

# Neuro-Vision-Training (NVT)

Ein hybrides KI-basiertes Trainingsprogramm für Klinik, Ambulanz, Praxis und zu Hause

Julian Poschenrieder<sup>1,2</sup>  und Georg Kerkhoff<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> NVISIONIC UG (haftungsbeschränkt), München, Deutschland

<sup>2</sup> Data Science in Systems Biology, TUM School of Life Sciences, Technische Universität München, Freising, Deutschland

<sup>3</sup> Klinische Neuropsychologie & Neuropsychologische Universitätsambulanz, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, Deutschland

**Zusammenfassung:** Neurovisuelle Funktionen sind bei 50 % aller hirngeschädigten Patient\_innen beeinträchtigt, und für die Rehabilitation und Integration der Betroffenen in Alltag und Beruf entscheidend. Hier stellen wir mit dem Neuro-Vision-Training (NVT) die Hauptfunktionen eines neuen, KI-basierten Software-Programms zur visuellen Rehabilitation vor. Es ermöglicht Diagnostik und Training folgender neurovisueller Funktionen: schnelle Blickbewegungen (Sakkaden), langsame Augenfolgebewegungen, Sensitivität im Gesichtsfeld (Kontrast, Farbe, Bewegung), visuelle Exploration, Lesen, visuelles Multitasking und Arbeitsgedächtnis. Das NVT kann sowohl von Behandler\_innen in einer Klinik, Ambulanz oder Praxis, als auch simultan im Heimtraining genutzt werden. Dieses hybride, neurovisuelle Training ermöglicht eine höhere Trainingsintensität. Gleichzeitig kann so dem Fachkräftemangel, vor allem auch in ländlichen Regionen begegnet werden. Zahlreiche praktische Anwendungsbeispiele demonstrieren den Nutzen des Programms in der neurovisuellen Rehabilitation.

**Schlüsselwörter:** Augenbewegungen, Hemianopsie, Neglect, Dyslexie, visuelle Rehabilitation

## Neuro Vision Training (NVT): An AI-Based Visual Therapy Program for Home, Practice, Outpatient Clinic, and Hospital

**Abstract:** 50 % of brain-damaged patients present with impaired neurovisual functions. This article presents Neuro Vision Training (NVT), the main functions of a new, AI-based software. These enable the diagnosis and therapy of neurovisual functions utilizing rapid eye movements (REM, saccades), slow eye movements, sensitivity in the visual field (contrast, color, movement), visual exploration, reading, visual multitasking, and working memory. NVT can be used by therapists in a clinic or therapy office as well as by patients at home. It enables hybrid therapy (practice and home) of neurovisual disorders and achieves a higher therapy intensity. At the same time, it mitigates the shortage of specialists, especially in rural areas. Numerous application examples demonstrate the benefits of the program in neurovisual rehabilitation.

**Keywords:** eye movements, hemianopia, neglect, dyslexia, vision rehabilitation

## Neurovisuelle Störungen: häufig, aber häufig unbehandelt!

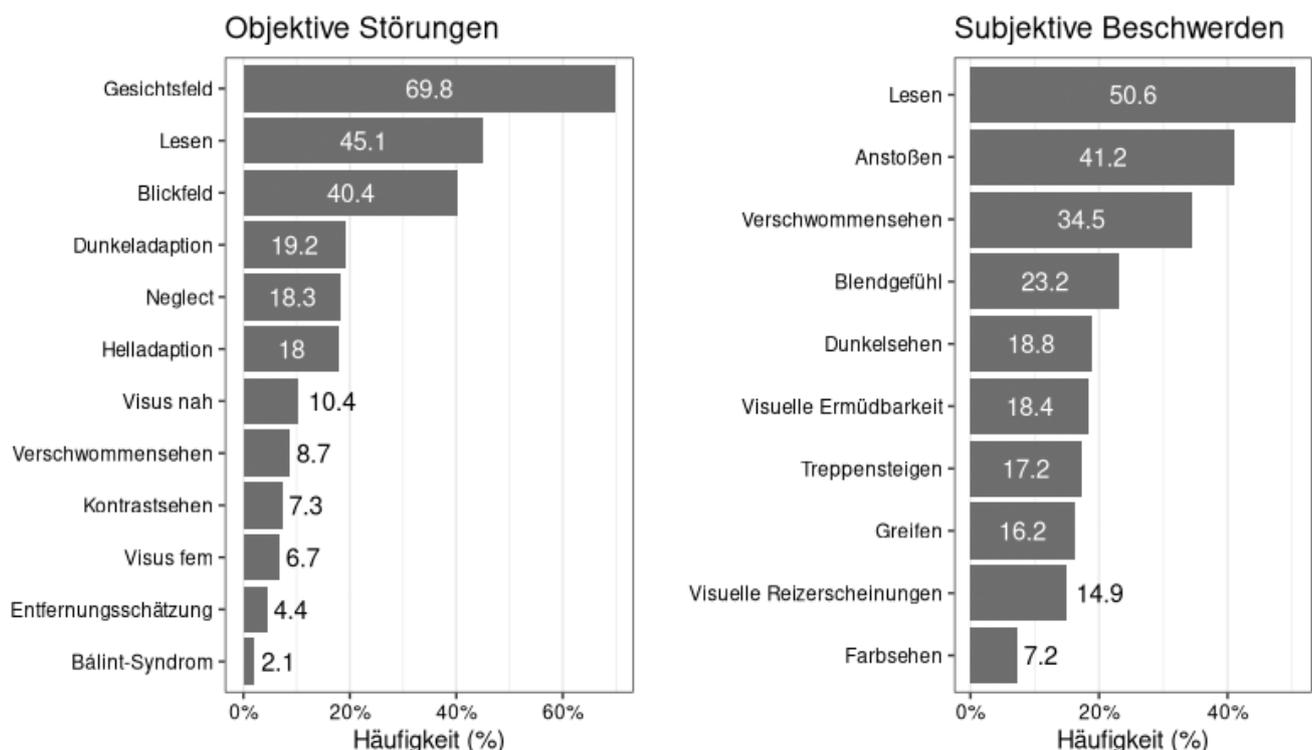
Als *neurovisuelle* Störungen bezeichnen wir Beeinträchtigungen, die in verschiedenen Seh- und visuellen Wahrnehmungsfunktionen, sowie Störungen der Augenbewegungen als Folge einer erworbenen Hirnschädigung auftreten (Kerkhoff & Kraft, 2024b). Dazu zählen homonyme Gesichtsfeldausfälle, Beeinträchtigungen des Lesens, der visuellen Suche und Raumexploration, der Farb-, Form-, Kontrast-, Objekt-, Gesichter-, Bewegungs- oder räumlichen Wahrnehmung, um nur die häufigsten zu nennen. So zeigen mehr als die Hälfte der Patient\_innen mit erworbenen Hirnschädigungen vaskulärer (40–60 %, Rowe et al., 2009; Suchoff et al., 2008), traumatischer (50 %, Kerkhoff, 2000) oder degenerativer Genese (40 %

der Patient\_innen mit Alzheimer-Demenz, Mendez, Mendez et al., 1990; Mendez, Tomsak & Remler, 1990) Störungen elementarer und/oder komplexer neurovisueller Funktionen (Schaadt & Kerkhoff, 2014). Vermutlich wird diese Häufigkeit sogar noch unterschätzt, da die Beeinträchtigungen in der klinischen Routine durch Standardtests nicht ausreichend erfasst werden (Kraft et al., 2014; Spang et al., 2021). Aber auch bei anderen neurologischen Erkrankungen spielen visuelle Verarbeitungsstörungen eine wichtige Rolle, wie etwa bei der Multiplen Sklerose (Frohman et al., 2005) oder auch beim Morbus Parkinson (Archibald et al., 2011). Bei der Posterioren Kortikalen Atrophie („posterior cortical atrophy“ [PCA]) sind sie gar das dominierende Störungsmerkmal (Maia da Silva et al., 2017). Auch bei weniger schweren Hirnschädigungen wie einer Gehirnerschütterung („Commotio Cerebri“) spielen

neurovisuelle Funktionsdefizite, insbesondere Augenbewegungsstörungen bei ca. 20–30% der Betroffenen eine wichtige Rolle („Post-Concussion Syndrome“, Heitger et al., 2009). Auch gelten Sehstörungen als Risikofaktor für die Entwicklung eines Delirs. Delir bezeichnet ein ätiologisch unspezifisches neuropsychiatrisches Syndrom mit Störungen des Bewusstseins und der Aufmerksamkeit, sowie Beeinträchtigungen kognitiver Funktionen und Wahrnehmungseinschränkungen, psychomotorischen Störungen (Hypo- oder Hyperaktivität) und Schlafstörungen, das mit akutem Beginn innerhalb weniger Stunden oder Tage eintritt und im Tagesverlauf fluktuiert (Kerkhoff & Kraft, 2024b). Das Delir ist die häufigste akut oder subakut auftretende neuropsychiatrische Störung im Alter (Kerkhoff & Kraft, 2024b). Die frühzeitige Diagnostik und Behandlung von Sehstörungen im Alter haben auch für die Sturzprävention eine hohe Relevanz, da z. B. die Inzidenz von Delir nach notfallmäßigen Hüftoperationen erhöht und dessen Prognose dann sehr schlecht ist (NICE (Guidelines, 2023).

Da intakte visuelle Funktionen eine wichtige Voraussetzung für viele Aktivitäten in Beruf und Alltag darstellen, sind neurovisuelle Störungen häufig mit weitreichenden Einschränkungen für die Betroffenen assoziiert. So zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang neurovisuel-

ler Störungen mit Angst und Depression (Berthold Lindstedt et al., 2019). Auch liegt bei diesen Patient\_innen eine deutlich reduzierte Belastbarkeit vor, was Teil einer Fatigue-Symptomatik ist (Berthold Lindstedt et al., 2019). Diese Fatigue wiederum behindert die erfolgreiche Teilhabe in Alltag und Beruf, weil die Betroffenen nicht so lange belastbar sind bei Alltagstätigkeiten. Und dies wiederum verhindert deren erfolgreiche Bewältigung – ein Teufelskreis. In einer strukturierten Anamnese neurovisueller Beeinträchtigungen geben mehr als 40% aller hirngeschädigten Patient\_innen Probleme mit dem Lesen an, über 35% mit dem Zurechtfinden und der visuellen Orientierung im Raum (bzw. dem Anstoßen oder Übersehen von/an Hindernisse oder Personen), und ebenfalls über 35% Verschwommenes Sehen seit der Erkrankung (s. Abb. 1.). Auch eine gesteigerte visuelle Ermüdbarkeit („Fatigue“), visuell-räumliche Defizite wie Probleme beim Treppensteigen und Greifen nach Objekten, sowie beim Farbsehen sind nicht selten. Die zugrundeliegenden neurovisuellen Störungen sind homonyme Gesichtsfeldausfälle, Störungen der visuellen Exploration und des Lesens, der Sehschärfe (nah und fern), sowie des Kontrast- und Farbsehens und der Hell- und Dunkeladaptation (s. Abb. 1).



**Abbildung 1.** Häufigkeit objektiv diagnostizierter zerebraler Sehstörungen und anamnestisch erhobener subjektiver visueller Beschwerden infolge erworbener Hirnschädigung (N: 656 Patient\_innen mit Hirnschädigung; N: 461 mit zerebrovaskulärer Erkrankung, N: 110 Schädel-Hirn-Trauma, N: 33 mit zerebraler Hypoxie, N: 27 mit Hirntumor, N: 25 sonstige Ätiologien) (modifiziert nach Neumann et al., 2016).

