

Serious Games in der Neurorehabilitation – ein Überblick

Neurol Rehabil 2014; 20 (4): 175–186
Hippocampus Verlag 2014

J. Wiemeyer

Zusammenfassung

Serious Games (SG) verbinden Spielen mit ernsthaften Zwecken. SG müssen folglich eine »Doppelmission« erfüllen, indem die intendierten ernsthaften Ziele erreicht werden, ohne den Spielspaß zu korrumpieren.

SG wurden für zahlreiche Anwendungsbereiche entwickelt. Auch für die Neurorehabilitation wurden für verschiedene Zielgruppen (besonders Schlaganfall) zahlreiche Spielanwendungen konzipiert.

Zur Erklärung der Wirkung von SG werden sowohl allgemeine psychologische oder sozialpsychologische Modelle als auch spezifische Ansätze referenziert.

Ein Überblick über die vorliegenden Studien zur Wirksamkeit dieser Rehabilitationsspiele (vier RCTs und 30 weitere Studien) zeigt, dass diese Studien sehr heterogene Merkmale hinsichtlich der Zielgruppe, der Interfaces, der Dauer und des Umfangs der Intervention sowie der Operationalisierung der Outcome-Variablen aufweisen. Die Effekte bzgl. der therapierten Funktionen sowie der Einstellungen sind lückenhaft dokumentiert und tendenziell positiv. Insgesamt ist damit die Evidenz noch nicht überzeugend. In Zukunft sind methodisch verbesserte Studien erforderlich, um die Evidenz zu verbessern.

Schlüsselwörter: Reha(b)Games, Serious Games, Evidenz, RCT

*Institut für Sportwissenschaft,
Technische Universität Darmstadt*

Einleitung

Neurorehabilitation ist ein komplexes Prozessgefüge, das zahlreiche Bedingungen erfüllen muss (z. B. [60, 65]). Neben der gezielten Abstimmung auf die jeweilige neurologische Erkrankung (zur Vielfalt vgl. [16, 60, 81]) und der Berücksichtigung der individuellen Situation der Patienten müssen therapeutische Trainingsmaßnahmen eine Fülle von spezifischen Anforderungen erfüllen: »... training has to be challenging, repetitive, task-specific, motivating, salient, and intensive for neuroplasticity to occur« ([65], p. 1380). Die Neurorehabilitation beinhaltet u.a. die häufige Wiederholung von kognitiven, perceptiven oder motorischen Übungen mit oder ohne Assistenz. Die für den Therapieerfolg unverzichtbare extensive Wiederholung dieser Trainingsübungen kann dazu führen, dass die Motivation der Patienten mit der Zeit nachlässt und – als Folge des nachlassenden Engagements – Therapieerfolge verzögert, reduziert oder gar nicht eintreten. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Motivation der Patienten möglichst über lange Zeit aufrechtzuerhalten, um ihre Compliance und damit den Therapieerfolg zu sichern.

Spielerische Elemente können in dieser Hinsicht – unter bestimmten Voraussetzungen – unterstützend wirken. Spielen bedeutet nach Huizinga [31], dass Menschen eine Tätigkeit um ihrer selbst willen, z. B. zum Spaß oder zur Unterhaltung, ohne äußeren Zwang, und als ritual-ähnliche Wiederholung ausführen. Spielen ist

bedeutungshaltig, häufig durch Regeln bestimmt, aber dennoch offen bzgl. Verlauf und Ausgang. Spielen kann Erlebnisse von Flow und Unmittelbarkeit hervorrufen. Entsprechend diesen Merkmalen scheint das Spiel den ernsthaften Zwecken einer neurologischen Rehabilitation zuwider zu laufen: Rehabilitation ist ernsthaft und eben nicht ein Spiel. Diese scheinbare Paradoxie soll durch Serious Games aufgelöst werden.

Serious Games sind digitale Spiele, die gezielt zu ernsthaften Zwecken eingesetzt werden. Serious Games müssen damit gleichzeitig zwei »Missionen« erfüllen: Bei den Spielern sollten sich die angezielten (ernsthaften) Trainings-, Lern- und Therapiewirkungen einstellen, ohne das Gefühl zu korrumpieren, ein Spiel zu spielen. Mit anderen Worten: Die neurologischen Patienten sollten in erster Linie ein Spielerlebnis haben (z. B. positive Emotionen wie Spaß, Herausforderung, Spannung, Flow, Absorption durch das Spiel), wobei die Spielaktivitäten so kontrolliert werden, dass die angezielten ernsthaften Wirkungen ebenfalls erreicht werden (siehe Abbildung 1).

Das scheinbare Paradoxon »Spielen mit Ernst« lässt sich also durchaus auflösen, wie in diesem Beitrag zu zeigen sein wird; darüber hinaus lässt sich der Einsatz von Serious Games in der Neurorehabilitation nicht auf die einfache Formel »Serious Games = Therapie plus Spaß« reduzieren. Der Einsatz von Serious Games in der Neurorehabilitation hat mehr Potenzial. Neben unmittelbaren motivationalen und emotionalen Wirkungen

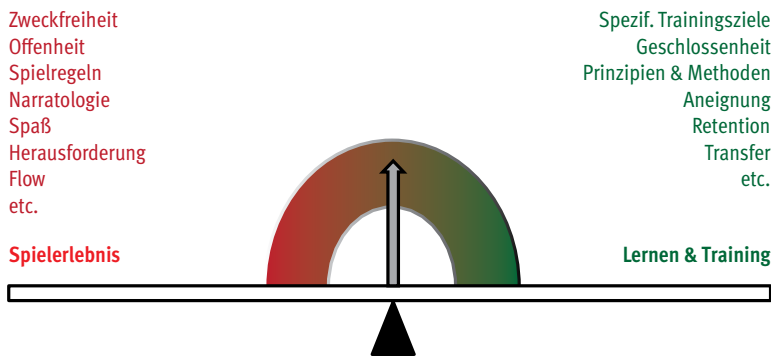


Abb. 1: Serious Games als Balance von Spielerlebnis und Lern- bzw. Trainingszielen

werden weitere Mehrwerte angezielt wie unmittelbares Feedback und präzise(re) Therapiekontrolle.

In diesem Beitrag sollen zunächst die potenziellen Wirkungen von Serious Games diskutiert werden. Anschließend werden die einschlägigen Publikationen kritisch im Hinblick auf die Frage analysiert, welche Evidenz für die postulierten Wirkungen vorliegt.

Mehrwerte – oder: Wie wirken Serious Games?

Generell zielen therapeutische Maßnahmen – gemäß dem biopsychosozialen Modell der ICF (International Classification of Functioning, Disability and Health; [81]) – im Bereich der Neurorehabilitation darauf ab, primär die beeinträchtigten neurologischen Funktionen und Strukturen wiederherzustellen oder zumindest zu verbessern und sekundär die Qualität der biopsychosozialen Aktivitäten der Patienten und damit ihre Teilhabe in allen Lebensbereichen zu verbessern [60]. Zunächst sollen kurz die allgemeinen Grundlagen von Lern- und Trainingsprozessen erläutert werden, bevor die spezifischen Wirkungen von Serious Games diskutiert werden.

Allgemeine Anforderungen

Wenn in der Neurorehabilitation Funktionen und Strukturen wiederhergestellt oder verbessert werden sollen,

dann müssen systematische Lern- und Trainingsinterventionen eingesetzt werden. Neben der (Wieder-)Herstellung kognitiver und perzeptiver Funktionen spielen sensomotorische Funktionen eine große Rolle, denn Bewegungen sind ein unverzichtbares Hilfsmittel zur Teilhabe an fast allen Aktivitäten in Alltag, Beruf und Freizeit.

Eine wichtige Differenzierung in Hinblick auf die Sensomotorik wird in Abbildung 2 illustriert: Neben verschiedenen spezifischen motorischen Fertigkeiten, zu denen auch therapeutische und Alltagsbewegungen zu zählen sind, können allgemeine motorische Fähigkeiten – untergliedert in konditionelle und koordinative Fähigkeiten – differenziert werden. Für die verschiedenen sensomotorischen Kompetenzbereiche gelten je spezifische *Lern- und Trainingsmethoden bzw. -prinzipien*. So ist z.B. für den Bereich der koordinativen Fähigkeiten das Prinzip der Variabilität konstitutiv, während für das Training konditioneller Fähigkeiten (Kraft, Ausdauer, Schnelligkeit und Flexibilität) andere Methoden (z.B. Intervalltraining) und Prinzipien eine Rolle spielen.

Die moderne Trainingswissenschaft orientiert sich vielfach an dem aus der Arbeitswissenschaft adaptierten und erweiterten Belastungs-Beanspruchungs-Adaptations-Modell (BBA-Modell; z.B. [21, 51]). Grob vereinfacht besagt dieses Modell, dass über definierte äußere Anforderungen (Belastungen) in Abhängigkeit von den individuellen Eigenschaften des jeweiligen Menschen spezifische Beanspruchungen hervorgerufen werden, welche dann funktionelle und / oder strukturelle Anpassungen (Adaptationen) auslösen können (siehe Abbildung 3). Dabei sind spezifische Aspekte der Belastbarkeit und Trainierbarkeit zu beachten: Nur wenn die durch die Belastungen ausgelösten Beanspruchungen optimal sind und eine entsprechende Plastizität gegeben ist, können adäquate Adaptationen hervorgerufen werden.

