Annahme dieses Gerätes, besonders durch Kinder zu pädagogischen und spielerischen Zwecken meint. Klinische Einsatzgebiete für das Pedalo sind die Bewegungsförderung Körperbehinderter sowie im Rahmen einer Therapie von sog. hyperaktiven Kindern.

In seiner Dissertation zum Thema "kognitive Steuerung des Bewegungslernens" von Hermann Körndle (1983), benutzte der Autor das Pedalo für eine exemplarische Bewegungsaufgabe. Dabei war ihm wichtig, dass diese Bewegungsaufgabe leicht zu erlernen sei, keine Vorerfahrung von den Probanden verlangt, der Einsatz des ganzen Körpers notwendig ist und eine periodische Bewegung resultieren sollte. Er konnte zeigen, dass Probanden beim Gebrauch des Pedalos zum einen eine "Schiebetechnik", zum anderen eine "Umsteigetechnik" angewandt haben, wobei die erstere von den Fortgeschrittenen benutzt wurde.

Leist (1979) analysierte ebenso den Bewegungsablauf beim Pedalofahren. Beim Erlernen des Bewegungsmusters unterschied er insgesamt drei Phasen. Die erste Phase des Erlernens ist gekennzeichnet durch eine sehr unregelmäßige Bewegungsfolge, indem der Proband kurz innehält, wenn eines der beiden Pedale seinen tiefsten Punkt erreicht hat. In der zweiten Phase muss der Proband nicht mehr so lange am tiefsten Punkt eines Pedales halten um das Gleichgewicht zu halten, sondern fährt bereits flüssiger. Eine regelmäßiger Bewegungsablauf ist allerdings noch nicht entstanden. In der dritten Phase ist das Bewegungsmuster eingeübt und wird gleichmäßig angewandt. Der Proband zeigt eine sichere Ausführung

3.2 Probanden

An der Studie I nahmen insgesamt 20 gesunde Vpn teil. Davon waren zehn männliche und zehn weibliche Versuchspersonen. Das Altersspektrum reichte von 20 Jahren bis zu 35 Jahren. Die Vpn wurden nach dem Zufallsprinzip (Losverfahren) zu den beiden Gruppen zugeordnet.

Voraussetzungen für die Teilnahme waren nur allgemeiner Art. Es sollte keine, das motorische System beeinträchtigende Erkrankung vorliegen. Weiterhin sollten die Vpn psychisch und physisch dazu in der Lage sein, die an sie gestellten Anforderungen zu verstehen und durchzuführen.

3.3 Versuchsdesign

Folgende Aufgabe sollte durchgeführt werden: die Vpn sollten mit dem Pedalo einen etwa 30m langen geraden Gang entlangfahren. Um die freien kognitiven Ressourcen objektivieren zu können wurden in einem Dual-Task-Paradigma Versuchsreihen durchgeführt. Neben dem Pedalofahren als "Primary-Task" wurde die Ermittlung von Reaktionszeiten als "Secondary-Task" durchgeführt. Diese beiden Aufgaben wurden ebenso vor der gleichzeitigen Ausführung getrennt durchgeführt. Es wurden pro Zyklus nur zwei Übungsfahrten durchgeführt, bei denen die Vpn ohne Parametererhebung durch die Telemetrieanlage den Gang entlang fahren sollten. Danach wurden Reaktionszeiten (s. Methoden Studie II) und eine Pedalofahrt als Single-Task durchgeführt und abschließend beide Aufgaben als Dual-Task zusammen vollzogen und deren Parameter durch die Telemetrieanlage aufgezeichnet. Es ergab sich demzufolge folgendes Ablaufschema:

- 1) mündliche Aufklärung des Probanden über den Ablauf der Studie**
- 2) Ermittlung folgender Vortestvariablen: a) Alter; b) Geschlecht; c) Größe; d) Gewicht; e) Pedaloerfahrung; f) regelmäßige sportliche Aktivitäten;**
- 3) Ermittlung von Reaktionszeiten als Single-Task**
- 4) Durchführung einer Pedalofahrt als Single-Task und Parametererhebung durch die Telemetrieanlage über 1 Minute**
- 5) Durchführung einer Pedalofahrt mit Parametererhebung und gleichzeitige Ermittlung von Reaktionszeiten als Dual-Task über 1 Minute**
- 6) Durchführung von zwei Pedalofahrten als "Übungsfahrten"**

Die Punkte 3.) bis 6.) wurden dann insgesamt 16 mal durchgeführt.

Die obige Darstellung trifft prinzipiell für beide Gruppen zu. In der Gruppe 2 (Dual-Task-Gruppe) wurden die Übungsfahrten allerdings unter Dual-Task-Bedingungen durchgeführt. Als "Secondary-Task" wurde dazu der "PASAT" ("Paced auditory serial addition task") benutzt. Hierbei wurden den Vpn einstellige Zahlen von einem

Tonband vorgespielt, die in einem regelmäßigen Zeitabstand aufgenommen wurden. Die Vpn hatte die Aufgabe, die beiden letzten vorgespielten Zahlen zu addieren und das Ergebnis dem Versuchsleiter mitzuteilen. Daraufhin mussten die Vpn die letzte vorgelesene Zahl behalten und mit der nächsten vorgelesenen Zahl addieren etc.. Dieser Test wird im klinischen Alltag eingesetzt um reduzierte Informationsverarbeitungskapazitäten zu objektivieren und gegebenenfalls Therapieerfolge festzustellen und zu überwachen. Gronwall und Wrightson beschrieben diesen Test zum ersten Mal 1974 und stellten die besondere Sensitivität bezüglich Schädelhirntraumapatienten heraus. In dieser Anwendung spielen die Summen der richtigen Antworten innerhalb eines zeitlich festgelegten Durchführungsintervalls die wichtigste Rolle. Je nach Bedarf kann der zeitliche Abstand der aufgenommenen und vorgespielten Zahlen variieren. So können 1 Sekunden bis zu 4 Sekunden Abfolgen eingesetzt werden. In der Studie I wurde ein 2-Sekunden PASAT gewählt.

Prinzipielles Ziel dieser Versuchsdurchführung war die Registrierung eines Übungs- und Automatisierungsprozess während mehrmaligem Entlangfahrens des Flurstückes. Durch Vorversuche konnte festgestellt werden, dass der Automatisierungsprozess sehr schnell erfolgt. Außerdem zeigte sich, dass das repetitive Hin- und Herfahren der Vpn körperlich sehr anstrengend ist und somit die Gesamtanzahl der durchzuführenden Fahrten begrenzt war. Auf der anderen Seite war es wichtig, dass ein ausreichender Übungseffekt erreicht wurde, um den Automatisierungsgrad einigermaßen sicher beurteilen zu können. Als günstig erwies sich eine maximale Fahrtenanzahl von etwa 66 bis 67 Fahrten. Spätestens dann waren alle Vpn zu erschöpft, um fortfahren zu können.

Zur Feststellung eines Übungs- bzw. Automatisierungseffektes wurden die Fahrtzeiten festgestellt. Außerdem wurden zur Bestimmung der fortschreitenden Automatisierung und Gleichmäßigkeit des Bewegungsablaufes die Vorwärtsbewegung bzw. die Radbewegung des Pedalos mit Hilfe einer Telemetrie in ein sinusförmiges Signal umgewandelt. Dazu wurde am Pedalo eine Vorrichtung zur Aufnahme der "Rollbewegung" angebracht ("Hall-Sensor"), die mit einem Funkgerät verbunden wurde. Aufgenommen wurde dieses Signal von einer Empfängeranlage, die mit einem Computer verbunden war, der das Sinussignal registrierte und

abspeicherte. Drei Beispiele eines solchen sinusförmig umgewandelten Signals in verschiedenen Stadien des Lernvorgangs sind unten dargestellt. Ausgewertet wurde das Signal mit dem "Matlab" Rechenprogramm der Firma "Math Works Inc.", Version 5.1.0.421 (May, 25 1997). Ermittelt wurde hierbei die Anzahl der Nulldurchgänge der Sinuskurve sowie den Zeitraum zwischen zwei Nulldurchgängen und deren Standardabweichung.

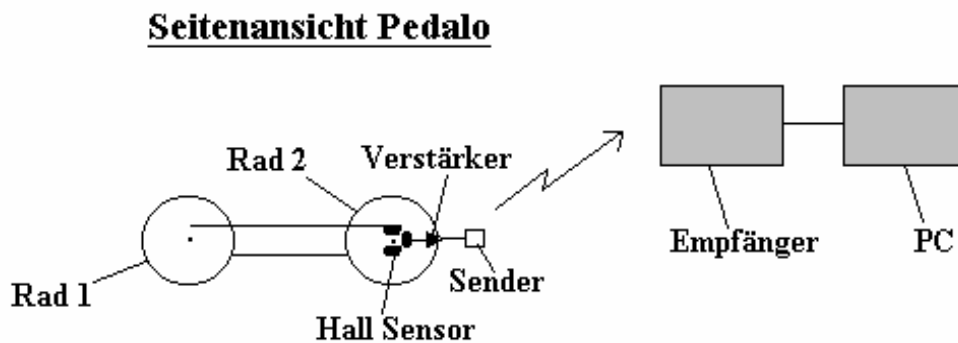


Abb. 1: Schematische Darstellung des Pedalos und der Telemetrieanlage

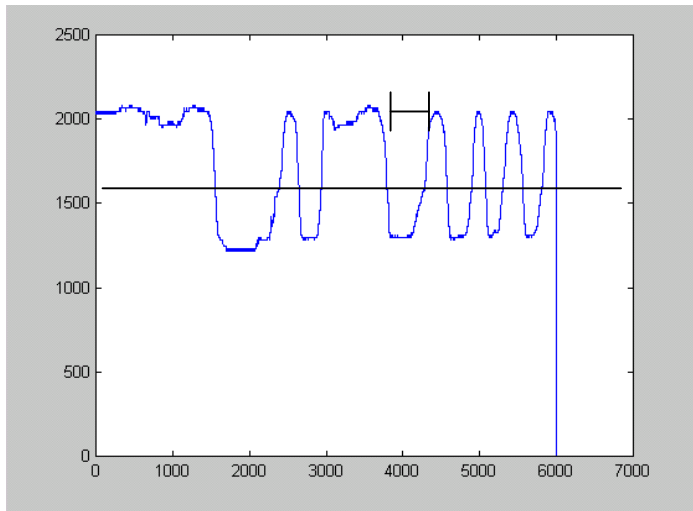


Abb. 2: Sinuskurve einer ungeübten Pedalofahrt mit insgesamt 12 Null-Durchgängen; die Markierung zeigt den Zeitraum zwischen 2 Nulldurchgängen

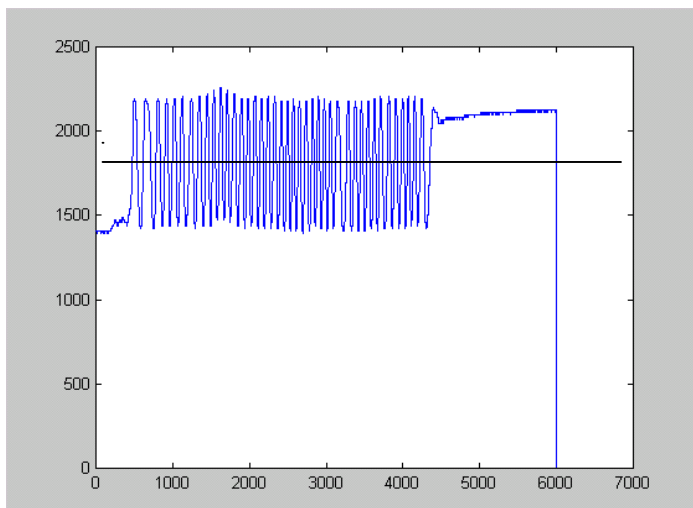


Abb. 3: Sinuskurve einer durchschnittlich geübten Pedalofahrt mit etwa 82 Nulldurchgängen

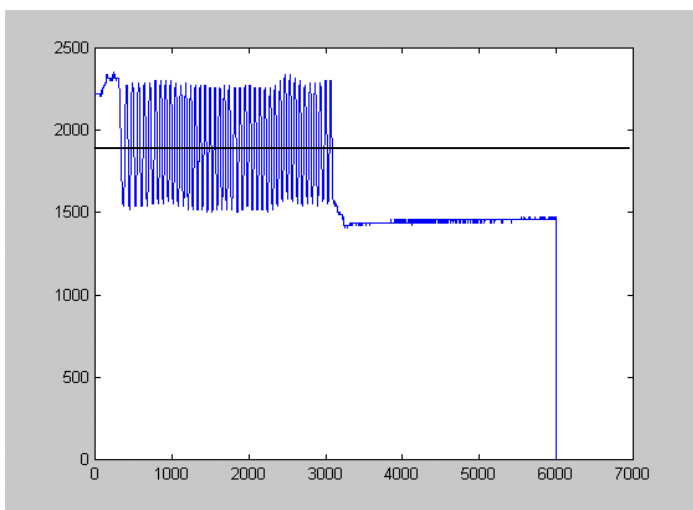


Abb. 4: Sinuskurve einer geübten Pedalofahrt mit > 82 Nulldurchgängen

Folgende Parameter wurden zur Auswertung herangezogen:

- 1) Reaktionszeiten als Single-Task**
- 2) Anzahl der Nulldurchgänge der Sinuskurve innerhalb 1 Messminute,**
- 3) Zeitraum zwischen zwei Nulldurchgängen**
- 4) Standardabweichung der Nulldurchgänge**
- 5) Zeit, die die Vpn mit dem Pedalo vom Startpunkt bis zum Endpunkt benötigten**
- 6) Reaktionszeiten zusammen mit den Pedaloparametern aus 2.-5) als Dual-Task**

3.4 Beurteilung des Grades der Automatisierung ("Workload")

Ziel dieser Arbeit sollte auch sein, ein Maß für die Beurteilung der "Workload", welches sowohl die motorische als auch die kognitive Komponente berücksichtigt, zu finden und in die Beurteilung mit einfließen zu lassen. In der Literatur ist bisher keine Möglichkeit benannt, die eine Berechnung der Automatisierung unter Berücksichtigung beider Komponenten ermöglicht. In der vorliegenden Arbeit wurde die "Workload" folgendermaßen berechnet:

$$R = (M_d - M_s) / M_s + (K_d - K_s) / K_s$$

wobei: R = Maß für die Automatisierung ("Workload")

M = Ergebnis der motorischen Aufgabe

K = Ergebnis der kognitiven Aufgabe

d = Dual-Task-Aufgabe

s = Single-Task-Aufgabe.

Beispiel: $M_d = 314$; $M_s = 316$; $K_d = 1,05$; $K_s = 0,99$;
 $R = 0,054$

Es wurde definiert, dass eine fördernde Interferenz für einen Bereich $R > 0$, eine störende Interferenz für einen Bereich < 0 gelten. Ist $R = 0$, so ist keine Interferenz vorhanden.

4. Probanden, Methoden und Versuchsdesign der Studie II

4.1 Patienten

An der Studie II nahmen insgesamt 36 Versuchspersonen teil. Es handelte sich um teilstationär aufgenommene Patienten des Neurologischen Therapiecentrums Düsseldorf sowie dem Neurologischen Therapiezentrum Köln, die eine neurologische Grunderkrankung aufwiesen. Diese Gruppe setzte sich aus 20 männlichen und 16 weiblichen Patienten zusammen. Das Altersspektrum variierte zwischen 16 und 70 Jahren.

Die Auswahl der Patienten richtete sich nach folgenden Kriterien:

1. Physische und psychische Belastbarkeit der Patienten musste ausreichend vorhanden sein.
2. Es musste eine, durch die neurologische Grunderkrankung bedingte, Gangstörung sichtbar sein.
3. Die Aufnahme zur krankengymnastischen Therapie sollte bei Patienten, die bei Aufnahme hauptsächlich den Rollstuhl benutzten, mit dem Ziel verbunden sein, in 4 Wochen eine Gehfähigkeit (auch mit Gehhilfen) erreichen zu können.
4. Patienten mit ausgeprägten neuropsychologischen Störungen, beispielsweise einer Aphasie, die ein Instruktionsverständnis einschränkten wurden aus der Studie ausgeschlossen.

Voraussetzung zur Teilnahme war, dass die Probanden der Studie II als Patienten für eine mindestens vierwöchige Therapiezeit aufgenommen wurden. Patienten, die vor Ablauf dieser vier Wochen entlassen wurden, sind aus der Studie ausgeschlossen worden. Therapiert wurde fünf mal wöchentlich eine dreiviertel Stunde.

Zu Beginn der Therapien führten die Krankengymnasten eine Gangprobe durch, die entscheidend für die Eignung zur Teilnahme an der Studie und Aufnahme in die Probandengruppe war. Der Patient wurde, wenn die Eignung feststand, über Ziel und Verlauf der Studie informiert und um seine Einwilligung gebeten. Es wurde ihm daraufhin der Aufklärungsbogen ausgehändigt (s. Anhang), den der Patient in Ruhe

durchlesen konnte und unterschreiben sollte. Registriert wurden weiterhin die Vortestvariablen: 1.) Alter und Geschlecht des Patienten, 2.) Diagnosen, 3.) die betroffene Körperseite und 4.) Zeit zwischen Erkrankungsbeginn und Aufnahme in das NTC Düsseldorf bzw. Köln.

Zur besseren Bewertung des Schweregrades der vorliegenden Erkrankung wurde jede Versuchsperson durch die European Stroke Scale bewertet, die zu den Vortestvariablen hinzugefügt wurde. Die dafür notwendigen Untersuchungen wurden in den Therapieräumen des NTC Düsseldorf bzw. Köln durchgeführt und zusätzlich durch die vorliegende Aktenlage (Arztbriefe, Therapeutenprotokolle etc.) vervollständigt.

4.1.1 Die European Stroke Scale (ESS)

Zur Einteilung und Beurteilung der Schwere der vorliegenden Erkrankung war es von großer Wichtigkeit eine Beurteilungsskala zu finden, die möglichst viele motorische Parameter berücksichtigt und in relativ kurzer Zeit durchzuführen ist. Die dafür verwendete European Stroke Scale wurde erstmalig 1994 in der Zeitschrift "Stroke" veröffentlicht. Sie wurde primär zur Beurteilung von Patienten mit einem Arterio-cerebri-media-Insult entwickelt. Dabei war es für die Autoren selbstverständlich wichtig, eine Beurteilungsskala zu finden, die eine gute Validität, Reliabilität und innere Konsistenz bietet, gut mit anderen gebräuchlichen Skalen korreliert und einfach und schnell anzuwenden ist.

Die European Stroke Scale berücksichtigt insgesamt 14 Items, wovon 9 Items rein motorische Funktionen prüfen. Beurteilt werden: 1.) Bewusstseinsgrad, 2.) Sprachverständnis, 3.) Sprachproduktion, 4.) Gesichtsfeld, 5.) Blick, 6.) Gesichtsbewegungen, 7., 8., 9., 10.) Arm- und Handbewegungen, 11., 12., 13.) Bein- und Fußbewegungen, 14.) Gang allgemein. Insgesamt können 0 – 100 Punkte erreicht werden, je weniger Punkte, desto ausgeprägter die Beeinträchtigung. Für diese Bewertungsskala wurde eine Inter-Rater-Reliabilität von 0,692 – 0,85, sowie eine Intra-Rater-Reliabilität von 0,65 – 1,00 gefunden. Im Vergleich zu anderen üblichen Scales ergaben sich gute Korrelationen.

4.2 Methoden und Versuchsdesign

Die Datenerhebung und Patientenakquisition erfolgte in einem Zeitraum vom 27.03.1998 bis zum 30.12.1998. Folgendes Schema gibt den prinzipiellen Ablauf der durchgeführten Studie wieder:

- 1. Einverständniserklärung durch den Patienten und Ermittlung der Vortestvariablen**
- 2. Videoaufzeichnungen der Gangproben und Ermittlung von Reaktionszeiten vor Therapie:**
 - A) Gehen als Single-Task**
 - B) Reaktionszeiten als Single-Task**
 - C) Gehen und gleichzeitige Ermittlung der Reaktionszeiten als Dual-Task**
- 3. Zufällige Einteilung der Probanden in eine der beiden Gruppen (Losverfahren)**
- 4. Durchführung der krankengymnastischen Therapie entweder unter Standard- (Gruppe 1) oder unter Dual-Task-Bedingungen (Gruppe 2)**
- 5. nochmalige Gangproben und Ermittlung von Reaktionszeiten nach Abschluss der Therapie nach obigem Schema**

Um den kognitiven Anspruch einer Gangprobe im Rahmen eines Dual-Task-Paradigmas zu evaluieren wurde als Zweitaufgabe ebenfalls die Ermittlung von Reaktionszeiten gewählt. In der neuropsychologischen Aufmerksamkeitsdiagnostik ist dies ein bewährtes Verfahren, gerade in der Beurteilung von Situationen mit geteilter Aufmerksamkeit. In einer Arbeit von Wright und Kemo (1992) haben die Autoren den kognitiven Anspruch von Gehhilfen mit einer Reaktionszeitaufgabe überprüft. Dabei war die Ermittlung der absoluten Größen zur Beurteilung des Anspruches wichtig, um die verschiedenen Gehhilfen in Relation zu setzen. In der vorliegenden Arbeit wurde bewusst auf die Interpretation der Reaktionszeiten als absolute Größe verzichtet. Wichtig war es hierbei lediglich, eine relative Veränderung der Reaktionszeiten als Abnahme des kognitiven Anspruches der Gangprobe, im Sinne einer höheren Automatisierung durch Beüben, festzustellen.

