



Von Erich Kasten und Bernhard A. Sabel

Mit stechenden Kopfschmerzen auf der linken Seite wacht Alfred M. auf. Er will die Nachttischlampe anknipsen, doch die scheint kaputt zu sein. Im Zimmer kann er alles nur dunkel und verschwommen erkennen. Obwohl ihm sehr schwindelig ist, quält er sich schließlich aus dem Bett – und stößt sich die rechte Schulter heftig am Türrahmen. Da erst merkt er, dass er weder den rechten Arm noch das rechte Bein sieht, egal, welches Auge er benutzt. Bewegt er die rechte Hand vor sich hin und her, taucht sie plötzlich von rechts her mitten vor ihm auf wie aus dem Nichts.

Der Arzt diagnostiziert bei dem Mittfünfziger eine Halbseitenblindheit, ausgelöst durch einen Hirninfarkt. Auf dem rechten wie auf dem linken Auge fehlt jeweils die komplette rechte Hälfte des Gesichtsfeldes. Solche Ausfälle von mehr oder minder großen Bereichen des Sehfeldes eines oder beider Augen können bei verschiedenartigen Gehirnschädigungen auftreten, außer nach Schlaganfällen etwa auch bei Hirnverletzungen oder durch Tumoren. Je nachdem, an welcher Stelle im Gehirn der Defekt die Zellen oder Bahnen des Sehsystems beeinträchtigt, lässt er sich auf einem oder beiden Augen nachweisen (siehe Bild Seite 59).

Obwohl sich der Zustand etwa nach einem Hirninfarkt oft anfänglich von

selbst bessert, bleiben die Patienten zu meist schwer behindert. Gerade wenn ein großer Teil des zentralen Gesichtsfelds einfach fehlt – in dem man normalerweise scharf sieht und auf den man den Blick fixiert –, ist die Orientierung im Alltag äußerst mühsam und unfallträchtig. Vielen Patienten mit kompletter Halbseitenblindheit fällt auch das Lesen schwer, weil bei ihnen stets eine Hälfte der Wörter verschwindet. Leider kennen Ärzte, sofern sich der Gehirnschaden nicht medizinisch mildern lässt, bisher praktisch keine Therapie, um den Patienten wieder zu einem größeren Gesichtsfeld zu verhelfen. Betroffene können höchstens lernen, den Ausfall durch Augen- und Kopfbewegungen etwas auszugleichen.

Sehtraining bei Teilblindheit

Manchen Hirngeschädigten mit eingeschränktem Gesichtsfeld können spezielle Übungen helfen, von ihrer Umwelt wieder einen größeren Ausschnitt zu sehen. Das Sinnessystem erwies sich selbst bei Erwachsenen als unerwartet lernfähig.

Fehlt das halbe Gesichtsfeld, läuft der Betroffene ständig Gefahr, mit irgendetwas zusammenzustoßen. Im hier nachempfundenen Fall sieht der Patient rechts zumindest noch im Zentrum seines Gesichtsfeldes etwas.

An der Universität Magdeburg entwickeln wir seit längerem Therapien für hirnorganisch bedingte Sehschäden. Mit einem speziellen, computergestützten Sehtraining gelang es uns in den letzten eineinhalb Jahrzehnten, mehreren hundert Betroffenen wieder zu einem um einige Winkelgrade erweiterten Gesichtsfeld zu verhelfen. Viele dieser Behandelten empfinden die Verbesserung als deutlichen Gewinn, insbesondere wenn sie im zentralen Sehfeld liegt. Sie fühlen sich dadurch beim Hantieren und Umhergehen sicherer als vorher. Manche trauen sich sogar wieder zu, Fahrrad zu fahren, oder können besser lesen.