Bei zu geringer oder zu hoher Beanspruchung (Über- oder Unterforderung) kommt es zu Fehlanpassungen oder Anpassungen bleiben ganz aus.

Mit Hilfe des BBA-Modells können im Bereich der verschiedenen Kompetenzbereiche vor allem psychische und physische Belastungen bzw. Beanspruchungen mehr oder weniger genau vorgegeben, bestimmt und kontrolliert werden.

Damit ergeben sich für den Bereich der Lern- und Trainingsprozesse domänenspezifische Anforderungen, welche auch von Serious Games erfüllt werden müssen.

Spielen – ein mehrdimensionales Erlebnis

Serious Games sind Spiele, was bedeutet, dass die Nutzer das Gefühl haben müssen zu spielen. Wie die verschiedenen Merkmale des Spiels, welche in der Einleitung aufgeführt wurden, bereits zeigen, ist das Konstrukt »Spielerlebnis« mehrdimensional. In Bezug auf digitale Spiele umfasst »Spielerlebnis« (»game experience«) die folgenden Aspekte [4, 28, 49]:

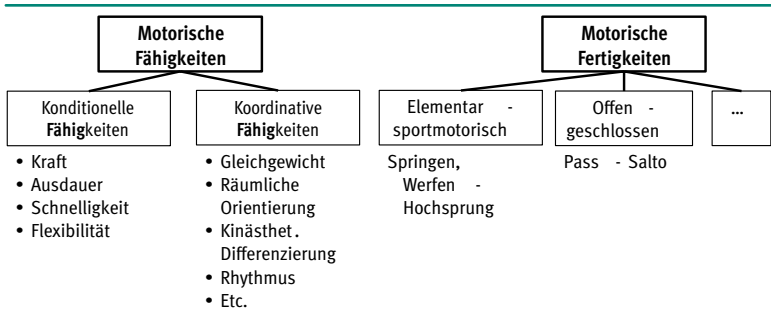


Abb. 2: Einteilung der Sensomotorik in der Sportwissenschaft

■ **Immersion und Präsenz**

Immersion bezeichnet die Erfahrung vollständigen »Eintauchens« in die technisch vermittelte Spielwelt. Präsenz bedeutet, dass man das Gefühl hat, im virtuellen Spiel anwesend zu sein und mit den in dieser Welt dargestellten Gegenständen und Personen interagieren zu können.

■ **Flow**

Das Flow-Erlebnis ist eng mit Immersionserfahrungen verbunden. Im Flow-Zustand ist man ganz vom Spielen absorbiert, vergisst die Zeit, erlebt die volle Kontrolle über das eigene Tun – ohne bewusstes Nachdenken – und erlebt positive Emotionen. Das Flow-Erlebnis selbst ist also mehrdimensional (z. B. [32]). In Bezug auf digitale Spiele haben Sweetser und Wyeth [71] das Konstrukt des »Game flow« entwickelt. Dieses umfasst die Elemente Herausforderung, Immersion, Spieler-Niveau, klare Ziele, Feedback, Konzentration, Kontrolle und soziale Interaktion.

■ **Spannung**

Durch die Offenheit von Verlauf und Ausgang erzeugen Spiele Spannungsgefühle bei den Spielenden. Man ist psychisch erregt, weil man das Spiel meistens will.

■ **Herausforderung**

Attraktive Spiele fordern die Spielenden heraus, indem sie Aufgaben präsentieren, welche interaktiv gelöst werden müssen. Optimale Herausforderungen entstehen immer dann, wenn die Aufgabenschwierigkeit so gewählt wird, dass ein Scheitern weder völlig ausgeschlossen ist (zu leichte Aufgaben) noch fast sicher ist (zu schwierige Aufgaben), sondern die eigenen Anstrengungen – und vielleicht manchmal auch ein wenig Glück – über Erfolg und Misserfolg entscheiden.

■ **Kompetenz- und Kontrollerfahrung**

Spiele führen irgendwann einmal zu Erfolgen, welche im Spiel relativ unmittelbar erlebt werden können. Diese Erfahrungen stärken die Selbstwirksamkeit und das Selbstwertgefühl, was sich positiv auf die nachhaltige Bindung an (digitale) Spiele auswirkt [75] – mit der potenziellen negativen Begleiterscheinung der Spielsucht [62]. Ein Spiel zu beherrschen, kann ein Gefühl der Macht bei den Spielenden hervorrufen.

■ **Positive Emotionen**

Erfolgserlebnisse lösen häufig positive Emotionen wie Freude, Stolz oder Erleichterung aus. Die Erwartung, dass diese positiven Emotionen eintreten, bestimmt den Reiz des Spielens maßgeblich mit.

■ **Negative Emotionen**

In Spielen werden auch Misserfolge erlebt, welche dann zu Enttäuschung oder Ärger führen können. Spielende müssen auch lernen, mit diesen negativen Emotionen umzugehen, um langfristig erfolgreich zu sein.

■ **Neugier**

Durch die Offenheit von Verlauf und Ausgang, aber auch durch die grafische Gestaltung, können Spiele

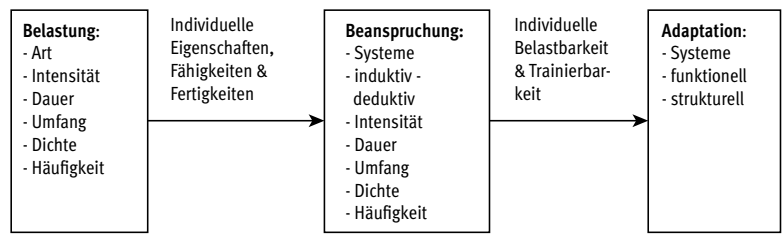


Abb. 3: Belastung, Beanspruchung und Adaptation als Determinanten von Lern- und Trainingsprozessen

auch die Neugier der Spielenden anregen. Hier spielen z. B. variable Spielverläufe und überraschende Ereignisse eine große Rolle.

■ **Phantasie**

In manchen Spielgenres können die Spielenden auch ihre Phantasie ausleben, z. B. in der Gestaltung von Avataren oder Spielumgebungen oder der Auswahl unkonventioneller Spielaktivitäten.

Die »Spielmission« von Serious Games zeigt sich damit nicht weniger komplex als die allgemeinen Anforderungen an die Neurorehabilitation: Eine Vielfalt von Komponenten des Spielerlebnisses müssen »bedient« werden, um überhaupt von einem Spiel zu sprechen.

Serious Games – Doppelmission im Spannungsfeld von Effektivität und Spielspaß

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, besteht die besondere Herausforderung von Serious Games darin, eine »Doppelmission« zu erfüllen. Burdea [11] nennt die prägnante Formel: »they will get better while having fun!« (p.520). Die Anforderungen und Wirkungen, welche in den Abschnitten 2.1 und 2.2 genannt wurden, müssen optimal kombiniert und integriert werden, um Mehrwerte zu generieren.

Sinclair [68] verdeutlicht dieses Spannungsfeld in seinem »dual-flow«-Ansatz durch die beiden Konstrukte »effectiveness« (physische Wirksamkeit, Trainingseffekte) und »attractiveness« (psychische Wirksamkeit, Spielerlebnis). Optimale psychische Erlebnisse entstehen dem Modell zufolge bei einer angemessenen Kombination von Fertigniveau und Herausforderung, während eine optimale Wirksamkeit durch eine adäquate Kombination von physischer Kapazität und Intensität entsteht. In Abbildung 4 wurde versucht, die beiden Dimensionen Spielerlebnis und Effektivität zu verbinden. Ist die Schwierigkeit der Spielaufgaben im Vergleich zu den Fähigkeiten der Spielenden zu hoch, dann kommt es zu negativen Spielerfahrungen wie Angst, so dass Adaptationen suboptimal ausfallen oder ganz ausbleiben. Ist dagegen die Schwierigkeit der Spielaufgaben zu gering, dann entsteht Langeweile und die Adaptationen sind ebenfalls suboptimal. Lediglich in einem Korridor, der eine optimale Passung von Schwierigkeit und

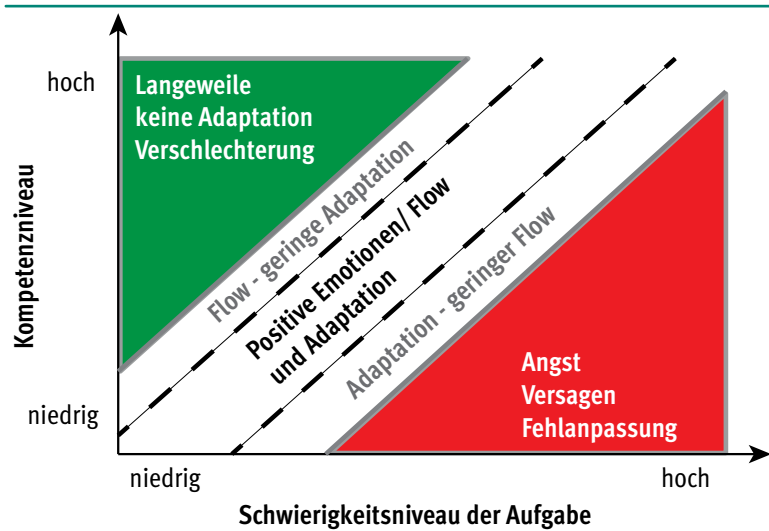


Abb. 4: Serious Games im Spannungsfeld von positiven Emotionen (Flow etc.) und Effektivität (Adaptationen)

Kompetenzniveau indiziert, können gleichzeitig positive Spielerfahrungen und Adaptationen stattfinden. Möglicherweise ist der Korridor für eine angemessene Kombination von positiven Spielerfahrungen und Adaptationen noch enger (schwarz gestrichelter Bereich in Abbildung 4).

