



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

**Virtual Reality im Sport: Ein Head Mounted Display als
Präsentationsmittel eines stereoskopischen Lernvideos**

verfasst von / submitted by

Lukas Magauer

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2016 / Vienna, 2016

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 406 482

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

UF Mathematik und Bewegung & Sport

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Arnold Baca

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form in keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 29. 6. 2016

Unterschrift

Abstract

For about 50 years *Virtual Reality* (VR) has been a subject in the field of computer science and applications. It has never been doubted that VR will once crucially influence modern society. Especially now, since a new generation of head mounted displays (HMD) is available, the last doubts seem to be dissolved. Considering the fact that *Facebook* bought *Oculus Rift*, there is at least no doubt about the high commercial interest concerning VR. The market is expected to be huge since VR-systems have got affordable and – which is even more important – useable. Several conferences concerning „Virtual, Augmented- and Mixed Reality“ show the high interests in many kinds of different VR-related applications. There are even several researches considering VR in sports. Using VR as a tool in sport allows to train skills that can't be trained – or at least only with high effort and risks – under normal conditions. In order to find out how VR could be useful in motoric learning, the terms of 'human movement' and 'motoric control' have to be clarified.

This thesis points out the actual state of VR-technology, especially in the field of sports. By considering actual results of VR-related applications and by testing a VR-system as a tool in motoric learning, different (new) ways of applying VR in sports are being presented.

Zusammenfassung

Seit ungefähr 50 Jahren ist *Virtual Reality* (VR) bereits ein wichtiger Forschungsbereich der elektronischen Datenverarbeitung und als Anwendung in unterschiedlichsten Bereichen bekannt. Sowohl Hochtechnologieunternehmen, die damit die Ausbildung ihrer Angestellten verbessern, Wissenschaftler, die diese Technologie schon lange zu Forschungszwecken einsetzen, als auch die Spiele- und Unterhaltungs- Industrie, die darin ein neues wirtschaftlich vielversprechendes Produkt sieht — die Zweifel daran, dass VR einmal eine große Rolle in der modernen Gesellschaft spielen wird, scheinen spätestens seit dem Erscheinen neuer, leistungsfähiger und günstiger *Head Mounted Displays* (HMD) beseitigt. Betrachtet man den Kauf von *Oculus Rift* durch *Facebook* für mehrere Millionen Dollar, so verdeutlicht dies das großes kommerzielle Potenzial von VR-Anwendungen. Der Markt dafür dürfte sehr groß sein, zumal diese Systeme leistungsfähig und – was noch wichtiger ist – aufgrund der immer besser werdenden Displays sowie gleichzeitig kürzeren Übertragungszeiten brauchbar geworden sind. Unmittelbar ergeben sich damit im Bereich des Sports neue Anwendungsmöglichkeiten. Durch gezielten Einsatz dieser neuen Technologie können etwa Fähigkeiten trainiert werden, die sonst nur unter Gefahr oder hohem Aufwand geübt werden können. Um herauszufinden wie VR im Bewegungslernen nützlich sein kann, müssen die Begriffe 'menschliche Bewegung' und 'motorisches Lernen' präzisiert werden.

In dieser Arbeit wird der aktuelle Stand von VR-Technologien festgehalten und besonders sportbezogene Anwendungen ausgeführt. Indem aktuelle VR-Anwendungen erläutert werden und eine konkrete Anwendung im motorischen Lernprozesses eingesetzt und getestet wird, werden unterschiedliche (neue) Möglichkeiten präsentiert, diese Technologie für den Sport zu nutzen.

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort	3
2. Einleitung	5
2.1. Hinführung zur Fragestellung	5
2.2. Ziele der Arbeit	6
2.3. Arbeits- und Recherche-Methoden	8
2.3.1. Literaturrecherche	8
2.3.2. Internetrecherche	8
2.3.3. Hermeneutik	8
2.3.4. Empirik	11
2.4. Gliederung der Arbeit	16
3. Virtual-, Augmented- und Mixed-Reality	17
3.1. Geschichtlicher Abriss	17
3.2. Begriffsbestimmung	21
3.2.1. Virtual Reality (VR)	21
3.2.2. Augmented und Mixed Reality (AR, MR)	24
3.3. Aktuelle Technologien zur Umsetzung von VR-Anwendungen . .	25
3.3.1. Anzeigegeräte	25
3.3.2. Motion Tracking (MT)	27
3.4. Klassifizierung von VR-Applikationen	30
3.4.1. Einteilung nach Immersionsgrad	30
3.4.2. Einteilung nach Anwendungsbereich	32
3.5. Spiele und VR zur Gestaltung von virtuellen, immersiven Lernsi- tuationen - Serious Games	43
3.6. Zusammenfassung	46

4. Menschliche Bewegung und motorisches Lernen	47
4.1. Ausgewählte Theorien menschlicher Bewegung und motorischer Kontrolle	51
4.1.1. Funktionale Perspektive	52
4.1.2. Die intentionale Perspektive	57
4.2. Bewegungskoordination	59
4.2.1. Merkmale menschlicher Bewegung	61
4.2.2. Koordinative Fähigkeiten	63
4.3. Motorisches Lernen	68
4.3.1. Das Phasenmodell motorischen Lernens nach Meinel und Schnabel	69
4.3.2. Techniktraining	72
4.3.3. Visuomotorisches Lernen	74
4.3.4. Modelllernen im Sport	77
4.3.5. Einflussfaktoren von Video-Instruktion und Video-Feedback auf visuomotorisches Lernen	78
4.4. Zusammenfassung	79
5. Empirische Untersuchung	81
5.1. Problemstellung und Ziele der Untersuchung	81
5.2. Die Kaskade mit drei Bällen	82
5.2.1. Eine methodische Übungsreihe der <i>3-Ball-Kaskade</i>	83
5.3. Die Lernvideos	86
5.3.1. 3D	86
5.3.2. 2D	88
5.4. Rahmenbedingungen	89
5.4.1. Versuchspersonen	89
5.4.2. Versuchsplan	89
5.4.3. Untersuchungsmerkmale	90
5.5. Untersuchungsablauf	91
5.6. Ergebnisse	92
5.6.1. Teil 1	92
5.6.2. Teil 2	93
5.6.3. Teil 3	94
5.6.4. Absolute Steigerung der Bewegungsqualität aller VPn	95

5.6.5. Vergleich der relativen Änderung der Bewegungsqualität von G_1 und G_2	98
5.7. Zusammenfassung der Testergebnisse	101
5.8. Interpretation und Ausblick	102
Literatur	105
Onlinequellen und Zeitschriften	111
Abbildungsverzeichnis	115
Tabellenverzeichnis	117
Anhang	118
A. CURRICULUM VITAE	119
B. Links zu den Lernvideos	121
C. Zusammenfassung	123
D. Abstract	125

Danksagung

Ich bedanke mich bei meiner Familie für die große Unterstützung, die sie mir immer geboten hat, sowie meinen Freunden, die mich ebenfalls unterstützt und motiviert haben, diese Arbeit zu verfassen. Besonderer Dank geht an Thomas Bremm, welcher mir unter anderem durch das Leihen der für die Studie notwendigen Videokamera entscheidend geholfen hat. Zudem danke ich meinem Betreuer, Univ.-Prof. Dr. Arnold Baca, für die Unterstützung und Expertise bei der Entstehung des Themas und der Erstellung der Arbeit.

Ich widme diese Arbeit meiner verstorbenen Mutter, der ich sie gerne noch rechtzeitig gezeigt hätte.

1. Vorwort

Computer und Sport sind seit meiner Kindheit ein Teil meines Lebens. Diese beiden Bereiche waren mitunter prägend für mich und meine berufliche Laufbahn. Für mich wirken Computer und Sport in ähnlicher Weise anziehend und ich interessierte mich immer schon für einen sportlich angehauchten Bereich von Computern, wie etwa e-Sports. Die entscheidende Frage ist, welcher Nutzen sich aus der Verwendung von Computern im Sport ergeben kann. Einen großen Nutzen haben Computer bekanntermaßen bei der Verarbeitung und Speicherung von Daten. Video und Bewegungsanalysen sind heute ebenfalls eng mit der Verwendung von Computern verbunden. Als unmittelbares Instrument beim Bewegungslernen spielen Computer dagegen eine untergeordnete Rolle. Dass bei Computerspielen beispielsweise Fingerfertigkeit, Reaktionsfähigkeit, Raumvorstellung und logisches Denken geschult werden können, ist jedoch schwer zu bestreiten. Bei den neuen, hochwertigen und intuitiven Eingabe- und Anzeigeräten (*Virtual Reality*) sind somit auch komplexere Möglichkeiten bei der Anwendung von Computern im Bewegungslernen denkbar.

Virtual Reality (VR) kennt man eher im Zusammenhang mit der Ausbildung von Piloten, dem Militär oder als Ausstellungsobjekt am *Ars Electronica Center*. Dies änderte sich für mich, als ich eine neue VR-Brille testen konnte. Die „Demo-Spiele“ die ich dabei spielte (z. B. Achterbahnfahren) waren sehr beeindruckend. Trotz einer relativ geringen Auflösung sowie weitgehend fehlender Interaktionsmöglichkeiten wirkten die Umgebung und das Erlebnis sehr „echt“. Der hohe Grad an Realismus wurde vor allem durch die Registrierung und die entsprechende Übertragung der Kopfbewegungen sowie durch die stereoskopische Darstellung der Umgebung erreicht.

Aufgrund der Erfahrungen, die ich dabei gemacht habe, begründet sich mein Interesse, Virtual Reality im Sport eingehender zu betrachten und zum Thema meiner Diplomarbeit zu machen. Die Idee ist, dass wenn eine Bewegung beinahe

in Echtzeit in eine virtuelle Welt übertragen und die virtuelle Umgebung so realistisch simuliert werden kann, sodass „echte“ Erfahrungen möglich werden, es Möglichkeiten sportlicher Anwendungsbereiche geben muss.

Ein detailliertes Bild von VR wird mittels der Sichtung von Fachliteratur und Blick auf Forschungsprojekte und Konferenzen gezeichnet. Um den Bezug zur menschlichen Bewegung herstellen zu können, muss diese ebenfalls ausführlich behandelt werden. Schlussendlich soll das Erstellen und die Analyse einer konkreten VR-Anwendung die Einsetzbarkeit von VR im Bewegungslernen bezeugen.

2. Einleitung

2.1. Hinführung zur Fragestellung

Internationale Fachtagungen zum Thema *Virtual Reality* (VR) (vgl. u. a. De Paolis, 2014; Shumaker, 2013; IEEE, 2014), mehr und mehr Geld, das in die Entwicklung neuartiger VR-Systeme gesteckt wird, sowie die zunehmende Technologisierung der Lebenswelt, aber auch die Tatsache, dass die Forschung mit VR-Systemen in Österreich im Bereich der Sportwissenschaft noch kaum Beachtung findet, haben mein Interesse zum Thema geweckt und dienen als Ausgangspunkt dieser Arbeit.

Seit ungefähr 50 Jahren ist VR bereits ein wichtiger Forschungsbereich und als Anwendung bekannt. Ob in Hochtechnologieunternehmen, in der Spiele-Industrie oder in der Wissenschaft: Es gab nie Zweifel, dass VR früher oder später eine Rolle in der modernen Gesellschaft spielen wird.

Betrachtet man den Kauf von *Oculus Rift* durch *Facebook* für mehrere Millionen Dollar (Zsolt, 2014), so gibt es zumindest keinen Zweifel am hohen kommerziellen Nutzen solcher Systeme. *Facebook* ist nicht das einzige Beispiel für große Konzerne, die das Potenzial von VR-Systemen für sich nutzen wollen. Der Markt für VR-Anwendungen dürfte riesig sein, zumal diese Systeme leistungsfähig und – was noch wichtiger ist – brauchbar geworden sind.

Testberichte der aktuellen und kommenden Systeme schrauben die Erwartungen nach oben, indem durchwegs noch nie dagewesene Realitätsnähe bescheinigt wird (Zsolt, 2015; Wingfield, 2015). Die VR-Brillen, zusammen mit den nötigen Bewegungssensoren und Eingabegeräten, ermöglichen neuartige, komplexe Simulationen, die neben einem kommerziellen Nutzen auch (sport-)wissenschaftliche Anwendungsmöglichkeiten bieten.

VR ist im Gegensatz zu früher – 1993 kostete die schnellste Grafikplattform, die *Silicon Graphics Inc. Reality Engine*, über 100.000\$ (vgl. Burdea & Coiffet, 1993, S. 10) – heutzutage mit relativ geringem finanziellen Aufwand für jeden zugänglich. Die billigste Variante heute liegt beim *Google Cardboard*, welches um ca. 20 Euro erhältlich ist und lediglich eine Fassung mit Linsen für das Smartphone darstellt. Die Grafikleistung wird zudem immer besser und die Probleme mit zu großen Verzögerungen scheinen ebenfalls fast überwunden. Details zu den verschiedenen Virtual-Reality-Brillen folgen im Kapitel 3.3.

Da durch Bewegungssensoren die Stellung des Kopfes im Raum und auch die Körperbewegungen erfasst werden können, ist es möglich, auch kinästhetische und vestibuläre Sinne einzubeziehen und somit eine intensive und realitätsnahe virtuelle Handlungsumgebung zu erleben. Das Start-Up Projekt *Cyberith-Virtualizer*¹ eines Wiener Teams rund um Tuncay Cakmak ermöglicht es sogar, Schrittbewegungen über eine sensorische Bodenplatte aufzuzeichnen und in die virtuelle Welt zu übertragen, was das Erlebnis noch deutlich intensivieren dürfte. Gerstweiler und Vonach (2011) haben beispielsweise einen Anzug zur Aufzeichnung von Bewegungen entwickelt, mit dem das Erlernen von Bewegungen unterstützt werden soll. Mit einem passenden System aus VR-Brille und Bewegungssensoren wären koordinativ anspruchsvolle Bewegungshandlungen in die virtuelle Welt übertragbar. Heutige Ansätze zum Einsatz von VR-Systemen reichen bereits vom Bereich der Rehabilitation über trainingswissenschaftliche Bereiche, bis hin zur Unterhaltungsindustrie (vgl. Catalan u. a., 2014; Bowman, Gracanin, und Ollendick, 2013).

2.2. Ziele der Arbeit

Diese Arbeit behandelt die aktuellen Tendenzen und Entwicklungen von VR, wobei insbesondere Sport-bezogene Anwendungen und Anwendungsfelder eine Rolle spielen. Dazu wird in einem geschichtlichen Abriss die Entstehung des Begriffs *Virtual Reality* erläutert und seine Herkunft bestimmt. Welche Arten von VR es gibt, wie man VR einteilen kann und wo die aktuellen Forschungs- und Anwendungsbereiche im Sport liegen, sind die zentralen Fragen im ersten Teil dieser Arbeit.

¹Cyberith, 2016.

Der zweite Teil der Arbeit behandelt die Begriffe 'Bewegung', 'Motorik' und 'motorisches Lernen'. Dabei wird insbesondere auf die Frage eingegangen, warum und wie VR im Bewegungslernen einen Beitrag leisten kann.

Aus diesen Theorien und Voraussetzungen wird schließlich im dritten Teil der Arbeit ein 'virtuelles Lernvideo' erstellt und in weiterer Folge in einem Versuch empirisch ermittelt, ob diese VR-Anwendung einen positiven Effekt auf das Bewegungslernen hat. Im speziellen Fall werden die Auswirkungen auf das Lernen einer koordinativen Bewegungshandlung (Jonglieren mit drei Bällen) durch den Einsatz eines *Head Mounted Displays* (HMD) untersucht. Die zentrale Frage ist, ob sich die Lernkurve und somit die schlussendliche Bewegungsqualität einer Versuchs- und einer Kontrollgruppe signifikant unterscheidet.

Das übergeordnete Ziel der Arbeit ist es, einen kleinen Beitrag zur Erforschung von VR mit Bezug zum Sport zu liefern und ein Anstoß für neue Ideen in diesem Feld zu sein.

Folgende Ziele werden in dieser Arbeit verfolgt:

- Ein geschichtlicher Abriss über die Entstehung und Entwicklung von VR (Kapitel 3/3.1)
- Die Darstellung aktuell vorhandener Systeme sowie deren Vor- und Nachteile (Kapitel 3.3)
- Eine fundierte Zusammenfassung der Erkenntnisse über Bewegung und motorisches Lernen (Kapitel 4)
- Die Behandlung der Auswirkungen und Besonderheiten von Video Instruktionen (Kapitel 4.3.3)
- Eine überzeugende Begründung für den Einsatz von Lernvideos im motorischen Lernprozess
- Die Erstellung zweier Lernvideos auf Grundlage der vorherigen theoretischen Erkenntnisse (Kapitel 5.3)
- Die Lernvideos und deren Auswirkungen in einem Experiment mittels zweier Versuchsgruppen vergleichen; Die gesammelten Daten nach festgelegten Kriterien mit Hilfe eines Statistik-Programms auswerten (Kapitel 5.6)

2.3. Arbeits- und Recherche-Methoden

2.3.1. Literaturrecherche

Um mich mit dem Themengebiet vertraut zu machen, war das Studieren diesbezüglich anerkannter Literatur unumgänglich. Vor allem Grundlagen und Anwendungsbereiche von VR, weniger dagegen technische Aspekte, standen dabei im Vordergrund. Eine wichtige Rolle spielten Fachtagungen und Konferenzen zum Thema VR, die aktuelle Anwendungsmöglichkeiten behandelten und einen Bezug zum Sport aufwiesen. Gerade die Bereiche 'Bewegung' und 'motorisches Lernen' bieten Unmengen an fachwissenschaftlicher Literatur, sodass die Sichtung, Auswahl und das Studium anerkannter und aktueller Texte einen großen Teil der Arbeit ausmachten.

2.3.2. Internetrecherche

Neben klassischer Literatur war auch das Internet eine wichtige Quelle, um *aktuelle* Informationen und Trends sowie technische Daten und Erfahrungsberichte in die Arbeit einfließen lassen zu können. Die Daten und Berichte wurden dabei mittels unterschiedlicher Quellen abgeglichen, um mögliche Falschinformationen vermeiden zu können.

2.3.3. Hermeneutik

Um die Thematik der Arbeit zu verstehen und daraus konkrete Anwendungsmöglichkeiten ableiten zu können, war eine umfassende Sichtung anerkannter Literatur zum Thema 'Virtual Reality' und in weiterer Folge zum Thema 'Bewegungslernen' unumgänglich. Dadurch sollte ein Verstehensprozess in Gang gesetzt werden, welcher allgemein als Hermeneutik bezeichnet wird.

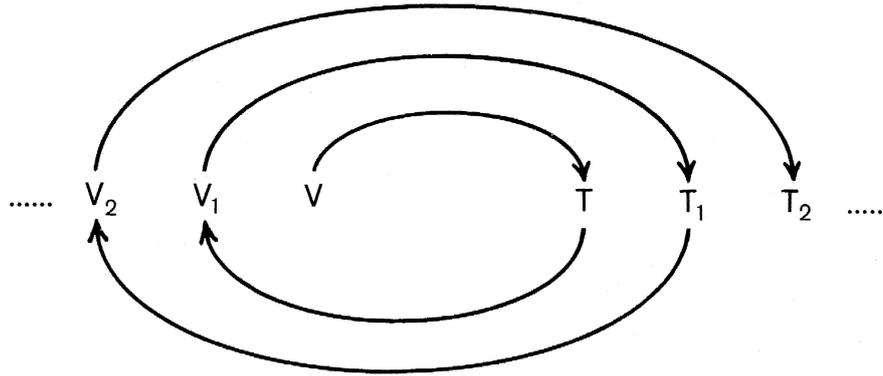
Seit dem 17. Jahrhundert versteht man in der Philosophie und der Methodenlehre (oder Methodologie) der Geisteswissenschaften unter Hermeneutik eine Methodenlehre der Auslegung vor allem von gesprochener Rede und schriftlich fixiertem Text, verbunden mit theoretischen Annahmen über Prozesse des Verstehens von Rede und Text. (Bühler, 2003, S. 4)

Hermeneutik wird oft als die „Kunst der Auslegung“ verstanden, was im Allgemeinen nicht nur auf Texte, sondern auch auf den Umgang „mit Menschen und mit menschlichen Produkten“ (Danner, 1998, S. 31 f.) bezogen ist. Das 'Verstehen' von Aussagen, Zusammenhängen und Gegebenheiten ist aus hermeneutischer Sicht der zentrale Aspekt. Verstehen gilt als ein menschliches Grundverständnis, doch muss dabei zwischen elementarem und höherem Verstehen unterschieden werden. Elementares Verstehen findet statt, sobald eine Auseinandersetzung mit der Umwelt erfolgt. Im zwischenmenschlichen Umgang werden etwa Gesten oder die Mimik von Mitmenschen, selbst schon von Kleinkindern, verstanden (Danner, 1998, S. 44). Höheres Wissen hebt sich insofern ab, als oft implizite oder unmittelbar nicht ersichtliche Informationen vermittelt werden, welche erst durch ein tieferes Verständnis und Vorwissen erkennbar werden. Beispielsweise kann ein Lachen von einem Kind elementar als Ausdruck von Freude verstanden werden, wenn das Kind aber häufig lacht und dies nicht normal erscheint, kann der Grund des Lachens und der Sinn dahinter erfahren und verstanden werden (Danner, 1998, S. 45). Danner betrachtet 'Verstehen' als Verstehen des objektiven Geistes, welcher „die Summe der Gemeinsamkeiten von Sinngebungen [darstellt und] aufgrund derer gegenseitiges sinnhaftes Verstehen möglich ist.“ (Ebd., S. 54) Um richtig verstehen zu können, ist es also notwendig, eine gemeinsame Wissens- und Erfahrungsbasis zu haben.

Höheres Wissen erlangt man also durch Erfahrungen bzw. angelerntes Wissen. Diesen Prozess beschreibt Danner als hermeneutischen Zirkel. Ausgehend von einem gewissen Grundverständnis werden neue Informationen in den Erfahrungshorizont eingebaut (Danner, 1998, S. 57). Ein gewisses Vorverständnis ist für das Verstehen eines Textes oder von Teilen davon unumgänglich. Durch das Verstehen des Textes wird das Vorverständnis gleichzeitig modifiziert, sodass in weiterer Folge ein besseres Verständnis des Textes möglich ist (Krüger, 2009, S. 186).

Da es sich streng genommen nicht um eine Kreisbewegung, sondern eher um eine Spiralbewegung handelt – das 'Verstehen' bleibt ja nicht gleich sondern ändert sich aufgrund von Verstehensprozessen –, ist der Begriff 'hermeneutische Spirale' sogar noch treffender (Danner, 1998, S. 57). Der Prozess des Verstehens ist in Abbildung 2.1. dargestellt.

Der Vorteil bei der Interpretation von Texten – es müssen wie oben bereits



V = Vorverständnis; T = Textverständnis; V₁ = erweitertes Vorverständnis;
T₁ = erweitertes Textverständnis usw.

Abbildung 2.1.: Der hermeneutische Zirkel nach Danner (1998, S. 57)

erwähnt, nicht zwingend Texte sein – liegt in der dauerhaften Beständigkeit der vorhandenen Information. Dabei unterscheidet Danner (1998, S. 94f) zwischen der „vorbereitenden Interpretation“, der „textimmanenten Interpretation“ und der „koordinierten Interpretation“ als die drei Phasen der Textinterpretation. In der „vorbereitenden Interpretation“ ist etwa die Glaubwürdigkeit und die Aktualität des Textes zu prüfen. Außerdem muss das eigene Vorverständnis und Vorwissen sowie die Fragestellung, mit der an den Text herangegangen wird bedacht und berücksichtigt werden. In einem ersten Schritt dient das Lesen des Inhaltsverzeichnisses oder einzelner Überschriften als Anhaltspunkt für das Verstehen des Textes. Die Phase der „textimmanenten Interpretation“ besteht aus einer im Sinne des hermeneutischen Zirkels abwechselnd semantischen und syntaktischen Analyse des Textes und einzelner Teile davon, sodass schließlich ein logisch konsistenter Gesamt-Sinn des Textes entsteht. Die Phase der „koordinierten Interpretation“ bezieht schließlich auch weitere Texte des Autors oder andere Texte zum gleichen Thema in den Prozess des Verstehens mit ein. Außerdem werden bewusste oder unbewusste Voraussetzungen des Autors herangezogen und bedacht. Somit soll die hermeneutische Differenz zwischen dem Autor und dem Leser minimiert werden, was bis zu einem gewissen Grad auch gelingt, nach Danner (1998, S. 58) jedoch wahrscheinlich niemals gänzlich möglich ist.

2.3.4. Empirik

Zur weiteren Analyse des Themas wurde ein empirischer Zugang gewählt. Die empirische Wissenschaft, oder auch Erfahrungswissenschaft, strebt nach gesicherten Erkenntnissen über die beobachtbare, „wirkliche“ Welt (Kromrey, 2009, S. 15). Sie setzt also auch voraus, dass es diese objektive Welt der Ereignisse und Beziehungen zwischen Dingen oder Menschen gibt.

Im *erkenntnistheoretischen Realismus* geht man von dieser Annahme aus und legitimiert sie dadurch, dass sonst keinerlei sinnvolle Aussagen über die Realität formulierbar bzw. empirisch überprüfbar wären (Kromrey, 2009, S. 16). Der *erkenntnistheoretische Konstruktivismus* hingegen geht davon aus, dass die Welt nie so beobachtet werden kann, wie sie tatsächlich ist. Es kann demnach höchstens davon gesprochen werden, ob eine Erkenntnis zu der Beschaffenheit der Welt passt, nicht jedoch, ob sie wahr ist (Kromrey, 2009, S. 16). Treffend formuliert Kromrey diese Ansicht so: „Jeder lebt sozusagen in seiner eigenen virtuellen Realität“ (Kromrey, 2009, S. 16). Und solange diese subjektiven Wirklichkeiten mit der objektiven Realität zusammenpassen, ist es möglich, in letzterer zu überleben (Kromrey, 2009, S. 17).

Der *Positivismus*, der in den Sozialwissenschaften mit Auguste Comte in Verbindung gebracht wird, fordert, dass Wissenschaft auf der Beobachtung von Tatsachen beruhen muss. Da aus der Beobachtung die Erkenntnis folgt, spricht man hier von einer 'induktiven Sichtweise' (Schirmer, 2009, S. 37).

Der *kritische Rationalismus* bzw. deduktiv-nomologische Wissenschaften gehen von einer objektiven Realität aus, betonen zugleich jedoch auch, dass Beobachtungen immer subjektiv sind. Es besteht somit die Notwendigkeit von Theorien und Hypothesen im Vorhinein, welche schließlich zwar nicht vollständig verifiziert, sehr wohl jedoch widerlegt werden können (Schirmer, 2009, S. 39). Es kann also gezeigt werden, dass eine Annahme nicht (vollständig) zutrifft (Falsifikation). Geht man gemäß des kritischen Rationalismus von einer strukturierten, regelhaften Realität aus, so gibt es „für jedes Ereignis eine Ursache oder eine komplexe Menge von Ursachen“ (Kausalitätsprinzip)(Kromrey, 2009, S. 17). Aufgabe der Wissenschaft wäre es dann, die Gesetzmäßigkeiten aufzuspüren und Ereignisse somit erklärbar zu machen. Dabei unterscheiden sich unterschiedliche

Wissenschaften nur im Gegenstand, nicht jedoch in der Art ihres Vorgehens (Kromrey, 2009, S. 17).

Konstruktivistische Theorien betonen, dass Wirklichkeit immer gesellschaftlich konstruiert ist und Wahrheit somit ein normatives Konzept ist. Daraus folgt, dass auch empirische Forschung immer subjektiv ist. Die wichtigsten daraus resultierenden Prinzipien sind Offenheit und Zweifel gegenüber erwarteten oder gemachten Beobachtungen und den Schlüssen daraus (Schirmer, 2009, S. 46).

Akzeptiert man das Ursache-Wirkungsprinzip und will man Sachverhalte *erklären*, so können diese „... nur als Effekt einer wirksam gewordenen Ursache (oder mehrerer Ursachen) verstanden werden. Die ‚Erklärung‘ bestünde also in der Angabe der Ursache(n)“ (Kromrey, 2009, S. 80). Hempel und Oppenheim entwickelten dazu ein Schema (H-O-Schema), das wissenschaftliche Erklärung als deduktiv-nomologischen Erklärungsprozess beschreibt. Ein zu erklärender Sachverhalt (*explandum*) gibt den Rahmen möglicher erklärender Ursachen (*explans*) vor. Es sind jene Ursachen aufzufinden, aus denen sich das Explandum deduktiv-logisch ableiten lässt (Kromrey, 2009, S. 80).

Das Experiment

Das Paradebeispiel bei der Analyse von kausalen Zusammenhängen stellt das Experiment dar. „Ausgangspunkt eines jeden Experiments sind sorgfältig abgeklärte und präzise formulierte Hypothesen.“ (Loosch, 1999, S. 286) Im Zuge einer planmäßigen Beobachtung wird überprüft, ob, wie und in welcher Stärke sich ein bestimmtes Setting auf einen bestimmten Sachverhalt auswirkt (Kromrey, 2009, S. 87).

Der Forscher führt in einer kontrollierten Untersuchungssituation, die insbesondere von allen externen Einflüssen abgeschirmt ist, eine „Maßnahme“ durch (...) und setzt seine Untersuchungsobjekte dieser „Maßnahme“ (engl.: treatment) aus. Danach beobachtet er, welchen Effekt die „Maßnahme“ auf seine Versuchsobjekte hat, d. h. welche „Wirkungen“ eintreten. (Kromrey, 2009, S. 88)

Sind die Bedingungen des Versuchs gleichbleibend und werden die Maßnahmen systematisch variiert, so kann aus den daraus resultierenden Effekten das

Ursache-Wirkungsprinzip abgeleitet werden (Kromrey, 2009, S. 88). In einem klassischen Experiment werden die Bedingungen möglichst so gestaltet, dass allein das Ursache-Wirkungsprinzip zwischen Maßnahme und Effekt eine Rolle spielt. Außerdem muss die Art und die Stärke der vermuteten Kausalwirkung eindeutig festgestellt und gemessen werden können (Kromrey, 2009, S. 89).

Neben dem Laborexperiment nennt Loosch (1999, S. 286) auch das Feldexperiment, welches im Gegensatz zu einem Laborexperiment unter natürlichen Bedingungen abläuft (z. B. mit einer Schulklasse im alltäglichen Unterricht). Da die Einflüsse bei Feldexperimenten schwieriger zu kontrollieren sind, ergeben sich hierbei auch größere Schwierigkeiten mit Störfaktoren als beim Laborexperiment. Warwitz (1976, S. 26) führt als Regel zur Vermeidung von Künstlichkeit an, dass die jeweilige soziale Umwelt zu belassen und die gewohnte Alltagsumwelt berücksichtigt werden soll. „Wenn eine Veränderung der gewohnten Umwelt unumgänglich wird (Installierung von Kameras, Besuch fremder Beobachter), sollte dem Versuch eine angemessene Eingewöhnung vorausgehen.“ (Ebd.)

Für ein Experiment gilt allgemein, dass Störfaktoren und externe Einflüsse weitestgehend erkannt und beseitigt werden müssen, um zu gewährleisten, dass nur eine *bestimmte* Maßnahme Auswirkungen zeigen kann. Um einen Zusammenhang zwischen einer bestimmten Maßnahme und deren Effekt überhaupt messen und beschreiben zu können, muss es neben der Experimentalsituation auch eine Vergleichssituation geben, in der die Maßnahme nicht wirkt, die sich ansonsten jedoch durch nichts von der Experimentalsituation unterscheidet (Kromrey, 2009, S. 89).

