

Explizite Lernprozesse bei zyklisch-lokomotorischen Bewegungen

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Rolf Schlumpf

an der
Universität Freiburg, Schweiz
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät
Abteilung Medizin
Department für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
Prof. Wolfgang Taube

Betreuer
PD Dr. Benedikt Lauber

Lichtensteig, August 2020

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1 Einleitung	5
1.1 Motorische Lernprozesse	5
1.2 Implizite und explizite motorische Lernprozesse	10
1.3 Zyklische vs. azyklische Bewegungen	17
1.4 Wissenschaftliche Relevanz der Masterarbeit	19
1.5 Ziel und konkrete Fragestellung	20
2 Methode	21
2.1 Untersuchungsgruppe	21
2.2 Studiendesign	22
2.3 Instrumente	24
2.4 Datenauswertung	25
3 Resultate	26
3.1 Vergleich Pre-Posttest	26
3.2 Vergleich der Lernphase	32
3.3 Vergleich der ersten und letzten Minute im Posttest	38
4 Diskussion	40
4.1 Beantwortung und Interpretation der konkreten Fragestellung	41
4.2 Kritische Analyse der Studie	45
4.3 Ausblick	46
5 Schlussfolgerung	48
5.1 Wichtigste Erkenntnisse aus dieser Studie	48
5.2 Konsequenzen der wichtigsten Erkenntnisse	48
6 Literaturverzeichnis	49
Dank	54

Zusammenfassung

Einleitung: Motorische Lernprozesse können durch bewusste (explizite), unbewusste (implizite) oder in einer Kombination aus beiden Prozessen ablaufen (Kleynen et al., 2015). Raab (2001) spricht von expliziten Lernprozessen, wenn eine konkrete Formulierung der Lernziele des zu erlernenden Sachverhalts vorliegt. Das führt dazu, dass sich der Lernende bereits in einem frühen Lernstadium explizites (deklaratives) Wissen aneignet, welches dem Bewusstsein zugänglich ist (Liao & Masters, 2001). Ziel dieser Studie ist es, herauszufinden, ob explizite Lernprozesse einen kurzfristigen, motorischen Lerneffekt bei zyklisch, lokomotorischen Bewegungen mit sich bringen.

Methode: Anhand eines Pre-Post-Verfahrens auf dem Fahrradergometer wird der Einfluss von expliziten Lernprozessen untersucht. 31 Versuchspersonen (VP) wurden zufällig in eine Lerngruppe (EXP) und eine Kontrollgruppe (CON) eingeteilt. Beide Gruppen absolvierten zwischen Pre- und Posttest eine 20-minütige Lernphase (Adj), in welcher bei EXP die zu erbringende Leistung (ZEL) in einem sich wiederholenden Pattern änderte. Dabei sollten sie eine vorgegebene Trittfrequenz konstant aufrechterhalten. CON hatte ebenfalls die Aufgabe, die Trittfrequenz konstant zu halten, jedoch erfolgte keine Änderung in ZEL. Die Variationskoeffizienten der Trittfrequenz (COV_cadence), der Leistung (COV_power) und der Geschwindigkeit (COV_speed) stellten die untersuchten Variablen dar. COV_cadence steht dabei im Vordergrund, da dieser Parameter die Aufgabe entscheidend untersucht. Die Datenanalyse wurde mit einer Mixed-Anova mit Messwiederholung in SPSS durchgeführt.

Resultate: Von Pre- zu Posttest verkleinerten sich bei EXP die Schlüsselparameter COV_cadence signifikant ($p < 0.029$). CON wies in keinem der untersuchten Parameter signifikante Unterschiede von Pre- zu Posttest auf ($p > 0.05$). Es konnten keine signifikanten Haupteffekte in der Gruppe-Messzeitpunkt-Interaktion festgestellt werden. Die Variationskoeffizienten der drei Hauptuntersuchungsparameter verkleinerten sich im Verlaufe von Adj bei EXP signifikant ($p < 0.05$). CON wies diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede auf.

Diskussion: Die Resultate zeigen klar, dass EXP während Adj eine Lernanpassung erreichte, jedoch im unmittelbaren Posttest wieder auf den Ausgangswert zurückfällt. Somit kann nicht von einem Lerneffekt gesprochen werden. Es wird davon ausgegangen, dass der fehlende Transfer mit der zusätzlichen Beteiligung an kognitiven Prozessen begründet wird, welcher durch eine Überdosierung von expliziten Informationen zustande kommen kann. Des Weiteren deuten die Resultate auf ein Vorhandensein der Guidance-Hypothese hin.

1 Einleitung

Dieses Kapitel liefert aufschlussreiche Informationen und Hintergründe der vorgelegten Masterarbeit. Der Bezug zu bestehender Literatur und Forschungserkenntnissen soll zum Verständnis des Themas beitragen und auf die Forschungsfrage hinleiten.

1.1 Motorische Lernprozesse

In einer Sportklasse kann des Öfteren beobachtet werden, wie die Sportlehrperson an der Reckstange ein Turnelement demonstriert und zeitgleich ihr Handeln kommentiert. Die Schülerinnen und Schüler schauen derweilen aufmerksam zu und folgen den Erklärungen. Anschliessend üben die Schülerinnen und Schüler unter Rückmeldungen der Sportlehrperson dieses Element. Im Wohnquartier hört man den Vater, wie er seiner vierjährigen Tochter verzweifelt zuruft, sie solle die Bremse betätigen, bevor das ohrenbetäubende «Schäppern» des aufprallenden Fahrrades im Auto des Nachbarn die Zurufe übertönen. Retourniert ein Tennisspieler einen Aufschlag seines Gegenspielers, können spannende Bewegungen des Returnspielers beobachtet werden. Dieser reagiert in kürzester Zeit auf den sich mit hoher Geschwindigkeit nähernden Ball, um ihn gezielt zurückzuspielen. Nun stellen sich jedoch die Fragen, wie sich der Returnspieler dieses schnelle Handeln angeeignet hat, mit welchen Massnahmen die Schülerinnen und Schüler die Felge am Reck zustande kriegen und wie der Vater seiner Tochter das unfallfreie Fahrradfahren beibringt.

Fahrradfahren ist hierzulande eine der populärsten und meistbetriebenen Sportarten. Im Jahre 2014 befragte das Bundesamt für Sport (BASPO) 10'652 Personen im Alter von 15 bis 74 Jahren hinsichtlich des Sportinteresses und der Sportaktivitäten. 38.3 % aller Befragten nannten Fahrradfahren als regelmässig ausgeübte Sportart. Hierbei sind die 6.3 %, die das Mountainbiking nannten nicht miteingerechnet. Das bedeutet, dass Fahrradfahren und Mountainbiking mit total 44.6 % der Nennungen an erster Stelle, noch vor dem Wandern mit 44.3 % der Nennungen, steht (Lamprecht, Fischer & Stamm, 2014). Aber was wird überhaupt benötigt, um sich mit einem Fahrrad fit zu halten und welche Prozesse laufen beim Erlernen des Fahrradfahrens im Körper ab? Kavanagh, Issartel und Moran (2020) schlugen vor, dass das Radfahren in das Modell der grundlegenden Bewegungsfähigkeiten aufgenommen wird. Zu den grundlegenden Bewegungsfähigkeiten der Motorik werden die Fähigkeiten der Fortbewegung, der Objektkontrolle und des Gleichgewichts gezählt. Das Fahrradfahren ist jedoch abhängig von den grundlegenden motorischen Fähigkeiten. Das angemessene Manövrieren ei-

nes Fahrrades ist eine komplexe Fähigkeit, die die Integration kognitiver Aspekte verlangt. Dazu zählen die Aspekte des Gleichgewichts, des Bremsens und des Tretens (Zeuwts et al., 2015). Lernprozesse geschehen auf unterschiedliche Arten und Weisen, können zahlreiche Formen annehmen und bestehen nicht nur aus der Auseinandersetzung mit Büchern und Texten (Kleynen et al., 2014). Lernprozesse tragen Veränderungen und Anpassungen mit sich und umfassen nicht nur den gezielten Erwerb von Wissen. Diese Veränderungen zeigen sich im Verhalten, in den Einstellung, in den Fertigkeiten, in den Gewohnheiten und in den Gefühlen. Diese Anpassungen entstehen durch Interaktion zwischen Organismus und Umwelt (Pöhlmann, 1994). Der Mensch hat das Privileg, mit einer Lernfähigkeit ausgestattet zu sein, die beinahe grenzenlos erscheint. Das Lernen verursacht eine relativ dauerhafte Änderung des Verhaltenspotenzials, das Transfereffekte erzeugt, wie zum Beispiel das motorische Lernen (Winkel, Peterman & Petermann, 2006). Motorisches Lernen ist laut Lopes (2011) ein spezifischer Aspekt des menschlichen Lernens. Zhu, Poolton und Masters (2012) definieren motorisches Lernen als eine Reihe von (internen) Prozessen, die mit der Praxis oder der Erfahrung verbunden sind und zu Veränderungen in der Reaktionsfähigkeit führen. Darüber hinaus wird beim motorischen Lernen ein übergeordnetes, generalisiertes motorisches Programm verankert, welches für unterschiedliche Variationen ähnlicher Bewegungen herangezogen wird (Schmidt, 1976).

1.1.1 Verlauf von motorischen Lernprozessen. Der Verlauf des motorischen Lernprozesses wurde in der Vergangenheit von einigen Autoren beschrieben. Seither bestehen Modelle, die in eine Anzahl verschiedener Stufen gegliedert sind. Adams (1971) erstellte ein Zwei-Stufen-Modell. In der ersten Stufe soll die eigene Bewegungsausführung mit dem Sollwert verglichen und verbalisiert werden. Diese Phase nannte er *verbal-motorische Phase*. Die Zweite Phase zeichnet sich durch eine Verbesserung der Eigenwahrnehmung aus. Dabei werden die Bewegungsausführungen koordinativ verbessert und stabilisiert. Diese Phase wurde als *motorische Phase* bezeichnet. Fitts und Posner (1967) teilten den Verlauf in drei Phasen ein, welche von einer *kognitiven Phase*, in welcher der Übende versucht, die Aufgabenstellung zu begreifen, um mit Hilfe einer Selbstinstruktion eine passende Lösungsstrategie zu finden, zu einer *assoziativen Phase* gelangt. Diese Phase zeichnet sich durch eine Ökonomisierung der Bewegung aus. In der letzten *autonomen Phase* wird der Lernprozess automatisiert, wobei weniger Aufmerksamkeit für die Ausführung erforderlich ist. In der Literatur finden sich weitere unterschiedliche Differenzierungen der Entstehung von motorischen Lernprozessen (vgl. Schnabel, Harre & Krug, 2014, S. 130; Meinel & Schnabel, 2007 S. 164).

Das in der Folge beschriebene vierstufige Modell nach Weineck (2010) zeigt den Verlauf eines motorischen Lernprozesses hinsichtlich der neurophysiologischen Aspekte.

1. Phase der Einstellung auf die Zielübung:

In dieser Phase werden durch akustische, optische, verbale und kinästhetische Wahrnehmungen gedankliche Bewegungsvorstellungen erstellt, die Erregungsfelder im zentralen Nervensystem verursachen.

2. Phase der Grobkoordination:

In dieser Phase werden unökonomische und übertriebene Innervationen der Muskulatur erzeugt. Dabei erhält der Bewegungsablauf eine ganzheitliche Grundstruktur.

3. Phase der Feinkoordination:

Die vorgegangene Innervation konzentriert sich in der dritten Phase auf die zweckmässig zu innervierenden Zentren und Organe. Dabei erhalten die einzelnen Bewegungsphasen ihre dynamische Struktur und der Bewegungsablauf wird bewusster erlebt. Die Hemmungs- und Erregungsprozesse bleiben aber noch instabil.

4. Phase der Festigung und Stabilisierung:

Die Prozesse der Hemmung und Erregung werden automatisiert und stabilisiert. Dabei vollziehen sich die Bewegungsabläufe auch ohne bewusste Aufmerksamkeit.

Miyamoto, Wang und Smith (2020) unterstützen diesen neurologischen Verlauf des Lernprozesses. Sie besagen, dass das motorische Lernen von überwiegend bewussten (expliziten) zu unbewussten (impliziten) Zuständen übergeht und der Bewegungsablauf somit schlussendlich automatisiert abläuft. Zudem verbessere sich im Laufe des Lernprozesses die explizite Verbalisierung des eigenen Handelns. Geraedts (2020) fasst den Verlauf des motorischen Lernprozesses so zusammen, dass motorisches Lernen sich also von einer kognitiven Phase (Was muss ich machen?) zu einer motorischen Phase (Wie muss ich es machen?) entwickelt.

1.1.2 Strukturelle und funktionelle Anpassungen von Lernprozessen. Das zuvor beschriebene Modell von Weineck zeigt, dass Lernprozesse von neurologischen Anpassungen begleitet werden. Mitverantwortlich für motorische Lernprozesse ist unser zentrales Nervensystem (ZNS). Motorische Lernprozesse basieren auf der Eigenschaft des Nervensystems, Verbin-

dungen mit anderen Neuronen zu knüpfen (Menche, 2012). Zur Informations- und Reizübertragung verfügt der Mensch über zwei Systeme. Einerseits der Informationsaustausch zwischen den Zellen durch körpereigene Hormone, die über das Blut zu den Zellen gelangen und somit auf biochemischem Weg ablaufen und andererseits über elektrische Aktionspotentiale des Nervensystems (Geraedts, 2020).

Durch die Wahrnehmungen der Sinnesrezeptoren (Mechanorezeptoren) aus der Umwelt und dem Körper entstehen elektrische Aktionspotentiale. Über afferente Neuronenbahnen werden diese elektrischen Impulse zum ZNS geleitet. Im Rückenmark erfolgen die Antworten unbewusst durch Reflexe. Erreichen die Impulse jedoch das Mittelhirn und werden von diesem als wichtig beurteilt, gelangen sie zur Grosshirnrinde und werden dort als bewusste Empfindung ausgelöst. Efferente motorische Neurone führen die Impulse an die entsprechenden Organe (Effektormuskel) und lösen dort über die motorische Endplatte im Effektormuskel die Aktion (Muskelspannung- hemmung) aus. Für das Lernen im Allgemeinen und somit auch für motorische Lernprozesse sind die plastischen Synapsen, welche durch eintreffende Erregungen verändert werden, verantwortlich. Diese Veränderungen zeigen sich in drei unterschiedlichen Formen. (I) Die Synapsenfläche erhöht sich durch regelmässiges Üben/Trainieren, (II) die Synapsen, die oft benutzt werden, vermehren sich und (III) eine nicht mehr genutzte Synapse wird von einer oft genutzten Synapse übernommen. Es lässt sich somit sagen, dass das Lernen von motorischen Prozessen von der strukturellen Anpassung der Synapsen beeinflusst wird (Menche, 2012).

Mit Hilfe von funktioneller Bildgebung in Form von Positronen-Emissions-Tomographie (PET) oder der funktionellen Kernspintomographie (fMRT) werden Veränderungen der regionalen Hindurchblutung gemessen. Dabei konnte festgestellt werden, dass motorische Fertigkeiten nicht durch eine einzige Hirnstruktur vermittelt werden. Der kontralaterale motorische Kortex, das supplementär motorische Areal, die Basalganglien und das Kleinhirn bilden die beteiligten Hirnstrukturen, die für die motorische Leistung verantwortlich sind. Für räumlich und zeitlich komplexere Bewegungen, wie sie zum Beispiel vom oben erwähnten retournierenden Tennisspieler ausgeführt werden, sind zusätzlich der Parietal- und Prämotorkortex eingebunden. Dazu kommt, dass der Präfrontalkortex die Lancierung einer Bewegungsintention steuert. Zum Beispiel wenn entschieden wird, sich von einer Bank zu erheben und den Spaziergang weiterzuführen. Das Erlernen und die Anpassung sportlicher Bewegungen liegt

demnach einer zerebralen Leistung in der Form neuronalen Verarbeitungsprozessen zugrunde (Seitz, 2001).

1.1.3 Gedächtnissysteme. Das Gedächtnis ist für den Menschen von grosser Bedeutung. Es wird anhand der Speicherdauer und der Speicherkapazität in vier Gedächtnissysteme eingeteilt. Das *(I) sensorische Gedächtnis*, in welchem aufgenommene Reize vorverarbeitet, selektiert und für weniger als eine Sekunde gespeichert werden, stellt das erste System dar. Das *(II) primäre Gedächtnis*, besser bekannt als Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnis, stellt das zweite System dar. Darin abgelegte Informationen werden für kurze Zeit zur Findung einer Lösung der Aufgabe bereitgestellt. Werden diese Bewegungen geübt, gelangen die Informationen zum *(III) sekundären Gedächtnis*, auch Langzeitgedächtnis genannt. Weiteres Üben der Bewegung führt dazu, dass der Gedächtnisinhalt in das *(IV) tertiäre Gedächtnis* übergeht und von dort aus bei Bedarf über Jahre abgerufen werden kann. Entscheidend für diese Tatsache ist jedoch die Anzahl der Übungswiederholungen und die individuelle Bedeutung für die Aufgabe (Witte, 2018).

1.1.4 Wissen. Das Langzeitgedächtnis wird des Weiteren in ein deklaratives (explizites) und ein prozedurales (implizites) Gedächtnis unterteilt. Die gespeicherten Inhalte des expliziten Gedächtnisses werden als *deklaratives Wissen* bezeichnet. Dieses Wissen beruht auf Faktenwissen der Bewegung (Wie führe ich die Bewegung aus?), welches sich bewusst (explizit) angeeignet wurde. Explizite motorische Gedächtnisprozesse erfordern eine höhere Aktivität von kortikalen Systemen (temporale Hirnrinde und Hippocampus). Das implizite motorische Gedächtnis weist jedoch eine erhöhte Aktivierung des motorischen Kortex, des Kleinhirns und der Basalganglien auf und ist für die Speicherung von automatisierten zyklischen Bewegungen, wie zum Beispiel das Radfahren verantwortlich. Diese gespeicherten Informationen werden als *prozedurales Wissen* bezeichnet und beruhen auf unbewusst (implizit) wahrgenommenen Dingen oder bereits erlernten Bewegungsabläufen. (Seitz, 2001; Witte, 2018; Winkel et al., 2006).

1.1.5 Regulatorische Merkmale bei motorischen Lernprozessen. Motorische Fähigkeiten, die zur Ausführung einer Fertigkeit erforderlich sind, werden stets in einem physischen Kontext ausgeführt und demnach von bestimmten Merkmalen dieses Kontexts beeinflusst (Magill, 1998). Diese Merkmale des physischen Kontexts werden in *regulierende* und *nicht regulierende* Merkmale kategorisiert. Unter *regulierenden* Merkmalen versteht man die Körper- und

Gliedmassenbewegung, welche zum Ziel der Handlung führen sollen (Gentile 1972, zitiert nach Magill, 1998). Das Beispiel des retournierenden Tennisspielers eignet sich demzufolge optimal für die Erklärung von regulierenden Merkmalen. In einer solchen Situation ist der Retourspieler gezwungen, seine Körper- und Gliedmassenbewegung genau auf den Raum- und Zeitcharakter des heranfliegenden Balles abzustimmen. Demzufolge sind die Ballgeschwindigkeit und die Ballbewegung zwei regulatorische Merkmale. Die Verbindung der Wahrnehmung der Ballbewegung und der eigenen Körperposition ist ein bedeutsames Merkmal, um auf eine solche Aktion zu reagieren und beeinflusst die Ausführung dieser motorischen Fertigkeit. Die *nicht regulatorischen* Merkmale in dieser Situation sind zum Beispiel die Farbe des Balles, welche die Bewegungsausführung nicht beeinflusst (Magill, 1998).

