

1 Einsatz von Virtual Reality als Baustein zur  
2 Behandlung akuter und chronischer  
3 Schmerzen

4  
5 Use of Virtual Reality as a building block  
6 for the treatment of acute and chronic  
7 pain

8  
9 Stefan Lindner<sup>1</sup>, Marc-Erich Latoschik<sup>2</sup>, Heike Rittner<sup>1</sup>

10 <sup>1</sup>Zentrum für Interdisziplinäre Schmerzmedizin,

11 Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Würzburg

12 Oberdürrbacher Str. 6

13 97078 Würzburg

14 <https://www.schmerzzentrum.ukw.de>

15 <sup>2</sup> Human-Computer Interaction,

16 Universität Würzburg

17 Am Hubland

18 97074 Würzburg

19 <http://hci.uni-wuerzburg.de>

20

21 Schlagwörter (deutsch):

22 Virtuelle Realität, chronischer Schmerz, Phantomschmerz, CRPS, Gamification

23 Schlagwörter (englisch):

24 Virtual Reality, chronic pain, phantom limb pain, CRPS, Gamification

25

## 1 Abstract

2 Future or reality? Treating acute and chronic pain is a part of the daily routine of clinical anesthesiol-  
3 ogists. Commonly used analgesics have unwanted side effects or may even be insufficient as in  
4 chronic pain treatment. Virtual Reality (VR) could be a promising new approach which offers nonin-  
5 vasive therapy options for the treatment of pain. In case of the opioid misuse the adjunctive  
6 treatment is mandatory. Various phenomena occur in VR, such as immersion, presence, embodiment  
7 and Proteus effect, which can cause a change in body awareness and behavior. Experimental and  
8 clinical studies already yielded some promising results for analgesic effects for acute and chronic pain  
9 conditions using VR simulation. Potential analgesic mechanisms include distraction, cognitive behav-  
10 ioral change, and distance from reality, leading to neurophysiological changes at the cortical level.  
11 The quality of the virtual environment, personalized avatars, as well as the possibility of interaction  
12 and multisensory input can increase immersion, which leads to a state of presence, and thus effec-  
13 tive VR. VR can be used as an immersive extension or alternative to mirror therapy, especially for  
14 pain disorders such as complex regional pain syndrome (CRPS) or phantom limb pain. VR can be sup-  
15 plemented by gamification, which increases intrinsic motivation, well-being and adherence to  
16 therapy. In summary, VR could be an effective and realistic therapy option for acute and chronic pain  
17 in clinical and home settings in the future.

## 1 Vorspann

2 Die Behandlung von Schmerzen gehört zu den täglichen Routinen klinischer Anästhesisten. Im Zuge  
3 des wohl überlegten Einsatzes von Schmerzmedikamenten (Stichwort Opioidkrise in den USA) be-  
4 steht eine Notwendigkeit für Alternativen zu der medikamentösen Schmerztherapie. Virtual Reality  
5 (VR) konnte sich in den letzten Jahren durch immer kostengünstigere und qualitativ bessere Techno-  
6 logien als realistische Ergänzung etablieren. Wir werden in diesem Beitrag die Möglichkeiten der VR  
7 sowie Indikationen und Kontraindikationen anhand der aktuellen Studienlage darstellen.



8  
9 **Abbildung 1:** Head Mounted Display (HMD) – Vive Pro



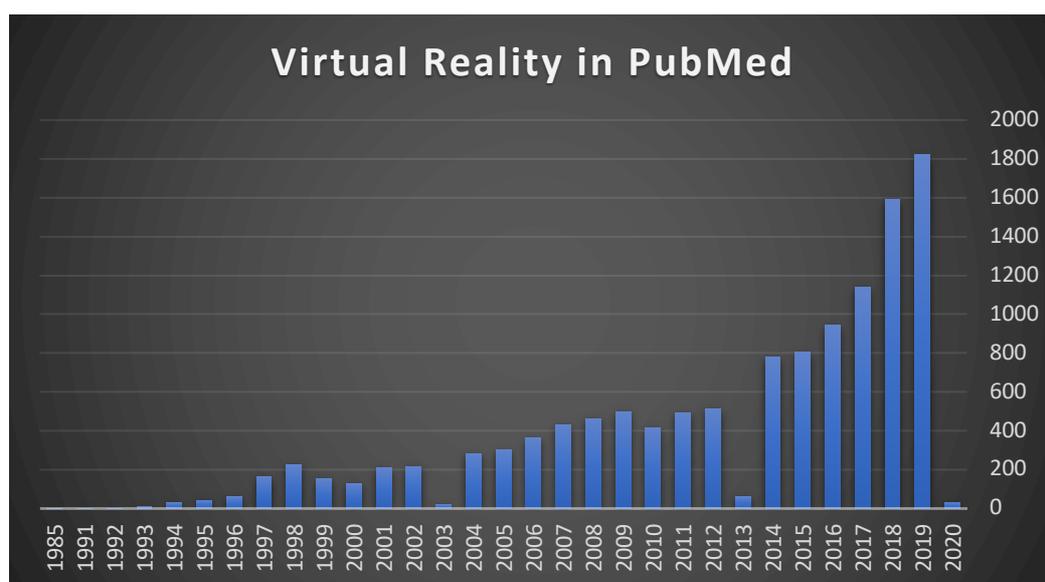
1  
2 **Abbildung 2:** Immersive Virtual Reality (IVR) zur Gang-Rehabilitation [1]

### 3 1. Einleitung

4 Zukunft oder Realität? Stellen Sie sich vor, Sie konsultieren einen Physiotherapeuten aufgrund von  
5 Knieschmerzen, die vor allem beim Gehen auftreten. Nach einer ausführlichen Anamnese und klini-  
6 schen Untersuchung bittet er Sie auf ein Laufband und setzt ihnen ein Head-Mounted-Display (HMD)  
7 auf (s. Abbildung 1). Diese Videobrille versetzt Sie in eine virtuelle Realität (VR), in der sie ein Hund  
8 durch eine Landschaftsreise begleitet (s. Abbildung 2). Ihre Knieschmerzen sind nach ein paar Schrit-  
9 ten schon gemindert. Noch vor kurzer Zeit wäre dieses Szenario wohl eher in einem Science-Fiction  
10 Film zu sehen. Doch der Fortschritt in der VR-Technologie und das breite Forschungsfeld können  
11 diese Zukunftsvision schon zeitnah real werden lassen. Die Notwendigkeit neuer, nicht-invasiver  
12 Therapieverfahren für Schmerzen ist im Zuge der hohen Anzahl an Schmerzpatienten in Deutschland  
13 dringend geboten. Hierfür bietet VR eine altersunabhängige, eigenständige und Selbstwirksamkeit  
14 stärkende Möglichkeit, um Schmerzen zu lindern und/oder Bewegungen zu trainieren. Zusätzlich  
15 könnten in Zukunft auch noch Therapiedaten per Telemedizin an den Therapeuten übermittelt wer-  
16 den. Neben dem Einsatz in der Schmerztherapie wird VR bereits erfolgreich in der Angsttherapie  
17 eingesetzt.

18 Die Frage nach dem Wesen der Realität beschäftigt den Menschen sicher nicht erst seit Platons Höh-  
19 lengleichnis. Viele Autoren der Neuzeit greifen diese Frage auf und setzen die künstliche Erzeugung  
20 von Wirklichkeit in den Kontext des technischen Fortschritts. z.B. schildert bereits 1935 Stanley Wein-  
21 baum mit Pygmalion's Spectacles eine (VR) Erlebnisbrille und Stanislaw Lem umschreibt 1965 unter

1 dem Begriff Phantomatik eine Vielzahl der zentralen Ideen der VR. Der Fortschritt in der Computer-  
 2 technologie brachte diese Ideen in eine praktische Reichweite. Seit der Entwicklung der ersten  
 3 HMD's, z.B. der Telesphere Mask von Morton Heilig 1960 oder durch den Computerwissenschaftler  
 4 Ivan Sutherland 1968 [2] hat sich die Soft- und Hardware rasant fortentwickelt. Früher füllte Hard-  
 5 ware einen ganzen Raum, wobei sie heute auf die Größe eines kleinen Helmes oder einer größeren  
 6 Brille geschrumpft ist. Eine Vielzahl von Firmen arbeitet derzeit an entsprechenden Produkten. Öff-  
 7 fentlichkeitswirksame Firmenübernahmen wie der Kauf von Oculus durch Facebook für eine  
 8 Milliardensumme beflügeln in der Folge sowohl wirtschaftliche Phantasien als auch ein wiederbeleb-  
 9 tes starkes Interesse an Nutzungsmöglichkeiten. VR ist im Mainstream angekommen, was mit der  
 10 exponentiell steigenden Studienlage zu VR korreliert (Abb. 3). Firmen, wie Google, Apple oder Ama-  
 11 zon arbeiten an ihren eigenen HMD's. Vor allem in der Industrie, im Militär und der Gaming-Szene ist  
 12 die VR nicht mehr wegzudenken. Das Einsatzgebiet der VR in der Forschung ist breit gefächert und  
 13 erstreckt sich auf z.B. didaktische und psychologische Interventionen und beinhaltet ein bisher wenig  
 14 erschlossenes therapeutisches Potential in der Schmerzbehandlung.