Gütekriterien

Den Wert eines empirischen Versuchsverfahrens, also die wissenschaftliche Brauchbarkeit, wird anhand von Gütekriterien bestimmt. Man unterscheidet dabei Hauptgütekriterien (Objektivität, Validität, Reliabilität) und Nebengütekriterien (Utilität, Praktikabilität, Normierung). Was diese Gütekriterien messen und wodurch sie charakterisiert sind, ist in der Folge nach Warwitz (1976, S. 27ff) ausgeführt.

Objektivität Objektivität meint „den Grad der Unabhängigkeit der Versuchsergebnisse von der Person des Versuchsleiters, von der Aufgabenstellung und zufälligen Außeneinflüssen. Dabei wird zwischen Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität unterschieden.“ (Ebd.)

Validität Unter Validität versteht man nach Warwitz „den Grad der Genauigkeit, mit dem ein Experimentalverfahren die Faktoren mißt, die es messen soll“ (ebd., S. 28). Die Hauptaufgaben der Validitätsbestimmung bestehen darin, zu prüfen, ob ein angewendetes Verfahren überhaupt für die Untersuchung zuständig ist und ob dessen Differenzierungsfähigkeit als Messinstrument ausreicht (ebd.).

Reliabilität Die Reliabilität ist ein formales Gütekriterium, welches die Verlässlichkeit, Konsistenz und Stabilität eines Versuchsverfahrens bewertet (ebd., S. 29). Fehlerhafte Messgeräte wären ein offensichtliches Beispiel für geringe Reliabilität, zumal Messwerte so verfälscht und damit nicht vergleichbar werden.

Utilität, Praktikabilität, Normierung Jedes Experiment wirft auch die Frage nach der Brauchbarkeit bzw. Nützlichkeit (für die Gesellschaft, die Wissenschaft, einzelne Personen) auf. Die Utilität beurteilt somit, wie lohnend ein Experiment ist (ebd., S. 30). Ebenso offensichtlich ist die Frage nach der Praktikabilität eines Experiments. Dabei werden Aspekte wie Benutzbarkeit, Durchführbarkeit und Auswertbarkeit des Versuchsverfahrens, wie auch der Aufbau, Anweisungsmodalitäten und verwendete Apparaturen berücksichtigt (ebd.). Normen ergeben sich aus umfangreichen Erhebungen und sind als Leitwerte und Bezugssystem zu beachten. Insbesondere bei kleinen Stichproben ist das Heranziehen von Normwerten zur relativen Positionsbestimmung innerhalb einer Grundgesamtheit unvermeidbar (ebd.).

Design eines Experiments

Das Design eines Experiments zeichnet sich schließlich nach Kromrey (2009, S. 89) durch folgende Merkmale aus:

- „Es existiert eine Experimentalgruppe G_1 , die dem ‚treatment‘ bzw. dem experimentellen ‚Stimulus‘, also der auf ihre Auswirkungen zu untersuchenden Maßnahme, ausgesetzt wird.“
- „Es existiert eine in allen wesentlichen Merkmalen äquivalente Kontrollgruppe G_2 , die dem experimentellen Stimulus nicht ausgesetzt wird, die also vom ‚treatment‘ verschont bleibt.“
- „In beiden Gruppen werden vor dem Zeitpunkt des treatments und ausreichende Zeit danach die Ausprägungen der abhängigen Variablen (also der Merkmale, bei denen man Auswirkungen durch das ‚treatment‘ erwartet) gemessen.“
- „Stimmen vor dem ‚treatment‘ in der Experimental- und in der Kontrollgruppe die Verteilungen der abhängigen Variablen überein (was bei äquivalenten Vergleichsgruppen der Fall sein sollte) und sind nach dem ‚treatment‘ Unterschiede zwischen den Gruppen feststellbar, dann werden diese Unterschiede als Effekte interpretiert (d. h. als Auswirkungen der experimentellen Stimuli).“

Um die Wirkung häufig auftretender unbekannter Störfaktoren aufzuheben, empfiehlt sich ein *randomisiertes* Vorgehen. Dies bedeutet nicht, dass die Teilnehmer an sich zufällig ausgewählt werden, sondern dass diese zufällig in eine Versuchs- oder Kontrollgruppe eingeteilt werden. Die Versuchspersonen können durchaus vor der Randomisierung nach gewissen Kriterien sortiert (Alter, Geschlecht, ...), und anschließend gleichmäßig und mit Hilfe eines Zufallsverfahren aufgeteilt werden (Kromrey, 2009, S. 90).

2.4. Gliederung der Arbeit

In *Kapitel 1* und *2* sind die Motive für die Wahl des Themas sowie die daraus resultierenden Fragestellungen, Ziele und Vorgehensweisen beschrieben. In der Einleitung werden sowohl persönliche als auch thematische Schlüsselmomente im Bereich VR beschrieben. Daraus wird die zu bearbeitende Fragestellung dieser Arbeit abgeleitet und festgelegt sowie durch Subfragen ergänzt. Außerdem werden die angewandten Methoden beschrieben und die Art der Informationsbeschaffung festgehalten.

Eine umfassende Sichtung des derzeitigen technischen und wissenschaftlichen Standes soll die Gegebenheiten und Möglichkeiten von VR in *Kapitel 3* zusammenfassen. Dabei werden neben den Grundlagen und technischen Aspekten vor allem auch für den Sport relevante Ansätze von VR, etwa im Bewegungslernen, diskutiert.

In *Kapitel 4* werden die physiologischen und psychologischen Voraussetzungen von Bewegung und motorischem Lernen genauer behandelt. Dabei spielen sowohl die *motorische Kontrolle* bzw. die *Bewegungskoordination*, die *Bewegungsqualität* und das *motorische Gedächtnis* eine wichtige Rolle. *Visuomotorisches Lernen* und *Videoinstruktion* sind vor allem hinsichtlich der empirischen Untersuchung von entscheidender Bedeutung. Da es sich um ein visuelles Instruktionsinstrument handelt, werden Einflussfaktoren und Einflussmöglichkeiten bestimmt.

Schließlich wird in *Kapitel 5* ein visuomotorischer Lernweg zum Jonglieren mit drei Bällen erstellt, angewandt und ausgewertet.

3. Virtual-, Augmented- und Mixed-Reality

3.1. Geschichtlicher Abriss

In einem geschichtlichen Überblick über Vorreiter und Meilensteine von Virtual Reality werden die Entstehungsgeschichte und der Werdegang dieser Technologie beleuchtet. Als Grundlage dafür dient neben Zeitungsberichten und Internetartikeln vor allem das Buch *Virtual Reality Technology* von Burdea und Coiffet (1993).

Die dreidimensionale Darstellung einer Umgebung, wie auch immer dies verwirklicht wird, kann als ein charakteristisches Merkmal von VR-Anwendungen gesehen werden. Diesbezüglich kommt vor allem der Entwicklung des Stereoskops im Jahr 1838 eine grundlegende Bedeutung zu. Der britische Physiker Charles Wheatstone nutzte dabei die Tatsache, dass das menschliche Auge zwei Bilder wahrnimmt und das Gehirn diese zu einem dreidimensionalen Bild zusammenfügt. Mit Hilfe spezieller Spiegel werden beim Stereoskop ebenso zwei leicht versetzt aufgenommene Bilder betrachtet, sodass diese räumlich wirken. Heutige 3D-Brillen nutzen im Grunde dasselbe Prinzip, ermöglichen allerdings das Betrachten unterschiedlicher Medien, wie etwa Videos oder gänzlich computergenerierter Umgebungen (Bock, 2015).

Schon seit den 1960er Jahren wird mit Virtual Reality geforscht und gearbeitet (Burdea & Coiffet, 1993, S. 5). Einer der Pioniere im Bereich der virtuellen Realität war Morton Heilig, der mit seiner Erfindung *Sensorama Simulator* erstmals ein multisensorisches 3D-Video-System entwickelte. Dieses System simulierte Wind, Gerüche, Bewegung, Farbe, Ton und mittels eines speziellen Stuhls sogar Vibrationen, wodurch etwa eine Motorradfahrt durch New York nachgestellt werden konnte. Ein am Kopf getragener Fernseher ist ebenfalls ein

bemerkenswertes Projekt dieser Zeit. Heilig, der eigentlich Filmmacher war, wurde für seine Ideen damals jedoch kaum beachtet oder nur belächelt und konnte keine Investoren für seine Technologie finden (Burdea & Coiffet, 1993, S. 6).

Im Jahr 1966 entwickelte Ivan Sutherland ein *Head Mounted Display*, das als Prototyp eines HMD gilt. Mit heutigen Modellen ist diese Brille jedoch höchstens bezüglich Aufbau oder Design vergleichbar. Die ersten animierten virtuellen Simulationen von Evans und Sutherland aus dem Jahr 1973 konnten in einer Szene lediglich 200-400 Polygone darstellen, wobei jedes Bild 50ms benötigte, um berechnet und dargestellt zu werden. Somit wurden etwa 20 Bilder pro Sekunde dargestellt, wobei ein Minimum von 16 Bildern pro Sekunden nötig ist, um einen fließenden Ablauf zu gewährleisten. Komplexere Szenen mit einer höheren Polygonzahl litten demnach unter einer zu langsamen und geringen Bildfrequenz (Burdea & Coiffet, 1993, S. 7).

Das Militär war schon früh an dieser neuen Technologie interessiert, um damit die vorhandenen teuren, auf einen bestimmten Flugzeugtyp angepassten, analogen Simulatoren durch digitale Simulatoren zu ersetzen. Damit erhoffte man sich eine im Vergleich zu den Kosten von einer Million Dollar für einen analogen Simulator massive Kostenreduktion (Burdea & Coiffet, 1993, S. 8).

Auch die NASA begann rasch, diese virtuellen Simulatoren für ihre Zwecke zu nutzen. Für das Astronautentraining müssen außergewöhnliche Bedingungen simuliert werden was nun mit Hilfe von VR erreicht werden konnte. 1981 entwickelte die NASA ein LCD-Display - das *Virtual Visual Environment Display* (VIVED) -, welches auch die Grundlage für heutige VR-Brillen bildet, und erweiterte dieses schließlich zum ersten vollständigen VR-System. Dieses zeichnete Kopfbewegungen auf und passte die durch zwei Grafikprozessoren berechneten Bilder entsprechend an. 1985 stieß Scott Fisher zu dem Projekt dazu und entwickelte einen Datenhandschuh. Drei Jahre später war es bereits möglich, Klänge so zu simulieren, dass diese beim Bewegen des Kopfes aus der entsprechenden Richtung kamen. Das Projekt wurde damit in VIEW (Virtual Interface Environment Workstation) umbenannt, zumal jetzt nicht mehr nur eine künstliche Umgebung betrachtet, sondern auch mit dieser interagiert werden konnte (Burdea & Coiffet, 1993, S. 10).

Virtual Reality war somit vor allem in Hochtechnologie-Unternehmen schon früh ein bedeutender und vielversprechender Ansatz, um unter möglichst realistischen Bedingungen günstig trainieren zu können.

Die ersten kommerziellen VR-Produkte wurden von der Firma *VPL Inc.* im Jahr 1987 verkauft. Der Gründer, Jaron Lanier, prägte den Begriff „Virtual Reality“ und fasste darunter Projekte zusammen, die interaktive und dreidimensionale Zugänge zu einer neuen Welt boten. Ein *DataGlove* und das erste HMD, das *EyePhone*, waren dabei die Werkzeuge der Entwickler und Anwender (Burdea & Coiffet, 1993, S. 11).

Die Unterhaltungsindustrie war und ist ein wichtiges Zugpferd in der Entwicklung von neuen VR-Systemen. Nintendo wagte mit einer VR-Brille, dem *Virtual Boy*¹, bereits 1995 einen ersten Versuch. Das System von *Nintendo* sowie auch jenes von *SEGA*², das 1994 zum Kauf angepriesen wurde, waren jedoch unausgereift und deshalb kaum erfolgreich. Zum Teil wurden die Projekte sogar noch vor der effektiven Marktreife verworfen (Burdea & Coiffet, 1993, S. 12).

Im Grunde war VR somit lange nur für ausgewählte Unternehmen oder Forscher verfügbar und der kommerzielle Erfolg hielt sich in Grenzen. Dennoch sagte Rheingold (1995) in seinem Buch *Virtuelle Welten. Reisen im Cyberspace* voraus, dass VR einmal eine bedeutende Rolle spielen wird:

In der Zukunft wird man solche Erlebnisse mit weniger aufwendigen Technologien erzeugen können. Die Computer werden immer leistungsfähiger und zugleich preiswerter, sodass die Erfahrungen noch wirklichkeitsgetreuer sein werden. Immer mehr Menschen werden dann in der Lage sein, in ihren Genuß zu kommen. (Rheingold, 1995, S. 16)

Burdea und Coiffet berichten zudem Anfang der 1990er Jahre von einer regelrechten Flut an Neuigkeiten bezüglich VR und einer potenziellen Millionen Dollar Industrie (Burdea & Coiffet, 1993, S. 1). Die Systeme waren jedoch für den privaten Gebrauch zu teuer oder zu unausgereift und das Interesse schien vorerst einmal geringer zu werden.

¹Radke, 2016.

²Sega VR, 2016.

Die Entwicklung der *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE) war und ist eines der wichtigsten und erfolgreichsten Projekte und bildet die Grundlage für unterschiedlichste wissenschaftliche Studien und Anwendungen zum Thema Virtual Reality. 1992 wurde die CAVE erstmals auf der SIGGRAPH (Special Interest Group on Graphics and Interactive Techniques)-Konferenz vorgestellt und schließlich an mehreren Standorten—u. a. am ARS Electronica Center in Linz (Pape, 1997)—umgesetzt. Dabei befindet sich der Nutzer bzw. die Nutzerin in einer Art Würfel, der eine 360°-Visualisierung der virtuellen Umgebung erlaubt (Pape, 2001). Genaueres zur CAVE folgt in *Kapitel 3.3*.

Spätestens seit Beginn des neuen Jahrtausends ist aufgrund der rasanten technologischen Entwicklungen und der damit einhergehenden Verkleinerung und gleichzeitigen Verbesserung der Hardware eine solide Grundlage für funktionelle und leistungsstarke VR-Systeme zu sehen. Die Realisierung komplexer und hochwertiger VR-Anwendungen geht mit der Entwicklung neuartiger *Head Mounted Displays* einher. Diese ermöglichen, wie auch schon das Stereoskop, die Darstellung zweier separater Bilder (3D-Effekt) und registrieren zudem die Kopfbewegungen, sodass das Blickfeld selbstbestimmt und mit nur geringfügiger Verzögerung dargestellt wird. *Motion Tracking Systeme*, wie sie durchaus schon länger bei Spielkonsolen eingesetzt werden (z. B. Microsoft Kinect für Xbox One³), als auch neue Varianten, wie der *Cyberith Virtualizer*⁴ oder *PrioVR*⁵, ergänzen diese Brillen zu komplexen und ausgereiften VR-Systemen. Details zu den Systemen findet der Leser in *Kapitel 3.3*.

Zsolt (2015) berichtet eindrucksvoll von der finalen Version der VR-Brille *Oculus Rift* in Verbindung mit den Bewegungscontrollern *Oculus Touch*. Auf intuitive Art und Weise kann der Nutzer/die Nutzerin damit in virtuellen Welten Greifbewegungen durchführen und mit anderen Nutzern interagieren. Vor allem die bislang kaum mögliche Darstellung und Nutzbarkeit der Hände ist hierbei hervorzuheben.

Um das gestiegene Interesse an VR zu verdeutlichen, wird in *Abbildung 3.1* das Suchverhalten von Internetnutzern zum Thema 'Virtual Reality' dargestellt. Ein Anstieg der Kurve beschreibt dabei einen relativen Anstieg des Suchbegriffs

³Microsoft, 2016.

⁴Cyberith, 2016.

⁵PrioVR, 2016.

'Virtual Reality' in Bezug zu allen Suchanfragen auf *Google*. Die Buchstaben kennzeichnen besondere Nachrichten zum Thema.

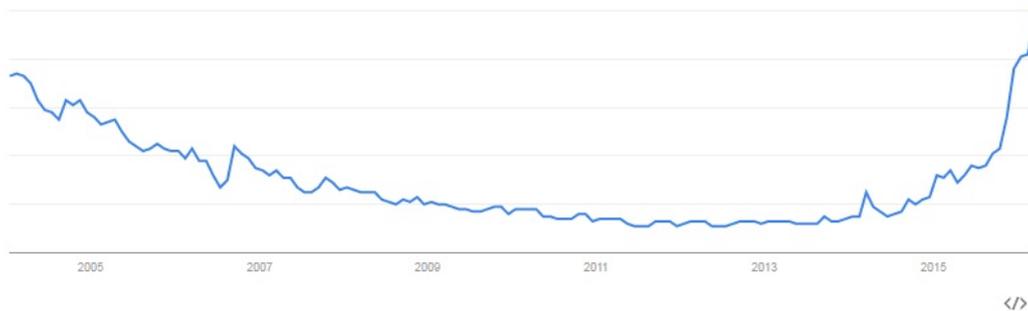


Abbildung 3.1.: Die Zahlen stellen das Suchinteresse relativ zum Höchstwert im Chart dar. Falls der Höchstwert der Suchanfragen für eine bestimmte Region und einen bestimmten Zeitrahmen bei 10 % für „Pizza“ lag, würden wir diesen Prozentwert mit 100 bezeichnen. Diese Angaben spiegeln nicht das absolute Suchvolumen wider (GoogleTrends, 2015)

Eine Vielzahl von Test-, Zeitungs- und Erfahrungsberichten (vgl. u. a.: Zsolt, 2015; Wingfield, 2015; Futurezone, 2016b) zeigt zudem das große Interesse und das enorme Potential von aktuellen bzw. angekündigten Systemen und belegt, dass die schon lange erwarteten Anwendungen heute vernünftig umgesetzt werden können.

3.2. Begriffsbestimmung

3.2.1. Virtual Reality (VR)

Was genau ist eigentlich gemeint, wenn man von Virtual Reality-Systemen spricht? Ist ein Rennspiel auf einem Spielautomaten in einer Spielhalle, eine Spielkonsole mit „Motion Tracking System“ oder ein Flugsimulator Virtual Reality oder doch nicht? Diese Frage muss zuerst geklärt werden um klar darzulegen, was in dieser Arbeit unter dem Begriff 'Virtual Reality' (VR) zu verstehen ist. Etymologisch betrachtet, beinhaltet und vereint der Terminus 'Virtual Reality' zwei Begriffe: *Virtual* (dt.: *fiktiv*) wurde im Englischen im Zusammenhang mit Spiegeln schon früh verwendet. Ein *virtual image* ist das im Fall des Spiegels

sehr realistische, aber dennoch nicht zu berührende Abbild. *Reality* (dt.: *die Realität*) weist auf eine (möglichst gut simulierte) Umgebung hin, welche realistische Interaktionen unter ebensolchen (z. B. physikalischen) Bedingungen ermöglicht.

Definition

„Virtual Reality is a high-end user-computer interface that involves real-time simulation and interactions through multiple sensorial channels. These sensorial modalities are visual, auditory, tactile, smell, and taste.“ (Burdea & Coiffet, 1993, S. 3)

Es wird also versucht, eine künstliche Realität zu erzeugen, in der realistische Erfahrungen gemacht und gewohnte Handlungen vollzogen werden können. Anhand dieser Definition wird klar, dass VR-Systeme ganzheitliche Simulationen der Realität sind und somit völlig unabhängig von realen Bedingungen und Umgebungen ablaufen können. Das erklärte Ziel ist jedoch, die Wirklichkeit möglichst gut abzubilden und etwa physikalische Eigenschaften realistisch einzubinden oder auch taktile Rückmeldungen zu ermöglichen.

Um über die Qualität und die Merkmale solcher Systeme sprechen zu können, müssen vor allem die Begriffe 'Immersion', 'Interaktion' und 'Imagination' (die drei I (I^3)) beachtet werden (Burdea & Coiffet, 1993, S. 3). Das Level, auf dem jeder dieser Bereiche umgesetzt und in der Folge empfunden wird, bestimmt, wie realitätsnah die Applikation wirkt. Um diese Annahme zu belegen und zu erklären, werden im Folgenden die drei Begriffe ausführlicher erörtert.

A VR system's level of immersion depends only on the system's rendering software and display technology (including all types of sensory displays). Immersion is objective and measurable—one system can have a higher level of immersion than another. Presence, on the other hand, is an individual and context-dependent user response, related to the experience of 'being there'. Different users can experience different levels of presence with the same VR system; and a single user might experience different levels of presence with the same system at different times, depending on state of mind, recent history, and other factors. (Bowman & McMahan, 2007, S. 38)

Immersion, Interaktion und Imagination Immersion meint, wie eindringend eine Situation objektiv gesehen sein kann. Hoch immersive Anwendungen erlauben einen hohen Grad an subjektiver Präsenz. Präsenz ist als Grad des „Eintauchens“ in eine virtuelle Umgebung zu verstehen (Burdea & Coiffet, 1993, S. 3). Dieses Eintauchen in eine fiktive Welt ist schon bei Videospiele, Filmen oder auch beim Lesen eines Buches üblich, verlangt jedoch je nach Abstraktheit der Darstellungsform ein unterschiedliches Maß an subjektivem Vorstellungsvermögen.

Immersion wird dabei in erster Linie durch die visuelle Darstellung der virtuellen Umgebung bestimmt und umfasst diesbezüglich mehrere Komponenten (Bowman & McMahan, 2007, S. 38):

- die Größe des Blickfeldes (FOV—field of view)
- die gesamte Größe der Umgebung (FOR—field of regard)
- die Größe des Displays
- die Auflösung des Displays
- Stereoskopie (Dreidimensionale Bilder durch zwei versetzte zweidimensionale Bilder)
- Kopf-gesteuertes Rendering (das Blickfeld ändert sich je nach Orientierung des Kopfes)
- Licht- und Schatten/ -Komplexität

Die visuelle Darstellung alleine bestimmt jedoch nicht den Grad der Immersion. Interaktionsmöglichkeiten mit der Umgebung und persönliche Voraussetzungen sind ebenfalls entscheidende Faktoren, wenn für den Nutzer/ die Nutzerin eine künstliche Umgebung oder Situation echt erscheinen soll (Bowman & McMahan, 2007, S. 38).

Interaktion meint den Grad der zur Verfügung stehenden wechselseitigen Handlungsmöglichkeiten mit der Umgebung oder Teilen davon. Je mehr und je natürlicher Interaktionen möglich sind, desto realistischer wirken virtuelle Umgebungen (Burdea & Coiffet, 1993, S. 4).

Imagination bezieht sich im Gegensatz dazu auf das subjektive Vermögen, (abstrakte) Umgebungen als realistisch zu erkennen und selbst ein Teil dieser virtuellen Welt zu sein. Immersion, Interaktion und Imagination stehen dabei in wechselseitiger und abhängiger Beziehung. Eine Umgebung wirkt umso immersiver, je realistischer die Interaktionsmöglichkeiten sind. Eine realistisch dargestellte Umgebung verlangt wiederum weniger Imaginationsfähigkeit des Nutzers als eine abstrakte (Burdea & Coiffet, 1993, S. 4).

3.2.2. Augmented und Mixed Reality (AR, MR)

Das Einbeziehen von künstlich generierten Informationen in die Wahrnehmung einer realen Umgebungen wird als 'Augmented' oder 'Mixed Reality' bezeichnet (Capozzi, Lorizzo, Modoni, & Sacco, 2014, S. 234). AR-Applikationen integrieren die Wirklichkeit in die virtuelle Welt oder erweitern die Realität um zusätzliche Informationen. *Augmented* bedeutet übersetzt so viel wie 'vermehrt', 'vergrößert' oder 'erweitert'. AR kann demnach als 'erweiterte Realität' verstanden werden.

Das Einblenden der zu erreichenden Weiten beim Skispringen ist ein bekanntes Beispiel für AR. Smartphones mit passenden Programmen zum Erkennen von Bergen oder Sternbildern sind weitere mögliche und bekannte Anwendungsmöglichkeiten mit großem Potenzial und Nutzen. Das Ziel von AR-Anwendungen liegt im allgemeinen jedoch darin, Informationen direkt—etwa über eine Brille—in das Blickfeld des Nutzers einzublenden. An solchen Brillen, die in Form und Größe einer Sonnenbrille ähnlich sind, wird bereits intensiv geforscht. Ein bekanntes Beispiel dafür ist die von Google entwickelte bzw. in Entwicklung befindliche Brille *Google Glass*. Zwar schaffte es die erste Version nicht die Erwartungen zu erfüllen und verschwand noch vor der Marktreife, jedoch ist eine neue Version der Brille für Ende des Jahres 2015 angekündigt worden (Engelien & Schmidt, 2015). Bis heute (Juni 2016) ist jedoch immer noch nur die *Explorer-Edition* – und selbst diese kann nur importiert oder gemietet werden – erhältlich. Wesentlich bedeutender scheint ohnehin die AR-Brille von Carl Zeiss zu werden, bei der es nun erstmals gelungen ist, ein Bild unauffällig auf das gewölbte Glas einer Brille zu projizieren, wobei kein Prisma vorgelagert sein muss, wie dies bei Googles Brille der Fall ist (Futurezone, 2016a).

Interaktionen sind bei AR-Anwendungen insofern möglich, dass sich die angezeigten Informationen nach Position bzw. Blickrichtung entsprechend ändern. Um die virtuellen Informationen geometrisch korrekt in die echte Welt integrieren zu können muss ein AR-System die relevanten Objekte also in beiden Welten erkennen und verfolgen. Hierin ist auch der entscheidende Unterschied zu VR zu sehen. In VR-Umgebungen sind die Positionen der Objekte eindeutig festgelegt während bei AR-Anwendungen die sich ständig ändernde Umwelt mit den passenden virtuellen Informationen verknüpft werden muss (Capozzi u. a., 2014, S. 234).

AR has been applied, in some cases with success, to many fields, from marketing to architecture, from industrial to military applications. The common concept to aforementioned areas is that AR is used to increase the amount of information contained in the real world scene, for instance by adding objects, colors or text. (Capozzi, Lorizzo, Modoni, & Sacco, 2014, S. 234)

3.3. Aktuelle Technologien zur Umsetzung von VR-Anwendungen

Welche Möglichkeiten gibt es heute zur Darstellung einer virtuellen Umgebungen bzw. zur Interaktion mit einer solchen? Dazu werden in der Folge vor allem für den privaten Gebrauch bereits oder bald erhältliche Systeme thematisiert und anhand von verschiedenen Internetquellen⁶ und Herstellerinformationen verglichen.

3.3.1. Anzeigegeräte

Es sind vor allem zwei Zugänge bezüglich der Darstellung einer virtuellen Umgebung zu finden, die sich in ihrer Herangehensweise grundsätzlich voneinander unterscheiden und je nach Ziel unterschiedlich gute Anwendungsmöglichkeiten erlauben.

⁶VRBrillen.net, 2015; Wingfield, 2015; Uthe, 2014.

1. Die CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)

Die CAVE ist ein Würfel, bei dem die virtuelle Umgebung auf die Innenseite projiziert und abgebildet wird und der somit ein 360°-Blickfeld für den Nutzer bietet. Mittels leichtgewichtiger Stereo-Brillen wird ein 3D-Effekt erzeugt. Die Kopf- und Handbewegungen werden dabei registriert, um die dargestellte Umgebung entsprechend anzupassen bzw. Interaktion zu ermöglichen. Die Daten können zudem aufgezeichnet und für die spätere Analyse gespeichert werden, womit die CAVE ein gutes Gesamtkonzept bei der Entwicklung und Forschung von VR-Anwendungen bietet (Pape, 2001).

2. Head Mounted Display (HMD)

HMDs sind am Kopf getragene Grafik-Ausgabegeräte. Heute sind diese oft standardmäßig mit Bewegungssensoren ausgestattet, wodurch Bewegungen des Kopfes (beinahe) in Echtzeit berücksichtigt werden können. Ob Smartphone, das mit dem passenden Adapter zur VR-Brille wird—im Falle des *Google Cardboard* ist dieser Adapter aus Karton—, oder speziell entwickelte Brillen, der Fortschritt bei den HMDs ermöglicht heute vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für die breite Masse.

Im Falle des *Google Cardboards* wird die Anzeige des Smartphones mittels einer kostenlosen Anwendung in zwei Teile geteilt (linkes Auge, rechtes Auge) und mit Hilfe der Linsen eine dreidimensionale Umgebung dargestellt. Wegen der Bewegungssensoren (Kompassfunktion des Handys) sind selbst hier beeindruckende Ergebnisse möglich.

Das HMD von *Oculus Rift* gilt als Vorreiter und derzeit wohl bedeutendstes Produkt (Futurezone, 2016b). Da dieses im Rahmen dieser Arbeit eingesetzt wird, werden die Eigenschaften und Merkmale dieser VR-Brille in der Folge genauer ausgeführt.

Oculus Rift

Wie eingangs bereits erwähnt, wurde die Firma *Oculus* rund um Chefentwickler Palmer Luckey von der Firma *Facebook* gekauft und ist die derzeit wohl bekannteste VR-Brille am Markt. Mittlerweile ist die zweite (Entwickler-)Version der

Brille zu erwerben und die *Consumer Version* ist für das erste Quartal 2016 angekündigt. Die Brille ist aktuell mit Bewegungssensoren ausgestattet und bietet eine Auflösung von 1080x960 Pixel pro Auge, bei einem Blickwinkel von 120°.

Die seit 2012 erhältliche erste Version des HMD (*Dev Kit 1*) wurde um einige Funktionen erweitert und verbessert. So hat die zweite Generation (*Dev Kit 2*) ein HD-Display, eine Infrarotkamera zur Registrierung der Bewegungen des Nutzers und ist mit der *low-persistence*-Technologie ausgestattet. Diese Technologie war ein entscheidender Schritt, um Bewegungsunschärfen zu minimieren. Im Grunde werden dabei die immer stattfindenden Mikrobewegungen gefiltert, indem nach dem Anzeigen eines Bildes die Pixel sofort auf schwarz gestellt werden und erst bei der nächsten registrierten Bewegung (welche ja immer stattfindet) ein neues Bild dargestellt wird. Der Nutzer erkennt diese schwarzen Pixel dabei nicht und Schlieren bei Bewegungen sind damit weitestgehend beseitigt. Die Bewegungen des Kopfes möglichst ohne Verzögerungen darzustellen, ist vor allem wegen der sonst häufig auftretenden Symptome wie Übelkeit und Schwindel (motion sickness) ein wichtiger Faktor. Ermöglicht wird diese präzise Aufzeichnung und Verarbeitung der Kopfbewegungen durch eine Infrarotkamera. Zwei USB 2.0-Anschlüsse sowie ein Audio-Anschluss bieten die Möglichkeit, weitere Peripherie anzuschließen. Ein einzelnes Kabel mit USB-Stecker für den Strom sowie HDMI Stecker für die Videoübertragung, hält die Zahl der Kabel auf einem minimalen Niveau (Uthe, 2014).

Die wichtigsten Funktionen der Oculus Rift Dev Kit 2 sind gemäß Bloch (2014):

- Positionstracking dank eigens entwickelter Kamera
- Auflösung von 960x1080 Pixel pro Auge
- USB- und Audio-Anschlüsse am Headset
- *Low-persistence*-Technologie

3.3.2. Motion Tracking (MT)

Die Position des Kopfes wird von HMDs heute meist registriert. Sollen jedoch auch andere Körperbewegungen integriert werden, so werden zusätzliche Systeme

me zur Verarbeitung von tatsächlichen Bewegungen benötigt. Unterschiedliche Systeme können dabei helfen, alle oder ausgewählte Bewegungen zu erfassen und gegebenenfalls in die virtuelle Welt zu übertragen und darzustellen. Das Einbeziehen der eigenen Bewegungen in Echtzeit ist ebenso wie die Registrierung der Kopfbewegungen unumgänglich, wenn ein maximaler Grad an Immersion und Realismus angestrebt wird. Die Umgebung kann noch so realistisch dargestellt sein, eine fehlende Abbildung der Arme und Hände oder auch des eigenen Körpers zerstört die Illusion.

