

**Zuwendungsempfänger:**

VTplus GmbH  
An den Breiten 4  
97078 Würzburg

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Förderkennzeichen: 13GW0213D

**Förderprogramm:**

Medizintechnische Lösungen für eine digitale Gesundheitsversorgung

**Titel des Vorhabens:**

Closed-loop Softwaresystem zur Neurorehabilitation nach Schlaganfall durch personalisiertes EEG/EMG-Hirnzustand-gesteuertes Virtual Reality-Therapieparadigma (REHALITY)

**Teilvorhaben:**

Erarbeitung eines Neurorehabilitations-System-Demonstrators mit virtueller Realität und EEG Ansteuerung

**Projektleiter:**

Dr. Bastian Lange

Tel.: +49 931 306997545

E-Mail: bastian.lange@vtplus.eu

**Laufzeit des Vorhabens:** 01.04.2019 - 31.12.2022

**Autor(en):** Lange, Bastian; Müller, Jürgen; Müller, Mathias



Würzburg, 30.06.2023

Ort und Datum

Mathias Müller, Geschäftsführer VTplus  
Stempel, rechtsverbindliche Unterschrift



# Sachbericht nach Nr. 4.1 NKBF 2017

## Teil 1 | Kurzbericht

### Inhaltsverzeichnis

Sachbericht nach Nr. 4.1 NKBF 2017 Teil 1   Kurzbericht .....	1
1 Aufgabenstellung.....	2
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde .....	2
3 Ablauf des Vorhabens und wesentliche Ergebnisse .....	2
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde .....	3

## 1 Aufgabenstellung

Ziel des Verbundprojekts Rehality war es, Schlaganfallpatientinnen und -patienten durch eine digitale Therapie mit softwarebasierten VR-Umgebungen und Gamification-Elementen eine schnellere und nachhaltigere Rehabilitation zu ermöglichen. Aus Sicht der Patientinnen und Patienten stand dabei das Erfolgserlebnis bei der Bewältigung der therapeutisch notwendigen Aufgaben im Vordergrund. Hinzu kam, dass die Übungen je nach Schweregrad der Lähmung selbstständig und unabhängig von therapeutischem Personal oder aufwändiger räumlicher Infrastruktur durchgeführt werden können. Langfristig soll eine „Rehality“-basierte Therapie die Versorgungslücke zwischen stationärer Akutbehandlung, Rehabilitation und Therapie zuhause schließen, um den erfolgreichen Wiedereinstieg in ein eigenständiges Leben zu beschleunigen. Im Teilprojekt von VTplus wurde die Umsetzung eines Demonstrators verfolgt, welche die Durchführung von Rehabilitationsübungen mit Virtueller Realität (VR) mit einer auf den Hirn- und Muskelsignalen basierten zeitlichen Ansteuerung der therapierelevanten Übungsschritte ermöglicht.

## 2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die VTplus GmbH entwickelt VR-Systeme und Laborausstattungen für Anwender der Virtuellen Realität (VR) in den Bereichen Psychologie, Psychotherapie und Psychiatrie, Psychosomatik, Neurologie und Rehabilitation. VR-Forschungssysteme von VTplus ermöglichen die zuverlässige Durchführung von VR-Datenerhebungen mit hoher interner Validität. VTplus strebt wissenschaftlich fundierte Lösungen für die fortschreitende Digitalisierung in der Medizin und dem Gesundheitswesen an. VTplus brachte evaluierte VR-Szenarien und virtuelle Charaktere in das Projekt ein sowie die Expertise, diese, um Schnittstellen zu Biosignalen und Kombinationen mit Gamification-Elementen zu erweitern. Im Verbund REHALITY haben namhafte, wissenschaftliche und industrielle Partner kooperiert. Der Verbund bündelte das Know-How aus den Bereichen klinische Hirnforschung und Neurologie (Universitätsklinik Tübingen), Interaktive Medien, Serious Games und Virtual Reality (Hochschule der Medien - Institut für Games, Stuttgart) und der Anwendung Virtueller Realität für Forschung und Therapie (VTplus GmbH).