15  
 16 **Abbildung 3:** Anzahl von Veröffentlichungen über den Suchbegriff „Virtual Reality“ in PubMed (Zu-  
 17 griff am 05.03.2020)

## 18 2. Wirkungen der VR auf Eigen- und Fremdwahrnehmung

19 Die Wirkung von VR findet auf verschiedenen Ebenen statt. Zum besseren Verständnis, wie VR zur  
 20 Behandlung von akuten und chronischen Schmerzen beitragen kann, erläutern wir hier die wichtigs-  
 21 ten Phänomene und die zugrunde liegende Terminologie.

## 1 2.1 Immersion, Presence und Embodiment als VR-Phänomene

2 Immersion, vom lateinischen „immersio“ übersetzt „Eintauchen“ und der Begriff der Presence über-  
3 setzt „Präsenz“, sind zwei zentrale Begriffe in der Beschreibung der Phänomenologie der VR. Die  
4 Bedeutung und der Zusammenhang zwischen Immersion und Presence werden seit langem in der  
5 Literatur eingehend und auch teils kontrovers diskutiert. Einen gute Überblick über den aktuellen  
6 Stand, die Befundlage und ein Erklärungsmodell findet sich bei Skarbez et al. [3]. Immersion wird da-  
7 bei als ein objektives Charakteristikum eines VR-Systems verstanden. Dies beinhaltet die Menge aller  
8 sensomotorischer Kontingenzen [4]. Immersion definiert damit die technisch-funktionalen Rahmen-  
9 bedingungen, unter denen das Bewusstsein über die Interaktion mit einer künstlich simulierten und  
10 damit illusorischen Umgebung in den Hintergrund rückt und das dargestellte Szenario als real akzep-  
11 tiert wird. Presence beschreibt die resultierende Illusion, sich an einem anderen Ort zu befinden  
12 (Place Illusion) und dort glaubwürdige Aktionen und Interaktionen zu erfahren (Plausibility Illusion).  
13 Ein Eintauchen in eine andere Realität ist auch von anderen Medien bekannt, z.B. von Spielfilmen  
14 und Computerspielen. Die erweiterten Möglichkeiten der VR durch multisensorische Stimuli – z.B.  
15 taktile und auditive – sensomotorische Kontingenzen umfänglich zu erzeugen, erhöht das Immersi-  
16 onspotential und begründet je nach Stärke und Umfang dieser Ausprägung den Begriff „Immersive  
17 Virtual Reality“ (IVR). Gleichfalls korreliert eine visuelle höhere Qualität mit einem höheren Immersi-  
18 onspotential und beeinflusst die analgetische Effektivität [5].

19 **Merke:** Immersion ist die Fähigkeit eines VR-Systems, eine umfassende, die Sinne einschließende  
20 Umgebung zur generieren, die bei Benutzern Presence als Illusion einer Wirklichkeit erzeugt.

21 Die Repräsentation unseres eigenen Körpers resultiert auf mentaler Ebene durch die dynamische Or-  
22 ganisation der Verarbeitung von sensorischen Reizen und den Gedanken über unser Selbst. In dieser  
23 Hinsicht ist Embodiment (deutsch: „Verkörperung“) definiert als Wahrnehmung, einen Körper zu be-  
24 sitzen [6]. Man spricht in der IVR von einer „embodied person“, wenn diese das Gefühl hat, in den  
25 digitalen Körperteilen innezuwohnen. Die komplexe Interaktion von bottom-up und top-down Signa-  
26 len – afferente und verarbeitete efferente Signale - führt zu einem Gefühl von Verkörperung. Eine  
27 viso-taktile und viso-motorische Kohärenz spielen in der IVR für das Embodiment eine entscheidende  
28 Rolle. Sie gelten als vorrangig starke „bottom-up“ Faktoren und bestimmen somit die Dimension des  
29 Embodiments. Embodiment wird neben der Immersion als Manipulation in der VR genutzt, um thera-  
30 peutische Effekte zu generieren.

## 31 2.2 Veränderung der Körperwahrnehmung (Body Ownership) durch VR

32 Die beiden Psychiater Matthew Botvinick und Jonathan Cohen [7] von der Universität von Pittsburgh  
33 führten im Jahre 1998 zum ersten Mal das unter dem heutigen Begriff „Rubber-Hand-Illusion“ be-  
34 kannte Experiment durch. In diesem Experiment wurde die linke Hand der Probanden abgedeckt und

1 eine real wirkende Plastikhand danebengelegt. Beide Hände, die reale und die Plastikhand, wurden  
2 vom Versuchsleiter simultan mit einem Pinsel gestreichelt. Nach kurzer Zeit integrierte ein Großteil  
3 der 10 Probanden die künstliche Hand in ihr Körperschema. In Folgeversuchen wurde mit einem  
4 Hammer unerwartet auf die künstliche Hand geschlagen und die Probanden reagierten, als wäre es  
5 ihre eigene Hand. Dieses Phänomen der Integration von Körperteilen wird „body ownership“ (BO)  
6 bezeichnet und ist ein Gefühl von Embodiment. Die wirksamen Mechanismen können mit dem „Pre-  
7 dictive Coding“ erklärt werden. Das Gehirn verändert seine sensorische Präzision, indem der  
8 somatosensorische Input der eigenen Hand, das Bewusstsein über die exakte Armposition, herabge-  
9 setzt wird. Dadurch erlischt der Widerspruch für das Gehirn zwischen der visuellen Information über  
10 die künstliche Hand und die propriozeptive Information über die Lage des eigenen Armes im Raum.  
11 Diese aktive Unterdrückung des Gehirns von irritierenden somatosensorischen Informationen konnte  
12 im EEG anhand von charakteristischen Mustern dargestellt werden [8].

13 Das Phänomen der BO konnte IJsselsteijn 2006 ebenfalls in der VR aufzeigen [9]. Diese „Virtual Body  
14 Ownership“ (VBO) kann sogar bei alleiniger Kohärenz zwischen den visuellen und motorischen Infor-  
15 mationen hergestellt werden. Stimmen die eigenen Körperbewegungen mit den Bewegungen des  
16 Avatars, einer digitalen Kopie der eigenen Person in der VR überein, so wird der Avatar in das eigene  
17 Körperbild integriert [10]. Eine weitere Verstärkung der VBO kann durch den Einsatz von top-down  
18 Faktoren erreicht werden, z.B. durch den Einsatz photorealistischer oder sogar personalisierter Avat-  
19 are [11]. Dazu werden oft virtuelle Spiegel eingesetzt, damit das komplette virtuelle Selbst  
20 wahrgenommen werden kann [12]. Der Avatar oder die digitalen Körperteile können aber in der VR  
21 signifikant vom eigenen Körperbild abweichen, solange bottom-up Faktoren der viso-motor oder  
22 viso-taktilen Kohärenz erhalten bleiben, ohne die Wirkung des Embodiments und des VBO zu verlie-  
23 ren.

24 **Merke:** In der Therapie wird mit der Manipulation der Körperwahrnehmung des Patienten und des  
25 Gefühls des Embodiments in Avataren eine Wahrnehmungsveränderung hervorgerufen und dadurch  
26 eine therapeutische Wirkung induziert.