Das deklarative Wissen über die regulatorischen Merkmale einer motorischen Fertigkeit ist demnach ein bedeutsamer Aspekt des motorischen Lernens. Dies wurde von Goulet et al. (1988) untersucht. Die Analyse der Augenbewegung bei Tennisaufschlägen zeigte dabei, dass sich Anfänger im Vergleich zu Experten weniger auf die bedeutsamen regulatorischen Merkmale visuell fokussieren. Während Experten sich über den gesamten Bewegungsablauf auf Kopf, Schulter, Rumpf, Schläger und Ball fokussieren, legen Anfänger den Hauptfokus, über alle Phasen hinweg, auf den Ball und weniger auf andere Stellen. Dieses Experiment zeigte, dass während des Erlernens spezifischer Fertigkeiten, Kenntnisse und deklaratives Wissen über regulatorische Merkmale angeeignet werden (Gentile 1972, zitiert nach Magill, 1998).

1.2 Implizite und explizite motorische Lernprozesse

Hänsel (2002) betont die unabhängige Betrachtungsweise der Lernmethoden vom Lernprozess. Die Lernmethode soll als Lernhilfe verstanden werden, den Inhalt zu vermitteln. Also als Bereitstellung möglichst günstiger Lernbedingungen für den Lernenden. Lernmethoden, wie sie Hänsel (2002) beschreibt, ermöglichen eine Modellierung der Lernprozesse, die explizit oder implizit durchlaufen werden. Er unterscheidet die explizite Inhaltsvermittlung unter anderem in vortragenden, vorzeigenden, vormachenden und fragenden Lernmethoden. Die vorgelegte Studie beschäftigt sich lediglich mit der vortragenden Lernmethode, in Form von Instruktionen über die Aufgabe und in Form von Rückmeldungen über die Resultate (Feedback). Die Unterscheidung zwischen bewussten und unbewussten Merkmalen ist dabei ein weiteres wichtiges Erklärungsmodell der motorischen Lernprozesse. In der Literatur ist von *impliziten* und *expliziten* motorischen Lernprozessen die Rede (Kleynen et al., 2014). Explizite und implizite mentale Prozesse können vom menschlichen Gehirn in vielerlei Arten von

Aufgaben kombiniert eingesetzt werden und sind nur schwierig voneinander zu trennen (Miyamoto, Wang & Smith, 2020). Es gibt Lernmethoden, deren Elemente expliziter oder impliziter Natur sind und solche, die beide Prozesse aufweisen (Abbildung 1). Die strikte Trennung von impliziten und expliziten Lernprozessen ist demnach nicht einfach, wenn überhaupt möglich (Kleynen et al., 2015). Die Perspektiven von Reber und Allen (1999) besagen, dass man davon ausgehen muss, dass ein völliges Fehlen von expliziten Prozessen in einem Lernprozess gezeigt werden muss, bevor eine Entscheidung für den impliziten Prozess gefällt werden kann.

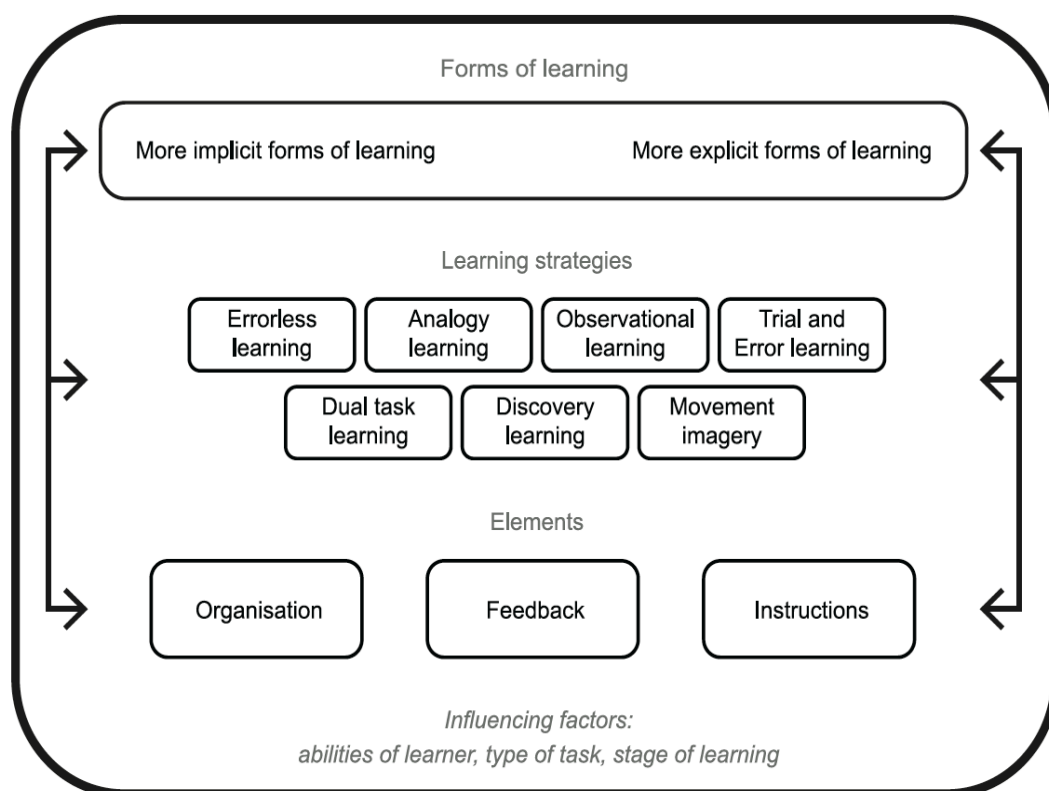


Abbildung 1. Explizite und implizite Lernprozesse (Forms of learning) und ihre Lernmethoden (Learning strategies). Anordnung der Lernmethoden und deren Elemente auf einem Kontinuum von expliziten bis impliziten Lernprozessen (Kleynen et al., 2015, S. 11).

Wendet eine Person bewusste Strategien an, um eine motorische Aufgabe zu lösen, spricht man von *explizitem Lernen*. Wenn dieselbe Person sich jedoch nicht an bewussten Strategien orientiert, kann sie sich die Aufgabe ebenfalls auf *implizitem Lernweg* aneignen (Liao & Masters, 2001). Als Beispiel dient die Studie von Liao und Masters (2001), in welcher die Form des Analogielernens untersucht wurde. Sie stellten die Hypothese, dass Analogielernen bei motorischen Aufgaben, Merkmale des impliziten motorischen Lernens hervorruft.

Dabei erhielt eine Gruppe von VP explizite Instruktionen zur Ausführung eines Topspin-Schlages im Tischtennis. Eine zweite Gruppe erhielt ebenfalls Instruktionen zur Bewegungsausführung, jedoch in Form von Analogien (Metaphern). Trotz einer verbalen Instruktion in beiden Gruppen zeigten die Ergebnisse, dass die Analogie-Lerngruppe während der Lernphase weniger deklaratives Wissen aufwies als die explizite Lerngruppe. Dies zeigte sich darin, dass die Analogie-Lerngruppe den Lernprozess nur schwer oder gar nicht verbalisieren konnte. Die selbst wahrgenommene Leistung korrelierte mit der tatsächlichen Leistung in der expliziten Lerngruppe, nicht aber in der Analogie-Lerngruppe. Wenn jedoch eine gleichzeitige sekundäre Aufgabe hinzugefügt wurde, erlitt die explizite Lerngruppe eine deutlich schwerwiegendere Leistungsbeeinträchtigung als die Analogie-Lerngruppe. In einem zweiten Experiment stellten sie fest, dass die Leistung einer expliziten Lerngruppe sowohl durch eine Stressintervention als auch durch eine Ablenkungsintervention beeinträchtigt wurde, während die Leistung der Analogie-Lerngruppe keinen Leistungseinbruch zur Folge hatte. Somit zeigte sich, dass implizite Lernprozesse robust gegenüber Ablenkungen und Stressinterventionen sind und explizite Lernprozesse bewusst wahrgenommen und verbalisiert werden können.

1.2.1 Implizites Lernen. Im Jahre 1967 fand der Begriff des *impliziten Lernens* zum ersten Mal Interesse in der Wissenschaft. Reber (1989) beschrieb in seiner Arbeit, was der Mensch ohne es bewusst wahrzunehmen lernen kann als implizite Lernprozesse. Implizite Lernprozesse beschreiben Lernvorgänge, die weniger durch gezielte Lernabsichten, sondern mehr durch die passive Akkumulation von Wissen ablaufen (Liao & Masters, 2001). Der implizite motorische Lernansatz ist darauf ausgerichtet, dass das Mitwirken des Arbeitsgedächtnisses am Lernprozess des Fertigkeitserwerbs unterdrückt wird (Lopes, 2011). Kleynen et al. (2014) ergänzten den Ansatz des impliziten Lernens mit der zugrunde liegenden Funktion des prozeduralen Gedächtnisses, bei welchem die gespeicherten Informationen dem Bewusstsein nicht zugänglich und die Lernenden daher nicht mehr in der Lage sind, die erlernte Fertigkeit verbal zu beschreiben (Kal, Prosée, Winters & van der Kamp, 2018; Winkel et al., 2006).

Implizit durchlaufene Lernprozesse haben den Vorteil, dass die Effekte dauerhafter sind als bei expliziten Lernprozessen. Zudem hat sich gezeigt, dass implizit erlernte Fertigkeiten robuster sind als explizite, wenn schnelle Reaktionen gefordert sind (Liao & Masters, 2001). In diversen Studien (vgl. Hardy, Mullen & Jones, 1996; Masters, 1992; Mullen, Hardy & Oldman, 2007) zeigte sich, dass Golf-Anfänger unter expliziten Lernbedingungen bei einer Puttaufgabe dem psychischen Druck nicht standhielten, diejenigen, die unter impliziten Lernbe-

dingungen lernten, jedoch schon. Kal, Prosée, Winters und van der Kamp (2018) stellten die Hypothese, dass implizites Lernen im Vergleich mit expliziten Lernstrategien den Automatismus einer Bewegungsaufgabe fördere und dadurch eine effektivere Leistung in Drucksituationen oder bei einer komplexeren Bewegungsabfolge möglich ist. Es stellte sich jedoch heraus, dass die meisten Vergleiche keinen Gruppenunterschied in der Automatisität zwischen impliziten und expliziten Lernprozessen verzeichneten. Dies führten Miyamoto et al. (2020) auf den Verlauf des Lernprozesses zurück, welcher besagt, dass das motorische Lernen von überwiegend expliziten zu impliziten Zuständen übergeht und somit der Bewegungsablauf schlussendlich automatisiert abläuft.

1.2.2 Explizites Lernen. Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit liegt beim Gegenpart der impliziten Lernprozesse, dem expliziten Lernprozess. Laut Dienes und Perner (1999) verlaufen explizit orientierte Lernprozesse absichtlich und zielgerichtet. Raab (2001) definiert explizites Lernen als nicht-automatische Aneignung struktureller Beziehungen zwischen Objekten und Ereignissen, sofern eine explizite Formulierung der Lernziele des zu erlernenden Sachverhalts vorliegt. Shumway-Cook und Woollacott (2007, zitiert nach Lopes, 2011) beschreiben vier Prozesse, aus welchen sich das explizite Lernen zusammensetzen lässt. Die Aufnahme von Reizen (Bsp.: verbale Erklärung), welche sich auf neuronale Kreise bezieht, wird als *(I) Kodierung* bezeichnet. Für die Kodierung benötigt der Lernende Aufmerksamkeit. Die Kodierungsmenge an Informationen ist neben dem Aufmerksamkeitsniveau auch von der Motivation, sich diesem Lernprozess zu widmen, abhängig. Als zweiten Prozess beschreiben die Autoren die Stabilisierung der Informationen im Langzeitgedächtnis. Dieser Prozess wird als *(II) Konsolidierung* bezeichnet. Die Konsolidierung von Gelerntem ist mit strukturellen Veränderungen in den Nervenzellen verbunden (Kap 1.2.2). Die *(III) Speicherung* ist der Prozess, bei welchem die Informationen über längere Zeit beibehalten werden und stellt den Ablauf des dritten Prozesses dar. Je nachdem in welchen Bereichen des Langzeitgedächtnisses die Informationen abgelegt sind und der Kontext der Informationsbereitstellung mit dem Kontext der Informationserstellung übereinstimmt, ist die *(IV) Informationswiederherstellung* noch genauer (Kandel, Schwarz und Jessell, 2000 zitiert nach Lopes, 2011).

Sind motorische Lernaufgaben mit mehreren zu koordinierenden Freiheitsgraden kombiniert, neigt der Lernende von Anfang an dazu, diese bewusst zu steuern und zu überwachen. Dies führt dazu, dass die Lernenden im Anfangsstadium von motorischen Lernprozessen deklaratives Wissen über technische Einzelheiten der Bewegungsfertigkeit durch Regeln, Techniken,

Methoden und verbal-analytische Vorgehensweisen erlangen. In einer letzten autonomen Phase wird die Fertigkeit jedoch in einer Routine automatisiert. Dabei sind sich die Lernenden der Bewegungsausführung kaum noch bewusst, was zu einer Konsolidierung des Erlernten im prozeduralen Arbeitsgedächtnis führt. Als Gegenüberstellung gehen implizite Lernmethoden davon aus, dass die Phase des deklarativen Wissenserwerbs zu Beginn des Lernprozesses nicht erforderlich ist (Kal et al., 2018). Abbildung 2 zeigt, dass unabhängig vom Qualifikationsniveau und unabhängig davon, welche Lernmethode angewandt wurde, in einer letzten autonomen Phase die Fertigkeit in einer Routine automatisiert wird.

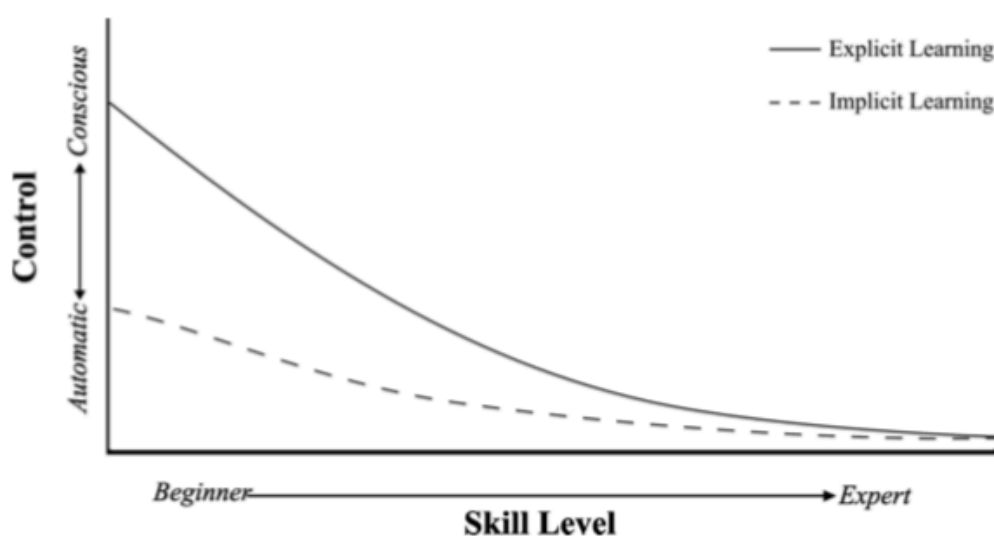


Abbildung 2. Schematische Darstellung von implizitem und explizitem motorischen Lernen in Abhängigkeit vom Qualifikationsniveau (Kal et al., 2018, S. 3).

Forschungserkenntnisse zu explizitem Lernen. Obwohl explizite Anweisungen in Sport und Rehabilitation routinemässig genutzt werden, ist überraschend wenig darüber bekannt, welche Auswirkungen sie auf motorische Lernprozesse haben (Benson, Anguera & Seidler, 2011). Wissenschaftliche Untersuchungen zu expliziten Lernprozessen werden anhand sequentieller Bewegungen, wie z. B. das Tippen von Musterabfolgen auf einer Tastatur (Tanaka & Watanabe, 2017) oder sensomotorischen Anpassungsaufgaben mit visuomotorischen Aspekten (Benson et al., 2011; Taylor, Krakauer & Ivry, 2014) durchgeführt. Des Weiteren besitzt die Rolle des Feedbacks zu den Leistungsergebnisse einen hohen Stellenwert. In der Folge wird ein Überblick über wissenschaftliche Untersuchungen zu expliziten Lernprozessen beschrieben.

Sequentielle und visuomotorische Anpassung. Für die Verbesserung sequentieller Bewegungen spielt explizites Lernen eine wichtige Rolle (Tanaka & Watanabe, 2017). Explizites Wissen wird laut Willingham, Salidis und Gabrieli (2002) mit besseren Leistungen der motorischen Sequenz und mit schnellerem Lernen einer visuomotorischen Anpassung assoziiert (Werner & Bock, 2007). Die Studie von Benson, Anguera und Seidler (2011) untersuchte explizite Lernprozesse anhand einer visuomotorischen Anpassungsaufgabe. Die Versuchspersonen wurden aufgefordert mit Hilfe eines Joysticks einen Cursor so schnell und so exakt wie möglich zu einem Ziel zu bewegen. Nach einigen Übungsversuchen wurden der expliziten Gruppe mitgeteilt, dass in den nächsten Versuchen die Cursorbewegung um 30 Grad im Gegenuhrzeigersinn manipuliert wird. Die implizite Gruppe erhielt keine derartigen Informationen. In den Resultaten zeigte sich, dass die explizite Gruppe bereits in einem frühen Stadium der Adaptationsphase signifikant geringere Abweichungen aufwies als die implizite Gruppe, jedoch die Bewegung langsamer ausführten. Zudem war die Leistung unter expliziten Bedingungen variabler als unter impliziten Bedingungen. In darauffolgenden Versuchsblöcken ohne Rotationsmanipulation, in welchen die explizite Gruppe über die Entfernung der Rotationsmanipulation informiert wurde, zeigte die explizite Gruppe einen geringeren Wash-Out-Effekt, reagierte aber auch hier wiederum langsamer als die implizite Gruppe. Die Resultate zeigen einen klaren Leistungsvorteil der expliziten Gruppe zu Beginn der Lernphase. In einem späteren Zeitpunkt der Lernphase war die Leistung zwischen den beiden Gruppen nicht mehr unterschiedlich. Jedoch war die Bewegungsrichtung der expliziten Gruppe viel variabler als bei der impliziten Gruppe. Die Autoren machen die erhöhte kognitive Belastung für die längere Reaktionszeit und die Bewegungsvariabilität verantwortlich und begründeten dies mit der Anwendung der bewussten Strategie. Zudem interpretieren sie aus diesen Erkenntnissen, dass explizites Lernen empfindlicher gegenüber Störungen durch eine zweite Aufgabe ist.

In einer Studie von Masters, Poolton, Maxwell und Raab (2008) wurde gezeigt, dass explizite Lernprozesse zu einer Erhöhung der kognitiven Belastung führt, in welcher die Schlagleistung von Tischtennisanfängern durch eine explizite Anleitung der Bewegungsausführung und unter dem Einfluss einer hochkomplexen Zusatzaufgabe beeinträchtigt wird. Eine zweite Versuchsgruppe, welche die Bewegungsausführung mit dem Ansatz des «Analogie-Lernens» und somit auf implizitem Weg erlernte, verzeichnete keine Einbussen der Schlagleistung (vgl. Liao & Masters, 2001). Masters et al. (2008) beschreiben, dass der explizite Lernprozess zu einem grösseren bewegungsbezogenen Wissen führt und die Verarbeitung von zusätzlichen Informationsströmen die Ausführung erschwert.