Für verschiedene andere neurologische Defekte, etwa des Sprachvermögens

oder der Bewegungskontrolle, existiert schon länger eine Reihe von recht erfolgreichen Behandlungsmethoden. Gerade das Sehsystem aber – wie auch einige andere Sinnessysteme – galten beim Erwachsenen bis vor kurzem als für zu fest verschaltet, als dass es größere Ausfälle nennenswert kompensieren könnte. Erst in den letzten drei Jahrzehnten begann sich allmählich abzuzeichnen, dass diese Auffassung offenbar so streng nicht zutrifft. Einzelne medizinische Beobachtungen und vor allem Tierversuche zeigten auf, dass auch ausgereifte Sinnessysteme in gewissem Grade noch »plastisch« sind und sich auf neue Bedingungen einstellen können. Solche Hinweise fanden sich zunehmend auch für das Sehen. So

hatten Tierstudien erwiesen, dass sich ein Sehvermögen durchaus nachträglich aufbauen lässt, auch wenn die Entwicklung gestört wurde.

Lohn langwierigen Sehtrainings

Wenn etwa die Funktion des einen Auges bei jungen Tieren ausfiel, weil es gleich nach der Geburt eine Zeit lang abgedeckt gewesen war und die Sehrinde – das Sehzentrum in der hinteren Hirnrinde – deswegen teilweise verkümmerte, können die Tiere später durch systematisches Training trotzdem lernen, mit diesem Auge wieder etwas zu erblicken. Sie können das Auge sogar mit dem anderen koordinieren. Auch im Erwachsenenalter entstandene Läsionen in der Sehrinde, ▷

▷ die zunächst Blindheit in einer Gesichtsfeldhälfte bewirken, kann das Gehirn unter Umständen ausgleichen. Als Folge gezielter Übungen schauten die Tiere nach ein paar Wochen mit dem Auge wieder zu Lichtpunkten, sogar wenn diese recht schwach waren. Mitte der 1980er Jahre gab es auch bereits Hinweise, dass das menschliche Sehsystem Erwachsener anpassungsfähiger reagiert als Neurowissenschaftler früher geglaubt hatten. Sogar Schäden blieben offenbar nicht völlig starr bestehen. Dennoch reagierten die meisten unserer Fachkollegen zunächst äußerst skeptisch auf unsere erste Studie mit auf beiden Augen teilblinden Patienten, die wir zusammen mit Fritz Schmialau von der Universitätsklinik Lübeck von 1989 bis 1992 durchführten.

Die elf Teilnehmer mussten dafür sehr viel Zeit und Geduld aufbringen. Sie trainierten zu Hause wenigstens ein halbes Jahr lang täglich zwei Mal für eine halbe Stunde mit einem Heimcomputer. Ein auf jeden Patienten individuell abgestimmtes Programm konfrontierte sie bei jeder Sitzung viele Hundert Mal mit einzelnen Lichtpunkten am Bildschirm. Besonders im Grenzbereich zwischen dem funktionstüchtigen und dem blinden Gebiet des Gesichtsfelds erzeugte das Programm systematisch Lichtreize (siehe Bild unten). Bei neun dieser Personen

vergrößerte sich das Gesichtsfeld im Verlauf dieser Monate tatsächlich messbar.

Diese erste orientierende Studie hatten wir nicht nach strengen wissenschaftlichen Kriterien durchgeführt, wie unsere Kritiker denn auch monierten. Sie bemängelten unter anderem, dass wir im Gegenversuch nicht zugleich Teilnehmer getestet hatten, die nur scheinbar das gezielte Sehtraining absolvierten – wobei weder der Experimentator noch die Patienten wussten, welche Probanden mit dem echten Programm üben. Außerdem war bei einigen Mitwirkenden möglicherweise die Phase, in der sich das Sehvermögen noch von allein wieder verbessert, nicht völlig abgeschlossen. Sie kann manchmal bis zu einem Jahr währen.

Doppelblindversuch als Bewährungsprobe

So wiederholten wir die Prozedur Mitte der 1990er Jahre mit 19 neuen Teilnehmern, diesmal unter den geforderten Bedingungen. Wir wählten wieder Patienten aus, die einen Gesichtsfeldausfall aufwiesen, der in gleicher Größe und Form auf beiden Augen nachweisbar war. Erfreulicherweise ergab sich auch diesmal, dass sich das Gesichtsfeld eines Großteils der trainierten Patienten um mehrere Winkelgrade erweitert hatte. Dagegen hatte sich bei den Teilnehmern der

Scheinübungen – in dem Fall eine Schulung des Fixationsvermögens und der Augenbewegungen – der blinde Bereich im Durchschnitt sogar noch ein wenig vergrößert. (Diesen Personen boten wir anschließend das gleiche Training an wie der anderen Hälfte der Gruppe.)