Im Hinblick auf die Kompetenzen, welche durch Serious Games verbessert werden können, werden, ausgehend von dem Spezifitätsprinzip (»Spiele fördern, was sie fordern«, [20]), verschiedene Bereiche unterschieden.

<p>Kognition:</p> <ul style="list-style-type: none"> Wahrnehmung Aufmerksamkeit, Konzentration Gedächtnis, Wissen Verständnis von Strukturen und Bedeutungen Strategisches Denken Problemlösen Planung, Management 	<p>Sensomotorik:</p> <ul style="list-style-type: none"> Auge-Hand-Koordination Auge-Fuß-Koordination Interaktion mit Interface Reaktionsfähigkeit Orientierungsfähigkeit Gleichgewichtsfähigkeit Rhythmusfähigkeit Flexibilität Kraft(ausdauer) Ausdauer
<p>Emotion, Motivation, Volition:</p> <ul style="list-style-type: none"> Emotionskontrolle Stresskontrolle Anspruchsniveau Selbstwirksamkeit 	<p>Soziale Kompetenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> Kooperation Hilfsbereitschaft Empathie, Perspektivenübernahme Interaktions- und Kommunikationsfähigkeit
<p>Persönlichkeitsbezogene Kompetenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> Selbstbeobachtung Selbstkritik Identität, Selbstkonzept Ausdauer 	<p>Medienkompetenz:</p> <ul style="list-style-type: none"> Medienkunde Selbstbestimmter Umgang Aktive Kommunikation Mediengestaltung

Tab. 1: Überblick über Wirkungsbereiche von Serious Games (erweitert nach [21])

In Tabelle 1 sind sechs Kompetenzbereiche aufgeführt, welche durch Serious Games verbessert werden können. Neben sensomotorischen, perzeptiven und kognitiven Effekten sind auch Wirkungen auf der Emotions-, Volitions- und Motivationsebene sowie der Persönlichkeits- und sozialen Ebene zu erwarten. Außerdem sind Verbesserungen der Medienkompetenz erwartbar.

Bisherige Studien zeigen vor allem positive Effekte bei elementaren perzeptuellen und sensomotorischen Kompetenzen wie z. B. räumliche Wahrnehmung, Gleichgewicht und Reaktionsvermögen [6, 38, 79]; die Verbesserung konditioneller Fähigkeiten (besonders Ausdauer und Kraft) scheint möglich – allerdings nur auf niedrigem Niveau. Die vorliegenden Untersuchungen zum motorischen Lernen sprechen eher gegen spezifische Effekte auf die sensomotorische Kontrolle, sondern eher für eine Verbesserung der kognitiven Repräsentation der Bewegung und ihres Anwendungskontextes. Während die Effektivität der eingesetzten Spiele (häufig kommerzielle Spiele) durchgängig geprüft wird, untersuchen die Studien relativ selten das Spielerlebnis.

Damit die angezielten therapeutischen bzw. rehabilitativen Wirkungen auch tatsächlich eintreten, müssen Serious Games – wie jede andere Therapiemaßnahme auch – eine Fülle von lern- und trainingstheoretischen sowie psychologischen, physiologischen und sozialen Aspekten beachten. Eine besondere Herausforderung ist die Frage, ob und in wie weit die bei Gesunden gefundenen Gesetzmäßigkeiten auf Lern- und Trainingsprozesse von Kranken übertragbar sind. Für eine Reihe von Interventionen wurde diese Frage direkt untersucht, z. B. den Kontext-Interferenz-Effekt (z. B. [77]). Bei anderen Interventionen ist die Frage noch offen. Vorhandene Empfehlungen zur Gestaltung von Lern- und Trainingsinterventionen (z. B. [50, 82]) sind deshalb als Vorschläge zu betrachten, deren Praxistauglichkeit in den jeweiligen spezifischen Therapie- und Rehabilitationskontexten zum Teil noch nachgewiesen werden muss. Viele Serious Games orientieren sich an allgemein-psychologischen Modellen, welche aus der Sozial- bzw. Lernpsychologie übertragen werden. Beliebte Ansätze sind die Theorie geplanten Verhaltens bzw. der begründeten Handlung und das sozial-kognitive Modell von Bandura (Überblick: [1]). Diese Modelle thematisieren den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Bildung und praktische Umsetzung von Intentionen, die eigene Einstellung und/oder das eigene Verhalten nachhaltig zu verändern. Zu den wichtigsten Faktoren zählen Wissen, Einstellung (des Handelnden und weiterer Bezugspersonen), Selbstwirksamkeitsüberzeugung, Instruktion, Feedback, Zielsetzung und Motivation, Identifikation und Überwindung von Barrieren, Zeit- und Stressmanagement sowie soziale Unterstützung.

Darüber hinaus wurden in neuerer Zeit Modelle vorgelegt, welche sich spezifisch auf die Wirkmechanismen von Serious Games beziehen, z.B. das Vier-Ebenen-Modell von Mueller et al. [48], welches die Ebenen der physiologischen Reaktionen, der Bewegungsregulation,

der Wahrnehmung und Erfahrung und der sozialen Beziehungen unterscheidet. Wiemeyer und Hardy [79] haben eine Reihe von Empfehlungen zusammengetragen, welche bei der Entwicklung von Serious Games für Bewegungslernanwendungen berücksichtigt werden sollten. Diese Empfehlungen beziehen sich auf Inhalt, Zielsetzung und Modalität von Instruktionen, Genauigkeit, Häufigkeit und Zeitstruktur von Feedback, Übungsverteilung, Lerntypen und Transfer.

Darüber hinaus existieren Ansätze, welche spezifische Teilaspekte von Serious Games thematisieren, z. B. das Problem der Individualisierung, Trainingsanpassung und Personalisierung. Hier haben z. B. Hardy et al. [26] ein Modell vorgelegt, welches die Adaptation von psychologischen und physiologischen Trainingsparametern erlaubt.

Während die bisher dargestellten Ansätze mehr oder weniger versuchen, bestehende Modelle und Theorien auf das Gebiet der Serious Games zu übertragen und zu adaptieren bzw. technische Lösungen für ausgewählte Problembereiche zu finden, gehen einige wenige Autoren darüber hinaus und postulieren, dass die psychophysiologischen Zustände beim Spielen von besonderer Qualität sind. So behaupten Bavelier et al. [6][7], dass durch Spielen von digitalen Spielen Lernbarrieren im Gehirn beseitigt werden, indem quasi die Plastizität der Kindheit wieder hergestellt wird. Die Autoren vermuten, dass sowohl strukturelle als auch funktionelle Barrieren durch Spielen aufgehoben werden können, z. B. durch Veränderung neuromodulatorischer Prozesse (Transmittersysteme: GABA, Noradrenalin, Dopamin, Serotonin, Acetylcholin) und die Verbesserung von Aufmerksamkeits-, Aktivierungs-, Motivations- und Belohnungsprozessen. Digitale Spiele weisen ihrer Ansicht nach eine Fülle von Merkmalen auf, die die neuronale Plastizität begünstigen: variable Anforderungen, Belohnungssystem, verteilte Aufmerksamkeit und Flow. Allerdings geht die Argumentation der Autoren nicht über Plausibilitäten und Analogien hinaus und bleibt letztlich spekulativ.

Im Rahmen ihrer Metaanalyse weisen Lohse et al. [41] darauf hin, dass Exergames in idealer Weise aerobes Üben und Üben motorischer Fertigkeiten verbinden, was sich positiv auf die Neuroplastizität auswirkt.

