

VR und das Gehirn: VR in Neurowissenschaft und Neurologie

Michael Gaebler

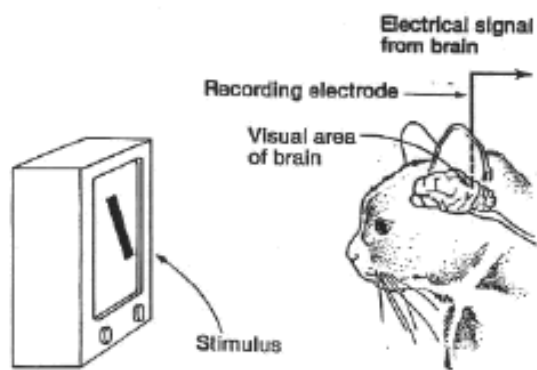
Warum man die Technologie der Virtuellen Realität (VR) in der neurowissenschaftlichen Forschung überhaupt nutzen wollen würde, ist eine grundlegende Frage, die aus unterschiedlichen Richtungen diskutiert wird. Eine erste Antwort von Stephan de la Rosa lautet, dass die Nutzung von VR es ermöglicht die **Versuchsleiter*innen und somit die Interaktionspartner*innen in einem Experiment zur sozialen Interaktion konstant zu halten, indem man sie computergeneriert und -kontrolliert. Für neurowissenschaftliche Forschung, die keine sozialen Interaktionen beinhaltet, bietet VR den Vorteil, die gesamte Testumgebung computergeneriert gestalten und kontrollieren zu können. Im Folgenden werde ich fremde und eigene Studien vorstellen, in denen VR mit neurophysiologischen Messme-**

thoden kombiniert wurde, bevor ich abschließend auf den Nutzen von VR in der Medizin eingehen möchte. |

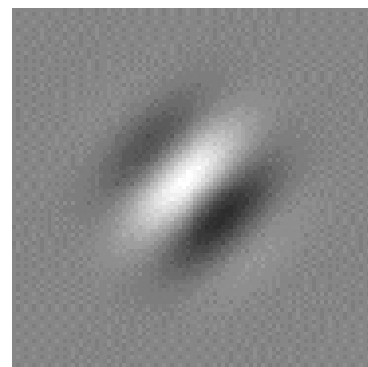
1 / Der Status Quo der Neuro- wissenschaft

David Hubel und Torsten Wiesel erhielten 1981 den Nobelpreis für ihre Entdeckungen zur Informationsverarbeitung im Sehwahrnehmungssystem. Dazu setzten sie in einer Studie aus dem Jahr 1959 Katzen Elektroden ins Gehirn ein und zeigten ihnen visuelle Reize. → 1 So fanden sie beispielsweise heraus, dass manche Nervenzellen zwar aktiv sind, wenn der Katze ein zu einem gewissen Grad geneigter schwarzer Balken gezeigt wird. Ist der Balken allerdings gerade (oder anders gewinkelt), so bleiben die Nervenzellen ‚still‘. Darauf folgten zahlreiche Experimente in der Neurowissenschaft des Sehens mit sogenannten Gabor Patches. → 2 Diese benutzen, ähnlich wie die Balken, eine gewisse Winkelung, um Gehirnprozesse bei der Verarbeitung visueller Reize zu erforschen.

Neben Wahrnehmungsprozessen bestimmen auch emotionale Phänomene unser Leben – und bieten ein neurowissenschaftliches Forschungsthema. Um herauszufinden, wie das Gehirn Emotionen verarbeitet, wurden u. a. Strichgesichter als Reize gezeigt, während die Hirnaktivität gemessen wurde. Diese konnten positiv, neutral



→ 1



→ 2

VR and the Brain: Virtual Reality in Neuroscience and Neurology

Michael Gaebler

Why one should use virtual reality (VR) technology in neuroscience at all is a pivotal question that has been discussed from a variety of angles. One initial answer, according to Stephan de la Rosa, would be that the use of VR enables experimenters and interaction partners to remain constant in experiments on social interaction, i.e. by digitally generating and controlling them. For neuroscientific research that doesn't involve social interaction, VR offers the ability to digitally design and control the entire testing environment. In the following, I'd like to present some studies of my own and by others in which VR has been combined with neuro-physiological measurement methods. After which, I'll finish off by discussing the usefulness of VR in medical applications. |

1 / The Status Quo in Neuroscience

In 1981 David Hubel and Torsten Wiesel were awarded the Nobel Prize for their discoveries about information processing in the visual system. → 1 For a study in 1959, they inserted electrodes into to several cats' brains and showed them visual stimuli. They thus discovered, for example, that certain nerve cells were active when they showed the cats a bar tilted to a certain angle. However, when the bar was straight or angled differently, these nerve cells remained "quiet." These experiments were followed by numerous others investigating the neuroscience of visual perception using so-called Gabor patches. → 2 Much like Hubel and Wiesel's bars, the patches use different angles to investigate the mental processes involved in processing visual stimuli.