## 3 Ablauf des Vorhabens und wesentliche Ergebnisse

VTplus hat in enger Abstimmung mit dem Universitätsklinikum Tübingen (UKT) und dem Institut für Games (IfG) das Systemkonzept unter Berücksichtigung gültiger Standards für die Anwendung am Menschen entworfen und eine Software- und Systemarchitektur erstellt. Diese umfasst die Definition von Systemfunktionen, Systemkomponenten sowie Vernetzungs- und Kommunikationsstrukturen. Gemeinsam wurde eine Fokussierung auf eingeschränkte Bereiche des Oberkörpers (Arme und Hände) beschlossen und die entsprechenden therapierelevanten Maße sowie die zu verwendende Sensorik festgelegt. Das Ergebnis wurde als Design und Spezifikation eines vollintegrierten VR-Systems mit „Closed-Loop“ Hardware-Schnittstelle festgehalten. In einem virtuellen Workshop am 21.01.2021 wurde die Systemarchitektur beschlossen und die Entwicklungsschritte für den Demonstrator festgelegt. Während eines Konsortialtreffens am 19.08.2021 in Tübingen wurde die Systemarchitektur für die Studie mit Patientinnen und Patienten optimiert. Dabei wurden auch die Schnittstellen zur Integration der notwendigen Sensor- und Hardwarekomponenten diskutiert und festgelegt. Zudem wurde das System um eine Neurofeedback-Komponente erweitert. Die einzusetzenden Systemkomponenten, einschließlich geeigneter Sensortechnologie zur Erfassung von Verhaltensdaten, wurden auf Basis einer Nutzeranalyse spezifiziert und evaluiert. VTplus hat die Erfassung von Augenbewegungen als Indikator für die Bewegungsinitiierung implementiert und in einem Anwendungsfall (Puzzle) getestet. Für die Anbindung an die Biosensor-Hardware wurde eine Schnittstelle zur direkten Nutzung mit der VR-Engine entwickelt. Die Kommunikation erfolgt über das Lab Streaming Layer (LSL) Protokoll. Für Test- und Kontrollzwecke wurden zusätzliche Methoden entwickelt, um die zu erwartenden Biosignaldaten zu simulieren. Darüber hinaus wurden das „Closed-Loop“ Feedback-Modul sowie die Therapieszenarien iterativ entwickelt und evaluiert. Die von VTplus und IfG entwickelten Teillösungen wurden durch die Erstellung und Verteilung eines gemeinsamen Unreal Engine (UE, Version 4, Epic Games, 2019) Projektes zusammengeführt und unter Verwendung von Versionierung ein paralleles Arbeiten ermöglicht. Die implementierten Funktionen wurden in gemeinsamen

Dokumenten festgehalten. VTplus hat eine virtuelle Darstellung des Körpers aus der Ego-Perspektive (Avatar) erstellt. Im Austausch mit den Projektpartnern wurden Parameter festgelegt, mit denen der Avatar visuell an die Patientin oder den Patienten angepasst werden kann. So können das Geschlecht, die Hautfarbe, die Größe der Hände und die Ärmellänge des Oberteils festgelegt werden. Zusätzlich können die Arme, Hände und Finger des Avatars mittels sensorgesteuerter inverser Kinematik bewegt werden. Darüber hinaus kann die Position der Arme, Hände und Finger auch von außen verändert und in eine feste Position gebracht werden. Analog zur bekannten Spiegeltherapie kann die Bewegung der nicht eingeschränkten Körperseite auf die eingeschränkte Seite übertragen werden. Die entwickelten Übungen zum Training der Hand- und Armbewegungen wurden mit einer „Therapeutischen Illusion“ für Arm-, Hand- und Fingerbewegungen ausgestattet. Damit ist es möglich, die häufig gehemmte Bewegungsinitiierung über Biosignale und die Erfassung der Augenbewegung zu ermitteln und virtuell darzustellen. Dazu wurden Schnittstellen zwischen Biosignalverarbeitung, Eyetracker und VR-System entwickelt, die einen schnellen Informationsaustausch ermöglichen. Um die Armstreckung zu trainieren, wurde eine virtuelle Umgebung geschaffen, die die Möglichkeit bietet, ein Puzzle in einer öffentlichen Situation zu lösen. Diese Übung ist dafür optimiert, Patientinnen und Patienten, deren Einschränkung es nicht ermöglicht, eine Bewegung zu starten, diese per Blick zu initiieren. VTplus hat seine Erfahrungen im Bereich der Therapieforschung in die Entwicklung von Therapieszenarien einschließlich der Konzeption von Interaktionsmöglichkeiten zur Erfüllung der identifizierten Anforderungen eingebracht. Dazu wurden einzelne Phasen des Therapieablaufs identifiziert, Therapieübungsabschnitte definiert und Beispiele für Rehabilitationsübungen entworfen. Zusätzlich wurden die vom IfG entwickelten Gamification-Elemente in die Therapiekonzepte integriert. Für die Studie mit Patientinnen und Patienten wurde die notwendige experimentelle Kontrolle festgelegt und umgesetzt. Zur Steuerung der VR-Übungen und Kontrolle des Übungsverlaufs wurde ein grafisches Interface für Therapeutinnen und Therapeuten erarbeitet und mit Hilfe des regelbasierten VT+ExpoControl umgesetzt.