Evidenz

Serious Games müssen – wie andere medizinische Interventionen auch – an den Kriterien der Evidenz-basierten Medizin (EBM) gemessen werden. Im Rahmen der EBM gelten randomisierte kontrollierte Studien (RCT; »randomized controlled trial«; z. B. [67]) als Gold-Standard. Um von sicherer Evidenz auszugehen, sollten nach [30] mehrere hochwertige RCT-Studien existieren, deren Ergebnisse eine große Homogenität aufweisen (Evidenzstufe 1a). Liegen nur einzelne hochwertige RCTs (mit engem Konfidenzintervall) vor, dann liegt Evidenzstufe 1b vor. Die weitere Abstufung umfasst die Evidenzstu-

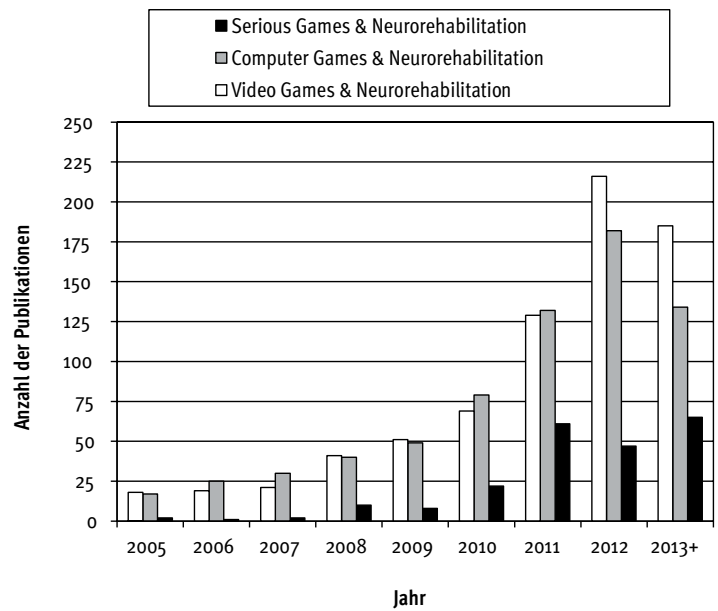


Abb. 5: Publikationen zum Thema »Serious Games in der Neurorehabilitation« seit 2005 (Datenquelle: Google Scholar; Stichtag: 15.02.2014)

fen 2a (homogene Kohorten-Studien) und 2b (individuelle Kohorten-Studien oder methodisch schwache RCTs). Mehrere homogene Fallstudien erhalten die Evidenzstufe 3a, während einzelne kontrollierte Fallstudien 3b erhalten. Fallreihen oder Kohorten-Studien minderer Qualität wird die Evidenzstufe 4 zugeordnet. Expertenmeinungen erhalten die niedrigste Evidenzstufe 5.

Erste Berichte zum Einsatz von Computerspielen in der Rehabilitation stammen aus den späten 1970er und 1980er Jahren (z. B. [12, 61]). Mittlerweile existieren mehrere Hundert Publikationen zum Einsatz von Serious Games in der Neurorehabilitation, welche eine sehr heterogene Erkenntnislage dokumentieren. Abbildung 5 verdeutlicht den exponentiellen Anstieg der Publikationen in den letzten Jahren.

Eine Analyse der ab dem Jahr 2013 erschienenen Arbeiten zum Thema »Serious Games« und »Neurorehabilitation« ergibt das folgende Bild:

- Während mehrere Reviews und Meta-Analysen für den Bereich der Virtuellen Rehabilitation existieren, wurde nur eine Meta-Analyse bzw. Übersichtsarbeit zu Serious Games in der Neurorehabilitation gefunden [41]. In dieser Studie werden insgesamt vier RCT-Studien aufgeführt. Drei Arbeiten untersuchten die Nintendo-Wii-Plattform, während eine Studie mit dem Sony-Playstation-Eyetoy-System arbeitete. Insgesamt erbrachten diese Studien – mit jeweils kleinen Stichproben (n≤11) im Mittel moderate Effekte mit einer enormen Spannweite ($G = 0,76, p = 0,14$; Effektgrößen zwischen -0,25 und 2,19), die allerdings nicht signifikant sind.
- Die überwiegende Mehrzahl der Studien beinhaltet dagegen entweder Klein-N-, Machbarkeits-, Fall- und Pilotstudien.

Zunächst sollen die RCTs behandelt werden, bevor die weiteren Studien analysiert werden.

Randomisierte Kontrollierte Studien (RCTs)

Gil-Gomez [24] untersuchten 17 Patienten mit erworbenen Hirnverletzungen (11 Männer, 6 Frauen; Alter: $47,3 \pm 17,8$ Jahre; Dauer der Erkrankung: $570,9 \pm 313,2$ Tage). Die Patienten wurden zufällig einer traditionellen Trainingsgruppe oder einer Spielgruppe zugewiesen, welche einen gleichen Anteil an Patienten mit hohem versus geringem Sturzrisiko enthielten (Kriterium: Berg Balance Scale > 45 versus $BBS \leq 45$). Alle Patienten nahmen an insgesamt 20 einstündigen Rehabilitationssitzungen teil (3 bis 5 Sitzungen pro Woche). Die Spielintervention beinhaltete drei Gleichgewichtsspiele, während das traditionelle Training konventionelle Gleichgewichtsübungen umfasste. Vor und nach dem Treatment wurden verschiedene klinische statische Gleichgewichtstests (Berg Balance Scale – BBS, Brunel Balance Assessment – BBA, Anterior Reach Test – ART) sowie verschiedene dynamische Tests (u.a. Treppensteigen und Gehtests) durchgeführt. Während sich beide Gruppen in 8 von 11 Tests signifikant verbesserten, waren die Verbesserungen der Spielgruppe bei der BBS und dem Reichtest im Sitzen signifikant ausgeprägter als die Verbesserungen der traditionellen Gruppe. Allerdings liegt bei der BBS der Verdacht nahe, dass ein Ausgangswert-Problem vorliegt, da die Spielgruppe mit erheblich schlechteren Ausgangswerten startete und die Leistungen der traditionellen Gruppe auch im Posttest nicht erreichte.

Kim et al. [35] untersuchten 17 chronische Schlaganfallpatienten (Alter: Spielgruppe – 41,3 Jahre; Kontrollgruppe – 55,0 Jahre; Zeit nach Schlaganfall: mindestens 6 Monate). Die Patienten wurden zufällig einer Spielgruppe ($n = 10$; Alter: $41,3 \pm 6,61$ Jahre) und einer Kontrollgruppe ($n = 7$; Alter: $55,0 \pm 13,02$ Jahre) zugewiesen. Während die Kontrollgruppe kein Spieltraining erhielt, spielte die Spielgruppe drei Wochen lang jeweils dreimal pro Woche für jeweils 30 Minuten zwei Nintendo-Wii-Spiele (Tennis und Boxen). Alle Patienten absolvierten im gleichen Umfang ($3 \times 3 \times 30$ Minuten) allgemeine Übungen und erhielten für jeweils 15 Minuten eine Elektrostimulation des M. tibialis anterior der betroffenen Seite. Vor und nach der Intervention wurden drei verschiedene Testbatterien durchgeführt: die Postural Assessment Scale (PASS), das Assessment for Motor Ability (AMA) und das Functional Independence Measure (FIM). Während sich beim FIM weder Verbesserungen noch Gruppenunterschiede zeigten, verbesserten sich beide Gruppen signifikant in den anderen beiden Testbatterien (PASS, AMA). Ausgehend von vergleichbaren Anfangswerten zeigte die Spielgruppe signifikant höhere Endwerte als die Kontrollgruppe.

Während die vorhergehenden Studien chronische Hirnpatienten untersuchten, führten Saposnik et al. [66] eine Studie an akuten Schlaganfallpatienten durch

(Kriterium: höchstens 2 Monate nach Eintritt). Insgesamt 22 Patienten (Alter: 61,3 Jahre) wurden entweder einer Wii-Spiel-Gruppe (Spiele: Wii Sports, Cooking Mama) oder einer Erholungsgruppe (Kartenspiel, Bingo, Jenga) zugewiesen (Dauer: 2 Monate). Neben der Erhebung von Machbarkeits- und Sicherheitskriterien (Interventionsdauer, Anteil interventions-basierter Beeinträchtigungen) wurden insgesamt drei Testbatterien durchgeführt (als Baseline-, Posttest und 4-Wochen-Follow-up-Test): Wolf Motor Function Test (WMFT), Box and Block Test (BBT) und Stroke Impact Scale (SIS). Bei vergleichbaren Interventionsdauern (Erholung: 388 Minuten; Wii-Spiel: 364 Minuten) und ausbleibenden interventionsbedingten Beeinträchtigungen zeigten sich in beiden Gruppen signifikante Veränderungen in WMFT und BBT, während die SIS-Veränderungen nicht signifikant waren. Die Wii-Spiel-Gruppe verbesserte darüber hinaus ihre Handkraft signifikant, während die Erholungsgruppe sich nicht signifikant verbesserte.

Yavuzer et al. [83] verwendeten die Spielkonsole Sony Eyetoy in einer Stichprobe von 20 halbseitig gelähmten Patienten (Alter: 61,1 Jahre; maximal 12 Monate nach Schlaganfall), deren Umfang vorher durch entsprechende Berechnungen (Power: 80%; α -Fehler: 5%; Verbesserung: 20%) bestimmt wurde. Die Patienten wurden zufällig einer Spielgruppe und einer Kontrollgruppe zugeordnet. Beide Gruppen nahmen an einem viermonatigen konventionellen Rehabilitationsprogramm (jeweils 5 Sitzungen à 2 bis 5 Stunden pro Woche) teil. Die Spielgruppe erhielt jeweils 30 Minuten zusätzliches Training mit der Sony Eyetoy-Konsole (Spiele: Kung-Foo, Goal Attack, McChef, Dig und Home-Run), während die Kontrollgruppe für den gleichen Zeitraum die Spielaktivitäten lediglich beobachtete. Vor sowie unmittelbar und drei Monate nach dem Treatment wurden Brunnstrom-Stufen und FIM (self-care items) erfasst. Die Studie ergab signifikant größere Verbesserungen (Brunnstrom und FIM) vom Vor- zum Nachtest in der Spielgruppe. Der Vergleich von Post- und Follow-up-Test ergab für die FIM-Werte einen signifikanten Vorteil für die Spielgruppe (Anstieg um 2,5 Punkte).