Malone und Bastian (2010) untersuchten, inwiefern sich bei zyklischen lokomotorischen Bewegungen auf einem geteilten Laufband das Gangmuster verändert. Dabei wurden eine Kontrollgruppe (ohne Instruktion), eine Lerngruppe ohne Ablenkung (mit Instruktion und 25 % Echtzeitfeedback über die Schrittlänge während der Adaptationsphase) und eine Lerngruppe mit Ablenkung (Fernsehsendung schauen, in welcher die Nennungen eines bestimmten Wortes gezählt werden musste) miteinander verglichen. In einem Pre-Post-Verfahren mit zwischengeschalteter Adaptationsphase wollte herausgefunden werden, ob die VP ein asymmetrisches Gangmuster während der Adaptationsphase erlernen, welches im Posttest als gelerntes Gangmuster nachgewiesen werden kann. Im Pre- und Posttest gingen die VP bei einer Geschwindigkeit von 0,5 m/s oder 1,5 m/s während fünf Minuten auf einem herkömmlichen Laufband. Während der zwischengeschalteten Adaptationsphase gingen die VP auf einem geteilten Laufband, wobei die Bänder unterschiedliche Tempi aufwiesen (0,5 m/s und 1,5 m/s), was zu einem asymmetrischen Gang führte. Die Resultate zeigten, dass alle Versuchspersonen in der Lage waren, die Gehaufgabe ohne Schwierigkeiten zu bewältigen, unabhängig von der Gruppenzuteilung. Die Lerngruppe mit Instruktion und 25 % Echtzeitfeedback über die Schrittlänge passte sich während der Adaptationsphase schneller an die Bedingungen an als die Gruppe mit der Ablenkung. Spannenderweise zeigte der Posttest ein ähnliches Bild, obwohl die Bedingungen für alle drei Gruppen in dieser Testperiode dieselben waren. Malone und Bastian (2010) interpretieren diese Tatsache damit, dass die Art und Weise wie man etwas lernt, die Rate des Verlernens beeinflusst, weil die Versuchspersonen möglicherweise unter den Anpassungsbedingungen neuronale Schaltkreise mit unterschiedlichen Zeitverläufen in Anspruch nehmen.

Der Rolle des Feedbacks ist in expliziten Lernprozessen Beachtung zu schenken. Eine Variante, die motorische Leistung zu verbessern oder von Grund auf zu erlernen, ist, das Einholen von Feedback aus internen oder externen Quellen. Kleynen et al. (2015) zählen das Feedback zu Lernmethoden mit implizitem und explizitem Charakter. Lauber und Keller (2012) beschreiben das intrinsische Feedback als solches, das über Sinneswahrnehmungen aufgenommen und durch die entsprechenden Rezeptoren verarbeitet wird. Das extrinsische Feedback, welches das intrinsische Feedback ergänzt, wird in der Literatur auch als augmented Feedback bezeichnet. Augmented Feedback kann auf die Rückmeldung des Ergebnisses (knowledge of result) oder auf diejenige des Verlaufs (knowledge of performance) des Verhaltens bezogen werden (Raab, 2001). Wulf und Prinz (2001) beschreiben in ihrem Review, dass die Bereitstellung von externem Feedback das Erlernen neuartigen motorischen Fertigkeiten positiv

beeinflusst. Denn die direkte Rückmeldung über das gewünschte Verhalten oder die erzielten Ergebnisse ermöglichen dem Lernenden eine Reduzierung der Fehler und eine Verbesserung der Fertigkeit. Sie schreiben zudem, dass nach mehrmaligem Üben die Handlung automatisiert wird und ein explizites Nachdenken über den Vollzug der Bewegung die Leistung stören kann. Die Häufigkeit von augmented Feedback kann demnach den Lernprozess nachhaltig beeinflussen. Die Guidance-Hypothese besagt, dass eine hoch frequentierte Rückmeldung der Ergebnisse (knowledge of results) den kurzfristigen Leistungsfortschritt zwar positiv, das langfristige Lernen jedoch negativ beeinträchtigen kann (Lee, White & Carnahan, 1990; Maslovat, Brunke, Chua & Franks, 2009; Salmoni, Schmidt & Walter, 1984). Kurz gesagt, sofortiges Feedback über die Ergebnisse der erbrachten Leistung ermöglicht eine schnelle Fehlerreduzierung, ist aber schädlich für das langfristige Lernen (Winstein, Pohl & Lewthwaite, 1994). In einer Untersuchung zeigten Winstein und Schmidt (1990), dass während der Lernphase der Einsatz von 50 % relativer Feedbackhäufigkeit im Vergleich zu 100 % grössere Lerneffekte in einem Retentionstest aufweisen. Sie führen die Erkenntnis auf die zusätzliche Beteiligung an kognitiven Prozessen (z. B. Fehlererkennung) bei den VP zurück. Es existieren jedoch einige Studien, welche belegen, dass die Häufigkeit des augmented Feedback keinen Einfluss auf die langfristige Lernleistung hat (Park, Shea & Wright, 2000). Wulf, Shea und Matschiner (1998) untersuchten in einer komplexen Motorikaufgabe auf einem Skisimulator die Lernentwicklung der Versuchspersonen. Dabei stellte sich heraus, dass bei dieser komplexen motorischen Aufgabe eine Feedbackhäufigkeit von 100 % grössere Lerneffekte in späteren Retentionstests mit sich brachte als 50 % Feedbackhäufigkeit. Sie bringen diese Resultate mit der Komplexität der Aufgabe in Verbindung und behaupten, dass eine hohe Feedbackhäufigkeit bei komplexen Aufgaben sinnvoll ist. In der vorliegenden Studie dient das Feedback ausschliesslich dem Erlernen der Aufgabe.

1.3 Zyklische vs. azyklische Bewegungen

In Bezug auf die am Anfang erwähnten Beispiele des retournierenden Tennisspielers und des fahrradfahrenden Mädchens lässt sich einfach feststellen, dass dies zwei unterschiedliche Bewegungen sind. Die zu erlernende Bewegung des Fahrradfahrens und des Treffens eines Tennisballes unterscheiden sich im Wesentlichen darin, dass sich die Bewegung beim Fahrradfahren ständig wiederholt. Das Treffen oder Zurückspielen eines sich nähernden Tennisballes erfordert hingegen eine ständige Anpassung des Bewegungsablaufs. Somit lassen sich diese beiden Beispiele in zwei Bewegungsklassen einteilen. Der Bewegungsablauf eines Returns im Tennis wird als azyklische Bewegung klassifiziert und kann laut Göhner (1989) in eine

Hauptfunktionsphase und eine Hilfsfunktionsphase aufgeteilt werden. Die Hauptfunktionsphase ist unmittelbar mit der Bewegungsaufgabe und mit dem Ziel der Bewegung verbunden. Also mit dem Treffen des Balls. Die Hilfsfunktionsphase unterstützt die Hauptfunktionsphase z. B. die Ausholbewegung des Schlägers bzw. des Armes, die Ausrichtung der Beinposition zum Ball oder das Ausschwingen des Armes nach dem Schlag. Diese Hilfsfunktionsphase tritt in den meisten Fällen vor und nach der Hauptfunktionsphase auf. Deshalb gliedert das Modell nach (Meinel & Schnabel, 2007) die Hilfsfunktionsphasen in eine Vorbereitungs- und eine Endphase.

Zyklische Bewegungen wie sie das fahrradfahrende Mädchen ausübt, wiederholen sich mehrfach. Diese Tatsache lässt zyklische Bewegungen in eine Hauptphase und eine Zwischenphase einteilen (Meinel & Schnabel, 2007). Die Zwischenphase der vorhergehenden Bewegung hat somit einen Einfluss auf die Hauptphase. Zyklische Bewegungen werden weiter in symmetrisch (Bsp.: Rudern), alternierend (Bsp.: Fahrradfahren) und asynchron alternierend (Bsp.: Brustschwimmen) eingeteilt (Göhner, 1989). Zusätzlich gibt es kombinierte Bewegungsaufgaben wie zum Beispiel eine Tanz- oder Gymnastikkür oder das Hürdenlaufen. Das Fahrradfahren stellt demnach eine alternierende zyklische Sportart dar. Die Bewegung des Fahrradfahrens wird auch als eine kontinuierliche Bewegung beschrieben. Dies aus dem Grund, weil es schwierig ist, ein Anfang und ein Ende in der Bewegung feststellen zu können, da sie wiederholt und rhythmisch verläuft. Malone und Bastian (2010) betonen, dass die menschliche Fortbewegung, welche zu den zyklischen Bewegungen zählt, wenig bewusste Anstrengung benötigt. Selbst wenn man mit dem Fahrrad einen Geländewechsel vollzieht, denken wir nicht genau über die Bewegung unserer Beine nach, sondern konzentrieren uns mehr darauf, einen Gang runterzuschalten.

1.3.1 Central Pattern Generators (CPG). Alternierend zyklische Bewegungen, wie es beim Fahrradfahren der Fall ist, werden von sogenannten *zentralen Mustergeneratoren* (CPG) erzeugt. CPG sind spinale Schaltkreise, die bei ihrer Aktivierung rhythmische Motorikmuster hervorrufen (Marder & Bucher, 2001; Hooper, 2000). Um die Kontrolle dieser rhythmischen Bewegung vollständig zu erfassen, muss das komplexe und hierarchisch gegliederte Motorikmodell von Gehirn, Rückenmark und dem aktiven Bewegungsapparat neu bewertet werden. Laut Zehr (2005) laufen die erwähnte Steuerung und Modulation dieser Fortbewegungsmuster in einer Wechselbeziehung des dreigliedrigen Systems ab. Dieses System besteht aus dem supraspinalen Input, den spinal angetriebenen CPG und der sensorischen Reizantwort der

beteiligten Muskeln, die während der Bewegung aktiviert oder gehemmt werden. Für das Wechselspiel von Hemmung und Aktivierung sind die inhibitorischen Interneurone zuständig, welche in rhythmischen Mustern das oszillatorische Verhalten der Aktivität der Motoneuronen und somit der agonistischen und antagonistischen Muskulatur durch Hemmung und Aktivierung regulieren. Anhand dieses Wechselspiels konnte Brown (1911) in seinen Experimenten mit Katzen beweisen, dass diese Schaltkreise im unteren Rückenmark liegen. Trotz der geringen Beteiligung kortikaler Systeme während zyklischen Bewegungen, aktivieren absteigende Befehle die CPG-Netzwerke, um mit der Bewegungsausführung zu beginnen. Im Laufe der Bewegungsausführung wird die kortikale Aktivität geringer.

1.4 Wissenschaftliche Relevanz der Masterarbeit

Die wissenschaftliche Relevanz dieser Masterarbeit wird damit begründet, dass explizite Lernprozesse bei zyklisch-alternierenden Bewegungen auf dem Fahrrad nur wenig erforscht sind. Der Grossteil der Untersuchungen von expliziten Lernprozessen setzten an komplexen offenen Bewegungen mit mehreren Freiheitsgraden (Kal et al., 2018; Kleynen et al., 2015; Liao & Masters, 2001), an feinmotorischen Reaktionsaufgaben (Green & Flowers, 1991; Sanchez & Reber, 2013) oder an visuomotorischen und sequenziellen Anpassungsaufgaben (Benson et al., 2011; Tanaka & Watanabe, 2017; Werner & Bock, 2007) an. Des Weiteren wurden Untersuchungen in Zusammenhang mit neurophysiologischen und sensomotorischen Funktionen der involvierten Netzwerke durchgeführt (Brown, 1911; Marder & Bucher, 2001; Rossignol, Dubuc & Gossard, 2006), die gezeigt haben, dass trotz einer Teilentfernung des Nervensystems die Möglichkeit besteht, rhythmische Bewegungsmuster zu vollziehen. Dieses Erkenntnis deutet darauf hin, dass zyklisch-lokomotorische Bewegungen aus zentralen Mustergeneratoren auf spinaler Ebene ausgelöst und supraspinal kontrolliert werden (Caggiano et al., 2018; Hooper, 2000; Marder & Bucher, 2001; Zehr, 2005). Aus der Instruktionspsychologie ist bekannt, dass explizite Instruktionen über das Ziel und die Ausführung der Aufgabe (Hänsel, 2002) und die Häufigkeit an Rückmeldungen über die Resultate (Lauber & Keller, 2012; Lee et al., 1990; Maslovat et al., 2009; Salmoni et al., 1984; Winstein & Schmidt, 1990) einen motorischen Lernprozess beeinflussen. Es sind nur wenige Untersuchungen in diesem Bereich zu finden, welche zyklisch-lokomotorische Lernprozesse auf dem Fahrrad untersuchen. Aus diesem Grund soll mit dieser Studie herausgefunden werden, ob explizite Lernprozesse eine kurzfristige Lernanpassung beim Fahrradfahren bewirken.

1.5 Ziel und konkrete Fragestellung

Mit dieser Studie möchte herausgefunden werden, ob explizite Lernprozesse einen kurzfristigen Lerneffekt bei zyklisch, lokomotorischen Bewegungen mit sich bringen. Daraus abgeleitet resultiert folgende konkrete Fragestellung:

- I. Gibt es einen kurzfristigen motorischen Lerneffekt bei zyklischen Bewegungen auf dem Fahrradergometer unter expliziten Lernbedingungen?

Dazu werden folgende Hypothesen formuliert:

H₀: Es gibt keinen kurzfristige motorischen Lerneffekt bei zyklischen Bewegungen auf dem Fahrradergometer unter expliziten Lernbedingungen bei Studenten.

H₁: Es gibt einen kurzfristige motorischen Lerneffekt bei zyklischen Bewegungen auf dem Fahrradergometer unter expliziten Lernbedingungen bei Studenten.

1.5.1 Parameter zur Prüfung der konkreten Fragestellung. Die Hauptaufgabe für die VP ist, die Trittfrequenz über die gesamte Testzeit (Pretest, Lernphase und Posttest) konstant zu halten. Somit ist der Variationskoeffizient (COV) und die IST-SOLL-Abweichung der Trittfrequenz (cadence) der Hauptuntersuchungsparameter. Die erbrachte Leistung (power) und die Geschwindigkeit (speed) stellen zwei zusätzliche Untersuchungsparameter dar und werden ebenfalls in ihrer Variabilität und IST-SOLL-Abweichungen untersucht. Des Weiteren wird untersucht, ob in EXP und in CON eine Stabilisierung der Variabilität und der IST-SOLL-Abweichung in der Trittfrequenz und in den beiden Zusatzparametern (Leistung und Geschwindigkeit) während der Lernphase (Adj) zu beobachten ist. Dieser Aspekt dient zur Prüfung einer allfälligen Lernanpassung während der Lernphase. Dabei wurden die ersten vier Minuten (Adj1) und die letzten vier Minuten (Adj2) miteinander verglichen. Zudem soll mit einem internen Posttest-Vergleich (Post1 = erste Minute / Post2 = letzte Minute) geprüft werden, ob ein Wash-Out-Effekt zu erkennen ist. Der genaue Testablauf ist in Kapitel 2.2 detailliert beschrieben.

2 Methode

2.1 Untersuchungsgruppe

An dieser Studie nahmen 31 Studenten der Universität Freiburg und der Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen (EHSM) teil. Das schriftliche Einverständnis und die Angaben zum Testverlauf wurden im Vorfeld eingeholt. Zusätzlich füllten alle VP einen medizinischen Fragebogen aus. Die VP wurden zufällig in zwei verschiedene Gruppen, die Lerngruppe (EXP) ($n = 16$, 11 männlich, 5 weiblich) und die Kontrollgruppe (CON) ($n = 15$, 7 männlich, 8 weiblich) eingeteilt. Die zwei Gruppen wurden hinsichtlich des Alters (EXP, $mean = 27.19 \pm 3.06$ Jahre; CON, $mean = 27.33 \pm 5.08$ Jahre, Mann-Whitney U test, $p = 0.676$), des Gewichts (EXP, $mean = 69.75 \pm 10.31$ kg; CON, $mean = 69.47 \pm 12.28$ kg, Mann-Whitney U test $P = 0.766$) und des Aktivitätslevels betreffend Fahrradfahren verglichen. Um dieses Aktivitätslevel zu bewerten, gaben die VP jeweils einen Durchschnittswert ihrer wöchentlichen Fahrradkilometer an (EXP, $mean = 24.06 \pm 27.33.67$ km; CON, $mean = 40.33 \pm 42.57$ km, Mann-Whitney U test, $p = 0.249$). Die VP wurden dementsprechend in untrainiert (0-10 km / Woche), trainiert (11- 50 km / Woche) und sehr trainiert (> 50 km / Woche) eingeteilt. In EXP sind sieben VP untrainiert, fünf sind trainiert und vier sehr trainiert auf dem Fahrrad. In CON sind sechs Personen untrainiert, fünf trainiert und vier sehr trainiert. Aus der durchschnittlichen Herzfrequenz während der Lernphase und dem errechneten Maximalpuls, konnte zusätzlich ein prozentualer Schwierigkeitsfaktor des Tests errechnet werden (EXP: $mean = 73.68 \pm 9.58$ % HFmax; CON: $mean = 67.14 \pm 6.50$ % HFmax, Mann-Whitney U test, $p = 0.133$). Die Berechnungsformel für die maximale Herzfrequenz $HF_{max} = 220 - \text{Alter}$, wurde im Jahre 1971 von Samuel Fox und William Kaskell überarbeitet und erstellt (Robergs & Landwehr, 2002). In EXP war folglich die Intensität während der Lernphase nicht signifikant höher als bei CON. Trotzdem liegt laut Weineck (2010) EXP mit durchschnittlich 73.68 % in einem aeroben Trainingsentwicklungsbereich (70-80 %). CON jedoch im Grundlagenbereich (60-70 %).

2.2 Studiendesign

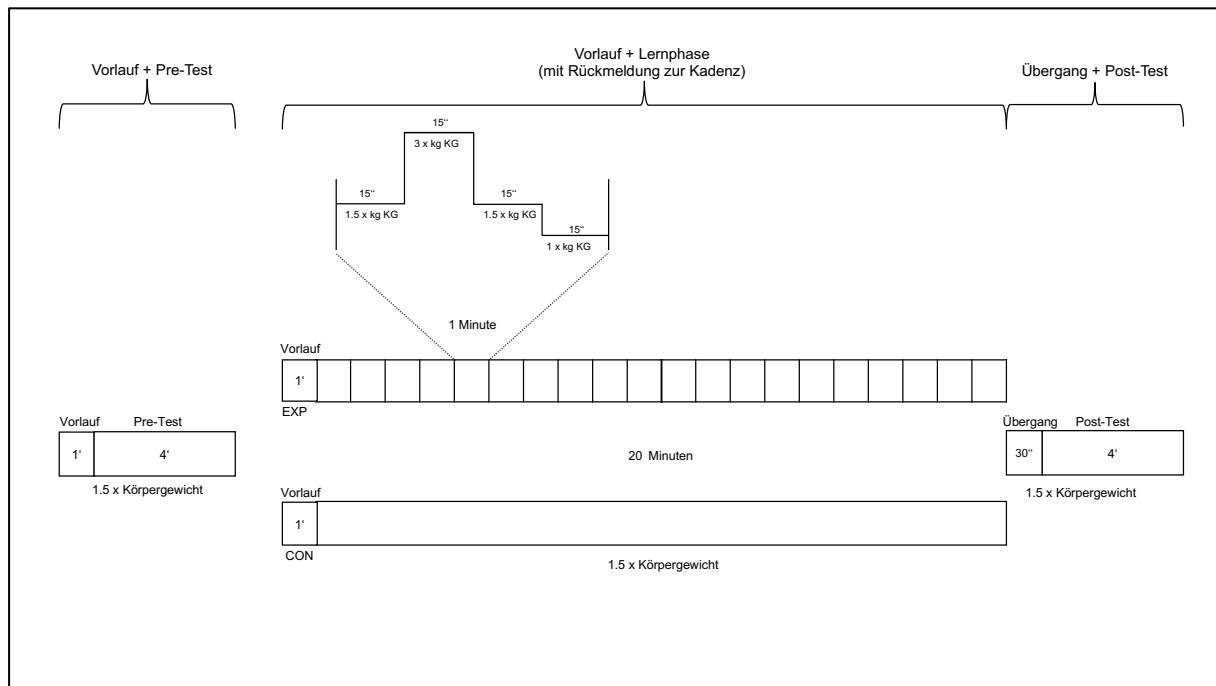


Abbildung 3. Testablauf für Lerngruppe (EXP) und Kontrollgruppe (CON). Die abgebildete Minute repräsentiert jede Minute dieser Phase mit den entsprechenden Änderungen der zu erbringenden Leistung (ZEL) für die Lerngruppe (EXP).