#### 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Durch Brain-Computer Interfaces (BCIs) gesteuerte Orthesen wurden bereits erfolgreich zur Unterstützung der Rehabilitation von Schlaganfallpatientinnen und -patienten eingesetzt. Diese Systeme basieren auf dem Prinzip, dass eine mittels BCI erfasste Bewegungsintention, die bei einer gelähmten Patientin oder einem Patienten nicht zwangsläufig in eine ausgeführte Bewegung münden muss, durch eine mit der Patientin oder dem Patienten verbundene Orthese ausgeführt wird. Diese Synchronisation von Bewegungsabsicht und Bewegungsausführung erhöht die kortikale Plastizität und unterstützt damit die Rehabilitation. Dabei wird die Bewegungsabsicht durch eine Desynchronisation der sensomotorischen Rhythmen über dem kontralateralen Motorkortex detektiert. Es ist derzeit nicht bekannt, ob dieses Merkmal optimal ist, um die kortikale Plastizität zu erhöhen. Folgende alternative Behandlungsansätze sind bekannt:

- Ergotherapie durch passives Bewegen der gelähmten Extremitäten und einfache Aufgaben durch Therapeuten: „Closed-Loop“ Ansatz, allerdings mit hoher Latenz von mehreren Sekunden zwischen Übung und Feedback.
- Erzeugen der Illusion einer Bewegung durch einen Spiegel (Spiegel Therapie) bzw. durch eine Gummihand („Rubberhand illusion“): Diese Therapien sind kostengünstig, es besteht aber keine Rückkopplung zwischen Hirnaktivität und Muskelaktivität und visueller Wahrnehmung eines Therapieerfolges.
- Ergotherapie durch passives Bewegen der gelähmten Extremitäten durch eine Orthese bzw. ein Exoskeletton: Solche Systeme entlasten Therapeutinnen und Therapeuten zeitlich und körperlich, beeinflussen jedoch den Therapieerfolg nur unwesentlich.
- BCI-gesteuerte Orthesen: Zahlreiche Studien zeigen einen gewissen Vorteil bei der Therapie durch „Biofeedback“. Konkret geht es bei den BCI-Ansätzen um ein Dekodieren von erlernbar modulierbarer Hirnaktivität zur Steuerung eines Computers, bisher ohne Berücksichtigung der grundlegenden Neurophysiologie der Motornetzwerke und ihrer Reorganisation nach einer Läsion.

Es gab im Rahmen des Projekt Rehality keine Zusammenarbeit mit Stellen außerhalb des Konsortiums.



# Sachbericht nach Nr. 4.1 NKBF 2017

## Teil 2 | Eingehende Darstellung

### Inhaltsverzeichnis

Sachbericht nach Nr. 4.1 NKBF 2017 Teil 2   Eingehende Darstellung.....	1
1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele.	2
1.1 Systemdesign .....	2
1.2 VR-Demonstrator Komponenten Evaluierung .....	2
1.3 VR-Demonstrator Erarbeitung und Integration .....	3
1.4 VR-Umgebungen und Avatar Design.....	3
1.4.1 VR- Umgebungen .....	3
1.4.2 Avatar.....	5
1.5 Therapie Paradigmen Konzeption.....	6
2 Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises .....	6
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	7
4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans .....	7
5 Während der Durchführung des Vorhabens uns bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	8
6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses, Wissenschaftliche Publikationen .....	8

## 1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

### 1.1 Systemdesign

**Ziele:** Erstellung einer Systemkonzeption unter Einsatz aktueller Virtual Reality (VR) Technik und der verfügbaren Sensorik

**Ergebnisse:** VTplus hat das Systemkonzept in enger Abstimmung mit dem Universitätsklinikum Tübingen (UKT) und dem Institut für Games (IfG) unter Berücksichtigung gültiger Standards für die Anwendung am Menschen entworfen und eine Software- und Systemarchitektur erstellt. Diese umfasst die Definition von Systemfunktionen, Systemkomponenten sowie Vernetzungs- und Kommunikationsstrukturen. Gemeinsam wurde eine Fokussierung auf die eingeschränkten Teile des Oberkörpers (Arme und Hände) beschlossen und die entsprechenden therapierelevanten Maße und die zu verwendende Sensorik festgelegt. Das Ergebnis wurde als Entwurf und Spezifikation eines vollintegrierten VR-Systems mit „Closed-Loop“ Hardware-Schnittstelle festgehalten.