Ebenso wie bei den HMDs gibt es bereits einige Ansätze und Lösungen zur Aufzeichnung und Verarbeitung von Bewegungen. Passive Systeme arbeiten meist mit Videokameras, welche die Bewegungen aufzeichnen und in die Anwendung integrieren. Der große Vorteil dieser Systeme liegt darin, dass sie ohne Joysticks oder Controller auskommen und zudem viele Details aufzeichnen können. Finger können beispielsweise einzeln registriert und dargestellt werden. Ein Nachteil ist die meist relativ große Latenzzeit, welche gerade bei schnellen Bewegungen zu Problemen führen kann.

Aktive Systeme verwenden Sender oder Sensoren, die am Körper angebracht werden und die Bewegungen aktiv registrieren. Dazu muss an allen Knotenpunkten der Bewegung ein Sensor angebracht sein, was je nach Größe und Anzahl solcher Sensoren die Bewegungsfreiheit einschränken kann. Aktive Systeme bieten dafür eine präzisere und schnellere Übertragung der Bewegung.

Aktuelle MT-Hardware, die auch in der Forschung Anwendung findet bietet etwa *XSENSE*⁷, *PrioVR*⁸ oder *LeapMotion*⁹. Welche Vor- und Nachteile diese Systeme aufweisen, wird kurz anhand von technischen Merkmalen erklärt.

Xsense

Die Firma *XSENSE* bietet zwei Varianten zur Registrierung der Bewegungen. Einen Anzug mit 17 integrierten, kabelgebundenen Sensoren und ein Armband-basiertes System mit 17 kabellosen Sensoren. Laut Herstellerangaben übertragen die Systeme Bewegungen mit 20-30ms Verzögerung. Beide Systeme erlauben

⁷XSENSE, 2016.

⁸PrioVR, 2016.

⁹LeapMotion, 2016.

uneingeschränkte Bewegungsfreiheit und bieten somit eine Vielzahl an Anwendungsmöglichkeiten (XSENSE, 2016).

PrioVR

PrioVR bietet ebenfalls einen 17-Sensor-Anzug und richtet sich damit sowohl an Spieler als auch an Projekte für professionelle Bewegungsanalysen. Das Entwicklermodell bietet zudem auch zwei Joysticks zum Bewegen und Interagieren in und mit der virtuellen Umgebung (PrioVR, 2016).

LeapMotion

LeapMotion ist ein Kamera-System das auf dem HMD befestigt wird. Dadurch wird vor allem das Einbeziehen der eigenen Hände in die virtuelle Umgebung angestrebt. Die Kamera zeichnet Bewegungen innerhalb eines Horizontalwinkels von 135° auf (wohingegen das HMD von *Oculus* nur ein Sichtfeld von 100° aufweist). Dies soll das uneingeschränkte Nutzen der Hände ermöglichen. Je nach Systemkonfiguration liegt die Latenzzeit zwischen 30 und 80ms. Nur Top-Computersysteme sind in der Lage, solch geringe Verzögerungen wie die vorher genannten Systeme zu bewältigen (LeapMotion, 2016).

Die Produkte von *XSENSE* und *PrioVR* liefern gute und umfangreiche Möglichkeiten zur Registrierung von Bewegungen. Beide Systeme übertragen nahezu alle Bewegungen, haben eine kurze Übertragungszeit und schränken den Nutzer kaum in der Bewegungsfreiheit ein. Die hohe Latenzzeit von *LeapMotion* kann vor allem bei schnellen Bewegungen zum Problem werden. Dass nur die Arm- und Handbewegungen registriert werden, schränkt die Einsetzbarkeit zusätzlich ein. Denkt man etwa an Wurfbewegungen, so ist klar, dass gerade im Sport selbst einfache Bewegungen oft außerhalb des registrierten Bereichs von 135° stattfinden (vgl. Bedikian, 2013).

3.4. Klassifizierung von VR-Applikationen

3.4.1. Einteilung nach Immersionsgrad

Wie bereits erwähnt, ist bei der Frage nach der Qualität von VR-Systemen vor allem der Immersionsgrad einer VR-Umgebung entscheidend. Diesbezüglich können VR-Anwendungen auch unterschieden werden. Am unteren Ende der Skala sind Anwendungen zu finden, die streng genommen gar nicht als VR bezeichnet werden dürften. Da diese die Grundidee von VR zum Teil erfüllen, werden sie jedoch ebenfalls genannt. Eine derartige *Pseudo-VR*-Anwendung wird auch im empirischen Teil dieser Arbeit eine entscheidende Rolle spielen. Beginnend bei den Anwendungen mit geringstem Immersionsgrad sind in der Folge deren Charakteristika in Anlehnung an Menzel (2004) ausgeführt.

Pseudo- und Desktop-VR

Vorstufen und einfache Formen von VR-Anwendungen werden als *Pseudo-VR* oder *Desktop-VR* bezeichnet. Unter *Pseudo-VR* versteht man „vorberechnete VR-Umgebungen, die keine Echtzeit-Darstellung bieten“ (Menzel, 2004, S. 4). Wegen des geringen Grades an Immersion spricht man hierbei oft von der passiven Ebene. Die Anwendungen beschränken sich meist auf audiovisuelle Darstellungen von künstlichen Umgebungen. Der Nutzer befindet sich in einer künstlichen Welt, die jedoch nicht direkt steuerbar ist. *Pseudo-VR* wird oft in der Architektur eingesetzt, um die Betrachtung und Begehung von computergenerierten Gebäuden zu ermöglichen. Interaktionen sind dabei nicht von Bedeutung. Alleine eine realistische Darstellung wird angestrebt, was diese von herkömmlichen Darstellungen auf Bildschirmen unterscheidet.

Als bekanntes Beispiel sind auch 3D-Filme als *Pseudo-VR*-Anwendung zu nennen. Es fehlt dabei jegliche Art der Interaktion und somit können diese streng genommen nicht als VR-Anwendung bezeichnet werden. Ein Video, welches die Möglichkeit bietet, ein beliebiges Blickfeld zu betrachten, kann jedoch durchaus als VR-Anwendung gezählt werden.

Desktop-VR-Anwendungen erreichen mittels spezieller Shutterbrillen in Verbindung mit herkömmlichen Bildschirmen einen mittleren Grad an Immersion und

Interaktion und man spricht bereits von der „aktiven Ebene“ (Menzel, 2004, S. 5).

Immersive-VR

Anwendungen mit einem hohen Grad an Immersion und Interaktion bezeichnet man als *immersive-VR*-Anwendungen. Man verwendet sowohl intuitive Eingabegeräte als auch möglichst immersive Ausgabegeräte wie HMDs oder eine CAVE. Ziel ist die freie Bewegung des Anwenders in der virtuellen Welt, um einen hohen Grad an Immersion und Interaktion zu ermöglichen. Man spricht in diesem Fall von der „interaktiven Ebene“ (Menzel, 2004, S. 5).

Immersive-VR-Anwendungen stellen jene VR-Systeme da, die man sich im Allgemeinen darunter vorstellt. Sie erlauben eine höchst realistische Simulation einer fiktiven Realität, in der sich der Nutzer bewegen und mit (Teilen) der virtuellen Welt interagieren kann. Seit Beginn der Forschung mit VR war die Entwicklung von immersiven-VR-Systeme das erklärte Ziel. Bis auf die wenigen Unternehmen und Forschungseinrichtungen, die die entsprechende Rechnerleistung zur Verfügung hatten, konnten jedoch bis vor kurzem kaum Anwendungen entwickelt werden, die den Ansprüchen genügen. Die zu großen Verzögerungen bei der Übertragung der Informationen und die zu geringe Auflösung der Displays erzeugten eher Übelkeit als Realismus.

Mit der aktuellen Hardware entstehen unzählige immersive-VR-Anwendungen. Vor allem Hobby-Programmierer aber auch größere Unternehmen experimentieren mit VR und tragen dazu bei, dass immer bessere, an die neuen technischen Möglichkeiten angepasste Spiele entwickelt werden. *Vox Machinae* ist eines dieser herausragenden neuen Spiele, welches hier beispielhaft erklärt wird. Der Spieler befindet sich dabei innerhalb eines Roboters, welchen er mittels Controller steuern kann. Das Blickfeld kann mittels HMD frei gewählt und somit die Anzeigen im Roboter (Temperatur, Geschwindigkeit, Treibstoff uvm.) oder die Umgebung (durch das große „Cockpit-Fenster“ natürlich und intuitiv betrachtet werden. Ein großer Vorteil des Spiels liegt darin, dass sich die Position des „Commanders“ resp. des Nutzers innerhalb des Roboters nicht ändert. Durch diese Konstellation wird wenig Platz beim Spielen benötigt und zugleich eine höchst immersive Simulation geboten.

Inverse-VR

Inverse-VR-Anwendungen bieten einen völlig anderen Zugang. Hierbei taucht nicht der Nutzer in eine künstliche Welt ein, sondern umgekehrt: Bestimmte Anwendungen sollen dem Nutzer dabei in der Realität unterstützend zur Verfügung stehen, wodurch ein negativer Grad an Interaktion und Immersion entsteht. Physisch oder psychisch eingeschränkte Menschen können dadurch etwa verlorengegangene Funktionen zurückgewinnen. So könnten mittels Bewegungssensoren Gebärden (beinahe) in Echtzeit in gesprochene Sprache übersetzt werden. Eingabegeräte, die mittels bestimmter Muskel- oder Hirnaktivitäten angesteuert werden—Geräte mit Augensteuerung zur Kommunikation finden beispielsweise in der Behandlung und Rehabilitation von Patienten Verwendung (vgl. Deutsches Ärzteblatt, 2009)—, sind ein weiteres Beispiel für *inverse-VR*-Anwendungen (Menzel, 2004, S. 5).

3.4.2. Einteilung nach Anwendungsbereich

Ein zweite Unterscheidungsmöglichkeit ergibt sich aus den Anwendungsbereichen von VR-Systemen.

Simulation

- Militär

Speziell adaptierte kommerzielle Spiele zusammen mit professionellen Simulatoren bieten hervorragende Trainingsmöglichkeit für das Militär. VR kommt dabei in der Ausbildung, im Training sowie auch im Kampf zur Steuerung von unbemannten Drohnen zum Einsatz. Die US-Army hat bereits 1983 das *Distributed Interactive Simulation Network* (DIS) gegründet, welches die Simulation von Kriegszuständen zu Trainingszwecken ermöglicht. *STRICOM* (Simulation, Training and Instrumentation Command) ist ein neueres, mit hohem Budget ausgestattetes virtuelles Trainingsprogramm, das unter anderem als Vorbereitung für den Afghanistan Krieg herangezogen wurde. Das *Land Warrior Army Training*, nutzt sowohl VR als auch AR, um den Soldaten zusätzliche Informationen im Kampf zu bieten.

Piloten des US-Militärs trainieren schon länger mit dem *Microsoft Flight Simulator*. Hier wird mit Hilfe von besonderen Ein- und Ausgabegeräten ein sehr realistisches Training ermöglicht. Insgesamt profitiert das Militär also enorm von den technischen Entwicklungen im Bereich der VR, und umgekehrt auch die VR-Technologien vom militärischen Engagement in diesem Bereich (Menzel, 2004, S. 6).

Based on recent advances in communications, sensors, and materials, the Land Warrior System integrates commercial, off-the-shelf technologies into a complete soldier system. For the first time, the soldier's equipment is being designed as if he is an individual, complete weapons platform. Each subsystem and component is designed to and for the soldier. The result: the first integrated soldier fighting system for the dismounted infantryman. (FAS, 1999)

Burdea und Coiffet berichten zudem von einem virtuellen *Stinger Trainer* als Anwendung von VR in der Ausbildung von Soldaten (Burdea & Coiffet, 1993, S. 234).

- Medizinische Ausbildung

Rheingold (1995, 33ff) behandelt in seinem Buch *Virtuelle Welten* bereits die Idee der Röntgenbrille, die es dem Arzt ermöglichen soll, dreidimensionale Bilder vom inneren des Menschen zu sehen. In Anlehnung an Ultraschalluntersuchungen, wo 2-D-Bilder generiert werden, und der Computertomografie (CT), soll mittels HMD ein Echtzeitbild der inneren Organe dargestellt werden. Es sollte nach damaliger Einschätzung noch etwa fünf bis zehn Jahre dauern, bis die notwendige Rechenleistung vorhanden ist und mit der Realisierung des Projekts begonnen werden kann.

Heute, gut 20 Jahre später, sind einige der Visionen von damals Wirklichkeit. De Paolis (2014, S. 11) beschreibt im Rahmen der ersten Konferenz zu *Augmented and Virtual Reality* ausführlich, wie zusätzlich sichtbare Informationen einem Chirurgen die Arbeit bei offenen und minimal-invasiven Eingriffen erleichtern können. Operationen können demnach sowohl sicherer als auch schneller durchgeführt werden. Angehende Ärzte könnten zudem,

ähnlich wie Piloten am Flugsimulator, komplizierte Operationen trainieren oder anhand von virtuellen Patienten das Erstellen von Diagnosen lernen.

Jedoch nicht nur bei der Ausbildung von Ärzten sondern auch bei der Behandlung von Patienten kann VR sinnvoll eingesetzt werden. In der Spiegeltherapie, bei der Spiegel helfen, amputierte Gliedmaßen zu visualisieren, um Phantomschmerzen zu behandeln, ist das *virtual image* ein anerkanntes Behandlungsinstrument. Der Schritt, dies mittels VR-Brillen darzustellen, ist kein großer, wenngleich aufgrund möglicher motorischer Einschränkungen von Patienten sehr sinnvoll.

Catalan u. a. behandeln dazu ausführlich die Einsatzmöglichkeiten sowie Vor- und Nachteile von VR in der Neuromuskulären Rehabilitation. Sie widmen sich dabei vor allem der Frage, warum es besser sein könnte, etwas virtuell zu üben, als es tatsächlich durchzuführen. Als entscheidende Vorteile weisen diese dabei ein individualisiertes, aufgabenorientiertes Training, eine erhöhte Motivation sowie die Möglichkeiten eines umfangreichen Feedbacks aus (Catalan u. a., 2014, S. 257). Als Nachteil erweist sich bislang das Fehlen von Standards und der dadurch entstehende große Aufwand bei der Umsetzung von VR in der Rehabilitation. Auch die Kosten solcher Systeme sind demnach oft noch zu hoch (Catalan u. a., 2014, S. 259). Cipresso u. a. (2014, S. 140) meinen hingegen, dass gerade jetzt diese Technologie zugänglich und leistbar wird.

- Psychologisches Training

Die Plattform *NeuroVirtual 3D* zeigt einen neuen Zugang in der Neurorehabilitation. Cipresso u. a. (2014, S. 137) beschreiben diese Plattform als Schnittstelle zur Bewertung und Behandlung von kognitiven Funktionen mittels unterschiedlicher Ein- und Ausgabemethoden und heben dabei vor allem die flexible Einsetzbarkeit hervor.

This flexibility can be employed to tailor the user interaction to the specific rehabilitation user aims. According to this perspective, the paper aims to present a potential new platform, *NeuroVirtual 3D*, which intends to develop a software interface for supporting assessment and rehabilitation of cognition function through several input/output devices, such as data gloves, joypad and Microsoft Kinect. (Cipresso u. a., 2014, S. 137)

In zwei unterschiedlichen virtuellen Umgebungen – der *VR-City* und dem *VR-Home* – können Patienten verschiedene Handlungen und Aufgaben durchführen. Mit der *Microsoft Kinect (TM)* wurde bei diesem Projekt sowohl eine günstige als auch sehr flexible Interaktionsmöglichkeit mit der virtuellen Umgebung gewählt. Die flexiblen und gleichzeitig natürlichen Interaktionen mit Objekten innerhalb der Simulation sind hierbei eine Grundvoraussetzung, um eine realitätsnahe Erfahrung machen zu können. Die Entwickler von *NeuroVirtual 3D* erhoffen sich dadurch eine neue und bessere Möglichkeit, kognitive Funktionen und Dysfunktionen zu erkennen. Traditionellerweise werden dazu Tests mit Papier und Stift angewendet, welche verlässlich und gültig sind, jedoch mit Sicherheit nicht alle kognitiven Fähigkeiten abprüfen können. Mittels des neuen Setting können etwa auch Gesten und Verhaltensweisen in bestimmten Situationen berücksichtigt werden (Cipresso u. a., 2014, 138ff).

Kreation

„Die Erstellung und Untersuchung von virtuellen Prototypen in Industriedesign, Fahrzeug- oder Maschinenbau und Architektur“, ist nach Menzel (2004, S. 5) ein mögliches Anwendungsfeld von VR. Dabei dient VR vor allem zur Visualisierung von Entwürfen. Architekten, die ihre Bauwerke bereits vorab begehen können und dabei sowohl praktische Angelegenheiten wie Barrierefreiheit testen als auch den Gesamteindruck des Gebäudes vorab besser erfahren können. Konstrukteure und Designer können zudem mittels VR ihre Produkte realitätsnahe präsentieren und analysieren (Menzel, 2004, S. 8).

Auch Rheingold (1995, S. 31) hält dazu bereits fest:

„Die architektonische VR-Begehung erweist sich als eines der «treibenden Probleme» für die Entwicklung des Forschungszweiges, weil es zu den Hauptaufgaben der Architektur gehört, Modelle mit dreidimensionalen Strukturen zu entwerfen.“

Unterhaltung

Der Unterhaltungssektor ist heute mit Sicherheit einer der größten Märkte für VR sowie eine treibende Kraft in der Forschung und Entwicklung von VR-

Systemen. In Chicago wurde 1990 das erste VR-Unterhaltungssystem vorgestellt, das *BattleTech Center*. In Viererteams spielt man dabei in einem futuristischen (Jahr 3025) Kriegsszenario gegeneinander. Eine Vielzahl an Eingabegeräten und Anzeigen wie in einem Cockpit soll die Nutzer dabei fordern. Eine 48-Seiten lange Anleitung verdeutlicht die Komplexität des Systems, will man es optimal nutzen. Dieses System war jedoch nur teil-immersiv, da es auf die Verwendung eines HMD verzichtete (Burdea & Coiffet, 1993, S. 281).

Das erste Unterhaltungssystem mit HMD wurde 1991 von *W-Industries Ltd.* in Großbritannien entwickelt und in den USA von *Horizon Entertainment* vertrieben. Der *Virtuality*-Simulator (siehe Abb. 3.2) war mit einem speziellen Stereo-HMD, dem *Visette*, sowie 3D-Joystick oder Lenkrad und Pedalen ausgestattet (Burdea & Coiffet, 1993, S. 285).

Wie weiter oben bereits erwähnt, versuchten *Nintendo* mit dem *Virtual Boy* sowie auch *SEGA* mit dem *Virtua Sega* schon recht früh ein VR-fähiges Spielgerät zu entwickeln. Beide Firmen scheiterten jedoch an der zu schwachen Computer- und Grafikleistung. *Nintendo* war zudem ein Vorreiter bei der Verwendung von Motion-Controllern¹⁰. Hier werden Bewegungen der Hände mittels Infrarotsystem übertragen und ins Spiel integriert. *Microsoft* setzt mit der *Kinect* ebenfalls schon länger auf ein multisensorisches Inputsystem. Die *Kinect* arbeitet mit einem Kamerasystem, das es ermöglicht, sämtliche Körperbewegungen ins Spiel einzubinden (Menzel, 2004, S. 8). Da heute immer mehr auf VR-Systeme und HMDs spezialisierte Firmen in den Markt einsteigen, dürfte es nicht lange dauern bis es entsprechende HMDs für diese Spielkonsolen oder neuere Versionen davon gibt und die ersten VR-Spielkonsolen erscheinen.

Der bereits angesprochene VR-Simulator *Cyberith Virtualizer* ist als die logische Weiterentwicklung des *Virtuality Model 1000CS* zu sehen. Dabei entwickelten ein Team um Tuncan Caymak an der TU-Wien ein umfassendes-Konzept um Bewegungen ganzheitlich in die virtuelle Umgebung zu integrieren. Dabei ist man in einem mittels Klettergurt fixierten Gestell, welches sowohl Lauf- als auch Sprungbewegungen erlaubt. Eine spezielle Bodenplatte bietet einen annähernd realistischen Widerstand beim Gehen und die Aufhänge-Vorrichtung ist in vertikaler Richtung frei beweglich womit auch 'hocken' und 'springen' möglich ist (siehe Abbildung 3.3) (Cyberith, 2016).

¹⁰Nintendo Wii

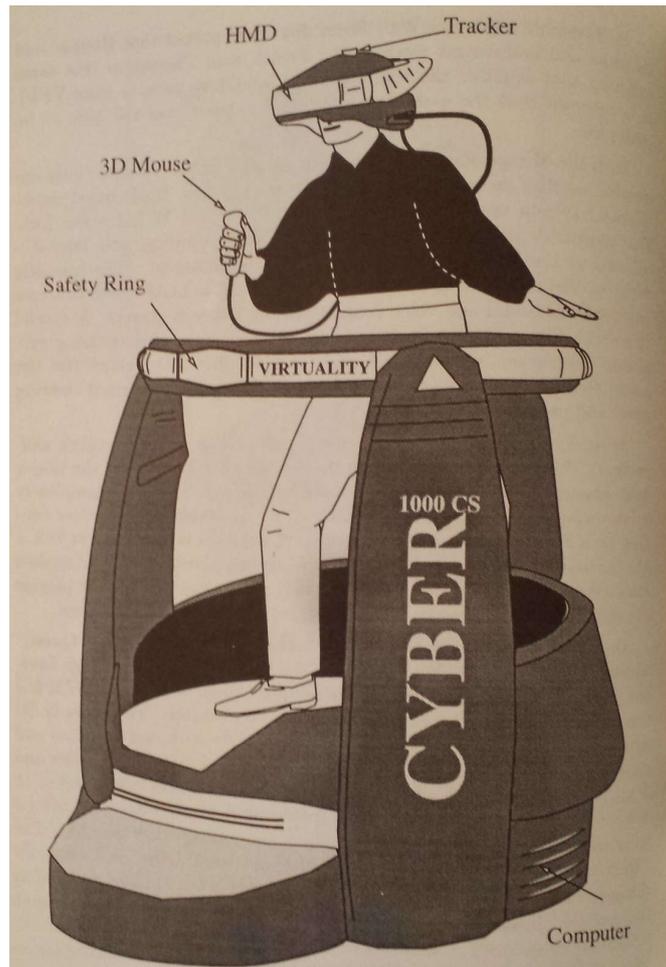


Abbildung 3.2.: *Virtuality Model 1000CS* (Burdea & Coiffet, 1993, S. 286)

Achterbahnfahrten zählen heute zu den am meisten umgesetzten VR-Erlebnissen für die aktuellen HMDs. Ein Problem das sich dabei ergibt sind die fehlenden „echten“ Kräfte. Sobald die körperliche Wahrnehmung nicht mit dem virtuellen Geschehen übereinstimmt, stellt sich ein gewisses Unbehagen oder sogar Übelkeit ein.

Was dabei heraus kommt, wenn man auf einer echten Achterbahn sitzt und dabei ein HMD trägt auf dem man eine virtuelle Fahrt sieht wurde beim Projekt *VR Coaster* untersucht. In Kooperation mit dem *Europapark* in Baden Württemberg erstellte ein Team rund um Thomas Wagner, CEO von *VR Coaster* sowie Professor an der Universität für angewandte Wissenschaften in Kaiserslautern (Wagner,



Abbildung 3.3.: *Cyberith Virtualizer* (Cyberith, 2016)

2015), eine virtuelle „Achterbahnfahrt“, die exakt an die in der tatsächlichen Achterbahn wirkenden Kräfte abgestimmt ist. In der Simulation können die tatsächlich wirkenden Kräfte völlig neu interpretiert und visuell umgesetzt werden. Kurven können beispielsweise in der virtuellen Welt viel stärker gekrümmt sein oder schneller durchfahren werden als auf der echten Achterbahn. Es können und werden ebenso Loopings—vorbei an feuerspeienden Drachen—realistisch simuliert, wo tatsächlich nur wenig spektakuläre Berg-Talfahrten stattfinden. Zur exakten Positionsbestimmung dienen Sensoren, die die Löcher im Rad des Waggons zählen und die Daten 30 mal pro Sekunde per Bluetooth an das HMD senden. Eine exakte Positionsbestimmung ist für die Synchronisation der virtuellen Welt mit den echten Gegebenheiten unumgänglich (Krause, 2014; J.K. Janssen, 2015).

Videos mit der Möglichkeit eines 360° Rundumblicks, wie man sie mittlerweile zahlreich findet (z. B. *The North Face: Climb* von JauntVR¹¹ für *Google Cardboard* und *Oculus Rift*), sind im Vergleich zu normalen Videos hoch immersiv und bieten zudem völlig neue Möglichkeiten zur Präsentation von Videos.

Aktuell entstehen viele Videos in diesem Format, um dem Betrachter das Gefühl zu geben, noch näher am Geschehen zu sein. Diesbezüglich stechen vor allem die mit einer Helmkamera gefilmten Fahrten eines Skirennens hervor (z. B. Abfahrtsrennen in Kitzbühel¹²). Diese können sowohl auf einem Computer, als auch mit dem Smartphone oder mit VR-Brille betrachtet werden. Besonders bei der Verwendung eines Smartphones oder einer VR-Brille ist dies ein ganz neues Erlebnis. Der Betrachter kann die Blickrichtung intuitiv und je nach Verlangen selbst wählen und somit während der Fahrt etwa nach hinten, oben oder zur Seite blicken (ORF, 2016).

Forschung und Bildung

- VR in der Sportwissenschaft

Auch in der Sportwissenschaft finden sich heute zahlreiche realisierte Projekte und Ansätze mit VR. Die Machbarkeit solcher Systeme und erste Erfahrungen damit schilderte bereits Rheingold (1995). Gut 20 Jahre später, mit Computern, die um ein Vielfaches leistungsfähiger sind als damals, ist klar, dass VR-Anwendungen tatsächlich ein erfolgversprechender Ansatz in der Forschung sind. Wiemeyer (2005) hält dazu fest, dass VR in den Bereichen motorisches Lernen, Training und Wettkampf ein Forschungs- und Anwendungsbereich der Sportinformatik ist und sieht VR als mögliche Interventionstechnologie, ähnlich einem Video-Feedback. VR-Systeme können etwa eine computergestützte Coachingfunktion einnehmen und wirken sich gegebenenfalls positiv auf das Training und die sportliche Leistung aus (Wiemeyer, 2005, S. 25).

Wie VR in der Sportwissenschaft konkret eingesetzt wird, soll anhand von aktuellen Projekten beispielhaft aufgezeigt werden. Als Quelle dienen dabei Konferenzen und Symposien der Sportinformatik, wie etwa das 9.

¹¹JauntVR, 2016.

¹²Hitradio Ö3, 2016.

Symposium der Sektion Sportinformatik aus dem Jahr 2012 (Byshko u. a., 2012).

Einen möglichen Ansatz liefern etwa Witte, Emmermacher, Bandow, und Masik. Sie behandeln die Analyse und das Training der Antizipation im Karate-Kumite. In der CAVE wurden den Probanden dabei virtuell animierte Charaktere gezeigt, um die Reaktionsfähigkeit bei gewissen Angriffen zu beobachten. Die Autoren kommen dabei zu dem Schluss, dass sich virtuelle 3D-Umgebungen besser als herkömmliche 2D-Szenarien eignen, um natürliche Reaktionen zu erzeugen (Witte u. a., 2012, S. 17).

Bideau, Kulpa, Vignais, Brault, und Multon kommen zu ähnlichen Ergebnissen und beschreiben VR-Systeme als gutes Instrument zur Analyse der sportlichen Leistung und als besser und vielfältiger einsetzbar als herkömmliche Video-Präsentationen. Je nach Ziel und Art der sportlichen Bewegung sind unterschiedliche Präsentationsmittel (HMD, CAVE) von Vorteil (Bideau u. a., 2010, S.64ff).

Auch die stereoskopische Sehfähigkeit selbst kann mittels VR gemessen und untersucht werden. Paulus, Hornegger, Schmidt, Eskofier, und Michelson simulierten dazu zwei unterschiedlich weit entfernte Fußbälle, von denen der nähere Ball identifiziert werden muss (Paulus u. a., 2012, S. 103). Sie bescheinigen dem System großes Potenzial, wenngleich sie auch auf Verbesserungsmöglichkeiten hinweisen und die Frage, ob damit auch die stereoskopische Sehfähigkeit trainiert werden kann, vorerst unbeantwortet lassen.

The system shows promising potential to evaluate the stereopsis performance of goalkeepers reliably. The presented stimuli and gesture interface is a first step into the direction of simulating realistic sports impressions for precise evaluation and training of perceptual tasks. However, the project is in an early phase and needs further improvements. (Paulus, Hornegger, Schmidt, Eskofier, & Michelson, 2012, S. 105)

Hinsichtlich Bewegungslernen und Training könnten vor allem sportliche Betätigungsbereiche, wo die Auge-Hand-Koordination ein zentraler und leistungsbestimmender Faktor ist, vom Einsatz dieser neuartigen Technologien

profitieren. Ein Vorteil der Nutzung von VR-Systemen mit Bewegungssensoren ist auch darin zu sehen, dass die Bewegungen beinahe in Echtzeit aufgezeichnet und analysiert werden können, was unter anderem ein wichtiges Anliegen der Trainingswissenschaft ist (Bowman u. a., 2013).

Dass die Bewegungen nicht zwingend „trivialer“ Art sein müssen, zeigt das Projekt *Virtual Jump Simulator* eines Teams der Abteilung *Interactive Media Systems* (IMS) der TU-Wien. Dieser Simulator soll einen virtuellen Fallschirmsprung über der Stadt Wien ermöglichen (IMS TU-Wien, 2014). Dabei hängt man an mehreren Seilen befestigt frei in der Luft (siehe Abb. 3.4) und kann mittels HMD eine höchst immersive Simulation des freien Falls erleben.



Abbildung 3.4.: TU-Wien: Fly Into the Future (IMS TU-Wien, 2014)

- Lern-Simulationen

Bowman u. a. (2013) wandten sich in einem Projekt psychischen Faktoren wie Stress und Angst eines Torhüters beim Elfmeter zu und entwickelten dazu den *Virtual Goalkeeper*. Das Projekt verdeutlicht, dass mit Hilfe von VR-Systemen Situationen mit hoher psychischer Belastung simuliert und trainiert werden können, die unter realen Bedingungen nicht oder nur mit großem Aufwand durchgeführt werden könnte. In diesem Fall wurden möglichst realistische virtuelle Elfmeter-Situationen erschaffen. Insbesondere audiovisuelle Aspekte in einem vollen Stadion sowie die

Simulation des Elfmeters an sich spielen dabei eine Rolle.

Mit dem *Virtual Sports Teacher* gibt es einen erster Versuch, die Kluft zwischen Theorie und Praxis im Sportstudium zu schließen. Winter und Wiemeyer erstellten und untersuchten damit ein virtuelles Trainingstool, um das theoretisch gelernte Wissen auch praktisch erproben zu können. Konkret wurden Übungen aus dem Bodenturnen simuliert, welche der Proband angemessen anleiten musste (Winter & Wiemeyer, 2012, S. 101).