Alle VP nahmen an einem Messtermin im Labor der Universität Freiburg teil. Der Termin nahm pro VP ungefähr eine Stunde in Anspruch und setzte sich aus einer Information zur Studie, dem Ausfüllen eines gesundheitlichen Fragebogens und Unterzeichnen der Einverständniserklärung sowie dem Warm-Up und dem Testprotokoll auf dem Radergometer zusammen. Das Testprotokoll, wie es Abbildung 3 darstellt, wurde in Anlehnung an die Studie von Meunier et al. (2007) und Mazzocchio, Kitago, Liuzzi, Wolpaw und Cohen (2006) erstellt, jedoch mit dem Unterschied, dass Pre- und Posttest keine Änderungen in ZEL enthielten und die Trittfrequenz von den VP zwischen 60-90 Umdrehungen pro Minute (rpm) gewählt werden konnte. Denn Buchegger (2008) besagt, dass eine Trittfrequenz von 60 bis 90 rpm aus ökonomischer Sicht am effizientesten ist. Das Protokoll bestand in beiden Gruppen aus einem Pretest, einer anschliessenden Lernphase und einem Posttest. Das Aufwärmen diente der Angewöhnung an den Fahrradergometer und der Aktivierung des Bewegungsapparats und ist in Abbildung 3 nicht ersichtlich. Zudem sollten die VP eine für sich angenehme Trittfrequenz finden, welche für den Rest der Datenerhebung zu fahren war. Im Anschluss an das Aufwärmen wurde eine kurze Pause von einer Minute eingebaut, um die VP über den nächsten Schritt zu informieren. Anschliessend startete der Pretest mit einem Vorlauf von

einer Minute. Diese Minute wurde nicht in die Daten einbezogen. Sie diente lediglich als Angewöhnungsphase für die VP, um eine angenehme Trittfrequenz zu finden. Nach dieser Minute startete die Aufzeichnung. Dabei sollten die VP während vier Minuten eine möglichst konstante Trittfrequenz beibehalten, ohne dass sie eine Rückmeldung zu dieser erhielten. Die letzten fünf Sekunden des Pretests zählte der Versuchsleiter runter, die VP beendete die Bewegung und die Aufzeichnung stoppte. Anschliessend wurde die durchschnittliche Trittfrequenz des Pretests aus der SRMX Software herausgelesen. Anschliessend instruierte der Versuchsleiter die VP über die Aufzeichnung der Trittfrequenz auf dem Computerbildschirm. Die VP erhielt die Aufgabe, mit Hilfe der abgebildeten Trittfrequenz und dem Echtzeitverlauf der ZEL auf dem Computerbildschirm, die aus dem Pretest eruierte Durchschnittsfrequenz für die nächsten 20 Minuten möglichst genau zu halten. Die Lernphase startete wiederum mit einer Minute Vorlauf, welche nicht aufgezeichnet wurde. Der Versuchsleiter instruierte EXP vor der Durchführung der Lernphase explizit über die Aufgabe. Diese Gruppe erhielt die Information, dass sich während den nächsten 20 Minuten die ZEL, abhängig vom Körpergewicht, in einem sich wiederholenden Pattern ändern. Ein Pattern dauerte eine Minute welches 20 mal zu wiederholen war. Die Änderungen der ZEL erfolgten jeweils nach 15 Sekunden. Der Ausgangswert lag bei einer ZEL in Watt (w) von $1.5 \times$ des Körpergewichts in Kilogramm (kg). Nach 15 Sekunden wechselte die ZEL auf $3.0 \times$ des Körpergewichts, nach weiteren 15 Sekunden zurück auf den Ausgangswert von $1.5 \times$ des Körpergewichts und für die letzten 15 Sekunden auf $1.0 \times$ des Körpergewichts. Die VP aus der EXP erhielten während der gesamten Lernphase, über einen Computerbildschirm, den Verlauf der ZEL anhand eines 15-Sekunden-Countdowns und die Liveanzeige der Trittfrequenz rückgemeldet. CON erhielt die Aufgabe, während 20 Minuten die im Pretest eruierte durchschnittliche Trittfrequenz ohne Veränderungen der ZEL beizubehalten. Dabei war während der gesamten Zeit die Trittfrequenz auf dem Fahrradcomputer abgebildet. Wie bereits erwähnt, diente das externe Feedback über die Trittfrequenz lediglich dem Erlernen der Aufgabe und wurde nicht moduliert. Die letzten fünf Sekunden der Lernphase wurden für beide Gruppen explizit runtergezählt und die Aufzeichnung gestoppt. Anschliessend startete eine Übergangsphase von 30 Sekunden, in welcher die Rückmeldung über die Trittfrequenz verdeckt und der VP mitgeteilt wurde, dass für die letzten vier Minuten die durchschnittliche Trittfrequenz der Lernphase möglichst konstant weitergefahren werden sollte. Die VP pedalt während der Übergangsphase weiter. Nach Ablauf der Übergangsphase startete der Posttest. ZEL war für beide Gruppen während dieser Zeit konstant bei $1.5 \times$ kg des Körpergewichts.

2.2.1 Test des Trainingsprotokolls. Die Höhe der ZEL in der zwanzigminütigen Lernphase basieren ebenfalls auf der Anlehnung der Studie von Meunier et al. (2007). Da die Angaben in der genannten Studie nicht konkret genannt wurden, absolvierten im Vorfeld der Datenerhebung zwei VP unterschiedliche Testprotokolle. Dabei wurde beachtet, dass hinsichtlich der Belastung, die bestmögliche Änderung der ZEL gewählt wird. Die ZEL soll das Lernen infolge von zu hohen individuellen Beanspruchungen nicht beeinflussen. Die gemessenen Daten sind kein Bestandteil der offiziellen Daten.

2.3 Instrumente

2.3.1 SRM High Performance Ergometer. Für jede VP wurden Einstellungen des Sattels und des Lenkers in der Vertikalen und Horizontalen vorgenommen. Die Sattelhöhe wurde so eingestellt, dass die Ferse bei gestrecktem Bein die Pedale an der tiefsten Kurbelposition berührt. In der horizontalen Stellung der Kurbel sollte die Patella über der Pedalachse stehen (SRM Ergometer Manual, 2017). Der Lenker wurde so eingestellt, dass der Proband eine für ihn bequeme Position einnehmen konnte. Alle VP absolvierten den Test mit Hallenschuhen und nutzten kein Klick-System.

2.3.2 Suunto Herzfrequenz-Gurt. Jeder Proband trug während der ganzen Testzeit einen Brustgurt, der die Herzfrequenz aufzeichnete. Es handelte sich um einen Suunto Dual Comfort. Zur Sicherstellung einer optimalen Funktion wurde er jeweils mit Wasser befeuchtet.

2.3.3 SRM Ergometer Software. In dieser Software waren die VP als neue Athletinnen oder Athleten abgespeichert und das körperrgewichtsspezifische Trainingsprotokoll wurde jeweils kurz vor dem Test individuell erstellt. Mit dieser Software wurde die Leistung in Watt (w), die Herzfrequenz in Schläge pro Minute (bpm), die Trittfrequenz in Umdrehungen pro Minute (rpm) und die Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde (km/h) während Pretest, Lernphase und Posttest aufgezeichnet. Die Software reguliert in der Lernphase die Widerstände gemäss Trainingsprotokoll. Die VP hatten während der Lernphase Einsicht in das Protokoll und konnten dadurch in Echtzeit ihre Trittfrequenz und den Zeitpunkt der Veränderung der ZEL kontrollieren.

2.3.4 SRMX Software. Die in der SRM Ergometer Software aufgenommenen Daten wurden in die SRMX Software geladen und erste Parameter konnten direkt aus dieser Software über

den zeitlichen Aspekt hinaus veranschaulicht werden. Die Software diente als Datenbank der Rohdaten, die über die SRM Ergometer Software aufgenommen wurden.

2.4 Datenauswertung

Die Rohdaten aus der SRMX Software wurden in Excel (Microsoft Excel für Mac 2018, Microsoft Corporation, Redmond, USA) importiert und in einer Datenmatrix dargestellt. Statistische Verfahren wurden in SPSS (IBM SPSS Statistics, Version 26, Inc., Chicago, IL) vorgenommen. Um die Fragestellungen zu beantworten wurde der Variationskoeffizient (COV) der Trittfrequenz als Hauptuntersuchungsparameter, der Geschwindigkeit und der erzeugten Leistung verwendet, um diese innerhalb und zwischen beiden Gruppen in Pre- und Posttest zu vergleichen.

Der Verlauf dieser Variationskoeffizienten wurde zudem in der Lernphase während den ersten vier (Adj1) und letzten vier (Adj2) Minuten und im Posttest während der ersten (Post1) und der letzten (Post2) Minute analysiert. Des Weiteren wurde mit Bezug auf die Mittelwerte der untersuchten Parameter ein IST-SOLL-Vergleich während des Verlaufs der Pre-Posttests und der Lernphase vorgenommen.

Die Daten wurden zu Beginn mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung, mit dem Levene-Test auf Homogenität und die Ausgangslagen mit einem T-Test bei parametrischen und einem Mann-Whitney-U-Test bei nicht-parametrischen Daten geprüft. Bei einer Verletzung der Varianzgleichheit wurden die Rohdaten mit einer Log10-Transformation bearbeitet. Anhand dieser Resultate konnte anschliessend mit einem zweifaktoriellen Varianzanalysetest (zweifaktorielle ANOVA) mit Messwiederholung weitergearbeitet werden. Resultierte aus der Varianzanalyse ein signifikanter Unterschied, wurden zusätzliche post-hoc Tests mit der Software Jamovie (Version 1.1.9.0) durchgeführt. Das Signifikantsniveau wird bei $p = 0.05$ festgelegt.

3 Resultate

Kapitel drei ist in drei Unterkapitel gegliedert. Das erste Unterkapitel (Kap. 3.1) veranschaulicht das Vorprüfungsverfahren über die Varianz- und Mittelwertgleichheit der Pre- und Posttest-Daten und zeigt die statistischen Resultate dazu. Zudem wurde ein IST-SOLL-Vergleich der absoluten Leistungs- und Trittfrequenzdifferenzen durchgeführt. Im zweiten Unterkapitel (Kap. 3.2) wird die Lernphase (Adj) dargestellt. Die ersten vier (Adj1) und die letzten vier (Adj2) Minuten werden hinsichtlich des Hauptuntersuchungsparameter und der Zusatzparameter verglichen. Des Weiteren veranschaulicht es einen IST-SOLL-Vergleich der durchschnittlichen Trittfrequenz- und Leistungsdifferenzen. Im dritten Unterkapitel (Kap. 3.3) wird der Verlauf des Posttests veranschaulicht. Dabei wird die erste (Post1) und die letzte (Post2) Minute der vierminütigen Testphase dargestellt und auf einen allfälligen Wash-Out-Effekt untersucht.

3.1 Vergleich Pre-Posttest

Die Normalitätsprüfung zeigte, dass die Koeffizienten der Leistungsvariabilität im Pretest bei CON und die Koeffizienten der Geschwindigkeitsvariabilität im Pretest bei EXP nicht normalverteilt sind ($p = < 0.05$). Um sicherzustellen, dass beide Gruppen dasselbe Ausgangsniveau aufweisen, wurde die Mittelwertgleichheit der Variabilitätskoeffizienten der Trittfrequenz, der Leistung und der Geschwindigkeit zwischen den beiden Gruppen im Pretest mit einem ungepaarten T-Test bei Normalverteilung und mit einem nicht-parametrischen Test bei zwei unabhängigen Stichproben (Mann-Whitney-U-Test) bei nicht Normalverteilung getestet (Mittelwertgleichheit $p = > 0.05$). Des Weiteren wurde eine Prüfung auf Homogenität (Homogenität Levene- $p = > 0.05$) durchgeführt. Tabelle 1 zeigt, dass die Homogenität der Koeffizienten der Trittfrequenzvariabilität im Pretest (COV_cadence_pre) nicht gegeben ist. In diesem Fall wurden die Daten der Trittfrequenzvariabilität im Pre- und im Posttest für beide Gruppen mit einer Log10 Transformation in SPSS transformiert.

Tabelle 1

Deskriptivstatistik, Varianz- und Mittelwertgleichheit der Koeffizienten der Hauptuntersuchungsparameter beim Pre- und Posttest für die Lern- und Kontrollgruppe

AV	EXP (n = 16)	CON (n = 15)	Levene-Homogenitätstest		Mann-Whitney-U-Test** / T-Test	
	M ± SD	M ± SD	F	Sig. p	U / T	Sig. p
COV_cadence_pre	0.017 ± 0.010	0.016 ± 0.005	4.435	0.044*	1.203	0.233
COV_cadence_post	0.012 ± 0.005	0.013 ± 0.006	0.039	0.846		
COV_power_pre	0.110 ± 0.025	0.109 ± 0.038	0.813	0.375	112.000	0.752**
COV_power_post	0.145 ± 0.044	0.119 ± 0.046	0.014	0.908		
COV_speed_pre	0.016 ± 0.011	0.013 ± 0.006	4.138	0.051	111.000	0.722**
COV_speed_post	0.011 ± 0.005	0.011 ± 0.005	0.029	0.867		

Anmerkung. AV = Abhängige Variable. EXP = Lerngruppe. CON = Kontrollgruppe. COV_power_pre/post = Variabilitätskoeffizient der Leistung im Pre- und Posttest. COV_cadence_pre/post = Variabilitätskoeffizient der Trittfrequenz im Pre- und Posttest. COV_speed_pre/post = Variabilitätskoeffizient der Geschwindigkeit im Pre- und Posttest. M ± SD = Mittelwert ± Standardabweichung. Sig. p = Signifikanz ($p < 0.05$). U = U-Wert bei Mann-Whitney-U-Test. T = T-Wert bei T-Test. * = Varianzen sind nicht homogen ($p < 0.05$). ** = Mann-Whitney-U-Test für nicht-parametrische Daten.

3.1.1 Trittfrequenzvariabilität im Pre- und Posttest. Zu Beginn wurden die Messzeitpunkte (Pretest-Posttest) in den Gruppen miteinander verglichen. Abbildung 4 visualisiert die entsprechenden Resultate und zeigt ein signifikanter Rückgang der Trittfrequenzvariabilität in der EXP ($t = -2.411$, $p = 0.029$, $n = 16$). Die Effektstärke nach Cohen (1992) lag bei $r = 0.53$ und entspricht damit einem starken Effekt. CON zeigte keinen signifikanten Effekt ($t = 1.297$, $p = 0.216$, $n = 15$). Wie oben erwähnt, wurden die Daten der Trittfrequenz mit einer Log10 Transformation bearbeitet. Für die anschließende Anova-Statistik wurden die transformierten Daten verwendet. Dabei zeigten beide Gruppen eine signifikante Entwicklung über die Zeit von Pre- zu Posttest ($F(1.29) = 19.924$, $p = 0.0001$, $\eta^2 = 0.407$). In der Interaktion von Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Pretest-Posttest) resultierte kein signifikanter Unterschied ($F(1.29) = 0.802$, $p = 0.376$, $\eta^2 = 0.378$). Auch die Gruppenunterschiede waren nicht signifikant ausgefallen. $F(1.29) = 1.572$, $p = 0.220$, $\eta^2 = 0.051$.

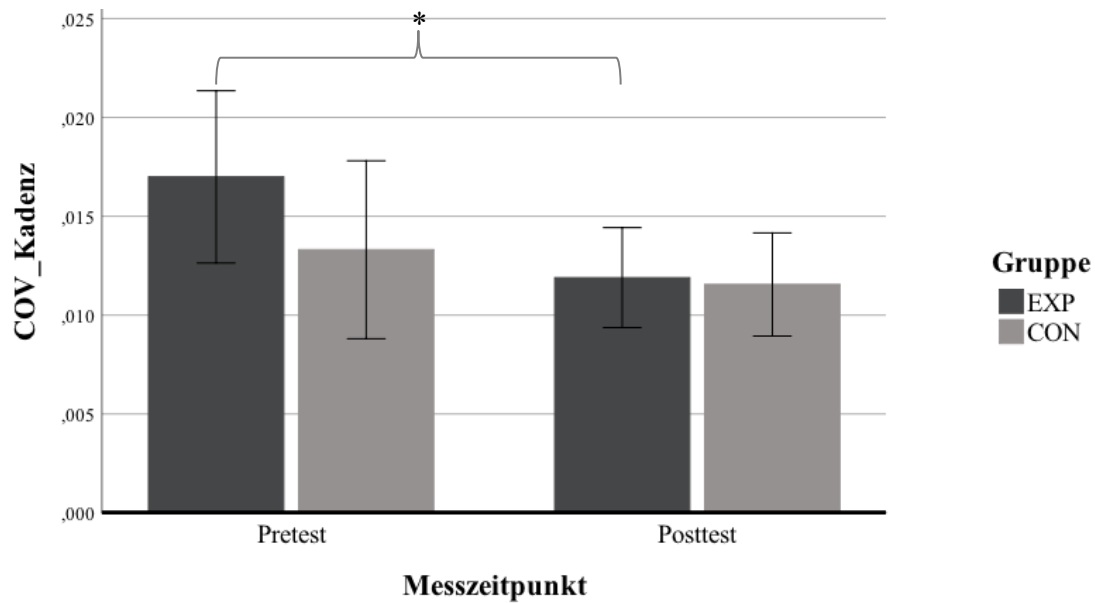


Abbildung 4. Entwicklung der Mittelwerte und Standardfehler der Variationskoeffizienten der Trittfrequenz von Pretest zu Posttest nach einer zwanzig Minuten Lernphase mit Widerstandsänderungen (Lerngruppe; EXP; $n = 16$), respektive ohne Widerstandsänderungen (Kontrollgruppe; CON; $n = 15$). * = $p < 0.05$.

3.1.2 Leistungsvariabilität im Pre- und Posttest. Zu Beginn wurden die Messzeitpunkte (Pretest-Posttest) in den Gruppen miteinander verglichen. Abbildung 5 visualisiert die entsprechenden Resultate und zeigt eine signifikante Steigerung der Leistungsvariabilität in EXP ($t = -2.957$, $p = 0.01$, $n = 16$). Die Effektstärke nach Cohen (1992) liegt bei $r = 0.61$ und entspricht damit einem starken Effekt. CON zeigte keinen signifikanten Effekt ($z = -0.966$, $p = 0.334$, $n = 15$). Die anschließende Anova-Statistik zeigte, dass sich die Leistungsvariabilität in beiden Gruppen von Pre- zu Posttest signifikant ($F(1.29) = 8.640$, $p = .006$, $\eta^2 = .230$) unterscheidet. Kein signifikanter Unterschied ist in der Interaktion von Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Pretest-Posttest) ($F(1.29) = 2.717$, $p = 0.110$, $\eta^2 = 0.086$) ersichtlich. Es ist auch kein Gruppenunterschied in der Leistungsvariabilität zwischen Pre- und Posttest aufgetreten ($F(1.29) = 1.320$, $p = 0.260$, $\eta^2 = 0.044$).