In der Übungssituation wurde bewusst eine andere Zweitaufgabe als in der Testsituation gewählt (Wortzählaufgabe – Reaktionszeiten), damit keine Übungseffekte resultierten.

Die Reaktionszeiten wurden folgendermaßen ermittelt: die Patienten wurden gebeten, nach einem akustischen Signal (Piepton) so schnell wie möglich einen Schalter zu drücken. Dazu wurde ihnen das Reaktionszeitmeßgerät an den nicht-plegischen Unterarm mittels Klettverschlüssen angebracht, wobei der Schalter so in der Hand des Patienten untergebracht war, dass er bequem mit dem Daumen gedrückt werden konnte. Ein Kabel verband den Schalter mit dem Messgerät (s. Abb.1).



Abb.1 Reaktionszeitmessgerät

Das Reaktionszeitmessgerät ist etwa 6 x 13cm groß und ist durch ein etwa 90 cm langes Kabel mit einem Schalter verbunden. Zentraler Bestandteil ist ein Mikrochip (Mikrocontroller: PIC 16C84), der die Auslösung, Registrierung und Speicherung der akustischen Signale bzw. der Reaktionszeiten regelt. Durch einen kleinen Gurt, der mit mehreren Klettverschlüssen auf dem Gerät befestigt werden kann, konnte das Gerät an den Arm des Probanden befestigt werden. Durch zweimalige Betätigung eines Auslöseknopfes werden die akustischen Signale gestartet. Es wurden immer 10 akustische Signale in unregelmäßiger Reihenfolge vom Gerät produziert, wobei allerdings eine Gesamtaktivierungszeit (Zeit, in der die 10 Töne ausgelöst wurden) von 30 Sekunden immer eingehalten wurde. Gespeichert wurden die Reaktionszeiten auf einem EPROM ("eraseable programmable read-only memory";

löschen- und programmierbarer ROM-Baustein), der durch ein dafür erstelltes Computerprogramm ausgelesen werden konnte.

Die Gangproben wurden folgendermaßen durchgeführt: die Patienten wurden gebeten, einen etwa 30 Meter langen Gang im NTC Düsseldorf bzw. ein etwa 20 Meter langes Flurstück im NTC Köln, in einer ihnen angenehmen Geschwindigkeit mehrere Male entlangzulaufen. Sollte eine zu starke Erschöpfung durch den Patienten bemerkbar geworden sein und / oder diese durch einen plötzlichen qualitativen Einbruch in der Gangprobe sichtbar werden, wurde die Gangprobe abgebrochen. Dazu war immer ein Therapeut während den Gangproben anwesend.

Diese Gangprobe wurde gleichzeitig mit einer Videokamera auf Videoband aufgenommen, wobei versucht wurde, aus möglichst vielen Betrachtungsrichtungen ein gutes und vollständiges Videodokument zu erstellen, das später zur Beurteilung durch die Therapeuten diente. Im Durchschnitt liefen die Patienten dazu vier Mal den Gang entlang. Die durchschnittliche Aufnahmedauer pro Gangprobe betrug 1,5 Minuten. Viel längere Gangproben wurden von einigen Patient nicht toleriert.

Die erste Aufnahme zeigte den Patienten in der Ruhe- bzw. Single-Task-Bedingung, d.h. er ging den Flur entlang. Danach erfolgte die Ermittlung der Reaktionszeiten, zuerst ebenfalls in der Single-Task-Bedingung. Erst jetzt und nach einer dem Patienten angemessenen Ruhepause, erfolgte die Dual-Task-Bedingung, d.h. der Patient ging über den Flur gleichzeitig zur Ermittlung der Reaktionszeiten, wobei darauf geachtet wurde, dass der Beginn der Rk-Messungen immer einige Sekunden nach Beginn der Gangprobe einsetzte, damit auch wirklich der eigentliche Gehvorgang und nicht mögliche Orientierungs- und/oder Optimierungsbewegungen zur besseren Ausführung des Gehens bewertet wurden. Auch diese Bedingung wurde mit einer Videoaufnahme festgehalten.

Um funktionelle Fortschritte der durchgeführten Gangprobe besser beurteilen zu können wurden in der Prüfungssituation selbst bzw. aus dem Videomaterial die Schrittdauern bestimmt. Dazu wurden aus jeder Videosequenz des jeweiligen Patienten fünf Schrittdauern mit einer handelsüblichen Stoppuhr gemessen und den daraus resultierenden Mittelwert zur Auswertung herangezogen. Dabei sind die

Schritte vom linken zum rechten Fuß, sowie vom rechten zum linken Fuß getrennt bewertet worden.

Folgende Daten wurden also zur Beantwortung der Fragestellung dieser Arbeit herangezogen:

- 1) viermalig erhobene Reaktionszeiten, als Single-Task und Dual-Task**
- 2) vier als Videodokument festgehaltene Gangproben, die später durch erfahrene Physiotherapeuten beurteilt wurden sowie**
- 3) insgesamt acht Schrittdauern, die ebenfalls anhand der Videodokumente ermittelt wurden**

4.2.1 Die krankengymnastischen Therapien

Die für die Studie ausgewählten Patienten wurden nach dem Zufallsprinzip (Losverfahren) in eine der beiden Gruppen eingeteilt. Um beurteilen zu können ob eine Therapie unter Dual-Task-Bedingungen zu einer besseren Automatisierung führt, ohne dass die eigentliche Physiotherapie darunter litt, wurde in der Testgruppe (Gruppe 2) eine Zweitaufgabe eingeführt, die die Patienten zwar aktiv an den krankengymnastischen Übungen teilnehmen ließ, aber trotzdem die Ausübung dieser Zweitaufgabe nicht störte. Dazu wurde eine akustische Worterkennungsaufgabe eingeführt (s.u.).

Bedingt durch den Durchführungsmodus einer Dual-Task-Bedingung erfolgte primär eine nonverbale Physiotherapie, die auch im normalen Therapiealltag Anwendung findet. Die Tatsache, dass möglichst wenig mit dem Patienten kommuniziert werden sollte, sondern mehr durch passive Führung oder vorheriger Erklärungen therapiert wurde, erlaubte es dem Patienten, während der Übungsdurchführung eine akustische Aufgabe durchzuführen. Hauptinhalt der krankengymnastischen Therapie war die Wiederherstellung eines physiologischen Gangs. Dabei war nicht festgelegt, welche Therapieart (bsp. Bobath, Vojta, PNF, etc.) angewandt wurde. In der bisherigen dazu erschienenen Literatur hat sich kein Vorteil für eine der vielen Behandlungsmöglichkeiten herausgestellt.

Die Patienten der Kontrollgruppe (Gruppe 1) erhielten eine krankengymnastische Standardtherapie ohne Zweitaufgabe.

4.2.1.1 Durchführung der Zweitaufgabe in Gruppe 2

Um die Zweitaufgabe durchführen zu können wurden mehrere handelsübliche Audiocassetten in einem genau festgelegten Zeitrhythmus mit "Nonsens"-Worten besprochen, die aus 1 – 3 Silben bestehen und vom Klang einem realen Wort sehr ähnlich waren. Intermittierend wurden sinnvolle Worte eingefügt. Es wurde darauf geachtet, dass zwischen den Wörtern 2 Sekunden Zeit blieb, bzw. zwischen jeweils 5 Wörtern 5 Sekunden abzuwarten war. Diese Cassetten wurden dann in einem "Walkman" abgespielt, der den Probanden am Anfang der Therapieeinheit aufgesetzt wurde. Er sollte nur dann kurzfristig abgelegt werden, wenn dringende mündliche Instruktionshinweise durch den Physiotherapeuten notwendig waren. Bei der weiteren Übungsausführung wurde der Kopfhörer wieder aufgesetzt. Zuvor erhielt der Proband Instruktionen, die den Inhalt der folgenden Therapieeinheit zum Inhalt hatten. Weiterhin wurde der Proband über die Zweitaufgabe aufgeklärt. Dabei hatte der Proband unter den vorgelesenen Worten die realen, sinnhaften Worte zu zählen. Er wurde weiterhin darauf hingewiesen, dass der Therapeut am Ende der Therapieeinheit nach der Anzahl der identifizierten, realen Worte fragen und dieses Ergebnis protokollieren und dem Versuchsleiter mitteilen würde. Mit diesem Vorgehen sollte eine möglichst hohe Motivation erreicht werden.

Jede Cassettenseite enthielt maximal 15 sinnvolle Worte. Der Therapeut hatte die Aufgabe, bei weniger als 8 festgestellten Worten, den Versuchsleiter zu benachrichtigen. Der Patient wurde dann nochmals auf korrekte Bearbeitung der Aufgabe hingewiesen. Bei mehrmaliger (mind. dreimaliger) Abweichung wurde der Patient aus der Studie ausgeschlossen.

4.2.2 Auswertung der Videodokumente

Jede angefertigte Videosequenz wurde durch mindestens drei erfahrene Physiotherapeuten mit einem eigens dafür erstellten Score beurteilt. Erstellt wurde er in Zusammenarbeit mit den erfahrenen Krankengymnasten-/ innen des NTC

Düsseldorf. In diesem Score haben wir insgesamt zehn Hauptmerkmale berücksichtigt, die uns für das Gehen besonders wichtig erschienen. Drei dieser zehn Hauptmerkmale wurden nochmals in zwei, zwei der Hauptmerkmale nochmals in drei Unterpunkte untergliedert (Bsp.: Hauptmerkmal "Kniekontrolle" in I.) Genu recurvatum und II.) Knieflexion). In sechs der 10 Hauptmerkmale sollten beide Körperseiten getrennt beurteilt werden um auch evtl. ataktische Gangmuster optimal bewerten zu können.

Auf einer Skala von "1" bis "10" sollte der Therapeut die Ausprägung des jeweiligen Hauptmerkmals bzw. des jeweiligen Unterpunktes beurteilen, wobei "1" immer die physiologische Ausprägung und "10" die größtmögliche unphysiologische Ausprägung des Merkmals entspricht. Es resultierte somit eine Mindestpunktzahl von 27 Punkten und eine maximale Punktzahl von 270 Punkten. In der Beurteilungssituation wurde darauf geachtet, dass die drei erfahrenen (und bezüglich der vorgelegten Aufnahmen verblindeten) Therapeuten unbeeinflusst voneinander zu einem Urteil kamen. Dabei wurde die Videosequenz solange wiederholt, bis alle Therapeuten ein vollständiges Urteil erreichten. Eine Zeitvorgabe gab es somit nicht.

Parameter	Bewertung
1. Aktive / Passive Schritte:	Kann der Patient aus eigener Muskelkraft eine Schrittbewegung durchführen oder bedarf es dazu Massenzugbewegungen / Kompensationsbewegungen anderer nicht direkt am aktiven Schrittvorgang beteiligter Muskelgruppen?
2. Spurbreite:	Ist der Fußabstand beim Gehvorgang physiologisch (etwa 8 cm +/- 3,5)?
3. Abrollen der Fußsohle	Wird der Fuß in Richtung Hacke > Zehenballen abgerollt?
4. Kniekontrolle:	Schlägt das Knie beim Streckvorgang durch (Genu recurvatum)? Wie weit wird das Knie gebeugt (physiologisch etwa 15° während der "mid-stance" Phase)?
5. Hüftkontrolle / Beckeneinstellung:	Entsteht ein Absinken oder ein Hochstand einer Beckenseite während des Gehvorganges? Liegt ein Trendelenburgzeichen vor?
6. Becken:	Liegt eine übermäßige / reduzierte Beckenrotation (physiologisch etwa 4° zur Seite der Beinbewegung) bzw. Beckenkipfung (und damit eine übermäßige lumbale Lordose des Rückens) vor?
7. Thorax:	Liegt eine übermäßige / reduzierte Rotation / Seitneigung bzw. Vor-/Rückbeugung des Thorax vor?
8. Schultergürtel:	Entsteht beim Gehen ein Schulterhoch- / tiefstand bzw. eine Retraktion / Protraktion?
9. Armpendel:	Ist der physiologische Armpendel beidseits sichtbar oder reduziert / aufgehoben?
10. Blickrichtung:	Wird zur zusätzlichen optischen Kontrolle des Gehvorgangs auf den Boden / auf die Füße gesehen oder kann der Blick auch frei in den Raum geführt werden?

Da sich die Änderung motorischer Bewegungsmuster während einer Therapie auch indirekt in einer Änderung der Gang- bzw. Schrittgeschwindigkeit äußern kann, erfolgte eine Auswertung der Schrittzeiten vor und nach Therapie. Es wurden die Schritte vom linken zum rechten Fuß und vom rechten zum linken Fuß (bzw. von der gesunden zur erkrankten und von der erkrankten zur gesunden Körperseite) getrennt ausgewertet. Dazu wurden die Schrittdauern aus den Videoaufnahmen der Gangproben mit einer handelsüblichen Stoppuhr gemessen. Bei jeder Videoaufnahme wurde darauf geachtet, dass eine ausreichende Bewertung der Fußbewegungen und des Fuß-Bodenkontaktes möglich war. Der bemessene Zeitraum begann mit dem ersten Fußkontakt zum Boden bis zum Zeitpunkt des Berührungsendes des anderen Fußes mit dem Untergrund. Insgesamt wurden pro Videoaufnahme fünf Schrittdauern gemessen und den Mittelwert zur statistischen Auswertung herangezogen.

5. Ergebnisse der Studie I

5.1 Vortestvariablen

Vor Durchführung der Pedalofahrten wurden folgende Vortestvariablen erhoben:

- Alter
- Geschlecht
- regelmäßige Sportausübung
- Körpergröße
- Gewicht
- Pedaloerfahrung

Zur statistischen Auswertung des Gruppenvergleiches diene als Mittelwertvergleich ein Student-T-Test für unabhängige Stichproben. In jeder Gruppe befanden sich 10 Probanden.

5.1.1 Vortestvariablen der Gruppe 1

Bedeutung der einzelnen Kategorien:

- Alter: in Jahren
- Geschlecht: 1 = männlich; 2 = weiblich
- regelmäßige Sportausübung: 1 = ja; 2 = nein
- Körpergröße (K.-größe): in cm
- Gewicht: in kg
- Pedaloerfahrung (P.erfahrung): 1 = ja; 2 = nein

	Alter	Geschlecht	Sport	K.-größe	Gewicht	P.erfahrung
1	29	1	2	180	83	2
2	27	2	1	170	58	2
3	28	2	1	164	54	2
4	29	1	1	181	71	2
5	28	2	2	175	63	2
6	28	1	2	191	95	2
7	21	1	2	186	74	2
8	30	2	1	159	48	2
9	34	1	1	196	87	1
10	30	2	1	170	55	2
N	10	10	10	10	10	10
M	28,4	1,5	1,4	178,6	247,4	1,9
SD	3,24	0,53	0,52	11,82	15,79	,32
Min.	21	-	-	159	48	-
Max.	34	-	-	196	95	-

Tabelle 1: Vortestvariablen der Gruppe 1; N= Anzahl der Probanden; M= Mittelwert; SD=Standardabweichung; Min./Max=Minimum und Maximum der aufgeführten Fälle

5.1.2 Vortestvariablen der Gruppe 2

	Alter	Geschlecht	Sport	K.-größe	Gewicht	P.erfahrung
1	35	1	1	183	85	2
2	32	1	2	186	74	2
3	29	1	1	193	88	2
4	30	1	2	186	73	2
5	29	2	2	175	67	1
6	26	2	2	186	70	2
7	26	2	2	167	53	2
8	20	1	1	189	75	2
9	28	2	1	183	73	2
10	31	2	2	170	55	2
N	10	10	10	10	10	10
M	28,6	1,5	1,6	181,8	71,3	1,9
SD	4,06	0,53	0,52	8,42	11,13	0,32
Min.	20	-	-	167	53	-
Max.	35	-	-	193	88	-

Tabelle 2: Vortestvariablen Gruppe 2

5.1.3 Statistischer Vergleich der Vortestvariablen beider Gruppen

Die Ausführung der hier vorliegenden Teststatistik, sowohl für die Studie I als auch II, erfolgte über ein computergestütztes Statistikprogramm "Statistical Package for the Social Science" (SPSS für Windows; Version 9.0.1). Es wurde ein Signifikanzniveau

von mind. 0,5 festgelegt. In den Tabellen wird folgende Schreibweise verwandt: * = $p < .05$ (signifikanter Zusammenhang); ** = $p < .01$ (hohe Signifikanz); *** = $p < .001$ (sehr hohe Signifikanz).

Der durchgeführte T-Test für unabhängige Stichproben ergab keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Vortestvariablen zwischen beiden Gruppen.

	T-Wert	df	Signifikanz (p)
Alter	-0,122	17,15	0,904
Geschlecht	0	18	1,00
Sport	-0,866	18	0,398
Körpergröße	-1,002	16,26	0,331
Gewicht	-0,409	16,17	0,688
Pedaloerfahrung	0	18	1,00

Tabelle 3: Student-T-Test für unabh. Stichproben zum Vergleich der Vortestvariablen der Gruppen 1 und 2;

5.2 Auswertung der Pedalofahrten

Wie bereits im Methodenteil dargestellt werden insgesamt 6 Variablen zur Beurteilung des motorischen Lerneffektes im Verlauf der Pedalofahrten herangezogen:

- Reaktionszeiten
- Fahrtzeiten
- mittlerer zeitlicher Abstand der Nulldurchgänge
- mittlere Anzahl der Nulldurchgänge
- Standardabweichung der Nulldurchgänge
- Workload

Aufgrund der berücksichtigten 32 Pedalofahrten wurden ebenso häufig diese Variablen erhoben und stellen somit einen Verlauf und eine Entwicklung der Fahrleistung bzw. kognitiven Leistung über die Zeit dar.

Über die Fahrversuche aufgetragen ergeben die Messwerte eine Punktwolke bzw. eine Messwertverteilung, welche graphisch dargestellt wurde. Durch eine multivariate Varianzanalyse ("MANOVA"-Modell mit repeated measures) der Mittelwerte erfolgte der Vergleich beider Gruppen. Darüber hinaus wurde die berechnete Workload

ebenfalls statistisch ausgewertet und graphisch dargestellt. Folgende Bedingungen / Faktoren wurden festgelegt:

- Einzelfaktoren:
- a) Single- / Dual-Task: Ermittlung der Reaktionszeiten unter Single-Task- / Dual-Task-Bedingungen
 - b) Gruppe: **1** = Übungsfahrten unter Single-Task-Bedingungen; **2** = Übungsfahrten unter Dual-Task-Bedingungen
 - c) Veränderung über die Zeit: Entwicklung des untersuchten Faktors im Verlauf der Testfahrten

Als Innergruppen-Faktoren wurden dabei 1. "Single / Dual-Task", 2. "Nummer", sowie 3. deren Verknüpfung, als Zwischengruppen-Faktor wurde "Gruppe" (Gruppe 1 / 2) gewählt.

5.2.1 Auswertung der Reaktionszeiten

Tabelle 4 zeigt die Mittelwerte der erhobenen Reaktionszeiten der insgesamt 16 Fahrdurchläufe.