## Diagnostik und Therapie neurovisueller Störungen

Die Häufigkeit und Relevanz neurovisueller Störungen ist seit mehreren Jahrzehnten wohlbekannt, auch stehen seit mehr als 30 Jahren Behandlungsverfahren für die verschiedenen Beeinträchtigungen zur Verfügung (Kerkhoff & Kraft, 2024b). Warum werden sie also so selten angewendet? Was könnten die Gründe dafür sein, dass viele Betroffene keine spezifische neurovisuelle Behandlung erhalten, obwohl diese eigentlich verfügbar wären?

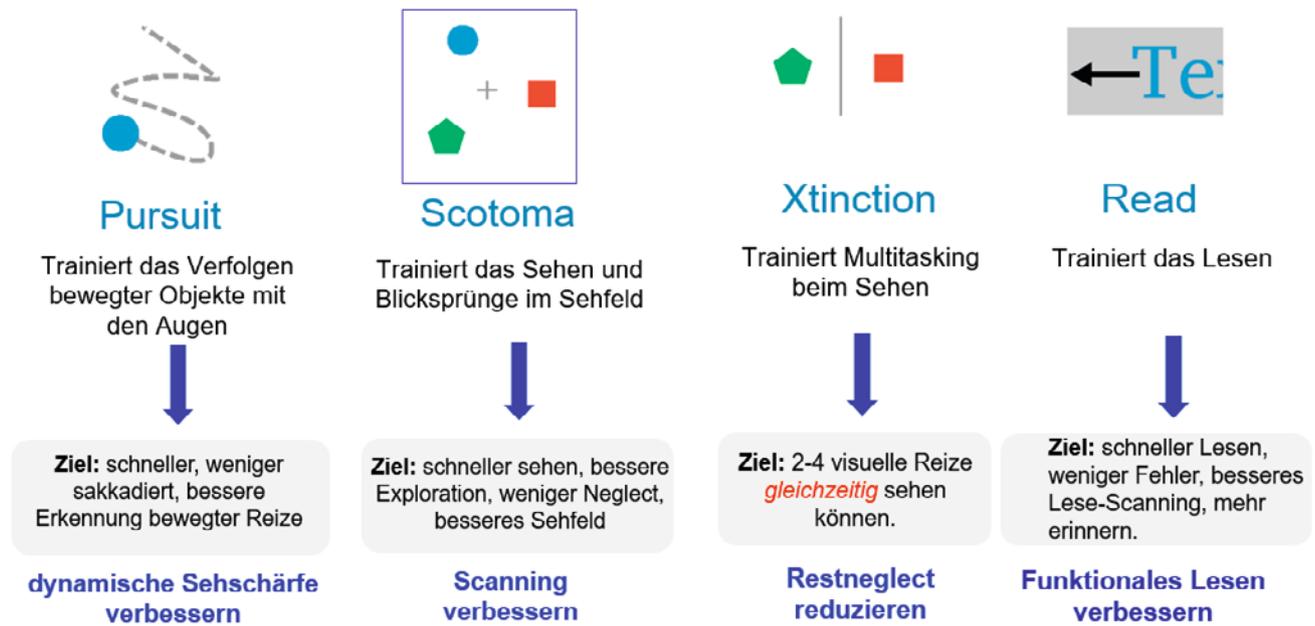
- Immer mehr Menschen leiden unter Hirnschädigungen, weil sie immer älter werden. Dies führt zu einer stetig steigenden Inzidenz neurovisueller Defizite: Gesichtsfeldausfälle, Störungen der Augenbewegungen, der Exploration, des Lesens, der visuell-räumlichen und Objektwahrnehmung und auch der visuellen Extinktion treten deshalb ab einem Alter von 65 Jahren immer häufiger auf (Kerkhoff & Kraft, 2024b).
- Gleichzeitig gibt es jedoch immer weniger Behandler\_innen, sowohl in Kliniken, Ambulanzen als auch in den Praxen, auch aufgrund des Fachkräftemangels und demografischen Wandels. Oft erhalten Betroffene nach ihrer Entlassung aus einer Rehabilitationsklinik keine entsprechende Therapie ihrer neurovisuellen Beschwerden, wenn diese denn überhaupt dort diagnostiziert werden. Viele haben auch keine entsprechende neurovisuelle Therapie in der Klinik erhalten.
- Die neurovisuellen Störungen sind oft keiner spezifischen Berufsgruppe zugeordnet wie etwa die motorischen Störungen der Physiotherapie. Infolge dieser mangelnden Zuordnung werden sie oft gar nicht untersucht. Und man „sieht“ sie den Betroffenen oft gar nicht an, anders als motorische Defizite wie etwa eine Halbseitenlähmung.
- Darüber hinaus existieren keine spezifischen Abrechnungsziffern für neurovisuelle Störungen. Dies führt dazu, dass sie auch von anderen Heilmittelerbringern praktisch nicht untersucht werden, weil sie nicht abrechnet werden können. Teile der visuellen Störungen (z.B. Fusionsstörungen) können gut von Orthoptisten diagnostiziert und behandelt werden; dies ist aber keine Kassenleistung im ambulanten Sektor und müsste daher von den Patient\_innen selbst bezahlt werden.

Die Konsequenzen hieraus sind, dass neurovisuelle Störungen kaum oder in zu geringer Intensität, mit unspezifischen und oft unwirksamen oder wissenschaftlich nicht überprüften Übungsprogrammen behandelt werden. Dies führt zu einem schlechten Outcome bei den Patient\_innen, einer schlechten Funktionalität im Alltag, geringeren Chancen auf eine erfolgreiche Rückkehr in den Beruf, Ein-

schränkungen der Mobilität (inkl. Autofahren) und langfristig auch zu einem sozialen Rückzug der Betroffenen (s. Übersicht in Kerkhoff & Kraft, 2024b). Diese Problematik wird sich in Zukunft aufgrund des demografischen Wandels und damit einhergehenden Fachkräftemangels noch weiter verschärfen.

## Hybrides neurovisuelles Training mit dem Neuro-Vision-Training (NVT)

Eine Möglichkeit die therapeutische Versorgung zu verbessern, besteht darin, wirksame Trainings als effektives Heimtraining unter professioneller Supervision anzubieten. Im Idealfall erhalten die Betroffenen zunächst die Diagnostik und das Training durch eine Fachperson in einer Klinik/Ambulanz/Praxis, lernen auf diese Weise das Programm für zu Hause kennen und werden mit den Übungen und der Bedienung des Programms vertraut gemacht. Diesen Ansatz verfolgen wir auch beim NVT, welches wir in den letzten Jahren entwickelt und inzwischen umfangreich evaluiert haben (<https://www.neurovion-training.com>): eine Fachperson sollte die vorliegenden neurovisuellen Störungen bei einer/m Betroffenen/n diagnostizieren, und dann mit dem Training in ihrer Einrichtung beginnen. So lernt der/die Patient/in das NVT kennen, wird mit den Übungen vertraut und lernt das Programm zu benutzen. Falls möglich, sollten in dieser Anfangsphase das Heim- und Vor-Ort-Training parallel ablaufen, so dass beides optimal aufeinander abgestimmt werden kann. Es gibt aber auch Fälle, wo dies nicht möglich ist, etwa weil der/die Patient/in zu weit weg wohnt und nur selten Vor-Ort-Termine möglich sind. Dann sollten direkt in der Erstdiagnostik die sinnvollen Trainingsmodule (s. Abb. 2) besprochen und auch antrainiert werden. Dies reduziert die Unsicherheit auf Seiten der Patient\_innen, was wie oft und wie lange trainiert werden soll. Auch sollte hier schon besprochen werden, dass das NVT ganz überwiegend auf ein Training der Augenbewegungen und der Aufmerksamkeit sowie bestimmter Blickstrategien setzt, und deshalb Kopfbewegungen während des Trainings nicht sinnvoll sind. Weitere hilfreiche Tipps finden sich dann auf der Instruktionseite des NVT, bevor die jeweilige Übung gestartet wird. Gleichzeitig sollte kurz besprochen werden, wie die Patient\_innen das NVT als Heimtraining auf ihren heimischen PC herunterladen können. Wir empfehlen regelmäßiges Üben (möglichst 5x pro Woche, jeden Tag 30 Minuten) zu Hause. Die Fachkraft kann über das Internet den Übungsfortschritt der Patient\_innen mit Hilfe der Software kontrollieren und steuern. Diese Art eines supervidierten Heimtrainings hat sich als deutlich wirksamer gegenüber einem



**Abbildung 2.** Übersicht über die aktuellen vier Trainings-Module und ihre Zielsetzungen im Neuro-Vision-Training (NVT; näheres im Text).

nicht supervidierten Heimtraining erwiesen (Aimola et al., 2014). Es erfordert aber einen regelmäßigen Kontakt zwischen Patient\_in und Therapeut\_in über die Fortschritte oder eventuelle Probleme. Oft funktionieren diese auch als Coach, und motivieren die Patient\_innen, möglichst häufig zu Hause mit dem Programm zu üben. Andernfalls ist das Risiko erhöht, dass die Übungsfrequenz zu niedrig wird oder die Patient\_innen das Training ganz abbrechen und keine Fortschritte erzielen.

Im Folgenden berichten wir über die wesentlichen Trainingsmodule und allgemeine Merkmale des NVT. Die in der Software implementierte KI (künstliche Intelligenz) passt beim Erreichen bestimmter kritischer Verbesserungen die Übungen in ihrer Schwierigkeit an den Lernfortschritt der übenden Person an und kann so für einen optimalen Trainingsfortschritt sorgen. In der Software sind die laut wissenschaftlichen Studien wirksamsten neurovisuellen Übungen in Form einzelner Trainings-Module mit entsprechenden Übungspfaden („clinical pathways“, Kerkhoff, 2021) über viele Übungen hinweg implementiert und alltagsnah gestaltet. Dies ermöglicht ein hybrides Trainingskonzept mit einem initialen Erstkontakt (für die Diagnostik) und gelegentlichen Vor-Ort-Kontakten der Patient\_innen bei einer Fachperson (Neuropsycholog\_in, Mediziner\_in, Ergotherapeut\_in, Orthoptist\_in), sowie gleichzeitig möglichst häufigen Trainingssitzungen zu Hause. So kann die jeweilige Fachperson mehr Betroffene betreuen und wird entlastet. Gleichzeitig kann durch das supervidierte Eigen-Training (zu Hause oder auch in der Klinik/Praxis) eine höhere Übungsfrequenz und damit ein größerer Trainingseffekt erzielt werden.

Der Trainingsfortschritt in allen Modulen kann zwischen verschiedenen Geräten synchronisiert werden, um das Training so flexibel wie möglich zu gestalten. So kann ein/e Patient\_in beispielsweise an zwei Tagen in der Praxis oder Ambulanz trainieren, und an den anderen Tagen zu Hause: alle Daten werden in eine Datei integriert und ständig gespeichert. Jede Übung schließt mit einer unmittelbaren grafischen Auswertung der Ergebnisse ab, die dem Nutzer einen unmittelbaren Einblick in die eigene Leistung ermöglicht und den Trainingsfortschritt veranschaulicht. Alle Module basieren auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen, und werden bzw. wurden bereits (s. Kerkhoff & Kraft, 2024a) und das nachfolgende Sonderheft der Zeitschrift für Neuropsychologie 4/2024) in Trainingsstudien hinsichtlich ihrer Wirksamkeit evaluiert.