Kommunikation

Videotelefonie und Videokonferenzen sind heute nichts Ungewöhnliches mehr. Ein logischer nächster Schritt könnten virtuelle Videokonferenzen sein, in denen sich künstliche *Avatare* oder realitätsgetreue Darstellungen von Nutzern gegenüber sitzen. VR-Umgebungen können als Schnittstelle für gemeinsame Kommunikation, Diskussion und Forschung am dreidimensionalen Objekt eine bedeutende Rolle spielen (Zsolt, 2015).

3.5. Spiele und VR zur Gestaltung von virtuellen, immersiven Lernsituationen - Serious Games

Immersive Lern-Simulationen unterscheiden sich von bloßem Spielen, nützen jedoch die für den Lernprozess positiven Aspekte von Spielen. Spielerisches Lernen ist als Lern-Arrangement nichts Neues und wird häufig als wirksames Instrument eingesetzt und angestrebt. Durch die für den Lernenden freudvolle und reizvolle Rahmenbedingung ist es besser möglich, Informationen aufzunehmen und somit einen Lernprozess in Gang zu setzen. Hinzu kommt, dass in einer Simulation keine oder kaum Versagensängste aufkommen, zumal keine ernsthaften negativen Konsequenzen zu befürchten sind. In virtuellen, interaktiven Simulationen können unterschiedlichste Kompetenzen geschult, abgeprüft und unmittelbar ausgewertet sowie beliebig oft wiederholt werden (vgl. Hritz, 2013, S. 2).

Durch die realitätsnahe Simulation von tatsächlichen Aufgaben können in einer geschützten Umgebung Handlungen erprobt und schließlich in der Realität besser,

schneller und richtig durchgeführt werden. Dieses Vorgehen ist, betrachtet man etwa den Einsatz von VR beim Militär oder in der Luftfahrt, nichts Neues. In der Luftfahrt reduziert das Training am Flugsimulator die Fehlerquote von Luftpersonal um bis zu 81 %. Heute sind die Simulationen jedoch zum einen viel ausgereifter und realistischer und zum anderen viel variabler einsetzbar, da solche Systeme mittlerweile für den privaten Gebrauch zugänglich und leistbar sind. Es muss dabei allerdings beachtet werden, dass eindringende Lernsimulationen nicht bloß als „Spiele“ abgetan werden dürfen, sondern ein vielschichtiges, effektives Trainings- und Lernmittel darstellen (vgl. Hritz, 2013, S. 1)

Neue Trainingsmethoden sind in der heutigen hochdifferenzierten und an Leistung orientierten Gesellschaft ohne Zweifel sehr gefragt. Simulationen können individuell und sehr speziell gestaltet werden, was sie zu einem probaten Mittel im Training macht. Betrachtet man neue Trainingsmethoden im Spitzensport, so wird hier oft der positive Lerneffekt hervorgehoben, der durch die rein kognitive Verarbeitung und Vorstellung von Bewegungen (Ideomotorisches Training) erzielt wird. Dies lässt auch die Vermutung zu, dass virtuelle Lern- oder Handlungssimulationen einen ähnlichen Effekt haben könnten. Wie anhand von Magnetresonanz Bildern (MRI) erforscht wurde, sind bei mentalem Training – und virtuelle Handlungen sind mehr als nur mentales Üben – dieselben Hirnregionen aktiv wie bei tatsächlichem Training. Das Gehirn kann die verarbeiteten Informationen in beiden Fällen speichern, was mentales und praktisches Training somit gleich wertvoll macht (vgl. Hritz, 2013, S. 2).

„The efficacy of a simulated learning environment is tied directly to how closely it approximates reality.“ (Hritz, 2013, S. 2)

Die Effektivität einer simulierten Lernumgebung ist unmittelbar damit verbunden, wie realitätsnahe sie ist. Je realistischer sie ist, umso aufmerksamer sind die Trainierenden und umso mehr Fertigkeiten werden einbezogen. Dennoch darf die Umgebung nicht zu komplex sein, etwa durch zu viele sensorische Inputs. Dadurch könnte der Nutzer abgelenkt werden und die Effektivität der Simulation somit geringer sein. Ein gutes Mittelmaß, auch bezüglich des Aufwands des Erstellens der Simulation, ist also auf jeden Fall anzustreben. Im Optimalfall stellt die Situation einen realistischen Kontext dar und bietet darüber hinaus auch noch eine animierende und reizvolle Umgebung (vgl. Hritz, 2013, S. 61).

Realitätsnahe Simulationen können bis zu 90 % der tatsächlichen Gehirnleistung beanspruchen und erlauben dadurch ein hoch effektives Training (vgl. Hritz, 2013, S. 63). Es ist zwar gut möglich, sich Wissen durch das Lesen eines Buches anzueignen, der Transfer in die Praxis fällt jedoch oft schwer¹³. Muss dieses Wissen innerhalb einer simulierten Umgebung auch direkt angewandt werden, so passiert der Transfer bereits während der Lernsituation. Theorie und Praxis können in einer virtuellen, immersiven Lernsituation so unmittelbar verschmelzen, wodurch tieferes Verständnis, langfristiges Wissen und variable Handlungsmöglichkeiten geschult werden können (vgl. Hritz, 2013, S. 61).

Aus dieser Synergie von Theorie und Praxis schließt Hritz (2013) sinngemäß, dass das Wissen, welches man in der virtuellen Umgebung erlangt, zu mehr Selbstvertrauen und besseren Handlungen in der Wirklichkeit führt, da man bereits Konsequenzen auf sein Handeln erfahren hat.

„The knowledge gleaned from doing one’s job in a virtual environment translates into more confidence and better work in the real world because the user has had the benefit of accruing experience without consequence.“
(Hritz, 2013, S. 61)

Ein typisches Merkmal von Computer-Spielen ist der Aufbau in Levels, die zunehmend schwerer werden. Dies Prinzip findet man auch in motorischen Lernsituationen. Das Absolvieren von sukzessiv schwerer werdenden Bewegungsaufgaben spiegelt gleichsam die Idee einer methodischen Übungsreihe wider. Ebenso deutlich zeigt sich der in der Bewegungslehre allgemein gültige Ansatz „Vom Leichten zum Schweren“ in diesem Zusammenhang. Zusätzlich erlaubt eine Zergliederung der Zielbewegung in einzelne aufbauende Levels aber auch ein individuelles Lerntempo.

¹³Im Zuge der Vorlesung „Theorie und Praxis des Erziehens und Beratens“ am Institut für LehrerInnenbildung wurde beispielsweise explizit darauf verwiesen, dass das Wissen aus pädagogischen Vorlesungen nur zu einem sehr geringem Teil in der Praxis auch tatsächlich angewandt wird

3.6. Zusammenfassung

Historisch gesehen ist es vor allem verblüffend, wie früh Vorreiter wie Morton Heilig oder Ivan Sutherland begonnen haben, „Wirklichkeitsmaschinen“ zu bauen. Deren Ideen sind es, die heute, gut 50 Jahre später, in die Tat umgesetzt werden. VR ist also keineswegs eine neue Technologie, jedoch sind die dafür notwendigen Technologien erst heute qualitativ so hochwertig und zugleich auch erschwinglich, dass sie vielfältig eingesetzt werden können. Durch die Qualität der Displays und Bewegungssensoren, die immer kleiner und gleichzeitig leistungsfähiger werden, sind mehr und natürlichere Interaktionen sowie insgesamt realistischere Simulationen der virtuellen Umgebungen möglich. Es finden sich dadurch heute höchst-immersive VR-Umgebungen, in denen sich der Nutzer fast normal verhalten kann und somit vollständig in die virtuelle Welt eintaucht. Diese Qualitätssteigerung ist auch an der Vielzahl an aktuellen Studien und Forschungsansätzen sowie an den zahlreichen Fachkonferenzen zum Thema VR zu erkennen. Die vorgestellten Studien haben aufgezeigt, wie unterschiedlich VR eingesetzt wird und wo Schwerpunkte der Forschung liegen.

Es scheint heute das einzutreffen, was John Thomas, Direktor des NYNEX *Artificial Intelligence Labors* bereits 1993 ausgesprochen hat:

„VR, at best, will not only affect the world we live in, it may help ensure we have a world to live in.“ (John Thomas, zit. nach Burdea und Coiffet, 1993, S. 346)

Unter anderem zeigt ein Projekt wie *VR Coaster*, wie die Wahrnehmung gezielt getäuscht werden kann und wie mit Hilfe von VR einzigartige Erfahrungen gemacht werden können. Realistische Erfahrungen können jedoch auch einfacher erzeugt werden, wie etwa stereoskopische 360°-Videos zeigen. Somit liegt die Idee nahe, bewusst initiierte motorische Lernprozesse durch virtuelle Erfahrungen in Gang zu setzen. Um diese Idee zu konkretisieren, wird in einem ersten Schritt geklärt, was 'motorische Lernprozesse' überhaupt sind. Ausgehend von allgemeinen Theorien menschlicher Bewegung, bis hin zum Einfluss von Video-Instruktionen auf das motorische Lernen – was für die Erstellung des Lernvideos in *Kapitel 5.3.* von großer Bedeutung sein wird – werden im folgenden Kapitel anhand anerkannter Literatur unterschiedliche Facetten von menschlicher Bewegung dargestellt.

4. Menschliche Bewegung und motorisches Lernen

Angesichts der Tatsache, dass menschliche Bewegung Gegenstand von zumindest einer Wissenschaftsdisziplin (Bewegungswissenschaft) ist – in Wahrheit arbeiten gleich mehrere Wissenschaftsdisziplinen, wie etwa die Psychologie, an der Erklärung menschlichen Verhaltens und somit auch der menschlichen Bewegung –, wäre es vermessen zu behaupten, das Wesen und die Funktion menschlicher Bewegung in ihrer Gesamtheit auf wenigen Seiten festhalten zu können. Konczak (1996, S. 49) bezweifelt etwa, dass es überhaupt jemals möglich sein wird, die kausale Beziehung zwischen Neuronenaktivität und Bewegung gänzlich zu klären.

Nach Wollny (2007, S. 29) „haben sich verschiedene, gleichberechtigt nebeneinanderstehende, mehr oder weniger voneinander abgrenzbare bewegungswissenschaftliche Forschungs- und Lehrperspektiven, so genannte Bewegungslehren oder Betrachtungsweisen etabliert.“

In den letzten Jahren und Jahrzehnten wurden also unterschiedlichste Konzepte entwickelt, die bestimmte Aspekte von Bewegung zu erklären versuchen. Aus den vielen verschiedenen Anschauungen entwickelt sich damit langsam ein immer detaillierteres Gesamtbild von menschlicher Bewegung.

Um ein einheitliches Verständnis von menschlicher Bewegung zu erreichen, werden in der Folge wichtige Begriffe und anerkannten Theorien menschlicher Bewegung festgehalten. Eine genauere Abgrenzung der Begriffe '(menschliche) Bewegung' und 'Motorik' steht dabei an erster Stelle. Schließlich werden Theorien menschlicher Bewegung und motorischen Lernens vorgestellt und der Bezug zur Bewegungshandlung „Jonglieren“ hergestellt, indem konkrete Beispiele angeführt werden.

Begriffsbestimmung

Der Begriff der 'Bewegung' wird in der (Sport-)Wissenschaft sehr unterschiedlich verwendet. Loosch (1999, S. 71) nennt fünf unterschiedliche Ebenen des Begriffsverständnisses.

1. Die philosophische Ebene

Philosophisch betrachtet wird Bewegung als Daseinsweise der Materie verstanden und somit das Dasein unmittelbar mit Bewegung verbunden bzw. ohne sie nicht denkbar (ebd.).

2. Die soziologisch-psychologische Ebene

Auf dieser Ebene wird Bewegung „als soziales und psychologisches Phänomen bestimmt, welches zur Gruppendynamik sowie zur sozialen Einbindung jeglicher Motorik führt (Stichwort: Soziomotorik)“ (ebd.).

3. Die motorische Ebene

Sportliche Arbeits- oder Alltagsbewegungen werden hier als Realisierung von subjektiv bedeutsamen Zielvorgaben gesehen, für die das Motorium des Menschen die Grundlage bildet. Sie ist das Resultat eines vielschichtigen Geschehens, welches neben der Ortsveränderung in der Zeit auch physiologische, biomechanische, psychologische und soziale Faktoren beinhaltet (ebd., S. 72).

4. Die physikalisch-biomechanische Ebene

Hier wird Bewegung als „Ortsveränderung des menschlichen Körpers oder seiner Teile in der Zeit“ verstanden (ebd.). Sie kann mittels geeigneter Methode gemessen und mit Hilfe von physikalischen Termini beschrieben werden. Sie basiert auf den NEWTONschen Gesetzen, welche unter Einbeziehung von physikalisch-anatomischen Gesetzmäßigkeiten die biomechanischen Prinzipien bestimmen (ebd.).

5. Die phänomenaleorientierte Ebene

„Bewegung ist die Verkörperung der Intentionalität als unmittelbares Verhaftetsein in der Welt. Sie ist aber auch die Verwirklichung von Wünschen,

Zielen und Interessen des Menschen und somit eine prinzipielle Äußerungsform des Subjekts“ (ebd.). Die Motorik ist somit eine Voraussetzung für die Befriedigung von Bedürfnissen. Die spezifische anthropologische Qualität der Bewegung ergibt sich aus den Empfindungen und Emotionen sowie dem Ausdrucks- und Sinngehalt. Bewegung ist schließlich „das äußerlich sichtbare Resultat von innerorganismischen Prozessen auf verschiedenen Ebenen“ (ebd.). Sie kann mittels geeigneter Methoden gemessen und anhand von bestimmten Verfahren in ihrer Qualität bewertet werden.

In der Physik versteht man 'Bewegung' im Allgemeinen als Ortsveränderung von Masse. Dies ist auch ein Aspekt menschlicher Bewegung, jedoch bestimmt nicht der einzige. Meinel und Schnabel (2007, S. 28) definieren menschliche Bewegung so:

Die menschliche Bewegung ist die äußere, umweltbezogene Komponente der menschlichen Tätigkeit, die in Ortsveränderung des menschlichen Körpers beziehungsweise seiner Teile und der Wechselwirkung mechanischer Kräfte zwischen Organismus und Umwelt zum Ausdruck kommt.

Spricht man von 'menschlicher Bewegung' so impliziert dies immer auch nicht-sichtbare Vorgänge. Die inneren – psychischen, neurophysiologischen – Prozesse werden allgemein unter dem Begriff der 'Motorik' zusammengefasst.

Die menschliche Motorik umfasst demgegenüber die Gesamtheit der Vorgänge und Funktionen des Organismus und die psychische Regulation (Psychomotorik), die die menschliche Bewegung hervorbringen. (Meinel & Schnabel, 2007, S. 28)

Der Motorik-Begriff umfasst nach Wiemeyer (1997, S. 2) motorische, kognitive und emotionale Aspekte. Meinel und Schnabel (2007, S. 28) sprechen hingegen von einem „motorischen Akt“ und vereinen darin motorische und (bio-)mechanische Komponenten der Bewegung. Der motorische Akt setzt sich demnach aus folgenden Komponenten zusammen:

- einer bewussten Planung einer zielgerichteten Handlung im Vorfeld der Tätigkeit;
- der Steuerung und Regulation eines Vorgangs aufgrund von sensorischen Rückmeldungen;
- einem physiologischen und biochemischen Prozess;
- einem mechanischen Aspekt (Ortsveränderung von Masse).

Bei der Untersuchung der Ursachen, Bedingungen und Erscheinungen von menschlicher Bewegung wird also ein innerer und ein äußerer Aspekt unterschieden (Wollny, 2007, S. 27).

Beide Aspekte werden im zentralen Begriff der 'Bewegungshandlung' vereint. Nach Loosch (1999, S. 15) meint man mit 'Bewegung' oft den äußeren Aspekt. Eine Handlung hingegen wird eher als innerer Aspekt betrachtet. Die unterschiedlichen Betrachtungsweisen einer Bewegungshandlung sind in Abbildung 4.1. dargestellt. Eine solche Trennung erzeugt jedoch nach Loosch mehr Probleme als sie löst. Deshalb wird auf eine konsequente Trennung auch oft verzichtet und stattdessen auf die Einheit und Geschlossenheit beider Pole hingewiesen. Auf eine allzu strikte Trennung wird in der Folge somit ebenfalls verzichtet, wenngleich sehr wohl beide Aspekte beachtet werden.

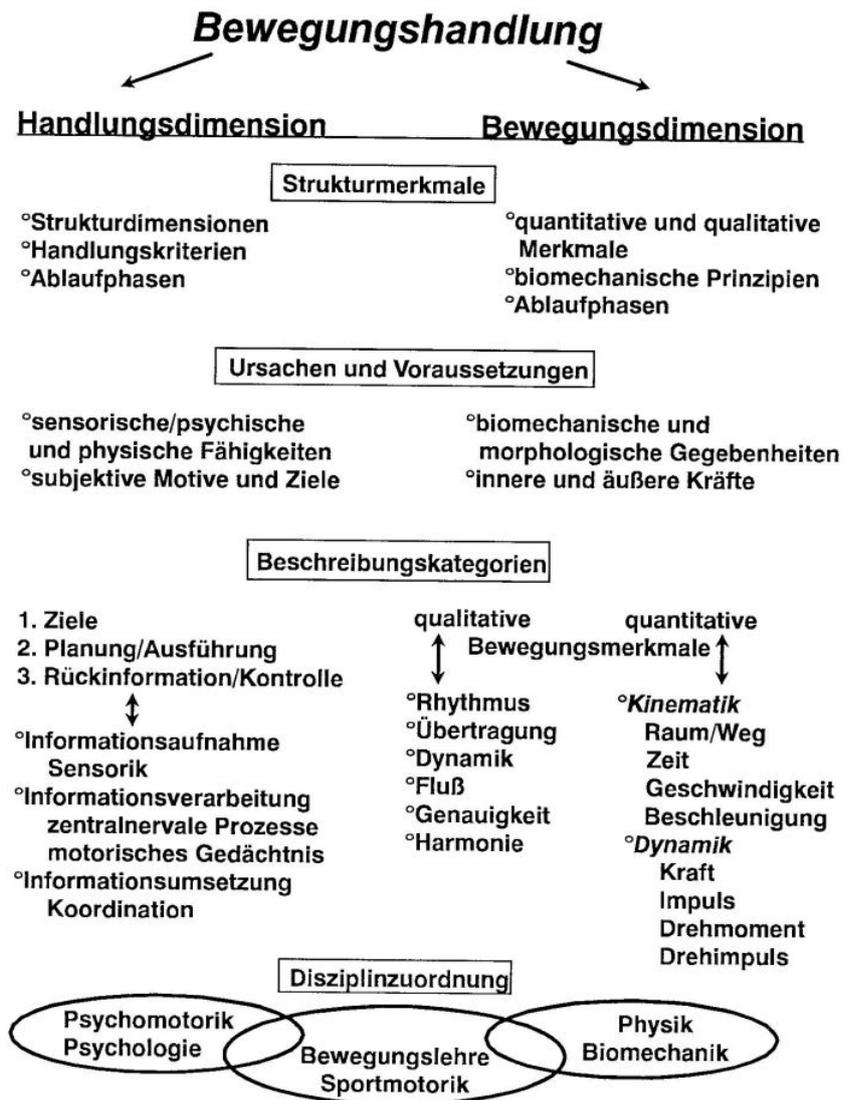


Abbildung 4.1.: Ebenen der wissenschaftlichen Beschreibung der Bewegungshandlung (Loosch, 1999, S. 16)

4.1. Ausgewählte Theorien menschlicher Bewegung und motorischer Kontrolle

Historisch gesehen konzentrierte man sich nach Konczak (1996) lange Zeit auf Aspekte der Informationsverarbeitung vor, während und nach einer Bewegung. Wollny (2007, S. 143) bemerkt ebenfalls, dass bis Ende der 70er Jahre des

20. Jahrhunderts hauptsächlich die relativ unfruchtbare Auseinandersetzung, wo Open-Loop-Kontrolle (bzw. die Closed-Loop-Kontrolle) einer Bewegung anfängt respektive aufhört, dominierte. Mitte der 80er Jahre hatte sich das Konzept der kontinuierlichen Programmsteuerung durchgesetzt, wurde jedoch schon bald durch die aufkommenden ökologischen Aktionstheorien wieder in Frage gestellt.

Meinel und Schnabel (2007, S. 37) betonen, dass den verschiedenen anerkannten Motoriktheorien und deren Koordinationsmodellen ein bestimmter Erklärungs-wert und Wahrheitsgehalt zukommt. Kein Modell kann das Problemfeld alleine erklären. Stattdessen kann nur ein polytheoretischer Zugang helfen, lerntheo-retische und methodisch-praktische Fragestellungen zu beantworten (ebd., S. 37).

Gröben (2000, S. 18) unterscheidet zwischen einer *funktionalen* und einer *intentionalen* Perspektive. Erstere beinhaltet programmtheoretische (*motor approach*) und ökologische (*acton approach*) Ansätze. Letztere umfasst handlungstheoretische und phänomenologische Ansätze zur Beschreibung der Kontrolle von Bewegung. Einige der Theorien und Ansätze werden in der Folge genauer ausgeführt und dienen in weiterer Folge als Grundlage zur Präzisierung des Begriffs 'motorisches Lernen'.

4.1.1. Funktionale Perspektive

Der programmtheoretische Ansatz

In den folgenden Konzepten geht man davon aus, dass Bewegungsrepräsentationen (Programme, Pläne, Schemata) zentral gespeichert sind und nach Bedarf abgerufen werden. Vor allem frühe Konzepte orientierten sich ausschließlich am Vorbild eines Computer-Programms. Die Parallelen zur Arbeitsweise eines Computers sind nach Hillebrecht (2015) nicht nur aus terminologischer Sicht (vgl. motorisches Programm) offensichtlich, sondern ziehen sich wie ein roter Faden durch all diese Konzepte. Zwei bekannte Theorien zur Kontrolle von Bewegung bilden dabei die Open- bzw. Closed-Loop-Theorie welche R. A. Schmidt (1990) schließlich in seiner Schema-Theorie vereint.

Open-Loop-Theorie: In der Open-Loop Theorie betrachtet man Bewegung als eine aufgrund von Erfahrung zentral gespeicherte Bewegungsvorschrift, die ohne jeglichen sensorischen Input auskommt. Eine Wurfbewegung wird demnach etwa als die Ausführung eines Programms mit festgelegten Parametern betrachtet. Das bedeutet, dass, sobald die Bewegung gestartet ist, diese gleichsam von selbst und ohne Korrekturmöglichkeit abläuft (vgl. Loosch, 1999, S. 55).

Closed-Loop-Theorie: Adams entwickelte diese Theorie aufbauend auf die bis dahin gängige Stimulus-Response-Theorie (S-R). In der S-R-Theorie betrachtet man propriozeptives Feedback als Stimulus, welcher eine bestimmte Antwort hervorruft (Adams, 1968, S. 491). Diese Ansicht schien nach Adams jedoch nicht haltbar, da Propriozeption keine zwingende Voraussetzung für Lernen ist.

The S-R viewpoint would be more compatible with the facts if it took the position that proprioception may be a source of relevant stimuli for learning but it need not be.

Stattdessen geht man in der Closed-Loop-Theorie davon aus, dass propriozeptive Stimuli das Auswählen von Antworten auf erkannte Fehler begleitet (ebd., S. 499).

Adams erweitert in seiner Theorie den Open-Loop-Anteil einer Bewegung, um somit die Fehlerkorrektur bei langsameren Bewegungen zu erklären. Aufgrund von Referenzwerten und sensorischen Informationen erfolgt demnach ein Parameterabgleich von Ist- und Soll-Werten während der Bewegung. Dieses Prinzip wurde aus dem Ingenieurwesen übernommen, wo Fehlererkennung und Fehlerkorrektur eine breite Anwendungsmöglichkeit gefunden haben (z. B. beim Autopiloten eines Flugzeugs) (Adams, 1968, S. 494).

A closed-loop description of behavior has the stimulus, the internal states, and the response just as the open-loop description but, in addition, has feedback from the current response which is compared against reference mechanisms that define requirements for the correct response. (Adams & Norman, 1970, S. 386)

Die Differenz von Feedback und Referenzwert nennen Adams und Norman (1970, S. 386) 'Fehler', welcher wahrgenommen und verarbeitet werden kann. Das Feedback kann zudem sowohl von äußeren (etwa visuelle oder auditive Reize) als auch von inneren (z. B. propriozeptive Reize) oder auch von mehreren Stimuli gleichzeitig stammen. Ebenso können die Referenzwerte extern und/oder intern sein.

Adams und Norman (1970, S. 388) unterscheiden eine Gedächtnisspur (memory Trace) und eine Wahrnehmungsspur (perceptual Trace). Nach Kropp (1992, S. 23) wählt die Gedächtnisspur eine situationsadäquate motorische Reaktion aus und ist somit der Wahrnehmungsspur, welche der Führung und Korrektur der aktuellen Bewegung dient, vorgeschaltet.

Die Schema-Theorie nach Schmidt: Bevor in den späten 60er Jahren der Programmbegriff geprägt wurde, versuchte bereits James (1890/1977) die zentrale Repräsentation von Bewegung und deren Steuerung zu erklären. Seine Reflex-Ketten-Theorie, bei der jede Bewegungsidee die Parameter für die anfänglichen Kontraktionen der beteiligten Muskulatur bereits von vornherein bereitstellt, stößt jedoch nach Konczak (1996, S. 38) auf zwei nicht erklärbare Probleme: Erstens ist das sensorische Informations-Verarbeitungssystem nicht in der Lage, die Informationen ohne jegliche Verzögerung bereitzustellen, weshalb Kommandos zur Korrektur einer sehr schnellen Bewegung erst dann stattfinden würden, wenn diese bereits abgeschlossen sind. Und zweitens haben Studien an deafferentierten Affen und Menschen gezeigt, dass Bewegungen auch ohne sensorisches Feedback weitestgehend möglich sind. Eine zentrale Bewegungsrepräsentation in Form eines Bewegungsprogramms erschien somit naheliegender.

Die Idee von zentral gespeicherten motorischen Programmen (MP), welche die relevanten Befehle bereits vor Bewegungsbeginn bereitstellen, haben bereits Keele und Posner (1968, zit. n. Konczak, 1996, S. 38) geäußert. Gemäß ihrem Modellentwurf sind alle Bewegungstrajektorien darin gespeichert. Bei registrierten Abweichungen in der Bewegungsausführung kann jedoch erst nach Beendigung des MP ein neues gestartet werden.

R. A. Schmidt (1990) versuchte dieses Konzept des MP zu erweitern und eine Antwort darauf zu finden, wie das motorische System sensorische Feedback-Informationen nutzen kann, wenn es zu Fehlern in der Ausführung kommt

(Konczak, 1996, S. 39). Er löste dieses Problem, indem er feststellte, dass zur Korrektur von Bewegungen nicht zwangsläufig ein neues Programm notwendig ist. Stattdessen können kleine Änderungen mittels reflexartiger spinaler Prozesse stattfinden und somit bewusste kognitive Prozesse vermieden werden (Konczak, 1996, S. 39).

Zwei Probleme blieben jedoch ungelöst: Einerseits müsste für jede spezifische Bewegung ein eigenes motorisches Programm vorhanden sein, was zu einem Speicherproblem führt. Andererseits stellt sich die Frage, wie dann neue Bewegungen überhaupt gelernt werden können (Konczak, 1996, S. 40).

Das generalisierte motorische Programm: Schmidt (1990, 1999) entwickelte deshalb das Konzept des 'Generalisierten motorischen Programms' (GMP). Nach Konczak (1996, S. 42) ist ein GMP, im Gegensatz zu der klassischen Definition eines motorischen Programms, eine Art motorische Schablone, in die nach Bedarf passende Parameter eingetragen werden. Ein GMP besteht also aus einigen wenigen Invarianten, wie der Sequenzierung, dem relativen Timing oder dem relativen Krafteinsatz. Konczak (1996, S. 42) schreibt, dass ein GMP nicht die präzise Aktivierung von Muskelgruppen steuert, sondern die kinematische Reihenfolge von Aktionen. Ein GMP steuert eine gesamte Klasse von Bewegungen und kann durch Variation von Parametern unterschiedliche Bewegungsvollzüge erreichen (Trillhose, 1996, S. 257). Es ist somit auch nicht an einen bestimmten Körperteil gebunden, sondern „stellt ein eindeutiges Aktionsmuster bereit, unabhängig von der beteiligten Muskulatur, der Bewegungsgeschwindigkeit, und Bewegungsamplitude“ (Konczak, 1996, S. 42).

Indem „nur“ die Regeln, Prinzipien und Strukturen von Bewegungen innerhalb eines GMP gespeichert werden, ist das Speicherproblem von motorischen Programmen in den Griff zu bekommen.

R. A. Schmidt und Lee (1999, S. 371) unterscheiden in der Schema-Theorie ein Recall- und ein Recognition-Schema. Im Recall-Schema werden aufgrund eines gewünschten, bekannten Bewegungsziels die passenden Parameterwerte ausgewählt (Open-Loop), womit dieses Schema der Bewegungsausführung zuzuordnen ist. Beim Recognition-Schema wird die Ausführung der Bewegung bewertet und kontrolliert (Closed-Loop). Die Anfangsbedingungen, der Ist-Stand der Bewegung, sowie die sensorischen Daten werden dabei herangezogen um

sowohl von vornherein sensorische Vergleichswerte bereitzustellen als auch die Bewegung anpassen und optimieren zu können (R. A. Schmidt & Lee, 1999, S. 372). Beim Üben einer Bewegung werden demnach die Zusammenhänge von variablen Parametern einer Bewegung und deren Ergebnis trainiert.

Der ökologische Ansatz

Neben den soeben beschriebenen hierarchisch strukturierten Programmtheorien, bei denen „komplexe Bewegungen aus sukzessiven Einheiten zusammengebaut werden“ (Gröben, 2000, S. 24), werden auch ökologische Ansätze der Bewegungssteuerung und -kontrolle diskutiert. Kennzeichnend für diese Aktionstheorien ist die Wechselbeziehung zwischen Akteur und Umwelt, welche bestimmte Handlungen und Reaktionen hervorruft (vgl. u. a.: Gröben, 2000, S. 25, Schöllhorn, 1998, S. 65).

Im Gegensatz zu den Programmtheorien, die stets von einer regelhaften, systematischen Verarbeitung von Information ausgehen, sucht sich der Mensch aus Sicht der Aktionstheorien selbst jene Informationen aus seiner Umwelt aus, die er zur Steuerung und Regelung seines Bewegungsverhaltens braucht. Die aktive Auseinandersetzung ermöglicht dem bewegendem Menschen eine Orientierung im Raum und die Planung von Bewegungen.

Turvey (1991) und Gibson (1982), zwei bekannte Vertreter ökologischer Theorien, sind der Ansicht, dass auf basaler Ebene eine enge und wechselseitige Kopplung zwischen Wahrnehmung, Denken und Bewegung besteht. Wahrnehmung beeinflusst die Bewegung und Bewegung verändert die Wahrnehmung. Durch die Wahrnehmungsprozesse werden bestimmte Vorgaben und Zwänge (*Constraints*) physikalischer oder psychischer Art ermittelt und dann für die Auswahl von möglichen Bewegungsfertigkeiten genutzt. Die Wahrnehmung ist somit ein aktiver Prozess, in dem bedeutungsvolle Informationen in Beziehung zu den jeweiligen Anforderungen der Situation extrahiert werden. Das bedeutet, dass die visuelle Wahrnehmung Informationen über die Umweltbedingungen, über raum-zeitliche Verhältnisse zwischen Mensch und Umwelt (z. B. die Entfernung eines Balles) und über den Zustand des Körpers und dessen Bewegungsverhalten aufnimmt (Wollny, 2007, S. 156).