Neurowissenschaftler interessiert an diesem Ergebnis insbesondere, was durch das Training eigentlich im Gehirn geschieht. Wie unser Sehsystem anatomisch aufgebaut ist, wo die Nervenbahnen verlaufen oder wo die Verarbeitungszentren für visuelle Informationen liegen und wie sie miteinander verknüpft sind, ist mittlerweile recht genau bekannt. Trotzdem wissen wir nicht wirklich, wie eine Wahrnehmung letztlich zu Stande kommt. Zu verstehen, wieso und durch welche Mechanismen Sinnesereignisse im visuellen System auch noch nach der Kindheit relativ große Veränderungen hervorrufen – also auf eine Bereitschaft zur Plastizität stoßen –, dürfte hilfreich sein, die Funktionsweise dieses Wahrnehmungssystems zu begreifen. Dazu könnten Studien wie unsere Hinweise liefern.

Als wir das Trainingsprogramm konzipierten, bauten wir auf früheren Beobachtungen anderer Forscher auf. Der Neuropsychologe Ernst Pöppel von der Universität München hatte schon in den

▶ Beim Sehtraining fixiert der Patient einen Lichtpunkt (im Schema unten grün). Währenddessen stimuliert das Programm selbsttätig vor allem die Grenzzone (grau) zum blinden Bereich (schwarz).



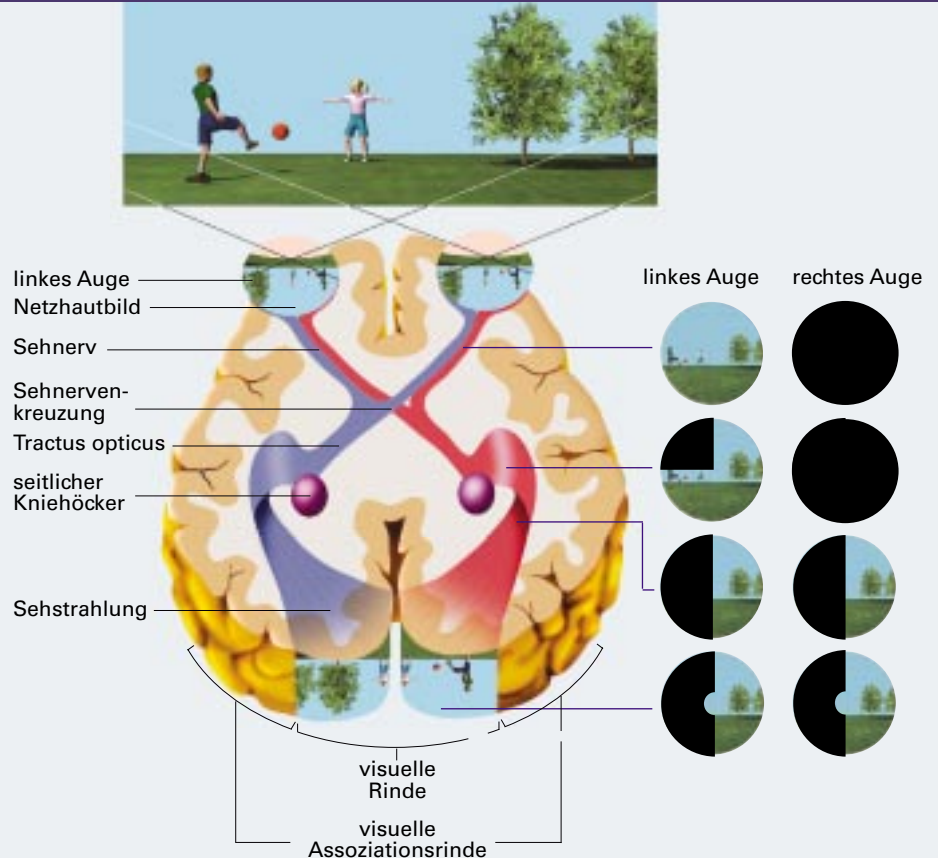
1970er Jahren entdeckt, dass das funktionstüchtige Gesichtsfeld Halbseitenblinder, bei denen die Behinderung auf eine Hirnschädigung als Erwachsene zurückgeht, in der Größe stets etwas schwankt. Es verändert sich sowohl über den Tag als auch über das Jahr. Bei einem Patienten war es beispielsweise in den Sommermonaten deutlich größer als im Winter.