### 27 2.3 Verhaltensveränderung mittels des Proteus-Effektes

28 Neben der Integration von ganzen Avataren oder verschiedenen Körperteilen in das Körperschema,  
29 kann das Erlebte in der VR zu einer Verhaltensänderung führen. Die beiden Psychologen Yee und Bai-  
30 lenson beschrieben dies mit dem Proteus-Effekt 2007 [13]. Sie nannten diesen Effekt nach dem Gott  
31 des Meeres in der griechischen Mythologie, der seine Gestalt spontan verändern konnte. Das Wissen  
32 von bestimmten Verhaltensweisen führt die Benutzer eines Avatars zu der Verkörperung dessen Ha-  
33 bitus. So führt z.B. ein attraktiver Avatar zu einem vertrauteren Umgang mit Fremden in der VR.  
34 Dieser Effekt trat unmittelbar, nämlich innerhalb einer Minute auf. Studienteilnehmer, mit einem

1 größeren Avatar, verhielten sich in simulierten Verhandlungen über Geld unfair im Vergleich zu klei-  
2 neren Avataren, wohingegen kleinere Avatare im Gegensatz zu den größeren Avataren eher dazu  
3 bereit waren, diese unfairen Angebote zu akzeptieren. Die Translation des Proteus-Effektes von der  
4 VR auf die reale Welt konnte zwei Jahre danach gezeigt werden [14]. Benutzer von großen Avataren  
5 übernahmen ihre unfaire Haltung größtenteils auf eine reale Verhandlung in einer Face-to-Face Situ-  
6 ation. Weitere Bestätigungen des Proteus-Effekts wurden für eine Vielzahl von Eigenschaften  
7 ermittelt, z.B. Geschlecht, Körperumfang, Hautfarbe und ethnische Zugehörigkeit, Alter und Größe,  
8 der Grad des Realismus/Anthropomorphismus. Aktuelle Studien konnten erste Hinweise darauf lie-  
9 fern, dass dieser Effekt nicht nur durch einen Selbst-Avatar sondern ebenfalls durch einen Fremd-  
10 Avatar oder virtuellen Agenten erzeugt werden können [15].

11 **Merke:** Die Größe, Form und Charakteristika eines Avatars können eine nachhaltige Verhaltensverän-  
12 derung auf unser reales Leben bewirken.

### 13 3. Potentielle analgetische Mechanismen bei VR

14 Im folgenden Abschnitt möchten wir auf die aktuelle Datenlage über die analgetischen Mechanis-  
15 men, den Sonderfall Gamification und die eventuellen Nebenwirkungen von VR eingehen. Durch ein  
16 breiteres Verständnis der wirksamen möglichen analgetischen Mechanismen können spezifische VR-  
17 Simulationen an unterschiedliche Krankheiten in Zukunft angepasst werden.

#### 18 3.1 Distraction und Immersion

19 Ein gut untersuchter Mechanismus in der VR ist die Ablenkung (engl. distraction) [16, 17]. Dieser Me-  
20 chanismus ist aus der chronischen Schmerztherapie bekannt und wird schon lange erfolgreich ohne  
21 VR im Schmerzbewältigungstraining genutzt. Die Ablenkung wird als vorrangiger Mechanismus für die  
22 Wirkung der VR bei akutem Schmerz verstanden. Als Wirkungsweise wird ein positiver Effekt auf die  
23 kognitive Verarbeitung vermutet. Dies führt zu einer verbesserten Kontrolle über den Schmerz und  
24 zu einer Reduktion der Schmerzsignale. Transferiert auf das einleitende Beispiel mit den Knieschmer-  
25 zen beim Gehen, führt die Ablenkung von der Realität zu weniger Schmerzen beim Gehen und zu  
26 einer längeren Gehstrecke und funktionellen Verbesserung.

27 Die Distraction kann darüber hinaus als wörtliche Übersetzung aus dem lateinischen („distractio“) für  
28 „räumliche Trennung“ angesehen werden. Die geschaffene Distanz von der eigenen Realität durch  
29 Immersion könnte ein weiterer Wirkmechanismus sein. Hoffmann konnte anhand von 77 Probanden  
30 in einer doppelt-verblindeten, randomisierten between-groups- Studie zeigen, dass die immersive  
31 Qualität der VR einen signifikant positiv modulierenden Einfluss auf die Schmerzreduktion hat [5].  
32 Dabei wurde unter Applikation von thermischen Schmerzreizen eine höhere analgetische Wirkung in  
33 Bezug auf eine höheres Field-of-View (FoV) gefunden. Die Autoren manipulierten dabei die Art des

1 HMD und verglichen eine sogenannte „High-Tech VR“ (diagonales FoV 60°) im Gegensatz zu einer  
2 „Low-Tech VR“ (diagonales FoV 35°). Zwei Pilotstudien konnten ergänzend aufzeigen, dass Soundef-  
3 fekte (z.B. begleitende Musik) sowie taktiles Feedback (Vibrationen durch einen Handschuh) den  
4 analgetischen Effekt der VR verstärken. Es scheint, dass der Grad an Immersion von der Qualität und  
5 Quantität der stimulierten Sinne abhängig ist und gleichzeitig mit der analgetischen Wirkung korre-  
6 liert.

7 **Merke:** Die wirksamen Mechanismen der VR sind noch nicht vollständig erforscht, aber es gibt starke  
8 Hinweise darauf, dass Ablenkung und räumliche Trennung von der Realität sowie Umfang und Quali-  
9 tät der Immersion und der sensomotorischen Kontingenzen Schlüsselrollen in der analgetischen  
10 Wirkung einnehmen.

### 11 3.2 Verhaltensänderung und neurophysiologische Verarbeitung

12 Einige Studien geben Hinweise darauf, dass neben der Distraction weitere Mechanismen für die Re-  
13 duktion von Schmerzen bei VR wichtig sein können. Verhaltensänderungen könnten vor allem bei  
14 chronischen Schmerzen eine zusätzliche Erklärung für die analgetische Wirkung von VR sein. Keefe  
15 zeigte in seiner Übersichtsarbeit die positiven Effekte der Integration von VR in Verhaltensinterven-  
16 tionen, wie Hypnose, Meditation und Expositionstherapie [18]. Die nachgewiesene analgetische  
17 Wirkung durch VR-Hypnosetherapie konnte zusätzlich die Opioid Einnahme von Verbrennungsoffern  
18 um 50% reduzieren. Bei einem chronisch neuropathischen Schmerzpatienten konnte die Kombina-  
19 tion aus VR und Hypnose eine Analgesie oder schmerzlindernde Wirkung über Stunden bewirken, bei  
20 zuvor unwirksamer konventioneller medikamentöser Therapie. Diese auf dem Proteus-Effekt basie-  
21 rende analgetische Wirkung kann durch personalisierte Avatare verstärkt werden [11, 15].

22 Bisher konnten aufgrund der technischen Anforderungen an die HMD's nur wenige Studien mit ei-  
23 nem funktionellen MRT (fMRT) durchgeführt werden. Hoffman [19] zeigte in einer Studie, dass  
24 schmerzverarbeitende Gehirnareale, wie der anteriore cinguläre Kortex (ACC), die Insula, der Tha-  
25 lamus und der primäre, sowie sekundäre somatosensorische Kortex, unterschiedlich von VR und  
26 Opioiden moduliert werden. Sowohl das Opioid als auch die VR reduzierten den experimentellen  
27 thermisch-applizierten Schmerz. Hydromorphon verminderte signifikant die Gehirnaktivitäten bilate-  
28 ral im Thalamus und der Insula. Der Einsatz von VR war noch zusätzlich mit Veränderungen im  
29 sekundären somatosensorischen Kortex verbunden.

30 Die indirekte Wirkung von VR wird in der Schmerztherapie im Rahmen von Verhaltensänderung ex-  
31 ploriert, wie z.B in der Pain Neuroscience Education (PNE), einem Konzept der Schmerzedukation für  
32 Patienten auf dem Bio-Psycho-Sozialen Modell, kombiniert mit VR (BehaVR).

1 **Merke:** Neben der Distraction kann die VR zu Verhaltensänderungen und neurophysiologischen Pro-  
2 zessen auf kortikaler Ebene führen.

### 3 3.3 Gamification

4 Werbach beschreibt Gamification als den Prozess, Aktivitäten spielähnlicher zu gestalten. Die spiele-  
5 rischen Erfahrungen können motivationssteigernd sein und Fähigkeiten verbessern. Die Erfüllung der  
6 drei psychologischen Grundbedürfnisse (1) Kompetenz, (2) Autonomie und (3) Verbundenheit sind  
7 die Grundvoraussetzung für intrinsische Motivation und können durch Gamification befriedigt wer-  
8 den [1]. Die Adhärenz zur Therapie kann durch den Spaß und die Emotionen gesteigert werden.  
9 Jones [20] beschrieb z.B. die Emotionen der Probanden in einer VR-Spielwelt mit: „Das war unglaub-  
10 lich“ oder „oh mein Gott, dieses Ding ist so cool“.