Das *Degrees of Freedom-Problem* bezieht sich auf das Problem der Beherrschung der Freiheitsgrade des Motoriksystems. Dieses lässt sich nach ökologischer Sicht nicht mittels individuumsinterner Repräsentationen erklären (Gröben, 2000, S. 25). Stattdessen werden vor allem die Arbeiten von Bernstein und Turvey über koordinations-theoretische Aspekte herangezogen. Bernstein (1987) geht davon aus, dass Bewegung nicht nur im zentralen Nervensystem (ZNS), sondern auch an der Peripherie selbst reguliert wird (Gröben, 2000, S. 27).

Der Gemeinsame Ausgangspunkt aller ökopsychologischen Handlungstheorien ist nach Wollny (2007, S. 155) der Versuch, folgende Annahmen und Kenntnisse über die Motorik miteinander in Einklang zu bringen:

- „den Einfluss verschiedener Constraints (Zwänge) auf die Bewegungsorganisation“
- „die direkte basale Kopplung von visueller Wahrnehmung, Denken und Bewegung“
- „und das Degrees of Freedom-Problem des menschlichen Bewegungsapparates.“

Die physiologischen, psychischen, biomechanischen und situativen *Constraints* stellen gewissermaßen die Rahmenbedingungen menschlicher Willkürbewegungen dar. Dies wird daran ersichtlich, dass sich bei jeder Sportart, je nach Beschaffenheit der Umgebung und dem zugehörigen Regelwerk, eine bestimmte bevorzugte bzw. empfohlene Bewegungsausführung herauskristallisiert (Wollny, 2007, S. 156).

4.1.2. Die intentionale Perspektive

Im Gegensatz zu der funktionalen Perspektive, bei der es um die mehr oder weniger beobacht- und messbare Erklärung von Bewegung geht, wird Bewegungshandeln hier auch hinsichtlich subjektiver Variablen betrachtet. Dies dient in erster Linie nicht zur Erklärung von Bewegung, sondern dem Verstehen von Bewegung (Gröben, 2000, S. 32).

Der handlungstheoretische Ansatz

Gröben (2000, S. 32) nennt die Orientierung am intentionalen Gesamtzusammenhang des Handelns, also an einem bewusst vorweggenommenen Ziel einer Bewegung, als Charakteristikum aller handlungstheoretischen Ansätze. Ausgangspunkt dieser Theorie ist somit das Subjekt, dessen Absichten, Pläne, Vorsätze, Gefühle und Neigungen sich im Handlungsprozess verwirklichen. Im Mittelpunkt stehen dabei also Entscheidungsprozesse, in denen Absichten gebildet und ihre Verwirklichung vorbereitet werden (ebd., S. 33).

Die wesentlichen Aspekte sind das Planen, Realisieren und Interpretieren einer komplexen Willkürbewegung. Damit ergibt sich eine klare Abgrenzung von der Außensicht, wo Bewegung als System betrachtet und das Verhalten des Systems untersucht wird, zu der Innensicht, wo das Subjekt und dessen Handeln zentral sind (ebd., S. 36).

Kritisch hält Gröben (2000, S. 38) fest, „daß die handlungstheoretisch ausgerichtete Lernforschung entweder kognitive Aspekte der Handlungsorganisation oder aber ‚klassische‘ Motorikforschung betreibt“. Dies sei insofern problematisch, als dass die intentionale Betrachtung von Bewegung sehr wohl auch die aktive Umsetzung konkreter Bewegungen einschließt. Als Sinnbild für diesen Zwiespalt kann das Bild eines Reiters gesehen werden, wobei der Reiter für das Steuern (Planen und Bewerten) und das Pferd für das Bewegen (Umsetzen der Planung) steht (Gröben, 2000, S. 39).

Der phänomenorientierte Ansatz

„Phänomenorientierte Ansätze thematisieren hauptsächlich den Erlebnis-Aspekt des Sich-Bewegens. Grundlegend ist die Annahme, daß eine Handlung erst im Vollzug Ziel, Inhalt und Form gewinnt.“ (Gröben, 2000, S. 49) Die Intention bezieht sich hierbei auf das Erkennen einer Antwort, die eine Situation als Frage erfordert.

4.2. Bewegungskoordination

Betrachtet man menschliche Bewegungen, so ist der Begriff der 'Bewegungskoordination' von zentraler Bedeutung. Koordination ist der zentrale Aspekt in der Handlungsregulation, unter welcher man nach Meinel und Schnabel „die Steuerung und Regelung jeder menschlichen Handlung durch psychische beziehungsweise psychophysische Vorgänge“ versteht (Meinel & Schnabel, 2007, S. 29). Diese aus der tätigkeitsorientierten Psychologie gewonnene Theorie umfasst folgende Hauptaussagen:

- „Im Handlungsverlauf und in der Handlungsregulation sind Handlungsvorbereitung und Handlungsvollzug zu unterscheiden (zeitliche Struktur der Handlung).“ (Ebd.).
- „Als komplexe Funktionseinheit der Handlung werden Orientierung, Antrieb, Ausführung und Kontrolle unterschieden (funktionale Struktur der Handlung).“ (Ebd.).
- „Die Handlungsregulation vollzieht sich im Zusammenwirken verschiedener Ebenen, die eine hierarchische Ordnung aufweisen (hierarchische Struktur der Handlung).“ (Ebd.) Diese handlungsvorbereitenden und -realisierenden Komponenten sowie deren Beziehung sind in Abbildung 4.2. dargestellt.
- Die sensomotorische Regulationsebene unterteilt sich selbst wieder in hierarchisch angeordnete Regulationsebenen. Diese entsprechen unterschiedlichen Funktionen des ZNS und des Rückenmarks. Heterarchisch zusammenwirkende Programme ermöglichen schließlich das perfekt abgestimmte Verwirklichen eines Handlungsplans (ebd., S. 31).
- Die Handlungsvorbereitung schließt alle äußeren und inneren Informationen ein und erstellt mit Hilfe gespeicherter, Ziel bezogener Handlungsalternativen einen Bewegungsplan (ebd.).
- „Der Handlungsvollzug wird im Zusammenwirken der gleichen Ebenen und Faktoren reguliert.“ (Ebd.) Dabei sind vor allem Kontrollprozesse von Bedeutung. Im Sinne der Closed-Loop-Theorie werden sowohl der Handlungsverlauf als auch die Resultate kontrolliert. Vorwiegend passieren

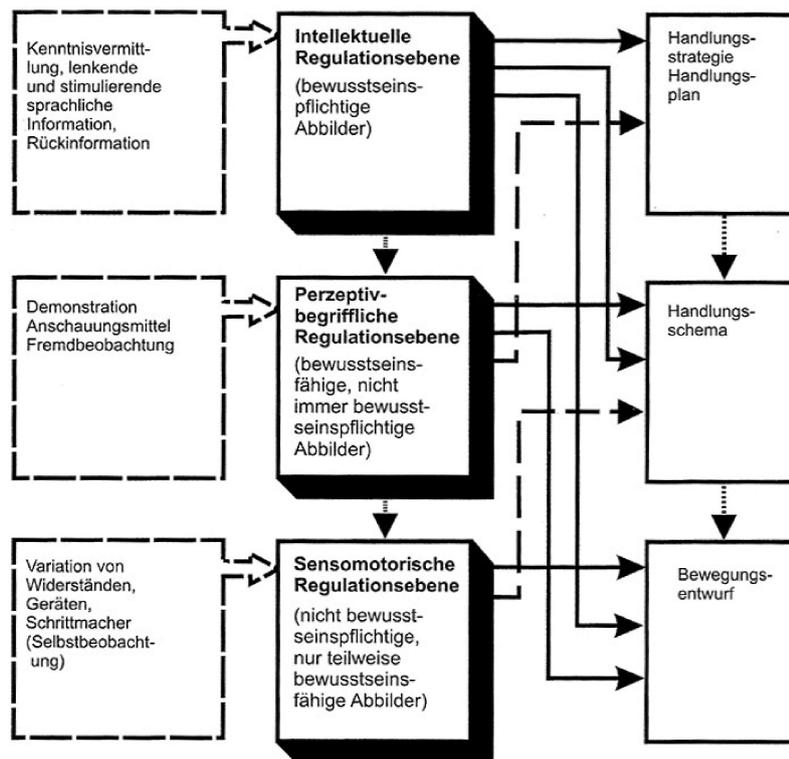


Abbildung 4.2.: Regulationsebenen und deren Beziehung (Hacker, zit. nach Meinel und Schnabel, 2007, S. 30)

diese auf intellektueller und perzeptiv-begrifflicher Ebene. Gerade im Sport hat jedoch auch die sensomotorische Ebene eine große Bedeutung (ebd.).

Beobachtbar werden sportliche Handlungen und deren motorische Komponenten schließlich bei sportlichen Bewegungen. Das koordinierte Zusammenspiel von Teilbewegungen im Zuge einer Willkürbewegung kann im engsten Sinne als Bewegungskoordination verstanden werden. Um jedoch sportliche Bewegung gänzlich zu fassen, muss diese immer handlungsbezogen betrachtet werden, wobei neben der sensomotorischen Ebene eben auch höhere Zentren beteiligt sind. Ohne diese würden Willkürbewegungen gar nicht erst möglich sein (Meinel & Schnabel, 2007, S. 31).

Je nach wissenschaftlichem Standpunkt kann Koordination schließlich unterschiedlich betrachtet werden. Die Sportpädagogik legt besonderen Wert auf das richtige Ordnen von Bewegungsphasen, Bewegungen oder Teilhandlungen. Die Physiologie betrachtet vor allem die inter- und intramuskuläre Koordination von Muskeln und Muskelgruppen. Um den Begriff der Koordination vollständig zu

fassen, reicht die Aufzählung verschiedener Interessen jedoch nicht aus, da diese die „Abstimmung aller Teilprozesse des motorischen Akts im Hinblick auf das Ziel darstellt“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 32).

Meinel und Schnabel definieren Bewegungskoordination allgemein so:

Die Ordnung, die Organisation von Bewegungen und damit auch der zugrunde liegenden inneren, psychophysischen Prozesse in Ausrichtung auf ein bestimmtes Ziel beziehungsweise einen Zweck. Das bedeutet die Abstimmung aller Bewegungsparameter im aktuellen Prozess der Wechselwirkung des Sportlers mit der jeweiligen Umweltsituation. Sie ist dem Sportler und dem Sportpädagogen zunächst nur zugänglich und erfassbar als Abstimmung der Bewegungsphasen, der Bewegungen oder der Teilhandlungen. (Meinel & Schnabel, 2007, S. 33)

4.2.1. Merkmale menschlicher Bewegung

Meinel und Schnabel (2007, S. 140) haben zahlreiche Bewegungsmerkmale genau definiert. Diese sind zum Teil direkt messbar oder bilden zusammen ein übergeordnetes Merkmal. Der Bewegungsrhythmus und die Bewegungskopplung erfassen strukturelle Beziehungen sehr komplexer Art. Die übrigen Merkmale sind auf einzelne Aspekte ausgerichtet und relativ gut messbar. Eine gute Abstimmung der Merkmale zueinander und eine hohe Qualität ergeben schließlich eine homogene, fließende Bewegung. Dieses Zusammenspiel bezeichnen Meinel und Schnabel als „Bewegungsharmonie“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 140).

Loosch (1999) hebt hervor, dass für die qualitative Beschreibung von Bewegung physikalische Termini und quantitative Größen alleine unzureichend sind. Um die Komplexität und Ganzheitlichkeit des Geschehens zu erfassen, ist das geschulte Auge eines Beobachters notwendig (Loosch, 1999, S. 90). Die Bewegungsharmonie entzieht sich demnach einer physikalischen Bestimmung gänzlich, zumal nicht einzelne messbare Bewegungen entscheidend sind, sondern die Qualität des Gesamtbilds der Bewegung, einschließlich ihrer Abstimmung auf äußere Gegebenheiten, die Aufschluss über ihre Güte gibt (Loosch, 1999, S. 92).

¹Besonders die verbale Begleitung von Knotenpunkten der Bewegung kann den Rhythmus der Bewegung hervorheben.

Tabelle 4.1.: Bewegungsmerkmale nach Meinel und Schnabel (2007, S. 92ff)

Merkmal	...	Beispiel Jonglieren
Bewegungsrhythmus	zeitliche Ordnung	„Werfen - Werfen“ , „Fangen - Fangen“ ¹
Bewegungskopplung	Zusammenhangs der Teilbewegungen und der Bewegungsübertragung	Zusammenspiel von Unterarm und Handgelenk bei der Wurfbewegung
Bewegungsfluss	Kontinuität im Bewegungsverlauf	Runde, „weiche“, Wurfbewegungen
Bewegungskonstanz	Wiederholungsgenauigkeit	Abweichungen zwischen mehreren Würfeln
Bewegungsumfang	räumliche Ausdehnung	Am Stand oder im gehen jonglieren; Abwurf- Auffangorte
Bewegungstempo	Bewegungsgeschwindigkeit	Hohes oder niedriges Wurfmuster; Abwurfgeschwindigkeit
Bewegungsstärke	Krafteinsatz	Angespannte Arme; Höhe der Wurfbahn
Bewegungspräzision	Ziel- und Ablaufgenauigkeit	Tempo, Kraft und Umfang optimal („=Wurfbahn optimal“)

In Tabelle 4.1. sind die Merkmale zusammengefasst und mit Hilfe von Beispielen zum Thema 'Jonglieren' verdeutlicht. Insbesondere die messbaren Merkmale beim Jonglieren sind dabei hervorzuheben. Der Bewegungsrhythmus, der Bewegungsfluss, die Bewegungsgenauigkeit sowie die Bewegungskonstanz und der Bewegungsumfang, spielen bei der *Drei-Ball-Kaskade*² eine große Rolle. Betrachtet man diese Merkmale gemeinsam und im Zusammenhang, und fasst sie als Bewegungsharmonie zusammen, so wird eine qualitative Beschreibung und Bewertung der Bewegung möglich (Meinel & Schnabel, 2007, S. 378). Dies wird unter anderem eine zentrale Aufgabe in *Kapitel 5* sein.

²Die Kaskade mit drei Bällen gilt als Grundmuster beim Jonglieren mit drei Bällen. Details zum Ablauf findet der Leser in *Kapitel 5.2*

4.2.2. Koordinative Fähigkeiten

Aus den Bewegungsmerkmalen können die koordinativen Fähigkeiten mehr oder weniger direkt abgeleitet werden. Meinel und Schnabel (2007, 218f) nennen und charakterisieren folgenden Fähigkeiten, welche im weiteren Verlauf ausführlich behandelt und anhand konkreter Beispiele erklärt werden.

Motorische Differenzierungsfähigkeit

Die motorische Differenzierungsfähigkeit ist die Fähigkeit, einzelne Bewegungsphasen und Teilkörperbewegungen präzise abstimmen zu können. Sichtbar wird sie an einer hohen Bewegungsgenauigkeit und Bewegungsökonomie (Meinel & Schnabel, 2007, S. 221). Die Grundlage dafür bildet die bewusste und präzise Wahrnehmung der Kraft-, Zeit- und Raumparameter einer ablaufenden Bewegung und der Vergleich jener Parameter mit dem auf verschiedenen Regulationsebenen codierten Handlungsprogramm. Entscheidend für den Ausprägungsgrad sind die Bewegungserfahrungen und der Beherrschungsgrad der spezifischen Bewegung, da erst dadurch Fehler in der Bewegungsausführung präzise erkannt werden können (ebd.). Die motorische Differenzierungsfähigkeit wird deshalb erst ab einem gewissen Leistungsniveau erkennbar und bedeutend (ebd., S. 222).

Als Maß für die motorische Differenzierungsfähigkeit nennen Meinel und Schnabel (2007, S. 222) die Genauigkeit der Ausführung einzelner Bewegungsphasen, Teilkörperbewegungen sowie der Gesamtbewegung bezüglich räumlicher, zeitlicher und dynamischer Parameter. Bewegungshandlungen, die das präzise Reproduzieren von vorgegebenen Winkeln, Bewegungsamplituden oder Krafteinsätzen erfordern, verlangen ein hohes Maß an Differenzierungsfähigkeit (ebd.).

Dies gilt etwa auch ganz besonders beim Jonglieren, wo die motorische Differenzierungsfähigkeit das Beherrschen der Bewegung maßgeblich bestimmt. Je besser die Kaskade mit drei Bällen beherrscht wird, umso gleichmäßiger und exakter werden die einzelnen Würfe aneinandergereiht.

Die Differenzierungsfähigkeit steht in direktem Bezug zur Orientierungs- und Kopplungsfähigkeit und ist als Voraussetzung für die Gleichgewichts- und Rhythmisierungsfähigkeit zu sehen (ebd., S. 223).

Kopplungsfähigkeit

Die Kopplungsfähigkeit ist nach Meinel und Schnabel (2007) die Fähigkeit, Teilkörperbewegungen bezüglich eines gewissen Handlungsziels „untereinander und in Beziehung zu der [...] Gesamtkörperbewegung räumlich, zeitlich und dynamisch, zweckmäßig aufeinander abzustimmen“ (S. 223). Sie ist bei allen sportlichen Bewegungshandlungen, vor allem aber bei schwierigen, koordinativ anspruchsvollen Bewegungsaufgaben von großer Bedeutung (Meinel & Schnabel, 2007, S. 223).

Kopplungsfähigkeit ist auch beim Jonglieren eine Voraussetzung und zeigt sich dort bei der Wurfbewegung insofern, als diese mit einer Bewegung der Unterarme beginnt und schließlich mit einer präzisen Bewegung des Handgelenks und der Finger endet.

Das Maß der Kopplungsfähigkeit ist gemäß Meinel und Schnabel (2007, S. 223) die Schnelligkeit und Vollkommenheit (Exaktheit) der Aneignung von Bewegungshandlungen, mit hohen Anforderungen an das Zusammenspiel gleichzeitig oder nacheinander ablaufender Teilkörperbewegungen. Die Koordinationsschwierigkeit könnte ebenso als Maß gesehen werden, wobei nach steigendem Schwierigkeitsgrad zusammengestellte Übungen Voraussetzung sind.

Reaktionsfähigkeit

Nach Meinel und Schnabel (2007, S. 223) versteht man unter Reaktionsfähigkeit die Fähigkeit zur schnellen Einleitung und Ausführung zweckmäßiger motorischer Aktionen als Antwort auf unterschiedlich komplexe Signale. Entscheidend ist dabei die Zeitspanne zwischen Signal und Reaktion, wobei üblicherweise versucht wird, diese auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Reaktionsfähigkeit steht in enger Verbindung mit der Umstellungsfähigkeit und der Bewegungsschnelligkeit sowie allgemeinen intellektuellen Fähigkeiten. Als Maß gilt die Schnelligkeit und Bedingungs- bzw. Situationsadäquatheit des Reagierens auf ein Signal (ebd., S. 224).

Reaktionsfähigkeit spielt beim Jonglieren-Lernen vergleichsweise eine untergeordnete Rolle. Auf Fehler kann im Allgemeinen erst dann reagiert werden, wenn die Bewegung bereits gut beherrscht wird.

Orientierungsfähigkeit

Die Orientierungsfähigkeit ist die Fähigkeit der gezielten Bestimmung und Veränderung der Lage des Körpers in Bezug auf ein definiertes Aktionsfeld und/oder ein sich bewegendes Objekt (ebd. S. 225). Die Grundlage für die Orientierungsfähigkeit bilden vorwiegend das optische, das kinästhetische und das vestibuläre Sinnessystem. Sie steht in enger Beziehung zur Differenzierungsfähigkeit, spielt aber aufgrund der großen Bedeutung visueller und vestibulärer Informationen für die erfolgreiche Bewegungskonzeption auch hinsichtlich der übrigen koordinativen Fähigkeiten eine wichtige Rolle. Als Maß gelten die Schnelligkeit, Richtigkeit, Genauigkeit des Orientierens in Verbindung mit dem Erreichen einer bestimmten Genauigkeit bei der Ausführung der Bewegungsaufgabe (ebd., S. 225).

Orientierungsfähigkeit ist beim Jonglieren vor allem bei Partnerübungen oder komplizierten Würfeln in Kombination mit Ganzkörperbewegungen (z. B. Drehung am Stand) bedeutsam. Sie ist somit, wie schon die Differenzierungsfähigkeit, mit der diese eng verknüpft ist, dann bedeutend, wenn die Bewegung grundsätzlich beherrscht wird und bewusst zusätzliche Bewegungsaufgaben angestrebt oder Fehlerkorrekturen vorgenommen werden.

Ein Beispiel, bei dem Orientierungsfähigkeit beim Jonglieren maßgeblich ist, stellt das Spiel „Jollyball“ dar. Dabei spielen Teams gegeneinander, indem sie über ein Netz gegeneinander jonglieren. Jedes Teammitglied hat zwei Bälle in der Hand und es gibt einen zusätzlichen Spielball. Nach einem „Service“, das aus der Kaskade heraus gespielt wird, versucht das gegnerische Team, den Ball zu fangen und weiter zu jonglieren. Fällt der Ball zu Boden, bekommt das gegnerische Team einen Punkt (vgl. Volleyball). Es wird dabei jedoch auch klar, dass es nicht mehr um die eigentliche Bewegungsaufgabe „Jonglieren mit drei Bällen“ geht, sondern komplexere Ziele verfolgt werden, die Orientierungsfähigkeit verlangen. Bei der Kaskade mit drei Bällen alleine spielt Orientierungsfähigkeit nur eine untergeordnete Rolle.

Gleichgewichtsfähigkeit

Gleichgewichtsfähigkeit ist nach Meinel und Schnabel (2007, S. 225) die Fähigkeit, den ganzen Körper im Gleichgewichtszustand zu halten bzw. diesen Zustand während einer Bewegung aufrechtzuerhalten oder danach wiederherzustellen. Man unterscheidet nach Meinel und Schnabel zwei Formen des Gleichgewichts: Einerseits das „statische Gleichgewicht“, welches dazu dient, den Körper bei langsamen Bewegungen bzw. in relativer Ruhelage im Gleichgewicht zu halten. Andererseits das „dynamische Gleichgewicht“, welches dazu dient, das Gleichgewicht während oder nach schnellen und umfangreichen Lageveränderungen des Körpers zu erhalten oder wiederherzustellen. Bei Letzterem sind vor allem vestibuläre Sinnesinformationen entscheidend, beim statischen Gleichgewicht spielen hingegen vermehrt die Informationen aus den kinästhetischen und taktilen Analysatoren sowie teilweise auch jene des statico-dynamischen und des optischen Systems eine Rolle. Statisches Gleichgewicht ist für alle sportlichen Bewegungshandlungen bedeutend, dynamisches Gleichgewicht hingegen nur bei Sportarten, bei denen schnelle und große Lageveränderungen des Körpers passieren (z. B. Trampolinspringen) (ebd., S. 226).

Als Maß für die Gleichgewichtsfähigkeit gilt „die Dauer der Aufrechterhaltung eines Gleichgewichtszustandes beziehungsweise das Tempo und die Qualität der Wiederherstellung“ (ebd.) eines solchen.

Wie schon die Orientierungsfähigkeit spielt auch die Gleichgewichtsfähigkeit beim Jonglieren mit drei Bällen nur eine sehr untergeordnete Rolle, weshalb darauf nicht genauer darauf eingegangen wird.

Umstellungsfähigkeit

Unter Umstellungsfähigkeit versteht man die Fähigkeit „während des Handlungsvollzugs auf Grundlage wahrgenommener oder vorauszusehender Situationsveränderungen (*u.a. durch Gegner, Mitspieler, Ball, äußere Einflüsse*) das Handlungsprogramm den neuen Gegebenheiten anzupassen und motorisch umzusetzen oder es durch ein situationsadäquateres zu ersetzen und damit die Handlung auf völlig andere Weise fortzusetzen“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 226). Die Fähigkeit des Umstellens hängt besonders von der Schnelligkeit

und Genauigkeit der Wahrnehmung der Situationsveränderung ab. Bewegungs- und Wettkampferfahrung sind für die Zahl und Qualität der Möglichkeiten zur Umstellung von entscheidender Bedeutung.

Umstellungsfähigkeit steht dabei in enger Verbindung zur Orientierungs- und Reaktionsfähigkeit. Als Maß für die Umstellungsfähigkeit sind die Richtigkeit des Anpassens bzw. das Umstellen der sportlichen Handlung aufgrund von sich plötzlich ändernden äußeren Bedingungen sowie die dafür benötigte Zeit zu sehen (ebd.).

Ein typisches Beispiel, bei dem Umstellungsfähigkeit gefragt ist, findet man etwa beim Schifahren. Geländeänderungen müssen laufend erkannt werden und der Sportler muss entsprechend darauf reagieren. In Bezug auf das Thema Jonglieren ist die Umstellungsfähigkeit erst ab einem gewissen Niveau, dann jedoch vermehrt ein entscheidendes Kriterium. Im Grunde erfordert jede kontrollierte Abweichung von der Grundbewegung (Kaskade), also jeder „Trick“, ein gewisses Maß an Umstellungsfähigkeit (wie auch Orientierungs- und Differenzierungsfähigkeit). Je besser die Umstellungsfähigkeit ist, desto leichter kann auf Fehler und Abweichungen reagiert werden, indem der Rhythmus oder das Muster der geworfenen Bälle umgestellt wird.

Rhythmisierungsfähigkeit

Unter Rhythmisierungsfähigkeit versteht man die Fähigkeit, einen von außen vorgegebenen Rhythmus zu erfassen und motorisch zu reproduzieren sowie den inneren, in der eigenen Vorstellung vorhandenen Rhythmus einer Bewegung in der eigenen Bewegungstätigkeit zu realisieren. Ein von außen vorgegebener Rhythmus ist meist visuell oder akustisch vorgegeben. Der innere, selbstorganisierte Bewegungsrhythmus spielt sehr oft eine wichtige Rolle bei sportlichen Bewegungen und ist als koordinative Leistungsvoraussetzung zu sehen. Als Maß für die Rhythmisierungsfähigkeit gilt somit das richtige Erfassen und Darstellen vorgegebener bzw. in der Bewegung enthaltener Rhythmen (ebd., S. 227f).

Der Bewegungsrhythmus ist beim Jonglieren eines der maßgeblichen Merkmale für das Niveau und Beherrschen der Bewegung. Ein konstanter, homogener Rhythmus ist für ein gleichmäßiges, kontrolliertes Werfen der Bälle unumgänglich und ist somit im Lernprozess hervorzuheben.

4.3. Motorisches Lernen

So wie es bei der Betrachtung menschlicher Bewegung eine Innen- und eine Außensicht gibt, sind auch im motorischen Lernprozess kognitive und motorische Aspekte zu unterscheiden. Nach Daus und Blischke (1996, S. 21) war die sportwissenschaftlich orientierte Motorikforschung lange Zeit der Tradition des *instrumentellen Lernens* bzw. dem diesem nahestehenden *Knowledge of Results-Paradigma* verhaftet. Vorwiegend konzentrierte man sich auf Konzepte, wie motorische Programme, Schemata und Feedback.

In den späten 90er Jahren des 20. Jahrhunderts ist nach Daus und Blischke (1996, S. 16) jedoch ein Kognitionstrend in der Motorikforschung zu erkennen. Man bemerkte, dass selbst grundlegende Bewegungen durch Erwartungen, Zielvorstellungen oder Kenntnis des Resultats beeinflusst werden können (Jeannerod, 1984, zit. nach Daus und Blischke, 1996, S. 19). Die besondere Rolle kognitiver Aspekte im motorischen Lernprozess belegen Daus und Blischke etwa damit, dass extensives Üben, Nachahmung und wiederholtes Sich-Vorstellen von Bewegungen, interne Bewegungsrepräsentationen optimieren kann. Unter *Vorstellung* versteht man dabei nach Meinel und Schnabel (2007, S. 51) „aus dem Gedächtnis reproduzierte Abbilder der Bewegung“.

Nach Meinel und Schnabel (2007, S. 144) sind über die Jahre eine Reihe von Lernmodellen und Lerntheorien entstanden. Keine davon kann jedoch das Problemfeld alleine ausreichend abdecken, stattdessen kommt jeder Theorie, wie schon den Theorien über die motorische Kontrolle, ein gewisser Erklärungswert zu.

Meinel und Schnabel unterscheiden mentales von motorischem Lernen. Ersteres dient dabei hauptsächlich der Aneignung von Wissen sowie geistigen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Letzteres zielt dagegen auf motorisches Können ab. (Meinel & Schnabel, 2007, S. 149) Mentales Training ist dabei als Mittel zur Entwicklung, Anpassung und Vervollkommnung von Verhaltensweisen, Handlungen und Fertigkeiten, deren Hauptinhalt die motorische Aktion ist, zu sehen (Meinel & Schnabel, 2007, S. 149).

Jegliche Form des Lernens basiert auf einer Form der Informationsverarbeitung, also der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -speicherung (Meinel & Schna-

bel, 2007, S. 161). Eine besondere Rolle spielt hierbei die Rückinformation über das Ergebnis einer Bewegungshandlung und über den Lernverlauf allgemein. Diese Rückinformation geschieht sowohl unmittelbar über die Selbstwahrnehmung als auch über externe Rückmeldungen.

Motorisches Lernen kann nur dann erfolgreich sein, wenn ein gewisser Grad an Lernaktivität sowohl auf mentaler als auch auf motorischer Ebene gegeben ist. Bestimmend dafür ist laut Meinel und Schnabel (2007) die Lernmotivation. Für diese ist neben einer guten pädagogischen Begleitung vor allem das Erfassen der motorischen Aufgabenstellung und der Gegenstandsbezug ebendieser von Bedeutung (Meinel & Schnabel, 2007, S. 162).

Schlussendlich hängt der Verlauf des motorischen Lernprozesses noch maßgeblich vom motorischen Ausgangsniveau ab. Konditionelle, technisch-koordinative, Beweglichkeits- sowie auch intellektuelle Voraussetzungen sind neben Aspekten wie Alter, Ausbildungsetappe und Sportart in der Gestaltung von Lernprozessen zu berücksichtigen und führen zu teils gravierenden Unterschieden im Niveau.

4.3.1. Das Phasenmodell motorischen Lernens nach Meinel und Schnabel

Vor allem im Hinblick auf die empirische Untersuchung in *Kapitel 5* beziehungsweise die qualitative Analyse des Könnens der Zielbewegung erscheint es notwendig, die unterschiedlichen Stufen des Lernens zu erörtern. Anhand der bereits in *Kapitel 4.2.1.* beschriebenen, koordinativen Merkmale einer Bewegung kann der Grad des Beherrschens einer Bewegung annähernd zugeordnet werden. Der so beschriebene Lerngrad reicht vom Kennenlernen und Erfassen einer Bewegung bis hin zur variablen und zugleich stabilen Einsetzbarkeit. Meinel und Schnabel (2007) haben die Stadien ausführlich beschrieben und gliedern diese folgendermaßen:

Entwicklung der Grobkoordination

Zu der ersten Phase des Bewegungslernens zählt das Kennenlernen der Bewegung bis zu ersten erfolgreichen Versuchen. Die Bewegung ist jedoch noch unvollkom-

men, und dabei entweder unter erleichterten Bedingungen durchgeführt oder nur in Ansätzen zu sehen. Das Erfassen der Lernaufgabe steht am Beginn des Lernprozesses und kann dabei sowohl von außen motiviert (Trainer, Lehrer, Übungsleiter) als auch aus Eigenmotivation passieren (Meinel & Schnabel, 2007, S. 165).