	Gruppe 1		Gruppe 2	
	single	dual	single	dual
Reaktionszeit 1	290,39 <i>+/-53,91</i>	366,21 <i>+/-71,91</i>	292,75 <i>+/-77,22</i>	381,60 <i>+/-109,16</i>
Reaktionszeit 2	278,18 <i>+/-61,46</i>	374,92 <i>+/-70,01</i>	272,31 <i>+/-39,40</i>	345,75 <i>+/-54,95</i>
Reaktionszeit 3	262,92 <i>+/-53,41</i>	374,05 <i>+/-77,93</i>	265,69 <i>+/-69,01</i>	366,53 <i>+/-98,59</i>
Reaktionszeit 4	276,11 <i>+/-64,99</i>	359,99 <i>+/-66,09</i>	271,41 <i>+/-67,13</i>	395,97 <i>+/-98,03</i>
Reaktionszeit 5	268,79 <i>+/-70,94</i>	416,49 <i>+/-89,27</i>	285,10 <i>+/-68,42</i>	332,97 <i>+/-55,19</i>
Reaktionszeit 6	271,46 <i>+/-45,81</i>	414,04 <i>+/-151,93</i>	279,59 <i>+/-57,57</i>	330,30 <i>+/-40,06</i>
Reaktionszeit 7	263,49 <i>+/-46,44</i>	360,45 <i>+/-84,75</i>	272,08 <i>+/-55,73</i>	394,66 <i>+/-107,58</i>
Reaktionszeit 8	285,84 <i>+/-59,06</i>	412,65 <i>+/-93,31</i>	278,15 <i>+/-52,79</i>	383,79 <i>+/-85,41</i>
Reaktionszeit 9	276,23 <i>+/-35,47</i>	412,82 <i>+/-103,92</i>	250,99 <i>+/-38,63</i>	382,54 <i>+/-118,20</i>
Reaktionszeit 10	293,00 <i>+/-59,31</i>	431,18 <i>+/-133,79</i>	265,97 <i>+/-42,06</i>	372,31 <i>+/-74,36</i>
Reaktionszeit 11	313,94 <i>+/-71,48</i>	366,93 <i>+/-45,43</i>	269,81 <i>+/-52,41</i>	361,43 <i>+/-73,44</i>
Reaktionszeit 12	310,34 <i>+/-81,11</i>	367,20 <i>+/-71,61</i>	251,24 <i>+/-48,01</i>	405,10 <i>+/-94,56</i>
Reaktionszeit 13	290,72 <i>+/-63,50</i>	404,72 <i>+/-139,96</i>	273,45 <i>+/-58,23</i>	337,05 <i>+/-46,70</i>
Reaktionszeit 14	290,12 <i>+/-64,85</i>	377,56 <i>+/-75,72</i>	250,97 <i>+/-33,68</i>	355,02 <i>+/-84,64</i>
Reaktionszeit 15	276,43 <i>+/-65,99</i>	364,60 <i>+/-62,78</i>	252,40 <i>+/-68,01</i>	347,01 <i>+/-58,34</i>
Reaktionszeit 16	304,57 <i>+/-56,63</i>	411,51 <i>+/-98,11</i>	248,85 <i>+/-45,92</i>	343,23 <i>+/-101,99</i>

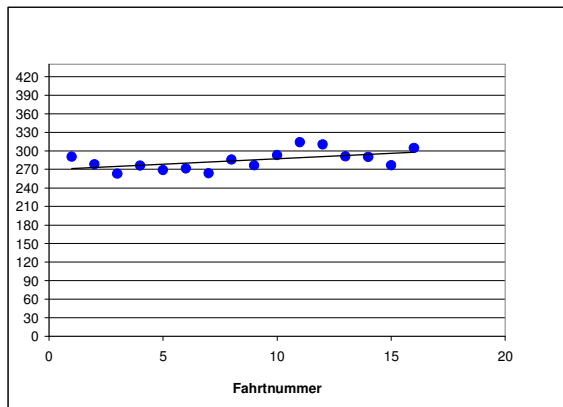
Tabelle 4: Mittelwerte der Reaktionszeiten in ms. Standardabweichung in kursiv

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	98,25	1617337,72	0,00***
2) Reaktionszeiten	15/4	0,81	40321,02	0,66
3) Gruppe	1/18	1,20	66390,92	0,29
Interaktion 1 / 3	1/18	0,11	1832,47	0,74
Interaktion 2 / 3	15/4	1,88	77238,22	0,29
Interaktion 1 / 2	15/4	2,92	36281,99	0,16
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	15/4	1,20	968736,01	0,48

Tabelle 5: Multivariate Varianzanalyse der Reaktionszeiten mit Angabe des F-Wertes, Signifikanzen (p), der Quadratsummen vom Typ III (M) und der Freiheitsgrade (df)

Bei Betrachtung der Regressionsgeraden zeigen sich, bezüglich der Single-, als auch in der Dual-Task-Bedingung bei der Gruppe 2 eine leicht abnehmende Steigung. Bei Gruppe 1 ergibt sich eine leicht ansteigende Tendenz. Deutlich ist anhand der Graphiken auch das höhere “Niveau” der Reaktionszeiten in der Dual-Task-Bedingung beider Gruppen zu sehen. Erwartungsgemäß findet sich ein hochsignifikanter Unterschied zwischen Single- und Dual-Task ($p=0.00$). Die höhere kognitive Belastung zeigt sich in den größeren Reaktionszeiten der Dual-Task. Ein Gruppenunterschied wird hingegen nicht deutlich. Auffällig sind die hohen Standardabweichungen der gemittelten Reaktionszeiten als Zeichen einer großen Interindividualität der erhobenen Messwerte.

a) Single-Task



b) Dual-Task

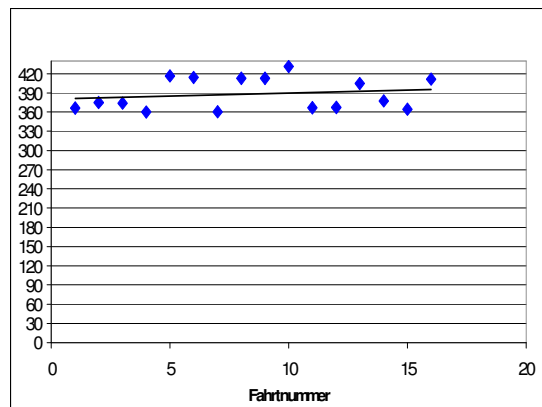
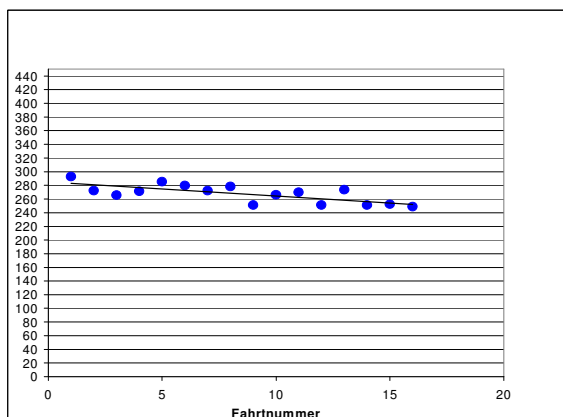


Abb. 1: Mittelwerte der einzelnen Fahrten in der Single-Task und der Dual-Task-Bedingung der Gruppe 1

a) Single-Task



b) Dual-Task

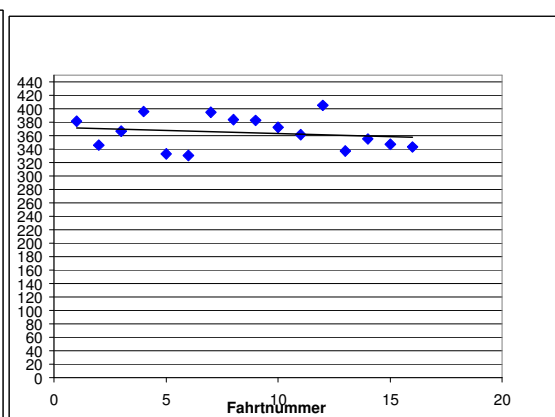


Abb. 2: Mittelwerte der Reaktionszeiten in der Single-Task und der Dual-Task-Bedingung der Gruppe 2

5.2.2 Auswertung der Fahrtzeiten

	Gruppe 1		Gruppe 2	
	single	dual	single	dual
Fahrtzeit Lauf 1	88 <i>+/-0,64</i>	86 <i>+/-0,51</i>	71 <i>+/-0,55</i>	87 <i>+/-0,94</i>
Fahrtzeit Lauf 2	49 <i>+/-0,26</i>	43 <i>+/-0,23</i>	40 <i>+/-0,26</i>	40 <i>+/-0,26</i>
Fahrtzeit Lauf 3	34 <i>+/-0,90</i>	33 <i>+/-0,08</i>	36 <i>+/-0,24</i>	33 <i>+/-0,09</i>
Fahrtzeit Lauf 4	28 <i>+/-0,07</i>	27 <i>+/-0,07</i>	28 <i>+/-0,10</i>	31 <i>+/-0,10</i>
Fahrtzeit Lauf 5	27 <i>+/-0,06</i>	27 <i>+/-0,06</i>	26 <i>+/-0,07</i>	26 <i>+/-0,08</i>
Fahrtzeit Lauf 6	25 <i>+/-0,06</i>	25 <i>+/-0,06</i>	25 <i>+/-0,05</i>	24 <i>+/-0,07</i>
Fahrtzeit Lauf 7	23 <i>+/-0,04</i>	23 <i>+/-0,05</i>	22 <i>+/-0,05</i>	23 <i>+/-0,07</i>
Fahrtzeit Lauf 8	24 <i>+/-0,06</i>	23 <i>+/-0,06</i>	22 <i>+/-0,05</i>	23 <i>+/-0,07</i>
Fahrtzeit Lauf 9	21 <i>+/-0,05</i>	24 <i>+/-0,07</i>	20 <i>+/-0,06</i>	22 <i>+/-0,06</i>
Fahrtzeit Lauf 10	22 <i>+/-0,06</i>	23 <i>+/-0,06</i>	20 <i>+/-0,05</i>	20 <i>+/-0,05</i>
Fahrtzeit Lauf 11	22 <i>+/-0,04</i>	23 <i>+/-0,09</i>	20 <i>+/-0,05</i>	21 <i>+/-0,05</i>
Fahrtzeit Lauf 12	21 <i>+/-0,04</i>	21 <i>+/-0,05</i>	19 <i>+/-0,05</i>	20 <i>+/-0,05</i>
Fahrtzeit Lauf 13	21 <i>+/-0,04</i>	21 <i>+/-0,06</i>	19 <i>+/-0,04</i>	20 <i>+/-0,05</i>
Fahrtzeit Lauf 14	20 <i>+/-0,04</i>	21 <i>+/-0,03</i>	19 <i>+/-0,06</i>	19 <i>+/-0,05</i>
Fahrtzeit Lauf 15	20 <i>+/-0,04</i>	19 <i>+/-0,03</i>	18 <i>+/-0,06</i>	20 <i>+/-0,05</i>
Fahrtzeit Lauf 16	20 <i>+/-0,04</i>	20 <i>+/-0,04</i>	20 <i>+/-0,07</i>	19 <i>+/-0,05</i>

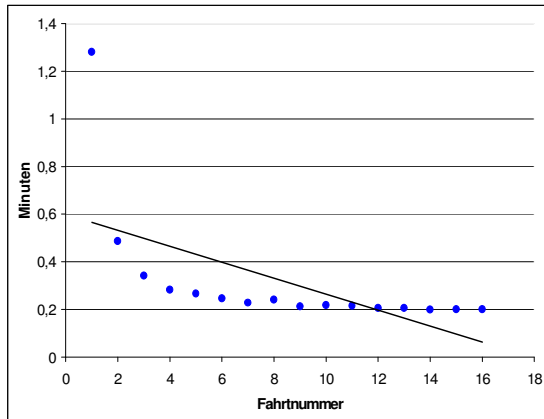
Tabelle 6: Mittelwerte der Fahrtzeiten in sec. Standardabweichungen in kursiv

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	7,46	$5,80 * 10^{-02}$	0,14
2) Laufnummer	15/4	8,30	25,70	0,27
3) Gruppe	1/18	0,12	$3,59 * 10^{-02}$	0,74
Interaktion 1 / 3	1/18	1,78	$1,38 * 10^{-02}$	0,20
Interaktion 2 / 3	15/4	1,47	$7,79 * 10^{-02}$	0,39
Interaktion 1 / 2	15/4	2,26	1,09	0,22
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	15/4	1,41	$8,20 * 10^{-02}$	0,40

Tabelle 7: Multivariate Varianzanalyse der Fahrtzeiten

Bezüglich der Fahrtzeiten zeigen sich keine signifikanten Unterschiede, sowohl im Vergleich Single- / Dual-Task, als auch im Gruppenvergleich. Die Standardabweichungen der Messwerte sind relativ klein. Nur die ersten Testfahrten haben, relativ gesehen, eine größere Standardabweichung, als Ausdruck des noch nicht “erlernten” Bewegungsablaufes. Scheinbar ist Anspruch der Aufgabe und Leistungszuwachs für alle Vpn vergleichbar, egal welcher Gruppe sie angehören.

a) Single-Task



b) Dual-Task

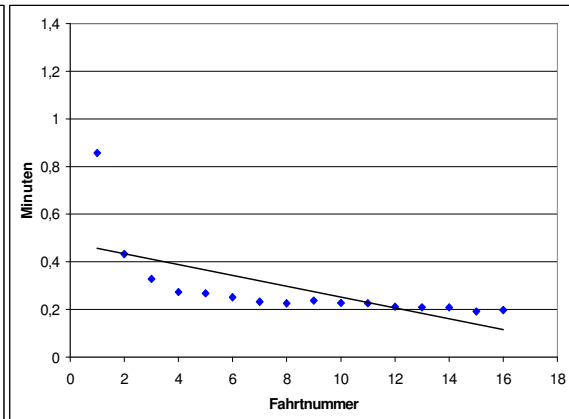
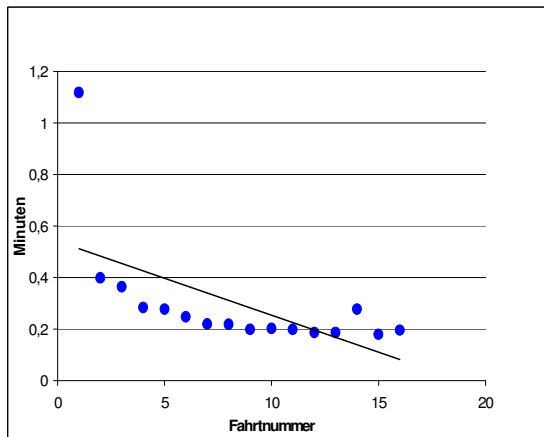


Abb. 3: Mittelwerte der Fahrtzeiten in der Single-Task und der Dual-Task-Bedingung der Gruppe 1

a) Single-Task



b) Dual-Task

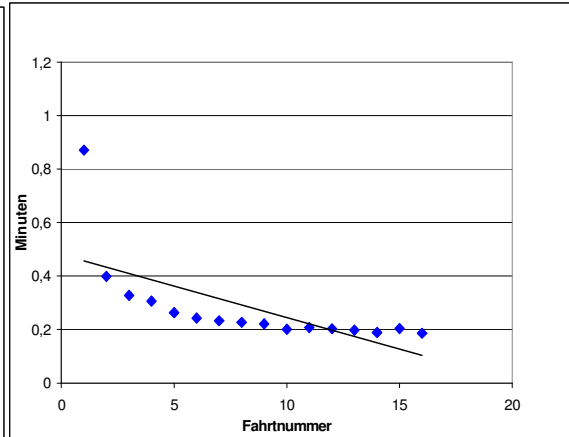


Abb. 4: Mittelwerte der Fahrtzeiten in der Single-Task und der Dual-Task-Bedingung der Gruppe 2

5.2.2.1 Workload: Fahrtzeiten

In der graphischen Darstellung der Workload der Studie I ist exemplarisch jeweils ein Proband aus beiden Gruppen dargestellt, um den Trend zu verdeutlichen. Um Reihenfolgeeffekte auszuschließen wurden zur Berechnung der Workload aus zwei aufeinanderfolgenden "Single"-Werten der Mittelwert gebildet und in der Berechnung dem jeweils ersten zugehörigen "Dual"-Wert zugeordnet und damit die Workload berechnet.

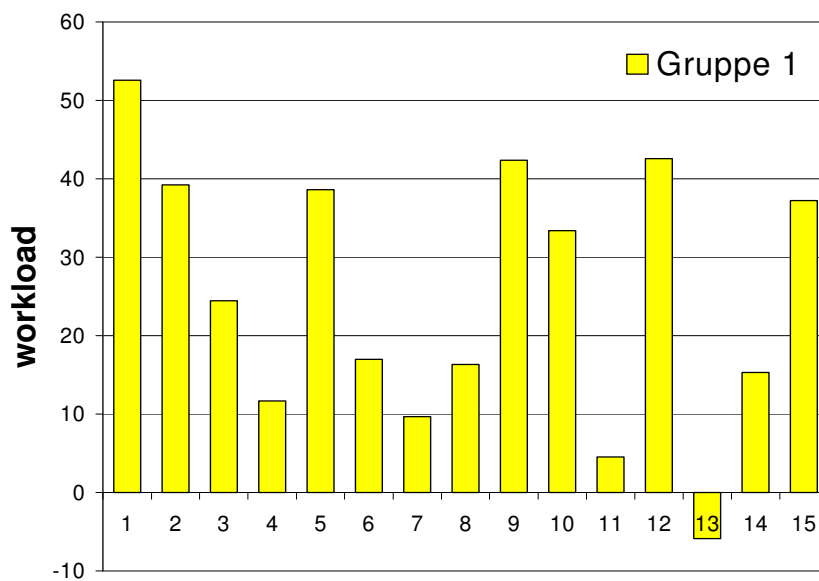


Abb. 5: Darstellung der "Workload" (Fahrtzeiten) Proband Gruppe 1

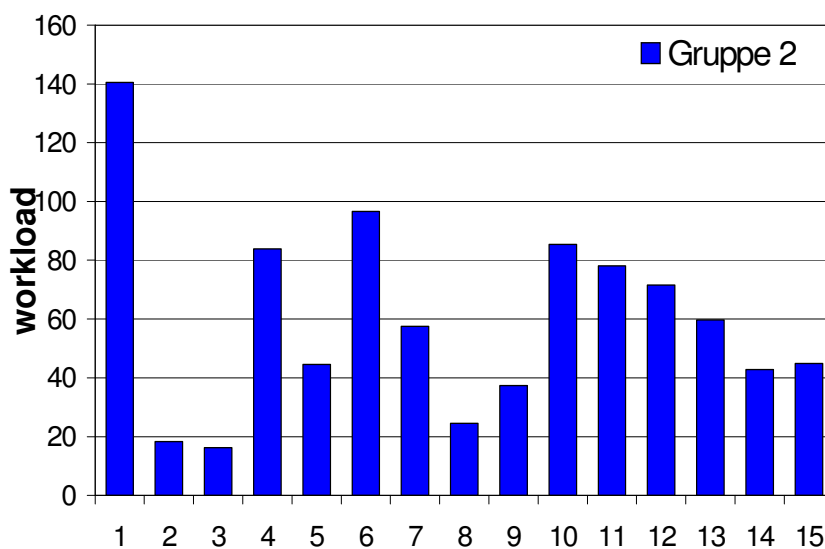


Abb. 6: Darstellung der Workload (Fahrtzeiten) Proband Gruppe 2

	Signifikanz (p)
1) Fahrtzeit - Workload	0,08
2) Gruppe	0,78
Interaktion 1 / 2	0,32

Tabelle 8: Multivariate Varianzanalyse der Workload
Mittelwerte (Fahrtzeiten)

Die graphische Darstellung der Workload ergibt, exemplarisch an diesem Beispiel erläutert, häufig sehr niedrige neben deutlich höheren Workloads. Meist scheint sich ein Übungseffekt erst im weiteren Verlauf zu manifestieren, was aber anhand der Graphik nur tendenziell deutlich wird. Initial gute Leistungen (motorisch / kognitiv) mit einer niedrigen Workload scheinen kurze Zeit später wieder zusammenzubrechen. Ein stabil niedriger Anspruch scheint sich erst später durchzusetzen. Zur statistischen Auswertung wurden die Mittelwerte der Workloads benutzt. Im vorliegenden Fall zeigt die multivariate Varianzanalyse keinen statistisch signifikanten Unterschied.