Im Folgenden werden die Trainings-Module des NVT im Detail beschrieben. Zunächst werden die beiden Module „Pursuit“ zur Optimierung der dynamischen Sehschärfe und „Scotoma“ zum Training des visuellen Scannings beschrieben. Das Erkennen eines sich bewegenden Objektes wird als dynamische Sehschärfe bezeichnet. Im Unterschied hierzu bezeichnet die statische Sehschärfe das räumliche Auflösungsvermögen für unbewegte visuelle Formen (Zahlen, Buchstaben, Linien, Objekte), und wird meist mit den klassischen Sehschärfe-Tafeln untersucht (Miller et al., 2008; Kerkhoff & Kraft, 2024). Die dynamische Sehschärfe ist hingegen immer dann wichtig, wenn wir uns Fortbewegen (Gehen, Radfahren, Autofahren, beim Sport ...), wenn sich ein Objekt oder sich die ganze Umwelt bewegt (Bus fährt vorbei, Person läuft vorbei,

Ball fangen oder Ball werfen beim Sport), oder wenn beides der Fall ist (Gehen durch eine Fußgängerzone mit vielen anderen Menschen, die sich ebenfalls bewegen, oder selbst in einem Ballspiel mitspielen). In diesen Situationen sind rasche und genaue Augenfolgebewegungen sowie rasche Sakkaden notwendig, um das/die sich bewegenden Objekte erkennen zu können und gleichzeitig selbst als Beobachter oder Akteur die Orientierung während der Fortbewegung zu behalten. Viele hirngeschädigte Patient\_innen beklagen, dass sie das Tempo bewegter Objekte (z. B. Auto) nicht mehr so gut einschätzen können. Manche berichten auch über eine Überempfindlichkeit (Hypersensitivität) gegenüber raschen visuellen Bewegungen, die subjektiv dann als „Schwindel“ oder „Verschwommen-Sehen“ bezeichnet werden, aber meist nicht in die Kategorie eines neurologischen Schwindels fallen (Berlit, 2020). Gestörte Sakkaden und Augenfolgebewegungen sind auch nach einem leichten Schädel-Hirn-Trauma (SHT, Post-Concussion Syndrome) ein wichtiger „Marker“ (Heitger et al., 2009), der sehr eng mit den subjektiven Beschwerden der Betroffenen korreliert.

## Pursuit-Modul

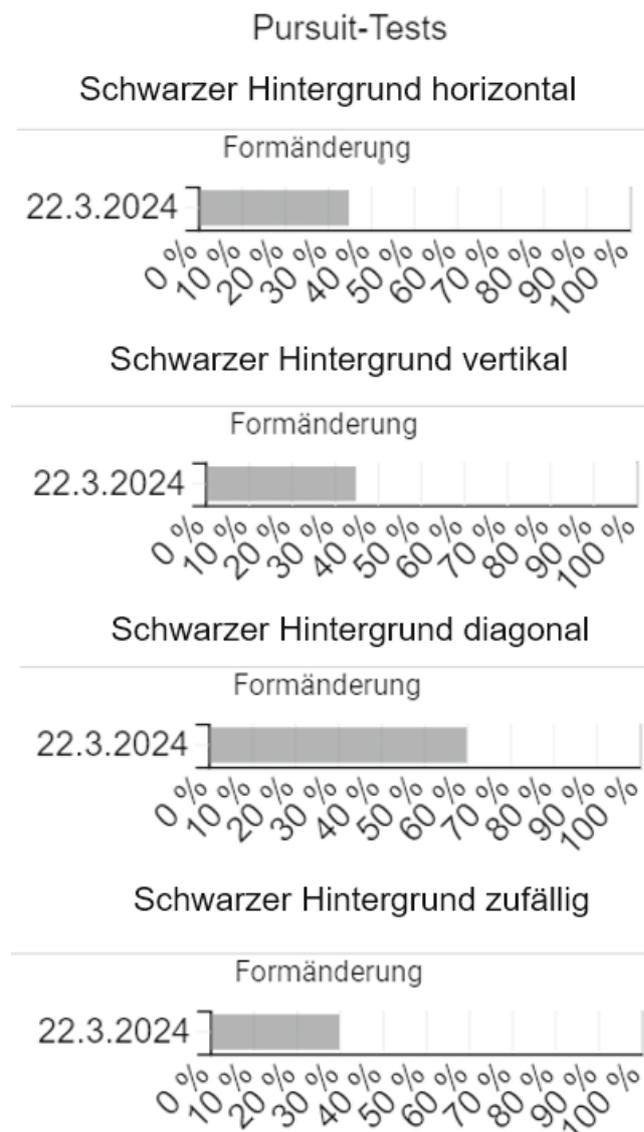
### Grundlagen

Langsame Augenfolgebewegungen ermöglichen es dem Gehirn, bewegte Bilder (z. B. ein fahrendes Auto) auf der Netzhaut scharf abzubilden, so dass diese erkannt werden können. Ist die Folgebewegung des Auges zu langsam oder ungenau, erscheint das bewegte Objekt verschwommen oder „verschmiert“ und kann dann meist nicht erkannt werden. Störungen der langsamen Augenbewegungen treten häufig (50 %) nach einem Schlaganfall (Lekwuwa & Barnes, 1996a, 1996b), einem Schädel-Hirn-Trauma (Gur & Ron, 1992) oder einer Gehirnerschütterung (Heitger et al., 2009; Ventura, Balcer & Galetta, 2014) auf. Störungen der Augenfolgebewegungen treten besonders ausgeprägt nach rechts parietalen, frontalen und Basalganglien Läsionen (Lekwuwa & Barnes, 1996a) als bi-direktionales Defizit auf (also in Richtung beider Gesichtsfeldhälften), sowie auch nach occipitalen Läsionen (Kwon et al., 2022). Auch im Alter lassen das Tempo und die Genauigkeit von Augenfolgebewegungen nach (Leigh & Zee, 2015).

### Diagnostik

Zunächst können die Augenfolgebewegungen in allen relevanten Richtungen mit dem NVT untersucht werden (horizontal, vertikal, diagonal, zufällig), ohne dass hierzu ein Eye-Tracker notwendig ist. Auch der Einfluss des Bildhintergrundes kann getestet werden (schwarz, farbig, Realbild, Video), da dies im Alltag ebenfalls eine Rolle spielt. Reale Bildhintergründe sind meist komplexer, aber eben

auch näher am Alltagsgeschehen und somit relevanter für die Betroffenen. Das NVT gibt nach den Untersuchungen automatisch die Ergebnisse grafisch aus, welche einfach in einen Befundbericht eingefügt werden können (s. Abb. 3). Als Maß für die Qualität der Augenfolgebewegungen wird der Prozentsatz der richtig erkannten Objektwechsel in einer Bewegung berechnet. Eine Normierung dieser verschiedenen Pursuit-Tests erfolgt aktuell. Sobald die Normwerte vorliegen, werden altersbezogene Cut-Off-Werte im NVT hinterlegt werden.



**Abbildung 3.** Überblick über die Pursuit-Leistungen einer 45 Jahre alten Patientin mit einem Schädel-Hirn-Trauma vor 1 Jahr. Es zeigen sich deutlich reduzierte Leistungen in der dynamischen Sehschärfe (Erkennung einer Formänderung) in allen Bewegungsrichtungen (horizontal, vertikal, diagonal), besonders bei zufälligen Bewegungsänderungen des Zielreizes. Es werden % Richtigkeit dargestellt.

## Training

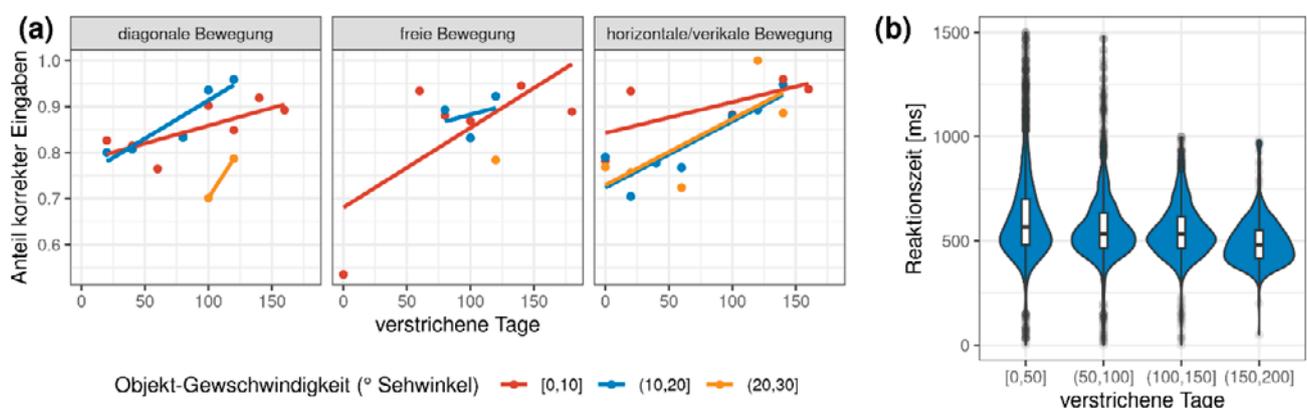
Das Pursuit-Modul trainiert die langsamen Augenfolgebewegungen zu verschiedenen Blickzielen am Bildschirm. Hierzu fixiert der/die Patient\_in ein zentral auftauchendes Objekt, welches sich langsam in eine bestimmte Richtung bewegt. Der/die Patient\_in soll das Objekt mit den Augen – aber ohne Kopfbewegungen – verfolgen („Tracken“) und sofort die Reaktionstaste drücken, wenn das Objekt die Farbe, Form oder Helligkeit ändert. Das Tracken ohne Kopfbewegungen sollte zunächst unter Supervision in der Praxis geübt werden, um sicherzustellen, dass die Patient\_innen diese Strategie auch konsequent im Heimtraining anwenden können. Das System passt automatisch die Geschwindigkeit des sich bewegenden Reizes an die Leistungen der Patient\_innen an. So wird nach einer Reihe richtiger Reaktionen die Geschwindigkeit gesteigert, und umgekehrt bei vielen Falsch-Reaktionen diese wieder reduziert. Die Reaktionszeiten sowie richtigen Antworten werden automatisch gespeichert und den Patient\_innen nach einer Übung sofort angezeigt. Es werden nacheinander alle relevanten Richtungen (horizontal, vertikal, diagonal, zufällige Bewegungen) trainiert. Darüber hinaus werden die Übungen auf verschiedenen Bildhintergründen trainiert: zunächst auf einem dunklen Hintergrund, dann einem farbig wechselnden, dann auf Realbildern aus dem Alltag, und schließlich auf bewegten Videobildern. Diese verschiedenen Bildhintergründe dienen der besseren Figur-Grund-Unterscheidung, welche ja in zahlreichen Alltagsleistungen wichtig ist, aber selten spezifisch trainiert

wird. Durch diese verschiedenen Bildhintergründe wird der Transfer der Blickstrategien in den Alltag integraler Teil der Behandlung und funktioniert somit besser und macht die Trainings für die Patient\_innen gleichzeitig abwechslungsreicher und attraktiver, weil ein direkter Alltagsbezug hergestellt wird. Abbildung 4 zeigt den Trainingsverlauf an einem Patienten.