In addition to perception, emotional phenomena determine our lives and thus offer another important avenue for neuroscientific research. In order to find out how the brain processes emotions, researchers have shown test subjects smileys, among other things, while measuring their brain activity. These smileys can have positive, neutral, or negative "moods," as indicated by



→ 3

→ 1 Versuchsaufbau klassischer Experimente der Neurowissenschaft des Sehens / experimental setup of classical experiments in visual neuroscience
→ 2 Gabor Patch als visueller Reiz / Gabor Patch as visual stimulus
→ 3 Emotionale „Ekman“ Gesichter / emotional "Ekman" faces

oder negativ ‚gestimmt‘ sein, was anhand der Münder und Augenbrauen angedeutet war. Daneben gibt es auch die „Ekman Faces“, Schwarzweißfotografien, die in den 1950er und 1960er Jahren aufgenommen wurden. → 3 Um das Spektrum experimenteller Reize zu erweitern, fing die Emotionsforschung in den 1980er und 1990er Jahren an, die, etwas polemisch gesagt, ‚neue Technik‘ der Farbfotografie zu nutzen. Das am häufigsten verwendete Stimulusset, das **International Affective Pictures System** (IAPS), beinhaltet beispielsweise verärgert dreinblickende Männer, deren Stimmung sich auf die Proband*innen übertragen soll. Problematisch ist an all diesen Reizen, dass sie die Realität unseres Alltags nur ungenügend wiedergeben. Diese ist z. B. von Dynamik, multisensorischen Reizen, Bewegungen und Geräuschen geprägt. So klafft eine Lücke zwischen der Forschung im Labor und dem ‚echten‘ Leben. VR bietet die Möglichkeit, diese Lücke zu schließen.

2 / Die Lücke zwischen Labor und Leben

Dazu ein kleiner (stark vereinfachender) Exkurs in die Wissenschaftstheorie: Zwei wichtige Gütekriterien von Forschungsergebnissen sind ihre interne und externe Validität. Ein Forschungsergebnis ist intern valide, wenn es durch ein vergleichbares Experiment, das z. B. in einem anderen Labor durchgeführt wird, bestätigt werden kann. Extern (bzw. „ökologisch“) valide sind Laborergebnisse, die auch im echten Leben eine Relevanz haben bzw. bestätigt werden können. Um die Lücke zwischen Labor und Leben zu schließen, gibt es u. a. zwei Ansätze: Entweder holt man das Leben ins Labor oder man integriert das Labor ins Leben. Vorab: Die Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglicht es, dem lebenden Gehirn bei der Arbeit zuzusehen. Üblicherweise werden Studienteilnehmer*innen Bilder gezeigt (z. B. emotionale Gesichter, s.o.), während sie ruhig in der MRT-„Röhre“ liegen, wo ihre Hirnaktivität aufgezeichnet wird. Einige Forscher*innengruppen waren nun etwas kreativer, um Emotionen alltagsnäher auszulösen. So wurden für eine Studie aus dem Jahr 2010¹ Proband*innen ins MRT eingeladen, die Angst vor Schlangen hatten. Mit einem Schieberegler konnten sie eine lebende Schlange, die ebenfalls in der MRT-„Röhre“ saß, zu ihrem Kopf hin oder von ihrem Kopf weg bewegen. In einer Kontrollbedingung wurde die Schlange durch einen Spielzeuggären ersetzt.

Im Vergleich der Hirnaktivität während den Bedingungen „Schlange“ und „Teddybär“ konnten Hirnregionen identifiziert werden, die beim Erleben von Angst oder Mut stärker oder schwächer aktiv waren.

So kann das echte Leben ins Labor geholt werden. Aber auch für die Gegenrichtung, also die Integration des Labors in die Welt, gibt es Beispiele: Für eine ebenfalls 2010 durchgeführte Studie² wurden den Proband*innen zuerst im Labor die klassischen emotionalen Gesichter gezeigt, während ihre Herzaktivität gemessen wurde. Das Experiment wurde ein paar Tage später fortgeführt, indem die Proband*innen in ein Flugzeug stiegen, von welchem aus sie anschließend einen Tandem-Fallschirmsprung absolvierten. Auch dabei wurde ihre Herzaktivität gemessen. Zumindest für manche Maße der Herzaktivität konnte eine Korrelation zwischen der Emotionsinduktion im Labor und in der echten Welt gezeigt werden. Ein anderes Beispiel ist die Studie von Konvalinka et al.³, die ein jährlich stattfindendes Dorffest in Spanien besuchten, bei dem Männer andere Männer auf dem Rücken tragen, während sie barfuß über brennende Kohlen liefen. Es wurden 12 „Feuerläufer“ und 26 Zuschauer*innen mit Herzfrequenzmessern ausgestattet, darunter 9 Freunde oder Verwandte der „Feuerläufer“. Die Forscher*innen fanden, dass sich die Herzfrequenz der Feuerläufer mit der ihrer Verwandten oder Freund*innen synchronisierte, nicht aber mit der Herzfrequenz von Zuschauer*innen ohne persönlichen Bezug.