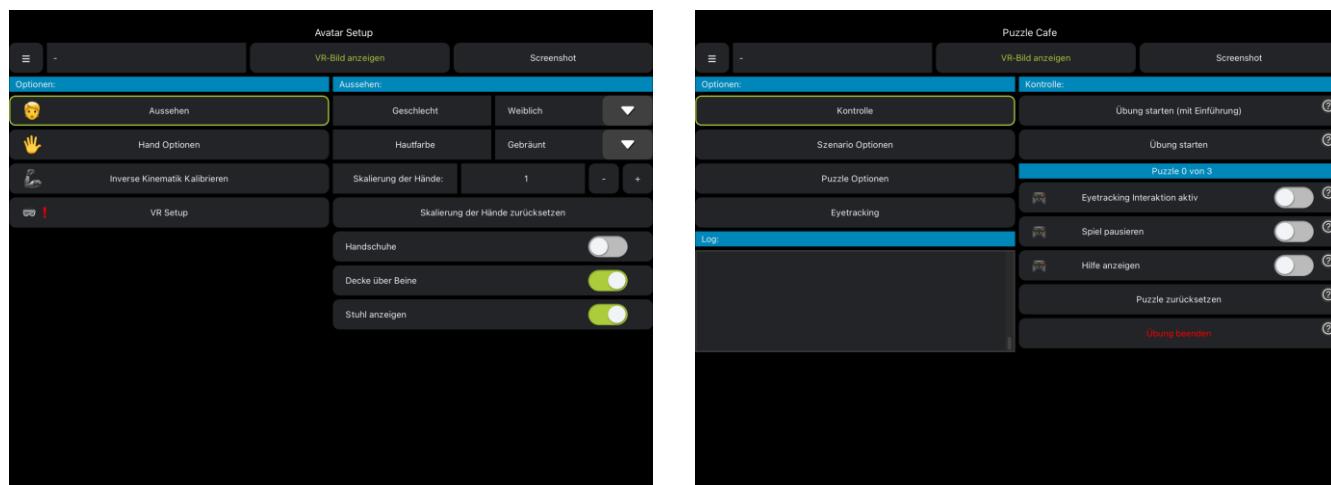
### 1.2 VR-Demonstrator Komponenten Evaluierung

**Ziele:** Überprüfung von Teillösungen zur Umsetzung des Gesamtsystems

**Ergebnisse:** Die Überprüfung von Komponenten und Teillösungen zur Umsetzung und Überprüfung des Systemdesigns wurde mit folgendem Ergebnis durchgeführt:

- VR-Engine (Unreal Engine (Version 4, Epic Games, 2019))
- Kabelgebundene 3D-Videobrille (HTC Vive Pro Eye; ultra-Mobile ausgeschlossen (HTC Vive Focus (plus)))
- Tracking System (Sensor basiert)
- Motion-Controller (Valve Index Controller)
- Rendering-Hardware (Gerätewagen, 60601-1 konforme Elektronik)

Die Erfassung von Augenbewegungen wurde in eine VR Therapie Übung integriert und getestet. Ein Graphical User Interface (GUI) zur Übungs- und Therapiesteuerung wurde umgesetzt und getestet. Hier wurde eine einfache Ansteuerung per Kiosk auf dem VR-System vorbereitet und eine Übungs- und Therapiesteuerung per App (iOS, Windows) umgesetzt, welche per VT+ExpoControl definiert wird. Eine Umsetzung der App für Android Geräte wurde verfolgt, konnte aber zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis geführt werden.



**Abbildung 1:** Übungs- und Therapiesteuerung per App (iOS, Windows)

### 1.3 VR-Demonstrator Erarbeitung und Integration

**Ziel:** Umsetzung eines praxistauglichen Systemdesigns und Systemintegration der Datenverarbeitungsmodule, des Steuersystems und der Sensorkomponenten

**Ergebnisse:** Frühzeitig wurden separat von VTplus und IfG entwickelte VR-Inhalte und Komponenten in einem gemeinschaftlichen Unreal Engine (UE, Version 4, Epic Games, 2019) Projekt per SVN-Versionierung zusammengeführt und parallel entwickelt. Die implementierten Funktionen wurden in gemeinsamen Dokumenten festgehalten. Die „Biosignal-Verarbeitung“ Schnittstelle im UE Projekt wurde um eine Neurofeedback Komponente erweitert und mit dem entwickelten LSL-Tool zur Erzeugung von LSL-Streams getestet. Darüber hinaus wurde die gesamte „Closed-Loop“ Interaktion, inklusive Neurofeedback, als Schaubild dokumentiert und mit dem Konsortium abgestimmt. Die Dokumentation der „Closed-Loop“ Interaktion wurde im geteilten Datenraum bereitgestellt. Das VT+ExpoControl Modul wurde für die Anforderungen des Rehality Projekts erweitert und übernimmt die Aufgaben des Script Interpreters mit WAMP Anbindung, bietet Funktionsaufrufe für atomare VR-Aktionen, steuert die VR-Szenarien, kommuniziert mit der GUI und bildet Events von Szenario Zuständen.