Einige Jahre später registrierte Josef Zihl von der Universität München verblüfft, dass sich bei solchen Patienten die Grenze zwischen sehendem und blindem Bereich nach aufwendigen und wiederholten Gesichtsfeldmessungen mit Lichtpunkten offenbar auch längerfristig verändern kann. Weil er das Grenzfeld genau bestimmen wollte, unterzog er die Patienten einer Anzahl langwieriger Sitzungen. Doch jedes Mal, wenn ein Patient zum nächsten Test erschien, hatte sich dessen Gesichtsfeld etwas in den blinden Bereich hinein erweitert. Als Schmielau dieses Phänomen einige Jahre später gezielt mit mehreren Patienten prüfte, kam er zum gleichen Resultat.

Pöppel und Zihl hatten sehr zeitaufwendig noch mit einer Apparatur gearbeitet, bei der jeder Lichtpunkt einzeln per Hand eingestellt wird. Dieses so genannte »Tübinger Perimeter« verwenden Augenärzte noch heute, um das Gesichtsfeld von Patienten auszumessen. Allerdings ist es bei modernen Geräten automatisiert. Der Patient sitzt dabei dicht vor einem kleinen halbkugelförmigen Schirm von etwa siebzig Zentimeter Durchmesser. Das Kinn liegt fest in einem Gestell, und die Person muss mit einem Auge einen bestimmten Punkt in der Mitte des Schirmes fixieren, während einzelne Lichtpunkte irgendwo in der Halbkugel auftauchen. Das andere Auge wird währenddessen abgedeckt. Der Getestete gibt jeweils an, wann ein Lichtfleck von der Peripherie her in seinem Blickfeld erscheint. Dabei lassen sich sowohl Intensität als auch Größe der Lichtflecken variieren. Gesunde erblicken dabei in der Peripherie Lichtpunkte bis zu 60 oder 70 Grad vom fixierten Punkt. Zur Schläfe hin können dies bis zu 90 Grad sein.

Dieses Gerät ersetzt bei unserem Training ein PC mit einem gewöhnlichen Computer-Bildschirm. Zum einen kann der Patient damit auch zu Hause alleine üben. Zum anderen erlaubt diese Vorgehensweise eine mehrfach höhere Auflösung der Lichtpunkte, also ein Abtasten

Die Stationen der Sehbahn



Je nachdem, an welcher Stelle die Sehbahn geschädigt ist, fallen Defekte des Gesichtsfeldes anders aus. Nach einer schweren Läsion des Sehnerven etwa kann der Patient auf dem einen Auge völlig blind sein. Eine auf beiden Augen gleiche totale Halbseiten-Teilblindheit tritt auf, wenn die Läsion die Sehstrahlung einer Gehirnhälfte betrifft. Hingegen bedeutet eine Schädigung der Sehrinde meist, dass der Patient im Zentrum des Gesichtsfeldes auf der blinden Seite doch noch etwas sieht.

in viel engeren und genaueren Schritten als mit dem Perimeter. Der Bildschirm deckt zwar einen kleineren Ausschnitt des Gesichtsfeldes ab als das übliche Perimeter, doch er erfasst dessen zentralen und damit wichtigsten Teil. Wenn hiervon einiges fehlt, behindert schon ein kleiner Defekt den Patienten stark. Ein anderer Vorteil ist, dass das von uns entwickelte Programm die meisten Lichtpunkte automatisch an der Grenze zwischen sehendem und blindem Feld setzt und sie dort am dichtesten produziert. Auch die Lichtstärke und -dauer kann es bedarfsgerecht variieren. So schult es diesen Randbereich am intensivsten. Die Bereiche beidseits der Grenze fährt es in größeren Schritten ab.