Auch bei Versuchsdesigns, die man öfter als einmal im Jahr wiederholen kann, ist die Erhebung komplexerer physiologischer Maße in der echten Welt schwierig – wenn man beispielsweise an MRT-Messungen denkt, die (zumindest momentan) einen tonnenschweren Apparat benötigen, um ein Magnetfeld zu erstellen, das 30.000 Mal stärker als das Erdmagnetfeld ist.

3 / VR als Brücke zwischen Labor und Leben

Eine mögliche Lösung bietet die VR, mit der es möglich ist, eine komplexe, naturalistische Umgebung computer-generiert ins Labor zu holen. Die zentralen Bauteile der VR-Technologie sind in fast jedem Smartphone verbaut (ein hochauflösendes Display und Beschleunigungssensoren), so dass VR-Brillen eigentlich nichts anderes sind als horizontal vor den Kopf geschnallte Smartphones. VR ist also die Anzeige von 360°-Inhalten, die an die Kopfbewegungen

their mouths and eyebrows. In addition to these, there are also the Ekman faces: black-and-white photographs which were taken during the 1950s and 60s. → 3 In order to expand the spectrum of experimental stimuli, emotion research began using the, somewhat polemically formulated, “new technology” of color photography in the 1980s and 90s. The most commonly used stimulus set, the **International Affective Pictures System** (IAPS), contains for example the faces of angry, scowling men who supposedly transferred their mood to the test subjects. What remains problematic with all these stimuli, however, is that they are insufficient to reproduce the reality of our everyday lives. These are influenced by dynamics, multi-sensory stimuli, movements, and noises, among other things. A gap thus emerges between laboratory research and “real” life. And VR offers the possibility of bridging this gap.

2 / The Gap between Lab and Life

Before we continue, I’d like to make a brief (and heavily simplified) excursus into the philosophy of science: two main criteria for the quality of research results are their internal and external validity. A research result is internally valid when it can be confirmed by conducting a similar experiment in a different laboratory, for example. Lab results are externally (or “ecologically”) valid when they have relevance in real life and can be confirmed within it. There are more or less two approaches to bridging this gap between the lab and real life: either you try to bring life into the laboratory or you integrate the laboratory into life. Magnetic resonance imaging (MRI), for example, lets us observe the living brain at work. Usually, test subjects are shown images (e.g., emotional faces as above) while they are calmly lying in an MRI “tube” that records their brain activity. Some research groups have developed more creative methods to trigger emotions in a more “realistic” way. In a 2010 study,¹ researchers invited test subjects with a fear of snakes into an MRI. Using a slider, they could move a live snake that was likewise sitting in the MRI “tube” nearer to or further from their heads. In the control group, the snake was replaced with a teddy bear. By comparing brain activity in relation to the variables “snake” and “teddy bear,” they were able to identify brain

regions that became more or less active while experiencing fear or courage.

This is one way of bringing real life into the lab. But there are also examples for the opposite approach of integrating the laboratory into the real world: in another study likewise conducted in 2010,² participants were first shown the classical emotional faces in a laboratory where their heart activity was measured. The experiment was then continued a few days later when participants got on a plane which they then did tandem parachute jumps from. Their heart activity here was likewise measured. At least to some extent, a correlation in heart activity was shown between the emotion induction cases in the lab and those in the real world. Another example comes from a study by Konvalinka et al.,³ in which they visited an annual village festival in Spain, where men carry other men on their backs as they walk barefoot over burning coals. 12 “fire walkers” and 26 viewers were equipped with heart rate monitors, while 9 of the viewers were friends or relatives of the “fire walkers.” The researchers found that the heart rates of the “fire walkers” synchronized with those of their friends or relatives, but not with those of viewers with no personal connection.

Even with experiment designs that one can repeat more often than once a year, the collection of complex physiological measurements is difficult in the real world—especially when one thinks of MRI measurements that currently need a device weighing several tons in order to induce magnetic fields 30,000 times stronger than that of the earth.