5.2.3 Auswertung der sinusförmigen Kurve: zeitlicher Abstandes zwischen den Nulldurchgängen

	Gruppe 1				Gruppe 2			
	single		dual		single		dual	
Fahrt Nr. 1	273,75	<i>+/-161,72</i>	161,99	<i>+/-77,40</i>	216,04	<i>+/-153,00</i>	131,16	<i>+/-51,58</i>
Fahrt Nr. 2	114,00	<i>+/-41,73</i>	106,16	<i>+/-37,44</i>	87,82	<i>+/-34,94</i>	84,17	<i>+/-31,15</i>
Fahrt Nr. 3	91,98	<i>+/-35,39</i>	94,22	<i>+/-40,75</i>	75,14	<i>+/-23,38</i>	75,65	<i>+/-19,42</i>
Fahrt Nr. 4	77,60	<i>+/-25,51</i>	78,35	<i>+/-29,17</i>	69,95	<i>+/-22,24</i>	73,69	<i>+/-22,45</i>
Fahrt Nr. 5	74,55	<i>+/-24,38</i>	73,30	<i>+/-19,98</i>	64,14	<i>+/-13,69</i>	63,30	<i>+/-16,26</i>
Fahrt Nr. 6	70,72	<i>+/-19,06</i>	69,26	<i>+/-20,46</i>	61,53	<i>+/-11,44</i>	58,62	<i>+/-13,44</i>
Fahrt Nr. 7	65,52	<i>+/-20,02</i>	63,85	<i>+/-21,20</i>	56,04	<i>+/-10,03</i>	55,53	<i>+/-13,36</i>
Fahrt Nr. 8	64,73	<i>+/-20,21</i>	64,86	<i>+/-21,69</i>	55,94	<i>+/-12,28</i>	55,19	<i>+/-14,80</i>
Fahrt Nr. 9	56,89	<i>+/-15,53</i>	58,70	<i>+/-17,11</i>	49,27	<i>+/-11,29</i>	57,55	<i>+/-21,10</i>
Fahrt Nr. 10	63,35	<i>+/-29,20</i>	57,34	<i>+/-13,49</i>	48,93	<i>+/-10,00</i>	50,23	<i>+/-11,26</i>
Fahrt Nr. 11	52,53	<i>+/-14,62</i>	58,70	<i>+/-19,70</i>	49,19	<i>+/-10,58</i>	47,80	<i>+/-9,91</i>
Fahrt Nr. 12	54,76	<i>+/-12,77</i>	57,22	<i>+/-13,65</i>	47,85	<i>+/-8,70</i>	48,53	<i>+/-11,44</i>
Fahrt Nr. 13	49,72	<i>+/-12,41</i>	55,69	<i>+/-15,06</i>	49,15	<i>+/-7,81</i>	48,28	<i>+/-12,88</i>
Fahrt Nr. 14	54,54	<i>+/-10,45</i>	51,28	<i>+/-11,37</i>	47,22	<i>+/-11,74</i>	47,64	<i>+/-9,57</i>
Fahrt Nr. 15	47,00	<i>+/-12,16</i>	50,65	<i>+/-9,74</i>	47,92	<i>+/-12,39</i>	50,39	<i>+/-11,96</i>
Fahrt Nr. 16	48,60	<i>+/-8,43</i>	52,04	<i>+/-9,67</i>	46,79	<i>+/-10,74</i>	45,71	<i>+/-10,96</i>

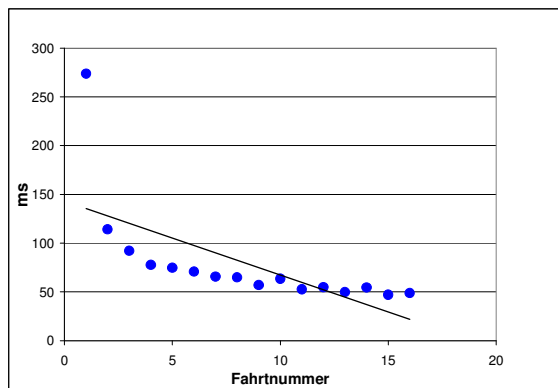
Tabelle 9: Mittelwerte des zeitlichen Abstandes der Nulldurchgänge (in ms). Standardabweichung in kursiv

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	13,99	5410,39	0,01**
2) Zeitl. Abstand	15/4	124,64	791780,91	0,00***
3) Gruppe	1/18	1,48	18871,00	0,24
Interaktion 1 / 3	1/18	0,30	115,14	0,59
Interaktion 2 / 3	15/4	23,51	16806,63	0,00***
Interaktion 1 / 2	15/4	1,53	92305,11	0,37
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	15/4	2,00	2370,30	0,26

Tabelle 10: Multivariate Varianzanalyse des zeitlichen Abstandes der Nulldurchgänge

Hier zeigt sich statistisch zum einen ein signifikanter Unterschied zwischen Single- und Dual-Task ($p=0,01$). Wobei, laut der Mittelwerte, erwartungsgemäß, die zeitlichen Abstände bei Dual-Task-Fahrten am größten sind. Zum anderen zeigt sich eine statistisch hochsignifikante Veränderung der zeitlichen Abstände über die Zeit ($p=0,00$), das heißt, bzgl. der Mittelwerte, eine deutliche Abnahme in beiden Gruppen. Diese ist auch im Gruppenvergleich hochsignifikant ($p=0,00$). Gruppe 2 weist deutlich kleinere zeitliche Abstände als Gruppe 1 auf, gerade in der ersten Hälfte der durchgeführten Testfahrten.

a) Single-Task



b) Dual-Task

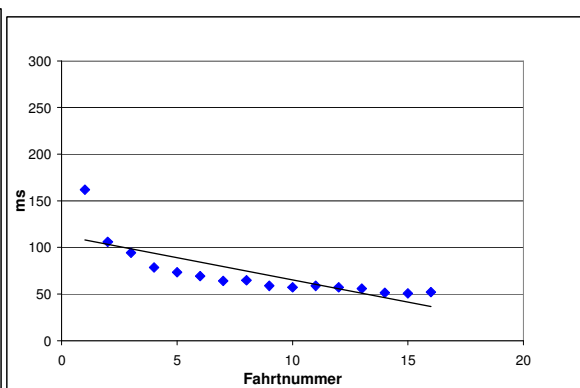
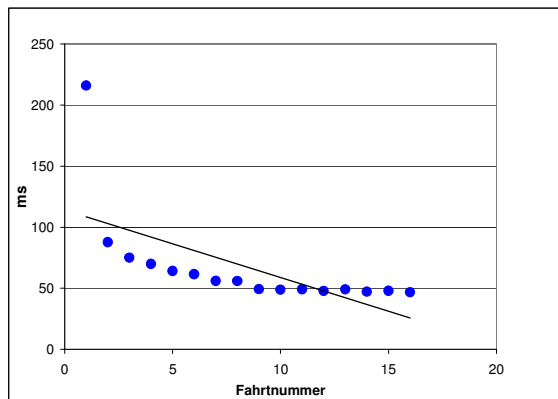


Abb. 7: Mittelwerte der Zeiten zwischen den Nulldurchgängen in der Single-Task und der Dual-Task-Bedingung der Gruppe 1

a) Single-Task



b) Dual-Task

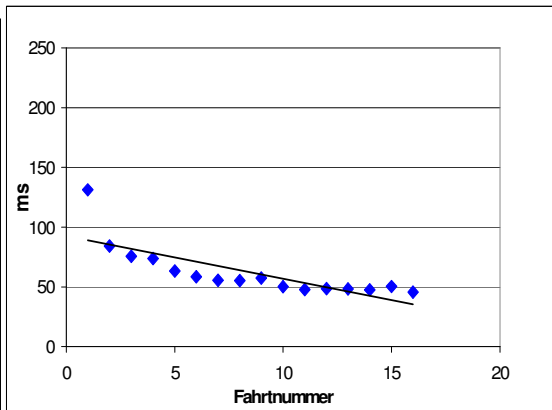


Abb. 8: Mittelwerte der Zeiten zwischen den Nulldurchgängen in der Single-Task und der Dual-Task-Bedingung der Gruppe 2

5.2.3.1 Workload: zeitl. Abstand zwischen den Nulldurchgängen

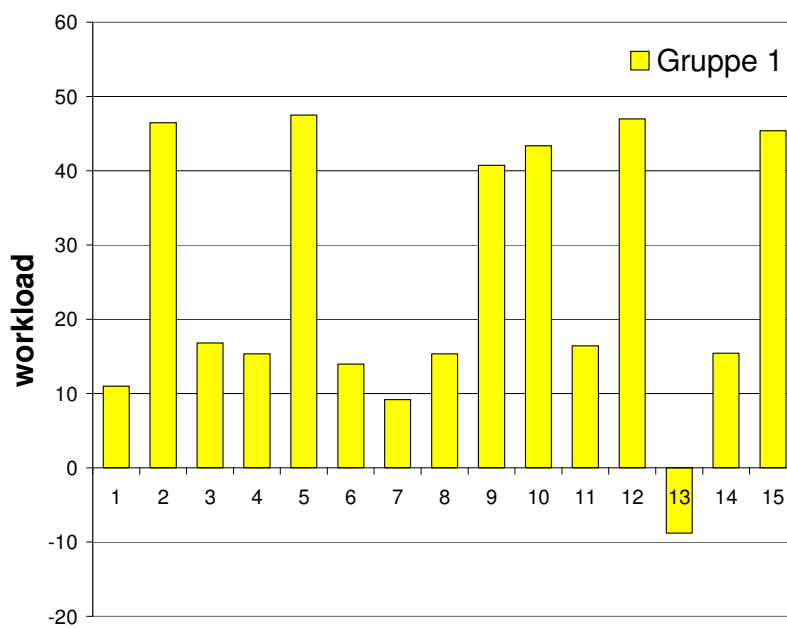


Abb. 9: Darstellung der Workload (zeitl. Abstand zwischen den Nulldurchgängen) Proband Gruppe 1

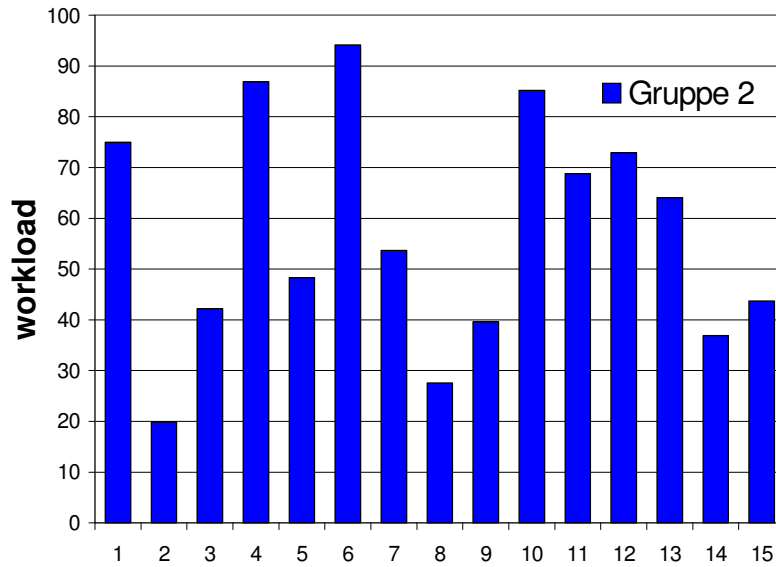


Abb. 10: Darstellung der Workload (zeitl. Abstand zwischen den Nulldurchgängen)
Proband Gruppe 2

	Signifikanz (p)
1) Zeit zw. Nulldurchg.	0,05
2) Gruppe	0,83
Interaktion 1 / 2	0,76

Tabelle11: Multivariate Varianzanalyse der "Workload"
(zeitl. Abstand der Nulldurchgänge)

Auch hier zeigt die graphische Darstellung ein eher "wellenförmiges" Bild. Der Trend zur Abnahme der Workload, welcher in den Fahrtzeiten deutlich wurde, kann nur bei Proband 2 erahnt werden. Proband 1 zeigt einen sehr wechselhaften Anspruch. Allerdings zeigt die statistische Auswertung zumindest einen deutlichen Trend bei der Entwicklung über die Zeit.

5.2.4 Auswertung der sinusförmigen Kurve: Anzahl der Nulldurchgänge

	Gruppe 1				Gruppe 2			
	single		dual		single		dual	
Fahrt Nr. 1	23,90	+/-13,45	32,90	+/-11,38	29,50	+/-10,69	36,50	+/-8,24
Fahrt Nr. 2	39,20	+/-5,92	39,60	+/-6,93	40,80	+/-3,97	41,60	+/-3,72
Fahrt Nr. 3	41,30	+/-4,35	40,90	+/-6,87	41,90	+/-1,10	43,50	+/-2,64
Fahrt Nr. 4	42,50	+/-2,72	40,80	+/-7,15	43,30	+/-1,49	43,00	+/-1,76
Fahrt Nr. 5	41,80	+/-2,53	42,20	+/-1,14	42,90	+/-1,10	41,80	+/-3,62
Fahrt Nr. 6	42,40	+/-1,17	43,40	+/-2,63	43,80	+/-1,23	42,30	+/-4,42
Fahrt Nr. 7	42,40	+/-2,01	42,20	+/-1,62	43,30	+/-1,34	43,20	+/-1,69
Fahrt Nr. 8	42,80	+/-1,32	41,90	+/-2,33	42,40	+/-3,27	42,50	+/-2,32
Fahrt Nr. 9	41,70	+/-1,89	42,40	+/-1,58	43,00	+/-1,70	42,10	+/-2,77
Fahrt Nr. 10	39,70	+/-5,76	43,80	+/-3,68	42,20	+/-1,48	42,60	+/-1,43
Fahrt Nr. 11	42,30	+/-3,27	42,60	+/-4,60	43,00	+/-1,56	42,00	+/-4,45
Fahrt Nr. 12	42,30	+/-1,41	41,10	+/-5,47	41,80	+/-1,62	41,80	+/-1,62
Fahrt Nr. 13	43,00	+/-3,09	41,30	+/-2,83	44,20	+/-2,49	42,30	+/-3,20
Fahrt Nr. 14	41,50	+/-1,84	41,30	+/-4,60	43,20	+/-2,66	42,00	+/-3,40
Fahrt Nr. 15	43,90	+/-2,89	41,80	+/-2,25	42,10	+/-2,28	42,40	+/-2,01
Fahrt Nr. 16	42,70	+/-2,83	42,40	+/-3,10	42,40	+/-2,41	42,30	+/-1,16

Tabelle 12: Mittelwerte der Anzahl der Nulldurchgänge

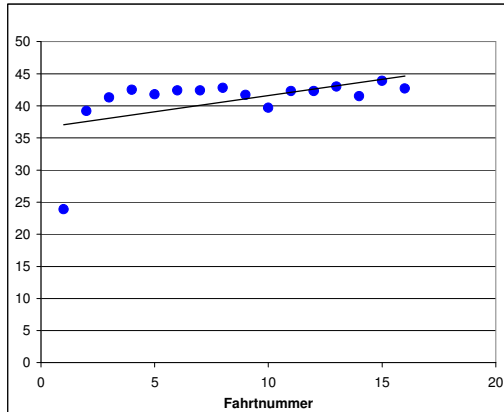
	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	1,56	13,51	0,23
2) Anzahl d. Nulldurchg.	15/4	4,27	5191,81	0,09
3) Gruppe	1/18	1,86	119,89	0,19
Interaktion 1 / 3	1/18	0,47	4,06	0,50
Interaktion 2 / 3	15/4	0,54	220,14	0,83
Interaktion 1 / 2	15/4	4,82	748,71	0,07
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	15/4	1,48	110,56	0,38

Tabelle 13: Multivariate Varianzanalyse der Anzahl der Nulldurchgänge

Bezüglich der Anzahl der Nulldurchgänge zeigen sich keine statistisch signifikanten Ergebnisse. Bei Betrachtung der Mittelwerte lässt sich zeigen, dass Gruppe 2 tendenziell einen kleinen Vorteil einnimmt. In der Tendenz zeigt sich der Lerneffekt bzgl. der Anzahl der Nulldurchgänge als durchaus deutlich ($p=0,09$), allerdings ist dieser nur in den ersten 3 bis 4 durchgeführten Testfahrten am eindrucksvollsten. Auch im Unterschied Single- und Dual-Task fällt der Unterschied zwischen erhöhter

Belastung der Dual-Task-Bedingung (und damit weniger Nulldurchgänge) ins Auge ($p=0,07$), allerdings nicht signifikant.

a) Single-Task



b) Dual-Task

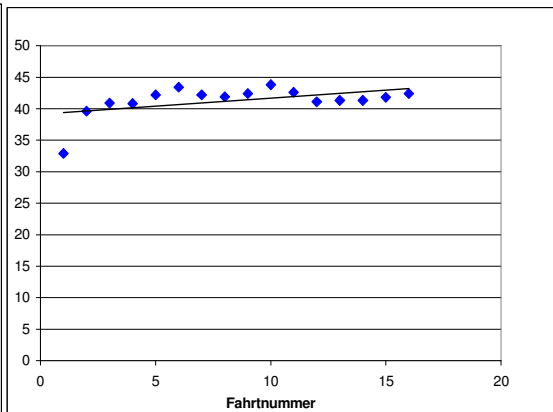
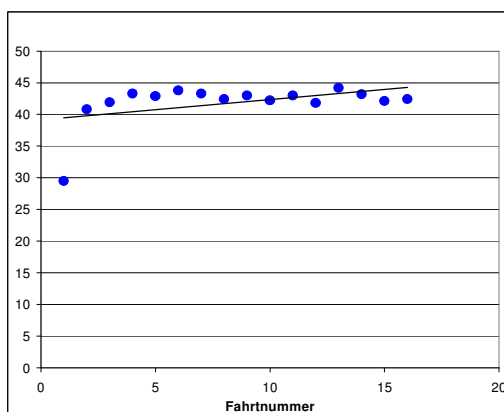


Abb. 11: Mittelwerte der Anzahl der Nulldurchgängen in der Single-Task und der Dual task Bedingung der Gruppe 1

a) Single-Task



b) Dual-Task

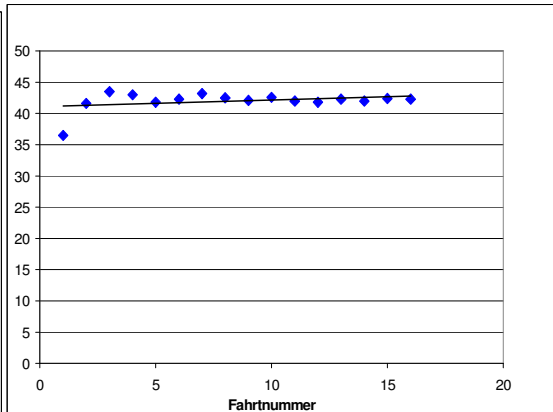


Abb. 12: Mittelwerte der Anzahl der Nulldurchgängen in der Single-Task und der Dual-Task-Bedingung der Gruppe 2

5.2.4.1 Workload: Anzahl der Nulldurchgänge

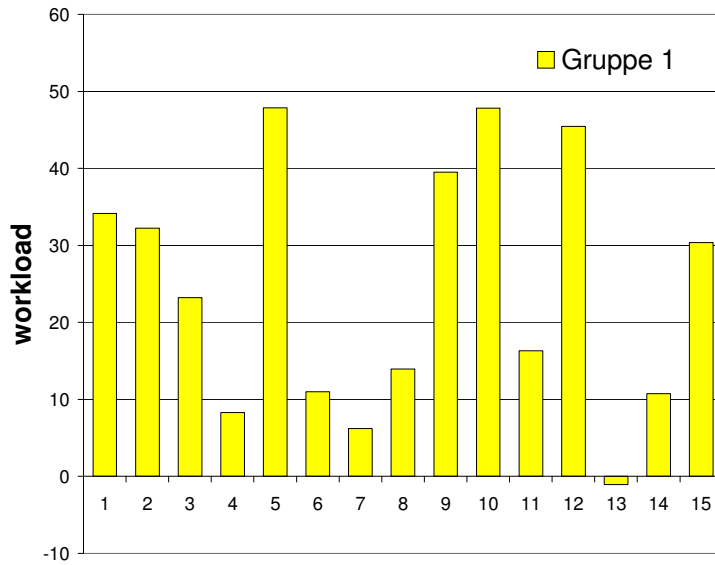


Abb. 13: Darstellung der Workload (Anzahl der Nulldurchgänge)
Proband Gruppe 1

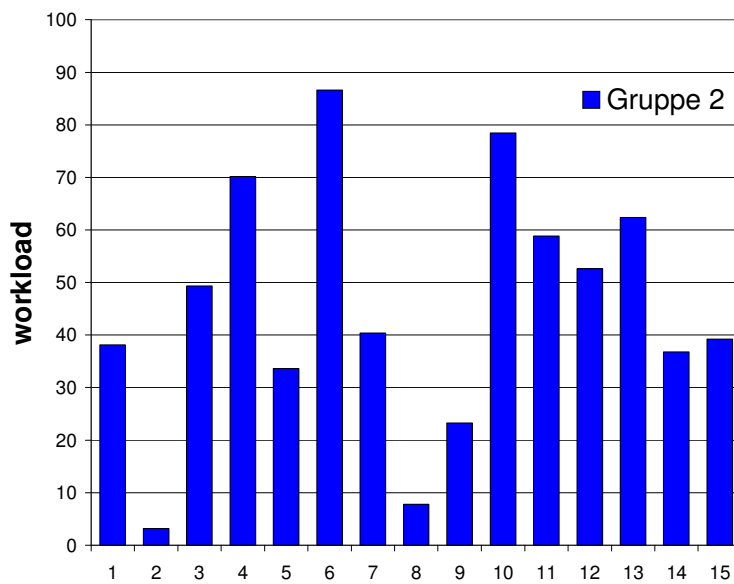


Abb. 14: Darstellung der Workload (Anzahl der Nulldurchgänge)
Proband Gruppe 2

	Signifikanz (p)
1) Fahrtzeit	0,21
2) Gruppe	0,84
Interaktion 1 / 2	0,50

Tabelle 14: Multivariate Varianzanalyse der Workload
(Anzahl der Nulldurchgänge)

Keine statistisch signifikante Entwicklung zeigt sich bezüglich der Workload (Anzahl der Nulldurchgänge). Die graphische Darstellung der Workload erbringt das bereits

zuvor beschriebene Bild eines eher unregelmäßig hohen Anspruches mit (gerade bei Proband 2) einer tendenziellen Abnahme im 2. Teil der Fahrversuche.

