

Kognitive neuro-visuelle Rehabilitation und Fahrtüchtigkeit II: Fahr Simulator-Untersuchungen vor und nach Training

W. H. Zangemeister, A. Becker, H. Hökendorf¹
Neurologische Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf
¹*Neurologische Klinik, REHA-Zentrum Soltau*

Zusammenfassung

Der zweite Teil des Artikels zur kognitiven neuro-visuellen Rehabilitation gibt einen Überblick über die Ergebnisse des Trainings von neurologischen Patienten am Fahr Simulator der Neurologischen Klinik am REHA-Zentrum Soltau aus den vergangenen 10 Jahren. Dabei fällt auf, daß nicht wenige Patienten bei deutlich unterdurchschnittlichen Labortestergebnissen, einschließlich der Tests am Übungs-Pkw, in der praktischen Fahrprobe unauffällig oder sogar gut bewertet wurden. Einige mögliche Ursachen hierfür könnten sein:

- Die Tests messen weitgehend etwas anderes, als beim Fahren im Straßenverkehr gefordert wird.
- Die Tests messen zwar fahrrelevante Fähigkeiten (z. B. Reaktionsschnelligkeit), diese werden beim praktischen Fahren aber nur selten in gleicher Art wie in der Testsituation abgerufen.
- Die für das Fahren notwendigen Bewegungsabläufe bleiben trotz Einschränkung in bestimmten Leistungsreichen erhalten.
- Die Personen konnten die in der Testsituation festgestellten Defizite beim praktischen Fahren kompensieren.

Solange keine Tests verfügbar sind, die hoch mit der Fahrprobe korrelieren und sich bei der Vorhersage der Fahrtauglichkeit bewährt haben, werfen solche Diskrepanzen Probleme bei der Bewertung der Fahrtauglichkeit auf. Es sollte daher die Frage beantwortet werden, ob das mit den Tests festgestellte Defizit überhaupt für das praktische Fahren relevant ist und inwieweit es kompensiert werden kann.

Der Rehabilitationserfolg in beiden Gruppen findet sein neuropsychologisch-neurophysiologisches Korrelat in einer Integration und Reorganisation extrastriärer High-Level-Information. Es ist somit von besonderem Stellenwert, diese kognitiven Aspekte des menschlichen Sehens bei der Rehabilitation von hemianopischen Patienten durch ein spezielles Trainingsprogramm zu berücksichtigen.

Schlüsselwörter: Hemianopsie, Fahrtüchtigkeit, simulierte und tatsächliche Fahrtests, neurovisuelle Rehabilitation, Scanpath Theorie

Cognitive neuro-visual rehabilitation and driving ability II

W. H. Zangemeister, A. Becker, H. Hökendorf

Abstract

In the second part, we report the results of ten years of training experience with neurological patients using the car driving simulator used at the neurological rehabilitation clinic at the REHA-Center Soltau. Our results showed that although the patients showed distinct deficits in the laboratory tests they were able to perform very well in the driving test. This discrepancy demonstrates that we have to develop lab tests that are really relevant for testing driving abilities and record more accurately the true driving capabilities of the patients, such that they correlate with each other.

The results of both groups clearly show, despite a long latency between the time of lesion and the begin of training, that there was a significant success of rehabilitation. This finds its neuropsychological-neurophysiological correlation in a facilitated mobilisation of information, integration and reorganisation of extrastriatal high level information. This information transmits quickly through a complex parallel signal processing into a striatal visual buffer. We called this processing a quick fill of visual buffer. Once inside this visual buffer, the located attention window seems widely open after the training, as an expression of the subjective enlargement of interest through stimulation of the associative cortex. After the training, there was a strong top down component during viewing the picture, that was in contrast to the maladapted bottom up component before training. It is particularly significant that these cognitive aspects of human vision in the rehabilitation of hemianopic patients will be considered in a special training.

Key words: hemianopia, driving ability, simulated and real driving tests, neuro-visual rehabilitation, scanpath theory

Neurol Rehabil 2002; 8 (5): 247-255

Einleitung

Folgende Fragestellungen der Untersuchung am *Test- und Übungs-Pkw für Behinderte am Reha-Zentrum Soltau* bezüglich der Fahrtauglichkeit von Patienten mit Hirnschädigungen und anderen neurologischen Störungen wurden untersucht:

1. Hat ein Training an einem stehenden Übungs-Pkw einen Effekt auf die Verbesserung der Fahrtauglichkeit?
2. Kann durch Tests am stehenden Übungs-Pkw die Fahrtauglichkeit diagnostiziert werden?

Hierzu wurden eigene Tests und Trainingsprogramme für den Übungs-Pkw entwickelt. Die im folgenden dargestellten Test- und Trainingsergebnisse sind auf diese Tests und Trainingsprogramme zu beziehen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß sich bei Veränderung der Tests und Trainingsprogramme andere Ergebnisse erzielen lassen.

Methodik

Eingangstestuntersuchungen

Der Übungs-Pkw: Der Übungs-Pkw ist ein serienmäßiger Pkw in der Ausführung für Automatikgetriebe, im konkreten Fall jedoch ohne Motor und Getriebe. Lenk-, Gas- und Bremsbewegungen sind möglich. Beim Gasgeben wird das Ausmaß, in dem das Gaspedal durchgetreten wird, über den Ausschlag des Tachozeigers angezeigt. Das Gaspedal kann nach links verlegt werden, wenn das wegen Hemiparese (Halbseitenlähmung) rechts erforderlich ist. Das Lenkrad ist mit Lenkraddrehknäufen ausgerüstet. Vor dem Pkw befinden sich eine Ampel und eine ca. 4,5 m breite Projektionswand für Dias mit Verkehrssituationen oder Verkehrszeichen. Die Darbietung dieser Signale wird von einem PC gesteuert.

Der Proband muß auf die Signale mit bestimmten Lenk-, Gas- und Bremsbewegungen reagieren. Die Reaktionszeiten zwischen Erscheinen des Signals und Reaktion werden mit einem PC gemessen und auf dem Bildschirm angezeigt. Nach einem Test- oder Trainingsdurchgang können die gemessenen Reaktionszeiten ausgedruckt werden.

Tests am Übungs-Pkw: Zur Messung der Reaktionszeiten bei Lenk-, Gas- und Bremsbewegungen am Übungs-Pkw wurden folgende Tests entwickelt:

- VIS 1 (Einfachreaktionen auf visuellen Reiz): Der Proband soll so viel Gas geben, daß der Tachozeiger auf 50 km/h zeigt. Beim Aufleuchten des roten Ampelsignals soll der Proband so schnell wie möglich bremsen und nach Erlöschen des Signals wieder so viel Gas geben, daß der Tacho auf 50 km/h zeigt. Die Zeit zwischen Aufleuchten des Signals und dem Lösen des Fußes vom Gaspedal wird als Gaszeit, die Zeit zwischen Aufleuchten des Signals und Betätigen der Bremse als Bremszeit gemessen.
- AUDI (Einfachreaktionen auf auditiven Reiz): Auf das akustische Signal eines vom PC erzeugten Tones soll der Proband so schnell wie möglich eine halbe Lenkradum-

drehung (180°) machen und danach wieder geradeaus lenken. Die Lenkradumdrehung soll abwechselnd nach rechts und links durchgeführt werden. Die Zeit zwischen Ertönen des Signals und Lenkreaktion wird als Lenkzeit gemessen.