Eine erste Version dieser Software entwickelte einer von uns (Kasten) Ende der 1980er Jahre zunächst am C64, spä-

ter unter MS-DOS. Inzwischen existiert mit dem NovaVisions-Programm schon die vierte Version einer mit Windows kompatiblen Software. Das Programm speichert alle Übungsdaten. Es prüft auch die Fixationsfähigkeit und hält die Leistungen des Patienten fest. So konnten wir monatlich eventuelle Fortschritte erfassen und die Software Schritt für Schritt neu auf den Patienten justieren.

Computerprogramm für Heimtraining

Am Ende der zweiten Studie war das Gesichtsfeld der trainierten Patienten im Mittel um 4,9 Grad größer geworden. Sie sahen die Lichtreize an durchschnittlich 7,8 Prozent mehr Positionen des Bildschirms als vor dem Training. Dieser Zuwachs verteilte sich allerdings über die trainierten Teilnehmer nicht gleichmä-

▷ **ßig.** Rund zwei Drittel von ihnen konnten ihre Leistungen klar verbessern: Zwei Patienten gewannen sogar einen Zuwachs von 15 beziehungsweise 21 Prozent. Bei einem Drittel jedoch wuchs das Gesichtsfeld trotz Trainings nicht oder kaum nennenswert. Lediglich ein Teilnehmer der Trainingsgruppe hatte sich um 2 Prozent verschlechtert.

Wie waren die Trainingserfolge zu erklären? Eine Reihe von Forschungsergebnissen hilft, diese Plastizität des Sehsystems zu deuten. Bereits 1980 hatte Ulf Eysel von der Universität Bochum erst-

malig nachweisen können, dass Zellen der Sehrinde nach Gehirnläsionen ihr rezeptives Feld (ihr Einzugsgebiet von der Netzhaut) vergrößern. In den neunziger Jahren zeigten Eysel und seine Mitarbeiter in weiteren Tierstudien, dass diese Gehirnzellen ihr Einzugsgebiet auch dann ausdehnen, wenn man sie nicht nur direkt, sondern zusätzlich noch nahe neben ihrem Zuständigkeitsbereich in geeigneter Weise stimuliert. Binnen Minuten antworten sie dann auf die Erregung eines größeren Fleckens auf der Netzhaut und behalten das für mehrere Stunden bei. Offenbar konnten die Nervenzellen der Hirnrinde ihren Einzugsbereich infolge der neuen Beanspruchung sofort etwas vergrößern. Zudem gelang es damals Manfred Fahle von der Universität Bremen, bei Personen mit gesundem Sehvermögen einzelne Stellen des Gesichtsfelds auf überscharfes Sehen zu schulen – was an das »Adlerauge« von Naturvölkern erinnern mag. Interessanterweise übertrug sich die neue Leistung nicht auf andere Reize, sondern blieb rein auf die Übungsaufgabe beschränkt – etwa darauf, zu erkennen, welche von zwei Linien eine winzige Verschiebung zeigte.

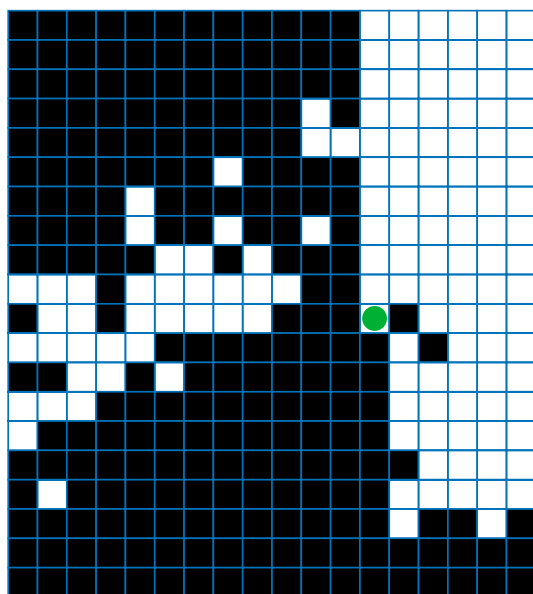
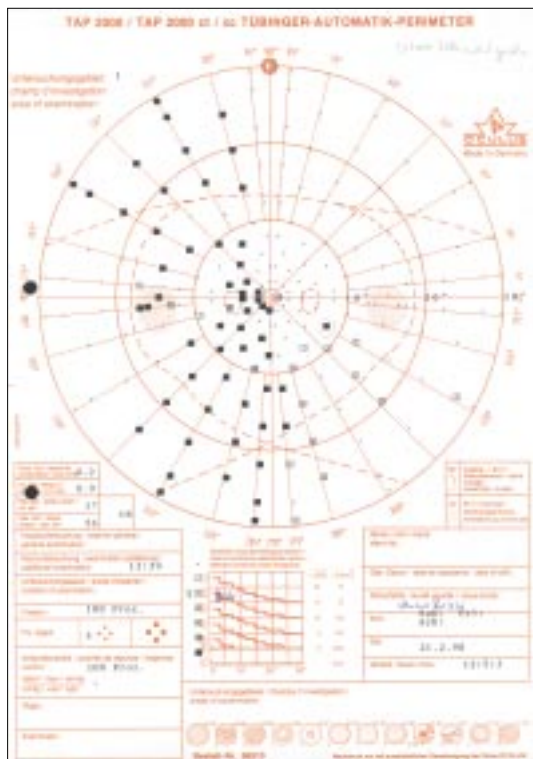
Sehen, ohne zu sehen