## Scotoma-Modul

### Grundlagen

Das Scotoma-Modul trainiert rasche Blicksprünge (= Sakkaden), die neben den Augenfolgebewegungen die wichtigste Art von Augenbewegungen darstellen (Leigh & Zee, 2015). Sakkaden nutzen wir, um den Raum visuell abzutasten oder einen Text zu lesen. Sind diese Sakkaden ungenau (zu klein oder zu groß) oder zu langsam, haben wir Probleme, eine Szene rasch visuell zu erfassen, übersehen Dinge in bestimmten Bereichen des Gesichtsfeldes, lassen beim Lesen Worte oder Zeilen aus und erfassen auf diese Weise nur einen Teil der Umwelt. Diese Art von Blickbewegungen sind auch enorm wichtig für viele Alltagsbereiche wie Lesen, Greifen, Blickkontakt und soziale Interaktionen mit Menschen, und Mobilität. Greifen wir nach einer Tasse, so fixieren wir zunächst die Tasse. Sobald wir die Tasse in der Hand halten, wendet sich unser Blick anderen Orten zu (Foulsham, 2015). Auch wenn wir uns ein Brot oder Sandwich zubereiten oder Klötze aufeinander stapeln sind gezielte Augenbewegungen unab-



**Abbildung 4.** Ergebnisse des Pursuit-Trainings über 200 Tage (ca. 6 Monate) bei einem Patienten mit multiplen vaskulären Hirnläsionen im Rahmen einer zerebralen Angiitis. **(a)** zeigt den Anteil korrekter Eingaben des Patienten bei den Pursuit-Übungen. Es wurden jeweils 30 Tage-Abschnitte gemittelt. Da sich das Training adaptiv an die Leistung des Patienten anpasst und somit nicht jeden Monat die gleichen Schwierigkeitslevel dargeboten werden, kommt es in der Auswertung zu fehlenden Datenpunkten. Es kommt zu einer deutlichen Verbesserung in allen Pursuit-Richtungen. Am Ende liegen die Leistungen in allen Richtungen bei ca. 90 % Richtigen. Anders ausgedrückt: die dynamische Sehschärfe hat sich in allen Richtungen deutlich verbessert. Der Patient berichtete, dass er sich nach der Behandlung wieder sicherer im Alltag orientieren könne, und besser Gegenstände erkennen konnte. Er konnte auch wieder selbstständig Fahrrad fahren. **(b)** Die Reaktionszeiten der korrekten Eingaben verringern sich im Verlauf des Trainingsprozesses und werden zudem konstanter. Dies kann beobachtet werden, obwohl das NVT im Laufe des Trainingsprozesses zunehmend schwierigere Übungen einspielt.

dingbar (Hayhoe & Ballard, 2005). Und insbesondere in der Mobilität, etwa beim Gehen auf unebenem Grund sind präzise Augenbewegungen nach unten essenziell, um eventuelle Unebenheiten des Terrains rechtzeitig zu erfassen, um nicht zu stolpern oder gar zu stürzen (Bonnen et al., 2021). Die Liste lässt sich auf viele Alltagsbereiche ausdehnen, sei es Autofahren, Sport oder Haushalt. Überall liefern genaue und schnelle Sakkaden die Basis-Koordinaten für anschließendes motorisches Verhalten. Auch ist es schon lange Konsens, dass Augenfixationen Aufmerksamkeitsprozesse widerspiegeln: dort wo ich hinschaue, ist auch fast immer mein Aufmerksamkeitsfokus (Foulsham, 2015). Insofern ist das Training von Augenbewegungen auch immer ein Aufmerksamkeitsstraining. Wir kommen am Ende des Artikels noch darauf zurück.

## Diagnostik

Vor dem Training sollte zunächst eine Diagnostik mit dem Scotoma-Test erfolgen. Dieser existiert in 3 Varianten: mit grauem Hintergrund, farbigem Hintergrund und mit einem Realbild als Hintergrund. Hierbei wird eine Kampimetrie des Gesichtsfeldes durchgeführt, bei der ein Raster von 60×40 (horizontal, vertikal) Testpunkten geprüft wird. Im Unterschied zur klassischen Kampi- oder Perimetrie, bei der zentral fixiert wird, führt das NVT eine funktionale Gesichtsfeldprüfung durch, indem es die Detektion eines Testpunktes mit der sakkadischen visuellen Exploration in *einem* Test kombiniert prüft. Anders formuliert: es gibt Aufschluss darüber, welche Bereiche des Gesichtsfeldes (nicht) durch Sakkaden abgesucht wurden. Eine Normierung erfolgt ebenfalls aktuell. Diese Untersuchung erfasst somit das Funktionale Gesichtsfeld (Useful field of view, Ball et al., 1988; Sekuler, Bennett & Mamelak, 2000), und kombiniert somit die klassische Kampimetrie (bei *unbewegtem* Auge) mit der Erfassung der sakkadischen visuellen Exploration (also mit Augenbewegungen). Natürlich sollte die klassische Kampi- oder Perimetrie zur Erfassung kleiner Skotome sowie zur Abklärung der Fahrtauglichkeit weiterhin durchgeführt werden (etwa mit dem Eye Move-Programm, Dauer: 4 Minuten (Kerkhoff & Marquardt, 2009b), oder dem Center-Field Perimeter von Oculus; Dauer: ca. 10 bis 15 Minuten, je nach Programm).

Abbildung 5 zeigt interessante Ergebnisse aus dem Vergleich der klassischen Kampimetrie im EyeMove Programm mit der Scotoma-Testung im NVT bei verschiedenen Patient\_innen. So zeigt sich bei einem 60-jährigen Patienten mit einem Posteriorinfarkt links ein normales, beidäugiges Gesichtsfeld in der Kampimetrie (Abb. 5 A), jedoch ein bilateraler Defekt in der raschen Entdeckung der Testreize in beiden Halbfeldern (Abb. 5B). Bei einem Patienten mit zerebralen, vaskulären Mikroläsionen zeigte

die Kampimetrie nur sehr kleine, punktförmige Skotome im rechten Halbfeld (Abb. 5C), jedoch ein großflächiges, bilaterales Defizit im Scotoma-Test (Abb. 5D). Nach mehrmonatigem Scotoma-Training im NVT hatte sich dieses Defizit (Abb. 5E) dann weitestgehend normalisiert (Abb. 5F). Insgesamt ermöglicht die Untersuchung des Funktionalen Gesichtsfeldes mit dem Scotoma-Test eine genauere Diagnostik, bei der auch subtilere Defizite im Gesichtsfeld entdeckt werden können. Diese können dann gleich im Scotoma-Training trainiert werden. Hier kann das NVT also tiefere Einsichten liefern, und gleichzeitig Trainingsoptionen eröffnen, die bislang nicht verfügbar waren.

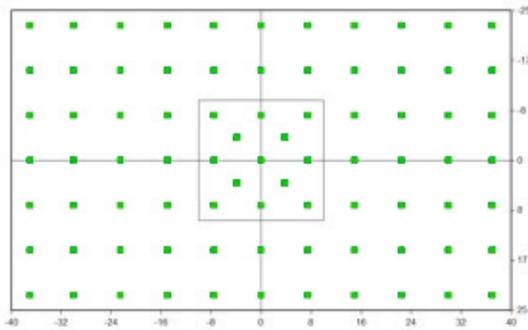
## Training

Das Scotoma-Modul trainiert die sakkadischen Augenbewegungen zu verschiedenen Blickzielen am Bildschirm. Hierzu fixieren der/die Patient\_in zunächst ein zentrales Fixationskreuz, welches dann erlischt und gleichzeitig erscheint irgendwo ein Zielreiz im Blickfeld. Der/die Patient\_in soll rasch (mit einer Sakkade, aber ohne Kopfbewegung) dort hinschauen und schnell eine Taste drücken, wenn sie den Reiz entdeckt hat. Die Software erkennt bestimmte Bereiche im Gesichtsfeld mit schlechter Leistung (Auslassungen, langsame Reaktionen) und bietet dann adaptiv vermehrt Testpunkte in diesen beeinträchtigten Bereichen an. Damit wird die Übungszeit optimal an die Defizite der Betroffenen angepasst. Reaktionszeiten sowie richtige Antworten werden automatisch gespeichert und nach einer Übung sofort angezeigt. Auch der Ort der entdeckten oder übersehenen Reize wird direkt nach der Übung angezeigt. Die Anzeige kann auch psychoedukativ genutzt werden, z. B. wenn der/die Patient\_in noch eine größere Anzahl von falschpositiven Reaktionen zeigt (also die Reaktionstaste drückt, obwohl kein Reiz da war). Darüber hinaus werden die Übungen – wie schon im Pursuit-Modul – auf verschiedenen Bildhintergründen trainiert: zunächst auf einem dunklen Hintergrund, dann auf einem farbig wechselnden, dann auf wechselnden Alltagsbildern, und schließlich auf dynamischen Videoszenen. Damit wird der Transfer in den Alltag auch hier gefördert, ein wichtiger Bestandteil der Behandlung, die damit besser gelingt. Abb. 6 veranschaulicht exemplarisch diese verschiedenen Bedingungen des Trainings.

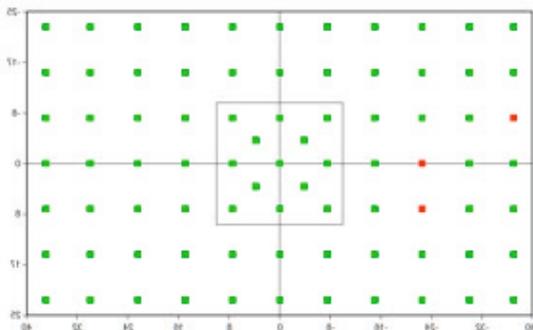
Im Folgenden werden die zwei Module des NVT beschrieben, die entwickelt wurden, um den häufig in der „chronischen Phase“ persistierenden Restneglect zu reduzieren (Xtinktion-Modul) und die Lesefähigkeit im Alltag zu verbessern (READ-Modul). Da diese ausführlicher in zwei separaten Artikeln im kommenden Sonderheft dargestellt (Poschenrieder & Kerkhoff, 2024a, 2024b) werden, erfolgt hier nur eine kurze Darstellung.