### 1.4 VR-Umgebungen und Avatar Design

Ziel: Ausarbeitung von virtuellen Umgebungen und Avatar Interaktionsmöglichkeiten zum Therapiekonzept

#### 1.4.1 VR-Umgebungen

Für die Veranschaulichung der entwickelten Avatars wurde eine Galerie erstellt, in welcher schon während dem Entwicklungsprozess die verschiedenen Avatar Ausprägungen anschaulich dargestellt wurden.



**Abbildung 2:** Avatar Galerie zur Veranschaulichung der möglichen Anpassungen, hier die Beispiele für Geschlecht, Kleidung (Handschuhe, Oberteil mit kurzen oder langen Ärmeln) und Hautfarbe

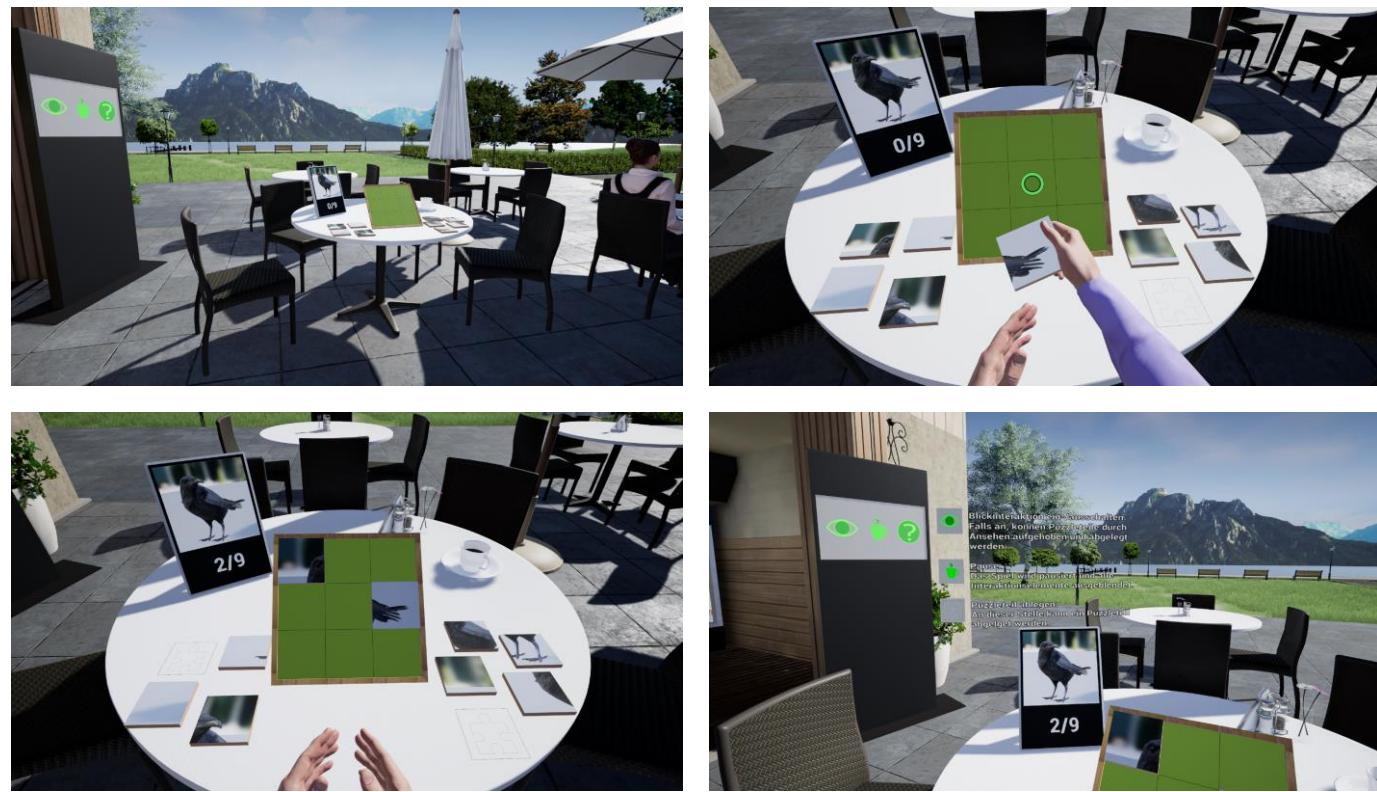
Für die speziellen Anforderungen im Rehality Projekt wurde eine neue Umgebung geschaffen, in welcher das VR-Setup durchgeführt wird. Hier wurden Setup Optionen speziell für die Einstellung und Kalibrierung des Avatars geschaffen.

Zusätzlich können dort Therapie spezifische Voreinstellung vorgenommen werden, z. B. für das vom IfG entwickelte PlantGame.