3 / VR as a Bridge between Lab and Life

VR offers one possible solution by enabling us to bring complex, naturalistic, computer-generated environments into the laboratory. The central components of VR technology are integrated into almost every smart phone—a high resolution display and an accelerometer—so you could say that VR glasses are pretty much just smartphones mounted horizontally onto the head. VR is the 360° display of content synchronized with the move-

angepasst wird. Diese kann mit Messmethoden der Hirnaktivierung kombiniert werden, die mobiler sind als die MRT-Röhre. Zwei davon sind die Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS) und die Elektroenzephalografie (EEG). Bei der ersten wird der Blutfluss im Gehirn gemessen, während bei der zweiten die elektrische Signalweiterleitung des Gehirns an der Schädeldecke abgeleitet wird. Bei beiden Methoden—die auch kombiniert werden können—werden die Sensoren mit einer Art Schwimmhaube am Kopf fixiert, so dass Kopfbewegungen möglich werden, d.h. das Hirnsignal nicht allzu sehr verrauschen. → 4

Ein klassisches Emotionsexperiment verläuft typischerweise so: Den Proband*innen werden für je 20 Sekunden verschiedene emotionale Gesichter gezeigt und sie sollen für jedes Bild auf einer Skala von 1 („gar nicht“) bis 9 („sehr stark“) angeben, wie stark sie die Betrachtung emotional erregt hat. Zunächst handelt es sich um Strichmännchen-Gesichter, später werden die oben erwähnten IAPS-Bilder gezeigt. Erfahrungsgemäß werden die Proband*innen sehr schnell sehr wenig emotionale Erregung verspüren. Es ist dadurch auch wenig aussagekräftig, zeitgleich neurophysiologische Messungen vorzunehmen. VR bietet nun hingegen die Möglichkeit, komplex und lebensnah Emotionen zu erzeugen und dabei die Testumgebung dennoch komplett zu kontrollieren. In einer Untersuchung am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig⁴ wurden beispielsweise bei Proband*innen Emotionen ausgelöst, indem diese 5 Minuten im „Room 101“⁵ verbrachten: Die Versuchsteilnehmer*innen bewegten sich in einem echten Kellerraum, während sie einen gleich großen virtuellen Kellerraum über die VR-Brille präsentiert bekamen, in dem sie virtuelle Fläschchen einsammeln mussten. Dabei wurde die Schweißabsonderung der Haut durch eine Elektrode an der Handfläche gemessen. Nachdem sie alle Fläschchen eingesammelt hatten, bewerteten sie an einem Computerbildschirm, der eine Aufnahme des davor Erlebten zeigte, wie emotional erregt sie zu jedem Zeitpunkt gewesen waren. Das Besondere war nun, dass in dem (anfänglich langweiligen) Kellerraum zwischendurch Schüsse und Alarmsirenen zu hören

waren, Blutspritzer und Spinnen auftauchten oder zeitweise sogar der Boden weg- und Feuer ausbrach. Man kann sich vorstellen, dass diese Situation sehr viel aufregender war als die Betrachtung eines Strichgesichts. (Es muss erwähnt werden, dass die Proband*innen—wie üblich—zu jeder Zeit das Experiment abbrechen konnten.) Der gefundene Zusammenhang zwischen dem Schwitzen der Hände und der (später) berichteten emotionalen Erregung—also zwischen biologischen und subjektiven Erregungsmaßen—ließ die Forscher*innen schlussfolgern, dass physiologische Signale im Moment der Gedächtnisbildung mit gespeichert werden.

In einer aktuellen Studie aus den Jahren 2017 und 2018 haben wir, zusammen mit Simon Hofmann, Felix Klotzsche und Alberto Mariola ein ähnliches Experiment durchgeführt⁶, bei dem der Fokus nicht auf den schwitzenden Händen, sondern auf dem Gehirn lag. Dabei durchliefen die Proband*innen zwei virtuelle Achterbahnen, während ihre Gehirnaktivität mittels EEG aufgezeichnet wurde. Wie bei McCall et al. sahen sie sich später ein Video ihrer Erfahrung an und bewerteten dabei kontinuierlich, wie emotional erregt sie zu jedem Zeitpunkt gewesen waren. Ziel der Untersuchung war es, intraindividuelle Varianz im Emotionserleben zu erzeugen. Wie erwartet, fanden wir einen (inversen) Zusammenhang zwischen der emotionalen Erregung und Oszillationen der Gehirnaktivierung im Alpha-Frequenzband (zwischen acht und zwölf Hertz). Dies ist einer der ältesten beschriebenen Hirnrhythmen und wurde generell mit Entspannung—also dem Gegenteil von emotionaler Erregung—in Verbindung gebracht. Mit komplexeren mathematischen Methoden gelang es, allein aus dem Hirnsignal den selbstberichteten emotionalen Erregungsgrad zu erschließen: So konnten aus der Stärke des Signals im Alpha-Frequenzband mehr und weniger aufregende Momente richtig zugeordnet und mit einem künstlichen neuronalen Netz auch die genauen Bewertungen überzufällig vorhergesagt werden.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die VR-Technologie für die empirischen (Neuro-)Wissen-

ment of the head. This can be combined with methods for measuring brain activity that are more mobile than the MRI-tube. Two of these methods are near-infrared spectroscopy (NIRS) and electroencephalography (EEG). The first measures the flow of blood in the brain, while the second infers the transmission of electric signals in the brain from the surface of the skull. In both methods—which can also be combined—the sensors are attached to the head using a sort of swimming cap so that head movements are possible, i.e. without introducing too much noise into the brain signals. → 4