Diese vier Studien können damit als erste positive Hinweise gewertet werden (Gegenüberstellung: Tabelle 2), dass digitale Spiele – unter bestimmten Bedingungen und in einzelnen Funktionen – konventionellen Therapieformen gleichwertig bzw. überlegen sein können. Allerdings ist es angesichts der Komplexität des Untersuchungsfeldes und der Heterogenität der Untersuchungen verfrüht, um hier eine abschließende Bewertung vorzunehmen. Alle Studien weisen primär drei Probleme auf: multiples Testen einer Fülle von Funktionen mit jeweils heterogenen Tests (ohne Adjustierung des Signifikanzniveaus), beträchtliche Dropout-Quoten und geringe Stichprobenumfänge. Die meisten Autoren bezeichnen ihre Studien aufgrund der kleinen Stichproben als Pilot- oder Machbarkeits-Studien.

Entsprechend den EBM-Kriterien kann man die Studienlage damit maximal mit dem Evidenzlevel 2b bewer-

ten (mehrere methodisch schwache RCTs mit hoher Heterogenität).

Weitere Studien

Die überwiegende Mehrzahl der vorliegenden Studien kann an die Qualität der im vorhergehenden Abschnitt berichteten Studien nicht heranreichen. Trotzdem sollen sie kurz summarisch diskutiert werden, um die Bandbreite der Aktivitäten sowie aktuelle Trends zu verdeutlichen (Gegenüberstellung: siehe Tabelle 3):

- **Studienart:** Von den 30 Studien sind 15 (50 %) Machbarkeitsstudien, 8 (26,7 %) Pilotstudien und 3 (10 %) Fallstudien. Zwei Studien sind Quasiexperimente, und je eine Studie ist den Kategorien Expertenevaluation und Validierungsstudie zuzurechnen.
- **Art der Erkrankung:** Die Mehrheit der Studien befasst sich mit Schlaganfall-Patienten mit primär motorischen Beeinträchtigungen (56,6 %). Allgemeine neurologische Erkrankungen und motorische Beeinträchtigungen machen jeweils 10,0 % der Studien aus. Je zwei Studien befassen sich mit erworbenen Hirnverletzungen und Kinderlähmung. Je eine Studie adressiert Multiple Sklerose und Neurofibromatose Typ 1.
- **Art der Beeinträchtigung:** Motorische Störungen machen den Hauptanteil der Beeinträchtigungen aus (82,4 %), wobei 18 Studien motorische Beeinträchtigungen der oberen Extremität behandeln. Drei Studien (10 %) beziehen sich auf kognitive bzw. perzeptive Störungen, während zwei Studien allgemeine neurologische Defizite thematisieren. Eine Studie untersucht den Energieverbrauch bei Spiel- versus ADL-Aktivitäten.
- **Interface-Technologien:** In 14 der 30 Studien (46,7 %) werden Konsolen-Interfaces eingesetzt, während 5 Studien (16,7 %) Standard-PC-Interfaces (z. B. Maus, Tastatur, Webcam) einsetzen. Roboter werden in 8 Studien (26,7 %) eingesetzt (siehe auch Wolf et al, in diesem Band). EEG-Interface und proprietäres Interface werden je einmal verwendet.

- **Ergebnisse:** Während in 13 Studien (43,3 %) positive Ergebnisse bzgl. der Leistung bzw. Funktionen berichtet werden, die vor allem die obere Extremität (6 Studien) und Gleichgewicht (2 Studien; siehe auch Kliem & Wiemeyer, in diesem Band) betreffen, machen 13 Studien (43,3 %) keine Angaben. Drei Studien finden gemischte Effekte, und eine Studie findet keinen Effekt. Im Hinblick auf die Einstellung finden 10 Studien (33,3 %) positive Effekte, welche fast ausschließlich die obere Extremität (8 Studien) betreffen, während 17 Studien (56,7 %) keine Effekte berichten. Drei Studien finden gemischte Effekte.

Den oben erwähnten EBM-Kriterien entsprechend könnte man die Befundlage bestenfalls in die Kategorie 3b (konservativ: Kategorie 4) einordnen. Es fehlen die randomisierte Stichproben-Rekrutierung bzw. -Zuordnung, kontrollierte Studienbedingungen und geeignete Kontrollgruppen.

Einzelstudien und Trends

Interessante Einzelstudien thematisieren ausgewählte Aspekte und Trends in der Neurorehabilitation durch Serious Games:

- Studien zur *Schwierigkeitsanpassung* (siehe auch Wolf et al, in diesem Heft):
 Hocine [29] prüfte in einer Machbarkeitsstudie erfolgreich das Konzept der »ability zone«. In einem Assessment wurde zunächst erfasst, welche Bereiche ein Patient durch Zeigebewegungen erreichen konnte. Aus diesen Daten wurde geschätzt, welche Bereiche mit welcher Schwierigkeit verbunden sind. Auf der Grundlage der erfassten Daten konnte die »ability zone« dynamisch angepasst werden, um die Patienten optimal zu fordern. Ávila-Sansores et al. [3] führten eine Simulationsstudie mit Hilfe von Algorithmen maschinellen Lernens durch, um Adaptationen zu prüfen. Die Ergebnisse zeigen, dass der

Autoren [ID]	Hardware (Interface)	Studienart	Forschungsdesign	Zielgruppe	Stichprobe	Therapie-Schwerpunkt	Treatment (Gesamtumfang)	Effekte (Funktionen)	Effekte (Einstellung)
Gil-Gomez et al. [24]	Konsolen-Interface	RCT	Prä-post-Studie mit Kontrollgruppe	Erworbene (traumatische) Hirnverletzungen (ABI)	17 ABI-Patienten	Gleichgewicht	20 Sitzungen, je 1 h Dauer (20 h)	Gemischt (2 von 3 Tests)	Positiv (Spaß, Kontrolle)
Saposnik et al. [66]	Konsolen-Interface	RCT	Prä-post-Studie mit Kontrollgruppe	Schlaganfall	16 Schlaganfall-Patienten	Motorische Funktionen	8 Sitzungen in 14 Tagen, je 60 Minuten (8 h)	Gemischt (2 von 3 Tests)	
Kim et al. [35]	Konsolen-Interface	RCT	Prä-post-Studie mit Kontrollgruppe	Schlaganfall	20 Schlaganfall-Patienten	Gleichgewicht	3 Wochen, je 3 Sitzungen, je 30 Minuten (4,5 h)	Gemischt (2 von 3 Tests)	
Yavuzer et al. [83]	Konsolen-Interface	RCT	Prä-post-Studie mit Kontrollgruppe	Schlaganfall	20 Schlaganfall-Patienten	Obere Extremität	4 Wochen, täglich 30 Minuten (10 h)	Gemischt (1 von 2 Tests)	

Tab. 2: Überblick über randomisierte kontrollierte Studien zum Einsatz von Serious Games in der Neurorehabilitation

entwickelte Algorithmus prinzipiell das Potenzial hat, optimale dynamische Adaptationen zu erzeugen. Allerdings wurde in keiner der beiden Studien die Game experience berücksichtigt.

- **Zwei- und Multiplayer-Spiel-Settings:**
In einigen Studien werden soziale Settings untersucht, in denen Zwei- oder Multiplayer-Spiele eingesetzt werden (z. B. [2, 43, 69]; siehe auch Wolf et al. in diesem Band). Dabei können mehrere Spieler entweder kooperativ oder kompetitiv agieren. Überwiegend wird lediglich der Nachweis erbracht, dass die Systeme aus technischer Sicht funktionieren [2, 69]
- **RehaGames@home oder Telerehabilitationsspiele:**
Eine Reihe von Studien bezieht sich auf die Durchführung der Rehabilitationsspiele zuhause (z.B. [9, 10, 14, 43, 58, 64]). Diese Rehabilitationspraxis stellt besondere Anforderungen an das Spiel und die Beteiligten (Patient, Therapeut). Die in den Studien berichteten Erfahrungen geben Anlass zur Hoffnung, dass – unter bestimmten Bedingungen (z.B. einfache Handhabung, technische Funktionstüchtigkeit, angemessene Schwierigkeitsanpassung, kurze Latenzen) – diese Therapieform die Patienten motiviert und sowohl von Patienten als auch von Therapeuten akzeptiert wird.
- **Brain-Game-Interfaces:**
Mittlerweile gibt es auch Serious Games, die mithilfe von EEG-Signalen kontrolliert werden können. Portugal et al. [59] entwickelten ein technisches Spielkonzept, in dem alters- oder krankheitsbedingte Gedächtnisbeeinträchtigungen mit Hilfe von Biofeedback (Ereignis-korrelierte Potenziale) therapiert werden sollen. Parafita et al. [54] konnten in einer Machbarkeitsstudie die Funktionsfähigkeit eines EEG-basierten Raumschiff-Spiels nachweisen. Die besten Resultate wurden bei Ableitung der Oz-Elektrode, einer Stimulusdauer von mindestens 8 s und einer Stimulusfrequenz von 3 oder 5 Hz erzielt.