5.2.5 Auswertung der sinusförmigen Kurve: Standardabweichung der Nulldurchgänge

	Gruppe 1				Gruppe 2			
	single		dual		single		dual	
Fahrt Nr. 1	139,50	<i>+/-86,18</i>	49,80	<i>+/-34,24</i>	151,36	<i>+/-105,15</i>	56,10	<i>+/-32,39</i>
Fahrt Nr. 2	40,24	<i>+/-23,87</i>	29,59	<i>+/-15,19</i>	24,14	<i>+/-12,93</i>	30,99	<i>+/-19,44</i>
Fahrt Nr. 3	30,83	<i>+/-19,70</i>	30,02	<i>+/-14,64</i>	26,51	<i>+/-24,32</i>	37,85	<i>+/-36,10</i>
Fahrt Nr. 4	23,96	<i>+/-8,56</i>	30,52	<i>+/-18,05</i>	28,30	<i>+/-18,47</i>	29,84	<i>+/-19,63</i>
Fahrt Nr. 5	23,75	<i>+/-15,15</i>	26,51	<i>+/-11,05</i>	21,63	<i>+/-11,18</i>	17,58	<i>+/-5,97</i>
Fahrt Nr. 6	22,18	<i>+/-9,71</i>	30,98	<i>+/-25,59</i>	30,01	<i>+/-20,37</i>	20,20	<i>+/-5,66</i>
Fahrt Nr. 7	21,56	<i>+/-7,74</i>	22,40	<i>+/-13,27</i>	21,90	<i>+/-5,95</i>	19,20	<i>+/-5,88</i>
Fahrt Nr. 8	34,20	<i>+/-32,71</i>	28,44	<i>+/-15,43</i>	29,47	<i>+/-27,71</i>	19,83	<i>+/-10,51</i>
Fahrt Nr. 9	19,15	<i>+/-14,00</i>	19,14	<i>+/-7,45</i>	23,37	<i>+/-20,81</i>	40,62	<i>+/-43,85</i>
Fahrt Nr. 10	40,16	<i>+/-80,72</i>	29,87	<i>+/-27,16</i>	25,23	<i>+/-23,26</i>	17,92	<i>+/-5,71</i>
Fahrt Nr. 11	19,51	<i>+/-12,37</i>	41,78	<i>+/-53,39</i>	23,44	<i>+/-12,56</i>	18,22	<i>+/-7,72</i>
Fahrt Nr. 12	22,73	<i>+/-15,32</i>	27,78	<i>+/-22,41</i>	17,87	<i>+/-5,20</i>	20,25	<i>+/-11,85</i>
Fahrt Nr. 13	22,11	<i>+/-14,66</i>	28,60	<i>+/-17,36</i>	35,60	<i>+/-27,31</i>	28,11	<i>+/-26,80</i>
Fahrt Nr. 14	30,72	<i>+/-21,52</i>	24,54	<i>+/-19,97</i>	24,66	<i>+/-4,61</i>	16,62	<i>+/-5,80</i>
Fahrt Nr. 15	23,92	<i>+/-16,51</i>	21,51	<i>+/-12,33</i>	31,35	<i>+/-23,20</i>	22,52	<i>+/-18,28</i>
Fahrt Nr. 16	21,93	<i>+/-9,98</i>	24,78	<i>+/-17,90</i>	19,71	<i>+/-14,05</i>	16,36	<i>+/-3,46</i>

Tabelle 15: Mittelwerte der Standardabweichung der Nulldurchgänge. Standardabweichung in kursiv

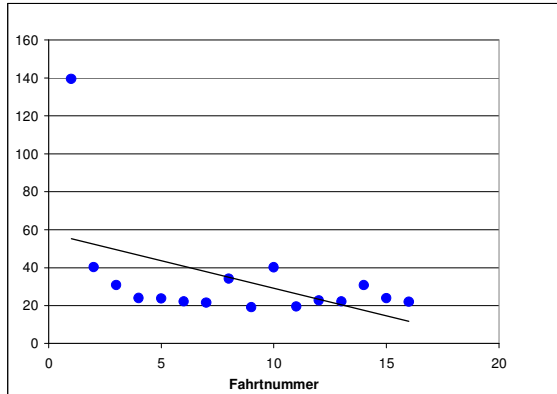
	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	29,56	5790,70	0,00***
2) Standardabw. d. Null.	15/4	4,92	207932,40	0,07
3) Gruppe	1/18	0,21	488,58	0,65
Interaktion 1 / 3	1/18	2,17	425,15	0,16
Interaktion 2 / 3	15/4	1,18	7907,98	0,48
Interaktion 1 / 2	15/4	3,85	84028,34	0,10
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	15/4	0,86	5269,49	0,64

Tabelle 16: Multivariate Varianzanalyse der Standardabweichung der Nulldurchgänge

Die Standardabweichung, hier als weiteres Maß für die Regelmäßigkeit der Bewegung zu sehen, scheint ebenso durch die beiden Übungsarten nicht beeinflusst zu sein. Es zeigt sich ein hochsignifikanter Unterschied zwischen Single- und Dual-Task ($p=0.00$), wobei anhand der Mittelwerte in Gruppe 2 interessanterweise elf Mal

die Standardabweichung in der Single-Task größer als in der Dual-Task ist. In Gruppe 1 ergibt sich ein ausgeglichenes Verhältnis. Tendenziell zeigt sich auch eine Verkürzung der Standardabweichungen über die Zeit in beiden Gruppen ($p=0,07$).

a) Single-Task



b) Dual-Task

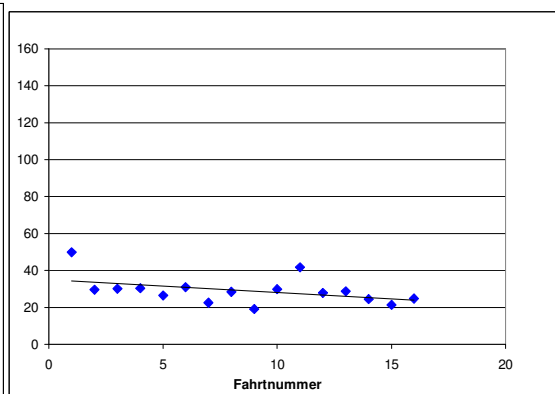
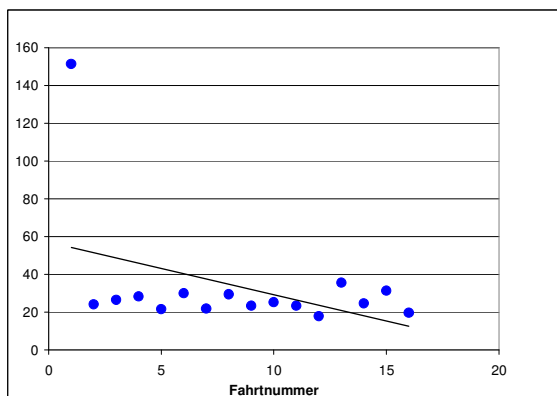


Abb. 15: Mittelwerte der Standardabweichungen der Nulldurchgänge in der Single-Task und der Dual-Task-Bedingung der Gruppe 1

a) Single-Task



b) Dual-Task

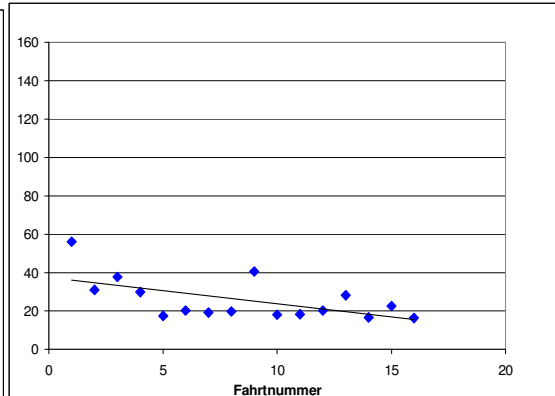


Abb.16: Mittelwerte der Standardabweichungen der Nulldurchgänge in der Single-Task und der Dual-Task -Bedingung der Gruppe 2

5.2.5.1 Workload: Standardabweichung der Nulldurchgänge

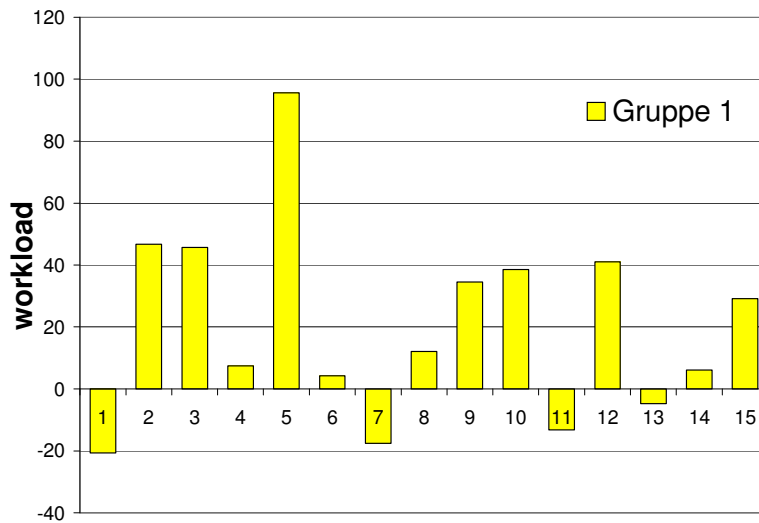


Abb. 17: Darstellung der Workload (Standardabweichung der Nulldurchgänge)
Proband aus Gruppe 1

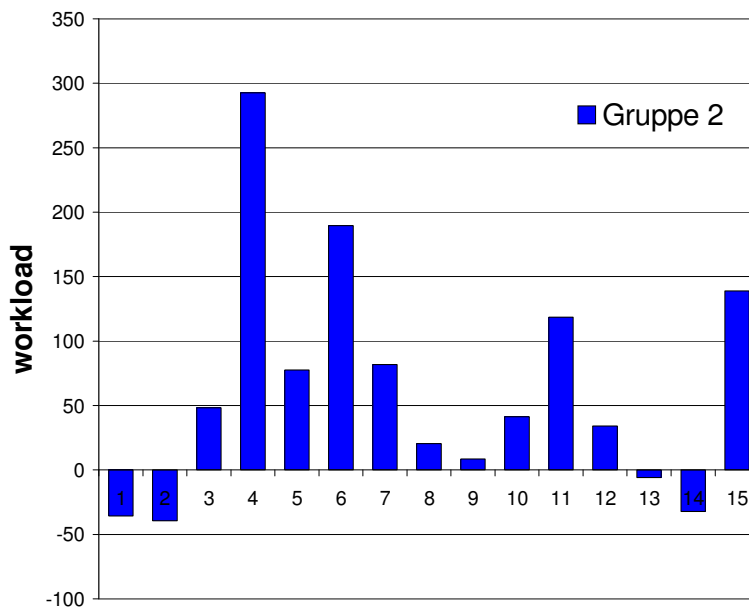


Abb. 18: Darstellung der Workload (Standardabweichung der Nulldurchgänge)
Proband aus Gruppe 2

	Signifikanz (p)
1) Zeit zw. Nulldurchg.	0,09
2) Gruppe	0,39
Interaktion 1 / 2	0,52

Tabelle 17: Multivariate Varianzanalyse der Workload
(Standardabweichung der Nulldurchgänge)

Der Versuch, ein statistisches Maß als Bestandteil zur Berechnung der Workload zu benutzen, scheint keine bessere (statistische) Differenzierung zwischen den Gruppen

zu ermöglichen. Interessanterweise werden hier häufiger sogar „störende“ Interferenzen deutlich. Es zeigt sich statistisch keine signifikante Entwicklung im Sinne einer Gruppenpräferenz.

5.2.6 Auswertung und statistischer Vergleich der letzten 11 Pedalofahrten

In der Auswertung der gesamten Pedalofahrten wurde deutlich, dass der Lerneffekt in den ersten Fahrversuchen am größten und rasch danach nur noch tendenziell nachweisbar war. Um doch noch einen Unterschied im Lernprozess auch jenseits dieser initialen Lernphase nachzuweisen, wurden die Messwerte ab der 6. Pedalofahrt separat statistisch ausgewertet. Auch hierbei wurde eine multivariate Varianzanalyse („MANOVA“-Modell mit repeated measures) der Mittelwerte benutzt.

5.2.6.1 Auswertung der letzten 11 Reaktionszeiten

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	85,84	1167464,88	0,00***
2) Reaktionszeit	10/9	0,57	31975,73	0,80
3) Gruppe	1/18	2,34	80155,71	0,14
Interaktion 1 / 3	1/18	0,01	185,86	0,91
Interaktion 2 / 3	10/9	2,04	45817,27	0,15
Interaktion 1 / 2	10/9	1,05	29394,26	0,48
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	10/9	1,91	61065,66	0,17

Tabelle 18: Multivariate Varianzanalyse der letzten 11 Reaktionszeiten

Auch hier zeigt sich ein hochsignifikanter Unterschied zwischen Single- und Dual-Task (zu Gunsten der Dual-Task, wie bereits in der Gesamtauswertung deutlich wurde). Ein signifikanter Gruppenunterschied zeigt sich hier allerdings nicht.

5.2.6.2 Auswertung der letzten 11 Fahrtzeiten

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	6,22	$4,74 * 10^{-03}$	0,02*
2) Fahrtzeit	10/9	6,29	0,12	0,01**
3) Gruppe	1/18	0,34	$1,49 * 10^{-02}$	0,57
Interaktion 1 / 3	1/18	0,81	$6,15 * 10^{-04}$	0,38
Interaktion 2 / 3	10/9	0,72	$3,61 * 10^{-03}$	0,69
Interaktion 1 / 2	10/9	1,39	$6,47 * 10^{-03}$	0,32
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	10/9	0,92	$5,33 * 10^{-03}$	0,56

Tabelle 19: Multivariate Varianzanalyse der letzten 11 Fahrtzeiten

	Signifikanz (p)
--	-----------------

1) Fahrtzeit - Workload	0,67
2) Gruppe	0,67
Interaktion 1 / 2	0,37

Tabelle 20: Multivariate Varianzanalyse der Workload der letzten 11 Fahrtzeiten

Im Gegensatz zu der Gesamtauswertung zeigt sich statistisch ein stark signifikanter Unterschied zwischen Single- und Dual-Task ($p=0,02$). Wobei erwartungsgemäß die Dual-Task-Gruppe längere Fahrtzeiten aufweist. Eine signifikante Entwicklung weist die Entwicklung der Fahrtzeit über die Versuchsdauer auf ($p=0,01$). Dies überrascht, da eine eindeutige Verbesserung der Fahrtzeiten nur im ersten Drittel der Versuche stattfindet. Leider zeigt sich keine statistisch eindeutige Gruppenzuordnung.

5.2.6.3 Auswertung der sinusförmigen Kurve: zeitlicher Abstandes zwischen den Nulldurchgängen der letzten 11 Pedalofahrten

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	1,01	64,82	0,31
2) zeitl. Abstand	10/9	8,95	11648,66	0,00**
3) Gruppe	1/18	1,56	4627,37	0,23
Interaktion 1 / 3	1/18	0,12	7,08	0,73
Interaktion 2 / 3	10/9	1,54	1094,12	0,27
Interaktion 1 / 2	10/9	2,37	580,21	0,11
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	10/9	1,83	598,36	0,19

Tabelle 21: Multivariate Varianzanalyse der zeitlichen Abstände der Nulldurchgänge der letzten 11 Fahrten

	Signifikanz (p)
1) Fahrtzeit - Workload	0,67
2) Gruppe	0,99
Interaktion 1 / 2	0,47

Tabelle 22: Multivariate Varianzanalyse der Workload (zeitl. Abst. der Nulldurchgänge) der letzten 11 Pedalofahrten

Hier zeigt sich nur noch die Entwicklung des Abstandes der Nulldurchgänge über die Zeit hochsignifikant ($p=0,00$), wie bereits in der Gesamtauswertung deutlich wurde. Alle weiteren statistisch signifikanten Resultate sind hier nicht mehr nachweisbar.

5.2.6.4 Auswertung der sinusförmigen Kurve: Anzahl der Nulldurchgänge der letzten 11 Pedalofahrten

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	1,78	9,31	0,20
2) Anzahl der Nulldurchgänge	10/9	0,62	51,59	0,77
3) Gruppe	1/18	0,60	14,55	0,45
Interaktion 1 / 3	1/18	1,27	6,63	0,28
Interaktion 2 / 3	10/9	0,96	32,16	0,53
Interaktion 1 / 2	10/9	1,32	94,49	0,34
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	10/9	1,06	77,7	0,47

Tabelle 23: Multivariate Varianzanalyse der Anzahl der Nulldurchgänge der letzten 11 Fahrten

	Signifikanz (p)
1) Fahrtzeit - Workload	0,68
2) Gruppe	0,72
Interaktion 1 / 2	0,61

Tabelle 24: Multivariate Varianzanalyse der Workload (Anzahl der Nulldurchgänge) der letzten 11 Pedalofahrten

Auch in dieser Auswertung zeigt sich kein signifikanter Unterschied. Scheinbar ist die Anzahl der Nulldurchgänge kein relevantes Mittel zur Erfassung eines Lernprozesses.

5.2.6.5 Auswertung der sinusförmigen Kurve: Standardabweichung der Nulldurchgänge der letzten 11 Pedalofahrten

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz (p)
1) Single – Dual-Task	1/18	0,51	101,14	0,48
2) Standardabweichung d. Nulldurchgänge	10/9	1,00	3027,33	0,50
3) Gruppe	1/18	0,36	699,78	0,56
Interaktion 1 / 3	1/18	4,79	943,02	0,04*
Interaktion 2 / 3	10/9	1,04	5962,84	0,48
Interaktion 1 / 2	10/9	0,43	3710,48	0,90
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	10/9	0,62	3360,68	0,77

Tabelle 25: Multivariate Varianzanalyse der Standardabweichungen der Nulldurchgänge der letzten 11 Fahrten

	Signifikanz (p)
1) Fahrtzeit - Workload	0,69
2) Gruppe	0,17
Interaktion 1 / 2	0,79

Tabelle 26: Multivariate Varianzanalyse der Workload (Standardabw. der Nulldurchgänge) der letzten 11 Pedalofahrten

Es zeigt sich hier ein signifikanter Gruppenunterschied zwischen Single- und Dual-Task, wobei anhand der Mittelwerte Gruppe 2 deutlicher differiert. Hierbei zeigen sich 9 Pedalofahrten in der Single-Task-Bedingung mit einer höheren Standardabweichung als in der Dual-Task-Bedingung.

6. Ergebnisse der Studie II

6.1 Ausgewertete Daten der Studie II

Zur Auswertung der Studie II wurden folgendes Datenmaterial benutzt:

- 1) Insgesamt 6 Vortestvariablen
- 2) Ergebnisse des motorischen Scores zur Bewertung der durchgeführten Videoaufnahmen vor und nach den Therapien; Bewertung durch insgesamt 3 erfahrene und bezüglich der Aufnahmen verblindete Physiotherapeuten
- 3) Reaktionszeiten vor und nach den Therapien
- 4) Schrittdauern vor und nach den Therapien

6.2 Vortestvariablen

Es wurden folgende Vortestvariablen bestimmt:

- European Stroke Scale
- Alter
- Geschlecht
- erkrankte Körperseite
- Therapieanzahl pro Woche
- Zeitraum zwischen Erkrankung und Therapiebeginn

6.2.1 Vortestvariablen der Gruppe 1 (Single-Task-Gruppe)

Bedeutung der einzelnen Kategorien:

- Geschlecht: 1 = männlich; 2 = weiblich
- Alter: in Jahren

- Zeit:** Zeitraum zwischen Erkrankungsbeginn / -manifestation und Aufnahme zur Therapie in Monaten
- Therapie:** Anzahl der 45 minütigen Therapieeinheiten pro Woche
- Kö-seite:** betroffene Körperseite; 1 = linke Seite; 2 = rechte Seite
- ESS:** Gesamtscore in der European Stroke Scale

Patient	Geschlecht	Alter	Zeit	Therapie	Kö-seite	ESS
1	2	58	10	5	1	54
2	1	48	2	5	2	92
3	1	70	5	5	3	88
4	1	20	7	5	1	60
5	2	33	45	5	2	79
6	1	50	8	5	2	58
7	1	50	25	5	2	64
8	1	50	24	5	2	64
9	1	37	15	5	1	55
10	2	56	8	5	1	55
11	2	65	38	4	2	79
12	2	40	7	5	2	63
13	1	37	17	5	1	60
14	2	35	2	5	1	86
15	2	20	4	4	2	61
16	2	23	12	5	3	60
17	1	63	6	5	1	42
18	1	60	15	5	2	54
N	18	18	18	18	18	18
M	1,44	45,28	13,89	4,89	1,72	65,22
SD	0,51	15,49	12,11	0,32	0,67	13,74
Min.	-	20	2	-	-	42
Max.	-	70	45	-	-	92

Tabelle 1: Vortestvariablen und deren Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum sowie die Anzahl der in die Bewertung eingegangenen Probanden der Gruppe 1

6.2.2 Vortestvariablen der Gruppe 2 (Dual-Task-Gruppe)

Patient	Geschlecht	Alter	Zeit	Therapie	Kö-seite	ESS
19	1	57	2	5	2	59
20	2	42	15	5	2	49
21	1	68	10	5	3	88
22	1	32	13	5	2	78
23	1	63	9	5	1	58
24	2	16	4	5	2	90
25	1	36	63	5	3	88
26	2	50	8	5	2	67
27	1	67	5	5	2	62
28	1	37	16	5	1	75
29	1	38	3	5	3	90
30	1	43	3	5	2	61
31	2	45	5	5	1	54
32	2	40	9	4	1	72
33	1	64	13	5	2	67
34	2	42	6	5	2	65
35	2	47	70	5	2	58
36	2	49	3	4	1	65
N	18	18	18	18	18	18
M	1,44	46,44	14,28	4,89	1,89	69,22
SD	0,51	13,5	19,52	0,32	0,68	12,95
Min.	-	16	2	-	-	49
Max.	-	68	70	-	-	90

Tabelle 2: Vortestvariablen und deren Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum sowie die Anzahl der in die Bewertung eingegangenen Probanden der Gruppe 2

6.2.3 Statistischer Vergleich beider Gruppen bzgl. der Vortestvariablen

Der durchgeführte Student-T-Test für unabhängige Stichproben ergab keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Vortestvariablen zwischen beiden Gruppen. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass beide Gruppen vergleichbar sind.