A classic emotion experiment would typically be conducted as follows: participants are shown different emotional faces for 20 seconds each, and for each image they should report their emotional response on a scale from 1 (“none at all”) to 9 (“very strong”). Early on smiley faces were used, and then eventually the IAPS images mentioned previously. Here, however, experience has shown that the participants only experience a quick succession of relatively weak emotional responses. Thus conducting neurophysiological measurements during this kind of experiment would hardly produce anything significant. VR, by contrast, offers the possibility of creating complex and true-to-life emotions while simultaneously exerting complete control over the test environment. In a study by the Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences in Leipzig,⁴ for example, emotions were induced in participants by having them spend 5 minutes in “Room 101.”⁵ The participants moved around a real basement while being shown a virtual basement of the same size via VR glasses, in which they had to collect virtual bottles. During this activity, the participants’ skin perspiration was measured by electrodes on their hands. After they collected all the bottles, they then watched a recording of the process on a computer monitor and reported how emotionally excited they were at each point in time. What was special here was that in the (initially boring) basement, occasional shots and alarm sirens were heard, splashes of blood and spiders popped up, and on occasion the ground even collapsed and broke out

in flames. One can easily imagine that these situations were much more emotionally arousing than looking at smileys. It should be mentioned here that—as usual—participants were allowed to stop the experiment at any time. The relationships revealed between sweat on the hands and the levels of emotional excitement reported later on—i.e. between biological and subjective indicators of excitement—allowed the researchers to infer that physiological signals are also stored at the moment of memory formation.

In a recent study from 2017 and 2018, Simon Hofmann, Felix Klotzsche, Alberto Mariola, and myself conducted a similar experiment,⁶ which focused not on sweaty hands but on the brain. Here, participants went through two virtual roller coasters while their brain activity was recorded via EEG. Much like the experiment by McCall et al., they then watched a video recording of their experiences and continuously evaluated how emotionally excited they were at each point in time. The goal of this study was to produce intra-individual variability in emotional experience. As expected, we found an (inverse) correlation between emotional arousal and oscillations in brain activity in the alpha frequency band (between eight and twelve hertz). This is one of the longest documented brain rhythms and is generally associated with relaxation—i.e. the opposite of emotional arousal. Using complex mathematical methods, it was possible to infer the self-reported degree of emotional arousal based only on the brain signals: thus more or less exciting moments could be correctly identified based on the intensity of signals in the alpha frequency band, and these evaluations could be predicted with a more than coincidental degree of accuracy using artificial neural networks.

To sum up, one can say that VR technology offers many benefits for empirical (neuro)science, or at least is very promising in the following ways:

- 1 The technology is relatively simple and cheaply available.
- 2 It enables more naturalistic simulations under complete experimental control.



→ 4 Mobile Methoden zur Messung der Hirnaktivierung / Mobile methods to measure brain activation

→ 4

schaften mehrere Vorteile bietet oder zumindest Versprechungen macht:

- 1 Sie ist technisch unaufwändig und relativ günstig verfügbar,
- 2 sie erlaubt eine naturalistischere Stimulation bei voller experimenteller Kontrolle,
- 3 sie erhöht dadurch möglicherweise die externe/ökologische Validität (auch: Alltagsrelevanz) der Forschungsergebnisse und
- 4 sie ermöglicht eine gleichzeitige Messung neurophysiologischer Signale durch die Kombination mit tragbaren Bildgebungsverfahren wie EEG und NIRS.

4 / VR in der Klinik

Ähnliche Vorteile und Versprechungen wie für die Nutzung von VR in den Neurowissenschaften gelten im klinischen Bereich. Das bereits angesprochene Prinzip der externen Validität ist eng verwandt mit dem als „Translation“ bezeichneten Prinzip der klinischen Forschung, also der Maxime, Forschungsergebnisse ‚von der Laborbank zum Krankenbett‘ zu ‚übersetzen‘. In anderen Worten, dass das, was klinische Forscher*innen im Labor herausfinden, den Patient*innen tatsächlich bei der Genesung oder Krankheitsvermeidung hilft. Die klassischen Ansätze dazu können mittels VR erweitert werden: Neben dem Petrischalenmodell – „in vitro“ – und dem lebenden Modell – „in vivo“ – gibt es im Zeitalter der Digitalisierung das computersimulierte Modell – „in silico“ – und das virtuelle (Realitäts-)Modell – „in virtuo“⁷. Kurz gesagt, verspricht die neue Technologie, Krankheiten mittels VR (besser) erforschen, diagnostizieren und therapieren zu können.