**Abbildung 3:** Umgebung für das VR Setup mit speziellen Anforderungen für die Rehality Anwendungen

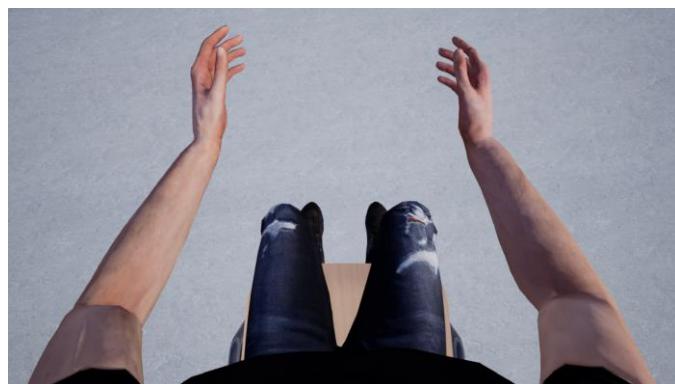
Um das Ausstrecken der Arme zu trainieren, wurde eine virtuelle Umgebung geschaffen, die die Möglichkeit bietet, ein Puzzle in einem Café am See zu lösen. Diese Übung ist dafür optimiert, Patientinnen und Patienten, deren Einschränkung es nicht ermöglicht, eine Bewegung zu starten, diese per Blick zu initiieren. Auf einem Tisch befinden sich ein Puzzlebrett und mehrere Puzzleteile. Um ein Puzzleteil aufzunehmen oder abzulegen, muss das Puzzleteil beziehungsweise der Ablageort kurz angeschaut werden. Die Anwendung wurde so ausgelegt, dass die Bewegungsinitiierung auch aus anderen Datenquellen erfolgen kann. So könnte die Initiierung zum Beispiel auch über Biosignale oder Controller Input erfolgen.



**Abbildung 4:** Umgebung mit Puzzle Anwendung, um das Ausstrecken der Arme zu trainieren

### 1.4.2 Avatar

VTplus hat eine individuell auf die Patientin oder der Patient anpassbare virtuelle Repräsentation des eigenen Körpers erstellt. Diese aus der Egoperspektive wahrgenommene virtuelle Repräsentation wird als Avatar bezeichnet.



**Abbildung 5:** Avatar - Aus der Egoperspektive wahrgenommene virtuelle Repräsentation des eigenen Körpers

Im Austausch mit den Projektpartnern wurden dazu Parameter bestimmt, über die der Avatar visuell an die Patientin oder den Patient angeglichen werden kann. So kann das Geschlecht, die Hautfarbe, die Größe der Hände und die Ärmellänge des Oberteils bestimmt werden. Zusätzlich können die Arme, Hände und Finger des Avatars mittels Sensoren gesteuerter inverser Kinematik bewegt werden. Darüber hinaus kann die Position der Arme, Hände und Finger auch von außen bewegt und in eine fixe Position gebracht werden und die Rotation der Handgelenke kann auf eine fixe Position gestellt werden. Analog zu der bekannten Spiegeltherapie kann auch die Bewegung der nicht eingeschränkten Körperseite auf die eingeschränkte Seite übertragen werden.

Zur Umsetzung hat VTplus das Skelett der bisher als Agenten verwendeten virtuellen Personen für eine realistische Verwendung als Avatar optimiert und für eine Auswahl die Optik für das neue Skelett angepasst. Um speziell die Wahrnehmung der Hände realitätsnah zu gestalten, wurden extra hochauflösende Modelle (Epic MetaHuman Framework) hinzugefügt und an die Rehality Anforderungen angepasst.

Die entwickelten Übungen zum Training der Hand- und Armbewegungen wurden mit einer „Therapeutischen Illusion“ für Arm-, Hand- und Fingerbewegungen ausgestattet. Damit ist es möglich, die häufig gehemmte Bewegungsinitiierung über Biosignale und die Erfassung der Augenbewegung zu ermitteln und virtuell darzustellen. Dazu wurden Schnittstellen zwischen Biosignalverarbeitung, Eyetracker und VR-System entwickelt, die einen schnellen Informationsaustausch ermöglichen.

Die in der Avatar Komponente integrierte Schnittstelle wurde auch um das Lab Streaming Layer (LSL) Protokoll erweitert. Dieses dient zur Kommunikation mit dem Biosignal Modul, welche die „Closed-Loop“ Rückkopplung ermöglicht.