- VIS 2 (Zusammengesetzte Reaktionen auf visuellen Reiz): Der Proband soll das Gaspedal ganz durchtreten (»Vollgas« geben). Dabei zeigt der Tacho eine Geschwindigkeit von ca. 130 km/h an. Beim Aufleuchten des roten Ampelsignals soll der Proband so schnell wie möglich bremsen und gleichzeitig eine halbe Lenkradumdrehung durchführen. Danach soll er wieder »Vollgas« geben und geradeaus lenken. Die Lenkbewegungen sollen abwechselnd nach rechts und links durchgeführt werden. Gemessen werden Lenkzeit, Gaszeit und Bremszeit.
- WR (Mehrfach-Wahlreaktionen auf visuelle Reize): Hierbei werden die Reaktionszeiten auf unterschiedliche visuelle Signale gemessen. Der Proband soll »Vollgas« geben (s. unter VIS 2) und geradeaus lenken. Beim Aufleuchten des roten Ampelsignals soll er so rasch wie möglich bremsen. Bei diesem Test leuchtet die Ampel auch gelb und grün auf. Bei Grün soll der Proband jeweils wieder Vollgas geben, auf Gelb soll er nicht reagieren. Bei der Projektion eines Fahrtrichtungszeichens, auf dem ein Pfeil entweder nach rechts oder links zeigt, soll der Proband jeweils eine halbe Lenkradumdrehung in die entsprechende Richtung durchführen. Das Fahrtrichtungszeichen wird ohne regelmäßige Abfolge in das linke, mittlere oder rechte Blickfeld des Probanden projiziert. Wenn die Ampel »Rot« zeigt und gleichzeitig ein Fahrtrichtungspfeil eingeblendet wird, soll der Proband, wie beim VIS 2, gleichzeitig bremsen und lenken. Nach jeder Reaktion soll wieder die Ausgangsposition (»Vollgas« und Lenkrad geradeaus) eingenommen werden. Gemessen werden Lenkzeiten, Gaszeiten, Bremszeiten, Anzahl der Auslassungen und Anzahl der Fehlreaktionen. Als Fehlreaktionen werden leider nur Bremsen bei Grün oder Gelb und Lenken ohne Fahrtrichtungspfeil, nicht aber das Lenken in eine falsche Richtung erfaßt.

Die Tests am Übungs-Pkw wurden an 105 erwachsenen Personen aus Soltau und Umgebung normiert. Die Personen sollten im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis der Kl. III sein. Darüber hinaus bestanden keine Ausschlusskriterien. Personen mit Lähmungen oder Amputationen waren nicht darunter. Das Durchschnittsalter der Frauen in der Normstichprobe betrug 39,2, das der Männer 45,6 Jahre.

Das Aufmerksamkeitsprüfgerät (APG): Das Aufmerksamkeitsprüfgerät (nach A. Müller) besteht aus einem zentralen und zwei peripheren Reizfeldern mit Lämpchen und einer Reaktionstaste für den Probanden. Zur Überprüfung des Gesichtsfeldes und der Verarbeitungsgeschwindigkeit komplexer visueller Reize wurde ein Nachbau des Aufmerksamkeits-Prüfgerätes auf einer Wandtafel mit zwei seitlich schwenkbaren Flügeln installiert. Die Lampen auf der Tafel umfassen ein Rechteck mit den Maßen von insgesamt 2,8 m x 0,95 m.

Bei den Test- und Trainingsdurchgängen saßen die Probanden in einem solchen Abstand von der Tafel, daß die Lampen horizontal unter einem Blickwinkel von ca. 120° erfaßt wurden.

Tests am APG

APG 1 (Gesichtsfeldüberprüfung): Mit diesem Test sollen Ausfälle des Gesichtsfeldes erkannt werden. Es leuchten jeweils einzelne Lampen auf. Die Leuchtdauer beträgt jeweils 1 Sekunde. Der Proband soll einen Knopf drücken, sobald er das Aufleuchten einer Lampe bemerkt. Den ganzen Test hindurch hat er seine Augen auf einen Punkt in der Mitte der Tafel zu fixieren. Eine Kinnstütze erleichtert es, den Kopf ruhig zu halten, und garantiert bei allen Probanden einen gleichen Abstand von der Tafel. Wiederholte Reaktionen oder Reaktionen zwischen den Leuchtzeiten werden als Fehlreaktionen registriert. Der Test wird im Hellichten durchgeführt. Die PC-gesteuerte Auswertung liefert folgende Ergebnisse: Reaktionszeiten, Anzahl der richtigen und falschen Reaktionen und eine Skizze der Tafel mit Bezeichnung der Lampen, auf die reagiert oder nicht reagiert wurde.

APG 2 (Verarbeitung komplexer visueller Reize): Auf der Tafel leuchten stets mehrere Lampen gleichzeitig auf. Immer dann, wenn vier der leuchtenden Lampen ein Quadrat bilden, soll der Proband einen Knopf drücken. Zwischendurch leuchten am unteren Rande der Tafel eine rote, grüne oder gelbe Lampe auf. Immer wenn die untere rote Lampe aufleuchtet, soll der Proband ebenfalls auf den Knopf drücken. Die Leuchtdauer beträgt jeweils 3 Sekunden. Die Reaktionen werden vom PC in den ersten beiden Sekunden der Leuchtzeit als richtig registriert. Wiederholte Reaktionen während der ersten beiden Sekunden einer Leuchtsequenz, Reaktionen in der 3. Leuchtsekunde oder zwischen den Leuchtzeiten werden als Fehlreaktionen gewertet. Der Test wird im Dunkeln durchgeführt. Die PC-gesteuerte Auswertung liefert folgende Meßergebnisse: Reaktionszeiten, Anzahl der richtigen Reaktionen auf die Quadrate, Anzahl der richtigen Reaktionen auf die untere rote Lampe und Anzahl der Fehlreaktionen.

Weitere psycho-physische Leistungstests

Zusätzlich zu den beschriebenen Tests am Übungs-Pkw und am Aufmerksamkeits-Prüfgerät wurden folgende Tests als Eingangstests durchgeführt:

- D2 (Aufmerksamkeits-Belastungstest nach *Brickenkamp*): Kurzzeitige Aufmerksamkeitsanspannung beim Erkennen und Differenzieren von Kleindetails. Der Proband muß unter Zeitdruck die Kleinbuchstaben »d« und »p«, die jeweils mit 1 bis 4 kleinen Strichen versehen sind, erkennen und differenzieren. Bewertet werden das Arbeitstempo und die Arbeitssorgfalt.
- RG2 (Wiener Reaktionsgerät II): Reaktionszeiten bei einfachen Reaktionen und Wahlreaktionen auf visuelle

und auditive Reize. Die Messung der Reaktionszeiten besteht aus vier Durchgängen. Der Proband muß auf unterschiedliche Signale hin (gelbes Licht, Ton, gelbes Licht und Ton) möglichst rasch einen Knopf drücken. Bei den Wahlreaktionsaufgaben muß er dabei andere Signale oder Signalkombinationen ignorieren. Beim 4. Durchgang muß der Proband mit dem Finger eine Distanz von ca. 10 cm bis zum Knopfdruck überbrücken. Bei den Durchgängen 1 bis 3 werden die mittleren Reaktionszeiten berechnet, bei dem 4. Durchgang Entscheidungszeit, motorische Zeit und Reaktionszeit. In die Berechnungen der vorliegenden Studie gingen nur die Ergebnisse des 4. Durchganges ein.