Auch Forschungen zum so genannten Blindsehen lieferten neue Erkenntnisse. Pöppel hatte das Phänomen bei Untersuchungen von Teilblinden mit defekter Sehrinde entdeckt. Wie er herausfand, nehmen manche der Betroffenen im an sich blinden Bereich doch noch etwas wahr, ohne dass ihnen dies allerdings bewusst wird. Ohne zu wissen warum, raten sie viel öfter als zufällig richtig, wenn sie sagen sollen, ob dort ein Lichtpunkt aufleuchtete oder nicht. In den letzten zwei Jahrzehnten stellte sich heraus, dass diese Wahrnehmung sogar wieder bewusst werden kann, wenn man sie intensiv schult. Dies gelang Petra Störig von der Universität Düsseldorf (siehe ihren Artikel »Blindsehen« in »Gehirn & Geist«, 2, 2003, S. 76).

Zunächst suchten Gehirnforscher das Blindsehen damit zu erklären, dass normalerweise ein Teil der visuellen Information nicht zur Hirnrinde gelangt, sondern ins Stammhirn, also in ältere Gebiete für die visuelle Verarbeitung, welche zum Beispiel reflexhafte Augenbewegungen beisteuern. Die betreffende Verzweigungs- und Verschaltungsstelle beider Gehirnhälften liegt am Ende des Sehnerven im seitlichen Kniehöcker (*Corpus geniculatum laterale*) – etwa auf halber Strecke zwischen Auge und Sehrinde. Nach jener Hypothese würde bei Teilblinden das Mittelhirn noch visuelle Information erhalten, aber die Sehrinde keine mehr, weil diese oder die direkt zu ihr führenden Bahnen lädiert sind.

Doch Mark Wessinger und Robert Fendrich von der Universität von Kalifornien in Davis entdeckten 1992, dass bei manchen Betroffenen im blinden Bereich der Sehrinde noch kleine Inseln unversehrter Zellen vorhanden sind. Sie schlossen daraus, dass innerhalb des geschädigten Areals noch winzige Sehreste existieren können. Allerdings sind diese offenbar zu klein und damit zu schwach, um visuelle Eindrücke weiterzuleiten und bis ins Bewusstsein zu heben. Diese These unterstützen Ergebnisse unseres ehemaligen Mitarbeiters Stefan Wüst. Er wies nach, dass Blindsehen auch bei Patienten mit geschädigtem Sehnerven vorkommt. Bei diesen Patienten dürfte das Mittelhirn genauso mangelhaft, wenn überhaupt, versorgt werden wie die Sehrinde. In dem Fall erhalten über den geschädigten Sehnerven zu wenige Zellen der Rinde noch einen Input, um eine bewusste Wahrnehmung zu erzeugen.