11 Spielwelten wie „Cool!“ [20] oder „SnowWorld“ [5, 21] konnten schon mehrfach erfolgreich in Stu-  
12 dien für Wundversorgung bei Verbrennungsoptionen als Beispiele für Gamification eingesetzt werden.  
13 Diese Applikationen werden im nächsten Abschnitt näher erläutert. Eine wirkungsvolle Simulation  
14 entwickelte Kern für Gang-Rehabilitation mit einer Storyline, einem Belohnungssystem und einem  
15 sozialen Begleiter [1]. Ein Hund (Max) führt den Probanden durch eine virtuelle Landschaft, wobei die  
16 Belohnung für gelaufene Distanzen in Form von Sternen und Landschaftserweiterungen (Büsche,  
17 Bäume) erfolgt. Max teilt bei jedem Stufenanstieg durch Bellen und Herumspringen seine Freude  
18 über die erreichte Leistung mit. Diese multiplen Faktoren von Gamification führten zu einer höheren  
19 Motivation, einem erhöhten Wohlbefinden und höherem Trainingspensum (gelaufene Distanz).

20 **Merke:** Gamification ist eine Möglichkeit, die Motivation und Therapie-Adhärenz zu steigern. Ein  
21 möglicher Einfluss auf die Schmerzreduktion wurde in Vorarbeiten nicht eindeutig der Gamification  
22 zugeordnet, lässt eine Mitwirkung aber plausibel erscheinen.

### 23 3.4 Nebenwirkungen

24 Im Wesentlichen sind drei mögliche Nebenwirkungen von VR beschrieben: Cyber Sickness, Verletzun-  
25 gen und Suchtpotential. Schwindel, Übelkeit und Kopfschmerzen [20] zählen zu dem Phänomen der  
26 „VR Motion Sickness“ oder auch „Cyber Sickness“, denn das vestibuläre System kann durch die Illu-  
27 sion der VR irritiert werden. Momentan werden zwei Fragebögen zur Ermittlung dieser  
28 Nebenwirkungen in vielen Studien eingesetzt. Der Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), den z.B.  
29 Wiederhold benutzte, wurde 2017 mit dem Virtual Reality Sickness Questionnaire (VRSQ) überarbei-  
30 tet. Das Auftreten der Cyber-Sickness scheint von vielen Faktoren (visuelle Kohärenz,  
31 Geschwindigkeit der Simulation, Vorerfahrungen mit Reisekrankheit, ...) abhängig zu sein und ist  
32 noch unzureichend erforscht. Durch das breite Einsatzgebiet der VR in Industrie, Medizin oder Privat-  
33 gebrauch gibt aber Hinweise auf Adaptionprozesse.

1 Unter dem Begriff „virtual reality fails“ existieren auf YouTube Videos vorrangig aus dem Privatge-  
2 brauch, die Verletzungen zeigen, die durch unbedachte Bewegungen in der Realität während der  
3 Immersion in eine VR verursacht wurden. Daneben sind studienspezifische Nebeneffekte, wie eine  
4 potentielle Infektionsgefahr durch den Kontakt der HMD's bei Verbrennungsoptionen mit den betroffe-  
5 nen Hautstellen beschrieben [21].

6 Als dritte Nebenwirkung wird ein mögliches Suchtpotential durch die VR diskutiert. Abgesehen davon  
7 gibt es ethische Bedenken durch den Proteus-Effekt und die Nachhaltigkeit der Verhaltensverände-  
8 rung.

9 **Merke:** Es existieren technisch wie konzeptionell begründete Risiken unerwünschter Nebenwirkun-  
10 gen durch VR, die unter einem adäquaten Setting einer verletzungsfreien Raumgestaltung und  
11 Berücksichtigung aktueller Forschungsergebnisse zur Technik und Interventionsart handhabbar er-  
12 scheinen.



13

14 **Abbildung 4: Ein Screenshot der VR Spielwelt „SnowWorld“ [19]**

#### 15 4. Einsatz von VR bei spezifischen Schmerzerkrankungen

16 Experimentelle Studien zur analgetischen Wirkung der VR wurden in den letzten 15 Jahren bereits für  
17 experimentelle elektrische, mechanische und thermische Stimuli durchgeführt. Die Wirkung der VR  
18 auf akuten Schmerz bei Patienten wurde mehrfach bei Verbrennungsoptionen im Rahmen der Wund-  
19 versorgung, bei einer Zahnbehandlung oder bei der klinischen Diagnostik, z.B. im Rahmen einer  
20 Zystoskopie, untersucht. Weiterhin wurde Schmerzlinderung mit VR für verschiedene chronische  
21 Schmerzerkrankungen, wie Fibromyalgie, verschiedene Osteoarthrosen, Migräne, Phantomschmer-  
22 zen und das komplexe regionale Schmerzsyndrom (CRPS) untersucht. Die Ergebnisse wurden in zwei

1 systematischen Reviews kürzlich anschaulich zusammengefasst [22, 23]. Im folgenden Abschnitt ge-  
2 hen wir auf die aktuelle Datenlage für den akuten-, sowie chronischen Schmerz und zwei  
3 Sonderformen von chronischen Schmerzen ein.

#### 4 4.1 Akuter Schmerz

5 Die stärksten analgetischen Effekte wurden bisher bei experimentellem Schmerz beschrieben [24].  
6 Weil der Stimulus zeitlich begrenzt ist, meistens als mild interpretiert wird und keine Auswirkungen  
7 auf die Gesundheit hat, war die Übertragbarkeit auf klinischen Schmerz zunächst unklar. Hoffman et  
8 al. konnten dann aber mit der Anwendung in der Wundversorgung von Verbrennungsoptionen in meh-  
9 reren Studien mit  $n =$  zwei bis zwölf Patienten die Translation nachweisen. Die analgetische Wirkung  
10 von immersiver VR mit Medikation war signifikant besser als die alleinige medikamentöse Stan-  
11 dardtherapie.

12 Eine einfach verblindete Studie mit einer größeren Stichprobe ( $n=30$ ) nutzte die starke Immersion  
13 von einer VR Spielwelt (SnowWorld – Abb. 4) und lenkte die Aufmerksamkeit der jungen Patienten  
14 von Wundversorgung ihrer Verbrennungen ab [21]. SnowWorld ist eine interaktive, 3-dimensionale  
15 Spiele-Applikation in einer virtuellen Schneewelt, die speziell für Verbrennungsoptionen programmiert  
16 wurde. Verglichen mit einer passiven Ablenkung - dem Film „Wolkig mit Aussicht auf Fleischbällchen“  
17 - war der Mittelwert der Schmerzreduktion durch VR signifikant um 23,7% größer. Dagegen war die  
18 analgetische Wirkung der VR alleine nicht signifikant, aber um 9,7% geringer, verglichen mit einer  
19 Standardbehandlung - die Kommunikation mit der behandelnden Krankenschwester. Eine Übertrag-  
20 barkeit dieser klinischen Studie ist durch das einfach verblindete, kontrolliert randomisierte Design  
21 mit 30 Probanden limitiert, aber für dieses Setting ist das Design dieser Studie qualitativ-hochwertig.  
22 Die moderate bis große Effektstärke (0,535 - 1,25) für die identifizierte Schmerzreduktion zwischen  
23 den Gruppen gibt starke Hinweise für die analgetische Wirksamkeit der VR. Ein interessantes Neben-  
24 ergebnis dieser Studie ist die geringere analgetische Reduktion zwischen VR und dem pflegenden  
25 Personal (nur 9,7%), im Gegensatz zur Reduktion zwischen VR und der passiven Distraction (23,7%).  
26 Dies gibt Hinweis auf eine stärkere Relevanz von Empathie und Beziehungsgestaltung in der  
27 Schmerztherapie, im Gegensatz zur passiven Ablenkung.

28 **Merke:** Sowohl Studien mit experimentellen als auch akuten Schmerzen geben gute Hinweise darauf,  
29 dass VR analgetisch wirkt.