Ein klassisches Beispiel, wie VR in klinischen Umgebungen genutzt werden kann, ist die Expositionstherapie in der psychiatrischen oder psychologischen Verhaltenstherapie.⁸ Dabei werden z. B. Patient*innen mit Angststörungen in einer sicheren Umgebung stufenweise mit Angstreizen (z. B. Höhen, Spinnen, soziale Inter-

aktionen) konfrontiert. VR bietet eine ideale sichere Umgebung, in der naturalistische Reize präsentiert werden können. Im „Bravemind“-Projekt an der Universität von Southern California in Los Angeles werden bspw. aus dem Irak-Krieg zurückgekehrte Soldaten, die unter post-traumatischer Belastungsstörung leiden, in einem „virtuellen Irak“ mit Flashbacks auslösenden Situationen konfrontiert – mit dem sicheren „Fallnetz“, die Brille einfach abnehmen zu können. Ein Beispiel, das letztes Jahr sehr bekannt wurde⁹, war die Expositionstherapie bei sozialer Angststörung, also bei der pathologischen Furcht davor, mit anderen Menschen zu interagieren. In der Studie gab es drei Versuchsgruppen: eine Gruppe, die keine Therapie bekam, eine Gruppe, die mit sozialen Interaktionen in der echten Welt konfrontiert wurde, und eine Gruppe, die mit sozialen Interaktionen in der virtuellen Welt konfrontiert wurde. Die VR-basierte Expositionstherapie war nicht nur signifikant besser darin, die Symptome der sozialen Angst zu verringern, sondern auch viel praktischer für die Therapeut*innen.

Nicht nur in der Psychiatrie, sondern auch in der Neurologie kann VR hilfreich sein, z. B. bei Phantomschmerzen, also dem Phänomen, dass eine Person beispielsweise mit amputiertem Arm darunter leidet, Schmerzen in dem Teil des Arms zu spüren, der nicht mehr vorhanden ist. Eine Therapiemöglichkeit ist die Spiegeltherapie. → 5 Bei dieser wird ein Spiegel im rechten Winkel vor die Mitte des Körpers gestellt, sodass der/die Patient*in durch das Spiegelbild sein/ihr eigentlich fehlendes Körperteil wieder sieht. Durch wiederholtes Trainieren der Bewegungen kann man so den Phantomschmerz verringern. In einer aktuellen Studie¹⁰ wurde der fehlende Arm mithilfe von „Augmented Reality“ virtuell animiert, indem Muskelsignale am Armstumpf gemessen und zur Bewegung des virtuellen Arms genutzt wurden. Mit diesem simulierten, künstlichen Arm, der vom Gehirn angesteuert wurde, konnten Phantomschmerzen nachhaltig verringert werden. Mit einem ähnlichen Aufbau werden auch Gliedmaßen behandelt, die nach Schlaganfall oder anderen erworbenen Hirnerkrankungen gelähmt sind.

- 3 It subsequently offers the possibility for increasing the external or ecological validity (in other words, everyday relevance) for research results. And
- 4 it enables simultaneous measurements of neurophysiological signals when combined with wearable imaging technologies like EEG and NIRS.

4 / VR in the Clinic

The benefits and promises of VR in neuroscience also apply to the clinical field. The previously mentioned principle of external validity is closely related to the principle known as “translation” in clinical research, i.e. the maxim of “translating” research results “from bench to bedside.” In other words, it is about using what clinical researchers discover in the lab to actually help patients recover from or altogether avoid illnesses. The classical approaches in this area can be expanded through the use of VR technology: alongside the petri dish model (“in vitro”) and the living model (“in vivo”), the era of digitalization also gives us the computer simulated model (“in silico”) and the virtual model (“in virtuo”).⁷ To put it briefly, these new technologies promise improved ways of researching, diagnosing, and treating illnesses through the use of VR.

A classic example of how VR can be used in clinical environments comes from exposure therapy in psychiatric or psychological behavior therapy.⁸ Here, patients with anxiety disorders are incrementally exposed to various fear inducing stimuli (e.g., heights, spiders, social interactions) in a safe environment. VR offers an ideal safe environment for presenting naturalistic stimuli. In the “Bravemind” project at the University of Southern California in Los Angeles, soldiers returning from the Iraq war

who suffer from post-traumatic stress disorder are confronted with situations designed to trigger flashbacks in a “virtual Iraq” – with the safety net of simply being able to take off the VR glasses. Another example that became very popular last year comes from exposure therapy designed to treat social anxiety disorder,⁹ i.e. the pathological fear of interacting with other humans. In the study, there were three test groups: one group that received no therapy, one group that was confronted with social interactions in the real world, and one group that was confronted with social interactions in the virtual world. The VR-based therapy was not only significantly better at reducing the symptoms of social anxiety, but was also much more practical for therapists.

VR proves to be helpful not only in the field of psychiatry, but also neurology, for example in the case of phantom pain, the phenomenon whereby people who have had their arms amputated, for example, still feel pain in the arm that is no longer there. One possible treatment is mirror therapy. → 5 Here, an upright mirror is placed in front of the middle of the body, perpendicular to it, so that the patient can see their limb that is actually missing in the mirror again. By repeatedly training movements in this way, phantom pain can be reduced. In a recent study,¹⁰ the missing arm was virtually animated using “augmented reality,” whereby muscle signals at the arm stump were measured and used to move the virtual arm. With this simulated artificial arm that was controlled by the brain, phantom pain could be sustainably reduced. Similar setups have also been used to treat limbs that have been paralyzed by strokes or other acquired brain illnesses.