- Vigilanz-Test: Daueraufmerksamkeit unter monotonen Bedingungen über eine Zeitdauer von 25 Minuten. Der Proband muß auf dem Bildschirm einen Punkt, der sich in Sprüngen auf einer Kreisbahn bewegt, beobachten. Immer wenn ein Sprung doppelt so groß ist, muß er eine Taste drücken. Gemessen werden die Anzahl der richtigen Reaktionen, der Auslassungen und der Fehlreaktionen sowie die mittlere Reaktionszeit.
- WDG 1 (Wiener Determinationsgerät, Subtest 1): Reaktionszeiten und Reaktionsgüte bei Mehrfach-Wahlreaktionen auf visuelle und auditive Reize. Der Subtest 1 am WDG ist ein Aktionsversuch. Der Proband bestimmt durch seine eigene Reaktion, wann der nächste Signalreiz erscheint. Als Reize erscheinen verschiedenfarbige Lämpchen und ein Ton. Der Proband muß darauf mit dem Drücken verschiedener Knöpfe und dem Treten zweier Pedale reagieren. Als Ergebnis werden die Anzahl der richtigen und der falschen Reaktionen innerhalb eines vorgegebenen Zeitraumes berechnet.
- TAVT (Tachistoskopischer Auffassungs-Verkehrstest): Visuelle Auffassungsgeschwindigkeit und Auffassungsumfang bei der kurzzeitigen Darbietung von Verkehrssituationen. Es werden ca. 20 Dias für jeweils 0,9 Sekunden dargeboten. Auf den Dias sind verschiedene Verkehrssituationen abgebildet. Die Aufgabe besteht darin, im Anschluß an jedes Dia auf einem Bogen einzuschätzen, welche verkehrsrelevanten Merkmale auf dem Dia zu sehen waren. Dabei gibt es die fünf Kategorien Fußgänger/Kinder, Kraftwagen, Radfahrer/Motorräder/Mopeds, Verkehrszeichen und Verkehrsampeln. Gewertet werden die Anzahl der Auslassungs- und Ergänzungsfehler.
- LVT (Linien-Verfolgungs-Test): Visuelle selektive Konzentration und Orientierung beim Verfolgen sich überschneidender Linien. Nacheinander werden 10 Dias mit verschlungenen Linien dargeboten. Die Linien haben als Anfangspunkt einen Buchstaben, als Endpunkt eine Zahl. Die Aufgabe besteht darin, den Linien mit den Augen zu folgen und anzugeben, welche Endzahl zu welchem Anfangsbuchstaben gehört. Gewertet wird die Anzahl der richtigen Zuordnungen.

Die Fahrprobe

Für die Fahrprobe wurden drei alternative Fahrstrecken durch Soltau und Umgebung entwickelt. Weil sowohl vor als auch nach dem Training eine Fahrprobe durchgeführt wurde, die Probanden aber nicht beide Male die gleiche Strecke fahren sollten, waren zwei Fahrstrecken nötig. Eine dritte wurde entwickelt, falls aus irgendwelchen Gründen eine Ausweichstrecke nötig werden sollte. Die Fahrstrecken waren 21,5, 25 und 16,5 km lang. Sie führten durch den Ortskern, durch Siedlungsgebiete mit vorwiegend Rechtsvor-Links-Regelungen und über Landstraßen in der Umgebung Soltaus. Die beiden längeren Strecken schlossen jeweils auch eine kurze Fahrt auf der Autobahn ein, die kürzere dagegen beinhaltete einen größeren Anteil an innerörtlichen Strecken. Die Fahrzeiten betragen bei allen Strecken ca. 30–40 min. Gefahren wurde mit Fahrschulwagen einer Fahrschule aus der Umgebung Soltaus. Je nach Gewohnheit der Patienten oder Erfordernis wurde dazu entweder ein Wagen mit Schalt- oder mit Automatikgetriebe, der sich auch auf Linksbedienung umrüsten ließ, gefahren. Nach jeder Fahrprobe bewertete der Fahrlehrer die Fahrleistungen des Probanden mit einer Gesamtnote zwischen »1« und »6«.

Das Training am Übungs-Pkw

Mit den Probanden, bei denen sich aufgrund der Eingangstests Defizite bei der Reaktionsgeschwindigkeit und/oder der Reaktionssicherheit zeigten, wurde ein Reaktionstraining am Übungs-Pkw durchgeführt. Das Training lief in der Regel über einen Zeitraum von 2–3 Wochen. Die Trainingssitzungen dauerten jeweils 1/2 Stunde und wurden nach Möglichkeit täglich abgehalten.

Beschreibung der Trainingsprogramme: Insgesamt wurden 7 Trainingsprogramme entwickelt, die jeweils eine Länge von 7 bis 10 min. haben. Die Trainingsprogramme ähneln in der Aufgabenstellung und den Bewegungsabläufen sehr

Trainings-Anforderungen an den Probanden	
3A	bei Rot bremsen, Gelb ignorieren, bei Grün vorgeschriebene Geschwindigkeit halten, auf Fahrtrichtungspfeil 1/2 Lenkradumdrehung in die angezeigte Richtung
3B	wie 3A, zusätzlich bei gleichzeitigem Auftreten von Rot und Fahrtrichtungspfeil gleichzeitig bremsen und lenken
2A	wie 3A, im Ablauf etwas schneller
2B	wie 3B, im Ablauf etwas schneller
1A	wie 3B, im Ablauf deutlich schneller
1B	wie 3B, im Ablauf deutlich schneller und länger
1M	wie 1A, zusätzlich zwischendurch Dias mit Verkehrssituationen, auf die der Probanden durch Lenken, Gas wegnehmen oder Bremsen reagieren soll, 6 verschiedene Diasätze

Tab. 1: Übersicht der verschiedenen Trainingsprogramme am Übungs-Pkw

stark dem Mehrfach-Wahlreaktionstest am Übungs-Pkw (WR, s. S. 282). Sie unterscheiden sich untereinander in der Komplexität der Signale und den Intervall-Längen zwischen den Signaldarbietungen. Bei einem der Trainingsdurchgänge sind die beschriebenen Signale mit Verkehrssituationen, auf die der Proband reagieren soll, gemischt.