#### 30 4.2 Chronischer Schmerz

31 Den aktuellen Stand der Forschung über die Wirkung der VR auf chronische Schmerzzustände ist von  
32 Indovina et al. [25] mit „die Studienlage steckt in den Kinderschuhen“ treffend beschrieben. Klinische  
33 Studien, die gezielt die Analgesie von VR bei chronischen Schmerzen untersuchen sind bislang rar,

1 aber in den letzten Jahren gestiegen. Ein wichtiger zusätzlicher Baustein im Verständnis für die thera-  
2 peutische Wirkung der VR bei chronischen Schmerzen ist, dass chronische Schmerzpatienten oft ein  
3 verändertes Körperschema aufweisen [6]. Die Beeinflussung des Körperschemas sowie der visuellen-  
4 und propriozeptiven Stimuli – in der VR durch die Veränderung des Embodiments - eröffnen folglich  
5 weitere therapeutische Möglichkeiten, die durch VR-induzierte VBO und Proteuseffekte motiviert  
6 werden.

#### 7 4.2.1 Chronische muskuloskelettale Schmerzen

8 In einer Untersuchung von Harvie et al. [26] wurden bei 24 Patienten mit Nackenschmerzen via VR  
9 das visuelle Feedback über den Rotationswinkel des Kopfes verändert. Die Patienten hatten im Mit-  
10 telwert seit 11 Jahren Nackenschmerzen und einen schmerzhaft eingeschränkten Bewegungsumfang.  
11 Durch die VR konnte eine Illusion von mehr oder weniger Bewegung bei der Kopfdrehung erzeugt  
12 werden. Wenn das viso-propriozeptive Feedback der VR größer als die reale Drehbewegung des Kop-  
13 fes war, war das schmerzfreie Bewegungsausmaß im Mittel um 7% reduziert, im Vergleich zur realen  
14 visuellen Kontrolle. Wenn das viso-propriozeptive Feedback der VR kleiner als die reale Drehbewe-  
15 gung des Kopfes war, war das schmerzfreie ROM im Mittel um 6% vergrößert, im Vergleich zur realen  
16 visuellen Kontrolle. Der Gesamteffekt der Manipulation auf den Bewegungsumfang betrug in diesem  
17 Fall 13%. Die bewegungsabhängige Schmerzschwelle konnte so kurzfristig durch die visuelle Illusion  
18 signifikant verschoben werden. Die Ergebnisse geben Hinweise über eine alternative Sichtweise auf  
19 chronischen Schmerz. Im Gegensatz zum weit verbreiteten Verständnis der zentralen Sensibilisie-  
20 rung, wobei der Schmerz in dieser Untersuchung mit größerem Bewegungsumfang auch größeren  
21 Schmerz bedeuten würde, vermuten die Autoren in diesem Fall ein assoziatives Lernen. Visuelle, mo-  
22 torische und propriozeptive Stimuli wären somit fähig, Schmerz mit oder ohne nozizeptive Reize zu  
23 triggern bzw. zu lindern. Analog zu dem oben beschriebenen Proteus-Effekt, könnte die kognitive Ver-  
24 haltensveränderung aus dem assoziativen Lernen ein analgetischer Wirkmechanismus sein.

25 Jones et al. untersuchten bei 30 Patienten mit verschiedenen chronischen Schmerzzuständen den  
26 Einfluss einer VR-Spielewelt auf den Schmerz [20]. In der VR-Applikation „COOL!“ ([www.first-](http://www.first-hand.com/health-software/)  
27 [hand.com/health-software/](http://www.first-hand.com/health-software/)), eine immersive 360° VR-Simulation auf der Basis von „SnowWorld“,  
28 erlebten die Probanden eine interaktive Landschaftsreise. Die Teilnehmer hatten eine chronische  
29 Schmerzstörung vorrangig im muskuloskelettalen Bereich. Innerhalb der 5-minütigen Intervention  
30 konnte der Schmerz auf der Numerischen Rating Skala (NRS) signifikant im Mittelwert um 3,1 Punkte  
31 und damit um 60% gesenkt werden. Direkt nach der Intervention war der Mittelwert noch um 1,6  
32 Punkte und damit um 33 % signifikant reduziert – ähnlich der Wirksamkeit von Morphin. Die Studie  
33 ist allerdings durch die variablen Schmerzzustände, die fehlende Vergleichsgruppe und der fehlenden

1 Follow-up Erhebung limitiert. Neben der Ablenkung spielt wahrscheinlich die intrinsische Motivation  
2 der Patienten durch die Gamification eine entscheidende Rolle für die schmerzlindernde Wirkung.

3 **Merke:** VR augmentiert durch Gamification kann sowohl während einer Intervention also auch im  
4 Anschluss daran chronische Schmerzen lindern, wobei über die Dauer der Schmerzlinderung Unklar-  
5 heit besteht.

#### 6 4.2.2 Phantomschmerz

7 Spiegeltherapie ist eine häufig eingesetzte Therapieform bei Phantomschmerz. Dabei wird ein Spie-  
8 gel vor die die sagittale Achse des Patienten gestellt und die nicht betroffene Seite im Spiegel  
9 beobachtet, ähnlich wie bei der „Rubber-Hand-Illusion“ Studie von Botvinick et al. [7]. Die betroffene  
10 Seite wird durch den Spiegel verdeckt. Es entsteht die Illusion einer existierenden Extremität. Ein sys-  
11 tematisches Review wies eine hohe Effektstärke für die analgetische Wirkung der Spiegeltherapie bei  
12 Phantomschmerz nach [27].

13 Eine immersive Version der Illusion, die auf Grundlage der Spiegeltherapie aufbaut, kann durch die  
14 VR hergestellt werden. In der Studie von Rutledge et al. [28] bekamen 14 Veteranen mit Phantom-  
15 schmerz eine VR-Behandlung nach dem Vorbild einer Spiegeltherapie. Ein Avatar ermöglichte die  
16 Visualisierung des intakten Phantomglieds des Teilnehmers in Bewegung. Die reale Bewegung wurde  
17 auf einem kleinen mobilen Pedal-Gerät durchgeführt, wobei für Probanden mit Amputation der obe-  
18 ren Extremität das Gerät auf eine angepasste Höhe gestellt wurde. Diese Behandlung resultierte in  
19 einer signifikanten Verringerung der Intensität von Phantomschmerzen sowie der unangenehmen  
20 Phantomempfindungen. Weiterhin werteten die Patienten die Intervention mit den HMD's als sehr  
21 benutzerfreundlich. Aufgrund der kleinen Stichprobe, der geringen weiblichen (1) Probandenzahl und  
22 der Vorerfahrungen vieler Probanden von Spiegeltherapie, sind die Ergebnisse allerdings limitiert.

23 Die positive analgetische Wirkung der VR auf Phantomschmerz wurde in einem Literaturüberblick  
24 von 2016 [29] schon beschrieben. Alle acht eingeschlossenen Studien berichteten von einer Schmerz-  
25 reduktion, waren aber von geringer Evidenz durch die kleinen Stichproben mit bis zu 14 Teilnehmern,  
26 der Heterogenität in der Länge der jeweiligen Intervention, der Hardware und der Diversität der vir-  
27 tuellen Umgebung. Keine dieser Studien untersuchte einen Langzeiteffekt.

28 **Merke:** Es gibt gute Hinweise in mehreren kleineren Studien, dass VR bei Phantomschmerz eine anal-  
29 getische Wirkung hat.

#### 30 4.2.3 Komplexes regionales Schmerzsyndrom (CRPS)

31 In der aktuellen S1-Leitlinie von 2018 [30] wird der multimodale Behandlungsansatz bei CRPS mit  
32 Physiotherapie und Pharmakotherapie im Therapiealgorithmus an erster Stelle formuliert. Die ver-  
33 haltenstherapeutisch orientierte Physiotherapie beinhaltet das Stufenprogramm Graded-Motor-

1 Imagery (GMI), in der die dritte Stufe Spiegeltherapie ist. Ähnlich wie beim Phantomschmerz kann  
2 die VR als immersive Erweiterung oder Alternative zur Spiegeltherapie dienen. Gerade bei CRPS Pati-  
3 enten sind Körperwahrnehmungsstörungen beschrieben. Bei 54% - 80% der CRPS-Patienten findet  
4 man eine Veränderung derselben, und bei über 75% wurde eine Neglect-Symptomatik beobachtet.  
5 Analog zu den Studien zu chronischem Schmerz und Phantomschmerz soll bei CRPS mit der Beein-  
6 flussung des Körperwahrnehmung ein therapeutischer Effekt generiert werden.