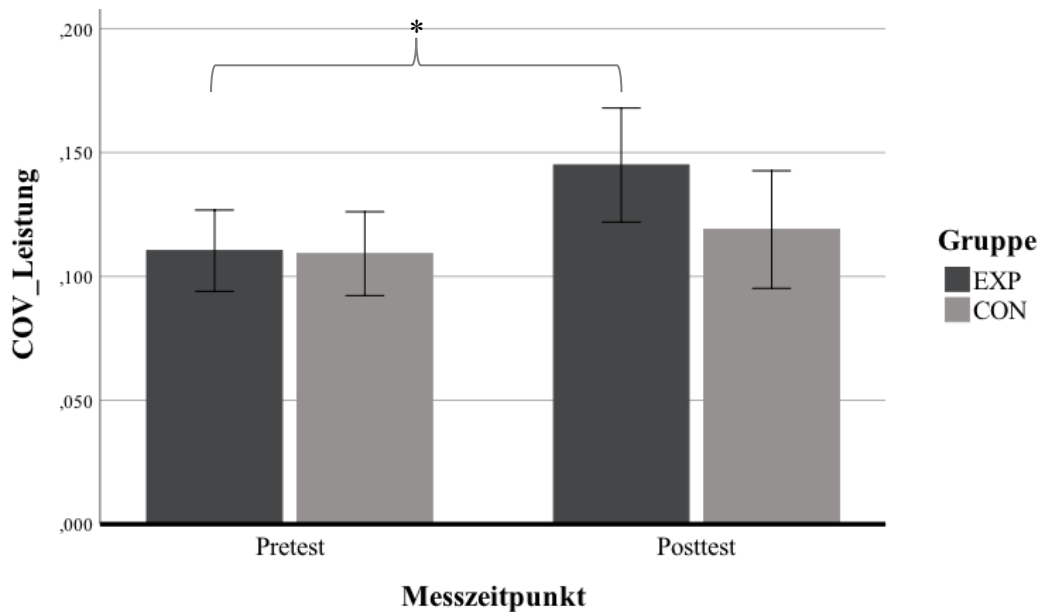


Abbildung 5. Entwicklung der Mittelwerte und Standardfehler der Variationskoeffizienten der Leistung von Pretest zu Posttest nach einer zwanzig Minuten Lernphase mit Widerstandsänderungen (Lerngruppe; EXP; $n = 16$), respektive ohne Widerstandsänderungen (Kontrollgruppe; CON; $n = 15$). * = $p < 0.05$.

3.1.3 Geschwindigkeitsvariabilität im Pre- und Posttest. Zu Beginn wurden die Messzeitpunkte (Pretest-Posttest) in den Gruppen miteinander verglichen. Abbildung 6 visualisiert die entsprechenden Resultate. Es sind keine signifikanten Unterschiede von Pre- zu Posttest in den beiden Gruppen EXP ($z = -1.810$, $p = 0.07$, $n = 16$) und CON ($t = 1.373$, $p = 0.191$, $n = 15$) vorzuweisen. In der Anova-Statistik zeigte die Untersuchung der Koeffizienten der Geschwindigkeitsvariabilität das identische Bild wie diejenige der Trittfrequenz und der Leistung. Lediglich ein signifikanter Unterschied ($F(1.29) = 5.994$, $p = 0.021$, $\eta^2 = 0.171$) konnte über die zwei Messzeitpunkte festgestellt werden. Die Gruppenunterschiede ($F(1.29) = 1.582$, $p = 0.452$, $\eta^2 = 0.020$) und die Interaktion zwischen Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Pretest-Posttest) ($F(1.29) = 0.977$, $p = 0.331$, $\eta^2 = 0.033$) wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.

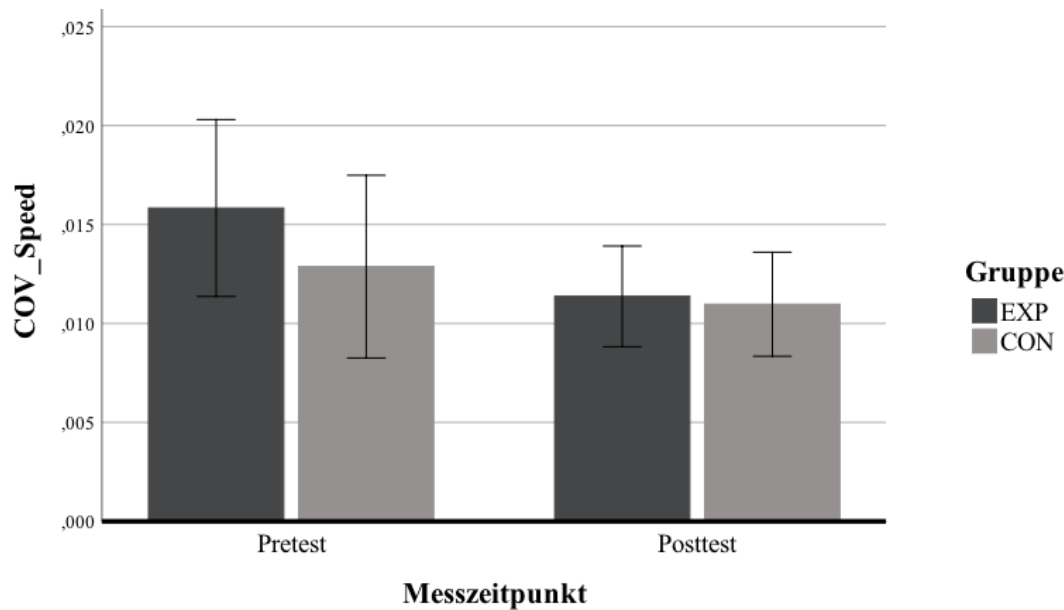


Abbildung 6. Entwicklung der Mittelwerte und Standardfehler der Variationskoeffizienten der Geschwindigkeit von Pretest zu Posttest nach einer zwanzig Minuten Lernphase mit Widerstandsänderungen (Lerngruppe; EXP; $n = 16$), respektive ohne Widerstandsänderungen (Kontrollgruppe; CON; $n = 15$).

3.1.4 IST-SOLL-Vergleich der absoluten Differenzen der Trittfrequenz und Leistung.

Dieses Unterkapitel stellt die absoluten Differenzen der Leistungs- und Trittfrequenzmittelwerte in Pre- und Posttest dar. Es handelt sich um einen Vergleich der erhobenen IST-Werte pro Sekunde und den errechneten SOLL-Werten. Die SOLL-Werte der Trittfrequenz ergaben sich aus der durchschnittlichen individuellen Trittfrequenz in Umdrehungen pro Minute (rpm) aus dem Pretest. Der SOLL-Wert für die Leistungserbringung in Watt (w) wurde mit der Formel (SOLL-Wert = $1,5 \times \text{Körpergewicht in kg}$) errechnet.

Trittfrequenzdifferenzen. Die Daten wurden auf Normalverteilung und Varianzgleichheit geprüft. Da die Werte nicht normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test: $p = < 0.05$) und die Varianzen nicht gleich waren (Levene-Test: $p = < 0.05$) wurden die Daten für die anschließende Mixed-Anova mit einer Log10 Transformation bearbeitet. Die beiden Gruppen hatten im Pretest ein vergleichbares Ausgangsniveau (exakter Mann-Whitney-U-Test: $U = 85.000$, $p = 0.166$). EXP und CON erhöhten die absolute Differenz der Trittfrequenz von Pretest ($\text{EXP}_{\text{mean} \pm \text{SD}} = 1.036 \pm 0.719$; $\text{CON}_{\text{mean} \pm \text{SD}} = 0.766 \pm 0.345$) zu Posttest ($\text{EXP}_{\text{mean} \pm \text{SD}} = 2.333 \pm 1.667$; $\text{CON}_{\text{mean} \pm \text{SD}} = 1.609 \pm 1.184$). Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied von Pretest zu Posttest in EXP (Wilcoxon-Test: $z = -2.698$, $p = 0.007$, $n = 16$). Auch CON erhöhte die Differenz der Trittfrequenz signifikant (Wilcoxon-Test: $z = -2.698$, $p = 0.018$, $n = 15$). Die mittleren Trittfrequenzdifferenzen weisen lediglich signifikante Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten

(Pretest-Posttest) ($F(1.29) = 20.375, p = 0.000, \eta^2 = .413$) auf. Es sind keine signifikanten Unterschiede in der Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Pretest-Posttest) Interaktion ($F(1.29) = 0.725, p = 0.402, \eta^2 = 0.024$) und zwischen den Gruppen ($F(1.29) = 1.895, p = 0.179, \eta^2 = 0.061$) resultiert. Abbildung 7 stellt die entsprechenden Resultate grafisch dar.

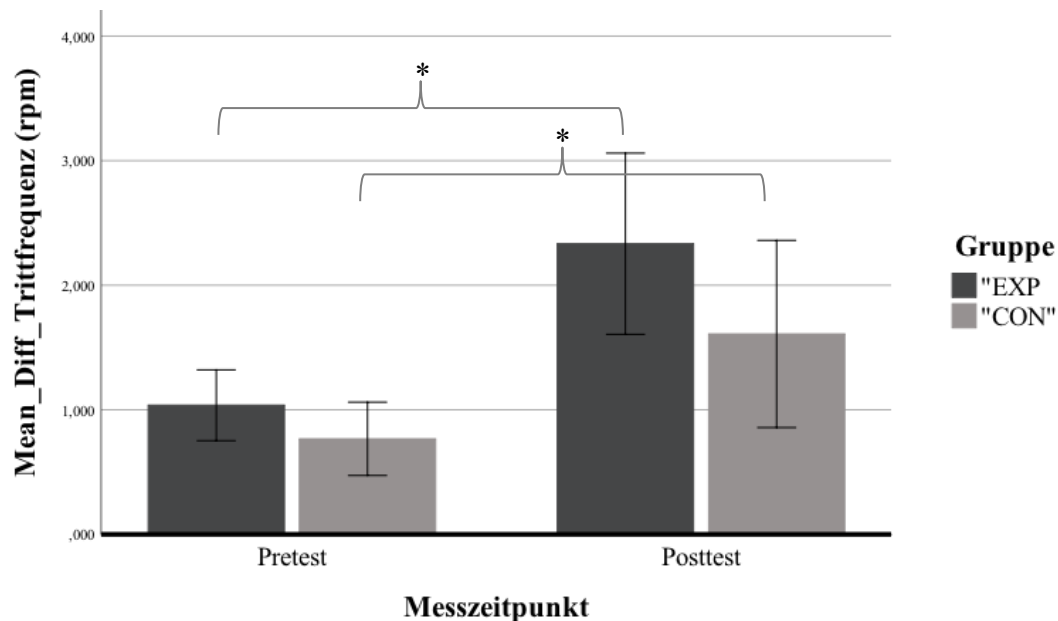


Abbildung 7. Entwicklung der mittleren IST-SOLL-Trittfrequenzdifferenz von Pre- zu Posttest in den Lerngruppe (EXP) und der Kontrollgruppe (CON). * = $p < 0.05$.

Leistungsdifferenzen. Die Daten wurden auf Normalverteilung und Varianzgleichheit geprüft. Da die Werte nicht normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test: $p < 0.05$) und die Varianzen nicht gleich waren (Levene-Test: $p < 0.05$) wurden die Daten für die anschließende Mixed-Anova mit einer Log10 Transformation bearbeitet. Nach der Transformation lag keine Varianzgleichheit vor. Folglich wurde die Mixed-Anova mit den Rohdaten durchgeführt. Die beiden Gruppen hatten im Pretest ein vergleichbares Ausgangsniveau (exakter Mann-Whitney-U-Test: $U = 97.000, p = 0.363$). Die absolute Differenz der Leistung erhöhte sich von Pretest ($EXP_{mean \pm SD} = 20.156 \pm 15.637$; $CON_{mean \pm SD} = 12.648 \pm 4.943$) zum Posttest ($EXP_{mean \pm SD} = 26.140 \pm 16.192$; $CON_{mean \pm SD} = 13.648 \pm 5.854$). In EXP resultierte ein signifikanter Unterschied (Wilcoxon-Test: $z = -3.258, p = 0.001, n = 16$). In CON erhöhten sich die Differenzen, jedoch nicht signifikant (Wilcoxon-Test: $z = -2.698, p = 0.256, n = 15$). Die Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Pretest-Posttest) Interaktion wies einen signifikanten Unterschied ($F(1.29) = 11.279, p = 0.002, \eta^2 = 0.280$) auf. Ein Bonferroni-korrigierter post-hoc Test zeigte

einen signifikanten Unterschied ($t(32.0) = -3.40, p = 0.011$) in der Veränderung der Leistungsdifferenzen vom Pretest der CON zum Posttest der EXP und einen signifikanten Unterschied ($t(32.0) = -3.02, p = 0.030$) in der Veränderung der Leistungsdifferenzen vom Posttest der CON zum Posttest der EXP. Die Unterschiede zwischen den Messzeitpunkten ($F(1.29) = 22.153, p = <0.001, \eta^2 = .443$) und die Gruppenunterschiede ($F(1.29) = 5.493, p = .026, \eta^2 = .250$) waren signifikant ausgefallen. Abbildung 8 stellt die entsprechenden Resultate grafisch dar.

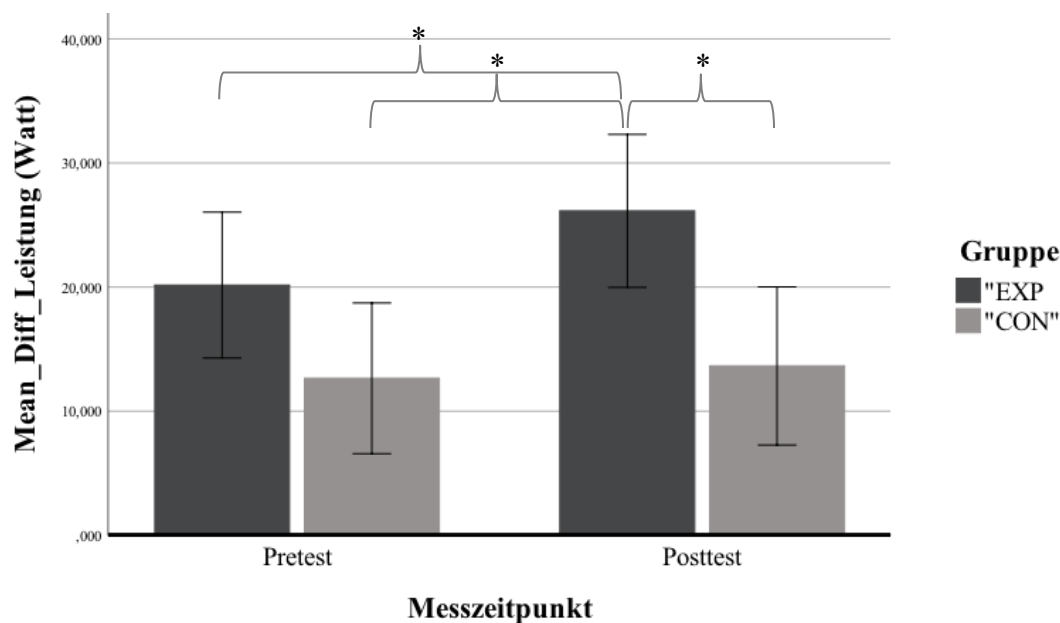


Abbildung 8. Entwicklung der mittleren IST-SOLL-Leistungsdifferenzen von Pre- zu Posttest in den Lerngruppe (EXP) und der Kontrollgruppe (CON). * = $p = < 0.05$.

3.2 Vergleich der Lernphase

Dieses Kapitel untersucht die Entwicklung der Variationskoeffizienten der Haupt- und Zusatzuntersuchungsparameter von EXP und CON während Adj. Dabei wurden Adj1 und Adj2 miteinander verglichen. Die drei Untersuchungsparameter wurden auf Normalverteilung getestet. Die Daten der Trittfrequenz- und der Geschwindigkeitsvariabilität sind nicht normalverteilt (Shapiro-Wilk- $p = < 0.05$). Folglich wurde mit einem nicht-parametrischen Test bei verbundenen Stichproben (Wilcoxon) gearbeitet. Für die normalverteilten Daten der Leistungsvariabilität wurde ein T-Test bei verbundenen Stichproben verwendet.

3.2.1 Vergleich der Hauptuntersuchungsparameter der Lernphase. Tabelle 2 zeigt, dass bei EXP während der Lernphase ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den ersten vier Minuten und den letzten vier Minuten in allen drei Untersuchungsparameter besteht. Die Variationskoeffizienten der Trittfrequenzvariabilität verkleinerten sich bei 13 der 16 VP. Noch klarer war es bei der Geschwindigkeitsvariabilität. Alle 16 VP wiesen eine kleinere Variabilität in den letzten vier Minuten der Lernphase auf. Die Statistik für beide Tests basiert somit auf den positiven Rängen. Die Effektstärken der Leistungs- der Trittfrequenz- und der Geschwindigkeitsvariabilität entsprechen nach Cohen (1992) starken Effekten. CON wies keine signifikanten Unterschiede auf.

Tabelle 2

Variationskoeffizienten der Hauptuntersuchungsparameter während den ersten und den letzten vier Minuten der Lernphase

Variationskoeffizienten						
Mz/Gr	Trittfrequenz		Leistung		Geschwindigkeit	
	M ± SD	Shapiro-Wilk	M ± SD	Shapiro-Wilk	M ± SD	Shapiro-Wilk
EXP (n = 16)						
Adj1	0.023 ± 0.016	0.000*	0.441 ± 0.174	0.239	0.026 ± 0.015	0.000*
Adj2	0.015 ± 0.006	0.171	0.384 ± 0.129	0.989	0.014 ± 0.007	0.086
CON (n = 15)						
Adj1	0.007 ± 0.003	0.227	0.117 ± 0.033	0.699	0.006 ± 0.002	0.016*
Adj2	0.010 ± 0.009	0.000*	0.116 ± 0.044	0.220	0.006 ± 0.002	0.455
Statistische Testverfahren						
EXP (n = 16)						
T-Test	$t = 2.927, p = 0.01, r = .60$					
Wilcoxon	$z = -3.051, p = 0.002, r = .76$			$z = -3.516, p = 0.0004, r = .88$		
CON (n = 15)						
T-Test	$t = 0.131, p = 0.898, r = 0.03$					
Wilcoxon	$z = -1.590, p = 0.112, r = 0.41$			$z = -0.795, p = 0.427, r = 0.21$		

Anmerkung. Die Werte zeigen die Koeffizienten der Leistungs-, der Trittfrequenz- und der Geschwindigkeitsvariabilität von EXP und CON über zwei Messzeitpunkte und die Prüfung der Normalverteilung (Shapiro-Wilk) M ± SD = Mittelwert ± Standardabweichung. Mz = Messzeitpunkt. Gr = Gruppe. EXP = Lerngruppe, CON = Kontrollgruppe. Adj1 = erste vier Minuten der Lernphase. Adj2 = letzte vier Minuten der Lernphase. * = nicht normalverteilt.

Für die Anovastatistik wurden die Mittelwerte der Variationskoeffizienten bei allen Untersuchungsparametern mit einer Log10-Transformation transformiert, da keine Varianzhomogenität vorlag. Des Weiteren ist zu beachten, dass sich die beiden Gruppen in ihrer Ausgangslage in allen drei Parametern signifikant unterschieden (Leistung: $U = < 0.001$, $Z = -4.438$, $p < 0.001$; Trittfrequenz: $t = 6.845$, $p < 0.001$; Geschwindigkeit: $U = < .001$, $Z = -4.743$, $p = < 0.001$). Die Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Adj1-Adj2) Interaktion fiel lediglich in der Leistung nicht signifikant aus ($F(1,29) = 0.674$, $p = 0.418$, $\eta^2 = 0.023$). In der Trittfrequenz ($F(1,29) = 14.018$, $p = 0.001$, $\eta^2 = 0.326$) und in der Geschwindigkeit ($F(1,29) = 32.271$, $p = < 0.001$, $\eta^2 = 0.527$) waren die Unterschiede signifikant.