Die Ruhezeiten zwischen den Signalen wurden mit der kleiner werdenden Ziffer in den Trainingsbezeichnungen kürzer, die Trainings also im Ablauf »schneller«. Je nach Fortschritt wurde während der Trainingsphase von den »langsameren« zu den »schnelleren« Trainings übergegangen. Die Trainings 1A und 1B entsprachen in ihren Anforderungen dem Mehrfach-Wahlreaktionstest am Übungs-Pkw (WR). Eine weitere Möglichkeit der Variation und Anpassung des Trainings an den individuellen Leistungsstand der Probanden bestand in der Vorgabe konkreter Geschwindigkeiten, welche die Probanden nach jeder Bremsaktion wieder einzunehmen hatten.

Mit Patienten, die bei dem Test APG 2 am Aufmerksamkeitsprüfgerät unterdurchschnittlich abgeschnitten hatten, wurden neben den Trainings am Übungs-Pkw auch Trainings mit dem APG 2 durchgeführt. Als unterdurchschnittlich gilt ein Testwert mit einem Prozentrang kleiner als 15,9 (das entspricht einer Standardabweichung unter dem Durchschnittswert).

Der gesamte Untersuchungs- und Trainingsablauf

Der behandelnde Klinikarzt meldete seine Patienten konsiliarisch an und füllte einen Fragebogen mit Angaben zur Diagnose und den Funktionsbeeinträchtigungen des Patienten aus. Danach wurden ein Erstinterview und anschließend die Eingangstests durchgeführt:

- D2 nach Brickenkamp,
- Tests 1 und 2 am Aufmerksamkeitsprüfgerät,
- Wiener Reaktionsgerät II,
- Vigilanz-Test,
- Wiener Determinationsgerät, Subtest 1,
- tachistoskopischer Auffassungs-Verkehrstest,
- Linien-Verfolgungstest,
- Tests am Übungs-Pkw: VIS 1, AUDI, VIS 2, WR, Fahrprobe.

Von den Ärzten wurden solche Patienten angemeldet, bei denen der Verdacht auf eine Einschränkung der Fahrtauglichkeit bestand. Ein Training am Übungs-Pkw erhielten letztlich die Patienten, bei denen sich in den Bewegungsabläufen, die in den Trainingsprogrammen geübt wurden, Defizite zeigten. Festgestellt wurden diese Defizite im wesentlichen mit dem Mehrfach-Wahlreaktionstest am Übungs-Pkw (WR), weil der den Trainingsprogrammen sehr ähnlich war.

Hier wird das Problem der Einschränkung der Trainingsmöglichkeiten auf die bestehenden Trainingsprogramme deutlich. Es kam vor, daß bestimmte defizitäre und fahrrelevante Fähigkeiten in dem vorhandenen Setting nicht trainiert werden konnten, wie z. B. Fahrzeugbeherrschung,

Verkehrsbeobachtung, Entfernungen und Geschwindigkeiten abschätzen, Spurhalten usw. Ein weiteres Problem lag darin, daß die Indikation für ein Training sich nicht an den Mängeln orientierte, die sich bei der Fahrprobe zeigten, sondern an Defiziten aus den Labortestleistungen.

Das Training lief anfangs über vier Wochen, später wurde es auf normalerweise zwei Wochen verkürzt. Je nach Trainingsstand war eine Verlängerung möglich. Die Trainingsdauer orientierte sich am individuellen Fortschritt des Patienten. Es zeigte sich, daß die Motivation in vielen Fällen abnahm, wenn der Patient auch die schnelleren Trainings beherrschte. Das war bei den meisten Personen nach ein bis zwei Wochen der Fall.

Pro Trainingssitzung wurden in der Regel zwei Trainingsdurchgänge durchgeführt. Die Anzahl der Trainingsdurchgänge insgesamt variierte bei den Patienten zwischen 5 und 45. Das Mittel lag bei 16,7.

Nach der Trainingsphase wurden als Abschlußtests folgende Tests durchgeführt:

- Wiener Reaktionsgerät II,
- Wiener Determinationsgerät, Subtest 1,
- Tests am Übungs-Pkw: VIS 1, AUDI, VIS 2, WR, Fahrprobe.

Die Patientenstichproben

Die hier berichteten Stichprobenergebnisse beruhen auf den Erfahrungen der ersten drei Jahre mit dem Soltauer Fahrsimulator. Die danach dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die insgesamt in 10 Jahren gesehenen 706 Patienten.

Insgesamt nahmen 61 Patienten an dem Forschungsprojekt teil. Von diesen Personen machten alle die Eingangstestphase, aber nur 51 das Training am Übungs-Pkw und die Abschlußtestphase mit. Ursachen hierfür waren in der Regel formale Gründe wie z. B. vorzeitige Entlassung oder Abbruch auf Wunsch des Patienten.

Damit ergab sich eine Basis-Stichprobe von 51 Personen, die an dem vollständigen Programm (Eingangstests, Training und Abschlußtests) teilnahmen, und eine erweiterte Stichprobe von 61 Personen, die nur an den Eingangstests teilnahmen.

Die Daten der Basis-Stichprobe wurden für statistische Vergleiche der Leistungen vor und nach dem Training herangezogen, die der erweiterten Stichprobe für die Überprüfung der Frage, ob die Fahrtauglichkeit aufgrund von Labortestergebnissen vorausgesagt werden kann.

Alle Patienten bis auf einen kamen aus der neurologischen Abteilung der Reha-Klinik, einer aus der orthopädischen Abteilung. Das Durchschnittsalter der Frauen in der Basis-Stichprobe betrug 38,1, das der Männer 47,7 Jahre. In der erweiterten Stichprobe betrug das Durchschnittsalter der Frauen 39,1, das der Männer 49,4 Jahre.

Wie aus der Tabelle 2 ersichtlich ist, war die häufigste Diagnose Hirninfarkt, gefolgt von Schädel-Hirn-Trauma, Operation wegen Hirntumor, Hirnblutung, Hirn- oder Hirnhautentzündung und Multipler Sklerose. Hirninfarkt und

Diagnosen	%
Hirninfarkt	37,2
Hirnblutung	9,8
Hirntumor-OP	11,7
Z. n. Meningitis	5,8
Schädel-Hirn-Trauma	8,0
Multiple Sklerose	3,9
Sonstiges	15,6

Tab. 2: Diagnosen

Hirnblutung hatten in den meisten Fällen neben kognitiven Störungen wie Gedächtnis- und Konzentrationsstörungen auch einseitige Lähmungen von Armen und/oder Beinen zur Folge. Die Schädel-Hirn-Traumen waren vorwiegend eine Folge von Auto- oder Arbeitsunfällen.

Unter »Sonstiges« wurden solche Diagnosen wie Heredoataxie (bestimmte Koordinationsstörungen), Polyneuropathie (Nervenleiden), Affektionen der Augen oder des Vestibularorgans (Gleichgewichtsorgan) oder hypoxische Hirnschädigungen (mangelnde Sauerstoffversorgung) zusammengefaßt.

Bei der überwiegenden Mehrheit der Patienten betrug die Zeit zwischen Erkrankung/Schädigung bis zur Testung im Pkw-Projekt ein Jahr oder weniger. Bei genauer Betrachtung zeigte sich, daß bei ungefähr der Hälfte der Patienten die Erkrankung/Schädigung höchstens sechs Monate, bei fast 30% sogar drei Monate und weniger zurücklag.