7 Bisher gibt es nur wenige kleine Studien zu VR-basierter Therapie bei CRPS. Sato et al. [31] unter-  
8 suchte in einer Fallserie fünf Patienten mit CRPS. Sie erhielten einmal pro Woche eine VR Spiegel-  
9 Feedback-Therapie über fünf bis acht Sitzungen auf ambulanter Basis. Die Patienten wurden auf fort-  
10 gesetzte Medikation und Schmerzintensität überwacht. Vier der fünf Patienten zeigten eine  
11 Verringerung der Schmerzintensität um > 50% an in fünf Sitzungen über einen nicht festgelegten  
12 Zeitraum. Ebenso profitierten 23 CRPS Patienten von fünf Spiegel-Feedback-Sitzungen einer erwei-  
13 terten VR (3DARS – 3D Augmented Reality System) à 20 min über einen Zeitraum von einer Woche  
14 mit verminderten Schmerzen im Mittel von 29 % auf der Visuellen-Analog-Skala (VAS) [32].

15 In einer neueren Studie von 2019 [33] wurde 19 Patienten mit CRPS oder Nervenverletzungen am  
16 Arm eine virtuelle Umgebung präsentiert. Der virtuelle Arm wurde in vier Transparenzstufen (Trans-  
17parenztest) und drei Größen (Größentest) gezeigt. Dabei stellten die Autoren fest, dass Patienten mit  
18 chronischen Schmerzen über einen virtuellen Arm, der gesunden Teilnehmern ähnlich ist, Vorstellun-  
19 gen von der Zugehörigkeit der Extremität und neue Handlungsspielräume erreichen können. Alle  
20 sieben Zustände verringerten die Schmerzbewertung global auf die Hälfte.

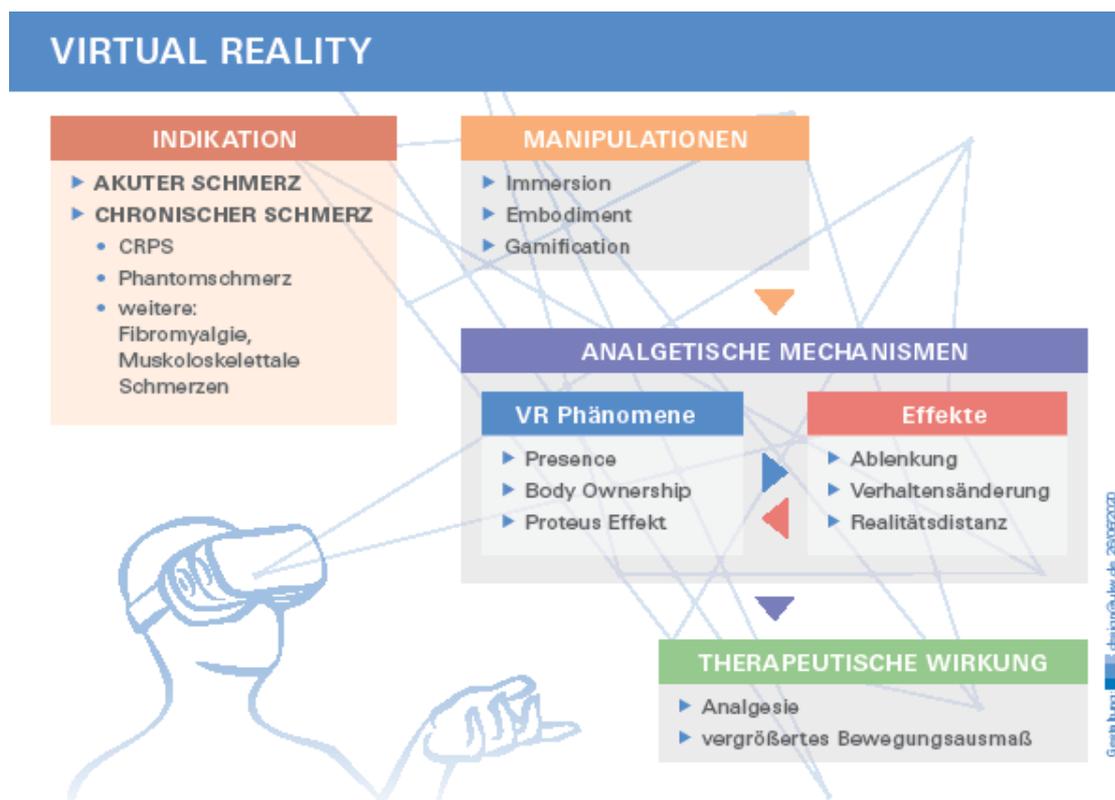
21 **Merke:** Es gibt bereits einige vielversprechende Indizien einer schmerzlindernden Wirkung durch VR  
22 beim CRPS.

## 1 5. Fazit und Zukunftsausblick:

2 Der breite Einsatz von VR im Klinikalltag ist wahrscheinlich noch ein paar Jahre entfernt, aber mit der  
3 technologischen Entwicklung und Digitalisierung unseres beruflichen Lebens werden VR-Therapien  
4 realistischer, alltagstauglicher und bieten eine portable Möglichkeit für die häusliche Therapie. Vor  
5 allem im chronischen Schmerzbereich ist die Notwendigkeit nach aktivierenden Maßnahmen mit  
6 dem Faktor Selbstwirksamkeit und Machbarkeit geboten. Die Motivation und Adhärenz, und dadurch  
7 die Effektstärke der Therapien können nachweislich durch das Erleben von Presence gesteigert wer-  
8 den [5, 11]. Erweiterungen durch Gamification in der VR steigern diese Effekte [1, 20, 21]. Im  
9 Vergleich zu einem therapeutischen Konzept wie GMI, wobei die Patienten zu jeder vollen Stunde  
10 zehn Minuten üben sollen, bieten die VR-Simulationen nach jetzigem Kenntnisstand einen guten  
11 analgetischen Effekt bei kürzerer Anwendungsdauer. Dadurch wird eine realistische Umsetzung von  
12 Therapie in den Alltag ermöglicht.

13 Wirksame analgetische Mechanismen, wie die Modulation der Neuroplastizität, des periaquädukta-  
14 lem Grau oder von aufsteigenden nozizeptiven Signalen sind kaum untersucht und könnten  
15 Aufschluss über effektivere VR-Simulationen geben. Weitere Studien im fMRT oder mittels Elektroen-  
16 zephalographie (EEG) könnten mehr Aufschluss über die kortikale Verarbeitung durch VR geben. Für  
17 eine größere Aussagekraft der zurzeit vielversprechenden Ergebnisse benötigt es aber mehr qualita-  
18 tiv hochwertige Studien mit größeren Stichproben. Dabei sollten auch die Effekte der VR durch  
19 portable Geräte im häuslichen Setting überprüft werden. Ein übertragbarer Effekt von der klinischen  
20 Situation mit dem betreuenden Personal auf die häusliche Situation ist denkbar, aber noch kaum un-  
21 tersucht [18]. Die Generalisierbarkeit der analgetischen Effekte von VR-Simulationen auf das tägliche  
22 Leben sowie eine nachhaltige Wirkung sollten ebenfalls untersucht werden. Dabei könnten spezifisch  
23 zugeschnittene VR Interventionen, die die Schmerzentstehung des Patienten beachten – z.B. Phan-  
24 tomschmerz – in Zukunft eine entscheidende Rolle spielen [17].

25 Die Abbildung 5 zeigt eine Zusammenfassung der erläuterten Terminologie, möglichen Manipulatio-  
26 nen sowie analgetischen Mechanismen und der therapeutischen Wirkung von VR.. Die in der  
27 Literatur vorrangig beschriebenen allgemeinen Phänomene und Effekte der VR sind als analgetische  
28 Mechanismen nicht kategorisch zu differenzieren, sondern stehen in direkter Wechselwirkung zuei-  
29 nander. Zukünftige Studien könnten Aufschluss über die Wechselwirkungen und eine spezifischere  
30 Einteilung der analgetischen Mechanismen geben.



1

2

3 **Abbildung 5: Zusammenfassung von Terminologie, Mechanismen und Wirkung in der VR**4 **Kernaussagen**5 • In der VR treten verschiedene Phänomene, wie Immersion, Presence, Embodiment, (Virtual)  
6 Body Ownership und Proteus Effekt auf, die eine Veränderung der Körperwahrnehmung und  
7 des Verhaltens bewirken können.8 • Die Qualität der virtuellen Umgebung, personalisierte Avatare, die Möglichkeit einer  
9 Interaktion sowie multisensorische Inputs verstärken die Immersion und damit die  
10 analgetische Wirksamkeit der VR.11 • Als wirksamen Mechanismen der VR auf Schmerz werden Ablenkung, kognitive Verhaltens-  
12 veränderung und die Distanz von der Realität in Betracht gezogen, die zu  
13 neurophysiologischen Veränderungen auf kortikaler Ebene führen.14 • Gamification steigert die intrinsische Motivation und das Wohlbefinden und erhöht die Ad-  
15 härenz zur Therapie.