	T-Wert	df	Signifikanz
Zeit	-0,072	34	0,943
Körperseite	-0,743	34	0,462
Alter	-0,241	34	0,811
Geschlecht	0	34	1,00
ESS	-0,899	34	0,375
Therapieanzahl	0	34	1,00

Tabelle 3: Student-T-Test für unabhängige Stichproben bezüglich der 6 Vortestvariablen; dargestellt sind der T-Wert, die Freiheitsgrade (df) und die Signifikanz

6.2.4 Erkrankungsspektrum

Folgende Diagnosen wiesen die in die Studie aufgenommenen Patienten auf:

Diagnosen	weiblich	männlich
Schädel Hirn Trauma	5	7
Insult	7	9
Multiple Sklerose	1	1
Intrazerebrale Blutung	2	1
Kleinhirnatrophie	0	1
Meningitis	0	1
Z.n. Eklampsie mit multp. ischämischen Herden	1	0

Tabelle 4: Diagnosen der in die Studie II aufgenommenen Patienten

6.3 Statistische Auswertung der Ergebnisse

6.3.1. Inter-Rater Korrelationen

Durch Berechnung von Pearson-Moment Korrelationen sollte eine Aussage zur Frage der Übereinstimmung der Bewertungen der 3 Therapeuten, sowie indirekt zur Güte des ausgehändigten Scores erfolgen. Dabei gingen die Summenscores der jeweiligen Beurteiler (A, B, oder C) in die Auswertung ein:

	SUM A	SUM B	SUM C
SUM A	1,00	0,958	0,946
SUM B	0,958	1,00	0,972
SUM C	0,946	0,972	1,00

Tabelle 5: Pearson Produkt – Moment Korrelation zwischen den Gesamtscores; A, B, C = Physiotherapeuten

Es zeigt sich, dass alle 3 unabhängigen Beurteiler die Motorik der einzelnen Patienten durchaus übereinstimmend einschätzten.

6.3.1 Statistische Auswertung des motorischen Scores / Reaktionszeiten

Für alle ausgewerteten Parameter der Studie II wurde das MANOVA Modell mit repeated measures gewählt, wobei folgende Bedingungen / Faktoren festgelegt wurden:

- Einzelfaktoren:
- a) prä / post: Therapiezeitpunkt (vor / nach)
 - b) single / dual: Therapieart (Single-Task / Dual-Task)
 - c) Gruppen (1 = Therapie unter Single-Task-Bedingungen;
2 = Therapie unter Dual-Task-Bedingungen)

Als Innergruppen-Faktoren wurden dabei „single / dual“ und „prä – post“ für die Parameter Schrittdauer, mot. Score und Reaktionszeit, sowie „prä – post“ für den Parameter „Workload“ gewählt. Zusätzlich wurde für den Parameter „Schrittdauer“ der Faktor „gesunde – erkrankte Seite“ ausgewertet. Als Zwischengruppen-Faktor wurde „Gruppe“ (Gruppe 1 / 2) gewählt.

a) Multivariate Varianzanalyse der Summenscores:

Bezüglich des motorischen Summenscores führten wir folgende Rechenoperationen zur vereinfachten statistischen Auswertung durch: da jede Gangprobe von 3 verschiedenen Beurteilern bewertet wurde, summierten wir die 3 Einzelscores pro Therapiezeitpunkt und Therapieart.

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz
1) vor - nach Therapie	1/29	38,58	164,18	0,00***
2) Single-Task–Dual-Task	1/29	0,05	$2,34 * 10^{-02}$	0,83
Gruppe	1/29	0,01	0,27	0,93
Interaktion 1 / 2	1/29	3,11	0,822	0,89
Interaktion 1 / Gruppe	1/29	0,17	0,74	0,68
Interaktion 2 / Gruppe	1/29	0,02	$1,01 * 10^{-02}$	0,89
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	1/29	0,03	$7,94 * 10^{-03}$	0,86

Tabelle 6: Multivariate Varianzanalyse der Summenscores aller 3 Physiotherapeuten mit Angabe des F-Wertes, Signifikanzen (p), der Quadratsummen vom Typ III (M) und der Freiheitsgrade (df)

b) Multivariate Varianzanalyse der Score- Mittelwerte:

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte des motorischen Scores abgebildet:

Therapiezeitpunkt	<u>prä</u>				<u>post</u>			
Modus Parameternr.	single		dual		single		dual	
Parameter 1	10,22	<i>+/- 4,96</i>	9,40	<i>+/-4,09</i>	7,00	<i>+/-7,00</i>	6,91	<i>+/-6,91</i>
Parameter 2	5,20	<i>+/-2,06</i>	5,36	<i>+/-2,11</i>	3,64	<i>+/-1,53</i>	3,96	<i>+/-1,30</i>
Parameter 3	11,02	<i>+/-3,84</i>	10,56	<i>+/-3,51</i>	8,87	<i>+/-3,97</i>	8,91	<i>+/-4,23</i>
Parameter 4	15,16	<i>+/-7,15</i>	14,18	<i>+/-6,60</i>	11,93	<i>+/-5,14</i>	11,87	<i>+/-4,70</i>
Parameter 5	13,96	<i>+/-6,12</i>	14,24	<i>+/-6,28</i>	11,38	<i>+/-4,01</i>	11,53	<i>+/-3,71</i>
Parameter 6	11,22	<i>+/-3,96</i>	11,13	<i>+/-3,51</i>	8,33	<i>+/-3,30</i>	8,98	<i>+/-3,25</i>
Parameter 7	13,71	<i>+/-5,81</i>	13,82	<i>+/-5,35</i>	11,64	<i>+/-5,92</i>	12,02	<i>+/-5,97</i>
Parameter 8	13,18	<i>+/-5,49</i>	12,80	<i>+/-5,26</i>	10,58	<i>+/-3,74</i>	11,07	<i>+/-3,70</i>
Parameter 9	14,56	<i>+/-3,50</i>	15,24	<i>+/-3,41</i>	13,22	<i>+/-4,00</i>	13,27	<i>+/-3,82</i>
Parameter 10	6,09	<i>+/-2,52</i>	6,24	<i>+/-2,27</i>	4,44	<i>+/-2,39</i>	4,78	<i>+/-2,03</i>

Tabelle 7: Mittelwerte der 10 Parameter des motorischen Scores, unterteilt in Therapiezeitpunkt und -art der Gruppe 1. Standardabweichung in kursiv

Therapiezeitpunkt	<u>prä</u>				<u>post</u>			
Modus Parameternr.	single		dual		single		dual	
Parameter 1	10,08	<i>+/-4,15</i>	10,04	<i>+/-4,13</i>	7,13	<i>+/-3,57</i>	7,38	<i>+/-3,41</i>
Parameter 2	4,38	<i>+/-1,59</i>	4,33	<i>+/-1,64</i>	4,15	<i>+/-2,15</i>	4,33	<i>+/-2,07</i>
Parameter 3	11,27	<i>+/-3,95</i>	10,81	<i>+/-3,98</i>	8,96	<i>+/-3,83</i>	8,98	<i>+/-3,25</i>
Parameter 4	16,29	<i>+/-5,94</i>	15,92	<i>+/-5,23</i>	13,48	<i>+/-6,83</i>	13,54	<i>+/-6,37</i>
Parameter 5	14,98	<i>+/-5,76</i>	14,33	<i>+/-4,27</i>	11,42	<i>+/-3,18</i>	11,54	<i>+/-2,77</i>
Parameter 6	10,69	<i>+/-3,77</i>	11,19	<i>+/-4,05</i>	7,67	<i>+/-3,96</i>	8,13	<i>+/-3,34</i>
Parameter 7	13,96	<i>+/-5,77</i>	13,60	<i>+/-5,28</i>	10,48	<i>+/-3,82</i>	10,52	<i>+/-3,32</i>
Parameter 8	14,42	<i>+/-4,52</i>	14,27	<i>+/-4,32</i>	11,13	<i>+/-3,75</i>	11,44	<i>+/-3,82</i>
Parameter 9	14,73	<i>+/-2,97</i>	14,71	<i>+/-3,46</i>	11,33	<i>+/-4,42</i>	11,29	<i>+/-4,25</i>
Parameter 10	6,02	<i>+/-2,45</i>	6,23	<i>+/-2,22</i>	5,04	<i>+/-2,25</i>	5,19	<i>+/-2,09</i>

Tabelle 8: Mittelwerte der 10 Parameter des motorischen Scores, unterteilt in Therapiezeitpunkt und -art der Gruppe 2. Standardabweichung in kursiv

	df	F-Wert	Signifikanz
1) vor - nach Therapie	10/20	5,22	0,00***
2) Single-Task–Dual-Task	10/20	4,03	0,00***
Gruppe	10/20	0,88	0,57
Interaktion 1 / 2	10/20	0,71	0,71
Interaktion 1 / Gruppe	10/20	1,31	0,29
Interaktion 2 / Gruppe	10/20	0,72	0,69
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	10/20	0,50	0,87

Tabelle 9: Multivariate Varianzanalyse der Summenscore-Mittelwerte aller 3 Physiotherapeuten

Erwartungsgemäß verbessert sich der motorische Score im „prä“ – „post“ Vergleich als gesamter Therapieeffekt signifikant. Ebenso zeigt sich im Single – Dual-Task-Vergleich als gesamter „Taskeffekt“ ein hochsignifikanter Unterschied. Es läßt sich also zeigen, dass sowohl Gruppe 1 als auch Gruppe 2 deutliche Therapieerfolge aufweisen. Dabei ergeben die Mittelwerte zum einen eine deutlich bessere Bewertung unter „Single“-Bedingungen, wobei interessanterweise in den „post“ Zeitpunkten in 8 bzw. 9 Parameter (Gruppe 1 bzw. 2) und in den „prä“ Zeitpunkten 5 bzw. 2 Parameter die „Dual“-Bedingungen im Mittel schlechter bewertet werden, welches als Zeichen der erhöhten kognitiven Belastung gewertet werden muss. Warum gerade nach den Therapien die motorische Leistung in der Dual-Task-Bedingung schlechter bewertet wird ist unklar. Darüber hinaus zeigt sich hier, dass im Mittel die Verbesserungen sowohl in der Single-Task, als auch in der Dual-Task-Bedingung im prä / post Vergleich bei Gruppe 2 deutlicher, allerdings statistisch nicht signifikant ist. (Mittlere Verbesserung prä-post: **Gruppe 1** Single-Task: 2,33 Pkt.; Dual-Task: 1,97 Pkt.; **Gruppe 2** Single-Task: 2,60 Pkt.; Dual-Task: 2,31 Pkt.)

6.3.3 Statistische Auswertung der Schrittdauern

Zur Berechnung und statistischen Auswertung der Schritte (step) wurden folgende Bezeichnungen eingeführt:

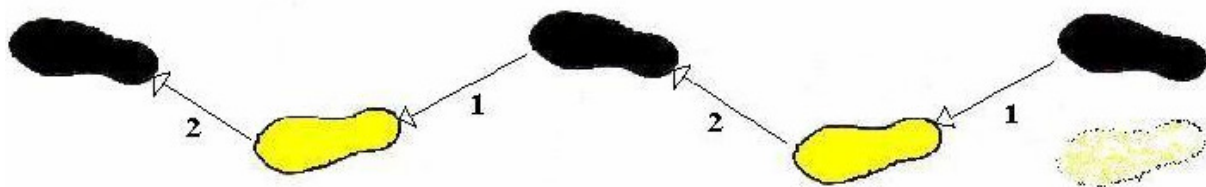


Abb 1: Schrittfolge: hell: paretische Seite; dunkel: gesunde Seite; verwischter Fußabdruck: zuerst im Gangablauf nach vorne gesetzter Fuß

Der Gangablauf wurde unterteilt in: a) Schritt von der gesunden zur erkrankten Körperseite (in Abb.1 als "1" gekennzeichnet) und b) Schritt von der erkrankten zur gesunden Körperseite (als "2" gekennzeichnet).

	Schritt 1			
Therapiezeitpunkt	<u>prä</u>		<u>post</u>	
Modus Gruppe	single	dual	single	dual
Gruppe 1	1,04 <i>+/-0,42</i>	1,04 <i>+/- 0,42</i>	1,07 <i>+/-0,62</i>	1,00 <i>+/-0,58</i>
Gruppe 2	0,99 <i>+/-0,48</i>	0,92 <i>+/-0,33</i>	0,90 <i>+/-0,38</i>	0,89 <i>+/-0,33</i>

Tabelle 10: Mittelwerte der Schrittdauern. Patienten der Gruppe 1; Standardabweichungen in kursiv.

	Schritt 2			
Therapiezeitpunkt	<u>prä</u>		<u>post</u>	
Modus Gruppe	single	dual	single	dual
Gruppe 1	0,87 <i>+/-0,44</i>	0,85 <i>+/-0,44</i>	0,91 <i>+/-0,66</i>	0,88 <i>+/-0,62</i>
Gruppe 2	0,76 <i>+/-0,35</i>	0,70 <i>+/-0,19</i>	0,70 <i>+/-0,25</i>	0,68 <i>+/-0,23</i>

Tabelle 11: Mittelwerte der Schrittdauern. Patienten der Gruppe 2; Standardabweichungen in kursiv.

Interessanterweise zeigt sich hierbei in den meisten Therapiezeitpunkten eine verlängerte Schrittdauer in den „Single“-Bedingungen. Scheinbar erleichtert eine (kognitive) Ablenkung die (zumindest zeitliche) Ausführung der Erstaufgabe. Als Maß für die Symmetrie der Schritte können durch Ermitteln und Vergleich der Differenzwerte für Schritte 1 und 2 in der "Single"-Bedingung folgende Ergebnisse erzielt werden:

	Gruppe 1	Gruppe 2
Schritte "prä"	0,17	0,23
Schritte "post"	0,16	0,19

Tabelle 12: Differenzwerte der Schrittdauern für Schritt 1 und 2 in der "Single"- Bedingung

Die Schrittdauern werden im prä / post Vergleich kürzer. Beide Gruppen scheinen sich darüber hinaus anzugleichen, so dass eine zunehmende Stabilität und Gangsymmetrie vermutet werden kann.

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz
1) vor - nach Therapie	1/29	0,36	$1,64 * 10^{-02}$	0,85
2) Single-Task–Dual-Task	1/29	3,34	$7,21 * 10^{-02}$	0,78
gesunde – kranke Seite	1/29	38,91	2,12	0,00***
Interaktion 1 / 2	1/29	0,67	$9,84 * 10^{-04}$	0,80
Interaktion 1 / Gruppe	1/29	0,13	$5,77 * 10^{-02}$	0,73
Interaktion 2 / Gruppe	1/29	0,44	$9,54 * 10^{-04}$	0,84
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	1/29	2,27	$3,33 * 10^{-02}$	0,14

Tabelle 13: Multivariate Varianzanalyse der Schrittdauern

Es zeigt sich eine hohe Signifikanz für den Unterschied zwischen den Schrittdauern Schritt 1 – Schritt 2, wobei bzgl. der Mittelwerte der Schritt 2 deutlich kürzer ist. Eine Belastung der paretischen Seite wird somit vom Patienten vermieden. Ansonsten zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bzgl. anderer Interaktionen.

6.3.4 Statistische Auswertung der Workload

Wie bereits im Methodenteil beschrieben, gehen in die Darstellung der Workload sowohl die Bewertung der motorischen Parameter, als auch die Reaktionszeiten ein.

a) Multivariate Varianzanalyse der Workload als Summe:

Hierbei wurde zur Auswertung die Summe der einzelnen Workloads / mot. Parameter des Scores (also insg. 10) berücksichtigt.

	df	F-Wert	Signifikanz
1) vor - nach Therapie	10/18	1,17	0,37
Gruppe	10/18	0,46	0,89
Interaktion 1 / Gruppe	10/18	1,72	0,15

Tabelle 14: Multivariate Varianzanalyse der Workload-Summenscores

b) Multivariate Varianzanalyse der Workload als Mittelwerte:

	df	F-Wert	Signifikanz
1) vor - nach Therapie	1/27	2,81	0,11
Gruppe	1/27	0,55	0,46
Interaktion 1 / Gruppe	1/27	14,11	0,00***

Tabelle 15: Multivariate Varianzanalyse der Workload-Mittelwerte

"Workload" - Mittelwerte

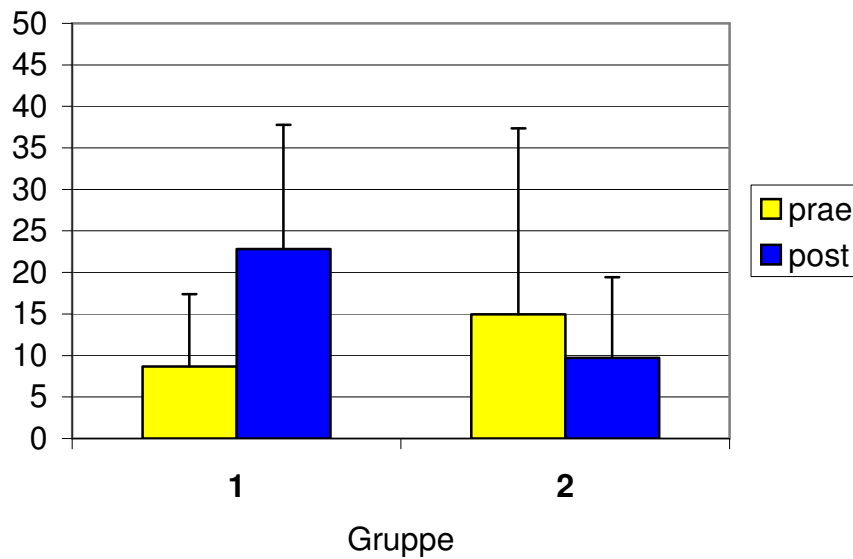


Abb. 2: Graphische Auftragung der Workload-Mittelwerte im Vergleich der Gruppen und des Therapiezeitpunktes

Die Auswertung zeigt einen hochsignifikanten Therapieeffekt bzgl. der Mittelwerte, wobei sich allerdings interessanterweise in der Gruppe 1 eine Zunahme und in der Gruppe 2 eine Abnahme der Workload im prä - post Vergleich zeigt.

6.3.5 Statistische Auswertung der Reaktionszeiten

Therapiezeitpunkt	<u>prä</u>		<u>post</u>	
Modus	single	dual	single	dual
Gruppe.				
Gruppe 1	370,09 <i>+/-66,73</i>	401,24 <i>+/-63,92</i>	332,09 <i>+/-54,60</i>	389,87 <i>+/-63,71</i>
Gruppe 2	361,81 <i>+/-75,00</i>	409,03 <i>+/-85,04</i>	311,28 <i>+/-82,85</i>	323,62 <i>+/-72,93</i>

Tabelle 16: Mittelwerte der Reaktionszeiten in ms. Standardabweichungen in kursiv.

Mittelwerte der Reaktionszeiten als "Single-Task"

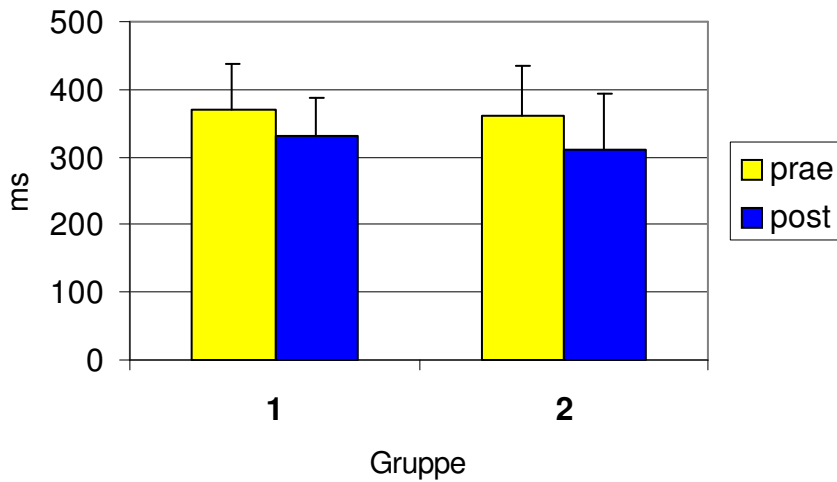


Abb. 3: Graphische Auftragung der Mittelwerte der Reaktionszeiten als Single-Task

Mittelwerte der Reaktionszeiten als "Dual-Task"

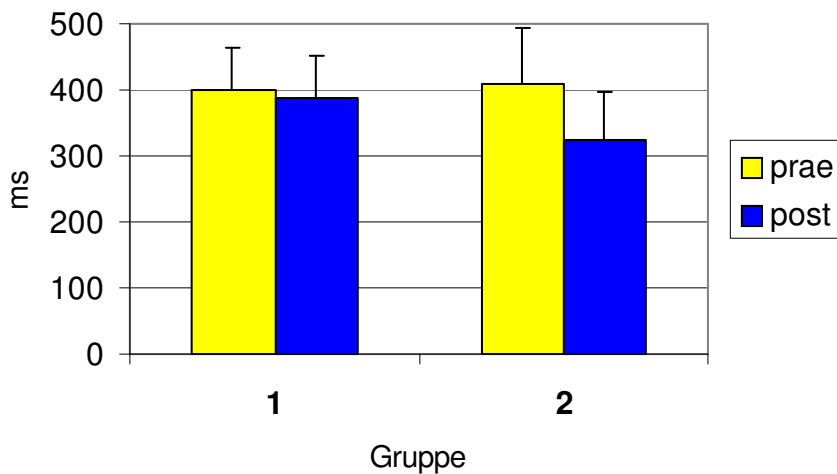


Abb. 4: Graphische Auftragung der Mittelwerte der Reaktionszeiten als Dual-Task

	df	F-Wert	Quadratsumme	Signifikanz
1) vor - nach Therapie	1/30	235,42	68405,38	0,00***
2) Single-Task – Dual-Task	1/30	76,25	43938,48	0,00***
Gruppe	1/30	0,79	15266,50	0,38
Interaktion 1 / 2	1/30	0,41	134,98	0,53
Interaktion 1 / Gruppe	1/30	51,38	14929,71	0,00***
Interaktion 2 / Gruppe	1/30	2,98	1718,39	0,09
Interakt. 1 / 2 / Gruppe	1/30	23,01	7534,47	0,00***

Tabelle 17: Multivariate Varianzanalyse der Reaktionszeiten

Hochsignifikant zeigen sich der gesamte Therapieeffekt ($p=0,00$) (obwohl die Reaktionszeiten selbst nicht beübt wurden), der gesamte Taskeffekt ($p=0,00$) (Single – Dual), der Therapieeffekt zwischen Gruppe 1 und 2 ($p=0,00$) sowie der gruppenspezifische Therapie- / Taskeffekt ($p=0,00$), wobei anhand der Mittelwerte eine deutlichere Verbesserung in Gruppe 2 auffällt. Scheinbar verändert sich der Dual-Task-Effekt über den Therapieverlauf in Favorisierung der Gruppe 2.