Wir unterscheiden heute drei Arten von Reststrukturen in der ansonsten blinden Sehrinde. Ersten gibt es die »Makro-Inseln«. Das sind größere zusammenhängende Bereiche im blinden Areal – Flecken, wo der Patient noch zuverlässig Licht, Formen und Farben bewusst wahrnimmt. Zweitens können »Mikro-Inseln« existieren. Sie sind viel kleiner. An diesen Stellen sehen Patienten hin und wieder noch einen Lichtpunkt. Die Wahrnehmung wiederholt sich jedoch nicht zuverlässig, und das Licht muss meistens relativ stark sein. Drittens gibt es einen »Übergangsbereich«: Dort liegen offenbar in der Randzone des zerstörten Gewebes häufig noch ein paar funktionstüchtige Zellen. Das kann der Rand einer Makroinsel sein oder auch die



◀ Das obere Messprotokoll des Gesichtsfelds einer Halbseitenblinden wurde mit einem üblichen Perimeter erstellt, das untere am Monitor. Der Bildschirm erfasst nicht das komplette Gesichtsfeld, lässt aber genauer erkennen, welche Bereiche der blinden linken Seite noch reagieren. (Grün: Fixationspunkt)

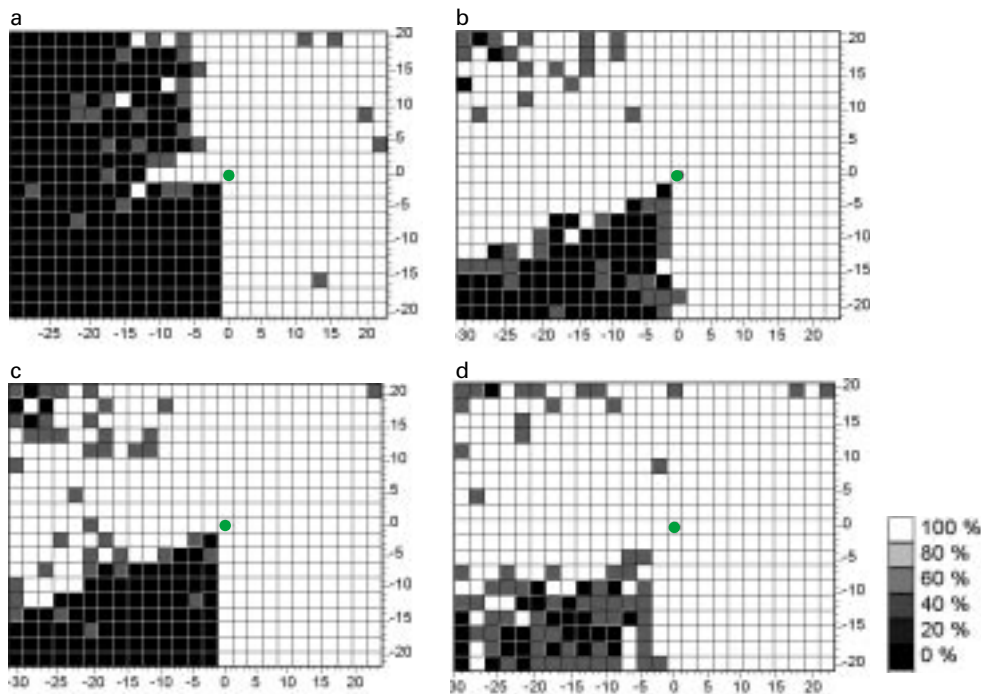
Grenze des blinden Feldes. Auch in diesem Grenzgebiet erkennen Patienten Lichtreize nur manchmal – was wir bei unseren Versuchen aber ausnutzen.

Noch eine Beobachtung verdient Beachtung. Sonderbarerweise sind sich Teilblinde des fehlenden Bereichs ihres Gesichtsfeldes von allein oft gar nicht bewusst. Der Teil ist nicht schwarz, sondern fehlt schlichtweg und wird beim Sehen selbst eigentlich gar nicht vermisst. Erst wenn die Patienten mit jemandem zusammenstoßen oder gegen Möbel rennen, merken sie, dass etwas nicht stimmt. Offenbar stört sich das Gehirn an dem Gesichtsfeldausfall nicht. Kleinere fehlende Flecken scheint es überdies von allein mit Information aus der unmittelbaren Umgebung des Areal zu füllen. Das geschieht ganz offenkundig auch mit dem so genannten Blinden Fleck, dem »Loch« in der Netzhaut, wo der Sehnerv austritt. Auch den Blinden Fleck können wir selbst beim Sehen mit einem Auge nur mit Tricks wahrnehmen.