Resultate

Vorhersagemöglichkeiten der Fahrtauglichkeit aufgrund von Klassifizierungen der Labortestergebnisse in »bestanden« oder »nicht bestanden«

In den folgenden Vergleichen soll ein Labortestwert mit einem Prozentrang kleiner als 15,9 (das entspricht einer Standardabweichung unter dem Durchschnittswert) als unterdurchschnittlich und der Test damit als nicht bestanden gelten. Ab einem Prozentrang von 15,9 gilt der Testwert als durchschnittlich und der Test als bestanden. Die Fahrprobe gilt als bestanden, sofern sie mit einer der Noten »1« bis »4« bewertet wurde.

Gibt es Unterschiede hinsichtlich der Fahrprobenbewertung zwischen den Personen, die einen Labortest bestanden, und denen, die ihn nicht bestanden haben? Hierzu wurde für jede einzelne Testvariable die Gesamtstichprobe in die beiden Gruppen a) »bestanden« und b) »nicht bestanden« unterteilt und es wurde gefragt, ob sich die Mittelwerte der Fahrprobenbewertungen zwischen diesen beiden Gruppen unterscheiden.

Die Testvariable mit den beiden Niveaus »bestanden« und »nicht bestanden« stellte jeweils die unabhängige Variable dar. Mit dem Mann-Whitney-U-Test ergaben sich in keinem Fall statistisch signifikante Unterschiede. D. h. für jeden Labortest gilt: die Gruppen der Probanden, die den Test bestanden oder nicht bestanden haben, unterscheiden sich

nicht in der Bewertung ihrer Fahrleistungen. Nach diesem Ergebnis ist ein Schluß von einem Testergebnis auf die Fahrleistung nicht möglich. Bei diesen Berechnungen wurden die Vigilanz-Testergebnisse für die Anzahl der richtigen und der falschen Reaktionen nicht berücksichtigt, weil hier die Gruppen derjenigen, die unterdurchschnittlich abgeschnitten hatten, zu klein waren (3 und 7 Meßwerte). Es scheint, daß das Fahrprobenergebnis in bezug auf die angeführten Testvariablen differenziert, aber nicht umgekehrt. Bei der Fahreignungsdiagnostik ist aber ein Schluß von dem Testergebnis auf die Fahrleistung erwünscht. Da dies aufgrund der vorliegenden Ergebnisse nicht möglich ist, sollte man die Frage aufwerfen, ob die Prozentranggrenze von 15,9 als Kriterium für die Trennung zwischen »Test bestanden« und »Test nicht bestanden« im Rahmen der Fahreignungsdiagnostik sinnvoll ist.

Vorhersage der Fahrprobenbewertung aufgrund einzelner Labortestergebnisse

Die Zahlen in der Tab. 3 geben an, wieviel Prozent derjenigen, die im Test bestanden/nicht bestanden haben, bei der Fahrprobe die Note 4 oder besser erreicht haben. Linke Spalte: soviel Prozent der Personen, die den Test bestanden haben, haben auch die Fahrprobe bestanden. Rechte Spalte: soviel Prozent der Personen, die den Test nicht bestan-

Variable	Test bestanden Fahrpr. bestanden	Test nicht bestanden Fahrpr. bestanden
D2, Gesamtleistung minus Fehler	69	58
TAVT	62	50
LVT	63	33
WDG, Richtige	70	48
WDG, Fehler	58	57
RG 2, Reaktionszeit	64	56
Vigilanz, Richtige	59	100
Vigilanz, Fehler	63	57
Vigilanz, Reaktionszeit	68	40
VIS 1, Gaszeit	53	64
VIS 1, Bremszeit	59	58
AUDI, Lenkzeit	60	57
VIS 2, Lenkzeit	67	55
VIS 2, Gaszeit	59	57
VIS 2, Bremszeit	60	58
WR, Lenkzeit	71	54
WR, Gaszeit	70	44
WR, Bremszeit	72	51
WR, Auslassungen	61	54
WR, Fehlreaktionen	62	40
APG 2, Reaktionszeit	60	54
APG 2, Richtige Quadrate	67	53

Tab. 3: Es wird dargestellt, wieviele Probanden, die in einzelnen Tests bestanden haben, auch die Fahrprobe bestanden. Fahrprobenbewertungen in Abhängigkeit von Labortestergebnissen. Labormäßige Fahrprobenbewertung in %

den haben, haben trotzdem die Fahrprobe bestanden. Insgesamt läßt sich erkennen, daß einzelne Testergebnisse keinen Schluß auf die Fahrprobenbewertungen zulassen. In 17 von 22 Testvariablen wurde auch bei unterdurchschnittlichem Testergebnis noch in 50% der Fälle oder öfter die Fahrprobe bestanden.

Bei den Testvariablen LVT und Vigilanz (Richtige) haben jeweils nur sechs Personen oder weniger unterdurchschnittlich abgeschnitten. Diese Untergruppen sind damit zu klein, als daß sie bei einer weiteren Aufteilung entsprechend dem Fahrprobenergebnis noch einigermaßen sichere Ergebnisse liefern könnten.

Aus der Tabelle 4 geht jeweils die Anzahl der Probanden hervor, die in Abhängigkeit davon, wieviele Meßwerte unterdurchschnittlich ausfielen, die Fahrprobe bestanden oder nicht bestanden haben. Als unterdurchschnittlich gilt ein Testergebnis dann, wenn ein Prozentrang unter 15,9 erreicht wurde. In der zweiten Spalte wurden die prozentualen Anteile dargestellt. Alle Personen in einer Zeile machen jeweils 100% aus. Es besteht eine Abhängigkeit zwischen der Anzahl der unterdurchschnittlichen Übungs-Pkw-Meßwerte und dem Fahrprobenergebnis.

Die fünf Personen, die nicht mehr als zwei unterdurchschnittliche Meßwerte aufwiesen, hatten auch die Fahrprobe bestanden. Eine Person, die in allen 11 Meßwerten unterdurchschnittlich abschnitt, bestand auch die Fahrprobe

Anzahl der unter- durchschnittlichen Übungs-Pkw- Meßwerte	Personen mit bestandener Fahrprobe		Personen mit nicht bestandener Fahrprobe	
	Anzahl	%	Anzahl	%
0	1	100	0	0
1	1	100	0	0
2	3	100	0	0
3	3	60	2	40
4	2	50	2	50
5	4	44	5	56
6	4	67	2	33
7	2	29	5	71
8	7	100	0	0
9	3	43	4	57
10	2	50	2	50
11	0	0	1	100

Tab. 4: Fahrprobenergebnis als Funktion der Zahl unterdurchschnittlicher Übungs-Pkw-Meßwerte

nicht. Diese sechs Personen machen jedoch, bezogen auf $n = 55$, nur einen Anteil von 10,9% aus. Bei der verbleibenden Gruppe von 89,1% aller Personen bestand keine gleichlaufende Beziehung zwischen Test- und Fahrprobenergebnis.