■ **Entwicklungstools:**

Borghese et al. [9] entwickelten eine Game Engine, welche es erlaubt, zahlreiche kommerziell verfügbare Controller und Sensoren (z.B. Balance Board, Kinect- oder Sony-Eye-Kamera) in Spiele zu integrieren. Damit wird eine breite Nutzbarkeit für Rehabilitationsspiele zuhause erreicht.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass Serious Games prinzipiell ein großes Potenzial für den Einsatz in der Neurorehabilitation haben. Erklärungsmodelle umfassen sowohl allgemeine, spielunspecifische Wirkungen als auch spielspezifische Effekte. Insbesondere die Neuromodulations-Hypothese [6, 7] postuliert eine spezifische Wiederherstellung der Neuroplastizität durch Veränderung der Erregungs-Hemmungs-Balance.

Leider ist die vorhandene Evidenz für die Effektivität und Effizienz von Serious Games in der Neurorehabilitation noch nicht überzeugend (vgl. auch [52]). Selten werden Studien mit hoher methodischer Qualität durchgeführt. Die überwiegende Anzahl der verfügbaren Studien sind Machbarkeits- und Pilotstudien. Im Vordergrund stehen überwiegend die technische Performanz der Systeme sowie ihre Nutzbarkeit. Ob die Games tatsächlich ihrer Doppelmission gerecht werden, wird nicht systematisch erforscht. Wenn überhaupt, dann werden ein- oder gering-dimensionale Verfahren zur Erfassung weniger Komponenten der Spielerfahrung (z.B. Fragebogen, Beobachtung) eingesetzt, welche in keiner Weise die Vielfalt von Spielerfahrungen erfassen können. Hier liegt für die Zukunft noch eine große Herausforderung, um die Erfüllung der Doppelmission systematisch nachzuweisen. Diese unbefriedigende Situation ist nicht auf den hier beschriebenen Anwendungsbereich von Serious Games beschränkt, sondern ist (noch) ein generelles Problem der Serious-Games-Forschung [13].

Autoren [ID]	Hardware (Interface)	Studienart	Forschungsdesign	Zielgruppe	Stichprobe	Therapie-Schwerpunkt	Treatment (Gesamtumfang)	Effekte (Funktionen)
Dukes et al. [17]	Konsolen-Interface	Pilotstudie	Prepost ohne KG	Schlaganfall	Schlaganfall-Patienten	Obere Extremität	5 Sitzungen	positiv
Perry et al. [55]	Roboter	Fallstudie	Prepost ohne KG	Schlaganfall	Schlaganfall-Patienten	Obere Extremität	7 Sitzungen	positiv
Perry et al. [57]	Roboter	Pilotstudie	Prepost ohne KG	Schlaganfall	Schlaganfall-Patienten	Obere Extremität	12 - 16 Wochen	
Moya et al. [47]	PC-Standard-Interface	Machbarkeits-Studie	Korrelationsstudie	Schlaganfall	Gesunde Personen	Obere Extremität	1 Sitzung	positiv
Labruyère et al. [37]	Roboter	Pilotstudie	Korrelationsstudie	Allgemein	Neurologische Patienten	Gangstörungen	1 Sitzung	
Ruiz-Ruano et al. [64]	Roboter	Machbarkeits-Studie	Post ohne KG	Schlaganfall	Patienten	Obere Extremität	k.A.	
Siqueira et al. [69]	Roboter	Machbarkeits-Studie	Technische Prüfung	Schlaganfall, Rückenmarksverletzungen	k.A.	Untere Extremität	k.A.	

Autoren [ID]	Hardware (Interface)	Studienart	Forschungsdesign	Zielgruppe	Stichprobe	Therapie-Schwerpunkt	Treatment (Gesamtumfang)	Effekte (Funktionen)
Crocher et al. [14]	Konsolen-Interface	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Schlaganfall	Schlaganfall-Patienten	Obere Extremität	1 Sitzung	
Gonçalves et al. [25]	Roboter	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Schlaganfall	Schlaganfall-Patienten	Untere Extremität	1 Sitzung	positiv
Ortiz-Gutiérrez et al. [53]	Konsolen-Interface	Pilotstudie	Prepost mit KG	Multiple Sklerose (MS)	MS-Patienten	Gleichgewicht	10 Wochen, 40 Sitzungen x 20 Minuten (13,3 Stunden)	positiv
Sucar et al. [70]	PC-Standard-Interface	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Motorische Beeinträchtigungen	Schlaganfall-Patienten	Obere Extremität	1 – 4 Sitzungen	Kein Effekt
Vicario Méndez [73]	Konsolen-Interface	Quasiexperiment	Prepost mit KG	Erworbene Hirnverletzungen (ABI)	ABI-Patiente (heterogen)	Gleichgewicht	10 Wochen x 45 Minuten (7,5 Stunden)	gemischt
Luna-Oliva et al. [42]	Konsolen-Interface	Pilotstudie	Prepost ohne KG	Kinderlähmung (CP)	CP-Patienten	Allgemein	8 Wochen x 2 Tage x 30 Minuten (8 Stunden)	positiv
Vandermaesen et al. [72]	Proprietäres Interface	Machbarkeitsstudie	Technische Prüfung	Allgemeine neurologische Rehabilitation	Patienten & Therapeuten	Obere Extremität	1 Sitzung – Erreichen von 30 Punkten	
Bhattacharya et al. [5]	Konsolen-Interface	Fallstudie	Post ohne KG	Schlaganfall	Schlaganfall-Patienten & Gesunde	Obere Extremität	1 Sitzung	positiv
Brokaw et al. [10]	Konsolen-Interface	Expertenevaluation	Post ohne KG	Schlaganfall	Klinisches Personal	Obere Extremität	1 Sitzung, 2 Minuten pro Spiel (4 Minuten)	
Mainetti et al. [44]	PC-Standard-Interface	Fallstudie	Prepost & Follow-up ohne KG	Schlaganfall (neglect)	Schlaganfall-Patienten	Wahrnehmung	4 Wochen x 5 Tage x 30 Minuten (ca. 10 h)	positiv
Vourvopoulos et al. [74]	Verschiedenes	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Allgemeine neurologische Rehabilitation	Schlaganfall-Patienten	Allgemein	k.A.	gemischt
Kizony et al. [36]	Konsolen-Interface	Pilotstudie	Prepost & Follow-up mit KG	Schlaganfall	Schlaganfall-Patienten	Obere Extremität	4 Wochen, 12 Sitzungen à 45 Minuten (9 Stunden)	gemischt
Parafita et al. [54]	EEG-Interface	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Neurofibromatose Type 1	Studierende	Wahrnehmung & Aufmerksamkeit	1 Sitzung (k.A.)	
Erazo et al. [18]	Konsolen-Interface	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Allgemeine neurologische Rehabilitation	Patienten	Obere Extremität	1 Sitzung, (20 Minuten)	
Garcia-Rudolph et al. [22]	PC-Standard-Interface	Validierungsstudie	Prepost mit KG	Erworbene (traumatische) Hirnverletzungen	Patienten	Kognitive Funktionen	1 Sitzung, 60 Wiederholungen	positiv
Davies et al. [15]	Konsolen-Interface	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Motorische Beeinträchtigungen	Gesunde	Obere Extremität	1 Sitzung (k.A.)	
Webster & Celik [76]	Konsolen-Interface	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Schlaganfall	Gesunde	Obere Extremität	1 Sitzung (k.A.)	
Maier et al. [43]	Konsolen-Interface	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Schlaganfall	Gesunde Erwachsene	Obere Extremität	3 Sitzungen, 2 x 3 Minuten (18 Minuten)	positiv
Hocine [29]	PC-Standard-Interface	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Schlaganfall	Schlaganfall-Patienten	Obere Extremität	3 Sitzungen x 30 Minuten (90 Minuten)	positiv
Andrade et al. [2]	Roboter	Machbarkeitsstudie	Post ohne KG	Motorische Beeinträchtigungen	k.A. (Therapeuten?)	Obere Extremität	1 Sitzung	
Jaume-i-Capó et al. [33]	Konsolen-Interface	Pilotstudie	Prepost ohne KG	Infantile Zerebralparese	Schlaganfall-Patienten	Gleichgewicht	24 Wochen	positiv
Kafri et al. [34]	Konsolen-Interface	Quasiexperiment	Post mit KG	Schlaganfall	Schlaganfall-Patienten/ Gesunde	Energieverbrauch	1 Sitzung	positiv

Tab. 3: Überblick über weitere empirische Studien zum Einsatz von Serious Games in der Neurorehabilitation

Serious Games in neurological rehabilitation – a survey

J. Wiemeyer

Abstract

Serious Games (SG) connect games with serious purposes. Therefore, SG have to accomplish a 'double mission', i.e. to reach the serious goals without compromising game experience. SG have been developed for numerous application fields. SG have also been conceptualized for various target groups (particularly stroke) in neurorehabilitation. SG claim to be effective based on generic psychological or social-psychological models and specific approaches.