3.2.2 IST-SOLL-Vergleich der Trittfrequenz- und Leistungsdifferenz in der Lernphase.

Dieses Kapitel vergleicht die Mittelwerte der absoluten IST-SOLL-Trittfrequenz- und Leistungsdifferenz von Adj1 und Adj2 der beiden Gruppen und setzt sie in Relation zu einander.

Trittfrequenzdifferenz. Aus Tabelle 3 ist ersichtlich, dass während der Lernphase bei EXP signifikante Unterschiede in der durchschnittlichen IST-SOLL-Trittfrequenzdifferenz von den ersten zu den letzten vier Minuten resultieren. Für die Anovastatistik wurden alle Variablen mit einer Log10 Transformation bearbeitet, da keine Varianzgleichheit vorlag (Levene-Test: $p = < 0.05$). Zu beachten ist zudem, dass die Ausgangslagen in Adj1 in den beiden Gruppen signifikant unterschiedlich sind ($U = 1.000$, $Z = -4.705$, $p < 0.001$).

Tabelle 3

Mittelwertvergleich der absoluten IST-SOLL Trittfrequenzdifferenz in den ersten und letzten vier Minuten während der Lernphase zwischen der Lern- und der Kontrollgruppe

	Mittelwert \pm SD	Paarvergleichstest	Z- Wert	p- Wert	r - Wert
EXP ($n = 16$)					
Mean_Trittfrequenz_DIFF_Adj1	1.284 \pm 0.740*				
Mean_Trittfrequenz_DIFF_Adj2	1.041 \pm 0.592	Wilcoxon-Test	-2.017	0.044	0.50
CON ($n = 15$)					
Mean_Trittfrequenz_DIFF_Adj1	0.255 \pm 0.164				
Mean_Trittfrequenz_DIFF_Adj2	0.287 \pm 0.200*	Wilcoxon-Test	-1.365	0.172	0.35

Anmerkung: Die Werte zeigen die mittlere Abweichung der absoluten IST-SOLL Leistungsdifferenz der ersten und letzten vier Minuten der Lernphase. CON = Kontrollgruppe. EXP = Lerngruppe. Men_Leistung_DIFF_Adj1/2 = Mittlere absolute Abweichung von der SOLL-Leistung der ersten (1) und der letzten (2) vier Minuten der Lernphase. * = nicht normalverteilt (Shapiro-Wilk $p = < 0.05$).

Die Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Adj1-Adj2) Interaktion ($F(1,29) = 6.150$, $p = 0.019$, $\eta^2 = 0.175$) fiel signifikant aus. Ein Bonferroni-korrigierter post-hoc Test zeigte einen signifikanten Unterschied ($t(35.8) = 6.960$, $p = < 0.001$) in der Veränderung der Trittfrequenzdifferenz von Adj1 der EXP zu Adj2 der CON. CON wies anhand des Bonferroni-korrigierten Post-hoc Tests von Adj1 zu Adj2 keinen signifikanten Unterschied auf ($t(29.0) = -1.220$, $p = 1.000$).

In Abbildung 9 sind offensichtliche Veränderungen der IST-Kurve von Adj1 zu Adj2 in EXP zu betrachten. Die VP wurden aufgefordert, diese Frequenz während der gesamten Lernphase konstant zu halten. Dabei zeigte sich, dass in Adj1, trotz scheinbar grösseren Ausschlägen die mittlere relative Abweichung bei EXP lediglich ($mean \pm SD = +0.496 \% \pm 1.161$) beträgt. Im Vergleich zu Adj2, in welchen die Ausschläge kleiner scheinen, die mittlere relative Abweichung jedoch ($mean \pm SD = +0.817 \% \pm 0.531$) beträgt.

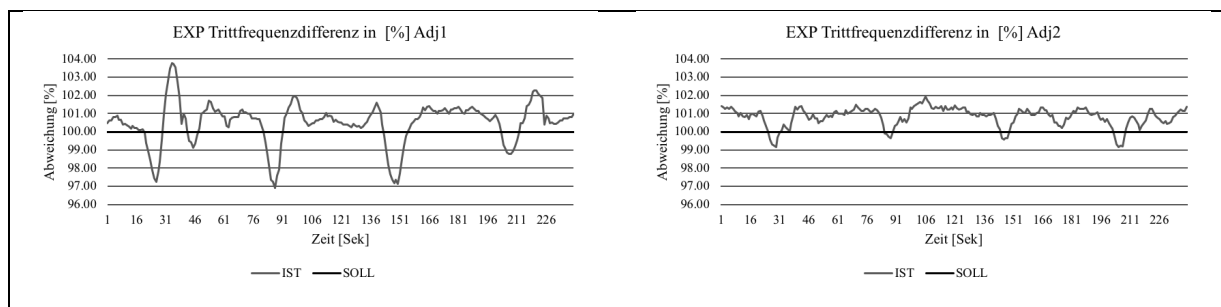


Abbildung 9. Verlauf der mittleren, relativen IST-SOLL Trittfrequenzdifferenz in Prozent (%) der Lerngruppe (EXP) während den ersten (Adj1) und den letzten (Adj2) vier Minuten der Lernphase pro Sekunde ($n = 240$). SOLL = Durchschnittliche Trittfrequenz aus dem Pretest (100 %). IST = Relative durchschnittliche Trittfrequenzdifferenz.

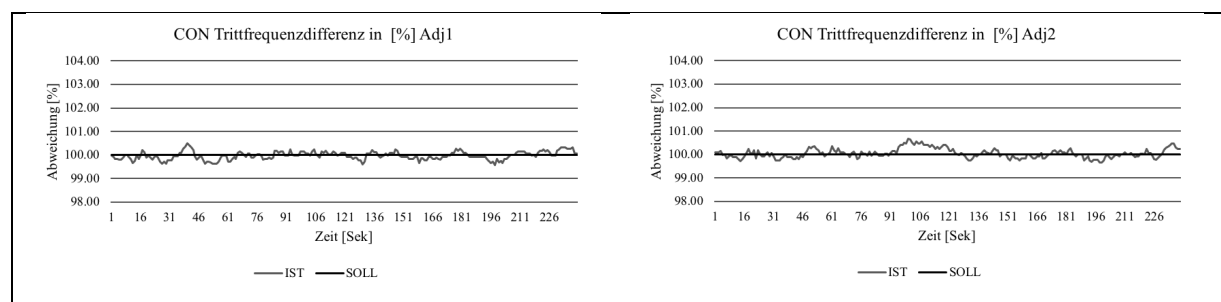


Abbildung 10. Verlauf der mittleren, relativen IST-SOLL Trittfrequenzdifferenz in Prozent (%) der Kontrollgruppe (CON) während den ersten (Adj1) und den letzten letzten (Adj2) vier Minuten der Lernphase pro Sekunde ($n = 240$). SOLL = Durchschnittliche Trittfrequenz aus dem Pretest (100 %). IST = Relative durchschnittliche Trittfrequenzdifferenz.

Abbildung 10 visualisiert keine nennenswerte Veränderung bei CON. In Adj1 beträgt die mittlere relative Abweichung bei CON ($mean \pm SD = -0.024 \% \pm 0.173$). Das bedeutet, dass die Gruppe im Durchschnitt unter der SOLL-Trittfrequenz pedalte. Im Vergleich zu Adj2, in welcher die mittlere relative Abweichung ($mean \pm SD = +0.046 \% \pm 0.201$) beträgt.

Leistungsdifferenz. Aus Tabelle 4 ist ersichtlich, dass ausschliesslich die durchschnittliche Leistungsdifferenz in Adj1 bei EXP nicht normalverteilt ist. Somit wurde für diese Daten ein Wilcoxon-Test für den verbundenen Stichprobenvergleich verwendet. Es zeigte sich, dass während der Lernphase bei EXP signifikante Unterschiede in der durchschnittlichen IST-SOLL-Leistungsdifferenz von Adj1 zu Adj2 resultieren. CON wies keine signifikanten Unterschiede auf. Die Varianzen waren homogen (Adj1-Levene- $p = 0.061$; Adj2-Levene- $p = 0.075$), zu beachten ist jedoch, dass die Ausgangslagen in Adj1 in den beiden Gruppen signifikant unterschiedlich sind ($U = < 0.001$, $Z = -4.743$, $p < 0.001$).

Tabelle 4

Mittelwertvergleich der absoluten IST-SOLL Leistungsdifferenz in den ersten und letzten vier Minuten während der Lernphase zwischen der Lern- und der Kontrollgruppe

	M \pm SD	Paarvergleichstest	Z- / T-Wert	p-Wert	r - Wert
EXP ($n = 16$)					
Mean_Leistung_DIFF_Adj1	52.768 \pm 10.392*				
Mean_Leistung_DIFF_Adj2	44.556 \pm 7.932	Wilcoxon-Test	-3.309	0.001	0.83
CON ($n = 15$)					
Mean_Leistung_DIFF_Adj1	12.558 \pm 4.188				
Mean_Leistung_DIFF_Adj2	12.184 \pm 4.699	T-Test	0.691	0.501	0.50

Anmerkung: Die Werte zeigen die mittlere, absolute Abweichung der IST-SOLL Leistungsdifferenz der ersten und letzten vier Minuten der Lernphase. CON = Kontrollgruppe. EXP = Lerngruppe. Mean_Leistung_DIFF_Adj1/2 = Mittlere Abweichung von der SOLL-Leistung der ersten (1) und der letzten (2) vier Minuten der Lernphase. * = nicht normalverteilt (Shapiro-Wilk $p = < 0.05$).

Die Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Adj1-Adj2) Interaktion ($F(1,29) = 16.550$, $p = < 0.001$, $\eta^2 = 0.363$) fiel signifikant aus. Ein Bonferroni-korrigierter post-hoc Test zeigte einen signifikanten Unterschied ($t(29.0) = 6.126$, $p = < 0.001$) in der Veränderung der Leistungsdifferenzen von Adj1 zu Adj2 der EXP und einen signifikanten Unterschied ($t(37.8) = 15.407$, $p = < 0.001$) in der Veränderung der Leistungsdifferenz von Adj1 der EXP zu Adj2 der CON.

In Abbildung 11 ist bei der Betrachtung der IST-Kurve offensichtlich zu erkennen, dass die Abweichungen zur SOLL-Kurve kleiner werden und sich in Adj2 auf einem Abweichungslevel einpendeln. In den ersten vier Minuten (Adj1) der Lernphase beträgt die mittlere relative Abweichung bei EXP ($mean \pm SD = +24.442 \% \pm 42.421$). Im Vergleich zu den letzten vier Minuten (Adj2), in welcher die mittlere relative Abweichung ($mean \pm SD = +21.071 \% \pm 38.459$) beträgt. Bei der Betrachtung der IST-SOLL-Abweichung während den 15 Sekunden, in welchen die ZEL auf tiefste Ebene geschaltet wird, ist ersichtlich, dass trotz Einhaltung der SOLL-Trittfrequenz, die IST-Leistung konstant von der SOLL-Leistung abweicht. Dieses Phänomen wird in Kapitel 4.2.2 genauer beleuchtet.

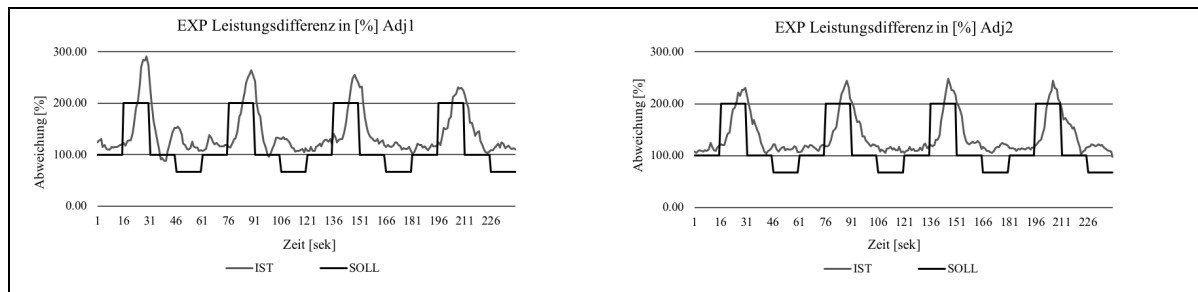


Abbildung 11. Verlauf der mittleren, relativen IST-SOLL Leistungsdifferenz in Prozent (%) der Lerngruppe während den ersten (Adj1) und den letzten (Adj2) vier Minuten der Lernphase pro Sekunde ($n = 240$). SOLL = Verlauf der Widerstandsänderungen ausgehend vom Ausgangswert ($1.5 \times \text{Körpergewicht} = 100\%$). IST = Relative durchschnittliche Leistungsdifferenz.

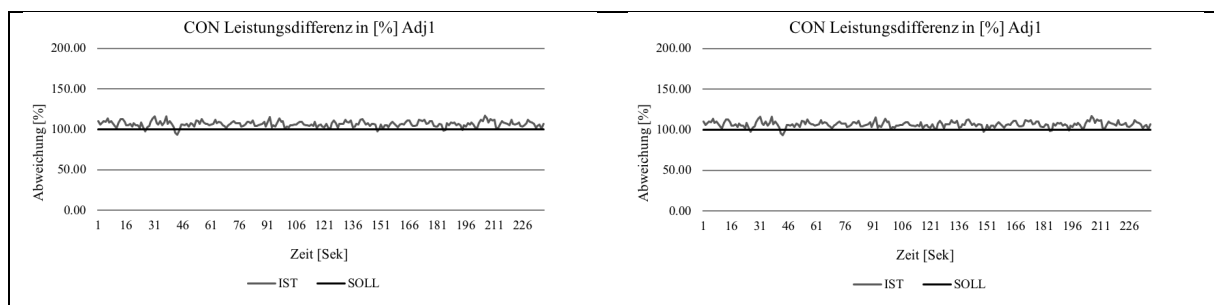


Abbildung 12. Verlauf der mittleren, relativen IST-SOLL Leistungsdifferenz in Prozent (%) der Kontrollgruppe während den ersten (Adj1) und den letzten (Adj2) vier Minuten der Lernphase pro Sekunde ($n = 240$). SOLL = Verlauf ohne Widerstandsänderungen ausgehend vom Ausgangswert ($1.5 \times \text{Körpergewicht} = 100\%$). IST = Relative durchschnittliche Leistungsdifferenz.

Abbildung 12, welche CON darstellt, sind keine auffälligen Abweichungen ersichtlich. Die relative Abweichung in Adj1 beträgt ($mean \pm SD = +6.571 \% \pm 3.595$) und in Adj2 ($mean \pm SD = +6.265 \% \pm 3.549$).

3.3 Vergleich der ersten und letzten Minute im Posttest

Tabelle 5 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der Variabilitätskoeffizienten der ersten (Post1) und letzten (Post2) Minute des Posttests bei EXP und CON. Des Weiteren stellt sie die Varianzgleichheit der genannten Zeitpunkte, der drei Untersuchungsparameter dar. Um sicher zu stellen, dass die Ausgangslagen in Post1 gleich waren, wurden ein nicht-parametrischer Test bei zwei unabhängigen Stichproben (Mann-Whitney-U-Test) durchgeführt. Die Daten von EXP waren nicht normalverteilt (Shapiro-Wilk-Test: $p = > 0.05$). Folglich wurde mit einem nicht-parametrischen Test bei verbundenen Stichproben (Wilcoxon-Test) gearbeitet. Bei CON waren lediglich die Koeffizienten der Leistungsvariabilität normalverteilt. Für die Trittfrequenz- und Geschwindigkeitsvariabilität wurde ein parametrischer T-Test verwendet. Tabelle 5 zeigt, dass sich bei EXP die Variabilität von Post1 zu Post2 vergrößert oder unverändert bleibt. CON wies in allen drei Parametern in Post2 eine geringere Variabilität auf. Beide Gruppen wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.

Tabelle 5

Deskriptivstatistik, Varianz- und Mittelwertgleichheit der Koeffizienten der Hauptuntersuchungsparameter der ersten (Post1) und letzten Minute (Post2) im Posttest

AV			Levene-		Mann-Whitney-U-	
	EXP (n = 16)	CON (n = 15)	Homogenitätstest		Test	
	M ± SD	M ± SD	F	Sig. p	U	Sig. p
COV_cadence_post1	0.009 ± 0.004	0.010 ± 0.005	0.842	0.366	110.000	0.693
COV_cadence_post2	0.009 ± 0.004	0.007 ± 0.004	0.000	0.987		
COV_power_post1	0.145 ± 0.041	0.123 ± 0.053	1.982	0.170	85.000	0.167
COV_power_post2	0.166 ± 0.078	0.113 ± 0.462	0.983	0.330		
COV_speed_post1	0.009 ± 0.004	0.008 ± 0.005	0.666	0.421	115.000	0.843
COV_speed_post2	0.009 ± 0.005	0.006 ± 0.004	0.067	0.798		

Anmerkung. AV = Abhängige Variable. EXP = Lerngruppe. CON = Kontrollgruppe. COV_power_post1/2 = Variabilitätskoeffizient der Leistung der ersten (1) und der letzten (2) Minute im Posttest. COV_cadence_post1/2 = Variabilitätskoeffizient der Trittfrequenz der ersten (1) und der letzten (2) Minute im Posttest. COV_speed_post1 = Variabilitätskoeffizient der Geschwindigkeit der ersten (1) und der letzten (2) Minute im Posttest. M ± SD = Mittelwert ± Standardabweichung. F = Levene-Statistik, U = U-Wert bei Mann-Whitney-U-Test. Sig. p = Signifikanz ($p < 0.05$).

3.3.1 Trittfrequenzvariabilität. Der Koeffizient der Trittfrequenzvariabilität veränderte sich bei EXP von Post1 zu Post2 nicht signifikant (exakter Wilcoxon- Test: $Z = -0.465$, $p = 0.642$, $n = 16$). Worin CON eine signifikante Abnahme zu verzeichnen hat (exakter Wilcoxon- Test: $Z = -2.158$, $p = 0.031$, $n = 15$). Es trat kein signifikanter Effekt über die Zeit (Post1-Post2) in EXP und CON auf ($F(1.29) = 2.524$, $p = 0.123$, $\eta^2 = 0.080$). Eine Tendenz, jedoch keine Signifikants, kann in der Interaktion von Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Post1-Post2) festgestellt werden ($F(1.29) = 3.996$, $p = 0.055$, $\eta^2 = 0.121$). Die Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant in der Trittfrequenzvariabilität ($F(1.29) = 0.102$, $p = 0.752$, $\eta^2 = 0.003$).

3.3.2 Leistungsvariabilität. EXP wies in Post2 eine grössere Leistungsvariabilität im Vergleich mit Post1 auf. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikanten (exakter Wilcoxon- Test: $Z = -1.241$, $p = 0.215$, $n = 16$). CON wies ebenfalls kein signifikanter Unterschied auf (exakter T-Test: $T = 1.509$, $p = 0.153$, $n = 15$). Es trat kein signifikanter Effekt über die Zeit (Post1-Post2) zwischen EXP und CON auf ($F(1.29) = 0.196$, $p = 0.661$, $\eta^2 = 0.007$). Kein signifikanter Unterschied ist ebenfalls in der Interaktion von Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Post1-Post2) zu verzeichnen ($F(1.29) = 1.919$, $p = 0.177$, $\eta^2 = 0.062$). Nur die Gruppen unterscheiden sich signifikant in der Leistungsvariabilität zwischen der ersten und der letzten Minute im Posttest ($F(1.29) = 4.876$, $p = 0.035$, $\eta^2 = 0.144$).