Für den Schluß, daß bei Vorliegen von guten Ergebnissen in allen oder fast allen Pkw-Tests auch ausreichende Fahrleistungen vorhanden sind, ist die Anzahl der hier vorliegenden Meßergebnisse wohl zu gering. Es fragt sich aller-

dings, ob solch ein Schluß, der sich auf statistische Werte stützt, überhaupt zulässig ist, denn eine Fahreignungsdiagnostik sollte immer den Defiziten und Kompensationsmöglichkeiten im individuellen Fall gerecht werden. Immerhin läßt ein durchschnittliches Ergebnis in allen oder fast allen Pkw-Tests eine ausreichende Fahrleistung als wahrscheinlich erscheinen.

Labortests, die in den Medizinisch-Psychologischen Untersuchungsstellen des TÜV Verwendung finden:

Folgende sechs Meßwerte wurden zusammengefaßt: Aufmerksamkeits-Belastungstest (D2), Gesamtleistung minus Fehler, Tachistoskopischer Auffassungs-Verkehrstest (TAVT), Linien-Verfolgungs-Test (LVT), Wiener Determinationsgerät, Subtest 1 (WDG 1), Zeitrechte, Wiener Determinationsgerät, Subtest 1 (WDG 1), Fehler, Reaktionsgerät (RG2), Reaktionszeit. Tabelle 5 gibt die Abhängigkeit zwischen der Anzahl der unterdurchschnittlichen Meßwerte in den oben aufgeführten Labortests und dem Fahrprobenergebnis wieder.

Von denen, die in allen der oben angeführten Labortestmeßwerte bestanden haben, haben 75% die Fahrprobe bestanden, 25% haben sie nicht bestanden. Gleiche oder ähnliche Werte trafen aber auch für Personen zu, die in ein oder zwei Meßwerten unterdurchschnittlich abschnitten. Die

Anzahl der unterdurchschnittlichen Meßwerte	Personen mit bestandener Fahrprobe in %	Personen mit nicht bestandener Fahrprobe in %
0	75	25
1	75	25
2	70	30
3	25	75
4	40	60
5	100	0
6	0	0

Tab. 5: Fahrprobenergebnis als Funktion der Zahl unterdurchschnittlicher Labor-Meßwerte

Person mit den schlechtesten Labortestergebnissen hatte die Fahrprobe bestanden. Hiernach lieferte eine Zusammenfassung dieser Labortests keine sicheren Vorhersagekriterien für die Fahrtauglichkeit.

Diskussion

Untersuchungsergebnisse am Fahr Simulator

Trainingseffekte am Übungs-Pkw: Bei den meisten Variablen der Tests am Übungs-Pkw konnte ein Übungseffekt festgestellt werden, allerdings nicht bei denen, bei welchen im wesentlichen der Faktor Entscheidungsgeschwindigkeit in einfachen Reaktionsaufgaben überprüft wurde. In Mehrfach-Wahlreaktionsaufgaben scheinen die Fähigkeiten,

welche die Entscheidungszeit beeinflussen, allerdings trainierbar zu sein. Die Fähigkeiten, welche die Bewegungszeit beeinflussen, waren sowohl in einfachen als auch in Mehrfach-Wahlreaktionsituationen trainierbar.

Wichtiger für den Versuch, die Fahrtauglichkeit zu verbessern, ist die Frage nach dem Transfer des Trainingseffektes auf die Fahrtauglichkeit. Beim Vergleich der Fahrprobenbewertungen vor und nach dem Training ließ sich eine signifikante Verbesserung erkennen. Wegen des Fehlens einer Kontrollgruppe konnte dieser Effekt jedoch nicht mit Sicherheit voll auf das Training am Übungs-Pkw zurückgeführt werden. Es ist möglich, daß auch andere Einflußfaktoren zu dieser Verbesserung mit beitrugen (siehe Abb. 1a–1d).

Vorhersage der Fahrtauglichkeit: Die Untersuchung machte deutlich, daß allein aufgrund von Labortestergebnissen eine Beurteilung der Fahrtauglichkeit nicht zulässig ist. Eine Orientierung daran, ob ein Proband bei den Testergebnissen mindestens durchschnittlich oder unterdurchschnittlich abgeschnitten hatte, ließ keinen sicheren Schluß auf die Fahrtauglichkeit zu. Von den Personen, die bei einem Testergebnis unterdurchschnittlich abschnitten, bestanden in den meisten Fällen noch mehr als die Hälfte die Fahrprobe. Eine Zusammenfassung der Tests am Übungs-Pkw läßt bei denen, die in allen oder fast allen Tests durchschnittlich oder besser abschnitten, eine hinreichende Fahrleistung als wahrscheinlich erscheinen. Eine Zusammenfassung der Tests Aufmerksamkeits-Belastungstest (D2), Tachistoskopischer Auffassungs-Verkehrstest (TAVT), Linien-Verfolgungs-Test (LVT) und Wiener Determinationsgerät, Subtest 1 (WDG 1) führte zu keinen brauchbaren Vorhersagen.

Bei nicht wenigen Patienten fiel auf, daß sie bei deutlich unterdurchschnittlichen Labortestergebnissen, einschließlich der Tests am Übungs-Pkw, in der praktischen Fahrprobe unauffällig oder sogar gut bewertet wurden. Einige mögliche Ursachen hierfür könnten sein:

- Die Tests messen weitgehend etwas anderes, als beim Fahren im Straßenverkehr gefordert wird.
- Die Tests messen zwar fahrrelevante Fähigkeiten (z. B. Reaktionsschnelligkeit), diese werden beim praktischen Fahren aber nur selten in gleicher Art wie in der Testsituation abgerufen.
- Die für das Fahren notwendigen Bewegungsabläufe bleiben trotz Einschränkung in bestimmten Leistungsbereichen erhalten.
- Die Personen konnten die in der Testsituation festgestellten Defizite beim praktischen Fahren kompensieren. Solange nicht Tests verfügbar sind, die hoch mit der Fahrprobe korrelieren und sich bei der Vorhersage der Fahrtauglichkeit bewährt haben, werfen solche Diskrepanzen Probleme bei der Bewertung der Fahrtauglichkeit auf. Es müssen die Fragen beantwortet werden, ob das mit den Tests festgestellte Defizit überhaupt für das praktische Fahren relevant ist und inwieweit es kompensiert werden kann. In diesen Zusammenhang gehört auch die Frage, welche Aussagekraft die Unterdurchschnittlichkeitsgrenze von

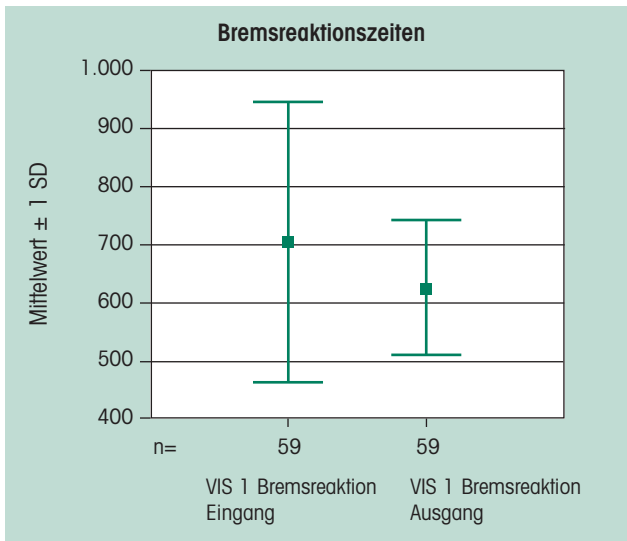


Abb. 1a: Bremsreaktionszeiten auf einfachen visuellen Reiz, n=59, Verbesserung mit Therapie