- 1       • Es gibt gute Evidenz, dass akuter Schmerz – v.a. experimentell und bei der Wundversorgung  
2           bei Verbrennungsoptionen - durch VR-Simulationen positiv beeinflusst wird.
  
- 3       • Es gibt moderate Hinweise, dass chronischer Schmerz durch VR-Simulationen positiv beein-  
4           flusst werden kann, wobei individuelle Konzepte wahrscheinlich wirksamer sind und in den  
5           verschiedenen Schmerzerkrankungen noch untersucht werden müssen.
  
- 6       • VR kann als immersive Erweiterung oder Alternative zur Spiegeltherapie insbesondere bei  
7           verschiedenen Schmerzerkrankungen, wie CRPS oder Phantomschmerz analgetisch einge-  
8           setzt werden.
  
- 9

## 1 Bibliographie

- 2 1. Kern F, Winter C, Gall D et al. Immersive Virtual Reality and Gamification Within Procedurally  
3 Generated Environments to Increase Motivation During Gait Rehabilitation. In, 2019 IEEE  
4 Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR); 2019: 500-509.  
5 doi:10.1109/VR.2019.8797828
- 6 2. Sutherland IE. A head-mounted three dimensional display. Proceedings of the December 9-  
7 11, 1968, fall joint computer conference, part I; 1968; San Francisco, California
- 8 3. Skarbez R, Frederick P, Brooks J, Whitton MC. A Survey of Presence and Related Concepts.  
9 ACM Comput Surv 2017; 50: Article 96. doi:10.1145/3134301
- 10 4. Slater M. Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual  
11 environments. Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B, Biological  
12 sciences 2009; 364: 3549-3557. doi:10.1098/rstb.2009.0138
- 13 5. Hoffman HG, Seibel EJ, Richards TL et al. Virtual reality helmet display quality influences the  
14 magnitude of virtual reality analgesia. J Pain 2006; 7: 843-850.  
15 doi:10.1016/j.jpain.2006.04.006
- 16 6. Matamala-Gomez M, Donegan T, Bottiroli S et al. Immersive Virtual Reality and Virtual  
17 Embodiment for Pain Relief. Front Hum Neurosci 2019; 13: 279.  
18 doi:10.3389/fnhum.2019.00279
- 19 7. Botvinick M, Cohen J. Rubber hands 'feel' touch that eyes see. Nature 1998; 391: 756.  
20 doi:10.1038/35784
- 21 8. Zeller D, Litvak V, Friston KJ et al. Sensory processing and the rubber hand illusion--an evoked  
22 potentials study. J Cogn Neurosci 2015; 27: 573-582. doi:10.1162/jocn\_a\_00705
- 23 9. Ijsselstein W, De Kort Y, Haans A. Is This My Hand I See Before Me? The Rubber Hand Illusion  
24 in Reality, Virtual Reality, and Mixed Reality. Presence Teleoperators & Virtual Environments  
25 2006; 15: 455-464. doi:10.1162/pres.15.4.455
- 26 10. Roth D, Lugrin J-L, Latoschik M et al. Alpha IVBO - Construction of a Scale to Measure the  
27 Illusion of Virtual Body Ownership; 2017. doi:10.1145/3027063.3053272
- 28 11. Waltemate T, Gall D, Roth D et al. The impact of avatar personalization and immersion on  
29 virtual body ownership, presence, and emotional response. IEEE transactions on visualization  
30 and computer graphics 2018; 24: 1643-1652
- 31 12. Latoschik ME, Lugrin J-L, Roth D. FakeMi: a fake mirror system for avatar embodiment  
32 studies. Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and  
33 Technology; 2016; Munich, Germany: 73-76.
- 34 13. Yee N, Bailenson J. The Proteus Effect: The Effect of Transformed Self-Representation on  
35 Behavior. Human Communication Research 2007; 33: 271-290. doi:10.1111/j.1468-  
36 2958.2007.00299.x
- 37 14. Yee N, Bailenson JN, Ducheneaut N. The Proteus Effect: Implications of Transformed Digital  
38 Self-Representation on Online and Offline Behavior. Communication Research 2009; 36: 285-  
39 312. doi:10.1177/0093650208330254
- 40 15. Latoschik ME, Roth D, Gall D et al. The effect of avatar realism in immersive social virtual  
41 realities. Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and  
42 Technology; 2017; Gothenburg, Sweden
- 43 16. Gupta A, Scott K, Dukewich M. Innovative Technology Using Virtual Reality in the Treatment  
44 of Pain: Does It Reduce Pain via Distraction, or Is There More to It? Pain Medicine 2017; 19:  
45 151-159. doi:10.1093/pm/pnx109
- 46 17. Honzel E, Murthi S, Brawn-Cinani B et al. Virtual reality, music, and pain: developing the  
47 premise for an interdisciplinary approach to pain management. Pain 2019; 160: 1909-1919.  
48 doi:10.1097/j.pain.0000000000001539
- 49 18. Keefe FJ, Huling DA, Coggins MJ et al. Virtual reality for persistent pain: a new direction for  
50 behavioral pain management. Pain 2012; 153: 2163-2166. doi:10.1016/j.pain.2012.05.030
- 51 19. Hoffman HG, Richards TL, Van Oostrom T et al. The analgesic effects of opioids and  
52 immersive virtual reality distraction: evidence from subjective and functional brain imaging

- 1 assessments. *Anesthesia and analgesia* 2007; 105: 1776.  
2 doi:10.1213/01.ane.0000270205.45146.db
- 3 20. Jones T, Moore T, Choo J. The Impact of Virtual Reality on Chronic Pain. *PloS one* 2016; 11:  
4 e0167523-e0167523. doi:10.1371/journal.pone.0167523
- 5 21. Jeffs D, Dorman D, Brown S et al. Effect of virtual reality on adolescent pain during burn  
6 wound care. *Journal of burn care & research : official publication of the American Burn*  
7 *Association* 2014; 35: 395-408. doi:10.1097/BCR.0000000000000019
- 8 22. Mallari B, Spaeth EK, Goh H et al. Virtual reality as an analgesic for acute and chronic pain in  
9 adults: a systematic review and meta-analysis. *Journal of pain research* 2019; 12: 2053-2085.  
10 doi:10.2147/JPR.S200498
- 11 23. Pourmand A, Davis S, Marchak A et al. Virtual Reality as a Clinical Tool for Pain Management.  
12 *Current Pain and Headache Reports* 2018; 22: 53. doi:10.1007/s11916-018-0708-2
- 13 24. Malloy KM, Milling LS. The effectiveness of virtual reality distraction for pain reduction: a  
14 systematic review. *Clinical psychology review* 2010; 30: 1011-1018.  
15 doi:10.1016/j.cpr.2010.07.001
- 16 25. Indovina P, Barone D, Gallo L et al. Virtual Reality as a Distraction Intervention to Relieve Pain  
17 and Distress During Medical Procedures: A Comprehensive Literature Review. *Clin J Pain*  
18 2018; 34: 858-877. doi:10.1097/ajp.0000000000000599
- 19 26. Harvie DS, Broecker M, Smith RT et al. Bogus visual feedback alters onset of movement-  
20 evoked pain in people with neck pain. *Psychol Sci* 2015; 26: 385-392.  
21 doi:10.1177/0956797614563339
- 22 27. Thieme H, Morkisch N, Rietz C et al. The Efficacy of Movement Representation Techniques  
23 for Treatment of Limb Pain--A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Pain* 2016; 17: 167-  
24 180. doi:10.1016/j.jpain.2015.10.015
- 25 28. Rutledge T, Velez D, Depp C et al. A Virtual Reality Intervention for the Treatment of  
26 Phantom Limb Pain: Development and Feasibility Results. *Pain Med* 2019.  
27 doi:10.1093/pm/pnz121
- 28 29. Dunn J, Yeo E, Moghaddampour P et al. Virtual and augmented reality in teh treatment of  
29 phantom limb pain: A literature review. *NeuroRehabilitation* 2017; 40: 595-601.  
30 doi:10.3233/NRE-171447
- 31 30. F. B, A. H, C. M et al. Diagnostik und Therapie komplexer regionaler Schmerzsyndrome  
32 (CRPS). In: Birklein F ed. *Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie: Deutsche*  
33 *Gesellschaft für Neurologie (Hrsg.); 2018*
- 34 31. Sato K, Fukumori S, Matsusaki T et al. Nonimmersive virtual reality mirror visual feedback  
35 therapy and its application for the treatment of complex regional pain syndrome: an open-  
36 label pilot study. *Pain Med* 2010; 11: 622-629. doi:10.1111/j.1526-4637.2010.00819.x
- 37 32. Mouraux D, Brassinne E, Sobczak S et al. 3D augmented reality mirror visual feedback  
38 therapy applied to the treatment of persistent, unilateral upper extremity neuropathic pain:  
39 a preliminary study. *J Man Manip Ther* 2017; 25: 137-143.  
40 doi:10.1080/10669817.2016.1176726
- 41 33. Matamala-Gomez M, Diaz Gonzalez AM, Slater M et al. Decreasing Pain Ratings in Chronic  
42 Arm Pain Through Changing a Virtual Body: Different Strategies for Different Pain Types. *J*  
43 *Pain* 2019; 20: 685-697. doi:10.1016/j.jpain.2018.12.001