## 1.5 Therapie Paradigmen Konzeption

**Ziel:** Ausarbeitung von Therapieparadigmen

**Ergebnisse:** VTplus hat seine Erfahrungen im Bereich der Therapieforschung in die Entwicklung von Therapieszenarien einschließlich der Konzeption von Interaktionsmöglichkeiten zur Erfüllung der identifizierten Anforderungen eingebracht. Dazu wurden einzelne Phasen des Sitzungsablaufs identifiziert, Therapieübungsabschnitte definiert und Beispiele für Rehabilitationsübungen entworfen. Während der Konzeption wurde der wissenschaftliche Stand berücksichtigt, dass durch Brain-Computer Interfaces (BCIs) gesteuerte Orthesen bereits erfolgreich zur Unterstützung der Rehabilitation von Schlaganfallpatientinnen und -patienten eingesetzt wurden (Ramos-Murguialday *et al.*, "Brain-machine interface in chronic stroke rehabilitation: a controlled study." *Annals of neurology* 74.1 (2013): 100-108). Diese Systeme basieren auf dem Prinzip, dass eine mittels BCI erfasste Bewegungsintention, die bei einer gelähmten Patientin oder einem Patienten nicht zwangsläufig in eine ausgeführte Bewegung münden muss, durch eine mit der Patientin oder dem Patienten verbundene Orthese ausgeführt wird. Diese Synchronisation von Bewegungsabsicht und Bewegungsausführung erhöht die kortikale Plastizität und unterstützt damit die Rehabilitation. Dabei wird die Bewegungsabsicht durch eine Desynchronisation der sensomotorischen Rhythmen über dem kontralässionalen Motorkortex detektiert. Es ist derzeit nicht bekannt, ob dieses Merkmal optimal ist, um die kortikale Plastizität zu erhöhen (Grosse-Wentrup, Moritz, Donatella Mattia, and Karim Oweiss, "Using brain-computer interfaces to induce neural plasticity and restore function." *Journal of Neural Engineering* 8.2 (2011): 025004).

Zusätzlich wurden die vom IfG erarbeiteten Gamification-Elemente in die Therapiekonzepte integriert. Für die Studie mit Patientinnen und Patienten wurde die notwendige experimentelle Kontrolle festgelegt und umgesetzt. Zur Steuerung der VR-Übungen und Kontrolle des Übungsverlaufs wurde ein grafisches Interface für Therapeutinnen und Therapeuten erarbeitet und mit Hilfe des regelbasierten VT+ExpoControl Moduls umgesetzt.

Die mit einer ersten Umsetzung des Demonstrators geplante interne Evaluation konnte nur mit einzelnen Modulen durch Nutzung von Teilkomponenten erfolgen. Der Demonstrator, der für die finale Evaluation verwendet wurde, konnte nur auf einem Laboraufbau-Niveau erstellt werden, da für die geplante vollständige Integration die Module der Biosignalverarbeitung bis zuletzt nicht zur Verfügung standen.

## 2 Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

- MA1: Mitarbeiter 1, Psychologe, Wiss. Projektleiter
- Expertise: Entwurf und Umsetzung verhaltenstherapeutischer Übungen in VR
- MA2: Mitarbeiter 2, „Mensch-Technik-Interaktion“  
Expertise: Konzeption von Anwendungsszenarien, Anwender und Versuchsleiter Dokumentation
- MA3 a/b/c: Mitarbeiter 3, Informatiker  
Expertise: Gestaltung virtueller Umgebungen, Multiplattform Entwicklung
- MA4: Mitarbeiter 4, Systemarchitekt, Teamleiter  
Expertise: Experimentalpsychologische Forschung, System-Architektur VR-Forschungssysteme

Demonstrator Teilsystem Stufen zur Testung und Gesamtsystem-Demonstrator

- VR-Demonstrator Fasttrack Aufbau 2019
- VR-Demonstrator Integration und Überarbeitung 2020
- VR-Demonstrator Überarbeitung 2022

### 3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

VTplus hat im Zuge des Teilprojektes digitale Therapieübungen entwickelt und wissenschaftlich evaluiert, die durch den Einsatz von softwarebasierten VR-Umgebungen und Gamification-Elementen Schlaganfallpatientinnen und -patienten eine schnellere und nachhaltigere Rehabilitation ihres Bewegungsapparates ermöglichen. Dazu wurden völlig neuartige Übungen entwickelt, bei denen die Messung von Biosignalen und Blickverhalten sowie die Integration moderner Technologien eine Individualisierung auf die betroffene Person ermöglicht. Die Umsetzung erfolgte im Verbund mit klinischen und wissenschaftlichen Partnern gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme "Medizintechnische Lösungen für digitale Gesundheitsversorgung".