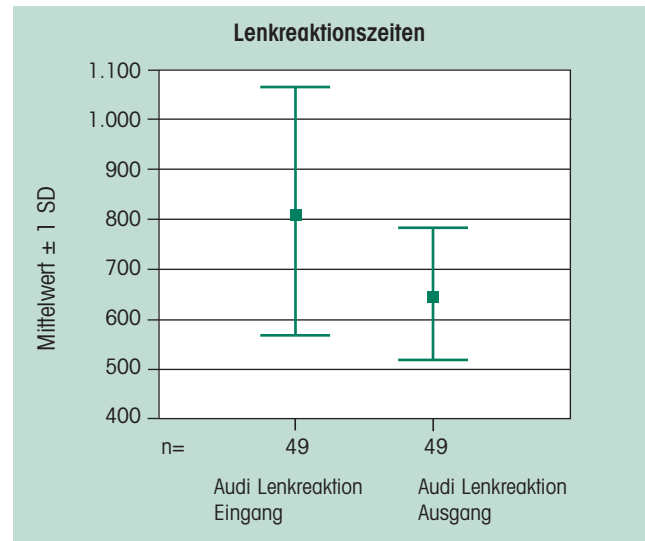


Abb. 1b: Lenkreaktionszeiten auf einfachen auditiven Reiz, n=49, Verbesserung mit Therapie

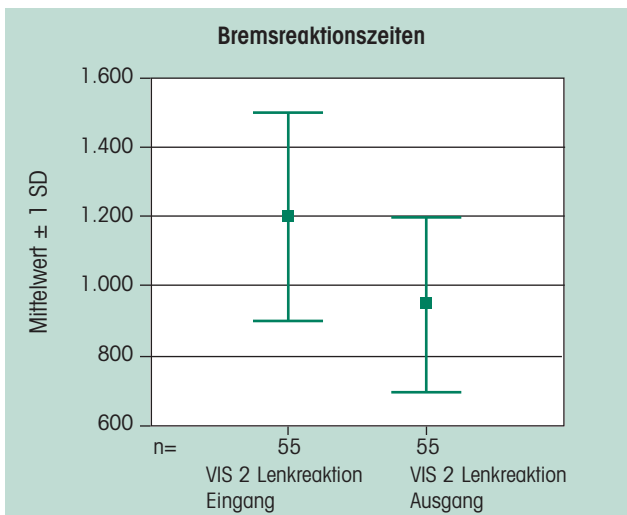


Abb. 1c: Lenkreaktionszeiten auf einfachen visuellen Reiz, n=55, Verbesserung mit Therapie

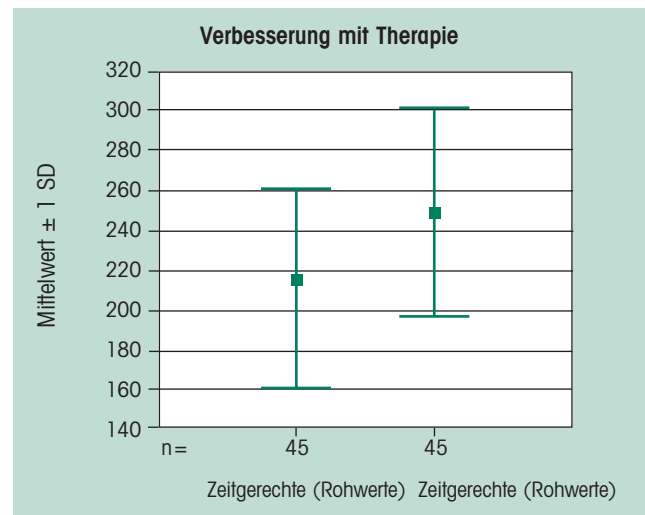


Abb. 1d: Anzahl der korrekten Reaktionen auf einfachen visuellen Reiz, n=45, Verbesserung mit Therapie

einer Standardabweichung für die Fahrtauglichkeit hat. Hat ein Testergebnis, das um eine Standardabweichung vom Mittelwert nach unten abweicht, damit eine für die Fahrtauglichkeit kritische Grenze überschritten, oder ist dies erst bei einer Abweichung von zwei oder mehr Standardabweichungen der Fall? Das mag je nach der konkreten Fähigkeit auch unterschiedlich sein.

Diese Überlegungen machen noch einmal die Problematik der Fahreignungsuntersuchungen aufgrund von Testergebnissen deutlich. Es erscheint problematisch, die Fahreignungsdiagnostik bei Personen mit neurologischen Störungen auf die Durchführung bestimmter Labortests zu beschränken. Die Fahrprobe kann nicht durch Labortests ersetzt, allenfalls ergänzt werden. Im übrigen ist die Fahreignungsdiagnostik eine individuelle Untersuchung, bei der es nicht ausreicht, einen Querschnitt der fahrrelevanten Leistungsvariablen aufzuzeigen. Es muß auch gefragt wer-

den, inwieweit eventuelle Defizite im konkreten Fall kompensiert werden können.

Darüber hinaus spielen nicht nur meßbare Leistungsvariablen eine wichtige Rolle, sondern auch solche Merkmale wie z. B. die Fähigkeit zur Selbstkritik, Verantwortungsbewußtsein usw. Eine Person mit Defiziten in diesen Bereichen stellt sicher kein geringeres Risiko im Straßenverkehr dar als jemand mit einer etwas verlangsamten Reaktionszeit, der aber ein verantwortungsbewußtes und an seine Leistungseinschränkung angepaßtes Fahrverhalten zeigt.

Vermehrtes Training von Top-Down-Mechanismen in der Rehabilitation von Hemianopsie-Patienten

Der Rehabilitationserfolg in beiden Gruppen findet sein neuropsychologisch-neurophysiologisches Korrelat in einer »facilitated mobilisation of information«, Integration und

Reorganisation extrastriärer High-Level-Information. Diese Informationen werden nun im Sinne einer schnellen komplexen Parallelverarbeitung in einen striatalen visual buffer übermittelt, was wir als »quick fill of visual buffer« bezeichnen. Ein innerhalb dieses striatalen visual buffer gelegenes »attention window« scheint nach der Therapie als Ausdruck der subjektiven Erweiterung des Interesses durch Stimulation des assoziativen Kortex im Rahmen des Trainings »weiter geöffnet«. Wegweisend für diese Befunde waren hier die RSE und MA. In der Summe der Ergebnisse ergibt sich eine starke Top-Down-Komponente bei der Bildbetrachtung nach dem Training, die eine maladaptierte Bottom-Up-Komponente vor dem Training ablöst. Es ist somit von besonderem Stellenwert, diese kognitiven Aspekte des menschlichen Sehens bei der Rehabilitation von hemianopischen Patienten durch ein spezielles Trainingsprogramm zu berücksichtigen.