## Kampimetrie EyeMove

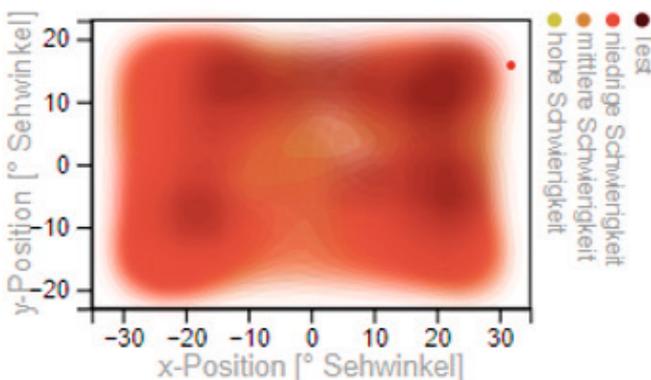
### A - Normales Gesichtsfeld



### C – kleine Skotome rechts

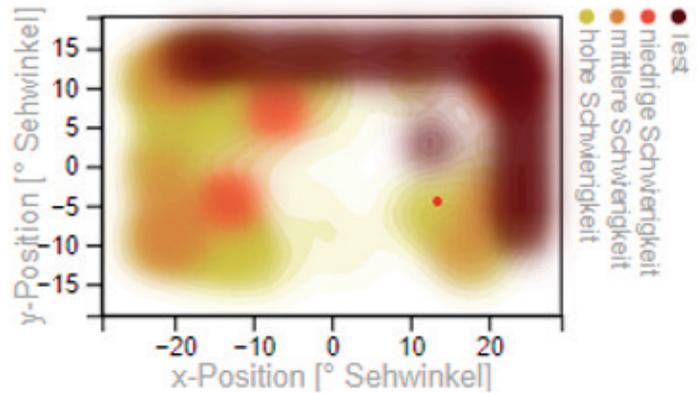


### E - vor NVT-Therapie

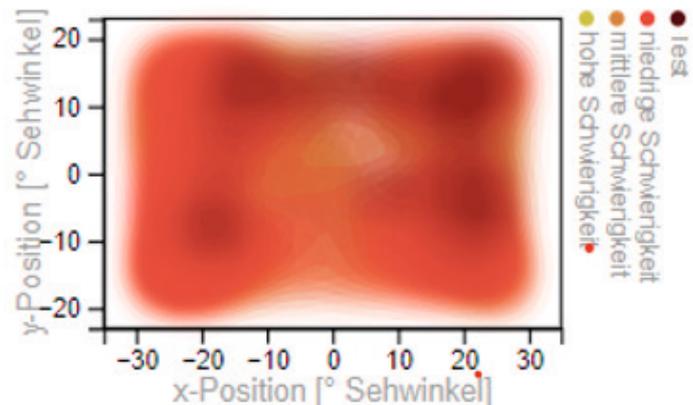


## Scotoma-NVT

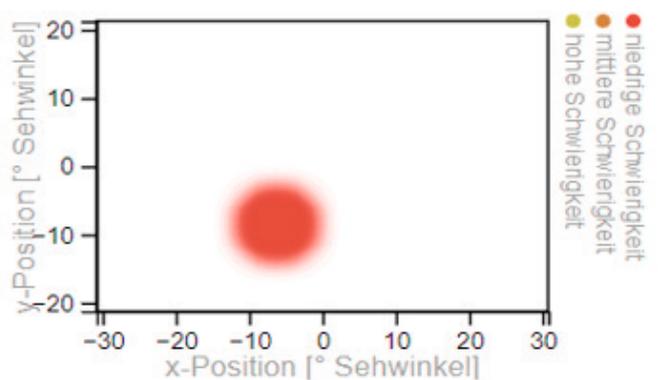
### B - Ausfall rechts oben



### D – bilaterale Ausfälle



### F - nach NVT-Therapie



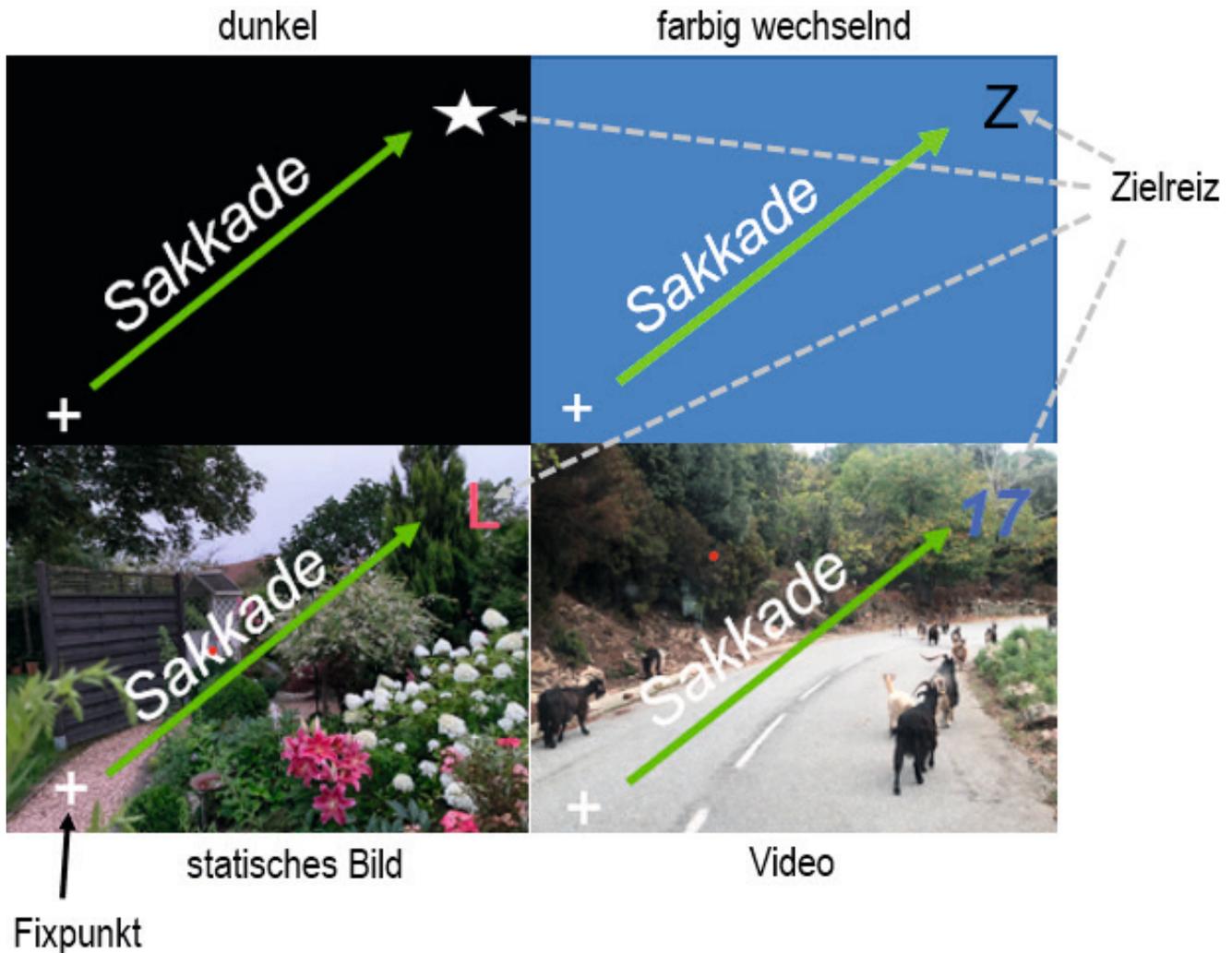
**Abbildung 5.** Vergleich der Leistungen verschiedener Patient\_Innen in einer konventionellen Kampimetrie (EyeMove-Programm, **A, C**) mit den Ergebnissen im Scotoma-Test im NVT (**B–D**), sowie Veränderungen im Scotoma-Test nach Scotoma-Training (**E, F**). Näheres s. Text.

## Xtinktions-Modul

### Grundlagen

Dieses Modul dient unter anderem der Behandlung von Patient\_innen mit einem partiell rückgebildeten Neglect.

Es hat sich aber auch bei Patient\_innen mit homonymen Gesichtsfeldausfällen gezeigt, dass diese beim raschen Erfassen multipler visueller Reize ebenfalls Schwierigkeiten haben. Meist wird der kontraläsionale Reiz weniger oder später beachtet, wenn *gleichzeitig* auf beiden Seiten des



**Abbildung 6.** Veranschaulichung des Sakkaden-Trainings auf unterschiedlichen Bildschirm-Hintergründen. Hier sollen Sakkaden von links unten nach rechts oben ausgeführt werden. Dies wäre etwa sinnvoll bei Patient\_Innen mit einem homonymen Quadranten-Ausfall rechts oben. Zunächst wird dies auf dunklem Hintergrund geübt (links oben), dann auf farbig wechselndem (rechts oben), dann auf statischen Alltagsbildern (links unten), und schließlich auf bewegten Videobildern von Alltagssituationen (rechts unten).

Gesichtsfeldes zwei oder mehr Reize auftauchen. Hierbei zeigt sich dann oft die visuelle Extinktion (engl.: „extinguish“ = „löschen“). Extinktion bedeutet also, dass jemand einzelne sensorische Reize auf der linken oder rechten Raum- oder Körperseite meist korrekt wahrnimmt, aber bei gleichzeitiger Darbietung von zwei Reizen (einer links, einer rechts) den kontraläsionalen der beiden Reize nicht beachtet, sondern nur den ipsiläsionalen Reiz berichtet. Anders ausgedrückt: der kontraläsionale Reiz wird „gelöscht“ (= „extinguished“). Die visuelle Extinktion ist seit mehr als 100 Jahren bekannt (Oppenheim, 1885), und stellt oft ein chronisches und hartnäckiges Problem in der Neurorehabilitation dar (Kerkhoff, 2021). Sie ist immer alltagsrelevant, weil in fast allen Alltagssituationen links *und* rechts Reize auftauchen (z.B. Auto von links, Person von rechts; oder am PC-Bildschirm immer mehrere Reize zu

sehen sind; oder auch in einer Besprechung oft Personen auf beiden Seiten sitzen).

### Training

Einfach ausgedrückt geht es beim Xtinction-Modul im NVT darum, das Multitasking, also effiziente Erfassen, rasche Verarbeiten und kurzfristige Erinnern *mehrerer* visueller Reize zu verbessern, die gleichzeitig an verschiedenen Orten im Sehfeld auftauchen. Allgemeiner formuliert ermöglicht uns dieses *visuelle Multitasking* über Sakkaden und Folgebewegungen im Alltag rasch bewegte und unbewegte visuelle Szenen besser zu erfassen und darauf zu reagieren. Diese Fähigkeit ist insbesondere in der Mobilität, im Straßenverkehr (auch als Fußgänger) und beim Sport enorm wichtig. Sie macht unsere „visuelle Performance“ im Verkehr, Beruf, Büro oder Sport erst

richtig effizient. Da die gesehenen Testreize auch kurzfristig im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müssen, bis sie in die Tastatur eingegeben werden können (ca. 4 bis 8 Sekunden Verzögerung), wird im Xtinction-Modul auch das verbale (welcher Buchstabe oder welche Zahl war das?) und das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis (wo wurden die Reize am Bildschirm präsentiert?) mittrainiert.

Während des Trainings werden jeweils 2 visuelle Reize (Zahlen, Buchstaben) nacheinander an 2 verschiedenen Positionen im Gesichtsfeld gezeigt. Der/die Patient\_In soll zunächst zum 1. Reiz blicken, dann rasch (ohne Kopfbewegungen) zum 2. Reiz blicken und sich beide Reize für die nachfolgende Eingabe über die Tastatur für wenige Sekunden merken. Werden beide Reize mehrfach richtig eingegeben, wird die Zeitdifferenz zwischen den beiden Reizen langsam reduziert, sowie die Darbietungszeiten, so dass aus der sequenziellen Darbietung nach und nach eine *simultane* Darbietung wird (vgl. auch den Extinktionstest im Eye-Move-Programm, Kerkhoff & Marquardt, 2009b). Ähnlich wie im Pursuit-Modul werden alle Raumrichtungen im Xtinction-Modul geübt, und das Training im Verlauf über die Änderung des Bildschirmhintergrunds alltagsnäher gestaltet (dunkel, farbig wechselnd, Alltagsbild, Video). Abbildung 7 zeigt den Trainingsverlauf eines exemplarischen Patienten im Xtinction-Modul.

## Lesemodul (READ)

### Grundlagen

Wie eingangs erwähnt, sind Lesestörungen das am häufigsten berichtete visuelle Alltags-Problem von Patient\_innen mit neurovisuellen Störungen infolge einer Hirnschädigung (>40 %, Berthold Lindstedt et al., 2019; Neumann et al., 2016). Sie sind auch mit Fatigue, Angst und Depression assoziiert (Berthold Lindstedt et al., 2019), und beeinträchtigen somit das tägliche Leben der Betroffenen erheblich.