A review of existing studies (4 RCT and 30 further studies) addressing the effectiveness of rehabilitation games reveals heterogeneous features concerning target group, interface, duration and volume of intervention, and outcome variables. The outcomes concerning functional improvement and attitude are sparsely documented and show a positive tendency. However, the evidence is not yet convincing. In the future, more studies with improved methods are needed to improve the evidence.

Keywords: Reha(b)Games, Serious Games, evidence, RCT

Neurol Rehabil 2014; 20 (4): 175-186

© Hippocampus Verlag 2014

Wichtige Trends sind (kooperative) Telerehabilitation bzw. Reha@home, Zwei- oder Multiplayer-Spiele, adaptive und personalisierte Systeme (siehe auch Hardy, in diesem Band) sowie der Einsatz von Brain-Game-Interfaces.

Literatur

1. Abraham C, Michie S. A taxonomy of behavior change techniques used in interventions. *Health Psychol* 2008; 27 (3): 379-387.
2. Andrade KO, de Fernandes G, Martins J, Roma V, Joaquim RC, Caurin GAP. In: *Biosignals and Biorobotics Conference (BRC)*, 2013 ISSNIP, IEEE 2013; 1-6.
3. Ávila-Sansores S, Orihuela-Espina F, Enrique-Sucar L. In: Pons JL et al. (Eds.). *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*. Berlin: Springer 2013; 879-883.
4. Baranowski T (Moderator). *Videogame Mechanics in Games for Health*. *Games for Health Journal: Research, Development, and Clinical Applications* 2013; 2 (2): 194-204.
5. Bhattacharya S, Joshi C, Lahiri U, Chauhan A. In: *Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE)*, 2013 International Conference on (pp. 1-6). IEEE 2013; 1-6.
6. Bavelier D, Green CS, Pougé A, Schrater P. Brain plasticity through the life span: Learning to learn and action video games. *Annu Rev Neurosci* 2012; 35: 391-416.
7. Bavelier D, Levi DM, Li RW, Dan Y, Hensch TK. Removing brakes on adult brain plasticity: From molecular to behavioral interventions. *J Neurosci* 2010; 30(45): 14964-14971.
8. Bernhaupt R. *Evaluating User Experience in Games: Concepts and Methods*. *Human-Computer Interaction Series*. Berlin: Springer 2010.
9. Borghese NA, Pirovano M, Lanzi PL, Wüest S, de Bruin ED. Computational intelligence and game design for effective at-home stroke rehabilitation. *Games for Health: Research, Development, and Clinical Applications* 2013; 2 (2): 81-88.
10. Brokaw EB, Brewer BR. In: *Virtual, Augmented and Mixed Reality. Systems and Applications*. Berlin: Springer 2013; 22-31.
11. Burdea GC. *Virtual Rehabilitation – Benefits and challenges*. *Methods Inf Med* 2003; 42 (5): 519-523.
12. Cogan A, Madey J, Kaufman W, Holmlund G, Bach-y-Rita P. In: *Fourth Annual Conference on Systems and Devices for the Disabled*. Seattle, Wash: University of Washington School of Medicine 1977; 187-188.
13. Connolly TM, Boyle EA, MacArthur E, Hainey T, Boyle JM. A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education* 2012; 59: 661-686.
14. Crocher V, Hur P, Seo NJ. In: *Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 2013 International Conference on. IEEE 2013; 94-100.
15. Davies TC, Vinumon T, Taylor L, Parsons J. Let's Kinect to Increase Balance and Coordination of Older People: Pilot Testing of a Balloon Catching Game. *Avestia Publishing International Journal of Virtual Worlds and Human-Computer Interaction* 2014; 2 (1): 37-46.
16. DIMDI (Hrsg.). *ICD-10-GM. Version 2014. Systematisches Verzeichnis. DIMDI 2013 [Elektronische Version]*
17. Dukes PS, Hayes A, Hodges LF, Woodbury M. In: *3D User Interfaces (3DUI)*, 2013 IEEE Symposium on. IEEE 2013; 47-54.
18. Erazo O, Pino JA, Pino R, Asenjo A, Fernández C. In: *System Sciences (HICSS)*, 2014 47th Hawaii International Conference on. IEEE 2014; 2607-2615.
19. Fluet GG, Deutsch JE. *Virtual Reality for sensorimotor rehabilitation post-stroke: The promise and current state of the field*. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports* 2013; 1 (1): 9-20.
20. Fritz J. In: *Stadt Köln, Spiel- und Lernsoftware – pädagogisch betrachtet (Bd. 15)*. Köln: Moeker Merkur 2006; 6-9.
21. Fröhlich M. *Überlegungen zur Trainingswissenschaft*. *Sportwissenschaft* 2012; 42: 96-104.
22. Garcia-Rudolph A, Gibert K. A data mining approach to identify cognitive NeuroRehabilitation Range in Traumatic Brain Injury patients. *Expert Systems with Applications* 2014; 41: 5238-5251.
23. Gebel C, Gurt M, Wagner U. In: *Arbeitsgemeinschaft betriebliche Weiterbildungsforschung (Hrsg.). E-Lernen: Hybride Lernformen, Online-Communities, Spiele*. QEM-Report, Heft 92. Berlin: Arbeitsgemeinschaft betriebliche Weiterbildungsforschung 2005; 241-376.
24. Gil-Gómez JA, Lloréns R, Alcañiz M, Colomer C. Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: A pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 2011; 8 (1): 30.
25. Gonçalves ACB, Siqueira AA, dos Santos WM, Consoni LJ, do Amaral LM, Franzolin S de OB. In: *Proceedings of 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013) November 3-7, 2013, Ribeirão Preto, SP, Brazil*. ABCM 2013; 8291-8298.
26. Gouaïch A, Hocine N, Van Dokkum L, Mottet D. In: *Proceedings of the 2nd ACM SIGBIT International Health Informatics Symposium*. ACM 2012; 5-12.
27. Hardy S, Göbel S, Gutjahr M, Wiemeyer J, Steinmetz R. *Adaptation model for indoor exergames*. *International Journal of Computer Science in Sport* 2012; 11 (1): 73-85.
28. Hays RT. *The effectiveness of instructional games: A literature review and discussion*. Naval air warfare center training system division (No. 2005-004). Orlando, FL: Naval Air Warfare Center, Training Systems Division 2005.
29. Hocine N. *Adaptation in Serious Games for Motor Rehabilitation*. PhD thesis, Montpellier: University 2014.
30. Howick J. *Levels of evidence*. Oxford: Centre for evidence-based medicine 2009. [Online-Version; abgerufen am 30.11.2009 von <http://www.cebm.net/index.aspx?o=4590>]
31. Huizinga J. *Homo Ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel* (23. Aufl.). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 2013. [Original erschienen 1956]
32. Jackson SA, Marsh HW. *Development and validation of a scale to measure optimal experience: The Flow State Scale*. *Journal of Sport and Exercise Psychology* 1996; 18(1): 17-35.
33. Jaime-i-Capo A, Martínez-Bueso P, Moya-Alcerver B,