Das motorische Ausgangsniveau hat dabei einen großen Einfluss auf die Fähigkeit, die Aufgabe möglichst schnell zu erfassen. Beim Üben entsteht eine erste Vorstellung vom Bewegungsablauf, welche zumeist jedoch noch grob, unvollständig und fehlerhaft ist. Nach dem Erfassen der Aufgabe folgen erste Versuche, die zumeist nicht unmittelbar gelingen oder auch gar nicht Lösung der Bewegungsaufgabe sind. Nach mehreren Anläufen kann die Bewegung, möglicherweise auch unter vereinfachten Bedingungen, ansatzweise durchgeführt werden (Meinel & Schnabel, 2007, S. 166).

Typische Kennzeichen der Grobkoordination sind dabei nach Meinel und Schnabel (2007, S. 166f):

- ein übermäßiger und teilweise falscher Krafteinsatz
- eine ungenügend oder falsch ausgeprägte Bewegungskopplung
- ein mangelhafter Bewegungsfluss
- ein unzureichender Bewegungsumfang
- ein unangemessenes Bewegungstempo
- eine gering ausgeprägte Bewegungspräzision und Bewegungskonstanz

Entwicklung der Feinkoordination

Die zweite Lernphase reicht vom Beherrschen der Grobkoordination bis hin zum Stadium, in dem die Bewegung beinahe fehlerfrei ausgeführt werden kann. Der Übergang von der Grob- zur Feinkoordination passiert dabei stetig und in mehreren Teilphasen. Schließlich kann die Bewegung ohne störende Einflüsse gut und beständig ausgeführt werden. Im Falle von äußeren oder inneren Störeinflüssen oder unter erschwerten Bedingungen können jedoch alte Fehler wieder auftreten und Mängel sichtbar werden (Meinel & Schnabel, 2007, S. 174).

Der Lernfortschritt ist in dieser Phase nicht kontinuierlich, sondern stagniert oder sinkt sogar. Dieser mühsame Prozess bedarf daher einer ständigen Bekräftigung

der Lernaktivität und Lernmotivation. Dabei sollen besonders die Einzelheiten der Bewegung sowie die Besonderheiten hervorgehoben und somit die Aufmerksamkeit des Lernenden bewusst auf diese Feinheiten der Bewegung gerichtet werden. Durch eine Optimierung der sensomotorischen Wahrnehmung, einer Vervollkommnung des Handlungsplans und einer verbesserten Bewegungsantizipation ist das qualitative Erscheinungsbild der Bewegung deutlich verbessert. Besonders auch die optische Wahrnehmung wird in dieser Phase verfeinert und in weiterer Folge die Bewegungsvorstellung präzisiert. Größeren Störfaktoren ist das System noch nicht gewachsen (Meinel & Schnabel, 2007, S. 184).

Die Vervollkommnung der sensomotorischen Regulation kann insgesamt als Zusammenwirken des regulierenden Einflusses der gegenständlichen Umwelt, der in der aktiven Tätigkeit über die sensorische Information und Rückinformation wirksam wird, und der teilweise bewussteren Durchdringung des Bewegungsvollzugs auf der Grundlage des verbalen Systems aufgefasst werden. (Meinel & Schnabel, 2007, S. 185)

Stabilisierung der Feinkoordination und verstärkte Entwicklung variabler Verfügbarkeit

In der dritten Lernphase wird die gut koordinierte Bewegung zusätzlich auch variabel verfügbar. Im Stadium der variablen Verfügbarkeit kann der Lernende auch Fehler ausbessern, Störfaktoren ausgleichen wodurch Spitzenleistungen möglich werden.

Die Bewegung wird dabei mehr und mehr automatisiert, weshalb die Aufmerksamkeit in dieser Lernphase zunehmend von der Bewegungsausführung gelöst werden kann. Dadurch kann es dem Lernenden möglich, die Konzentration auf das taktische Geschehen oder bestimmte Qualitätsmerkmale der Bewegung richten.

Die Perfektionierung der sensomotorischen Steuerung und Regelung erlaubt ein frühes Erkennen von Störfaktoren und eine hohe Präzision der Sollwertabweichung, weshalb auch große Störeinflüsse kompensiert werden können.

Dieses Stadium wird im Grunde genommen nie ganz erreicht, sondern ist je nach Anforderung sowie Ehrgeiz und Wille in unterschiedlichem Maße erreichbar. Vom Erscheinungsbild ist es kaum von der zweiten Lernphase zu unterscheiden, erst eine deutlich erkennbare Bewegungskonstanz und Bewegungspräzision zeigen das Erreichen dieser Lernphase. Dies ist in den üblichen Lernsituationen jedoch selten der Fall (vgl. Meinel & Schnabel, 2007, S. 196).

4.3.2. Techniktraining

Eine sportliche Technik ist die zweckmäßigste und biomechanisch betrachtet beste Lösung einer sportartspezifischen Bewegungsaufgabe. Das Techniktraining unterteilt sich nach Martin (1991, S. 55ff.) organisatorisch und inhaltlich in drei Teilbereiche:

- **das Technikerwerbstraining**

„Das Technikerwerbstraining steuert die automatisierte Beherrschung von sportmotorischen Fertigkeiten an, die sich durch einen hohen Grad an Stabilität auszeichnen müssen.“ (Ebd., S. 56)

Die Grundlage für das Erlernen solcher Bewegungsfertigkeiten bildet die Lernfähigkeit der neuronalen Strukturen. Das Bilden von interneuronalen Vernetzungen führt zu einer Speicherung der Information im Langzeitgedächtnis. Die dadurch entstehenden stabilen Bewegungsprogramme werden vor allem durch wiederholtes Üben gebildet. Möglichst gleiche Bewegungsabläufe unter gleichen Bedingungen trainieren zu können, ist ein trainingsmethodisches Prinzip, um die Bewegungsprogramme einzuschleifen und zu verbessern. Das zweite Prinzip des Technikerwerbstrainings ist das kontinuierliche Überlernen, also ein übertrieben ausgedehntes und sich ständig wiederholendes Üben (ebd., S. 57).

- **das Technikanwendungstraining**

„Beim Technikanwendungstraining werden die zu den Techniken gehörenden Fertigkeiten unter möglichst vielseitig gestalteten variablen und wettkampfspezifischen Bedingungen einer Sportart trainiert.“ (Ebd., S. 58)

Für viele Sportarten ist es notwendig, die beherrschten Fähigkeiten variabel und situationsbedingt anwenden zu können. Hierbei gibt es aus lerntheoretischer Sicht zwei unterschiedliche Positionen. Eine fordert, dass sportmotorische Fertigkeiten zuerst stabilisiert und dann variiert werden sollten, die andere hingegen meint, dass bereits von Beginn an variabel geübt werden sollte (ebd.).

Martin stellt diesbezüglich die Hypothese auf, dass die erfolgreiche Verfügbarkeit sportmotorischer Fertigkeiten in den variablen Situationen technischer Aufgabenlösungen auf zwei Fähigkeiten beruht: der erfahrungsbedingten Antizipationsfähigkeit und dem Durchsetzungsvermögen automatisierter Fertigkeiten (ebd.).

Die Antizipation verläuft dabei in zwei Phasen. In der Situationsantizipation werden Handlungen aufgrund von situationsanalytischer Wahrnehmung und Erfahrung vorbereitet. Die Wahrnehmungs- und Erfahrungsdaten beziehen sich dabei auf frühere, ähnliche Situationen, wodurch die Raum-Zeitbedingungen vorhergesehen werden können. In der zweiten Phase, der Handlungsantizipation werden jene Handlungen ausgewählt, die sich aufgrund von Erfahrung als situationsadäquat bewährt haben (ebd., S. 60).

Das Technikanwendungstraining hat somit als Ziel, optimale technische Lösungen für variable Situationen anzubieten und die Technik auch unter schwierigen Bedingungen durchsetzen zu können, was auf dem kontinuierlichen und systematischen Sammeln situationsgerechter Erfahrungen basiert (ebd., S. 62).

- **das technische Ergänzungstraining**

„Diese Wortschöpfung versucht jenen Teil des Techniktrainings begrifflich zu umfassen, der zwar in der Praxis variantenreich existiert, aber bislang weder durch sie noch durch die Trainingswissenschaft bearbeitet wurde.“ (Ebd., S. 62)

Beim technischen Ergänzungstraining werden all jene Trainingsmaßnahmen einbezogen, „die das Ziel haben, die Stabilität und Virtuosität der sportlichen Techniken mit ergänzenden Übungsinhalten weitergehend zu verbessern“ (ebd.).

Martin zählt diesbezüglich fünf praktische Beispiele auf, die sich bewährt haben. Von speziellen Ausformungsprogrammen (etwa beim Gerätturnen, wo es darum geht, eine technikbestimmende Fertigkeit stabil zu beherrschen) über die Tanz und Ballettausbildung, der schwerpunktmäßigen Schulung einer technikbestimmenden koordinativen Fähigkeit, bis hin zu speziellem Beweglichkeitstraining (etwa in der rhythmischen Sportgymnastik) und Imitationstraining mit Hilfe eines Modells kann kaum eine technisch anspruchsvolle Sportart auf das Ergänzungstraining verzichten. Trotzdem fehlt es in vielen Sportarten an einer Systematisierung dieses Trainings (ebd., S. 62ff.).

4.3.3. Visuomotorisches Lernen

Sowohl Daug, Marshall, Blischke, und Oliver (1989) als auch Mester (1991) halten fest, dass sensomotorisches Lernen im Sport zumeist ein Lernen an visuellen Vorgaben ist. Neben der verbalen Beschreibung von Bewegungen ist das modellhafte Vorzeigen einer Bewegung das primäre Mittel der Wahl in der Bewegungslehre (Mester, 1991, S. 178). Die von den Modellen gewonnenen *Soll-Werte* werden dabei in die eigene Bewegungsvorstellung des Lernenden integriert und mit den motorischen Möglichkeiten imitiert. Es kann also, ohne hier die genauen Mechanismen der Nachahmung detailliert zu beleuchten, der Modalität und Qualität einer visuellen Präsentation große Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die am weitesten verbreitete und attraktivste Form hierbei stellt der (Technik-)Lehrfilm dar.

Das Erstellen eines Technik-Lehrfilmes gehört laut Hotz und Strähl zur Praxis der Trainings- und Bewegungslehre. Um ein meist auf bewegungs- und trainingswissenschaftlichen Erkenntnissen beruhendes Ziel zu erreichen, muss ein Lehrfilm didaktisch aufbereitet und mit künstlerischem Flair umgesetzt werden (Hotz & Strähl, 1991, S. 210). „Die Konzipierung und Verwirklichung eines (,guten‘) Technik-Lehrfilms ist somit eine klassische Didaktik-Aufgabe: Theoretische Substanz soll im Dienste der Praxis für ein klar definiertes Zielpublikum fruchtbar gemacht werden.“ (Ebd.)

Nach Daug u. a. (1989, S. 13f) ergeben sich bei der Erstellung eines Lehrfilms folgende Problembereiche:

1. **Gegenstandsbezogener Problembereich** (*Was* soll visualisiert werden?)

Bei der Erstellung eines Lehrvideos muss zuerst geklärt werden, was aufgezeichnet und dargestellt werden soll. Die Möglichkeiten hierbei sind sehr vielfältig. Bewegungen können aus rein ästhetischen oder – wie heute bereits üblich – aus Gründen der Selbstdarstellung in sozialen Netzwerken (Facebook, Youtube), aufgezeichnet werden. Es können natürlich auch gewisse Knotenpunkte, Dynamiken und Funktionsphasen einer Bewegung dargestellt werden, sowie Videos mit der Absicht von *Soll-Ist-Wert* Analysen erstellt werden (ebd. S. 14).

2. **Quantitativer Problembereich** (*Wie viel* soll visualisiert werden?)

Hierzu zählen etwa die Menge der zusätzlichen Informationen sowie die Komplexität des Gesamtbildes. Daus u. a. (1989, S. 14) nennen hierbei das Prinzip der optimalen informationellen Reduktion. Dieses besagt, dass bei der Verwendung visueller Gestaltungsmittel weder eine informationelle Über- noch Unterforderung erfolgen soll. „Textumfang, Bildichte, Bildkomplexität und die mengenmäßig optimale Verwendung von Lernleitzeichen (Ordnungs-, Hinweis- und Hervorhebungszeichen) oder filmischen Gestaltungsmitteln (Zoom, Standbild, Trick, Texteinblendung, Zeitlupe) stellen die zentralen Aspekte dieses quantitativen Problembereichs dar.“ (Ebd. S. 15)

3. **Grafisch-Typografischer Problembereich** (*Wie* soll visualisiert werden?)

Die Frage nach der didaktischen Visualisation betrifft vor allem den Aspekt der „lernwirksamen Verwendung grafischer und typografischer Gestaltungsmerkmale wie Anordnungsstruktur, Abstraktionsgrad, Aufmerksamkeitslenkung und Typografie.“ (Ebd.)

Die 'Anordnungsstruktur' meint die räumliche Anordnung von Einzelbildfolgen und die geeignete Platzierung von Bild-Text-Kombinationen. Der 'Abstraktionsgrad' bezieht sich auf die Lernwirksamkeit von Realbildern, Konturogrammen oder Strichzeichnungen. Die Aufmerksamkeitslenkung

ist durch grafische (Pfeile, Farben...) und filmische (Standbild, Text, Zeitlupe...) Gestaltungsmerkmale gegeben. Die Typografie bezieht sich auf Merkmale wie Schriftbild, Zeilenlänge oder Hervorhebungen (ebd.).

Bei der Gestaltung des Lernvideos in *Kapitel 5* sind diese Aspekte zu beachten, woraus sich insbesondere folgende Fragen ergeben: Sollen gewisse Bildteile hervorgehoben oder ausgeblendet werden? Ist das Video abstrakt oder realistisch produziert? Wie können Zeitlupen oder Wiederholungen sinnvoll integriert werden? Werden zusätzliche Informationen eingeblendet?

Wahrnehmung

Ein Hauptaugenmerk beim visuomotorischen Lernen liegt auf der Wahrnehmung. Diese steuert und kontrolliert sowohl Prozesse der Informationsaufnahme und -Speicherung als auch der Informationsabgabe, also der Bewegungsausführung. Daugs u. a. (1989, S. 20f) beschreiben die Wahrnehmung aus vier verschiedenen Blickwinkeln:

- physikalische und physiologische Bedingungen der Wahrnehmung
- das Wahrnehmen als Auswählen
- die Wahrnehmung im Bezug zum Gedächtnis
- die Wahrnehmung im Bezug zur Bewegungsausführung

Scully und Newell behandeln in ihrem Modell der visuellen Wahrnehmungsperspektive die Frage, welche Informationen bei der Beobachtung eines Modells wahrgenommen werden. Das visuelle System des Menschen sei demnach in der Lage, grundlegende Informationen über die Bewegungen des Körpers in Relation zwischen den Körperteilen direkt wahrzunehmen (Scully Newell, 1985, zit. nach Williams, Davids, und Williams, 1999, S. 350).

Nach Williams u. a. (1999) besteht ein großer Vorteil dieser Theorie darin, dass sie sich auf den Beginn des motorischen Lernens bezieht. Demzufolge sind visuelle Demonstrationen zu Beginn eines Lernprozesses durchaus hilfreich und erleichtern das Lernen. Ist eine Bewegung jedoch schon verinnerlicht und muss nur noch

gefestigt werden, hat die Beobachtung eines Modells keinen Einfluss mehr. Es können also keine Imitationseffekte mehr festgestellt werden, wenn ein bereits koordiniertes Bewegungsmuster vorliegt.

Ein erfolgreiches Erlernen dieser Bewegungen kann nach Scully und Newell nur durch wiederholtes Üben stattfinden und zwar unabhängig davon, ob visuelle Demonstrationen stattfinden oder nicht (Williams u. a., 1999, S. 352).

4.3.4. Modelllernen im Sport

Sowohl im Alltag als auch in der Praxis von Schule, Berufswelt und Sport ist „Lernen am Modell“ eine überaus gängige Form des Bewegungslernens. Modell-Beobachtungen stiften eine strukturierte Repräsentation hinsichtlich zweier Dimensionen, „die sich beide auf Aspekte der situationsangepaßten Produktion und Kontrolle von Bewegungen beziehen“ (Daugis & Blischke, 1996, S. 22). Diese Repräsentation dient sowohl als internes Modell für die Bewegungsproduktion als auch als Vergleichsstandard für gegebenenfalls nötige Fehlerkorrekturen (ebd., S. 23).

Beim Modelllernen wird in erster Linie der raum-zeitliche Verlauf einer Bewegung anhand eines Modells gelernt. Wegen der hohen Informationsdichte hat sich diesbezüglich der Einsatz von Videotechnologien bewährt (Büsch & Janssen, 1997, S. 161). Büsch und Janssen (1997, S. 161f) unterscheiden dabei vier Arten von (visuellen) Informationen:

1. Die Soll-Wert-Information über die auszuführende Bewegung
2. Die Ist-Wert-Information über die tatsächlich ausgeführte Bewegung
3. Die Diskrepanzinformation über die Abweichungen von Soll- und Ist-Werten
4. Die Korrekturinformation über die nötigen Schritte zur Diskrepanzminimierung

Büsch und Janssen (1997, S. 161f) berichten schon damals von einem Experiment mit einem HMD. Dabei wurde untersucht, ob ein solches ein effektives Werkzeug

im Bewegungslernen sein kann und möglicherweise sogar herkömmlichen Video-präsentationen überlegen ist. Ersteres konnte dabei anhand eines Experiments zum Lernen der großen Körperwelle bestätigt, Letzteres hingegen nur zum Teil bestätigt werden.

4.3.5. Einflussfaktoren von Video-Instruktion und Video-Feedback auf visuomotorisches Lernen

Der positive Einfluss von Video-Instruktion und Video-Feedback auf das Bewegungslernen gilt als unbestritten. Dabei ist jedoch die Reihenfolge und Art der Einbettung in den Lernprozess von entscheidender Bedeutung (Daugu u. a., 1989, S. 211ff). Nur ein sukzessives, wiederholtes und aufeinander abgestimmtes Darbieten von Soll- und Ist-Werten kann den motorischen Lernprozess unterstützen. Dies gilt umso mehr, je „neuer“ die zu lernende Bewegung ist. Gerade am Beginn des Bewegungslernens herrscht eine hohe Diskrepanz zwischen der Bewegungsvorstellung und der Bewegungswahrnehmung. Diese Abweichungen können durch gezielten Einsatz von visuellen Darbietungsformen schneller vermindert werden.

Als Präsentationsmerkmale einer filmischen Darstellung von Bewegung sind kinematisch-räumliche, kinematisch-zeitliche und kinematisch-raumzeitliche Merkmale zu nennen (Olivier, 1987, S. 8). Am Beginn des Lernprozesses werden insbesondere räumliche Informationskomponenten verarbeitet. Zeitliche und raum-zeitliche Informationen werden hingegen erst später herangezogen (Daugu u. a., 1989, S. 39).

Der Einfluss von Zeitlupen

Die Zeitlupe ist ein beliebtes und anerkanntes Mittel in der filmischen Darstellung von Bewegung (Daugu u. a., 1989, S. 167; Olivier, 1987, S. 1). Diese ermöglicht wegen der detaillierten Darstellung des Bewegungsablaufs eine bessere *initiale Bewegungsrepräsentation* und ist somit gerade am Beginn des Bewegungslernens von großer Bedeutung (Olivier, 1987, S. 1). Winkel und Längen verhalten sich dabei gleich wie bei normaler Geschwindigkeit, die absoluten Zeitmerkmale unterscheiden sich jedoch. Daugu u. a. (1989, S. 167) legen dar, dass durch die

langsamere Geschwindigkeit insgesamt günstigere Wahrnehmungsbedingungen herrschen als bei normaler Geschwindigkeit. Beim Neulernen einer Bewegung spielen eher räumliche Präsentationsmerkmale eine Rolle. Später im Lernprozess werden zeitliche und raum-zeitliche Informationen bedeutender (ebd. S. 169). Hier ist gerade auch der große Vorteil eines „virtuellen“ dreidimensionalen Lernvideos zu sehen. Durch die dreidimensionale Darstellung scheinen die Abbildungsschwierigkeiten von herkömmlichen zweidimensionalen Darstellungsformen (Bilder, Videos) nicht mehr vorhanden zu sein (vgl. Olivier, 1987, S. 8). Daraus ergeben sich auch bessere Möglichkeiten zur Schulung der räumlichen Wahrnehmung.

4.4. Zusammenfassung

Der kurze Auszug über menschliche Bewegung hat in erster Linie verdeutlicht, wie komplex und vielfältig die Sicht- und Herangehensweisen sein können. Die These, dass das Wesen und die Funktion menschlicher Bewegung wohl nie ganz geklärt werden wird, erscheint selbst nach dem Studium aktueller grundlegender Literatur durchaus begründet zu sein. Eine komplette Darstellung war auch nicht das Ziel des vergangenen Kapitels, stattdessen sollte darin gezeigt werden, dass es unterschiedliche Sichtweisen gibt, die je nach Interesse, Absicht und Situation unterschiedlich gute Erklärungen für gewisse Aspekte von Bewegung bieten. Es wurde außerdem der für das folgende Kapitel wichtige Bezug zum Thema Jonglieren hergestellt und mögliche positive Effekte und Vorteile von 'Lern-Videos' im motorischen Lernprozess ausgeführt.

5. Empirische Untersuchung

5.1. Problemstellung und Ziele der Untersuchung

Im folgenden Kapitel geht es um die Analyse und Auswertung einer Anwendung mit Bezug zu VR im motorischen Lernprozess, welche nach den bisherigen Erkenntnissen und Kriterien gestaltet wurde. Eine Erläuterung, wie diese Anwendung genau einzuordnen ist, also inwiefern es sich dabei um VR handelt, folgt in *Kapitel 5.3*. Es werden zwei unterschiedlich gestaltete Lernvideos als Hilfsmittel im Bewegungslernen getestet und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit verglichen. In *Kapitel 4.2* wurden die Bewegungsmerkmale sowie Kriterien zur Bewertung von Bewegung erläutert, die für die Auswertung des Experiments bzw. die Bewertung des Bewegungskönnens notwendig sind. Es wird also untersucht, inwieweit der Einsatz eines „virtuellen“, *3D-Lernvideos* einen positiven Effekt im Bewegungslernen hat bzw. ob dieses möglicherweise sogar signifikant bessere Leistungen im Lernprozess ermöglicht als ein herkömmliches (2D-, frontales) Lernvideo.

Als zu lernende und damit zu beobachtende und zu überprüfende Bewegungshandlung wurde die „Kaskade mit drei Bällen“ gewählt. Diese komplexe Bewegung soll durch den Einsatz von Lernvideos gelernt werden. Ein Lernvideo ist dabei als „klassisches“ Video gestaltet, das zweite Video wird stereoskopisch aufgenommen und mittels HMD präsentiert.

Wie die methodische Reihe zum Erlernen der Dreibalkkaskade genau gestaltet ist, wird später noch behandelt. Durch mehrere, zeitlich begrenzte und exakt beschriebene Lernphasen, die von beiden Versuchsgruppen gleichermaßen durchlaufen werden, sollen möglichst faire Bedingungen und somit eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben sein. Es soll dabei vor allem vermieden werden, dass die Versuchsgruppe mehr Trainingszeit als die Kontrollgruppe bekommt und somit die Ergebnisse von vornherein verfälscht würden. Erst nach

dem einführenden Teil mit ein und zwei Bällen werden die Probanden in zwei Gruppen geteilt. Die beiden Gruppen werden ab diesem Zeitpunkt von jeweils unterschiedlichen Lernvideos im Lernprozess begleitet. Folgende Hypothesen werden im Zuge des Experiments geprüft:

1. Die Bewegungsqualität aller VPn verbessert sich signifikant im Zuge der Untersuchung.
2. Die relative Verbesserung der Bewegungsqualität der Versuchsgruppe $G_1(3D)$ und der Kontrollgruppe $G_2(2D)$ unterscheidet sich signifikant.

5.2. Die Kaskade mit drei Bällen

Die Kaskade ist beim Jonglieren mit drei Bällen die einfachste und somit erste Übung, die es zu lernen gilt. „Die Bälle beschreiben dabei in etwa die Form eines liegenden Achters.“ (Apolin, 1997) Dieses Muster geht auch aus den Lernvideos hervor und ist in Abbildung 5.1. dargestellt. Zur Analyse und Visualisierung wurde das Programm *Tracker*¹ verwendet.

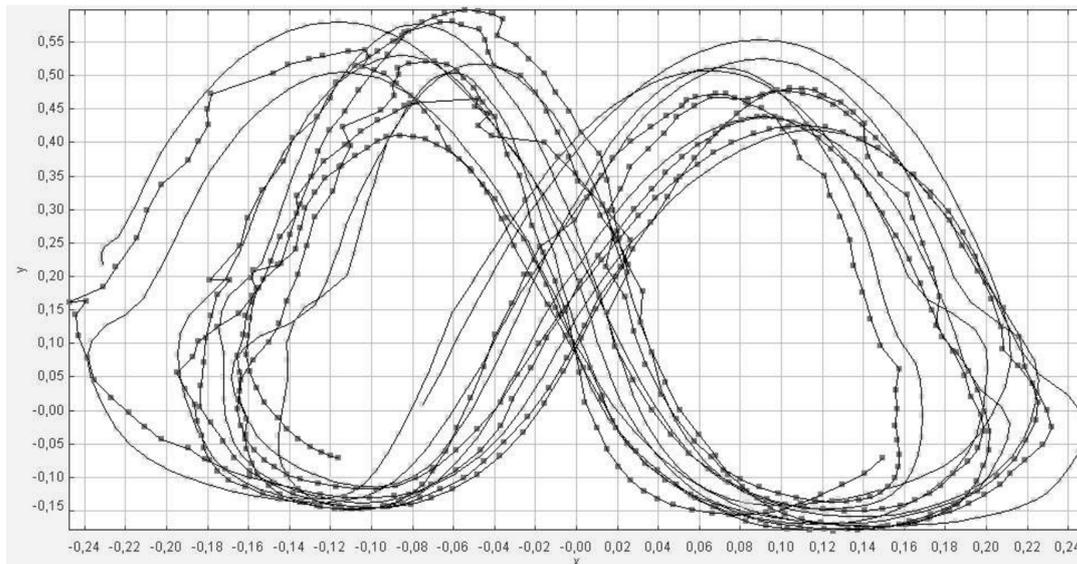


Abbildung 5.1.: Das Muster der Kaskade

¹<http://physlets.org/tracker/>

Die Hände beschreiben einen elliptischen Kreis wobei die Positionen der Hände genau entgegengesetzt ist (Abbildung 5.2.). Apolin (1997) behauptet, dass nur etwa 1‰ es schafft, diese Figur beim ersten Mal zu jonglieren.

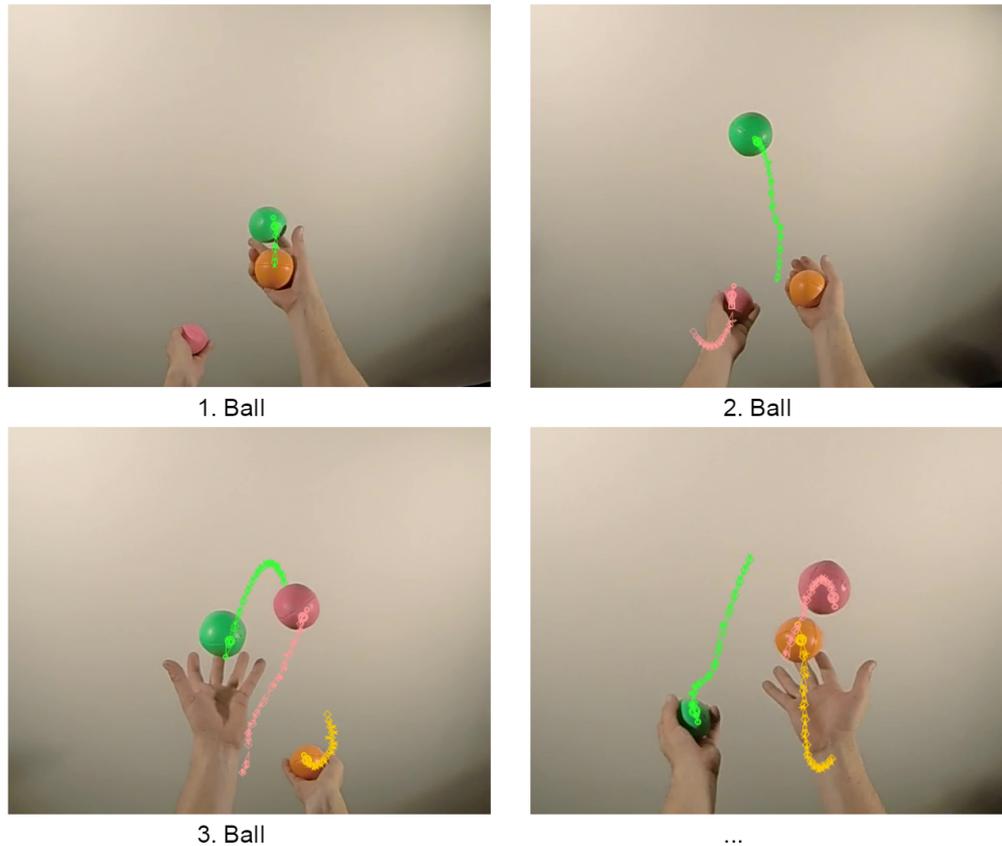


Abbildung 5.2.: Ablauf der Kaskade mit drei Bällen aus Sicht des Jongleurs

5.2.1. Eine methodische Übungsreihe der *3-Ball-Kaskade*

Um die 3-Ball-Kaskade zu erlernen, müssen vor allem allgemeine Fähigkeiten und Fertigkeiten für das Werfen und Fangen von Bällen trainiert werden. Insbesondere stehen bei den Vorübungen die folgenden vier Aspekte im Vordergrund:

- das Werfen des Balles
- das Fangen des Balles
- der Wurf-Rhythmus
- peripheres Sehen

Um diese Eigenschaften zu trainieren, sind Übungen mit einem oder zwei Bällen üblich (vgl. u. a. Apolin, 2002; Baier, Erath, Hofmann, und Pöllmann, 2002). Aus der Grundstellung, die als „Buttlerstellung“ (Apolin, 2002, S. 16) bezeichnet wird, werden vor allem Würfe von der rechten in die linke Hand und umgekehrt geübt. Variationen, die nicht die eigentliche Zielübung darstellen, sind zur Stabilisierung der Wurftechnik jedoch durchaus sinnvoll. So beschreiben auch Baier u. a. (2002, S. 18) als Vorübung das Werfen und Fangen mit der gleichen Hand.

Hinsichtlich der empirischen Untersuchung sollen die Probanden ein möglichst einheitliches Ausgangsniveau haben, bevor sie beginnen, mit drei Bällen zu jonglieren. Um dies zu erreichen, müssen die Teilnehmer unterschiedlichste Würfe mit einem und zwei Bällen durchführen. Die Übungen gestalten sich wie folgt:

Bevor überhaupt begonnen wird, ist das Erlernen der Grundstellung („Buttlerstellung“) wichtig. Dabei steht man aufrecht und winkelt die Unterarme so ab, als würde man ein Tablett tragen. Die Arme sind dabei locker und der Ellbogen weder angepresst noch zu weit weg vom Körper (Apolin, 1997).

Übungen mit einem Ball

1. Ball von rechter Hand in Kopf-hohem Bogen in die linke Hand werfen und umgekehrt.
2. Den Ball von oben fangen („Grapschen“).
3. Vor dem Fangen mit der Fanghand rund um den Ball kreisen.
4. Mit gebeugten Knien von vorne durch das diagonale Bein werfen.
5. *Lichtschalter*: Wie 1., aber ab dem höchsten Punkt des Balles die Augen schließen und den Ball fangen.
6. *Blitzlicht*: Nur am höchsten Punkt des Balles kurz die Augen öffnen und den Ball mit geschlossenen Auen wieder fangen.