Motor impairments are comparatively easy to diagnose – e.g., through observation. It is more difficult, however, to diagnose cognitive impairments which make it difficult to function in everyday life (although the motor abilities often may have been recovered). In various forms of dementia, such as Alzheimer’s disease, the main symptoms primarily consist of cognitive impairments, for example memory disorders.



→ 5 Aufbau zur Spiegeltherapie / Setup for mirror therapy

→ 5

Motorische Einschränkungen sind vergleichsweise einfach zu diagnostizieren—z.B. durch Beobachtung. Komplizierter ist das bei kognitiven Einschränkungen, die zu Schwierigkeiten führen, im Alltag zurechtzukommen (obwohl die motorischen Fähigkeiten oft wieder genesen sind). Auch bei verschiedenen Demenzerkrankungen, wie der Alzheimer-Krankheit, bestehen die Hauptsymptome vornehmlich aus kognitiven Einschränkungen wie z. B. Gedächtnisstörungen.

5 / Das „VRReha“-Projekt

Im Projekt „VRReha“¹¹ entwickeln wir am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig—zusammen mit klinischen und technischen Partnern—VR-basierte Tests, die eine feinere Diagnostik und—durch wiederholtes Trainieren—eine Verbesserung kognitiver Einschränkungen ermöglichen sollen. Letzteres ist vielversprechend, wenn man sich eine aktuelle Metaanalyse¹² ansieht, bei der erforscht wurde, ob computerisiertes Kognitionstraining bei Demenzerkrankungen helfen kann. In dieser statistischen Auswertung der Effekte von elf mit unterschiedlichen Methoden arbeitenden Studien fand sich ein signifikanter Therapieerfolg kognitiver Einschränkungen bei Patient*innen mit Demenz. Dabei waren die beiden Studien, die VR verwendeten, am effektivsten—auch wenn es sich um bildschirmbasierte VR handelte. Wir vermuten, dass kognitive Tests und Trainings unter Nutzung der neuen Generation der VR-Technologie (d.h. VR-Brillen) mindestens ebenso effektiv sind. Das Projekt

hat gerade erst (2018) begonnen und wird in den folgenden zwei Jahren VR-basierte Aufgaben entwickeln und an Gesunden sowie an Patient*innen deren Anwendbarkeit überprüfen. Damit sollen die Messung und das Training kognitiver Fähigkeiten bei Gesunden sowie die Diagnose und Therapie kognitiver Einschränkungen bei Patient*innen mithilfe der VR-Technologie verbessert werden.

Ich möchte zusammenfassend darstellen, was die Vorteile und Versprechungen der VR-Technologie für die Neurowissenschaft und Medizin sind:

- ⇒ Durch eine höhere externe Validität (d.h. Alltagsrelevanz) können mittels VR die kognitiv-psychologische und die neurowissenschaftliche Forschung verbessert werden. VR erlaubt eine naturalistischere Stimulation, bei der durch die Kombination von VR mit tragbaren Bildgebungsverfahren auch die Hirnaktivität gemessen werden kann.
- ⇒ VR kann die psychiatrische und neurologische Diagnose und Therapie verbessern. Beispiele hierfür sind die Expositionstherapie, die Spiegeltherapie und das kognitive Training bei Demenzerkrankungen.

following two years it will develop VR-based tasks as well as test their applicability on both healthy subjects and patients. It thus aims to use VR technology to improve both the measurement and training of cognitive abilities for healthy subjects as well as the diagnosis and treatment of cognitive impairments for patients.

I would thus like to summarize what the benefits and promises of VR technology are for neuroscience and medicine:

- ⇒ The external validity (i.e. everyday relevance) of both cognitive-psychological and neuroscientific research can be increased through the use of VR. It enables more naturalistic simulations in which brain activity can be measured through the use of wearable imaging technologies.
- ⇒ VR can improve psychiatric and neurological diagnoses and therapies. Examples of this can be found in exposure therapy, mirror therapy, and cognitive training for people with dementia.

5 / The “VRReha” Project

In the “VRReha” project,¹¹ our team at the Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences in Leipzig is collaborating with various clinical and technological partners to develop VR-based tests that enable more detailed diagnoses and—through repeated training—improvements in cognitive impairments. The latter is very promising if one considers a recent meta-analysis¹² that investigated whether computerized cognitive training can help in treating dementia. The statistical evaluation of the effects of eleven different studies each working with different methods identified significant therapeutic success in treating cognitive impairments in patients with dementia. Among these, the two studies that used VR technology were the most effective—even though they were using screen-based VR. We suspect that cognitive testing and training using the most recent generation of VR technology (i.e. VR glasses) will be at least equally as effective. The project has just begun (2018), and in the

1 URI NILI / HAGAR GOLDBERG / ABRAHAM WEIZMAN / YADIN DUDAI: Fear Thou Not: Activity of Frontal and Temporal Circuits in Moments of Real-Life Courage. In: *Neuron* 66,2 (2010), S. / pp. 949–962. Ein Video dieser Untersuchung findet sich hier/ One can find a video of this experiment here: www.cell.com/cms/10.1016/j.neuron.2010.06.009/attachment/7BB9A720-1978-4E4D-A986-3B40650E2A2E/mmc2.mp4 (Zugriff am / accessed on: 14.09.2018).