- Varona J. Interactive rehabilitation system for improvement of balance therapies in people with cerebral palsy. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering* 2014; 22 (2), 419-427.
34. Kafri M, Myslinski MJ, Gade VK, Deutsch JE. Energy Expenditure and Exercise Intensity of Interactive Video Gaming in Individuals Poststroke. *Neurorehabilitation and neural repair* 2014; 28 (1): 56-65.
 35. Kim EK, Kang JH, Park JS, Jung BH. Clinical Feasibility of Interactive Commercial Nintendo Gaming for Chronic Stroke Rehabilitation. *Journal of Physical Therapy Science* 2012; 24 (9): 901-903.
 36. Kizony R, Weiss PL, Feldman Y, Shani M, Elion O, Harel S, Baum-Cohen I. In: *Virtual Rehabilitation (ICVR), 2013 International Conference on*. IEEE 2013; 80-86.
 37. Labruyère R, Gerber CN, Birrer-Brüttsch K, Meyer-Heim A, van Hedel HJ. Requirements for and impact of a serious game for neuro-pediatric robot-assisted gait training. *Research in developmental disabilities* 2013; 34 (11): 3906-3915.
 38. Lager A, Bremberg S. Health effects of video and computer game playing. A systematic review. Stockholm: Swedish National Institute of Public Health 2005.
 39. Lee RRW, Chang YTSKE. In: *International Conference on Information, Business and Education Technology (ICIBIT 2013)* 2013; 1241-1247.
 40. Lieberman DA. Management of chronic pediatric diseases with interactive health games: Theory and research findings. *The Journal of Ambulatory Care Management* 2001; 24 (1): 26-38.
 41. Lohse KR, Hilderman CG, Cheung KL, Tatla S, Van der Loos HM. Virtual Reality Therapy for Adults Post-Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis Exploring Virtual Environments and Commercial Games in Therapy. *PloS one* 2014; 9 (3): e93318.
 42. Luna-Oliva L, Ortiz-Gutiérrez R, Cano-de la Cuerda R, Piédrola R. M, Alguacil-Diego IM, Sánchez-Camarero C. (2013). In: Pons JL et al. (Eds.). *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*. Berlin: Springer 2013; 873-877.
 43. Maier M, Ballester BR, Duarte E, Duff A, Verschure PF. In: Göbel S, Wiemeyer J (eds.). *Games for Training, Education, Health and Sports*. Cham: Springer 2014; 100-114.
 44. Mainetti R, Sedda A, Ronchetti M, Bottini G, Borghese NA. Ducknlect: video-games based neglect rehabilitation. *Technol Health Care* 2013; 21 (2): 97-111.
 45. Marchal-Crespo L, Reinkensmeyer DJ. Review of control strategies for robotic movement training after neurologic injury. *Journal of neuroengineering and rehabilitation* 2009; 6 (1): 20.
 46. Moretti CB, de Oliveira Andrade K, de Paula Caurin GA. In: *Proceedings of 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013) November 3-7, 2013, Ribeirão Preto, SP, Brazil*. ABCM 2013; 1171-1180.
 47. Moya S, Grau S, Tost D. The wise cursor: assisted selection in 3D serious games. *The Visual Computer* 2013; 29 (6-8): 795-804.
 48. Mueller F, Edge D, Vetere F, Gibbs MR, Agamanolis S, Bongers B, Sheridan JG. In: *CHI '11: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Vancouver, Canada 2011.
 49. Nacke LE. *Affective Ludology: Scientific Measurement of User Experience in Interactive Entertainment*. Blekinge Institute of Technology, Doctoral Dissertation Series No. 2009:04.
 50. Niemeijer AS, Schoemaker MM, Smits-Engelsman BCM. Are teaching principles associated with improved motor performance in children with developmental coordination disorder? A pilot study. *Phys Ther* 2006; 86: 1221-1230.
 51. Olivier N. Eine Beanspruchungstheorie sportlichen Trainings und Wettkampfs. *Sportwissenschaft* 2001; 31: 437-453.
 52. Ortiz-Catalan M, Nijenhuis S, Ambrosch K, Bovend'Eerd T, Koenig S, Lange B. In: Pons JL, Torricelli D (Eds.). *Emerging Therapies in Neurorehabilitation (Vol. 4)*. Berlin Heidelberg: Springer 2014; 249-265.
 53. Ortiz-Gutiérrez R, Cano-de-la-Cuerda R, Galán-del-Río F, Alguacil-Diego IM, Palacios-Ceña D, Mian-golarra-Page JC. A telerehabilitation program improves postural control in multiple sclerosis patients: A spanish preliminary study. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2013; 10 (11): 5697-5710.
 54. Parafita R, Pires G, Nunes U, Castelo-Branco M. In: *Serious Games and Applications for Health (SeGAH), 2013 IEEE 2nd International Conference on*. IEEE 2013; 1-6.
 55. Perry JC, Andureu J, Cavallaro FI, Veneman J, Carmien S, Keller T. In: Felicia P (ed.). *Handbook of Research on Improving Learning and Motivation through Educational Games: Multidisciplinary Approaches*. HERSHEY, PA: IGI Global 2011; 683-725.

ottobock.

Quality for life

Rollstühle, Bandagen & Orthesen, funktionelle Elektrostimulation

© Ottobock - OK3189_50x240-DE-01-1404

Mobil nach Schlaganfall

Netzwerk optimiert Rehabilitation

Für Schlaganfallpatienten bietet das Konzept „Mobil nach Schlaganfall“ individuelle Versorgungslösungen für alle Phasen der Rehabilitation. Ottobock, die Stiftung Deutsche Schlaganfall-Hilfe, qualifizierte Sanitätshäuser und renommierte Kliniken arbeiten hierbei Hand in Hand – damit Patienten schnell wieder aktiv sein können.

Erfahren Sie mehr unter www.fussheberschwaeche.de

Eine Initiative von Ottobock
Mobil nach Schlaganfall

www.ottobock.de · T 05527 848-3455
neurorehabilitation@ottobock.de

56. Perry JC, Balasubramanian S, Rodriguez-de-Pablo C, Keller T. In: Rehabilitation Robotics (ICORR), 2013 IEEE International Conference on. IEEE 2013; 1-6.
57. Perry JC, Rodriguez-de-Pablo C, Cavallaro FI, Belloso A, Keller T. Assessment and training in home-based telerehabilitation of arm mobility impairment. *Journal of Accessibility and Design for All* 2013; 3(2): 44-75.
58. Perry JC, Zabaleta H, Belloso A, Rodríguez-de-Pablo C, Cavallaro FI, Keller T. In: *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*. Berlin: Springer 2013; 951-955.
59. Portugal AM, Ferreira DS, Reis JS, Pinho F, Dias NS. In: *Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 2013 IEEE 2nd International Conference on. IEEE 2013; 1-6.
60. Quester R. Prävention, Rehabilitation, Integration im Fokus von Neurologie, Humanwissenschaften und Recht. Bad Honnef: Hippocampus 2008.
61. Redd WH, Jacobsen PB, Die-Trill M, Dermatis H, McEvoy M, Holland JC. Cognitive/Attentional distraction in the control of conditioned nausea in pediatric cancer patients receiving chemotherapy. *Journal of Consulting and Clinical Psychology* 1987; 53 (3): 391-395.
62. Rehbein F, Kleimann M, Mößle T. Computerspielabhängigkeit im Kindes- und Jugendalter. Empirische Befunde zu Ursachen, Diagnostik und Komorbiditäten unter besonderer Berücksichtigung spielimmanenter Abhängigkeitsmerkmale (Forschungsbericht Nr. 108). Hannover: KFN 2009.
63. Reinkensmeyer DJ, Patton JL. Can robots help the learning of skilled actions? *Exercise and sport sciences reviews* 2009; 37 (1): 43-51.
64. Ruiz-Ruano JA, Perry JC, Rodríguez-de-Pablo C, Keller T. In: *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation*. Berlin: Springer 2013; 991-995.
65. Saposnik G, Levin M. Virtual Reality in Stroke Rehabilitation: A Meta-Analysis and Implications for Clinicians. *Stroke* 2011; 42 (5): 1380-1386.
66. Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, Hall J, McIlroy W, Cheung D, Thorpe KE, Cohen LG, Bayley M. Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation a pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke* 2010; 41 (7): 1477-1484.
67. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *BMC medicine* 2010; 8 (1): 18.
68. Sinclair J. Feedback control for exergames. Doctoral dissertation, Edith Cowan University, Mount Lawley 2011.
69. Siqueira AA, Michmizos KP, Krebs HI. In: *Proceedings of 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013) November 3-7, 2013, Ribeirão Preto, SP, Brazil*. ABCM 2013; 8427-8436.
70. Sucar L, Orihuela-Espina F, Velazquez R, Reinkensmeyer D, Leder R, Hernandez Franco J. Gesture therapy: An upper limb virtual reality-based motor rehabilitation platform. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* 2014; 22 (3): 634-643.
71. Sweetser P, Wyeth P. Game Flow: A Model for Evaluating Player Enjoyment in Games. *ACM Computers in Entertainment* 2005; 3 (3): Article 3A.
72. Vandermaesen M, De Weyer T, Coninx K, Luyten K, Geers R. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. ACM 2013; 19.
73. Vicario Méndez A. The effects of Nintendo Wii on the postural control of patients affected by acquired brain injury: A pilot study. *Journal of Accessibility and Design for All* 2013; 3 (2): 44-75.
74. Vourvopoulos A, Faria AL, Cameirao MS, Bermudez i Badia S. In: *e-Health Networking, Applications & Services (Healthcom)*, 2013 IEEE 15th International Conference on. IEEE 2013; 454-459.
75. Wagner P. Aussteigen oder Dabeibleiben? Darmstadt: WBG 2000.
76. Webster D, Celik O. In: *Haptics Symposium (HAPTICS)*, 2014 IEEE (pp.). IEEE 2014; 455-460.
77. Wiemeyer J. Schlecht üben, um gut zu lernen? Narrativer und meta-analytischer Überblick zum Kontext-Interferenz-Effekt. *Psychologie und Sport* 1998; 5 (3): 82-105.
78. Wiemeyer J. »Serious Games« im Sport und zur Verbesserung des motorischen Lernens. *Neurologie & Rehabilitation* 2013; 19 (6): 373-374.
79. Wiemeyer J, Hardy S. In Bredl K, Bösche W (eds.). *Serious Games and Virtual Worlds in Education, Professional Development, and Healthcare*. HERSHEY, PA: IGI Global 2013; 197-220.
80. Wiemeyer J, Kliem A. Serious games and ageing - a new panacea? *European Review of Aging and Physical Activity* 2012; 9 (1): 41-50.
81. World Health Organization [WHO]. How to use the ICF: A practical manual for using the International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). Exposure draft for comment. Geneva: WHO 2013.
82. Wulf G, Shea C, Lewthwaite R. Motor skill learning and performance: a review of influential factors. *Med Educ* 2010; 44 (1): 75-84.
83. Yavuzer G, Senel A, Atay MB, Stam HJ. Playstation eyetoy games improve upper extremity-related motor functioning in subacute stroke: A randomized controlled clinical trial. *European journal of physical and rehabilitation medicine* 2008; 44 (3): 237-244.

Interessenvermerk

Der Autor deklariert keinen Interessenkonflikt.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. rer. medic. Josef Wiemeyer
Institute of Sport Science
Technische Universität Darmstadt
Magdalenenstr. 27
D-64289 Darmstadt
wiemeyer@sport.tu-darmstadt.de