7. Diskussion

7.1 Diskussion der Ergebnisse der Studie I

Bezüglich des Grundgedankens hatten sowohl Studie I als auch Studie II gleiche Absichten. Ein motorisches Training unter Dual-Task-Bedingungen sollte eine günstigere Automatisierung ermöglichen. Damit eng verbunden sollte Automatisierung objektiviert, ein Berechnungsmodell vorgestellt und praktisch angewandt werden. In beiden Studien stand eine neu zu erlernende motorische Aufgabe im Vordergrund.

Laut Aussagen der Probanden der Studie I empfanden die meisten, unabhängig von der Therapieart, die anfängliche Übungssituation als sehr schwierig, da sich Balance und Kraftentwicklung zur Fortbewegung des Pedalos anfangs nicht parallel entwickelten und sich somit nur eine sehr langsame, konzentrierte und damit unregelmäßige Fahrweise entwickelte. Relativ rasch konnten die Probanden allerdings einen gewissen Übungseffekt entwickeln, der auch indirekt zu einer Motivationssteigerung führte.

Die Auswertung der **Reaktionszeiten** zeigt, dass im Verlauf bei Gruppe 2 eher eine Abnahme zu verzeichnen ist. Die Reaktionszeiten in Gruppe 1 bleiben tendenziell eher konstant. Dieses Ergebnis zeigt allerdings keine statistische Signifikanz. Als Trend scheint dieses Ergebnis die ursprüngliche Arbeitshypothese zumindest zu unterstützen. Der hochsignifikante Unterschied zwischen Single- und Dual-Task (mit größeren Reaktionszeiten in der Dual-Task-Bedingung) und das höhere Niveau der Reaktionszeiten in der Dual-Task-Bedingung reflektiert den höheren Anspruch an die Verarbeitungskapazitäten deutlich. Die **Fahrtzeiten** spiegeln einen relevanten Unterschied in allen Bedingungen nicht wieder. Scheinbar ist die Fahrtzeit als messbares Ergebnis der geübten komplexen motorischen Abläufe ein zu grober Parameter für den Lernerfolg. Dies spiegeln auch die relativ kleinen Standardabweichungen wieder. Tendenziell ergibt sich eine Reduktion der Fahrtzeiten im zeitlichen Verlauf beider Gruppen, wobei Niveau und Verteilung des größten Lernerfolges nahezu identisch sind. In beiden Gruppen zeigen die ersten 4-5 Fahrten den größten Lernerfolg. Danach ist nur noch ein sehr kleiner Leistungszuwachs nachweisbar, welcher statistisch nicht relevant erscheint. Auch die

Auswertung der Workload ergibt lediglich einen Trend zur Reduktion ohne Gruppenpräferenz.

Die graphische Darstellung der Entwicklung der Fahrtzeiten über die Zeit stellt bei beiden Gruppen eine "typische" motorische Lernkurve dar. Hierbei ist, wie gesagt, ein initialer übergroßer Leistungszuwachs und ein darauf folgendes Plateau charakteristisch, wobei allerdings auch andere "typische" Lernkurven existieren, abhängig vom Experimentendesign sowie von der Aufgabe selbst. Die hier resultierende Lernkurve unterteilt Melton (1950) in zwei Phasen. Die erste Phase wurde das "Entdeckerstadium" benannt. Hierbei erwirbt die Vpn ein allgemeines Wissen der Aufgabenbestandteile und des zu erreichenden Ziels. Darauf folgt die "Ausführungsphase", in der eine Stabilisierung und Festigung des Erlernten erfolgt. Das Plateau wird verschiedenartig gedeutet. Zum einen sagt Cratty (1973), dass dies eine Zeitspanne ist, die die Aufgabenteile zu einem "Ganzen" zusammenfügt. Kao (1937) fand bereits früh heraus, dass diese Phase sowohl als Zeichen der Ermüdung, als Folge einer Veränderung des experimentellen Settings sowie als Versuch der Vpn aus vormals selbständigen motorischen Mustern, komplexe Muster zu formen angesehen werden muss.

Die Auswertung der resultierenden sinusförmigen Kurve scheint dennoch zusätzliche Informationen bzgl. des Lernprozesses zu liefern. Bei Betrachtung der **zeitlichen Abstände der Nulldurchgänge** fällt die hohe Signifikanz bei der Entwicklung über die Zeit, der Unterschied zwischen Single- und Dual-Task, sowie der hochsignifikante Gruppenunterschied auf. Dabei zeigt Gruppe 2 eine signifikant bessere Reduktion der zeitlichen Abstände als Gruppe 1. Es scheint, dass Gruppe 2 schneller eine Regelmäßigkeit und damit auch eine zunehmende Stabilität im Fahrverlauf aufbringen kann. Scheinbar profitiert diese Gruppe von Übungsfahrten unter Dual-Task-Bedingungen. Allerdings geht dies nicht mit signifikant veränderten Reaktionszeiten einher, wie man dies im Sinne des Dual-Task-Paradigmas erwarten könnte. Dieses Ergebnis spiegelt auch die Workload wieder, welche lediglich ein Trend zur Reduktion der Workload zeigt, diese aber ohne Gruppenpräferenz. Also wird dieser Zuwachs an motorischer Qualität nicht mit einer günstigeren Entwicklung von Automatisität erkaufte. Dies wäre, im Sinne der ursprünglichen Intention zur Durchführung dieser Arbeit, kein erstrebenswerter Zustand, da damit gerechnet

werden muss, dass dieser Gewinn an Koordination nur sehr instabil wäre. Auch hier muss vermutet werden, dass ggf. längere Übungszeiten günstiger wären.

Die Auswertung der **Anzahl der Nulldurchgänge** erbringt keine signifikanten Ergebnisse. Hierbei scheint der Lerneffekt zu schnell und zu deutlich aufzutreten, so dass sich die Anzahl der Nulldurchgänge nicht zur Auswertung zur Beurteilung eines Übungserfolges eignen. Auch die Workload ergibt keinen verwertbaren Trend. Die **Standardabweichung der Nulldurchgänge** ergibt lediglich einen hochsignifikanten Unterschied zwischen Single- und Dual-Task, wobei die Single-Task eine deutlich höhere Standardabweichung aufzeigt. Möglicherweise scheint die Single-Task eher die Interindividuellen Unterschiede deutlich zu machen. In der Dual-Task-Bedingung resultiert eine „gleichförmigere“ schlechte Performance. Tendenziell erscheinen die Standardabweichungen auch im Verlauf der Durchführung der Testfahrten deutlich rückläufig, was ebenfalls für eine zunehmende Gleichförmigkeit der Motorik spricht. Die statistische Auswertung der Workload ergibt in beiden zuletzt genannten Fällen keine signifikanten Ergebnisse.

Die **statistische Auswertung der letzten 11 Pedalofahrten** erbringt keine neuen Erkenntnisse. Diese entwickeln sich meist in zwei Richtungen: zum einen bestätigen sie die bereits in der Gesamtauswertung erbrachten Signifikanzen, zum anderen lassen sich diese nicht mehr nachweisen. Dies muss, wie bereits gesagt, als Zeichen dafür interpretiert werden, dass die hauptsächlichen Veränderungen bzw. der hauptsächliche Lerneffekt in den ersten 5-6 Pedalofahrten zu finden sind.

Zusammengefasst zeigen sich in Studie I erste Anzeichen einer günstigeren Entwicklung eines motorischen Lernvorganges, wenn unter Ablenkung trainiert wird. Dabei wird im Vergleich mit einem konventionellen motorischen Training, eine signifikant bessere qualitative Ausführung des Bewegungsablaufes (zeitlicher Abstand der Nullliniendurchgänge) sowie eine günstigere Entwicklung der parallel dazu erhobenen Reaktionszeiten deutlich.

7.2 Diskussion der Ergebnisse der Studie II

Die praktischen Erfahrungen der Therapeuten und des Versuchsleiters, die in der Durchführung dieser Studie involviert waren, weisen darauf hin, dass das Dual-Task-Prinzip durchaus ein in der klinischen Praxis verwendbares diagnostisches und therapeutisches Mittel darstellt. In nur wenigen Fällen wurde die Therapiedurchführung (mit Einsatz des Walkmans und Lösung der gestellten Aufgabe) in Gruppe 2 verweigert oder abgebrochen. Allerdings wurde eine Therapiezeit über 4 Wochen als belastend und anstrengend empfunden. Eine häufige Beobachtung der Therapeuten war die Tatsache, dass Patienten mit einer spastischen Muskeltonuserhöhung, diese unter Bearbeitung der Zweitaufgabe weniger ausgeprägt und einschränkend empfanden, so dass unabhängig vom funktionellen Behandlungserfolg sogar teilweise eine Reduktion des erhöhten Muskeltonus resultierte und ein besseres Arbeiten möglich war. Es erfolgte in diesem Zusammenhang ein "shift" der Konzentration des Patienten vom (auch gedanklich fixiertem) Handicap zur ablenkenden "Secondary-Task".

Die Betrachtung der Reaktionszeiten macht deutlich, dass beide Gruppen hochsignifikante Verbesserungen erreichen konnten. Alle Patienten verbesserten ihre Reaktionszeiten ohne Ausnahme, und dies auch in der Single-Task-Bedingung. Dies ist sicherlich soweit erstaunlich, da die Reaktionszeiten eigentlich nicht trainiert wurden. Die insgesamt viermalige Ermittlung von Reaktionszeiten im gesamten Therapieprozess schien eigentlich keinen Lernvorgang darzustellen, zumal auch eine Pause von vier Wochen zu berücksichtigen ist. Es muss von einer allgemeinen "alertness" gegenüber äußeren Reizen ausgegangen werden, die sich als Ergebniss der intensivierten Übungsbehandlungen entwickelt. Die multivariate Varianzanalyse zeigte entsprechend auch einen hochsignifikanten Unterschied zwischen „prä / post“ und "Single- / Dual-Task". Außerdem scheinen sich die signifikant besseren Reaktionszeiten als Ergebnis der vierwöchigen Therapie zu entwickeln, was die statistische Überprüfung des gruppenspezifischen Therapie-/Taskeffektes ergibt. Im Verlauf zeigt Gruppe 1 (in der Dual-Task-Bedingung) eine Reduktion der Reaktionszeit im Mittel um 11,4 ms, Gruppe 2 hingegen um 85,4 ms. Dieses Ergebniss spiegelt eine günstigere Aufteilung der kognitiven Ressourcen wieder, welches als erhöhtes Maß an Automatisierung im Zusammenhang mit den

Grundüberlegungen der zuvor zitierten Studien durchaus als Ergebnis einer Therapie unter Dual-Task-Bedingungen resultiert. Probanden der Gruppe 2 profitieren also statistisch gesehen deutlich von dieser Therapie- / Trainingsform.

Motorik / Score: Der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich einer sichtbaren funktionellen Verbesserung ist nicht deutlich geworden. Es ist durchaus denkbar, dass Patienten, die unter einer Zweitaufgabe gelernt haben in einer ersten Phase des Trainings keinen so großen funktionellen Gewinn erreichen, sogar durch die vermehrte Ablenkung in einen Rückstand geraten aus dem sie dann allerdings nach einer gewissen Zeit wieder aufholen und dann eventuell sogar gegenüber der anderen Gruppe profitieren. Eine verbesserte Automatisierung könnte dabei ein erstes Anzeichen sein, ohne dass dieser Profit in einem objektiven Leistungszuwachs resultiert. Eine längere Therapiezeit wäre dann sicherlich vorteilhaft um auch motorische Veränderungen zu objektivieren. Statistisch zeigt sich, dass bezüglich der Mittelwerte eine signifikante Verbesserung beider Gruppen im "prae-post"- Vergleich resultiert. Also scheint eine physiotherapeutische Übungsbehandlung eine deutliche objektivierbare Verbesserung zu bedingen. Im Vergleich der Gruppen ergibt sich zwar kein signifikanter Unterschied, allerdings zeigt sich ein Trend in Favorisierung von Gruppe 2. Es muss insofern vermutet werden, dass eine Therapie unter Dual-Task-Bedingungen Einfluss auf die motorische Leistung ausübt. Motorische Lernvorgänge zeigen anscheinend eine Kontextabhängigkeit. Ein statistisch signifikanter Unterschied ergibt sich im Vergleich Single / Dual-Task, als Hinweis für eine vermehrte kognitive Belastung unter Dual-Task- Bedingungen.

Die Auswertung der **Schrittzeiten** ergab ebenso keinen Unterschied bzgl. der durchgeführten Therapien. Statistisch konnte gezeigt werden, dass die Patienten versuchen, eine möglichst kurze Belastungsdauer der paretischen / betroffenen Körperseite einzuhalten. Wenn man die Differenzwerte der Schrittzeiten zwischen Schritt 1 und 2 betrachtet, ist die Reduktion am deutlichsten in Gruppe 2. Als Maß für eine zunehmende Stabilität kann damit Gruppe 2 tendenziell einen etwas deutlicheren Vorteil vorweisen.

Die graphische Darstellung der **Workload** zeigt eine anschauliche Kontrolle der erbrachten Automatisität. Es zeigt sich, dass die Workload der Patienten der Gruppe 1 nach der Therapie eher zugenommen hat, die Patienten der Gruppe 2 im Mittel eine Abnahme der Workload verzeichnen können. Es muss erwartet werden, dass Patienten der Gruppe 1 nach vier Wochen eine ungünstigere Automatisierung entwickelt haben, die eine mangelhafte Anwendung des Erlernten im häuslichen Bereich vermuten lässt. Patienten der Gruppe 2 scheinen mit einer Therapie unter Dual-Task-Bedingungen eher profitiert zu haben. Die Hinzunahme der berechneten Workload liefert somit zusätzliche sinnvolle Informationen über die erfolgte Übungsbehandlung.

Die ursprüngliche Frage, ob durch das Dual-Task-Paradigma eine erhöhte Automatisierung auch im praktischen klinischen Umfeld erreichbar ist, kann auf Grund der Ergebnisse dieser Studie eindeutig positiv beantwortet werden. Patienten, die unter Ablenkung gelernt haben waren nach der Therapie, statistisch gesehen, besser dazu in der Lage, die vorhandenen kognitiven Ressourcen auf zwei Aufgaben zu verteilen. Dabei konnte gezeigt werden, dass Veränderungen auch über die "sichtbaren" Ergebnisse möglich und objektivierbar sind. Dies würde auch indirekt die Resultate der Arbeiten von Frau Karlmeier (1996) bestätigen, die einen ähnlichen Lernprozess bei einer prozeduralen Lernaufgabe gefunden hatte. Eine Selbstverbalisation durch den Patienten, die sonst ein gewünschter Effekt ist und die durch die hier vorliegende Versuchsanordnung behindert wurde, scheint eher hemmend für einen früheren Zuwachs an Automatisität zu sein.

7.3 Sportpsychologisches Erklärungsmodell

Üblicherweise wurde im sportwissenschaftlichen Bereich angenommen, dass sich ein größtmögliches Maß an Feedback während des Trainings günstig auf die zu erwartende Leistung auswirkt. In den Arbeiten von Wulf, Schmidt, Deubel und Winstein (1989, 1990, 1993) wurde diese Annahme in Zweifel gestellt und weiter differenziert. Es konnte herausgefunden werden, dass eingeschränktes Feedback bzw. reduzierte Informationsmengen über den Fortgang und den momentanen Leistungsstand in einer Trainingsphase deutliche Vorteile, im Sinne von verbesserten zeitlichen Abfolgen von Bewegungen, Bewegungsvorstellung- und -speicherung,

sowie der Entwicklung von allgemeinen motorischen Programmen ("GMP's"), besitzt. Schmidt et al. (1989) sind innerhalb der sog. "guidance-hypothesis" der Meinung, dass häufig gegebenes Feedback über andauernde Lernprozesse die Ausformung eines sog. "intrinsisches" Feedbacks verhindert. Darunter wird das subjektive Empfinden einer Bewegungsausführung verstanden, unbeeinflusst von extern gebildetem "Fremdfeedback". Dies wiederum würde in einem Unvermögen resultieren, Fehler zu erkennen sowie eine Korrektur derer durchzuführen, welches Transfer- und Gedächtnisprozesse einschränken würde. Weiterhin kann häufiges Feedback zu einer übermäßigen Erleichterung der Bewegungsausführung führen, in der Weise, dass es nicht mehr zu einem selbständigen "Nachdenken" darüber kommt, sondern dass die Bewegung sozusagen gedanklich "fremdgeführt" wird. Als letzten Punkt merken die Autoren eine zunehmende Instabilität der auf das Feedback folgenden motorischen Antworten an, die eine zuverlässige Memorierung des Bewegungsplanes deutlich einschränkt und damit zu einem Leistungsverlust führt.

In der Studie von Wulf, Schmidt und Deubel (1993) wurde zwischen dem Erlernen eines GMP's ("Generalized Motor Program") und dem "Parameterlernen" unterschieden. Während ein reduziertes Feedback die Ausbildung eines "GMP's" erleichtert, erschwert es das Parameterlernen. Darunter versteht man die genaue Bewegungsausführung einer einzelnen motorischen Aktion, unter Berücksichtigung absoluter Werte, wie zum Beispiel Kraft und Dauer einer Bewegung. Ein "GMP" stellt ein übergeordnetes motorisches Programm dar, welches eine ganze Abfolge von Bewegungsausführungen beinhalten kann, ähnlich einem übergeordneten Schema (s. Einleitung). Beispielsweise kann das "Unterschreiben" so ein "GMP" darstellen, in welchem die genaue Abfolge der Buchstaben und deren Verbindungen eine komplexe motorische Antwort repräsentiert ist.

Diese Vorstellung des reduzierten Feedbacks motorischer Lernvorgänge spiegelt sich ebenso in unserem Paradigma wieder. Auch hier wird, bedingt durch die Zweitaufgabe, die eine verbale Korrektur des krankengymnastische Lernvorganges aus akustischen Gründen verhindert, ein nur sehr eingeschränktes Feedback, im Sinne von passivem Führen der Bewegung, durchgeführt. Somit scheint die verbesserte Bearbeitung der Zweitaufgabe durchaus einen profitableren Lernvorgang, im oben genannten Sinne, darzustellen. Die Tatsache, dass in dem zur

Beurteilung der motorischen Leistung angewandten Score nicht das Gesamtbild der Bewegungsausführung beurteilt wurde sondern nur einzelne, isolierte Bestandteile dessen, begründet vielleicht den mangelhaften statistischen Unterschied zwischen den beiden Gruppen und muss kritisch überdacht werden. Die Beurteilenden wurden gebeten, diese einzelnen Bestandteile eines komplexen Bewegungsablaufes in eher absoluter Art und Weise zu bewerten und nicht im Gesamtbild zu sehen. Da aber die Verbesserung einzelner isolierter Fähigkeiten, wie das Fußabrollen oder die Hüftbewegung eher dem oben angesprochenen "parameterization learning" nahekommt, wäre auch nicht unbedingt von einem Therapieerfolg auszugehen, welcher sich in dem Score niedergeschlagen hätte.

Bezüglich der Theorie des reduzierten Erfolgsfeedbacks lässt sich zur Studie I kritisch anmerken, dass eventuell zu viel Feedback zugelassen wurde. Die Probanden waren auf Grund des experimentellen Aufbaus dazu in der Lage, beispielsweise Fahrzeit und Regelmäßigkeit einer Pedalfahrt selbst zu bemerken und daraufhin Verbesserungen einzuleiten. Auch die Durchführung des "PASAT" scheint keine genügende Ablenkung von der Wahrnehmung des Lernerfolges gewährleistet zu haben. Denkbar scheint auch eine unzureichende Ausschaltung der Selbstverbalisationen während der Trainingsdurchführung zu sein. Diesbezüglich wäre der "PASAT" nicht das geeignete Modell zur Artikulationsunterdrückung gewesen (ggf. allerdings in einer schnelleren Version). Eventuell ist aber auch der gewünschte Effekt nicht in der zur Verfügung gestellten Lernzeit erreichbar gewesen. Mit einem anderen zeitlichen Trainingsmuster wären wo möglich andere, günstigere Ergebnisse erzielt worden. Eventuell wären längere Trainingszeiten (über mehrere Tage) aussagekräftiger gewesen. Allerdings hätte man in diesem Fall nach Pausieren der Übungsfahrten wieder auf einem niedrigeren Niveau bzgl. der motorischen Leistung bzw. der bis dahin erreichten Automatisierung begonnen. Es ist vorstellbar, dass dieses experimentelle Design zu Verfälschungen und zu einem erhöhten zeitlichen Aufwand und damit zu einer übermäßigen konditionellen Anstrengung bei den Vpn geführt hätte. Laut Cratty (1973) findet das Vergessen von neu erlernten motorischen Fähigkeiten relativ rasch statt, so dass bei einem erneuten Beginn des Trainings viel Energie dazu verwandt wird, die Leistung auf das ursprüngliche Niveau anzuheben um dann noch einen Leistungszuwachs zu erreichen.