Die Übungen schulen sowohl das Werfen und Fangen eines Balles als auch die Wahrnehmung und Aufmerksamkeit.

Übungen mit zwei Bällen

1. Zwei Bälle gleichzeitig gerade nach oben werfen und jeweils mit der gleichen Hand fangen.
2. Zwei Bälle gerade hoch werfen und mit überkreuzten Armen fangen (und umgekehrt, mit überkreuzten Armen die Bälle gerade nach oben werfen und mit geöffneten Armen fangen).
3. Von der rechten Hand in die linke Hand werfen und von der linken Hand in die rechte Hand werfen. (Rhythmus: „Werfen - werfen; Fangen - fangen“)
4. Von rechts nach links und umgekehrt mit Oberschenkel: Nach dem zweiten Wurf mit der ersten Wurfhand auf den Oberschenkel Klopfen (Werfen - Werfen - Klopfen; Fangen - Fangen)

Die Übungen mit zwei Bällen sind koordinativ anspruchsvoller und sollen sowohl die allgemeinen Wurf- und Fang-Fähigkeiten verbessern als auch den Rhythmus beim Jonglieren schulen. Das laute Mitsprechen im Takt der Bewegung ist hierbei entscheidend. Die letzte Übung ist schließlich als Vorübung für drei Bälle zu sehen.

Übungen mit drei Bällen

1. Drei Bälle werfen.
2. Drei Bälle werfen und fangen.

Die Übungen mit drei Bällen bilden sowohl den Abschluss der methodischen Übungsreihe als auch den Anfang der eigentlichen Studie. Kurz nach den ersten Versuchen werden die Teilnehmer dabei bereits aufgezeichnet, um mit Hilfe der Daten gleiche Gruppen für das Experiment bilden zu können.

5.3. Die Lernvideos

5.3.1. 3D

Das für diese Arbeit erstellte Lernvideo zur *3-Ball-Kaskade* ist keine VR-Anwendung im strengeren Sinn. Gemäß den Kriterien in *Kapitel 3.4.* kann das Video jedoch im *weiteren Sinn* durchaus als VR-Anwendung betrachtet werden. So soll vor allem durch einen natürlichen Blickwinkel auf das Geschehen ein möglichst hoher Immersionsgrad erreicht werden. Es handelt sich also um eine dreidimensionale Darstellung der 3-Ball-Kaskade aus Sicht des Jongleurs. Wie und nach welchen Kriterien dieses Video erstellt wurde, wird in der Folge ausführlich dargestellt.

Material

- Zwei *GoPro Hero3+* Kameras
- *GoPro Dual Hero* Halterung

Aufbau

Die dreidimensionale Darstellung der Bewegung wurde durch die Verwendung von zwei Kameras erreicht. Mit Hilfe des *Dual Hero*-Gehäuses werden die Kameras ungefähr in Augenabstand platziert und zwei Blickwinkel der Bewegung synchron aufgezeichnet.

Das System aus zwei Kameras wurde mit Hilfe eines Schwenkarmes in Kopfhöhe angebracht um die Bewegung aus einem möglichst natürlichem Blickwinkel aufzuzeichnen (siehe Abbildung 5.3.). Der Schwenkarm ermöglichte einerseits ungestörte Bewegungen der Arme und andererseits konnte so die Sichtbehinderung beim Jonglieren minimiert werden. Um die Bewegung und die Flugbahn der Bälle zur Gänze einfangen zu können war dennoch eine außergewöhnliche Körperhaltung nötig. So musste mit gestreckten Armen und relativ starker Rücklage jongliert werden. Deshalb waren mehrere Aufzeichnungen notwendig, um eine zufriedenstellende Aufzeichnung der Bewegung zu erhalten.



Abbildung 5.3.: Der Aufbau beim drehen des 3D-Videos. Die Position des Jongleurs befand sich dabei knapp unterhalb der Kameras und die Arme waren Richtung Leinwand ausgestreckt.

Videobearbeitung

Die beiden Videos wurden anschließend mittels *GoPro studio* zu einem stereoskopischen Video zusammengefügt und in der Folge mittels eines HMD für jedes Auge separat dargestellt. Aufgrund des *Position-Tracking-System*, das im HMD

integriert ist, kann das zuvor aufgezeichnete Blickfeld relativ frei betrachtet werden.

Die Unterarme, Hände und Bälle sind im Video immer sichtbar, um die Immersion möglichst hoch zu halten. Das Video startet in der Grundstellung (zwei Bälle rechts, einer links). Die Bälle sind farblich gut unterscheidbar (siehe Abbildung 5.4.). Nach einer Auftaktbewegung startet die Kaskade für mehrere Durchläufe (9 Würfe = 3 volle Durchläufe). Das Video wird viermal hintereinander mit unterschiedlicher Geschwindigkeit abgespielt. Von anfangs 25 % Geschwindigkeit steigt diese schließlich bis auf normale Geschwindigkeit (25 % - 50 % - 75 % - 100 %).

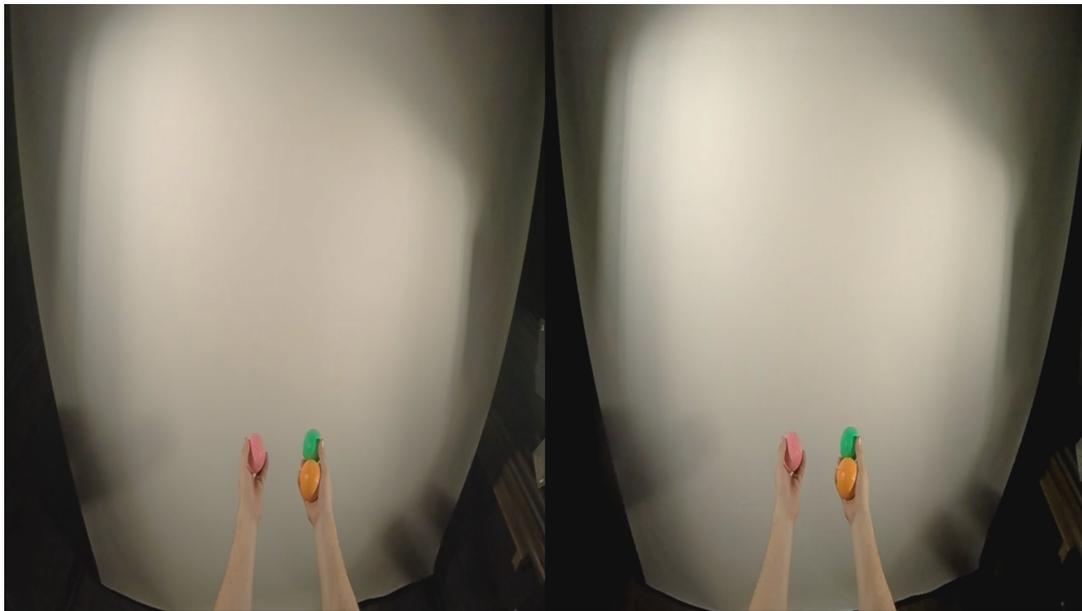


Abbildung 5.4.: Das stereoskopische Bild des 3D-Lernvideos. Durch die Darstellung mittels HMD „verschmelzen“ beide Bilder zu einem dreidimensionalen Bild

5.3.2. 2D

Das Video ist vom Ablauf her ident zum 3D-Video. Den Unterschied bildet die Frontalansicht und die zweidimensionale Darstellung (siehe Abbildung 5.5.).



Abbildung 5.5.: Die Ansicht beim „gewöhnlichen“ 2D-Lernvideo.

5.4. Rahmenbedingungen

5.4.1. Versuchspersonen

Die Stichprobe setzt sich aus 22 Schülern im Alter von zwölf Jahren zusammen, die mit Einverständnis der Eltern sowie des Direktors des *Gymnasiums des Sacré Coeur Wien* und des Stadtschulrates für Wien an der Untersuchung teilnahmen. Diese wurde im Zuge des Regelunterrichts durchgeführt und ist somit als Feldexperiment zu betrachten. Die Schulung koordinativer Fähigkeiten ist im Lehrplan für das Fach Bewegung und Sport explizit angeführt², womit die Studie sinnvoll und ökonomisch in den Unterricht integriert werden konnte.

5.4.2. Versuchsplan

Die Untersuchung bestand aus zwei Teilen, die sich über einen Zeitraum von einer Woche (15.4.2015 – 22.4.2015) erstreckten. Insgesamt nahm die eigentliche

²Lehrplan für Bewegung und Sport Unterstufe an AHS: https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/bewegungundsport_ust_788.pdf?4dzgm2

Testung (vorbereitende Stunden mit einem und zwei Bällen, die im Regelunterricht eingebaut wurden, sind hier nicht eingerechnet) drei Doppelstunden in Anspruch und war im Detail folgendermaßen gegliedert:

Im ersten Teil, der sich über mehrere Stunden verteilte, wurden die Übungen, die in *Kapitel 5.2.1.* beschrieben sind, geübt, um die Grundfertigkeiten zu trainieren und gute Voraussetzungen für das Jonglieren mit drei Bällen zu schaffen. Am Ende des ersten Teils, der den Beginn der eigentlichen Testung darstellte, wurden die Versuchspersonen (VPn) bei ihren ersten Jonglier-Versuchen mit drei Bällen gefilmt. Damit wurde die Bewegungsqualität der Teilnehmer erstmals bewertet, um sie anschließend mittels der erhaltenen Daten in zwei vergleichbare Gruppen aufzuteilen.

Im zweiten Teil der Studie wurden die Gruppen den jeweiligen Treatments (2D- bzw. 3D-Lernvideo) ausgesetzt. In zwei Doppelstunden sahen die VPn das jeweilige Lernvideo. Dazu waren in zwei getrennten Räumen ein Laptop bzw. das HMD vorbereitet. Die Teilnehmer sahen einzeln das Video und sollten dabei die Bewegungen nachahmen. Anschließend folgte eine Übungszeit von 35 Minuten im Turnsaal nach der die VPn in einer Garderobe bei mehreren Versuchen gefilmt wurden, um das Bewegungskönnen wie schon in *Teil 1* zu dokumentieren und zur weiteren Bearbeitung und Analyse zur Verfügung zu haben.

5.4.3. Untersuchungsmerkmale

Bei der Auswertung der Videos wurden die in Kapitel 4.2.1. und 4.2.2. besprochenen Bewegungsmerkmale und -fähigkeiten berücksichtigt, um eine Aussage über die Bewegungsqualität machen zu können.

Am Beispiel des Bewegungsumfangs wird ersichtlich, dass beim Jonglieren ein größerer Bewegungsumfang nicht zwangsläufig besser oder schlechter sein muss, sofern man nur die Arm- und Handbewegungen betrachtet (falls der Jongleur aufgrund schlecht geworfener Bälle nicht am Platz stehen bleiben kann, ist dies sehr wohl ein Zeichen für mehr Defizite). Der Umfang korreliert in erster Linie mit der Wurfhöhe und -weite, wobei vor allem die Wurfhöhe beim Jonglieren mit mehr als drei Bällen zwangsläufig zunimmt.

Im Sinne einer ökonomischen und homogenen Bewegung kann die optimale Wurfhöhe ungefähr in Augenhöhe angenommen werden, damit diese individuell für alle Versuchsteilnehmer ist. Die optimale Wurfweite liegt – ebenso individuell – im Bereich des Abstands der beiden Schultern.

Beobachtet wird die Bewegungsqualität bzw. das Bewegungskönnen schlussendlich aufgrund von objektiv messbaren Daten (Anzahl der geworfenen Bälle) und, um eine noch bessere Differenzierung der Bewegungsqualität zu ermöglichen, aufgrund einer subjektiven Bewertung unabhängiger Experten. Sicher, exakt und gleichmäßig geworfene und eventuell auch gefangene Bälle können so einen „Extrapunkt“, aber – im Gegenteiligen Fall – auch einen Punkteabzug bewirken³. Die Bewertung wurde vom Autor selbst sowie von zwei unabhängigen Studenten des Institutes Sportwissenschaft (ISW) der Universität Wien vorgenommen und anschließend gemittelt. Dadurch soll eine möglichst treffende und vergleichbare Bewertung der Bewegungsqualität gewährleistet werden.

5.5. Untersuchungsablauf

Nach drei Einheiten zu je 30 Minuten, in denen die Grundlagen des Jonglierens mit einem und zwei Bällen trainiert wurden, begann die Studie schließlich mit einer Einführung ins Jonglieren mit drei Bällen. Dabei war zunächst nur die Wurffolge der drei Bälle von Bedeutung und es wurden die allgemeinen Kriterien bezüglich der Wurfhöhe und des Bewegungsrhythmus besprochen. Es wurde außerdem die folgende Herangehensweise bestimmt, die hinsichtlich der Bewertung des Bewegungskönnens von großer Bedeutung ist:

- drei Bälle werfen
- drei Bälle werfen und fangen
- vier oder mehr Bälle werfen (und fangen)

³Die größte Hürde am Beginn des Jonglierens Lernens stellt der Wurf des vierten Balles dar. Somit wäre das Erreichen von drei Punkten für drei geworfenen Bälle zu wenig aussagekräftig, da dies einerseits nur schwer unterboten, aber auch schwer überboten wird. Die subjektive Bewertung erlaubt deshalb eine genauere Bestimmung der Bewegungsqualität

Am Ende der ersten Übungseinheit mit drei Bällen wurden die VPn gefilmt und die Videos anschließend zur Bewertung des Bewegungskönnens herangezogen. Damit konnten die VPn in zwei vergleichbare Gruppen eingeteilt werden.

Im zweiten Teil sahen die VPn jeweils einzeln das Lernvideo, um anschließend im Turnsaal selbstständig zu üben. Nachdem alle Teilnehmer das jeweilige Video angesehen hatten, kamen diese der Reihe nach zur Videoaufzeichnung ihres Bewegungskönnens. Dieses Prozedere wiederholte sich im dritten Teil, welcher mit einer letzten Videoaufzeichnung zur anschließenden Bewertung des Bewegungskönnens endete.

5.6. Ergebnisse

5.6.1. Teil 1

Aus den Aufzeichnungen aus dem ersten Teil ergibt sich nach Bewertung der Bewegungsqualität ein Mittelwert $\bar{x}_1 = 3,1968$ aller Versuchspersonen und ein Median von 3,0850, der für die Trennung in Gruppen herangezogen wurde (Abbildung 5.6.).

Statistiken		
Teil 1		
N	Gültig	22
	Fehlend	0
Mittelwert		3,1968
Standardfehler des Mittelwerts		,15994
Median		3,0850
Standardabweichung		,75017
Varianz		,563
Minimum		1,50
Maximum		5,00
Perzentile	25	2,9575
	50	3,0850
	75	3,6700

Abbildung 5.6.: Deskriptive Statistiken aller VPn aus dem ersten Teil.

Um die VPn in zwei homogene Gruppen zu teilen, wurden die Ergebnisse der einzelnen Teilnehmer nach Leistung geordnet und danach abwechselnd den Gruppen „2D“ (*Gruppe G₁*) und „3D“ (*Gruppe G₂*) zugewiesen. Nach der Trennung in Gruppen ergaben sich die jeweiligen Mittelwerte $\bar{x}_{1_1} = 3,2873$ und $\bar{x}_{1_2} = 3,1064$. Der *Levene Test* bestätigt zudem die homogene Verteilung der Varianzen beider Gruppen in Teil 1 (Abbildung 5.7.).

Deskriptive Statistik

Teil 1

	H	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
1	11	3,2873	,53251	,16056	2,9295	3,6450	2,33	4,33
2	11	3,1064	,93820	,28288	2,4761	3,7367	1,50	5,00
Gesamtsumme	22	3,1968	,75017	,15994	2,8642	3,5294	1,50	5,00

Varianzhomogenitätstest

Teil 1

Levene-Statistik	df1	df2	Sig.
1,999	1	20	,173

ANOVA

Teil 1

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Zwischen Gruppen	,180	1	,180	,309	,584
Innerhalb der Gruppen	11,638	20	,582		
Gesamtsumme	11,818	21			

Abbildung 5.7.: Der Levene-Test auf Varianzhomogenität in den beiden Versuchsgruppen.

5.6.2. Teil 2

Aus den Aufzeichnungen nach der zweiten Übungssequenz, also nach der erstmaligen Präsentation der Lernvideos und anschließender Übungszeit, wurden die in Abbildung 5.8. dargestellten deskriptiv-statistischen Werte aller Teilnehmer ermittelt.

Die nach Gruppen getrennte Auswertung der Daten liefert dabei die Mittelwerte $\bar{x}_{2_1} = 3,5455$ und $\bar{x}_{2_2} = 3,5745$ (Abbildung 5.9.).

Der Levene-Test auf Varianzhomogenität bestätigt wie schon in *Teil 1* eine homogene Verteilung der Varianzen innerhalb der beiden Gruppen.

Statistiken

Teil2

N	Gültig	22
	Fehlend	0
Mittelwert		3,5600
Standardfehler des Mittelwerts		,24848
Median		3,5000
Standardabweichung		1,16548
Varianz		1,358
Minimum		2,00
Maximum		7,67
Perzentile	25	2,8300
	50	3,5000
	75	3,8725

Abbildung 5.8.: Deskriptive Statistiken aller VPn aus dem zweiten Teil.

Deskriptive Statistik

Teil2

	H	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler	95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		Minimum	Maximum
					Untergrenze	Obergrenze		
1	11	3,5455	,75023	,22620	3,0414	4,0495	2,67	5,17
2	11	3,5745	1,51302	,45619	2,5581	4,5910	2,00	7,67
Gesamtsumme	22	3,5600	1,16548	,24848	3,0433	4,0767	2,00	7,67

Abbildung 5.9.: Deskriptive Statistiken aus dem zweiten Teil für G_1 und G_2

5.6.3. Teil 3

Nach der letzten Übungssequenz, in der die VPn erneut die jeweiligen Lernvideos sahen, ergaben sich schließlich die in Abbildung 5.10. dargestellten statistischen Kennzahlen.

Nach Gruppen getrennt wurden im letzten Teil der Studie die Mittelwerte $\bar{x}_{3_1} = 3,5618$ und $\bar{x}_{3_2} = 3,5764$ sowie ebenfalls eine homogene Verteilung der Varianzen festgestellt.

Eine Prüfung auf Normalverteilung mittels *Kolmogorov-Smirnov-Test* zeigt keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung in G_1 . In G_2 hingegen sind die Abweichungen sowohl in *Teil 2* als auch in *Teil 3* signifikant (Abbildung 5.11.).

Statistiken

Teil3

N	Gültig	22
	Fehlend	0
Mittelwert		3,5691
Standardfehler des Mittelwerts		,36064
Median		3,3300
Standardabweichung		1,69154
Varianz		2,861
Minimum		1,67
Maximum		10,00
Perzentile	25	2,6275
	50	3,3300
	75	3,7100

Abbildung 5.10.: Deskriptive Statistiken aller VPn aus dem dritten Teil

Gruppe = 1

Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe^a

		Teil 1	Teil2	Teil3
H		11	11	11
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	3,2873	3,5455	3,5618
	Standardabweichung	,53251	,75023	1,04972
Extremste Differenzen	Absolut	,204	,146	,126
	Positiv	,160	,146	,126
	Negativ	-,204	-,122	-,114
Teststatistik		,204	,146	,126
Asymp. Sig. (2-seitig)		,200 ^{d,e}	,200 ^{d,e}	,200 ^{d,e}

Gruppe = 2

Kolmogorov-Smirnov-Test bei einer Stichprobe^a

		Teil 1	Teil2	Teil3
H		11	11	11
Parameter der Normalverteilung ^{b,c}	Mittelwert	3,1064	3,5745	3,5764
	Standardabweichung	,93820	1,51302	2,21511
Extremste Differenzen	Absolut	,183	,298	,392
	Positiv	,183	,298	,392
	Negativ	-,117	-,149	-,196
Teststatistik		,183	,298	,392
Asymp. Sig. (2-seitig)		,200 ^{d,e}	,007 ^d	,000 ^d

Abbildung 5.11.: Kolmogorov-Smirnoff Test auf Normalverteilung der Daten innerhalb der Gruppen

5.6.4. Absolute Steigerung der Bewegungsqualität aller VPn

Unter der Annahme, dass Lernvideos einen wesentlichen Beitrag im Bewegungskönnen leisten können, soll anhand der ermittelten Daten überprüft werden, ob es

zu einer signifikanten Steigerung der Bewegungsqualität aller Versuchsteilnehmer gekommen ist. Daraus ergibt sich folgende Hypothese:

H_0 : Die Bewegungsqualität der VPn unterscheidet sich zu den einzelnen Messzeitpunkten nicht.

Der statistische Vergleich der Bewegungsqualität aller Teilnehmer in *Teil 1* und *Teil 2* mittels T-Test ergibt eine statistisch signifikante Steigerung des Bewegungskönnens aller VPn (Abbildung 5.12.), womit H_0 bezüglich dieser beiden Messzeitpunkte verworfen wird.

Hinsichtlich *Teil 2* und *Teil 3* ergibt sich hingegen keine signifikante Verbesserung.

	Mittelwert	H	Standardabweichung	Standardfehler Mittelwert
Paar 1	Teil 1	22	,75017	,15994
	Teil2	22	1,16548	,24848
Paar 2	Teil2	22	1,16548	,24848
	Teil3	22	1,69154	,36064

	H	Korrelation	Sig.
Paar 1 Teil 1 & Teil2	22	,781	,000
Paar 2 Teil2 & Teil3	22	,939	,000

	Paarige Differenzen	95% Konfidenzintervall der Differenz				t	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler Mittelwert	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Unterer				Oberer
Paar 1 Teil 1 - Teil2	-,36318	,74566	,15898	-,69379	-,03257	-2,285	21	,033	
Paar 2 Teil2 - Teil3	-,00909	,71930	,15335	-,32801	,30983	-,059	21	,953	

Abbildung 5.12.: Test auf Unterschied der Mittelwerte bezüglich der Messungen aus *Teil 1* & *2* bzw. *Teil 2* & *3* aller VPn

Innerhalb der jeweiligen Gruppen zeigt sich keine statistisch signifikante Steigerung der Bewegungsqualität bezüglich der Messwiederholungen (Abbildungen 5.13.).

Gruppe = 1

Statistik für Stichproben mit paarigen Werten^a

	Mittelwert	H	Standardabweichung	Standardfehler Mittelwert
Paar 1 Teil 1	3,2873	11	,53251	,16056
Teil2	3,5455	11	,75023	,22620
Paar 2 Teil2	3,5455	11	,75023	,22620
Teil3	3,5618	11	1,04972	,31650

a. Gruppe = 1

Korrelationen für Stichproben mit paarigen Werten^a

	H	Korrelation	Sig.
Paar 1 Teil 1 & Teil2	11	,832	,001
Paar 2 Teil2 & Teil3	11	,821	,002

a. Gruppe = 1

Test für Stichproben mit paarigen Werten^a

		Paarige Differenzen				t	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler Mittelwert	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Unterer				Oberer
Paar 1 Teil 1 - Teil2		-,25818	,42574	,12837	-,54420	,02784	-2,011	10	,072
Paar 2 Teil2 - Teil3		-,01636	,60969	,18383	-,42596	,39323	-,089	10	,931

a. Gruppe = 1

Gruppe = 2

Statistik für Stichproben mit paarigen Werten^a

	Mittelwert	H	Standardabweichung	Standardfehler Mittelwert
Paar 1 Teil 1	3,1064	11	,93820	,28288
Teil2	3,5745	11	1,51302	,45619
Paar 2 Teil2	3,5745	11	1,51302	,45619
Teil3	3,5764	11	2,21511	,66788

a. Gruppe = 2

Korrelationen für Stichproben mit paarigen Werten^a

	H	Korrelation	Sig.
Paar 1 Teil 1 & Teil2	11	,777	,005
Paar 2 Teil2 & Teil3	11	,967	,000

a. Gruppe = 2

Test für Stichproben mit paarigen Werten^a

		Paarige Differenzen				t	df	Sig. (2-seitig)	
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler Mittelwert	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Unterer				Oberer
Paar 1 Teil 1 - Teil2		-,46818	,98088	,29575	-1,12714	,19078	-1,583	10	,144
Paar 2 Teil2 - Teil3		-,00182	,84539	,25489	-,56976	,56612	-,007	10	,994

a. Gruppe = 2

Abbildung 5.13.: Test auf Unterschied der Mittelwerte bezüglich der Messungen aus Teil 1 & 2 bzw. Teil 2 & 3 getrennt in Gruppen

5.6.5. Vergleich der relativen Änderung der Bewegungsqualität von G_1 und G_2

Um feststellen zu können, ob das 3D-Lernvideo einen größeren oder zumindest unterscheidbaren Effekt hatte gegenüber dem 2D-Lernvideo, werden die relativen Änderungen der Bewegungsqualität verglichen. Diese ergibt sich dabei aus folgender Formel:

$$\text{Prozentuelle Änderung} = \left(\frac{\text{Werte aus Teil } n + 1}{\text{Werte aus Teil } n} - 1 \right) \cdot 100$$

Ein negativer Wert beschreibt somit eine Verschlechterung der Bewegungsqualität, ein positiver hingegen eine Verbesserung.

Als Hypothesen ergeben sich:

H_0 : Die Gruppen unterscheiden sich bezüglich der mittleren relativen Änderungen der Bewegungsqualität nicht voneinander.

H_1 : Die Gruppen unterscheiden sich bezüglich der mittleren relativen Änderungen der Bewegungsqualität voneinander.

Wie sich herausstellte kam es nach der letzten Übungssequenz – wenn überhaupt – nur zu einer geringen Leistungssteigerung weshalb für den Vergleich nur die Daten aus *Teil 1* und *Teil 2* herangezogen wurden (siehe Abbildung 5.14.). Der Vergleich der relativen Änderung der Bewegungsqualität von *Teil 1* und *Teil 2* wird mit 'rel1' bezeichnet.

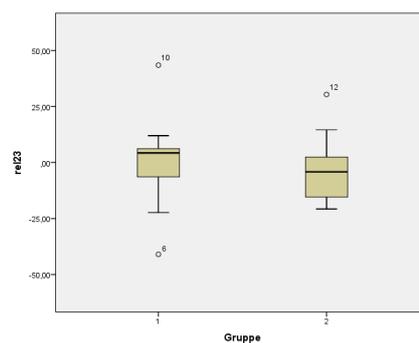


Abbildung 5.14.: Relative Änderung der Bewegungsqualität bezüglich *Teil 2* und *Teil 3* von G_1 und G_2

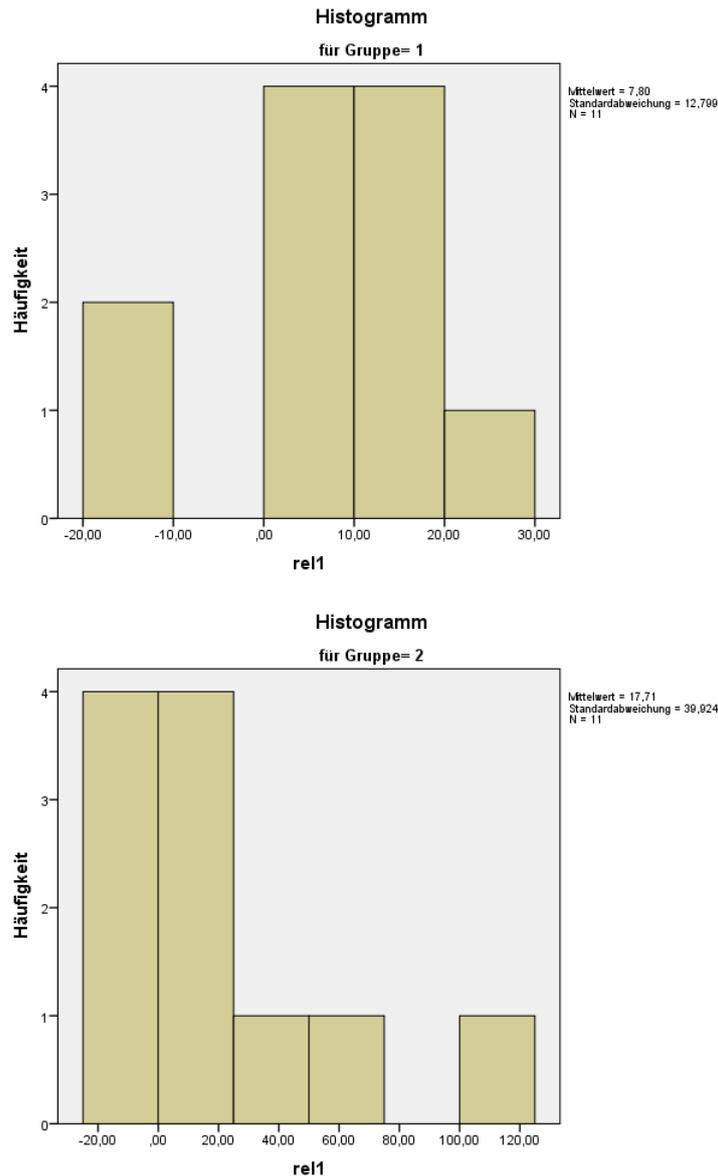


Abbildung 5.15.: Relative Änderung der Bewegungsqualität von G_1 und G_2 nach der ersten Übungssequenz

In Abbildung 5.15. ist die Verteilung der relativen Änderungen in der Bewegungsqualität von G_1 und G_2 dargestellt. Sowohl der Mittelwert, als auch die Standardabweichung sind in G_2 deutlich höher als in G_1 (vgl. dazu auch Abbildung 5.16.). Es ist erkennbar, dass die Verteilung in G_2 von der typischen Form einer Normalverteilung abzuweichen scheint – was jedoch erst geprüft werden muss.

Deskriptive Statistik				
Gruppe			Statistik	Standardfehler
rel1	1	Mittelwert	7,7976	3,85906
		95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		
		Untergrenze	-8,009	
		Obergrenze	16,3962	
		5% getrimmter Mittelwert	7,9612	
		Median	8,8773	
		Varianz	163,816	
		Standardabweichung	12,79906	
		Minimum	-15,02	
		Maximum	27,67	
		Bereich	42,68	
		Interquartilbereich	16,67	
		Schiefte	-,470	,661
		Kurtosis	-,228	1,279
	2	Mittelwert	17,7145	12,03765
		95 % Konfidenzintervall für Mittelwert		
		Untergrenze	-9,1071	
		Obergrenze	44,5361	
		5% getrimmter Mittelwert	13,8309	
		Median	,0000	
		Varianz	1593,956	
		Standardabweichung	39,92438	
		Minimum	-16,67	
		Maximum	122,00	
		Bereich	138,67	
		Interquartilbereich	37,97	
		Schiefte	2,100	,661
		Kurtosis	4,667	1,279

Abbildung 5.16.: Deskriptive Statistiken der relativen Änderung der Bewegungsqualität in den Gruppen

Die „Ausreißer“ und allgemein höheren Varianzen in G_2 sind in folgendem Boxplot gut zu erkennen:

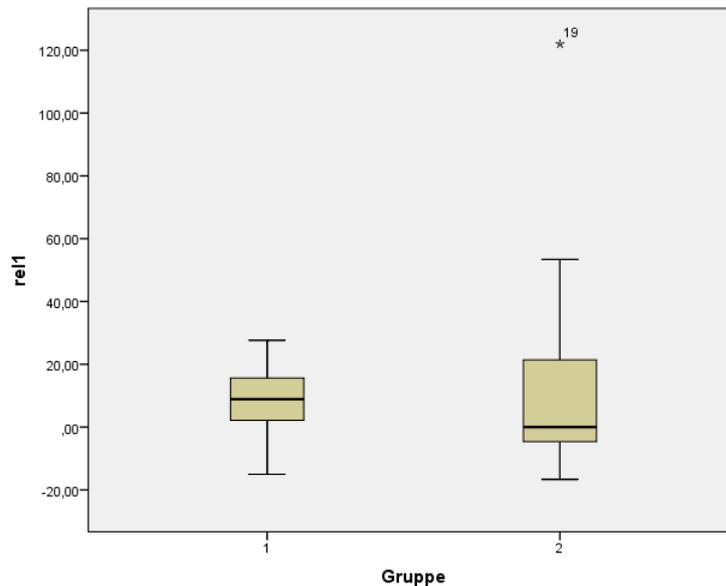


Abbildung 5.17.: Die relative Änderung der Bewegungsqualität von G_1 und G_2

Die Prüfung der relativen Änderungen der Bewegungsqualität innerhalb der Gruppen auf Normalverteilung mittels K-S-Test zeigt keine signifikanten Abweichungen in G_1 , sehr wohl jedoch in G_2 (Abbildung 5.18.). Deshalb wurde der *Mann-Whitney-U-Test* für den Vergleich der Verteilungen herangezogen. Eine Signifikanz von 0,797 erlaubt keine statistisch signifikante Aussage über einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Abbildung 5.19).