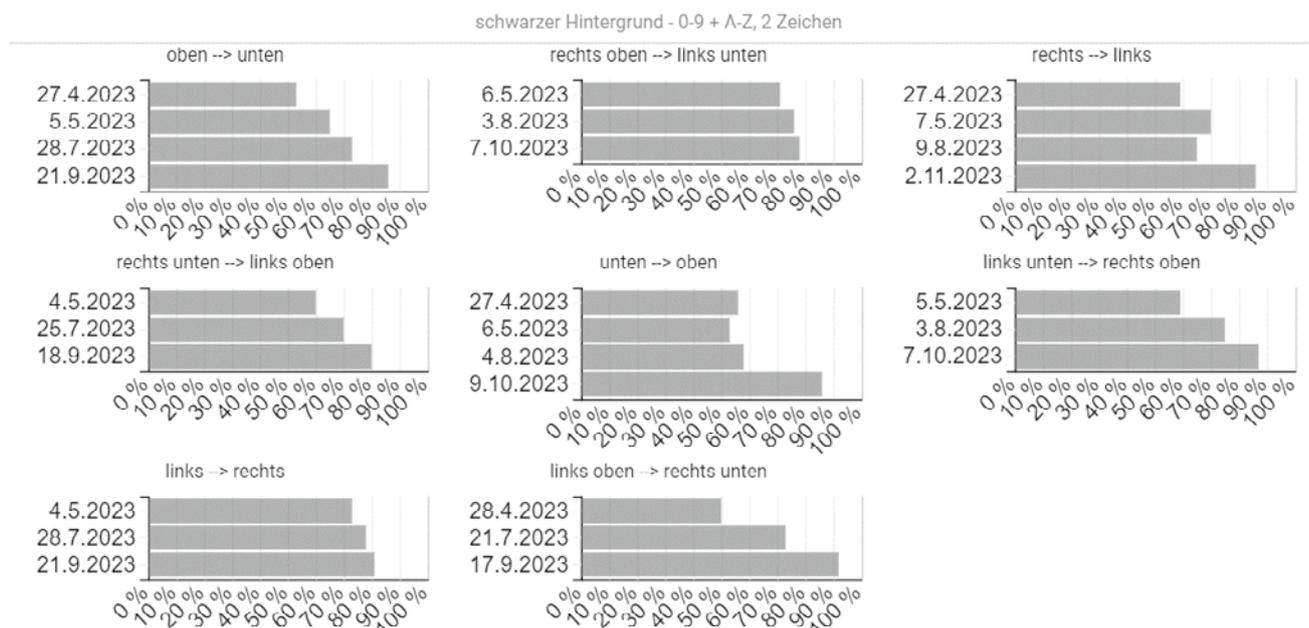
### Diagnostik

Die Diagnostik des Lesens kann mit einfachen, kostenlosen Lesetests erfolgen (z. B. Saarbrücker Lesetexte, Abrufbar unter [www.uni-saarland.de](http://www.uni-saarland.de), Lehrstuhl Kerkhoff, Materialien). Es ist auch geplant, eine Lesediagnostik in das NVT einzubauen (z. B. Lesetest und Textgedächtnis-Test). Eine differenziertere Diagnostik kann mit dem READ-Programm erfolgen (Kerkhoff & Marquardt, 2009a), in dem es zahlreiche normierte Standard-Tests zu basalen und funktionalen Leseaufgaben gibt (praktische Tipps zur Diagnostik in Reinhart, Höfer & Kerkhoff, 2013b).

### Training

Das Training der meisten dieser als periphere visuelle Lesestörungen zusammengefassten Dyslexien (Reinhart, Höfer & Kerkhoff, 2013a; Reinhart et al., 2013b) basiert größ-

#### Tests



**Abbildung 7.** Ergebnisse des Xtinction-Trainings über 5 Monate bei einem 53-jährigen Patienten mit multiplen vaskulären Hirnläsionen im Rahmen einer zerebralen Angiitis. Es kommt zu einer kontinuierlichen Verbesserung in allen Raum-Richtungen (über alle Bedingungen gemittelt). Weitere Details zum Training der visuellen Extinktion finden sich in einem separaten Beitrag im kommenden Sonderheft (Poschenrieder & Kerkhoff, 2024a). Es werden % Richtige dargestellt.

teils auf der okulomotorischen Kompensation des Lesedefizits – also durch ein Training der Augenbewegungen. Dieser Tatsache haben wir Rechnung getragen und folgende 3 Lesetechniken (Fleißtext, Schnell-Lesen und Fenster-Lesen) im NVT-Read-Modul realisiert: Beim Fließtext „fließt“ eine Zeile Text von rechts nach links über den Bildschirm. Dies erleichtert es der/m Lesenden, Ihre/seine Augen rascher nach rechts entlang der Zeile zu bewegen, wodurch das Lesen flüssiger wird. Beim Schnell-Lesen wird jeweils ein einzelnes Wort in der Mitte des Bildschirms gelesen, was die Anzahl der erforderlichen Blickbewegungen deutlich reduziert und so als erste Lesetechnik zur rascheren Erfassung einzelner Worte eingesetzt werden kann. Dadurch kann die Dauer der Fixation beim Lesen reduziert werden und die Worterkennung wird rascher. Beim Fensterlesen wird jeweils nur das zu lesende Wort optisch hervorgehoben, während der Rest des Textes blass im Hintergrund bleibt. Das erleichtert den Blicksprung zum jeweils nächsten Wort und ermöglicht auch das Üben des Lesens über mehrere Zeilen sowie den effizienten Zeilensprung. Diese Lesetechnik kommt dem Textlesen am nächsten. Dieser Mix aus verschiedenen Methoden der Lesediagnostik und -therapie bei „visuellen“ Lesestörungen unter Einschluss der subjektiven Erfahrungen der Betroffenen wird in einem kürzlich erschienenen Überblicksartikels zur hemianopen Lesetherapie explizit empfohlen (Tol et al., 2024).

Wie in den anderen Modulen können auch im Read-Modul zahlreiche relevante Parameter wie die Geschwindigkeit, Größe der Buchstaben, Größe des Fensters (bei der Fließtext-Methode), Kontrast des Textes und Hintergrundes und die Länge der Übung vom/von der Therapeuten/in verändert werden, um das Trainingsniveau im Verlauf anzupassen. In den Ergebnissen werden relevante Parameter wie gelesene Worte pro Minute sowie Buchstaben pro Sekunde automatisch gespeichert und als Feedback direkt nach einer Leseübung am Bildschirm angezeigt. Insgesamt stehen aktuell etwa 80 Lesetexte mit ca. 100.000 Worten an Lesematerial zur Verfügung, welches ständig erweitert wird. Es kann darüber hinaus auch eigenes Lesematerial einfach in das Programm eingefügt werden. Das Lesetraining beginnt üblicherweise mit kurzen, hochfrequenten Worten, Zahlen, und kurzen Sätzen. Im Laufe der Übungen werden dann zunehmend längere Worte und auch komplexere Texte gelesen.

## Augenbewegungstraining ist Aufmerksamkeitstraining

Sakkadische Augenbewegungen sind sehr eng mit Aufmerksamkeitsleistungen im Gehirn gekoppelt, sie nutzen

teilweise gemeinsame neuronale Netzwerke (Parietal- und Frontallappen, Superior Colliculus (Corbetta et al., 1991, 1993, 1998). Auch langsame Augenfolgebewegungen (Pursuit) sind eng mit Aufmerksamkeitsprozessen verschaltet, da der Aufmerksamkeits-Fokus bei einer solchen Augenfolgebewegung typischerweise  $1.5^\circ$  vor dem verfolgten Zielreiz liegt (Chen, Valsecchi & Gegenfurtner, 2017). Das Gehirn muss also antizipieren, wohin sich der Zielreiz wahrscheinlich bewegen wird, da das Feedbacksignal aus der kurz zuvor durchgeführten Augen-Folgebewegung zu langsam ist, um rechtzeitig eine Korrektur der Folgebewegung zu ermöglichen. Daher sind Aufmerksamkeits- und exekutive Leistungen eng mit der Planung und kontinuierlichen Kontrolle der langsamen Augenfolgebewegungen verknüpft. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass Störungen der Augenbewegungen (Sakkaden, Folgebewegungen) auch fast immer mit Störungen der visuellen Aufmerksamkeit und der exekutiven Blickkontrolle verbunden sind. Letztere äußern sich deshalb oft auch in einer globalen Verlangsamung des Denkens, Problemen in der geteilten Aufmerksamkeit und einer insgesamt reduzierten Belastbarkeit. Eine verlangsamte visuelle Verarbeitungsgeschwindigkeit wiederum ist mit ausgeprägten kognitiven Problemen im Alltag verknüpft (Marrero-Polegre et al., 2023). Da Augenbewegungen und Aufmerksamkeit so eng gekoppelt sind, bietet das folglich auch eine gute Möglichkeit, über ein Training der Augenbewegungen direkt spezifische Aufmerksamkeitsprozesse sowie Exekutivleistungen mitzutrainieren.

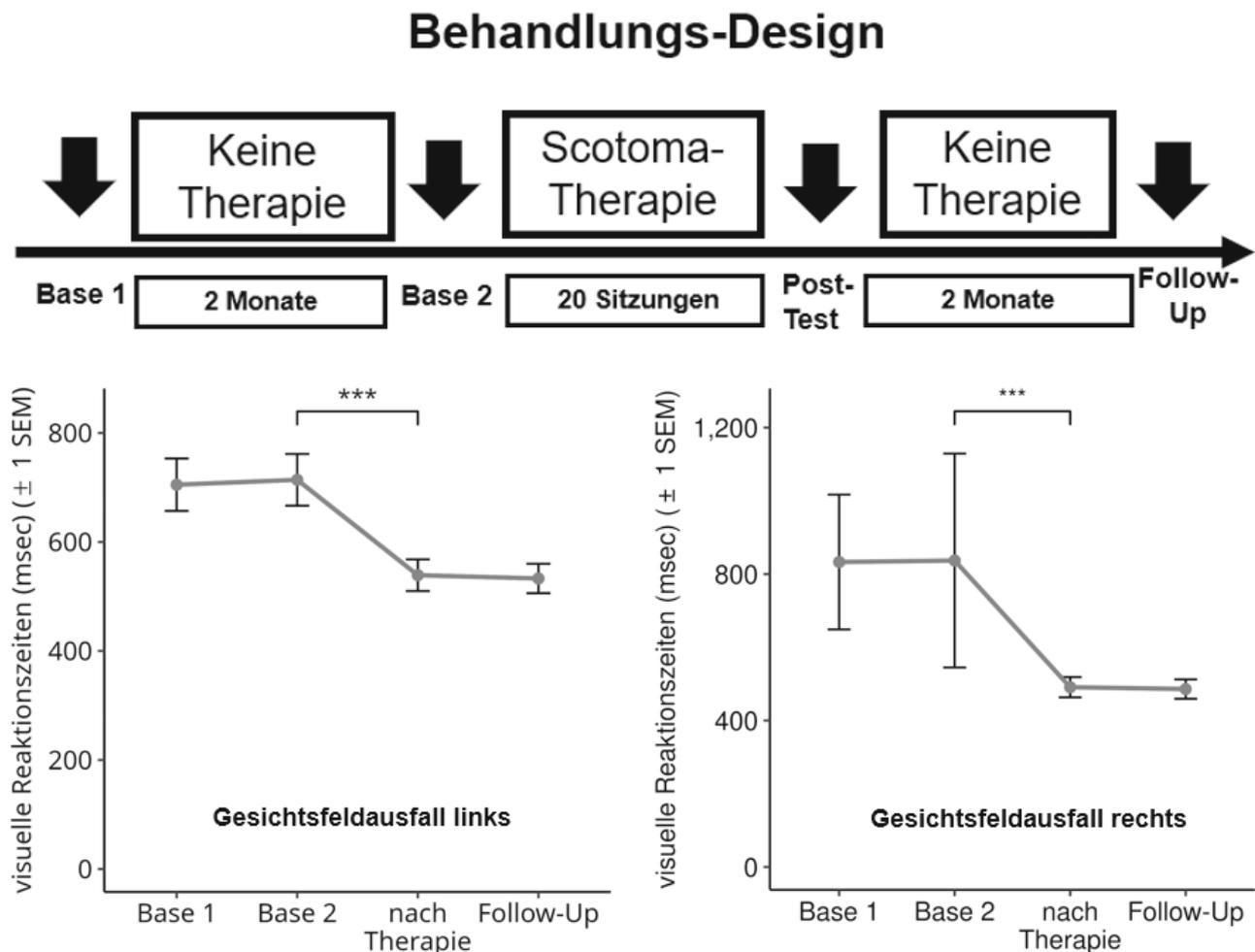
Trifft dies auch auf das Training mit dem NVT zu? Das haben wir bei 2 Stichproben von chronischen Patient\_innen mit homonymen Gesichtsfeldausfällen (linksseitig:  $N = 20$ ; rechtsseitig:  $N = 18$ ) untersucht. Diese beiden Gruppen erhielten über ca. 20 Behandlungs-Sitzungen ein Blickbewegungstraining mit dem Scotoma-Modul. Bevor das Training begann, wurden die sakkadischen Suchzeiten bei der Suche nach einem einzigen visuellen Zielreiz gemessen, der in einem der 4 Quadranten auftauchte (Untertest Sakkaden-Suchzeit aus dem EyeMove-Programm, Kerkhoff & Marquardt, 2009b), in einem behandlungsfreien Zeitraum von 2 Monaten mit Hilfe zweier Baseline-Messungen untersucht. Danach erfolgte das Training über einen mittleren Zeitraum von 2 Monaten (s. Abbildung oben). Dann erfolgte ein Post-Test nach der Therapie, sowie 2 Monate später ein Follow-Up-Test, um die Stabilität der im Training erzielten Verbesserungen zu überprüfen. Es wurden für jeden Messzeitpunkt die Suchzeiten über alle 4 Quadranten in der Suchaufgabe aus dem EyeMove-Programm gemittelt, was ein globales Maß für die sakkadische Suchgeschwindigkeit ergibt. Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse für beide Stichproben. Die mittlere sakkadische Reaktionszeit im Laufe des Scotoma-Trainings reduzierte sich um 24% (= 173 ms) bei den Patient\_innen mit linksseitiger Hemian-