In der Zusammenschau der Untersuchungen zu basalen Scanpath Parametern, Visual Scanpath Imagery und Fahrtüchtigkeit von Hemianopikern im Gegensatz zu Normalprobanden zeigten sich erstaunlich wenige Differenzen zwischen unseren Kollektiven. Die in früheren Studien [20] nachgewiesenen defizitären Blicksteuerungs-Strategien mit Vernachlässigung des blinden Gesichtsfeldes auf basaler Ebene, erratischen Suchsakkaden und Vorwiegen von Bottom-Up-Mechanismen bei der Bildbetrachtung waren bei unseren Patienten kaum zu beobachten und schlugen sich in den Analysen als analoge Ergebnisse zu den Normalprobanden-Parametern nieder. Wir führten dies auf die durchschnittlich relativ lange Adaptationszeit der Patienten in unserem teilweise selektierten, aktiven Kollektiv zurück. Unterschiede in der Lösung der kognitiv anspruchsvolleren Aufgaben sahen wir als Nachweis einer Einschränkung auf höherer kognitiver Ebene. Unter Einbeziehung der hochsignifikanten Ergebnisse für die basalen Imagery-Scanpath-Parameter und deren definierte Ähnlichkeit mit den Bildbetrachtungen konnte der Nachweis der Fähigkeit der Hemianopiker zur mentalen Modellbildung postuliert werden. Maßgebliche Erkenntnis für alle Probanden war der Nachweis einer »Konvergenz« der visuellen Vorstellung unter Stützung der Feature Ring Hypothese und des Postulats eines gemeinsamen morphologischen Korrelats sowie einer funktionellen Übereinstimmung der Funktionen visuelle Perzeption und Visual Imagery. Auch wenn die Beschaffenheit der mentalen Abbilder abhängig von Schwere der Läsion, Adaptationsgrad und damit verbundener eingeschränkter Bildbetrachtung bei Gesichtsfeldstörungen eine andere zu sein scheint als die von Normalprobanden, so zeigt unsere Studie, daß der Mechanismus der Top-Down-Steuerung ungeachtet dessen bei beiden Kollektiven vorliegt, mittels der Augenbewegungen auch nachzuweisen ist und mehr als bisher für die Therapie nutzbar gemacht werden muß.

Literatur

1. Becker A: Quantitative Bildbetrachtungsauswertung bei der neurovisuellen Rehabilitation von hemianopischen Patienten. Med Diss Univ Hamburg 2000
2. Chatterjee A, Southwood H: Cortical blindness and visual imagery. *Neurology* 1995; 45: 2189-2195
3. Fels M, Geissner E: Neglect Test NET. Ein Verfahren zur Erfassung visueller Neglectphänomene. Hogrefe, Göttingen 1996
4. Fink GR, Halligan PW, Marshall JC, Frith CD, Frackowiak RSJ, Dolan RJ: Neural mechanisms involved in the processing of global and local aspects of hierarchically organized visual stimuli. *Brain* 1997; 120: 1779-1791
5. Gbadamosi J, Zangemeister WH: Visual Imagery in Hemianopic patients. *J Cog Neurosci* 2001; 13 (7): 912-926
6. Hacısalihzade SS, Stark LW, Allen JS: Visual perception and sequences of eye movement fixations: A stochastic model in approach. *IEEE Trans Systems Man Cyb* 1992; 22: 474-481
7. Hökendorf H, Blanz M, Koalick-Blanz S, Klumpp P: Der Übungs-Pkw am Reha-Zentrum Soltau – Diagnostik- und Trainingssystem der Ergotherapie und Neuropsychologie. *Praxis Ergotherapie* 2, 1990
8. Hökendorf H, Blanz M, Koalick-Blanz S: Der Übungs-Pkw am Reha-Zentrum Soltau als neuropsychologisches Diagnostik- und Trainingssystem. *Computer helfen heilen* 1993
9. Kosslyn SM, Alpert NM, Thompson WL, Maljkovic V, Weise SB, Chabris CF et al: Visual mental imagery activates topographically organized visual cortex: PET investigations. *J Cogn Neurosci* 1993; 5: 263-287
10. Kosslyn SM: *Image and brain: the resolution of the imagery debate*. MIT Press, Cambridge 1994
11. Lenz G: Zur Pathologie der cerebralen Sehbahn unter besonderer Berücksichtigung ihrer Ergebnisse für die Anatomie und Physiologie. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig 1909
12. Messing B, Gänshirt H: Follow up of visual field defects with vascular damage of the geniculostriate visual pathway. *Neuroophthalmology* 1987; 7 (2987): 321-342
13. Poppelreuter W: Die Störungen der niederen und höheren Sehleistungen durch Verletzung des Okzipitalhirns. In: Poppelreuter (Hrsg): *Die psychischen Schädigungen durch Kopfschuß im Kriege 1914-1916*, Bd. 1. L. Voss, Leipzig 1917
14. Rossi PW, Kheyfets S, Reding MJ: Fresnel prisms improve visual perception in stroke patients with homonymous hemianopia or unilateral visual neglect. *Neurolog* 1990; 40: 1597-1599
15. Stark LW, Ellis S: Scanpath revisited: Cognitive models in active lookin. In: Fisher B, Monty C, Sanders M (Eds): *Eye Movements. Cognition and Visual Perception*, Erlbaum Press, New Jersey 1981: 193-226
16. Teuber HL, Battersby W, Bender MB: *Visual field defects after penetrating missile wounds of the brain*. MIT Press, Cambridge 1960
17. Zangemeister WH, Dannheim F, Kunze K: Adaption of gaze to eccentric fixation in homonymous hemianopia. In: Keller EL, Zee DS (Eds): *Adaptive processes in visual and oculomotor systems*. Pergamon Press, 1986
18. Zangemeister WH, Poppensieker K, Hökendorf H: Kognitive Gesichtsfeldrehabilitation mittels Strategien Koordinierter Blickmotorik. *Shaker Publ, Aachen* 1999: 153
19. Zangemeister WH, Meienberg O, Stark L, Hoyt WF: Eye Head Coordination in homonymous hemianopia. *J Neurol* 1982; 225: 243-254
20. Zangemeister WH, Sherman K, Stark L: Evidence for global Scanpath strategy in viewing abstract compared to realistic images. *Neuropsychologia* 1995; 33: 1009-1025
21. Zangemeister WH, Stark L: Gaze latency: variable interactions of eye and head movements in gaze. *Exp Neurol* 1982; 75: 389-406
22. Zihl J: Recovery of visual functions in patients with cerebral blindness: Effect of specific practice with saccadic localization. *Experimental Brain Research*, 1981; 44: 159-169
23. Zihl J: Homonyme Hemianopsie und ihre Rehabilitation. *KI Monatsblätter Augenheilkunde* 1988; 192: 555-558

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. W. H. Zangemeister
Neurologische Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf
Martinistr. 52
20251 Hamburg
e-mail: zangemei@uke.uni-hamburg.de