Tests auf Normalverteilung

Gruppe	Kolmogorow-Smirnow ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Sig.	Statistik	df	Sig.
rel1 1	,148	11	,200 [*]	,963	11	,812
2	,309	11	,004	,744	11	,002

*. Dies ist eine Untergrenze der tatsächlichen Signifikanz.
a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Abbildung 5.18.: Test auf Normalverteilung der relativen Änderungen der Bewegungsqualität in den Gruppen

Hypothesentestübersicht

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die Verteilung von rel1 ist über die Kategorien von Gruppe identisch.	Mann-Whitney-U-Test bei unabhängigen Stichproben	,797 ¹	Nullhypothese beibehalten

Asymptotische Signifikanz werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05.

¹Für diesen Test wird die exakte Signifikanz angezeigt.

Abbildung 5.19.: Test auf Unterschied der relativen Änderung der Bewegungsqualität bezüglich der Gruppen G_1 und G_2

5.7. Zusammenfassung der Testergebnisse

Aus den Ergebnissen erkennt man, dass es zu einer signifikanten Steigerung des Bewegungskönnens aller Versuchspersonen gekommen ist. Separat betrachtet

konnte in keiner der beiden Gruppen eine signifikante Besserung nachgewiesen werden, wenngleich diese nur knapp nicht nachgewiesen wurde.

Ein Unterschied zwischen den Gruppen konnte statistisch zwar nicht ausgemacht werden, immerhin ist jedoch ersichtlich, dass die Bewegungsqualität von G_2 im Mittel mehr anstieg als jene von G_1 (rund 17,71% Verbesserung von G_2 im Gegensatz zu rund 7,80% Verbesserung von G_1 bezogen auf die erste und zweite Messung). Allgemein sind in G_2 dabei deutlich stärkere Varianzen in der Bewegungsqualität festzustellen.

5.8. Interpretation und Ausblick

Betrachtet man die Bewegungsqualität über die einzelnen Messzeitpunkte, so wird ersichtlich, dass es zu Beginn des Lernprozesses zu einer starken Verbesserung (von *Teil 1* zu *Teil 2*) bezogen auf alle VPn kam. Dieser Anstieg konnte vom zweiten zum dritten Messzeitpunkt jedoch nicht erneut gemessen werden. Stattdessen ist eine deutliche Plateaubildung bzw. zum Teil sogar ein Rückschritt bei den Lernkurven bemerkbar. Gleichzeitig konnten jedoch auch hier vereinzelt noch deutliche Verbesserungen in beiden Gruppen festgestellt werden, was an der größeren Varianz des Bewegungskönnens der Teilnehmer ersichtlich wird. Der geringe Fortschritt im letzten Teil ist einerseits für den Lernprozess üblich und andererseits durch die sinkende Motivation der VPn mit Fortdauer der Studie zu erklären. Die dritte Einheit zum Thema 'Jonglieren' war selbst für sportbegeisterte Schüler, nicht zuletzt aufgrund des geringen Fortschritts im Lernprozess, teilweise frustrierend.

Die erhoffte bessere Wirksamkeit eines virtuellen 3D-Lernvideos im Vergleich zu einem herkömmlichen Lernvideo konnte in diesem Experiment nicht nachgewiesen werden. Die Gründe dafür dürften einerseits an der zu geringen Anzahl an Versuchspersonen liegen, die einen statistischen Beleg schwierig macht, da sehr gute Leistungen – eine solche ist in Gruppe 2 zu finden – nur als statistische Ausreißer interpretiert werden können. Andererseits dürfte auch die zu geringen Qualität der VR-Anwendung einen Nachweis der Hypothese unmöglich gemacht haben. Bewegungssensoren für die Übertragung der eigenen Bewegung in eine immersive VR-Umgebung, in der die Bewegung sowohl betrachtet (Modell), als

auch unmittelbar probiert werden kann, wäre als ideale virtuelle Lernsimulation denkbar.

Trotz der nicht direkt nachgewiesenen besseren Wirksamkeit von stereoskopischen 3D-Lernvideos im Vergleich zu herkömmlichen 2D-Lernvideos bleibt die Vermutung im Raum stehen, dass VR-Anwendungen den Lernprozess entscheidend und sogar besser unterstützen könnten als bisherige multimediale Lehrmittel. Um dies festzustellen, war es leider im Rahmen dieser Arbeit weder möglich, eine echte VR-Anwendung zu erstellen, noch optimale Testbedingungen (z. B. Teilnehmerzahl) zu schaffen. Eine virtuelle Umgebung, in der tatsächlich Bälle durch den Einsatz der Arme und Hände jongliert werden und etwa die Flugeigenschaften der Bälle so gewählt werden könnten, dass Zeitlupen-Jonglieren möglich wäre, könnte den Lernprozess um ein Vielfaches beschleunigen. Alleine schon, dass Bälle nach einem gescheiterten Versuch nicht aufgehoben werden müssten, würde die anfängliche Frustration durch Fehler bei den Lernenden deutlich vermindern. Das Üben in Zeitlupe ist auch ohne technische Hilfsmittel ein häufig eingesetztes Mittel zum Erlernen des Grundmusters der Kaskade bzw. zur Beschleunigung des Lernprozesses. Beispielsweise wird am Beginn oft mit Tüchern geübt oder Bälle auf einer schiefen Ebene im Muster der Kaskade gerollt.

Die beschriebenen Ansätze zum Einsatz von VR im Sport, sei es zur Analyse von sportmotorischen Fähigkeiten, als Trainingsmittel oder nur zur Unterhaltung, haben jedenfalls gezeigt, dass diese Technologie ein vielversprechendes und wirkungsvolles Instrument ist. Durch die realistische Darstellung einer virtuellen Umgebung können natürliche Verhaltensweisen und Emotionen induziert werden. Realistische Trainingsumgebungen können dadurch intensivere und wirkungsvollere Lernmöglichkeiten schaffen als gewöhnliche Visualisierungsformen. Gleichzeitig können jedoch auch unrealistische Bedingungen, wie etwa manipulierte physikalische Gesetze, neue Möglichkeiten im Training bieten. Zudem können mittels Bewegungssensoren unmittelbar Bewegungen aufgezeichnet und die Daten weiterverarbeitet werden. VR-Anwendungen können also sowohl auf psychischer als auch auf physischer Ebene ein wirksames Instrument in der Ausbildung und im Training sein. Die nächsten Jahre werden dann auch zeigen inwiefern VR als Unterhaltungsinstrument die hohen Erwartungen erfüllt.

Literatur

- Adams, J. (1968). Response feedback and learning. *Psychological Bulletin*, 70(6), 486–504.
- Adams, J. & Norman, W. (1970). A closed-loop theory of paired-associate verbal learning. *Psychological Review*, 77(5), 385–405.
- Apolin, M. (2002). *Jonglieren ist keine Kunst* (2. Aufl.). Moers: Edition Aragon.
- Baier, R., Erath, T., Hofmann, P., & Pöllmann, S. (2002). *Jonglieren: ...vom Werfen Fangen und Drehen* (2. Aufl.). Moers: Edition Aragon.
- Bernstein, N. A. (1987). *Bewegungsphysiologie* (2. Aufl.) (L. Pickenhain, Hrsg.). Leipzig: Barth.
- Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., & Multon, F. (2010). Using Virtual Reality to Analyze Sports Performance. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 64–71.
- Bowman, D., Gracanin, D., & Ollendick, T. (2013). *Virtual Reality for Sport Training* (Magisterarb., Virginia Polytechnic Institute und State University).
- Bühler, A. (2003). Grundprobleme der Hermeneutik. In A. Bühler (Hrsg.), *Hermeneutik. Basistexte zur Einführung in die wissenschaftstheoretischen Grundlagen von Verstehen und Interpretation* (S. 3–19). Heidelberg: Synchron.
- Burdea, G. & Coiffet, P. (1993). *Virtual Reality Technology*. Wiley and Sons.

- Büsch, D. & Janssen, J. [J.P.]. (1997). Motorisches Modellernen mit einem Headmounted Display. In J. Perl (Hrsg.), *Sport und Informatik V* [Bericht über den 5. Workshop Sport und Informatik vom 17. bis 19. Juni 1996 in Berlin] (S. 161–170). dvs-Sektion Sportinformatik und OSP Berlin. Köln: Wehle.
- Byshko, R., Dahmen, T., Gratkowski, M., Gruber, M., Quintana, J., Saupe, D., ... Woll, A. (Hrsg.). (2012). *Sportinformatik 2012: 9. Symposium der Sektion Sportinformatik der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft vom 12.-14. Sept. 2012 in Konstanz*, Uni Konstanz. dvs-Sektion Sportinformatik.
- Capozzi, F., Lorizzo, V., Modoni, G., & Sacco, M. (2014). Lightweight Augmented Reality Tools for Lean Procedures in Future Factories. In L. T. De Paolis & A. Mongelli (Hrsg.), *Augmented and Virtual Reality* (S. 232–246). Heidelberg: Springer.
- Catalan, M. O., Nijenhuis, S., Ambrosch, K., Bovend'Eerdt, T., Koenig, S., & Lange, B. (2014). Virtual Reality. In J. L. Pons & D. Torricelli (Hrsg.), *Emerging Therapies in Neurorehabilitation, Biosystems & Biorobotics* (Kap. 13, Bd. 4, S. 249–265). Springer. Zugriff unter http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/182761/local_182761.pdf
- Cipresso, P., Serino, S., Giglioli, I. A. C., Giuliano, I., Borra, D., Farina, A., & Riva, G. (2014). Low-Cost Motion-Tracking for Computational Psychometrics Based on Virtual Reality. In L. T. De Paolis & A. Mongelli (Hrsg.), *Augmented and Virtual Reality* (S. 137–148). Heidelberg: Springer.
- Danner, H. (1998). *Methoden geisteswissenschaftlicher Pädagogik. Einführung in die Hermeneutik, Phänomenologie und Dialektik*. München: Ernst Reinhardt Verlag.
- Daug's, R. & Blischke, K. (1996). Sportliche Bewegung zwischen Kognition und Motorik. In R. Daug's, K. Blischke, F. Marshall, & H. Müller (Hrsg.),

- Kognition und Motorik: 3. Symposium der dvs-Sektion Sportmotorik vom 19. - 21.1.1995 in Saarbrücken* (S. 13–36). Hamburg: Czwalina.
- Daug, R., Marshall, F., Blischke, K., & Oliver, N. (1989). *Beiträge zum visuo-motorischen Lernen im Sport* (1. Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- De Paolis, L. T. (2014). Virtual Reality and Augmented Visualization in Medicine and Surgery. In L. T. De Paolis & A. Mongelli (Hrsg.), *Augmented and Virtual Reality* (S. 11). Heidelberg: Springer.
- Gerstweiler, G. & Vonach, E. (2011). *Development of an Active Motion Capture Suit for Teaching Motion Skills* (Diplomarbeit, Fakultät für Informatik der TU Wien).
- Gibson, J. J. (1982). *Wahrnehmung und Umwelt: der ökologische Ansatz in der visuellen Wahrnehmung*. München; Wien: Urban & Schwarzenberg.
- Gröben, B. (2000). *Einheitenbildung im Bewegungshandeln : zur phänomenalen Struktur des sportbezogenen Bewegungslernens*. Schorndorf: Hofmann.
- Hotz, A. & Strähl, E. (1991). Vorstellung und Diskussion neuer Technik-Lehrfilme zum sportmotorischen Lernen und Techniktraining. In R. Daugs, H. Mechling, K. Blischke, & N. Olivier (Hrsg.), *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining* (Bd. 1, S. 210–215). Schorndorf: Hofmann.
- Hritz, C. (2013). VIRTUAL REALITY. (Bd. 67, 4, S. 60–64). Alexandria: American Society for Training and Development.
- IEEE. (2014). *IEEE VR 2014*, Minneapolis. IEEE.
- Konczak, J. (1996). Benutzt das Gehirn „Motorische Programme“ zur Steuerung von Bewegung? In R. Daugs, K. Blischke, F. Marshall, & H. Müller (Hrsg.), *Kognition und Motorik: 3. Symposium der dvs-Sektion Sportmotorik vom 19. - 21.1.1995 in Saarbrücken* (S. 37–52). Hamburg: Czwalina.
- Kromrey, H. (2009). *Empirische Sozialforschung* (12. Aufl.). Stuttgart: Lucius & Lucius.

- Kropp, P. (1992). *Experimentelle Untersuchungen zum motorischen Lernen: empirische Untersuchungen zur operanten Konditionierung von motorischen Einheiten und die Beeinflussung des Lernvorgangs durch Übungspausen* Kropp, Peter. Frankfurt am Main ; Wien: Lang.
- Krüger, H.-H. (2009). *Einführung in die Theorien und Methoden der Erziehungswissenschaft* (5., erw. und aktualisierte Aufl.). Opladen: Barbara Buttrich.
- Loosch, E. (1999). *Allgemeine Bewegungslehre*. Wiebelsheim: Limpert.
- Martin, D. (1991). Merkmale einer trainingswissenschaftlichen Theorie des Techniktrainings. In R. Daus, H. Mechling, K. Blischke, & N. Oliver (Hrsg.), *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining* (Bd. 1, S. 53–77). Schorndorf: Hofmann.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre - Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt*. Meyer & Meyer.
- Mester, J. (1991). Visuelle Information und Techniktraining. In R. Daus, H. Mechling, K. Blischke, & N. Olivier (Hrsg.), *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining* (Bd. 1, S. 178–183). Schorndorf: Hofmann.
- Olivier, N. (1987). *Bewegungslernen mit Zeitlupendarstellungen: Theoretische Grundlagen und experimentelle Untersuchungen*. Hamburg: Czwalina.
- Paulus, J., Hornegger, J., Schmidt, M., Eskofier, B., & Michelson, G. (2012). A Virtual Environment Based Evaluating System for Goalkeepers' Stereopsis Performance in Soccer. In R. Byshko, T. Dahmen, M. Gratkowski, M. Gruber, J. Quintana, D. Saupe, ... A. Woll (Hrsg.), *Sportinformatik 2012: 9. Symposium der Sektion Sportinformatik der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft vom 12.-14. Sept. 2012 in Konstanz* (S. 102–105). Universität Konstanz.
- Rheingold, H. (1995). *Virtuelle Welten* (gekürzte Ausgabe) (H. Kober, Übers.). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

- Schirmer, D. (2009). *Empirische Methoden der Sozialforschung*. Paderborn: Wilhelm Fink.
- Schmidt, R. A. (1990). *A schema theory of discrete motor skill learning*. (P. Kaul & K. W. Zimmermann, Übers.).
- Schmidt, R. A. & Lee, T. D. (1999). *Motor control and learning: a behavioral emphasis* (3. Aufl.). Champaign, Ill.: Human Kinetics Publ.
- Schöllhorn, W. I. (1998). *Systemdynamische Betrachtung komplexer Bewegungsmuster im Lernprozess: Prozeßorientierte Strukturierung der Entwicklung eines Bewegungsablaufs mit Hilfe biomechanischer Beschreibungsgrößen* (H. Haase, Hrsg.). Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Shumaker, R. (Hrsg.). (2013). *Virtual, Augmented and Mixed Reality: Designing and Developing Augmented and Virtual Environments* [5th International Conference, VAMR 2013 Held as Part of HCI International 2013 Las Vegas, NV, USA, July 21-26, 2013 Proceedings, Part I], Las Vegas: Springer. Human Computer Interaction.
- Trillhose, A. (1996). Visuo-motorische Koordination im Bewegungshandeln - Eine experimentelle Studie zur Anlauf-Einsprunghoordination bei turnerischen Stützsprüngen. In R. Dauts, K. Blischke, F. Marshall, & H. Müller (Hrsg.), *Kognition und Motorik: 3. Symposium der dvs-Sektion Sportmotorik vom 19. - 21.1.1995 in Saarbrücken* (S. 257–263). Hamburg: Czwalina.
- Turvey, M. T. (1991). Action and Perception From an Ecological Point of View. In R. Dauts, H. Mechling, K. Blischke, & N. Olivier (Hrsg.), *Sportmotorisches Lernen und Techniktraining* (Bd. 1, S. 78–95). Schorndorf: Hofmann.
- Warwitz, S. (1976). *Das sportwissenschaftliche Experiment*. Schriftenreihe zur Praxis der Leibeserziehung und des Sports. Schorndorf: Hofmann.

-
- Wiemeyer, J. (1997). *Bewegungslernen im Sport: Motorische, kognitive und emotionale Aspekte* (1. Aufl.). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Wiemeyer, J. (2005). Aktuelle Tendenzen in der Sportinformatik. In *Leipziger sportwissenschaftliche Beiträge* (2. Aufl., Bd. 46, S. 19–38).
- Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. (1999). *Visual Perception and action in Sport*. Routledg.
- Winter, C. & Wiemeyer, J. (2012). Virtual Sports Teacher – Ein Serious Game für angehende Sportlehrer. In R. Byshko, T. Dahmen, M. Gratkowski, M. Gruber, J. Quintana, D. Saupe, ... A. Woll (Hrsg.), *Sportinformatik 2012: 9. Symposium der Sektion Sportinformatik der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft vom 12.-14. Sept. 2012 in Konstanz* (S. 80–83). Universität Konstanz.
- Witte, K., Emmermacher, P., Bandow, N., & Masik, S. (2012). Usage of Virtual Reality Technology to Study Reactions in Karate-Kumite. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 06(01), 17–24. Zugriff 30. September 2015, unter <http://www.worldacademicunion.com/journal/SSCI/SSCIvol06no01paper03.pdf>
- Wollny, R. (2007). *Bewegungswissenschaft: Ein Lehrbuch in 12 Lektionen*. Aachen: Meyer & Meyer.

Onlinequellen und Zeitschriften

- Apolin, M. (1997). In 10 Schritten zur Kaskade. Zugriff 16. Mai 2016, unter http://jonglieren.at/theoprax/ersteschritte_baelle/
- Bedikian, R. (2013). Understanding Latency. Zugriff 21. November 2015, unter <http://blog.leapmotion.com/understanding-latency-part-1/>
- Bloch, Y. (2014). Oculus Rift Dev Kit 2. Zugriff 1. April 2015, unter <http://www.vrnerds.de/oculus-rift-dev-kit-2/>
- Bock, F. (2015). Mit Pappendeckel in die nächste Dimension. Zugriff 1. November 2015, unter <http://orf.at/stories/2300727/2300726/>
- Bowman, D. & McMahan, R. (2007 Juli). How much immersion is enough. *Computer*, 40(7), 36–43. Zugriff 30. September 2015, unter http://faculty.utpa.edu/fowler/csci6363/papers/Bowman_2007_VR-HowMuchImmersionIsEnough_Computer.pdf
- Cyberith. (2016). Cyberith Virtualizer. Zugriff 9. Februar 2016, unter www.cyberith.com
- Deutsches Ärzteblatt. (2009). Augensteuerung als Kommunikationswerkzeug. *Deutsches Ärzteblatt*, 106(40). Zugriff 16. August 2015, unter <https://www.aerzteblatt.de/pdf.asp?id=66185>
- Engelien, M. & Schmidt, M. (2015, 24. Juli). Neue Google Glass soll noch dieses Jahr erscheinen. Zugriff 11. Januar 2016, unter <http://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article144387725/Neue-Google-Glass-soll-noch-dieses-Jahr-erscheinen.html>

- FAS. (1999). Land Warrior. Zugriff 27. Januar 2016, unter <http://fas.org/man/dod-101/sys/land/land-warrior.htm>
- Futurezone. (2016a, 10. Januar). Carl Zeiss zeigt Bildprojektion auf gewölbtem Brillenglas. Zugriff 11. Januar 2016, unter <http://futurezone.at/produkte/carl-zeiss-zeigt-bildprojektion-auf-gewoelbtem-brillenglas/174.244.086>
- Futurezone. (2016b, 9. Januar). Virtual Reality: Oculus dominiert, HTC ist der Underdog. Zugriff 11. Januar 2016, unter <http://futurezone.at/produkte/virtual-reality-oculus-dominiert-htc-ist-der-underdog/173.861.559>
- GoogleTrends. (2015). Google Trends. Zugriff 16. August 2015, unter <https://www.google.at/trends/>
- Hillebrecht, M. (2015). Theorien des motorischen Lernens und ihre Anwendung in der Praxis. Zugriff 21. Juni 2015, unter <http://bildung.freepage.de/doc-hilli/VEROEFF/JUBI.HTM>
- Hitradio Ö3. (2016). KITZ 360. Zugriff 9. Februar 2016, unter <https://www.youtube.com/watch?v=KS9S1HgX2co&feature=youtu.be>
- IMS TU-Wien. (2014). Virtual Jump Simulator. Zugriff 25. November 2015, unter <https://www.ims.tuwien.ac.at/projects/virtualjumpsimulator>
- Janssen, J. [J.K.]. (2015). Ausprobiert: Mit VR-Brille auf dem Kopf Achterbahn fahren. Zugriff 9. März 2016, unter <http://www.vr-coaster.com/index.php>
- JauntVR. (2016). The North Face Climb. Zugriff 9. Februar 2016, unter <http://www.jauntvr.com/content/>
- Krause, J. (2014). Virtual Reality: Wie Oculus Rift echte Achterbahnen revolutioniert. Zugriff 9. Dezember 2015, unter <http://www.next-gamer.de/news/virtual-reality-wie-oculus-rift-echte-achterbahnen-revolutioniert/>

- LeapMotion. (2016). LeapMotion. Zugriff 9. Februar 2016, unter <http://www.leapmotion.com/>
- Menzel, M. (2004). Virtual Reality: Überblick und Klassifizierung von VR-Anwendungen. Zugriff 27. Juli 2015, unter http://www.medien.ifl.lmu.de/fileadmin/mimuc/hs_2004/ausarbeitung_menzel.pdf
- Microsoft. (2016). Kinect für Xbox One. Zugriff 9. Februar 2016, unter <http://www.xbox.com/de-AT/xbox-one/accessories/kinect-for-xbox-one#fbid=LJ42iAiZMOp>
- ORF. (2016). Nervenkitzel wird greifbar. Zugriff 21. Januar 2016, unter <http://sport.orf.at/stories/2244676/2244650/>
- Pape, D. (1997). CAVE Sites. Zugriff 21. Dezember 2015, unter <https://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/sites.html>
- Pape, D. (2001). The CAVE Virtual Reality System. Zugriff 25. November 2015, unter <https://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/>
- PrioVR. (2016). PrioVR. Zugriff 9. Februar 2016, unter <http://www.priovr.com/>
- Radke, C. (2016). Planet Virtual Boy. Zugriff 9. Februar 2016, unter <http://www.planetvb.com/modules/about/>
- Sega VR. (2016). Sega Retro. Zugriff 9. Februar 2016, unter http://segaretro.org/index.php?title=Sega_VR&oldid=300219
- Uthe, N. (2014). VR-Nerds. Zugriff 1. April 2015, unter <http://www.vrnerds.de>
- VRBrillen.net. (2015). VRBrillen Vergleich. Zugriff 1. April 2015, unter <http://www.vrbrillen.net/vr-brillen-vergleich/>
- Wagner, T. (2015). VR Coaster. Zugriff 9. März 2016, unter <http://www.vr-coaster.com/index.php>
- Wingfield, N. (2015, 4. März). To Bring Virtual Reality to Market, Furious Efforts to Solve Nausea. Zugriff 1. April 2015, unter <http://www.>

nytimes.com/2015/03/05/technology/solution-to-nausea-puts-virtual-reality-closer-to-market.html?ref=technology&_r=1

XSENSE. (2016). XSENSE. Zugriff 9. Februar 2016, unter <https://www.xsense.com/>

Zsolt, W. (2014). Facebook kauft Virtual-Reality-Spezialist Oculus für zwei Milliarden Dollar. Zugriff 11. August 2015, unter <http://derstandard.at/1395363219765/Facebook-kauft-Virtual-Reality-Spezialist-Oculus-VR-fuer-zwei-Milliarden-Dollar>

Zsolt, W. (2015). Oculus-Rift-und-Touch-getestet-Virtual-Reality-in-eindrucksvollster-Form. Zugriff 16. August 2015, unter <http://derstandard.at/2000020624037/Oculus-Rift-und-Touch-getestet-Virtual-Reality-in-eindrucksvollster-Form>

Abbildungsverzeichnis

2.1. Der hermeneutische Zirkel	10
3.1. Suchinteresse am Begriff 'Virtual Reality' im Zeitlichen Verlauf .	21
3.2. Virtuality	37
3.3. Cyberith Virtualizer	38
3.4. TU Fly Into the Future	42
4.1. Ebenen der Bewegungshandlung nach Loosch	51
4.2. Regulationsebenen einer Handlung nach Hacker	60
5.1. Das Muster der Kaskade	82
5.2. Ablauf der Kaskade mit drei Bällen	83
5.3. Aufbau beim Drehen des Videos	87
5.4. Das 3D-Lernvideo	88
5.5. Das 2D-Lernvideo	89
5.6. Häufigkeiten Teil 1	92
5.7. Levene Test	93
5.8. Häufigkeiten Teil 2	94
5.9. Häufigkeiten Teil 2 getrennt nach Gruppen	94
5.10. Häufigkeiten Teil 3	95
5.11. K-S-Test 1	95
5.12. T-Test verbunden alle Teilnehmer	96
5.13. T-Test verbunden alle Teilnehmer	97
5.14. Relative Änderung von Teil 2 zu Teil 3	98
5.15. Relative Änderung der Bewegungsqualität von G_1 und G_2 nach der ersten Übungssequenz	99
5.16. Deskriptive Statistik der relativen Änderung	100
5.17. Boxplott relative Änderung der Bewegungsqualität	100
5.18. K-S-Test bezüglich der relativen Änderung der Bewegungsqualität von Teil 1 zu Teil 2	101

5.19. Test auf Unterschied der relativen Änderung der Bewegungsqualität 101

Tabellenverzeichnis

4.1. Bewegungsmerkmale	62
----------------------------------	----

A. CURRICULUM VITAE

Persönliche Daten

Name:	Lukas Magauer
Geboren am:	31.10.1985
Geburtsort:	Steyr
Wohnort:	Wien
Familienstand:	ledig
Staatsbürgerschaft:	Österreich
E-Mail:	lukasmagauer@gmx.at

Ausbildung

1992 – 1996	Volksschule St. Ulrich/Steyr
1996 – 2004	BG/BRG Steyr Werndlpark
10/2005 – 10/2016	Lehramtsstudium Mathematik und Bewegung & Sport

Besondere Qualifikationen

Ski und Snowboard Begleitlehrer

Bisherige Tätigkeiten

Sommer 2003	SLR Gusswerk II
Sommer 2004	MAN Steyr AG
Sommer 2005	BMW Steyr
Sommer 2006	Kross & Knusprig Frühstücks-Catering GmbH
09/2006 bis 09/2012	FHA GmbH
Sommer 2007	MAN Steyr AG
09/2012 bis 08/2014	Sacre Coeur Wien Rennweg
Seit Februar 2015	Sacre Coeur Wien Rennweg

Präsenzdienst

Geleistet, von 6.9.2004 bis 5.5.2005 im Pionier Bataillon 2; 2. Pionierkompanie

Sprachkenntnisse

Muttersprache: Deutsch

Sonstige Sprache: Englisch (Fließend in Wort und Schrift)

B. Links zu den Lernvideos

2D-Video

<https://youtu.be/7Rl40HUEiLA>

3D-Video

<https://youtu.be/WHuDxEpJnI>

C. Zusammenfassung

Seit ungefähr 50 Jahren ist *Virtual Reality* (VR) bereits ein wichtiger Forschungsbereich der elektronischen Datenverarbeitung und als Anwendung in unterschiedlichsten Bereichen bekannt. Sowohl Hochtechnologieunternehmen, die damit die Ausbildung ihrer Angestellten verbessern, Wissenschaftler, die diese Technologie schon lange zu Forschungszwecken einsetzen, als auch die Spiele- und Unterhaltungs- Industrie, die darin ein neues wirtschaftlich vielversprechendes Produkt sieht — die Zweifel daran, dass VR einmal eine große Rolle in der modernen Gesellschaft spielen wird, scheinen spätestens seit dem Erscheinen neuer, leistungsfähiger und günstiger *Head Mounted Displays* (HMD) beseitigt. Betrachtet man den Kauf von *Oculus Rift* durch *Facebook* für mehrere Millionen Dollar, so verdeutlicht dies das große kommerzielle Potenzial von VR-Anwendungen. Der Markt dafür dürfte sehr groß sein, zumal diese Systeme leistungsfähiger und – was noch wichtiger ist – aufgrund der immer besser werdenden Displays sowie gleichzeitig kürzeren Übertragungszeiten brauchbar geworden sind. Unmittelbar ergeben sich damit im Bereich des Sports neue Anwendungsmöglichkeiten. Durch gezielten Einsatz dieser neuen Technologie können etwa Fähigkeiten trainiert werden, die sonst nur unter Gefahr oder hohem Aufwand geübt werden können. Um herauszufinden wie VR im Bewegungslernen nützlich sein kann, müssen die Begriffe 'menschliche Bewegung' und 'motorisches Lernen' präzisiert werden.

In dieser Arbeit wird der aktuelle Stand von VR-Technologien festgehalten und besonders sportbezogene Anwendungen ausgeführt. Indem aktuelle VR-Anwendungen erläutert werden und eine konkrete Anwendung im motorischen Lernprozesses eingesetzt und getestet wird, werden unterschiedliche (neue) Möglichkeiten präsentiert, diese Technologie für den Sport zu nutzen.

D. Abstract

For about 50 years *Virtual Reality* (VR) has been a subject in the field of computer science and applications. It has never been doubted that VR will once crucially influence modern society. Especially now, since a new generation of head mounted displays (HMD) is available, the last doubts seem to be dissolved. Considering the fact that *Facebook* bought *Oculus Rift*, there is at least no doubt about the high commercial interest concerning VR. The market is expected to be huge since VR-systems have got affordable and – which is even more important – useable. Several conferences concerning „Virtual, Augmented- and Mixed Reality“ show the high interests in many kinds of different VR-related applications. There are even several researches considering VR in sports. Using VR as a tool in sport allows to train skills that can't be trained – or at least only with high effort and risks – under normal conditions. In order to find out how VR could be useful in motoric learning, the terms of 'human movement' and 'motoric control' have to be clarified.

This thesis points out the actual state of VR-technology, especially in the field of sports. By considering actual results of VR-related applications and by testing a VR-system as a tool in motoric learning, different (new) ways of applying VR in sports are being presented.