3.3.3 Geschwindigkeitsvariabilität. Die Geschwindigkeitsvariabilität nahm in beiden Gruppen von Post1 zu Post 2 leicht ab. EXP wies keinen signifikanten Unterschied von Post1 zu Post2 auf (exakter Wilcoxon- Test: $Z = -0.310$, $p = 0.756$, $n = 16$). CON verkleinerte die Geschwindigkeitsvariabilität signifikant (exakter Wilcoxon- Test: $Z = -2.442$, $p = 0.015$, $n = 15$). Signifikante Effekte können über die Zeit (Post1-Post2) in beiden Gruppen verzeichnet werden ($F(1.29) = 5.085$, $p = 0.032$, $\eta^2 = 0.149$). Im Gruppenvergleich ($F(1.29) = 0.175$, $p = 0.670$, $\eta^2 = 0.006$) und in der Interaktion Gruppe (EXP-CON) und Messzeitpunkt (Post1-Post2) ($F(1.29) = 3.187$, $p = 0.085$, $\eta^2 = 0.099$) sind keine signifikante Effekte resultiert.

4 Diskussion

Stellt man sich die Frage, wie alt man war, als man das Fahrradfahren erlernte, muss der eine oder andere einige Jahre in die Kindheit zurückreisen. Mit grosser Wahrscheinlichkeit kann man auch kaum mehr sagen, wie alt man dort wohl gewesen war. Diese Überlegungen haben sich Kavanagh et al. (2020) vielleicht auch gemacht, als sie das Fahrradfahren in das Modell der grundlegenden Bewegungsfähigkeiten aufnehmen wollten. Zeuwts et al. (2015) widersprachen und behaupteten, dass die grundlegenden Bewegungsfähigkeiten als Grundvoraussetzung für das Erlernen des Fahrradfahrens angesehen werden müssen. Nur dann ist es möglich, ein Fahrrad angemessen zu manövrieren, das Gleichgewicht auf dem Fahrradsattel zu halten, die Bremsen zu betätigen und den Ablauf des Tretens zu beherrschen und diese Aspekte gleichzeitig vollziehen zu können. In dieser Studie fallen wichtige Aspekte des Fahrradfahrens, wie zum Beispiel das Gleichgewicht halten und das Manövrieren, weg. Denn die VP hatten lediglich die Aufgabe, eine konstante Trittfrequenz auf einem stabilen, sich nicht bewegenden Fahrradergometer, zu treten. Das Studiendesign erlaubte es, explizite Lernprozesse bei zyklisch-lokomotorischen Bewegungen zu untersuchen. Während der zwanzigminütigen Interventionsphase erfuhr EXP Körpergewichtabhängige Änderungen in ZEL und verfolgte das Ziel, bei konstanter Trittfrequenz zu pedalen. Dabei erhielten sie vor der Interventionsphase eine verbale Aufgabenerklärung und während der Interventionsphase Echtzeitrückmeldungen über ihre Trittfrequenz und den Zeitpunkt der Änderung der ZEL. CON verfolgte dasselbe Ziel, jedoch mit gleichbleibender ZEL. Zweck dieser Studie war es, die Wirkung von expliziten Lernprozessen auf das kurzfristige Lernen bei zyklischen Bewegungen auf dem Fahrradergometer zu untersuchen.

Es wird behauptet, dass sich alle Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer hinsichtlich der fahrradspezifischen Fähigkeiten in der Phase der Festigung und Stabilisierung befinden. Denn diese 4. Phase zeichnet sich nach Weineck (2010) durch eine automatisierte und stabilisierte Bewegungsausführung aus, wodurch nach (Witte, 2018) das Gelernte im tertiären Gedächtnis abgelegt und von dort über Jahre abgerufen wird. Dennoch zeigte diese Studie, dass explizite Lernprozesse auch bei einfachen, zyklischen Bewegungen eine motorische Anpassung bewirken. Die folgenden Kapitel vergleichen und interpretieren die Resultate der drei Resultatenteile.

4.1 Beantwortung und Interpretation der konkreten Fragestellung

Das Ziel der vorgelegten Studie war es, herauszufinden, ob explizite Lernprozesse einen kurzfristigen, motorischen Lerneffekt bei zyklisch, lokomotorischen Bewegungen mit sich bringen. In den folgenden Unterkapitel wird die konkrete Fragestellung beantwortet. Dabei werden in Kapitel 4.1.1 die Resultate aus dem Pre-Post-Vergleich, in Kapitel 4.1.2 diejenigen der Lernphase und in Kapitel 4.3.1 die Ergebnisse aus dem Posttest unter Berücksichtigung der in der Einleitung dargestellten Literatur diskutiert und interpretiert.

4.1.1 Vergleich Pre-Posttest. Der Pre-Post-Vergleich verfolgte den Zweck, die kurzfristige Wirkung von expliziten Lernprozessen, auf das motorische Lernen zu prüfen und dient zur Beantwortung der konkreten Fragestellung. Diese Prüfung erfolgte anhand der Variabilität der Trittfrequenz als Hauptaspekt und anhand der Variabilität der erbrachten Leistung und der Geschwindigkeit vom Pre- zum Posttest. Um festzustellen, dass ein motorisches Lernen stattfand, sollte die Variabilität der genannten Parameter, insbesondere derjenige der Trittfrequenzvariabilität, im Posttest höher ausfallen als im Pretest. Im Pre- und Posttest erhielten die Gruppen keine Rückmeldung zu der Trittfrequenz. Somit war zu erwarten gewesen, dass, wenn während der Lernphase eine Lernadaptation stattfinden würde, was auch der Fall gewesen ist (siehe Kap. 3.3), auch die Variabilitätskoeffizienten im Posttest höher ausfallen als im Pretest. Nun stellt sich die Frage, ob die VP aus EXP einen kurzfristigen Lerneffekt erzielen oder nicht. Kurz gesagt, wird die Lernanpassung in den Posttest transferiert?

Die Resultate zeigten, dass trotz Adaptation während der Lernphase, kein Lerntransfer zum Posttest stattfand. Denn laut Winkel, Petermann und Petermann (2006) verursacht Lernen eine relativ dauerhafte Änderung des Verhaltenspotenzials, das Transfereffekte erzeugt. Die Gruppe-Messzeitpunkt-Interaktion war in keinem der drei Untersuchungsparameter (Trittfrequenz: $p = 0.376$; Leistung: $p = 0.110$; Geschwindigkeit: $p = 0.331$) signifikant ausgefallen. Hinsichtlich der absoluten IST-SOLL-Abweichung der Trittfrequenz- und Leistungsdifferenz zeigte sich, dass EXP und CON in beiden Untersuchungsparametern eine Erhöhung der Abweichung verzeichnete. Die Gruppe-Messzeitpunkt-Interaktion fiel aber lediglich in der Leistung ($p = 0.002$) signifikant aus. EXP verzeichnete in der Leistungs- ($p = 0.001$) und in der Trittfrequenzdifferenz ($p = 0.007$) und CON lediglich in der Trittfrequenzdifferenz ($p = 0.018$) signifikante Unterschiede. Diese Resultate deuten auf einen Lerntransfer hin, jedoch mit zu geringer Aussagekraft, da die Variationskoeffizienten nicht signifikant ausfielen.

Die Resultate dieser Studie zeigen, dass ein expliziter Lernprozess keinen kurzfristigen Lerneffekt bei zyklischen Bewegungen auf dem Fahrradergometer verursacht. Einleitend wurde die vierteilige Prozessreihe des expliziten Lernens von Shumway-Cook und Woollacott (2007, zitiert nach Lopes, 2011) beschrieben. Für die *(I) Kodierung* der Informationsmenge benötigten die VP Aufmerksamkeit und Motivation. Es könnte sein, dass bereits in dieser ersten Stufe ein Defizit im Aufmerksamkeits- und Motivationsaspekt entstand und wichtige Informationen von den VP nicht wahrgenommen wurden. Die zweite Stufe der *(II) Konsolidierung* beschreibt die Stabilisierung der Informationen im Langzeitgedächtnis während der Anpassungsphase, welche mit strukturellen Veränderungen in den Nervenzellen einhergeht. Es wird angenommen, dass die Phase der Konsolidierung in der Lernphase zu kurz für eine strukturelle Veränderung der Nervenzellen war und es somit nicht zu einer *(III) Speicherung* des Gelernten im Langzeitgedächtnis kam, was die vierte Phase der *(IV) Informationswiederherstellung* beeinträchtigte.

Laut Lopes (2011) sind wichtige Methoden zur Untersuchung des expliziten Lernens direkte Tests, die mit deklarativem Wissen oder mit Wiedererkennungsaufgaben verbunden sind. In beiden Fällen sollen die Teilnehmer einige Strukturen lernen, um danach getestet zu werden. Im Rahmen dieser Studie wurden keine retrospektive Wissensaufgaben durchgeführt. Auch ein Verbaltest (Raab, 2001) mit dem das Wissen über die Aufgabe erfasst wird, ist bei zyklischen, lokomotorischen Bewegungen nur bedingt geeignet, sollte aber in einer weiteren Untersuchung in Betracht gezogen werden. Wie bereits erwähnt, sind aber in der Anpassungsphase signifikante Resultate vorzuweisen. Im folgenden Unterkapitel wird darauf eingegangen.

4.1.2 Entwicklung während der Lernphase. Für die Interpretation der Resultate aus der Lernphase ist zu beachten, dass die Ausgangslage der beiden Gruppen in Adj1 in allen drei Parametern signifikant unterschiedlich ist. Diese Tatsache wird auf die unterschiedlichen Testprotokolle zurückgeführt, in welchen die ZEL in EXP variiert und in CON konstant bleibt. Die Entwicklungen während der Interventionsphase zeigten signifikant kleineren Variabilitäten in der Trittfrequenz ($p = 0.002$), Leistung ($p = 0.001$) und in der Geschwindigkeit ($p = < 0.001$) bei EXP von Adj1 zu Adj2. Im Vergleich zu CON, welche während der Lernphase eine gleichbleibende ZEL erfuhr und folglich auch keine signifikanten Unterschiede in der Trittfrequenz ($p = 0.112$), in der Leistung ($p = 0.898$) und in der Geschwindigkeit ($p = 0.427$) aufwiesen. Der IST-SOLL-Vergleich der absoluten Trittfrequenz- und Leistungsdiffe-

renz während der Lernphase zeigte, dass EXP im Vergleich mit CON eine signifikante Anpassung während Adj verzeichnet. EXP konnte die mittlere absolute IST-SOLL-Abweichung der Trittfrequenz von den ersten vier Minuten zu den letzten vier Minuten signifikant ($p = 0.044$) verringern. Auch die mittlere absolute IST-SOLL-Abweichung in der Leistung verringerte sich signifikant ($p = 0.001$). Die Gruppe-Messzeitpunkt-Interaktion fiel in der Trittfrequenzdifferenz ($p = 0.019$) und in der Leistungsdifferenz ($p = 0.001$) ebenfalls signifikant aus. Diese Resultate entsprechen den Erkenntnissen diverser Autoren, die besagen, dass die explizite Kenntnis der Transferregel zu einer Lernanpassung im frühen Lernstadium der Lernphase führt (vgl. Benson et al., 2011; Malone & Bastian, 2010; Taylor et al., 2014; Tanaka & Watanabe, 2017; Willingham, Salidis & Gabrieli, 2002; Wulf & Prinz, 2001). In Anlehnung an die Studie von Taylor, Krakauer und Irvy (2014) wird in der vorgelegten Studie angenommen, dass diese frühe Anpassung durch ein Herantasten an die vorgegebene Trittfrequenz ermöglicht wird und die VP explizit das Ziel verfolgten, die Differenz der IST-SOLL-Trittfrequenz mit Hilfe des externen Feedbacks möglichst klein zu halten. Die Aussage von Talyor et al. (2014), dass das direkte Feedback über die Trittfrequenz und die Widerstandsänderung ein externer Anhaltspunkt zur Vermeidung der Abweichung der SOLL-Trittfrequenz darstellt, wird mit den Resultaten aus dieser Studie bestätigt. Zudem wird mit dieser Studie die Aussage von Benson et al. (2011) bestätigt, dass explizite Anweisungen und regelmässiges Feedback die Bewegungsfehler während der Lernphase verringert, jedoch zu Interferenzen in der langfristigen Anpassung führen kann. Diese Tatsache deutet auf ein Vorhandensein der Guidance-Hypothese hin und ist in den Resultaten des Posttests deutlich zu erkennen. Die Guidance-Hypothese besagt, dass eine hohe relative Feedbackhäufigkeit zu einer grösseren Lernanpassung während der Lernphase führt (Lee et al., 1990). Sobald das Feedback jedoch wegfällt, ist das Gelernte langfristig nicht mehr abrufbar (Lee et al., 1990; Maslovat et al., 2009; Salmoni et al., 1984). Dies zeigte sich darin, dass die Trittfrequenz im Posttest zwischen EXP und CON keine signifikanten Unterschiede aufwies. Spannenderweise kann anhand dieser Resultate auch gezeigt werden, dass die Guidance-Hypothese nicht nur in späteren Retentionstests, sondern auch in einem unmittelbaren Posttest ihre Wirkung zeigt. Bezieht man sich auf die Erkenntnisse von Weinstein und Schmidt (1990) könnte die fehlende Adaptation mit der zusätzlichen Beteiligung an kognitiven Prozessen begründet werden, welche durch eine Überdosierung von expliziten Informationen zustande kommt. Trotz einigen Belegen, die besagen, dass komplexe motorische Aufgaben nicht durch eine hoch frequentierte Rückmeldung über die Resultate beeinträchtigt werden (Park, Shea & Wright, 2000; Wulf,

Shea & Matschiner, 1998), deutet diese Studie auf ein Vorhandensein der Guidance-Hypothese bei einfachen Fortbewegungsmustern hin.

Inwiefern die kortikalen Systeme die zyklisch-lokomotorischen Bewegungen beeinflussen, ist unklar (Seitz, 2001). Trotzdem wird anhand der Aussage von Wulf und Prinz (2001) angenommen, dass ein bewusstes Nachdenken über die Handlung, die Automatizität der erlernten Bewegung beeinflusst bzw. die kortikale Aktivität der temporalen Hirnrinde und des Hippocampus, welche laut Seitz (2001) bei expliziten motorischen Gedächtnisprozessen involviert sind, die von den CPG erzeugten rhythmischen Bewegungsmuster stört. Denn verschiedene Autoren besagen, dass die Steuerung und Modulation dieser Fortbewegungsmuster aus dem supraspinalen Input und den spinal angetriebenen CPG der beteiligten Muskeln abläuft (Caggiano et al., 2018; Hooper, 2000; Marder & Bucher, 2001; Zehr, 2005).

Anhand der Resultate und den Aussagen von Liao und Masters (2001) ist anzunehmen, dass sich die VP durch den expliziten Lernprozess explizites (deklaratives) Wissen aneigneten, welches dem Bewusstsein zugänglich ist und die motorische Anpassung beeinflusst. Liao und Masters beschreiben des Weiteren, dass dieses Wissen zu einem späteren Zeitpunkt artikulierbar ist. Dieser Aspekt wurde im Rahmen dieser Studie jedoch nicht untersucht und wäre für eine weiterführende Studie miteinzubeziehen. Die Wissensprüfung über das Erlernte ist in dieser Aufgabenform jedoch nicht einfach. Es ist davon auszugehen, dass der Lernprozess des Fahrradfahrens bei allen VP in der Kindheit abgelaufen ist. Laut Meinel und Schnabel (2007) stellt die Bewegung des Fahrradfahrens eine sich wiederholende, kontinuierliche Bewegung dar in welcher ein Anfang und ein Ende nur schwierig zu erkennen sind. Es wird angenommen, dass eine Verbalisierung dieses Bewegungsablaufs in Folge der Bewegungscharakteristiken schwierig möglich ist.

4.1.3 Vergleich der ersten und letzten Minute im Posttest. Der interne Posttestvergleich zeigte, dass EXP keine signifikanten Unterschiede von Post1 zu Post2 aufweisen. CON hingegen verringerte in Post2 die Trittfrequenz- ($p = 0.031$) und die Geschwindigkeitsvariabilität ($p = 0.015$) signifikant. In EXP hingegen vergrößerte sich die Variabilität in der erbrachten Leistung, jedoch nicht signifikant. In der Trittfrequenz- und der Geschwindigkeitsvariabilität veränderte sich während des gesamten Posttests in EXP nichts. Die Trittfrequenzvariabilität unterscheidet sich nicht signifikant in der Interaktion von Gruppe und Messzeitpunkt ($p = 0.055$). Ein signifikanter Effekt konnte in der Leistungsvariabilität zwischen den Gruppen ($p = 0.035$) und über die Zeit in der Geschwindigkeitsvariabilität ($p = 0.032$) festgestellt werden.

Diese Resultate zeigen keinen Wash-Out-Effekt in EXP. Es zeigte sich, dass im Posttest von Beginn weg die Koeffizienten der Trittfrequenzvariabilität gering war und bis zum Schluss konstant blieb. Auch dies deutet auf das Vorhandensein der Guidance-Hypothese hin.

4.1.4 Hypothesenprüfung. Die einleitend gestellte Hypothese H_1 muss anhand dieser Ergebnisse verworfen und H_0 angenommen werden.

4.2 Kritische Analyse der Studie

Die kritische Analyse der Studie zeigt Stärken und Schwächen des wissenschaftlichen Prozesses während des Verfassens dieser Arbeit auf.

4.2.1 Stärken. Die gegebenen Rahmenbedingungen des Labors ermöglichten weitestgehend einen reibungslosen Ablauf der Datenerhebung, was im Rahmen einer solchen Arbeit von grosser Bedeutung ist. Zudem befanden sich alle VP in einer ähnlichen Altersrange und erfüllten alle Anforderungen. Die Datenerhebung verlief ohne Komplikationen und konnte standardisiert für alle VP unter den gleichen Bedingungen durchgeführt werden. Die explizite Lernform wurde in Anlehnung an Raab (2001) sichergestellt, indem das Lernziel und die zu erlernenden Umstände explizit formuliert wurden. Explizites Lernen wird durch die spezifische Lernsituation verstärkt und kann sofort wirken (One-Trial-Lernen). Jedoch ist es vergessensanfällig und stark an Aufmerksamkeit gebunden (Raab, 2001). Diese Aspekte konnten während der Datenerhebung beobachtet werden und wurden von den VP des Öfteren zurückgemeldet. Zudem widerspiegeln die Resultate Raabs Aussage. Diese Studie belegt des Weiteren, dass die Guidance Hypothese auch bei zyklischen lokomotorischen Bewegungen ihre Wirkung zeigt. Explizite verbale Instruktionen über die Aufgabenziele und 100 % relative Feedbackhäufigkeit verursachte während der Interventionsphase eine unmittelbare Lernadaptation. Sobald das Feedback wegfällt, waren die VP nicht mehr in der Lage das Gelernte anzuwenden.

4.2.2 Schwächen. Explizites Lernen setzt laut Shumway-Cook und Woollacott (2007, zitiert nach Lopes, 2011) Aufmerksamkeit und Motivation voraus, um die verbalen Instruktionen über die Aufgabe vollständig wahrzunehmen. Es ist möglich, dass diese beiden Aspekte die Ausführung der Aufgabe beeinflussten und den nicht vorhandenen Lerntransfer im Posttest zusätzlich begründet. Des Weiteren müsste in einer Folgeuntersuchung die Auswahl der Probanden anhand der fahrradspezifischen Erfahrung gezielter ausgewählt werden. Meunier et al.