opsie, und um 41% (= 346 ms) bei den Patient\_innen mit rechtsseitiger Hemianopsie. Dies ist ein klarer Indikator für eine raschere Reaktionsschnelligkeit oder bessere Alertness in Folge des Scotoma-Trainings. Alle erzielten Verbesserungen zeigten sich stabil bei einem Follow-Up nach 2 Monaten. Darüber hinaus zeigte sich auch eine Reduktion der Standardmessfehler für die Reaktionszeiten nach dem Training, was eine Abnahme der Variabilität der Reaktionszeit signalisiert. Anders formuliert: die Leistung erfolgte nach dem Training konstanter und schneller.

Insgesamt zeigen diese Ergebnisse, dass das NVT-Training mit dem Scotoma-Modul zu einer Verbesserung der Alertness, also einer signifikanten und stabilen Reduktion der visuellen Reaktionszeiten führt und damit auch ein sehr wirksames Aufmerksamkeitstraining ist.

## Standardisierte Trainingspläne für das Heimtraining vs. manuelles Training

Das Training kann in allen Modulen anhand standardisierter Trainingspläne erfolgen (s. Abb. 9, oben). Das bietet den Vorteil, dass das Training zu Hause weitestgehend ohne therapeutische Supervision erfolgen kann. So muss der/die Patient\_in zu Hause nicht lange überlegen, welche Aufgabe als nächstes geübt werden soll. Stattdessen führt das NVT automatisch durch die verschiedenen Übungen, und bietet auch immer eine kurze „Aufwärmphase“ vor jeder neuen Übung an (s. Abb. 9). Die Software übernimmt die Auswahl der geeigneten Übungen entlang vorgefertig-



**Abbildung 8.** Ergebnisse des Sakkaden-Trainings im Scotoma-Modul des NVT bei 2 Stichproben im Trainingsverlauf. 20 Patient\_Innen mit homonymem linksseitigem Gesichtsfeldausfall und 18 Patient\_Innen mit einem homonymen rechtsseitigen Gesichtsfeldausfall wurden über durchschnittlich 20 Sitzungen trainiert. Es kommt in beiden Stichproben zu einer deutlichen, statistisch signifikanten Reduktion der Reaktionszeit (bzw. Suchzeit, Wilcoxon-Tests,  $p < .001$  zweiseitig), und zwar unabhängig davon, ob der Zielreiz im blinden oder intakten Sehbereich gesucht werden sollte (Poschenrieder & Kerkhoff, in Vorbereitung).

ter Trainingspläne, die auf dem verfügbaren Expertenwissen zu diesen Störungen beruht („clinical pathways“ (Kerkhoff, Rode & Clark, 2021). So können auch Behandler\_innen ohne ausgewiesene spezialisierte Fachexpertise im Bereich der neurovisuellen Störungen das visuelle Training effizient begleiten. Erforderlich ist dann vor allem eine sorgfältige Eingangsdiagnostik/ Verlaufsdagnostik und die Vermittlung der Strategie das Training ohne Kopfspondern mit Augenbewegungen in korrektem Bildschirmabstand durchzuführen. Mithilfe des implementierten, KI-

basierten Ansatzes werden dann Übungen mit geringerem Fortschritt automatisch häufiger trainiert, so dass die Übungszeit optimal eingesetzt wird.

Andererseits bietet das NVT erfahrenen Therapeut\_innen auch die Möglichkeit den Trainingsplan zu individualisieren und ein gemischtes/spezifisches Training (Kombination aus Heim- und Praxistraining), evtl. auch unter Benutzung einer Projektion des Bildschirms auf eine große Lein-/Wand per Beamer anzubieten. Dies bietet dann weitere Vorteile, wie etwa die Anbindung an die Visuomotorik,

## Training mit Trainingsplan



## Manuelles Training

The 'Manuelles Training' interface shows a 'Modulauswahl' section with a list of exercises:

- Xtinction-Test**: Zur Bestimmung der Leistung beim Extinktionstraining.
- Xtinction-Training**: Trainiert das Multitasking beim Sehen.
- Pursuit-Test**: Zur Bestimmung der Leistung beim Pursuit-Training
- Pursuit-Training**: Trainiert das Verfolgen bewegter Objekte mit den Augen.
- Fenster-Lesen (moving window) [BETA]**: Trainiert die Blickmechanik beim Lesen eines Fließtexts.

Below the list, there are two checked options:

- Fixationskruz verschwindet**: Das Fixationskruz in der Mitte kann während der Darstellung der Zeichen entweder verschwinden oder dauerhaft sichtbar sein.
- Zeitverzögerung des zweiten Objekts**: Um das erkennen zweier simultaner Reize zu üben, können die beiden Objekte mit einer Zeitverzögerung dargestellt werden, die mit steigender Schwierigkeit zunehmend kürzer wird.

A 'Weiter' button is located at the bottom.

**Abbildung 9.** Übersicht über das Training mit festem Trainingsplan (oben, Abfolge von links nach rechts) sowie über das Manuelle Training (unten) mit freier Auswahl der verschiedenen Tests und Übungen (aus Platzgründen sind nicht alle Übungen dargestellt) im Neuro-Vision-Training (NVT; näheres im Text).

worauf im Beitrag über das Anti-Extinktions-Training im kommenden Sonderheft der Zeitschrift für Neuropsychologie genauer eingegangen wird (Poschenrieder & Kerkhoff, 2024a).

Durch die Software können die Daten der Patient\_innen aus dem Heim- und Praxis-Training miteinander verknüpft werden. Auf diese Weise können die Therapeut\_innen den Übungsverlauf und die Ergebnisse online verfolgen, ohne dass der/die Patient\_in in der Praxis anwesend sein muss. Zahlreiche wissenschaftliche Studien zeigen, dass sich explorative Augenbewegungen wirksam (zu Hause) trainieren lassen (Aimola et al., 2014), sofern die Betroffenen regelmäßig üben. Dann reduzieren sich meist auch die eingangs erwähnten subjektiven Alltagsprobleme (s. Abb. 1), und die Belastbarkeit in der Ausübung wichtiger visueller Alltagsfähigkeiten wie Lesen, Schauen und zwei oder mehrere visuelle Reize rasch zu erfassen verbessert sich ebenfalls. Dadurch kann auch der Fatigue bei den verschiedenen neurovisuellen Störungen (s. Abb. 1) entgegengewirkt werden. Das NVT bietet hierzu die Möglichkeit, Augenbewegungen und Aufmerksamkeitsleistungen bequem online zu Hause oder in einer Praxis/Klinik zu trainieren. Unsere Erfahrungen zeigen ganz deutlich: häufigeres Training führt zu größeren Verbesserungen (Kerkhoff & Kraft, 2024a). Deshalb ist es so wichtig, dass das Training hochfrequent erfolgt – am besten in der Klinik/Ambulanz/Praxis und simultan zu Hause.

## Diskussion und Ausblick

Für die Zukunft des NVTs sind Normierungen der Testverfahren geplant bzw. schon in Arbeit. Die Normwerte sollen in das Programm integriert werden, damit in den Ergebnisreports für die Nutzer\_innen leicht erkennbar ist, welche Leistung normal oder auffällig ist. Es ist auch beabsichtigt, diese Ergebnis-Reports aus dem NVT exportierbar zu machen, so dass sie einfach per Mausclick in die Patientenakte oder einen aktuellen Befund eingefügt werden können. Auch ist die Implementierung weiterer Testverfahren in das Programm geplant, etwa im Bereich Neglect. So könnten Fachpersonen oder Betroffene selbst auf der Website Kurzttests durchführen, die das NVT dann automatisch auswertet. Für das Modul Scotoma wurde ebenfalls eine Therapiestudie durchgeführt, die in Kürze publiziert wird. Und für das Pursuit-Modul sind ebenfalls (wie bereits für das Lese- und Extinktions-Modul) klinische Studien/Therapiestudien geplant oder schon abgeschlossen. Die entsprechenden Ergebnisse könnten in einem weiteren Themenheft der Zeitschrift für Neuropsychologie 2025 publiziert werden. Auch sollte überprüft werden, wie wirksam ein reines Heimtraining mit dem NVT ist, und wie wirksam das NVT in der

Akutphase ist. Perspektivisch ist geplant aus dem NVT ein Heimtraining analog einer DIGA zu entwickeln.

In unserer relativ rasch alternden Gesellschaft könnte das NVT auch als *präventives* Verfahren zur Sturzprophylaxe der immer zahlreicher werdenden Älteren eingesetzt werden. Studien zeigen (Ball et al., 1988), dass das konzentrisch kleiner werdende funktionale Gesichtsfeld durch ein Training der Blickbewegungen wieder erweitert werden kann. Dies könnte auch bei diagnostizierten Alzheimer-Demenzen zur Verbesserung der visuellen Exploration im Alltag und damit zur Verlangsamung des Krankheitsgeschehens eingesetzt werden.