Betrachtet man die motorischen Lernkurven sowie die graphische Darstellung der Entwicklung der Reaktionszeiten über die Zeit dann wird in beiden Gruppen deutlich, dass es sich um zwei verschiedene zeitliche Verläufe des „Lernens“ (kognitiv – motorisch) handelt. Auch diesbezüglich scheint die vorgegebene Trainingszeit unzureichend, dass beide „Lernvorgänge“ zusammen, in der berechneten Workload zum Ausdruck kommen. Ähnliches gilt auch für Studie II, wobei aber möglichst die motorischen Parameter von einer längeren Therapiezeit profitieren sollten.

Sowohl in der Studie I als auch in II scheint die in dieser Arbeit vorgeschlagene Errechnung der Workload, als methodisch neuem Aspekt, zusätzliche Hinweise zur Beurteilung des Automatisierungsgrades zu liefern. Dabei lassen sich mehr Informationen über den Therapieerfolg extrahieren, als wie es bei alleiniger Betrachtung der erhobenen motorischen Parameter möglich wäre. Dabei erweist sich die gleichzeitige Berücksichtigung voneinander unabhängiger Messparameter (motorisch und kognitiv) als vorteilhaft. Es muss herausgestellt werden, dass anhand der vorliegenden Daten die Anwendung des Dual-Task-Paradigmas als Qualitätskontrolle, gerade auch im Bereich der medizinischen Rehabilitation, sinnvoll erscheint und potentiell mehr Informationen über Erfolg der durchgeführten Maßnahmen und Prognose des eingeleiteten Integrationsprozesses liefern kann.

7.4 Indikationen für weiterführende Studien

Sinnvolle weiterführende Studien zu diesem Thema sollten die Zeit nach der Lernphase berücksichtigen, bei der beispielsweise eine Verlaufskontrolle der erreichten Automatisität über einen gewissen Zeitraum durchgeführt wird. Ist diese im Alltag des Patienten (objektiv und subjektiv) bemerkbar? Würde eine doppelt so lange Therapiezeit oder ein anderes zeitliches Therapiemuster unter Ablenkung ein ebenso vermehrtes Maß an Automatisität und idealerweise objektivierbar mehr Funktionalität bringen oder wird die bereits erhobene Beobachtung einer zunehmenden Ermüdung bestätigt? Spiegelt sich dieses auch in der Berechnung der Workload wieder? Wären andere Zweitaufgaben sinnvoller? Gibt es im Verlauf auch statistisch signifikante Verbesserungen der motorischen Leistung zu Gunsten der Dual-Task-Gruppe? Bezüglich der Studie I sollten sich weiterführende Studien mit

anspruchsvolleren Zweitaufgaben bzw. komplexeren motorischen Lernaufgaben beschäftigen. Auch hierbei sollten andere Übungszeiten oder andere Zeitmuster überprüft werden. Wann ist bezüglich motorischen Lernens auch bei gesunden Probanden unter Dual-Task-Bedingungen ein Benefit bzgl. des Grades an Automatisierung sichtbar?

Literaturverzeichnis

- Abernethy, B. (1988):
Dual-Task methodology and motor skills research: some applications and methodological constraints
Journal of Human Movement Studies, 14, 101-132
- Allport, D.A. (1975):
Attention and performance
Aus „Proceedings of the sixth International Symposium on Attention and Performance, Stockholm, Sweden, July 28 – August 1, 1975“
- Baddeley, A. (1986):
Working memory
Oxford Psychology Series No. 11;
Clarendon Press, Oxford
- Bahrack, H.P.; Noble, M.; Fitts, P.M. (1954):
Extra-task performance as a measure of learning a primary task
Journal of experimental psychology, Vol. 48, No. 4, 298-302
- Bourke, P.A.; Duncan, J.; Nimmo-Smith, I. (1996):
A general factor involved in dual-task performance decrement
The quarterly journal of experimental psychology, 49A (3), 525-545
- Bowers, C.A.; LaBarba, R.C. (1991):
Secondary-task assessment of workload: neuropsychological considerations for applied psychology
Perceptual and Motor Skills, 73, 487-496
- Broadbent, D.E. (1958):
Perception and Communication
Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall, Oxford
- Brown, R.G.; Marsden, C.D. (1991):
Dual Task performance and processing resources in normal subjects and patients with parkinson's disease
Brain, 114, 215-231
- Camicioli R, Howieson D, Lehman S, Kaye J (1997):
Talking while walking: The effect of a dual task in aging and Alzheimer's disease.
Neurology, 48, 955-958
- Cratty, B.J. (1979):
Motorisches Lernen und Bewegungsverhalten
W. Limpert-Verlag GmbH, Bad Homburg (1979); ISBN 3785311591
- Della Sala, S.; Baddeley, A.; Papagno, C.; Spinnler, H. (1997):
Dual-Task Paradigm: a means to examine the central executive
Annals New York Academy of Sciences, 769: 161-71

Donders, F. C. (1868):

On the speed of mental processes. (Übersetzung von W. G. Koster, 1969)
Acta Psychologica 30, 412-431

Ebersbach G, Dimitrijevic MR, Poewe W. (1995):

Influence on concurrent task on gait: a dual-task approach.
Perceptual and Motor Skills, 81, 107-113

Ehrlich, P. (1986):

Bewegungsspiele mit dem Pedalo: ein Praxishandbuch für Spiel, Sport und Therapie
Verlag Modernes Leben, 1986; ISBN 3-8080-0121-6

Féry, Y-A.; Ferry, A.; Vom Hofe, A.; Rieu, M. (1997):

Effect of physical exhaustion on cognitive functioning
Perceptual and Motor Skills, 84, 291-298

Haggard, P.; Cockburn C.; Cock J.; Fordham C.; Wade D. (2000)

Interference between gait and cognitive Tasks in a rehabilitating neurological
Population
J Neurol Neurosurg Psychiatry, 69, 479-486

Hantson, L.; De Weerd, W.; De Keyser J.; Diener H.C.; Franke, C.; Palm, R.; Van

Orshoven, M.; Schoonderwalt, H.; De Klippel, N.; Herroelen, L.; Feys, H. (1994):
The European Stroke Scale
Stroke, 25, 2215-2219

Kahneman, D. (1973):

Attention and Effort
Prentice-Hall: Englewood Cliffs, N.J.

Karlmeier, A. (1996):

Prozedurales Lernen und Gedächtnis im „dual-task“: Implikationen für die
neurologische Rehabilitation?
Unveröffentlichte Diplomarbeit, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Kinsbourne, M.; Hicks, R.E. (1978):

Functional cerebral space: A model for overflow, transfer, and interference effects in
human performance. In J. Requin (Ed.) Attention and Performance, vol. 8.
Hillsdale, N.J.: Erlbaum, 1978a

Kinsbourne, M.; Hiscock, M. (1983):

The normal and deviant development of functional lateralization of the brain
In M.M. Haith and J.J. Campos (Eds.), Handbook of child psychology (vol. 2).
New York: John Wiley and Sons

Körndle, H. (1983):

Zur kognitiven Steuerung des Bewegungslernens
Universität Oldenburg
Unveröffentlichte Dissertation

- Lane, D.M. (1982):
Limited Capacity, Attention Allocation, and Productivity
aus „Human performance and Productivity“; Vol. 2;
Information processing and decision making
- Leist, K.H. (1979):
Transfer im Sport: zur Analyse von Bewegungshandeln und –lernen sowie
Konstruktion von Lernangeboten
Beiträge zur Lehre und Forschung im Sport, 72, 1-201
- Logan, G.D. (1985):
Skill and Automaticity: Relations, Implications, and Future Directions
Canadian Journal of Psychology, 39(2), 367-386
- Lundin-Olsson L, Nyberg L, Gustafson Y (1997):
„Stops walking when talking“ as a predictor of falls in elderly people. [letter]
The Lancet, Vol 349, 245
- Lundin-Olsson L, Nyberg L, Gustafson Y (1998):
Attention, frailty, and falls: the effect of a manual task on basic mobility
Journal of the American Geriatrics Society, 46(6): 758-61
- MacLeod, C.M. (1991):
Half a Century of Research on the Stroop Effect: An Integrative Review
Psychological Bulletin, Vol. 109, 163-203
- McDowell, S.; Whyte, J.; D'Esposito, M. (1997):
Working Memory impairments in traumatic brain injury: evidence from a dual-task
paradigm
Neuropsychologia, Vol. 35, No. 10, 1341-1353
- Monty, R.A.; Ruby, W.J. (1965):
Effects of added work load on compensatory tracking for maximum terrain following
Human Factors, 7, 207-214
- Norman, D.A.; Bobrow, D.G. (1975):
On Data-limited and Resource-limited Processes
Cognitive psychology, 7, 44-64
- Norman, D.A.; Shallice, T. (1980):
Attention to action: Willed and automatic control of behaviour
Chip 99, report no. 8006;
San Diego, CA: Uni. California, Center for human information processing
- Ogden, G.D.; Levine, J.M.; Eisner, E.J. (1979):
Measurement of workload by secondary tasks
Human Factors, 21(5), 529-548
- Pashler, H.; O'Brien, S. (1993):
Dual-Task Interference and the Cerebral Hemispheres
Journal of Experimental Psychology, Vol. 19, No. 2, 315-330

- Passingham, R.E. (1996)
Attention to action
Phil. Trans. R. Soc. Lond. B, 351, 1473-1479
- Pschyrembel, Klinisches Wörterbuch; 256. Auflage, 1990
- Sachs, L. (1999)
Angewandte Statistik
Anwendung statistischer Methoden
10. Auflage; Springer Verlag, Berlin
- Schmidt, R. A. (1988)
Motor control and learning. A behavioral emphasis.
Human Kinetics Books, Champaign (1988); ISBN 0-87322-115-X
- Shallice, T. (1990):
The Allocation of Processing Resources: Higher-Level Control
aus „From mental structure to neuropsychology“
Repr. Cambridge: University Press, 1990, 1-462
- Shiffrin, R.M.; Schneider, W. (1977):
Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning,
automatic attending, and a general theory
Psychological Review, 84, 127-190
- Shumway-Cook, A.; Woollacott, M.; Kerns, K.A.; Baldwin, M. (1997):
The effects of Two Types of Cognitive Tasks on Postural Stability in Older Adults
With and Without a History of Falls
Journal of Gerontology, Vol. 52A, No. 4, 232-240
- Vilkki, J.; Virtanen, S.; Surma-Aho, O.; Servo, A. (1996):
Dual task performance after focal cerebral lesions and closed head injuries
Neuropsychologia, Vol.34, No. 11, 1051-1056
- Welford, A.T. (1967):
Single-channel operation in the brain
Acta Psychologica, 27, 5-22
- Welter, F.L. & Schönle, P.W. (1997)
Neurologische Rehabilitation.
Stuttgart: Verlag Gustav Fischer, 1997
- Wiegand, D. (1974):
Quantitative measurement of psychological stress while driving by means of a
simultaneous secondary task
Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 21 (4), 679-690
- Winstein, C.J.; Schmidt, R.A. (1990)
Reduced Frequency of Knowledge of Results Enhances Motor Skill Learning
Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition,
Vol. 16, No. 4, 677-691

Wright DL, Kemo TL (1992):

The Dual-Task Methodology and Assessing the attentional demands of ambulation with walking devices

Phys Ther, 72, 306-315

Wulf, G.; Schmidt R.A. (1989):

The Learning of Generalized Motor Programs: Reducing the Relative Frequency of Knowledge of Results Enhances Memory

Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition,
Vol. 15, No. 4, 748-757

Wulf, G.; Schmidt, R.A.; Deubel, H. (1993):

Reduced Feedback Frequency Enhances Generalized Motor Program Learning but Not Parameterization Learning

Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition,
Vol. 19, No. 5, 1134-1150

Zilles, K.; Rehkämper G. (1998)

Funktionelle Neuroanatomie: Lehrbuch und Atlas

3. Auflage; Springer Verlag

Zimbardo, P.G.; Gerrig, R.J. (1995)

Psychologie

6. Auflage; Springer Verlag, Berlin

Danksagungen

An erster Stelle möchte ich Herrn PD Dr. med. Netz für die Überlassung des Themas, die großzügige Hilfestellung bei Problemen der Durchführung oder Auswertung der Versuche danken. Seine wertvollen Ratschläge und sein offenes Ohr für alle Fragen waren mir eine große Hilfe bei der Abfassung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. med. Hömberg für die Möglichkeit die notwendigen Versuche in den NTC's in Köln und Düsseldorf durchzuführen sowie das Heranführen an das wissenschaftliche Arbeiten.

Herrn Dipl.-Ing. W. Schicks danke ich für die Lösung der technischen Voraussetzungen und die Hilfestellung bei Hard- und Softwareproblemen.

Ein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der krankengymnastischen Abteilungen der Neurologischen Therapiecentren in Köln und Düsseldorf, ohne die eine Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Dank den Patienten und Probanden, die sich zur Teilnahme an den Studien bereit erklärt haben.

Der neuropsychologischen Abteilung des NTC Düsseldorf, im speziellen Herrn Ulrich Simon, Herrn Boris Suchan sowie Frau Andrea Doeverspeck danke ich für Erläuterungen und Hilfestellungen bzgl. der neuropsychologischen Aspekte sowie bei der statistischen Auswertung dieser Arbeit.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden bedanken, die mir seelische und moralische Unterstützung boten. Speziell möchte ich mich bei Frau Miriam Sach und Herrn Kai-Uwe Rehbehn bedanken, die mich immerfort motivierten, sowie bei Herrn Steffen Alkämper für die Durchsicht des Manuskriptes sowie seine fabelhaft pragmatische, nicht-ärztliche Sichtweise auf das vorliegende Thema. Darüber hinaus sei noch Herrn Rolf Deckena gedankt, der selbst im Dual-Task-Prinzip esoterisch-philosophische Aspekte entdeckte.

Meinen Eltern gewidmet.

Beurteilungsbogen zur Bewertung des mittels Video aufgezeichneten Gehversuches

1.) Erfolgen die Schritte aktiv oder reaktiv?

a) li: physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 unphysiologisch

b) re: physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 unphysiologisch

2.) Beurteilen Sie die Spurbreite:

keine Abweichung 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 starke Abweichung*

3.) Abrollen der Fußsohle:

a) li Fuß: physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark unphysiologisch

b) re Fuß: physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark unphysiologisch

4.) Kniekontrolle:

I) Genu recurvatum

a) li Knie: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

b) re Knie: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

II) Knieflexion

a) li Knie: physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark unphysiologisch

b) re Knie: physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 starkunphysiologisch

5.) Hüftkontrolle / Beckeneinstellung:

I) Trendelenburgzeichen

a) li. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

b) re. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

II) Beckenhochstand

a) li. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

b) re. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

III) Beckentiefstand

a) li. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

b) re. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

6.) Becken:

I) Beckenrotation

physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark unphysiologisch

II) Beckenkipfung

physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark unphysiologisch

7.) Thoraxeinstellung:

I) Rotation

gering 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

II) Seitneigung

gering / nicht vorh. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

III) Vor- / Rückbeugung

gering / nicht vorh. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

8.) Schultergürtel:

I) Schulterhoch- / tiefstand

a) li. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

b) re. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

II) Schulterretraktion / -protraktion

a) li. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

b) re. Seite: nicht vorhanden 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 stark ausgeprägt

9.) Armpendel:

a) li. Seite: physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 unphysiologisch

b) re. Seite: physiologisch 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 unphysiologisch

10.) Blickrichtung:

frei im Raum orientiert 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 bodenwärts fixiert

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Oliver Janke
Geburtsdatum: 14.01.1970
Geburtort: Essen
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch

Ausbildung:

Grundschule:	08/76 – 06/80	Bischof-von-Ketteler-Schule, Essen
Gymnasium:	08/80 – 05/89	Gymnasium Borbeck, Essen
Zivildienst:	07/89 – 09/90	Evgl. Krankenhaus Bochum-Linden
Universität:	WS 90/91	Immatrikulation im Fach Biologie an der Ruhr-Universität Bochum
	SS91	Exmatrikulation in Bochum und Im- matrikulation im Fach Medizin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
	04/93	<u>Physikum</u>
	08/94	<u>1.Staatsexamen</u>
	08/96	<u>2.Staatsexamen</u>
	11/97	<u>3.Staatsexamen</u>
Praktisches Jahr:	10/96 - 09/97	<u>A) Klinikum Wuppertal-Barmen</u> 1. Tertial bei Prof. Dr. Greiner in der <u>Abteilung für Innere Medizin (Klinik A)</u> 2. Tertial bei Prof. Dr. Jörg in der <u>Abteilung für Neurologie und Neuro- physiologie</u> <u>B) Texas Heart Institute, Houston</u> <u>USA</u> 3. Tertial bei Prof. Dr. Cooley in der <u>Abteilung für Herz- / Gefäßchirurgie</u> <u>Neurologisches Therapiezentrum</u> <u>Heinrich-Heine-Universität</u> <u>Düsseldorf</u> Leiter: Prof. Dr. med. V. Hömberg
Arbeit als „Arzt im Praktikum“:	11/98 - 05/00	<u>NTC Düsseldorf</u> <u>Helios Klinikum Wuppertal-Barmen</u> Abteilung für Neurologie und Neurophysiologie Leiter: Prof. Dr. med. Jörg
Arbeit als Assistenzarzt:	05/00 – 08/00	
	seit 09/00	

Abstract

Therapiegrundlage rehabilitativer Behandlungen ist das erneute Einüben physiologischer Funktionsabläufe bzw. das Erlernen von Alternativstrategien. Häufig ist allerdings zu beobachten, dass Patienten ein in der Rehabilitationsphase neu erlerntes Bewegungsmuster im privaten Umfeld nur mangelhaft anwenden, da sie sich nicht ausschließlich darauf konzentrieren können, sondern auch ihre Umgebung beachten müssen. Eine Therapiemethode, die diesen Umstand in Betracht zieht und eine höhere Automatisierung und damit eventuell eine verbesserte Funktionsausführung in o.g. Situationen zulässt, würde einen Gewinn für den Patienten darstellen.

Wenn zwei Aufgaben gleichzeitig ausgeführt werden, ist die Leistung in der Zweitaufgabe ein Gradmesser für die verbleibenden kognitiven Ressourcen, die nicht durch die Bearbeitung der Erstaufgabe verbraucht wurden, und spiegelt somit indirekt den Grad der Automatisierung wieder. Dies ist Grundlage des Dual-Task-Prinzips. Systematische Studien, in denen durch das Dual-Task-Prinzip ein Therapieerfolg bei Patienten, im Sinne einer erhöhten Automatisierung, nachgewiesen wurde, existieren bisher nicht. Es sollte zunächst geprüft werden, ob das Dual-Task-Prinzip im Rahmen einer motorischen Lernaufgabe an einer gesunden Probandengruppe durchzuführen ist, in einer zweiten Studie auch an neurologisch erkrankten Patienten. Lässt sich der Grad der kognitiven Belastung einer neu erlernten motorischen Aufgabe allein aus (motorischen) Performance-Parametern ablesen, oder liefert die Testung unter Dual-Task-Bedingungen davon unabhängige Informationen? Profitieren Probanden, die direkt unter Dual-Task-Bedingungen lernen gegenüber solchen, die ein herkömmliches motorisches Training betreiben? Dazu lernte in jeder Studie eine Gruppe unter Dual-Task-Bedingungen, eine weitere mit Standardverfahren. In Studie I sollten die Versuchspersonen einen Bewegungsablauf mit einem Pedalo einüben, in Studie II Patienten mit einer Gangstörung einen verbesserten Bewegungsablauf im Rahmen krankengymnastischer Behandlungen. Weiterhin wurde die Berechnung der Workload als Ausdruck des Grades der Automatisierung vorgestellt und praktisch angewandt.

Zusammengefasst zeigen sich in Studie I erste Anzeichen einer günstigeren Entwicklung eines motorischen Lernvorganges, wenn unter Ablenkung trainiert wurde. Dabei wird im Vergleich mit einem konventionellen motorischen Training, eine signifikant bessere Regelmäßigkeit des Bewegungsablaufes sowie eine günstigere Entwicklung der parallel dazu erhobenen Reaktionszeiten deutlich. In Studie II zeigt die Gruppe, die unter Dual-Task-Bedingungen gelernt hatte, eine signifikant deutlichere Reduktion der Reaktionszeiten und der Workload. Probanden dieser Gruppe profitieren statistisch gesehen deutlich von dieser Therapie- / Trainingsform. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich einer sichtbaren funktionell-motorischen Verbesserung ist nur in Ansätzen deutlich geworden. Erklärungsmodelle, auch aus dem sportpsychologischen Bereich, werden diskutiert.

Nachfolgestudien, die die Anwendung der im Rahmen krankengymnastischer Behandlungen erworbener neuer Fähigkeiten qualitativ und quantitativ überprüft wären sinnvoll.