Nach umfangreicher Nutzer- und Komponentenanalyse wurde durch VTplus ein VR-Demonstrator erarbeitet, welcher Patientinnen und Patienten nach einem Schlaganfall eine digitale Therapie unter Einsatz von softwarebasierten VR-Umgebungen und Gamification-Elementen ermöglicht. Therapeutische Übungen können eigenständig und unabhängig geübt werden, wodurch Patientinnen und Patienten selbstständig zum eigenen Heilungserfolg beitragen. Zusätzlich wird die Therapie durch ein „Closed-Loop“ Feedback mittels EEG und EMG genau auf die Bedürfnisse der einzelnen Person abgestimmt. Durch den Einsatz von hoch immersiven virtuellen Umgebungen können auch stark eingeschränkte Patientinnen und Patienten einen simulierten Bewegungserfolg wahrnehmen. Das entwickelte System wurde an den Bedürfnissen sowohl von Therapeuten als auch Patienten ausgerichtet.

Die Evaluierung erfolgte in der Universitätsklinik Tübingen und der Hochschule der Medien - Institut für Games, Stuttgart.

Wir erwarten durch die Integration von Gamification Elementen, Biosignalen und Blickverhalten in die ambulant einsetzbaren VR-Therapiesysteme von VTplus eine Erleichterung bei der Durchführung von Neurorehabilitations VR-Therapien und damit einen wesentlichen Beitrag zur digitalisierten Gesundheitsversorgung.

### 4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Als Projektergebnis wurde ein Laboraufbau des konzipierten VR-Therapiesystems umgesetzt und in einer Studie mit Patienten und Patientinnen evaluiert. Das System enthielt zwei Szenarien, die eine exemplarische Umsetzung der entworfenen VR-Übungen enthielten. Die beiden Szenarien hatten dabei unterschiedliche Aspekte im Fokus, mit der Möglichkeit diese in Zukunft um den jeweils anderen zu erweitern. Im ersten Szenario, dem so genannten „PlantGame“, wurde die „Closed-Loop“ Funktion, inklusive eines Neurofeedback und durch das IfG entwickelte Gamification Elemente kombiniert, um das Grundprinzip der Rehality Idee zu erproben. Das zweite Szenario („Puzzle Game“), in dem man ein Puzzle lösen kann, stand im Fokus, die Bewegung der virtuellen Arme durch externen Input zu initiieren. Zusätzlich wurde mit der Armstreckung eine weitere therapeutisch relevante Übung umgesetzt. In der abschließenden Studie konnte aus Zeitgründen nur das erste Szenario evaluiert werden.

Die Entwicklung der Elektronik zur Biosignalerfassung erfordert nach Projektende noch weitere Entwicklungsschritte, die eine Verwertung im VR-Therapiesystem ermöglichen. Hier ist die Verwendung eines im HMD integrierten EEG angedacht, welches in einem Parallelprojekt entwickelt wurde. Auch die Erfassung der Fingerposition, bzw. der Handöffnung muss noch optimiert werden. Die Erfassung durch die im Demonstrator verwendeten Geräte (Valve Index Controller) war zu ungenau und nicht zuverlässig genug.

## 5 Während der Durchführung des Vorhabens uns bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Zu einem auf den REHALITY-Ergebnissen aufbauenden, ambulant einsetzbaren Therapiesystem zur Durchführung von Neurorehabilitationsübungen zur Wiedererlangung von Lähmungen des Bewegungsapparates nach Schlaganfall mit Hilfe von biosignalgesteuerter virtueller Realität sind keine konkurrierenden Entwicklungen bekannt.

Die Wirksamkeit der Behandlungsmethode und die klinische Anwendbarkeit des Systemkonzepts müssen noch überprüft und evaluiert werden.

## 6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses, Wissenschaftliche Publikationen

Während der Laufzeit des Projekts wurden folgende wissenschaftliche Ergebnisse veröffentlicht:

[1] Raggam P, Zrenner C, McDermott EJ, Ziemann U, Grosse-Wentrup M. (2023). Predicting high-quality movements in post-stroke motor rehabilitation from EEG. 10th International BCI Meeting, 06-09 June 2023, Sonian Forest, Brussels, Belgium.

[2] McDermott EJ, Raggam P, Kirsch S, Belardinelli P, Ziemann U, and Zrenner C. (2021). Artifacts in EEG-based BCI therapies: friend or foe?. Sensors. 22(1), 96.

Darüber hinaus sind gemeinsame Publikationen innerhalb des Konsortiums geplant, welche die folgenden drei Aspekte abdecken:

- 1) Entwicklung eines VR-Therapiesystems unter Einbeziehung der Patientinnen und Patienten im Sinne eines "Patient Empowerments" zum Beispiel durch Interviews und Workshops - Ein Beispiel
- 2) Hirnzustandsabhängiges und VR-unterstütztes Neurofeedback zur Rehabilitation von Armparesen nach Schlaganfall - mit Fokus auf die EEG-Analyse
- 3) Hirnzustandsabhängiges und VR-unterstütztes Neurofeedback zur Rehabilitation von Armparesen nach Schlaganfall - mit klinischem Fokus auf die klinischen Analysen und Scores