2 GÜLCE N. DIKECLIGIL / LILIANNE R. MUJICA-PARODI: Ambulatory and challenge-associated heart rate variability measures predict cardiac responses to real-world acute emotional stress. In: *BIOLOGICAL PSYCHIATRY* 67,12 (2010), S. / pp. 1185–1190.

3 IVANA KONVALINKA / DIMITRIS XYGALATAS / JOSEPH BULBULIA / UFFE SCHJØDT / ELSE-MARIE JEGINDØ / SEBASTIAN WALLÖT / GUY VAN ORDEN / ANDREAS ROEPSTORFF: Synchronized arousal between performers and related spectators in a fire-walking ritual. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108,20 (2011), S. / pp. 8514–8519.

4 CADE MCCALL / LEA K. HILDEBRANDT / BORIS BORNEMANN / TANIA SINGER: Physiophenomenology in retrospect: Memory reliably reflects physiological arousal during a prior threatening experience. In: *Consciousness and Cognition* 38 (2015), S. / pp. 60–70.

5 Benannt nach der Folterkammer in GEORGE ORWELLS Roman 1984/named after the torture chamber in GEORGE ORWELL'S novel 1984.

6 Z. B. /see for example FELIX KLOTZSCHE / ALBERTO MARIOLA / SIMON HOFMANN / VADIM V. NIKULIN / ARNO VILLRINGER / MICHAEL GAEBLER: Using EEG to decode subjective levels of emotional arousal during an immersive VR roller coaster ride. Beitrag auf der 25. IEEE Konferenz für Virtuelle Realität und 3D Nutzerschnittstellen (IEEE VR) (März 2018, Reutlingen) / contribution to the 25th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR) (March 2018, Reutlingen) www.ieeevr.org/2018/program/posters.html (Zugriff am / accessed on: 26.09.2018).

7 JACQUES TISSEAU: *In vivo, in vitro, in silico, in virtuo*. Beitrag auf dem 1. Workshop von / contribution to the 1st Workshop on “SMA in Biology at meso or macroscopic scales” (Juli / July 2008, Paris). www.indico.in2p3.fr/event/912/contributions/48539/attachments/39128/48347/invirtuo.pdf (Zugriff am / accessed on: 26.09.2018).

8 YOUSSEF SHIBAN setzt sich in seinem Beitrag mit dem Einsatz virtueller Expositionstherapien zur Behandlung von Angststörungen auseinander / In his contribution, Youssef Shiban discusses the uses of virtual exposure therapy in treating anxiety disorders.

9 STÉPHANE BOUCHARD / STÉPHANIE DUMOULIN / GENEVIÈVE ROBILLARD / TANYA GUITARD / ÉVELYNE KLINGER / HÉLÈNE FORGET / CLAUDIE LORANGER / FRANÇOIS XAVIER ROUCAUT: Virtual reality compared with in vivo exposure in the treatment of social anxiety disorder: a three-arm randomised controlled trial. In: *The British Journal of Psychiatry* 210 (2016), S. / pp. 276–283.

10 MAX ORTIZ-CATALAN / RANNVEIG A. GUÐMUNDSDÓTTIR / MORTEN B. KRISTOFFERSEN / ALEJANDRA ZEPEDA-ECHAVARRIA / KERSTIN CAINE-WINTERBERGER / KATARZYNA KULBACKA-ORTIZ / CATHRINE WIDEHAMMAR / KARIN ERIKSSON / ANITA STOCKSELIUS / CHRISTINA RAGNÓ / ZDENKA PIHLAR / HELENA BURGER / LISELOTTE HERMANSSON: Phantom motor execution facilitated by machine learning and augmented reality as treatment for Phantom Limb Pain. In: *The Lancet* 388,10062 (2016): S. / pp. 2885–2894.

11 Vgl. / see www.vreha-project.com (Zugriff am / accessed on 26.09.2018).

12 NICOLE T.M. HILL / LOREN MOWSZOWSKI / SHARON L. NAISMITH / VERITY L. CHADWICK / MICHAEL VALENZUELA / AMIT LAMPIT: Computerized cognitive training in older adults with mild cognitive impairment or dementia: A systematic review and meta-analysis. In: *American Journal of Psychiatry* 174,4 (2017), S. / pp. 329–340.