(2007) belegte, dass die fahrradspezifische Erfahrung einen Einfluss auf den Lerntransfer hat. Das Studiendesign müsste in einer Folgeuntersuchung bezüglich der ZEL angepasst werden. Die Widerstandsänderungen in dieser Studie waren vom Körpergewicht abhängig. Das bedeutet, dass schwerere VP eine höhere ZEL erbrachten als leichtere VP. Durch die Anwendung von 100 % Feedback während der Lernphase erhielt das Studiendesign einen impliziten Charakter. Denn laut Kleynen et al. (2015) besitzt das Feedback implizite und explizite Lernmerkmale. Wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben, ist aus Abbildung 9 zu erkennen, dass während den 15 Sekunden, in welchen ZEL auf die tiefste Ebene geschaltet wird, trotz Einhaltung der vorgegebenen Trittfrequenz, die IST-Leistung konstant höher ist als es die SOLL-Leistung vorschreibt. Nach Aussagen einiger VP verspürten sie in diesen Zeitabschnitten keinerlei Widerstand während der Tretbewegung. Dies deutet darauf hin, dass die Leistung des leerlaufenden Schwungrads der SOLL-Leistung in diesem Zeitabschnitt überwiegt. Folglich müssten für eine Folgeuntersuchung die ZEL so angepasst werden, dass die SOLL-Leistung nicht unter das Ausgangsniveau von $1,5 \times$ das Körpergewicht fällt oder die ZEL kleinere Unterschiede aufweisen.

4.3 Ausblick

Zur Untersuchung der Wirkung von expliziten Lernprozessen wäre eine weiterführende Studie mit einer zusätzlichen, dritten Gruppe mit derselben Lernaufgabe jedoch mit weniger oder keinem Feedback über die Trittfrequenz zu bevorzugen. Da im Rahmen der vorliegenden Studie die Kontrollgruppe während der Lernphase bei konstanter ZEL pedalte, ist eine aussagekräftige Interpretation der Resultate ohne eine zweite Lerngruppe schwierig. Noch einen Schritt weiter könnte man gehen, indem in Anlehnung an die Studie von Lee, White und Carnahan (1990) zusätzlich eine implizite Gruppe ohne Instruktion und eine explizite Gruppe mit Instruktion und lediglich 50 % Feedbackhäufigkeit untersucht. Dies erlaube eine objektive und differenzierte Betrachtung der Wirkung des Feedbacks. Denn laut Winstein und Schmidt (1990) sind Untersuchungen der relativen Feedbackhäufigkeit während der Lernphase von Bedeutung. Winstein und Schmidt (1990) besagen, dass in Folge kognitiver Prozessbeteiligung 50 % Feedbackhäufigkeit positive Lerneffekte in Retentionstests im Vergleich zu 100 % Feedbackhäufigkeit aufweisen. Zudem könnte mit einer retrospektiven Befragung das deklarative Wissen erhoben oder mit einer Ablenkungsintervention einen potentiellen Leistungseinbruch erzwungen werden, wonach laut Liao und Masters (2001) die implizite Gruppe einen kleineren Lernleistungseinbruch zu verzeichnen hätte. Explizite Lernprozesse bzw. moto-

rische Adaptionen im Fahrradfahren sind nur wenig erforscht. Aus diesem Grund wäre es interessant, in Anlehnung an die Studie von Liao und Masters (2001), in welcher die Form des Analogielernens untersucht wurde, zu erfahren, inwiefern sich explizite und implizite Lernprozess beim Fahrradfahren unterscheiden. Liao und Masters stellten fest, dass das Analogielernen in Form von metaphorischen Instruktionen bei motorischen Aufgaben Merkmale des impliziten motorischen Lernens hervorruft. Das zeigte sich, nachdem eine gleichzeitige sekundäre Aufgabe hinzugefügt wurde und die explizite Lerngruppe eine deutlich schwerwiegendere Leistungsbeeinträchtigung als die Analogie-Lerngruppe erlitt.

5 Schlussfolgerung

5.1 Wichtigste Erkenntnisse aus dieser Studie

EXP verkleinerte in allen drei Hauptuntersuchungsparametern die Variabilität von den ersten zu den letzten vier Minuten in der Lernphase signifikant. CON wies diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede auf. Sobald das augmented Feedback (knowledge of results) entfernt wurde, fiel auch die Lernanpassung von Anfang an auf das Ausgangsniveau zurück. Bezüglich den Mittelwertdifferenzen der IST-SOLL-Abweichung der Trittfrequenz und der Leistung wies EXP in beiden Untersuchungsparametern signifikante Unterschiede während der Lernphase auf, worin CON keine signifikanten Unterschiede aufwies. Auch diese Effekte sind im Posttest nicht mehr ersichtlich.

Der Trainer oder die Sportlehrperson nehmen in Lernprozessen eine zentrale Rolle ein. Durch die Art der Anweisung und die Häufigkeit der Feedbacks beeinflusst sie die unmittelbare, kurz- und langfristige Leistungsentwicklung der Athletin oder des Schülers. Diese Arbeit zeigt auf, dass mit expliziten Lernprozessen eine unmittelbare Lernadaptation bzw. einen Lernfortschritt bei zyklischen, lokomotorischen Bewegungen in der frühen Adaptationsphase erreicht werden kann. Es muss aber damit gerechnet werden, dass zu häufiges Feedback über die Ergebnisse zu einer Art Abhängigkeit führen kann, welche den langfristigen Lerneffekt beeinflussen. Dies kann zu negativen Effekten oder gar Leistungseinbußen in späteren Übungs- oder Trainingssequenzen führen, falls das Feedback nicht mehr vorhanden ist.

5.2 Konsequenzen der wichtigsten Erkenntnisse

Diese Arbeit zeigte, dass explizite Lernprozesse eine schnelle und kurzfristige Fehlerreduzierung und Lernanpassung ermöglichen. Lernadaptationen können in Kombination mit regelmäßigem Feedback über die Resultate stark beeinflusst werden. Explizite Lernprozesse können das langfristige Lernen jedoch auch beeinträchtigen, da die Involvierung kortikaler Systeme automatisierte Abläufe negativ beeinflussen. Zudem kann die Verwendung und Dossierung von Rückmeldungen über die Ergebnisse eine Lernanpassung beschleunigen. Auch wenn die Resultate aus dieser Studie auf die Guidance-Hypothese hindeuten, ist der Einfluss der Feedbackhäufigkeit auf den langfristigen Lerneffekt noch nicht endgültig geklärt und benötigt weitere Untersuchungen.

6 Literaturverzeichnis

- Adams, J. A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *J Mot Behav*, 3(2), 111-149. doi:10.1080/00222895.1971.10734898
- Benson, B. L., Anguera, J. A., & Seidler, R. D. (2011). A spatial explicit strategy reduces error but interferes with sensorimotor adaptation. *J Neurophysiol*, 105(6), 2843-2851. doi:10.1152/jn.00002.2011
- Brown, T. G. (1911). The Intrinsic Factors in the Act of Progression in the Mammal. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 84(572), 308-319. doi:10.1098/rspb.1911.0077
- Buchegger, R. (2008). Bewegungsstruktur und Energetik im Radsport. (Diplomarbeit, Universität Wien, Österreich). Zugriff unter <https://core.ac.uk/download/pdf/11583998.pdf>
- Caggiano, V., Leiras, R., Goni-Erro, H., Masini, D., Bellardita, C., Bouvier, J., . . . Kiehn, O. (2018). Midbrain circuits that set locomotor speed and gait selection. *Nature*, 553(7689), 455-460. doi:10.1038/nature25448
- Dienes, Z., & Perner, J. (1999). A theory of implicit and explicit knowledge. *Behav Brain Sci*, 22(5), 735-755; discussion 755-808. doi:10.1017/s0140525x99002186
- Fitts, P. M. & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Belmont, CA: Brook/Cole
- Geraedts, P. (2020). *Motorische Entwicklung und Steuerung. Eine Einführung für Physiotherapeuten, Ergotherapeuten und Trainer*. Berlin: Springer.
- Göhner, U. (1989). Prinzipien zur Analyse sportlicher Bewegungen: Sport - Theorie in der gymnasialen Oberstufe. Zugriff unter <http://www.sportunterricht.de/lksport/goehner2.html>
- Goulet, C., Fleury, M., Bard, C., Yerles, M., Michaud, D., & Lemire, L. (1988). Analysis of advance visual indices in receiving a tennis serve. *Can J Sport Sci*, 13(1), 79-87.
- Green, T. D., & Flowers, J. H. (1991). Implicit versus explicit learning processes in a probabilistic, continuous fine-motor catching task. *J Mot Behav*, 23(4), 293-300. doi:10.1080/00222895.1991.9942040
- Hardy, L., Mullen, R., & Jones, G. (1996). *Knowledge and conscious control of motor actions under stress*. *British Journal of Psychology*, 87(4), 621-636. doi:10.1111/j.2044-8295.1996.tb02612.x
- Hänsel, F. (2002). *Sportpsychologie – Instruktionspsychologie motorischen Lernens* (6. durchgelesene Aufl.). Frankfurt am Main: Peter Lang GmbH.

- Hooper, S. L. (2000). Central pattern generators. *Curr Biol*, 10(5), R176. doi:10.1016/s0960-9822(00)00367-5
- Kal, E., Prosee, R., Winters, M., & van der Kamp, J. (2018). Does implicit motor learning lead to greater automatization of motor skills compared to explicit motor learning? A systematic review. *PLoS One*, 13(9), e0203591. doi:10.1371/journal.pone.0203591
- Kavanagh, J. A., Issartel, J., & Moran, K. (2020). Quantifying cycling as a foundational movement skill in early childhood. *J Sci Med Sport*, 23(2), 171-175. doi:10.1016/j.jsams.2019.08.020
- Kleynen, M., Braun, S. M., Bleijlevens, M. H., Lexis, M. A., Rasquin, S. M., Halfens, J., ... Masters, R. S. W. (2014). Using a Delphi technique to seek consensus regarding definitions, descriptions and classification of terms related to implicit and explicit forms of motor learning. *PLoS One*, 26(9), e100227. doi: 10.1371/journal.pone.0100227
- Kleynen, M., Braun, S. M., Rasquin, S. M., Bleijlevens, M. H., Lexis, M. A., Halfens, J., ... Beurskens, A. J. (2015). Multidisciplinary Views on Applying Explicit and Implicit Motor Learning in Practice: An International Survey. *PLoS One*, 10(8), e0135522. doi:10.1371/journal.pone.0135522
- Lamprecht, M., Fischer, A. & Stamm, H.P. (2014). *Sport Schweiz 2014: Sportaktivität und Sportinteresse der Schweizer Bevölkerung*. Magglingen: Bundesamt für Sport BASPO.
- Lauber, B., & Keller, M. (2012). Improving motor performance: selected aspects of augmented feedback in exercise and health. *Eur J Sport Sci*, 14(1), 36-43. doi:10.1080/17461391.2012.725104
- Lee, T. D., White, M. A., & Carnahan, H. (1990). On the role of knowledge of results in motor learning: exploring the guidance hypothesis. *J Mot Behav*, 22(2), 191-208. doi:10.1080/00222895.1990.10735510
- Liao, C. M., & Masters, R. S. (2001). Analogy learning: a means to implicit motor learning. *J Sports Sci*, 19(5), 307-319. doi:10.1080/02640410152006081
- Lopes, M.C. (2011). *Wirksamkeit von impliziten und expliziten Lernprozessen: Aneignung taktischer Kompetenzen und motorischer Fertigkeiten im Basketball* (Dissertation, Universität Heidelberg, Deutschland). Zugriff unter http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/12026/1/Doktorarbeit_VersionIII_endgueltige.pdf
- Magill, R. A. (1993) *Augmented feedback in skill acquisition*.

- Magill, R. A. (1998). Knowledge is more than we can talk about: implicit learning in motor skill acquisition. *Res Q Exerc Sport*, 69(2), 104-110. Doi:10.1080/02701367.1998.10607676
- Malone, L. A., & Bastian, A. J. (2010). Thinking about walking: effects of conscious correction versus distraction on locomotor adaptation. *J Neurophysiol*, 103(4), 1954-1962. doi:10.1152/jn.00832.2009
- Marder, E., & Bucher, D. (2001). Central pattern generators and the control of rhythmic movements. *Curr Biol*, 11(23), R986-996. doi:10.1016/s0960-9822(01)00581-4
- Maslovat, D., Brunke, K. M., Chua, R., & Franks, I. M. (2009). Feedback effects on learning a novel bimanual coordination pattern: support for the guidance hypothesis. *J Mot Behav*, 41(1), 45-54. doi:10.1080/00222895.2009.10125923
- Masters, R. S. W. (1992). *Knowledge, knerves and know-how: The role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure*. *British Journal of Psychology*, 83(3), 343-358. doi:10.1111/j.2044-8295.1992.tb02446.x
- Masters, R. S., Poolton, J. M., Maxwell, J. P., & Raab, M. (2008). Implicit motor learning and complex decision making in time-constrained environments. *J Mot Behav*, 40(1), 71-79. doi:10.3200/JMBR.40.1.71-80
- Mazzocchio, R., Kitago, T., Liuzzi, G., Wolpaw, J. R., & Cohen, L. G. (2006). Plastic changes in the human H-reflex pathway at rest following skillful cycling training. *Clin Neurophysiol*, 117(8), 1682-1691. doi:10.1016/j.clinph.2006.04.019
- Meinel, K. & Schnabel G. (2007). *Bewegungslehre Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (Gesamtredaktion: G. Schnabel / J. Krug; 10. überarb. Auflage). Aachen: Meyer & Meyer.
- Menche, N. (2012). *Biologie – Anatomie – Physiologie* (7. Aufl.). München: Urban & Fischer Verlag.
- Meunier, S., Kwon, J., Russmann, H., Ravindran, S., Mazzocchio, R., & Cohen, L. (2007). Spinal use-dependent plasticity of synaptic transmission in humans after a single cycling session. *J Physiol*, 579(Pt 2), 375-388. doi:10.1113/jphysiol.2006.122911
- Miyamoto, Y. R., Wang, S., & Smith, M. A. (2020). Implicit adaptation compensates for erratic explicit strategy in human motor learning. *Nat Neurosci*, 23(3), 443-455. doi:10.1038/s41593-020-0600-3
- Mullen, R., Hardy, L., & Oldham, A. (2007). Implicit and explicit control of motor actions: revisiting some early evidence. *Br J Psychol*, 98(Pt 1), 141-156. doi:10.1348/000712606x114336

- Park, J. H., Shea, C. H., & Wright, D. L. (2000). Reduced-frequency concurrent and terminal feedback: a test of the guidance hypothesis. *J Mot Behav*, 32(3), 287-296. doi:10.1080/00222890009601379
- Pöhlmann, R. (1994) *Bewegungsregulation – Psychomotorik – Rehabilitation: Motorisches Lernen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH.
- Raab, M. (2001). *SMART – Techniken des Taktiktrainings Taktiken des Techniktrainings* (Band 4). Bundesinstitut für Sportwissenschaft, Bonn: SPORT & BUCH Strauss
- Reber, A. S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118(3), 219–235. doi:10.1037/0096-3445.118.3.219
- Reber, A. S., & Allen, R. (1999). Implicit versus Explicit Learning. In R. J. Sternberg (Ed.), *The Nature of Cognition* (pp. 475-514). Cambridge: MIT Press.
- Robergs, R. A., & Landwehr, R. (2002). The Surprising History of the «HRmax=220-age» Equation. *Journal of Exercise Physiology online*. (Commentary, The University of New Mexico, Albuquerque, NM). Zugriff unter <https://www.asep.org/asep/asep/Robergs2.pdf>
- Rossignol, S., Dubuc, R., & Gossard, J. P. (2006). Dynamic sensorimotor interactions in locomotion. *Physiol Rev*, 86(1), 89-154. doi:10.1152/physrev.00028.2005
- Salmoni, A. W., Schmidt, R. A., & Walter, C. B. (1984). Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. *Psychol Bull*, 95(3), 355-386.
- Sanchez, D. J., & Reber, P. J. (2013). Explicit pre-training instruction does not improve implicit perceptual-motor sequence learning. *Cognition*, 126(3), 341-351. doi:10.1016/j.cognition.2012.11.006
- Schmidt, R. A. (1976). Control processes in motor skills. *Exerc Sport Sci Rev*, 4, 229-261.
- Schnabel, G., Harre, H. D. & Krug, J. (2014). *Trainingslehre – Trainingswissenschaft: Leistung – Training – Wettkampf* (3. Aktualisierte Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Seitz, R. J. (2001). Motorisches Lernen: Untersuchungen mit der funktionellen Bildgebung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 52(12), 343-349.
- SRM GmbH. (2007). *Manual SRM – High Performance Ergometer*. Jülich: SRM GmbH.
- Tanaka, K., & Watanabe, K. (2017). Explicit instruction of rules interferes with visuomotor skill transfer. *Exp Brain Res*, 235(6), 1689-1700. doi:10.1007/s00221-017-4933-4
- Taylor, J. A., Krakauer, J. W., & Ivry, R. B. (2014). Explicit and implicit contributions to learning in a sensorimotor adaptation task. *J Neurosci*, 34(8), 3023-3032. doi:10.1523/JNEUROSCI.3619-13.2014

- Weineck, J. (2010). *Optimales Training. Leistungspsychologische Trainingslehrer unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings* (16. Durchgesehene Aufl.). Balingen: Spitta-Verlag.
- Werner, S., & Bock, O. (2007). Effects of variable practice and declarative knowledge on sensorimotor adaptation to rotated visual feedback. *Exp Brain Res*, 178(4), 554-559. doi:10.1007/s00221-007-0925-0
- Willingham, D. B., Salidis, J., & Gabrieli, J. D. (2002). Direct comparison of neural systems mediating conscious and unconscious skill learning. *J Neurophysiol*, 88(3), 1451-1460. doi:10.1152/jn.2002.88.3.1451
- Winkel, S., Petermann, F., & Petermann, U. (2006). *Lernpsychologie*. Paderborn: Ferdinand Schöningh GmbH & Co. KG.
- Winstein, C. J., Pohl, P. S., & Lewthwaite, R. (1994). Effects of physical guidance and knowledge of results on motor learning: support for the guidance hypothesis. *Res Q Exerc Sport*, 65(4), 316-323. doi:10.1080/02701367.1994.10607635
- Winstein, C. J. & Schmidt, R. A. (1990). Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 16(4), 677-691. doi:10.1037/0278-7393.16.4.677
- Witte, K. (2018). *Grundlagen der Sportmotorik im Bachelorstudium Band I*. Berlin: Springer-Verlag GmbH.
- Wulf, G., & Prinz, W. (2001). Directing attention to movement effects enhances learning: a review. *Psychon Bull Rev*, 8(4), 648-660. doi:10.3758/bf03196201
- Wulf, G., Shea, C. H., & Matschiner, S. (1998). Frequent feedback enhances complex motor skill learning. *J Mot Behav*, 30(2), 180-192. doi:10.1080/00222899809601335
- Zehr, E. P. (2005). Neural control of rhythmic human movement: the common core hypothesis. *Exerc Sport Sci Rev*, 33(1), 54-60.
- Zeuwts, L., Ducheyne, F., Vansteenkiste, P., D'Hondt, E., Greet, C., & Lenoir, M. (2015). Associations between cycling skill, general motor competence and body mass index in 9-year-old children. *Ergonomics*, 58(1), 160-171. doi:10.1080/00140139.2014.961971
- Zhu, F., Poolton, J., & Masters, R. (2012). Neuroscientific aspects of implicit motor learning in port. In A. Gollhofer, W. Taube, & J. B. Nielsen (Eds.), *Routledge handbook of motor control and motor learning* (p. 155–174). Routledge/Taylor & Francis Group.

Dank

Während des gesamten Prozesses dieser Arbeit unterstützen mich diverse Personen. Herzlichen Dank an alle Versuchspersonen, die sich Zeit genommen haben an den Datenerhebungen beizuwohnen. Ein besonderes Dankeschön gebührt meinem Betreuer und Dozent Dr. Benedikt Lauber. Er unterstütze mich in allen Schritten meiner Arbeit und trug mit seinem Wissen und seiner Erfahrung viel zum Gelingen dieser Arbeit bei. Ein grosser Dank geht an Jana Kratzer. Jana und ich erarbeiteten gemeinsam den Rahmen und die Durchführung der Datenerhebungen. Die Zusammenarbeit empfand ich als sehr angenehm und motivierend. Herzlichen Dank!