## Literatur

- Aimola, L., Lane, A.R., Smith, D.T., Kerkhoff, G., Ford, G.A. & Schenk, T. (2014). Efficacy and feasibility of home-based training for individuals with homonymous visual field defects. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 28(3), 207–218. <https://doi.org/10.1177/1545968313503219>
- Archibald, N.K., Clarke, M.P., Mosimann, U.P. & Burn, D.J. (2011). Visual symptoms in Parkinson's disease and Parkinson's disease dementia. *Movement Disorders*, 26(13), 2387–2395. <https://doi.org/10.1002/mds.23891>
- Ball, K., Beard, B.L., Roenker, D.L., Miller, R.L. & Griggs, D.S. (1988). Age and visual search: expanding the useful field of view. *Journal of the Optical Society of America*, 12, 2210–2219. <https://opg.optica.org/josaa/abstract.cfm?uri=josaa-5-12-2210>
- Berlit, P. (2020). *Klinische Neurologie* (4th ed.). Heidelberg: Springer.
- Berthold Lindstedt, M., Johansson, J., Ygge, J. & Borg, K. (2019). Vision-related symptoms after acquired brain injury and the association with mental fatigue, anxiety and depression. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 51(7), 499–505. <https://doi.org/10.2340/16501977-2570>
- Bonnen, K., Matthis, J.S., Gibaldi, A., Banks, M.S., Levi, D.M. & Hayhoe, M. (2021). Binocular vision and the control of foot placement during walking in natural terrain. *Scientific Reports*, 11(1), 20881. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99846-0>
- Chen, J., Valsecchi, M. & Gegenfurtner, K.R. (2017). Attention is allocated closely ahead of the target during smooth pursuit eye movements: Evidence from EEG frequency tagging. *Neuropsychologia*, 102, 206–216. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.06.024>
- Corbetta, M., Akbudak, E., Conturo, T.E., Snyder, A.Z., Ollinger, J.M., Drury, H.A.... Shulman, G.L. (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron*, 21(4), 761–773. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)80593-0](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)80593-0)
- Corbetta, M., Miezin, F.M., Dobmeyer, S., Shulman, G.L. & Petersen, S.E. (1991). Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color, and speed: Functional anatomy by positron emission tomography. *Journal of Neuroscience*, 11, 2383–2402.
- Corbetta, M., Miezin, F.M., Shulman, G.L. & Petersen, S.E. (1993). A PET study of visuospatial attention. *Journal of Neuroscience*, 13, 1202–1226.
- Foulsham, T. (2015). Eye movements and their functions in everyday tasks. *Eye (Lond)*, 29(2), 196–199. <https://doi.org/10.1038/eye.2014.275>

- Frohman, E.M., Frohman, T.C., Zee, D.S., McColl, R. & Galetta, S. (2005). The neuro-ophthalmology of multiple sclerosis. *Lancet Neurology*, 4(2), 111–121. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(05\)00992-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(05)00992-0)
- Gur, S. & Ron, S. (1992). Training in oculomotor tracking: occupational health aspects. *Israel Journal of Medical Science*, 28, 622–628.
- Hayhoe, M. & Ballard, D. (2005). Eye movements in natural behavior. *Trends in Cognitive Science*, 9(4), 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.02.009>
- Heitger, M.H., Jones, R.D., Macleod, A.D., Snell, D.L., Frampton, C.M. & Anderson, T.J. (2009). Impaired eye movements in post-concussion syndrome indicate suboptimal brain function beyond the influence of depression, malingering or intellectual ability. *Brain*, 132(Pt 10), 2850–2870. <https://doi.org/10.1093/brain/awp181>
- Kerkhoff, G. (2000). Neurovisual rehabilitation: recent developments and future directions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 68, 691–706.
- Kerkhoff, G. (2021). Successful return to professional work after neglect, extinction, and spatial misperception: Three long-term case studies. *Neuropsychological Rehabilitation*, 31(6), 837–862. <https://doi.org/10.1080/09602011.2020.1738248>
- Kerkhoff, G. & Kraft, A. (2024a). The effects of a novel treatment for hemianopic dyslexia on reading, symptom load, and return to work. *Brain Sciences*, 14. <https://doi.org/10.3390/brainsci14030259>
- Kerkhoff, G. & Kraft, A. (2024b). Neurovisuelle Neurorehabilitation: ein Update. In T. Platz (Hrsg.), *Update Neurorehabilitation*. Bad Honnef: Hippokampus Verlag.
- Kerkhoff, G. & Marquardt, C. (2009a). Erworbene, visuell bedingte Lesestörungen. Standardisierte Diagnostik und Therapie mit READ. *Nervenarzt*, 80, 1424–1439. <https://doi.org/10.1007/s00115-009-2723-3>
- Kerkhoff, G. & Marquardt, C. (2009b). EYEMOVE – Standardisierte Analyse und Therapie visueller Explorationsstörungen. *Nervenarzt*, 80, 1192–1204. <https://doi.org/10.1007/s00115-009-2811-4>
- Kerkhoff, G., Rode, G. & Clark, S. (2021). Treating neurovisual deficits and spatial neglect. In T. Platz (Ed.), *Clinical pathways in neurorehabilitation* (pp. 191–217). Heidelberg: Springer.
- Kraft, A., Grimsen, C., Kehrler, S., Bahnemann, M., Spang, K., Prass, M., Brandt, S.A. (2014). Neurological and neuropsychological characteristics of occipital, occipito-temporal and occipito-parietal infarction. *Cortex*, 56, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.10.004>
- Kwon, S., Fahrenthold, B.K., Cavanaugh, M.R., Huxlin, K.R., Mitchell, J.F. & Sperling, M. (2022). Perceptual restoration fails to recover unconscious processing for smooth eye movements after occipital stroke. *Elife*, 11. <https://doi.org/10.7554/eLife.67573>
- Leigh, R. & Zee, D.S. (2015). *The neurology of eye movements*. Oxford: Oxford University Press.
- Lekwuwa, G.U. & Barnes, G.R. (1996a). Cerebral control of eye movements. I: The relationship between cerebral lesion sites and smooth pursuit deficits. *Brain*, 119, 473–490.
- Lekwuwa, G.U. & Barnes, G.R. (1996b). Cerebral control of eye movements. II: Timing of anticipatory eye movements, predictive pursuit and phase errors in focal cerebral lesions. *Brain*, 119, 491–505.
- Maia da Silva, M.N., Millington, R.S., Bridge, H., James-Galton, M. & Plant, G.T. (2017). Visual dysfunction in posterior cortical atrophy. *Frontiers in Neurology*, 8, 389. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00389>
- Marrero-Polegre, D., Finke, K., Roaschio, N., Haupt, M., Reyes-Moreno, C. & Ruiz-Rizzo, A.L. (2023). Lower visual processing speed relates to greater subjective cognitive complaints in community-dwelling healthy older adults. *Frontiers in Psychiatry*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2023.1063151>
- Mendez, M.F., Mendez, M.A., Martin, R.N., Smyth, K.A. & Whitehouse, P.J. (1990). Complex visual disturbances in Alzheimer's disease. *Neurology*, 40, 439–443.
- Mendez, M.F., Tomsak, R.L. & Remler, B. (1990). Disorders of the visual system in Alzheimer's disease. *Journal of Clinical Neuro-Ophthalmology*, 10(1), 62–69.
- Neumann, G., Schaadt, A.K., Reinhart, S. & Kerkhoff, G. (2016). Clinical and psychometric evaluations of the Cerebral Vision Screening Questionnaire in 461 nonaphasic individuals post-stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 30(3), 187–198. <https://doi.org/10.1177/1545968315585355>
- NICE Clinical Guidelines, No. 103 (2023). *Delirium: prevention, diagnosis and management in hospital and long-term care*. London: National Institute for Health and Care Excellence (NICE).
- Oppenheim, H. (1885). Ueber eine durch eine klinisch bisher nicht verwerthete Untersuchungsmethode ermittelte Form der Sensibilitätsstörung bei einseitigen Erkrankungen des Grosshirns. *Neurologisches Centralblatt*, 4, 529–533.
- Poschenrieder, J. & Kerkhoff, G. (2024a). Anti-Extinktions-Training mit dem NVT: Eine neue Therapie der Visuellen Extinktion. *Zeitschrift für Neuropsychologie, im Druck*.
- Poschenrieder, J. & Kerkhoff, G. (2024b). NVT-Read: Eine neue (Online)-Therapie für Patient\_innen mit hemianoper Lesestörung. *Zeitschrift für Neuropsychologie, im Druck*.
- Reinhart, S., Höfer, B. & Kerkhoff, G. (2013a). Visuell bedingte Lesestörungen nach erworbener Hirnschädigung: Therapie. *Sprache-Stimme-Gehör*, 37, 105–111. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1321842>
- Reinhart, S., Höfer, B. & Kerkhoff, G. (2013b). Visuell bedingte Lesestörungen nach Hirnschädigung: Klinik und Anamnese. *Sprache-Stimme-Gehör*, 37, 46–53. <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1321915>
- Rowe, F., Brand, D., Jackson, C.A., Price, A. & Walker, L. (2009). Visual impairment following stroke: Do stroke patients require vision assessment? *Age Ageing*, 38, 188–193.
- Schaadt, A.K. & Kerkhoff, G. (2014). Vision and visual processing deficits. In M. Husain & J. Schott (Eds.), *Oxford Handbook of Cognitive Neurology and Dementia*, S. 147–159. Oxford: Oxford University Press.
- Sekuler, A.B., Bennett, P.J. & Mamelak, M. (2000). Effects of aging on the useful field of view. *Experimental Aging Research*, 26(2), 103–120. <https://doi.org/10.1080/036107300243588>
- Spang, K., Grimsen, C., Prass, M., Brunner, F., Kohnlein, M., Kehrler, S., Fahle, M. (2021). Midlevel visual deficits after strokes involving area human V4. *Cortex*, 134, 207–222. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.06.006>
- Suchoff, I.B., Kapoor, N., Ciuffreda, K.J., Rutner, D., Han, E. & Craig, S.C. (2008). The frequency of occurrence, types, and characteristics of visual field defects in acquired brain injury: A retrospective analysis. *Optometry*, 79, 259–265. <http://dx.doi.org/10.1016/j.optm.2007.10.012>
- Ventura, R.E., Balcer, L.J. & Galetta, S.L. (2014). The neuro-ophthalmology of head trauma. *Lancet Neurology*, 13(10), 1006–1016. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70111-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70111-5)

## Historie

Manuskript eingereicht: 13. Mai 2024

Manuskript akzeptiert: 4. Juni 2024

## Autorenschaften

Systemanforderungen für die Benutzung des NVT-Programms: Windows-PC, 64-bit-Prozessor mit i3–i5, x86Chipset, mind. 4

Threads, mind. 4 GB Arbeitsspeicher, HD-Bildschirm (1080×720 Pixel oder Full HD (1920×1080 Pixel), mind. 19 Zoll groß, sowie ein Internetanschluss: mind. 16 Mbit/s. Kein Fernseher, da Bildwiederholrate zu langsam. Mehr Informationen zum NVT-Programm: <https://neuro-vision-training.com>.

Dieser Beitrag hat die Grundlagen des NVT-Systems dargestellt. In den folgenden zwei Beiträgen wird auf die Therapie der Hemianopen-Lesestörung mit dem NVT (Poschenrieder & Kerkhoff, 2024b) sowie die Therapie des Restneglects durch das Anti-Extinktions-Training mit dem NVT eingegangen (Poschenrieder & Kerkhoff, 2024a).

#### **Interessenkonflikt**

Julian Poschenrieder ist geschäftsführender Gesellschafter der NVISIONIC UG (haftungsbeschränkt), die das Programm Neuro-Vision-Trainings (NVT) entwickelt und vertreibt. Trotz des möglichen Interessenkonfliktes ist der Beitrag unabhängig und produktneutral.

#### **Förderung**

Open-Access-Veröffentlichung ermöglicht durch die Universität des Saarlandes.

#### **ORCID**

Julian Poschenrieder

 <https://orcid.org/0009-0004-5948-3892>

#### **Georg Kerkhoff, Prof. Dr. phil.**

Klinische Neuropsychologie & Neuropsychologische  
Universitätsambulanz

Gebäude A.1.3

Universität des Saarlandes

66123 Saarbrücken

Deutschland

[kerkhoff@mx.uni-saarland.de](mailto:kerkhoff@mx.uni-saarland.de)