## 1 CME Fragen

### 2 (1) Was ist „Predictive Coding“?

- 3 (A) Predictive Coding ist eine verminderte motorische Antwort durch eine starke Immersion.  
4 (B) Predictive Coding ist eine nachhaltige Veränderung des Verhaltens hervorgerufen durch den  
5 Proteus-Effekt.  
6 (C) Beim Predictive Coding reduziert sich die Reizweiterleitung peripherer nozizeptiver Neuro-  
7 nen.  
8 **(D) Beim „Predictive Coding“ verändert das Gehirn die sensorische Präzision und unterdrückt**  
9 **aufsteigende propriozeptive Reize.**  
10 (E) „Predictive Coding“ ist definiert als eine veränderte Wahrnehmung durch Ablenkung.

### 11 (2) Welche analgetischen neurophysiologischen Veränderungen konnten bei der VR nachgewiesen 12 werden?

- 13 (A) Verkleinerung von rezeptiven Feldern  
14 (B) Stimulation von kortikalen Opioid-Rezeptoren  
15 **(C) Veränderte Aktivität schmerzrelevanter Hirnareale**  
16 (D) Reduktion der deszendierenden Hemmung  
17 (E) Desensibilisierung der peripheren Nozizeptoren

### 18 (3) Welche Aussage stimmt NICHT: Je höher die Immersion der VR, desto...

- 19 (A) eher kommt es zu einer Presence.  
20 (B) stärker ist die analgetische Wirkung.  
21 (C) realer wirkt die VR.  
22 (D) realistischer muss die virtuelle Umgebung sein.  
23 **(E) weniger Propriozeption wird wahrgenommen.**

### 24 (4) Welcher Effekt tritt NICHT durch die VR auf?

- 25 (A) Erlernte Verhaltensveränderungen können auch nach der VR-Simulation in der realen Welt  
26 anhalten.  
27 **(B) Durch das Body-Ownership werden afferente Signale gehemmt.**  
28 (C) Viso-taktile und viso-motorische Kohärenz führt es zu einem Embodiment.  
29 (D) Verhaltensveränderungen können unmittelbar durch die Gestalt des Avatars auftreten.  
30 (E) Durch Unterdrückung von somatosensorischen Reizen verändert sich die Körperwahrneh-  
31 mung.

### 32 (5) Welche Veränderungen treten bei chronischen Schmerzen auf?

- 1 **(A) Bei chronischen Schmerzen kommt es zu einer veränderten Körperwahrnehmung.**  
2 (B) Bei chronischen Schmerzen verändert sich die Herzfrequenz.  
3 (C) Im Gegensatz zu akuten Schmerzen wirkt VR bei chronischen Schmerzen nicht analgetisch.  
4 (D) Chronische Schmerzen führen zu einer Abnahme der Muskelmasse und der physischen Kraft.  
5 (E) Bei chronischen Schmerzen hat Gamification keine Wirkung.

6 **(6) Was bezeichnet man als einen Proteuseffekt?**

- 7 (A) Die Form und das Aussehen von virtuellen Körperteilen entscheiden über die Intensität der  
8 Illusion.  
9 (B) Die Form des Avatars in der VR ständig wechseln zu können.  
10 (C) Durch intrinsische Motivation wird die Adhärenz zur Therapie gesteigert.  
11 **(D) Das Wissen von bestimmten Verhaltensweisen führt die Benutzer eines Avatars zu der Ver-**  
12 **körperung dessen Habitus.**  
13 (E) Eine virtuelle Realität als seine eigene Realität wahrzunehmen.

14 **(7) Welche Nebenwirkungen können bei VR auftreten?**

- 15 **(A) Schwindel und Übelkeit**  
16 (B) Atemstörungen  
17 (C) Muskelkrämpfe  
18 (D) Herzrhythmusstörungen  
19 (E) Harnverhalt

20 **(8) Was ist Body Ownership?**

- 21 (A) Eine starke Presence.  
22 (B) Die Steuerung eines Avatars in der VR.  
23 **(C) Die Integration von Körperteilen in das Körperschema.**  
24 (D) Ein anderes Wort für Immersion.  
25 (E) Die Körperwahrnehmung über Training zu verbessern.

26 **(9) Welche Effekte treten bei Gamification auf?**

- 27 **(A) Steigerung der Motivation, des Wohlbefindens und des Trainingspensums.**  
28 (B) Spiele werden von allen Altersgruppen angenommen.  
29 (C) Erhöhung der Atem- und Herzfrequenz.  
30 (D) Spielerische Elemente tragen didaktisch zum Lernprozess bei.  
31 (E) Spiele werden in der VR realistischer und beeinflussen die Körperwahrnehmung.

32 **(10) Was trifft für Immersion zu?**

- 1 (A) Immersion führt zur unmittelbaren Analgesie.  
2 (B) Die Immersion führt über mehrere VR-Sitzungen zu einer Adaption und ist weniger wirksam.  
3 (C) Die Propriozeptoren werden durch Immersion sensibilisiert.  
4 **(D) Die Intensität der Immersion beeinflusst die analgetische Wirkung.**  
5 (E) Je früher die Immersion einer VR einsetzt, desto mehr Spaß an der Illusion kann bei den Be-  
6 nutzern gemessen werden.

7

## 8 Autoren

9 **Stefan Lindner**, Diplom, Jahrgang 1981, Sportwissenschaftler und Physiotherapeut im Schmerzzent-  
10 rum des Universitätsklinikums Würzburg; Diplom in Sportwissenschaften, Studienschwerpunkt  
11 Prävention und Rehabilitation an der Universität Würzburg, staatliche Anerkennung als Physiothera-  
12apeut an der Berufsfachschule für Physiotherapie des Universitätsklinikums Würzburg.

13 **Prof. Dr. Marc-Erich Latoschik**, Jahrgang 1968, Studium der Informatik und Mathematik, 1996-2008  
14 Leiter des Labors für Künstliche Intelligenz und Virtuelle Realität der Universität Bielefeld, 2009-2011  
15 Professor für Medieninformatik (HTW Berlin) und Intelligent Graphics (Universität Bayreuth). Seit  
16 2011 Inhaber des Lehrstuhls für Mensch-Computer-Interaktion der Julius-Maximilians-Universität  
17 Würzburg. Forschungsschwerpunkte VR, AR, MR (heute oft als XR bezeichnet), Embodiment (Avatare  
18 und Agenten), multimodale Schnittstellen, Intelligente virtuelle Umgebungen (KI & VR).

19 **Prof. Dr. med. Heike L. Rittner**, Jahrgang 1968, 1994-1997 Postdoctoral Fellowship Mayo Clinic Ro-  
20 chester, USA; 2003 Fachärztin Anästhesiologie (Charité), 2008 Spezielle Schmerztherapie; 2010  
21 Palliativmedizin. Seit 2008 Oberärztin der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Universitätsklini-  
22 kum Würzburg, ab 2012 Leitung Schmerztagesklinik des Zentrums für Interdisziplinäre  
23 Schmerzmedizin. Leiterin der AG Molekulare Schmerzforschung (Opioide, Barrieren im Nervensys-  
24 tem, translationale Forschung).

25

26