Hirnzellen erweitern ihre Kompetenz

Aus all dem entwarfen wir 1997 ein Modell, dass unsere Versuchsergebnisse erklären sollte. Wir vermuteten, dass funktionstüchtige Zellen der Sehrinde, die an den Rändern oder inmitten zerstörter, blinder Bereiche liegen, durch die intensive Stimulation ihr Einzugsgebiet erweitern, das heißt ihr rezeptives Feld etwas ausdehnen. Sie können das unter anderem wohl deswegen, weil von den Zellen ihrer Umgebung keine unterdrückenden Signale mehr kommen. Normalerweise hemmen die Nervenzellen ihre Nachbarn, so dass nur die jeweils am stärksten aktivierte zum Zuge kommt. Solche Nachbarzellen fehlen nun aber. Indem wir die wenigen restlichen Zellen durch unser Training mit Lichtpunkten anregen, stärken wir sie, das heißt ihre Verknüpfungen mit anderen Nervenzellen. Insbesondere scheint das auch den Informationsfluss zu höheren Verarbeitungszentren zu betreffen. So können wenige überlebende Neuronen schließlich genug Kraft bekommen, um visuelle Informationen ins Bewusstsein zu heben. Bezeichnenderweise dauert diese Umorganisation Monate.

Dass winzige Reststrukturen im ansich blinden Gebiet der Sehrinde oder an dessen Rand existieren, konnten wir bei zwei Dritteln unserer Versuchsteilnehmer nachweisen. Dies entspricht auch der Er-



folgsquote bei dem Sehtraining. Wir vermuteten, dass bei diesen Patienten solche übrig gebliebenen Zellen der Sehrinde aktiv wurden und ihre Funktionen ausweiteten.

Nach diesem Modell schult das Sehtraining mit unserem computerisierten Verfahren Restzellen in der weitgehend zerstörten Sehrinde. Eine Überraschung erlebten wir allerdings, als unser Mitarbeiter Stefan Wüst eine dritte Studie durchführte. Wieder mussten Patienten in der beschriebenen Weise trainieren. Viele von ihnen waren aber anders als die früheren Teilnehmer nur auf einem Auge teilblind, da sie an einem Defekt des Sehnervs litten. Genau genommen musste der Schaden sogar vor der Kreuzung beider Sehnerven liegen – denn bei einem Defekt der hinteren Hälfte des Sehnerven wären beide Augen betroffen gewesen (siehe Bild Seite xx).

Eigentlich erwarteten wir bei diesen Teilnehmern kaum einen Übungsgewinn: Wenn bedingt durch einen geschädigten Sehnerv zu wenig Information in die Sehrinde gelangt, lässt sich die Informationsmenge nicht steigern, so nahmen wir an. Doch zu unserem Erstaunen verbesserte sich das Sehvermögen bei den Trainierten der dritten Gruppe sogar noch mehr als bei denen der zweiten Studie. Sie steigerten ihre Sehleistungen um durchschnittlich fast 22 Prozent. Ihr Gesichtsfeld für das behinderte Auge vergrößerte sich im Mittel um 5,8 Grad. Auch bei den Kontrollteilnehmern, die nur fi-

▲ Dieser Patient hatte sein linkes Gesichtsfeld eingebüsst (a). Acht Monate Training halfen ihm erheblich (b). Zwei Jahre später war der Zustand ohne Therapie unverändert (c), besserte sich durch neues Üben aber weiter (d). (schwarz: kompletter Ausfall; Grauwerte: manchmal Reaktion)

xierende Blickfeldübungen absolviert hatten, verzeichneten wir diesmal einen deutlichen Zugewinn. Deren Gesichtsfeld des behinderten Auges wuchs um 4,3 Grad und das Sehvermögen um 6 Prozent. Außerdem besserte sich bei den meisten Teilnehmern die Nahsicht.

Zugewinn auch bei Sehnerv-Defekt

Offenbar war unser erstes Modell nicht umfassend genug. Den Gesichtsfeldgewinn der Kontrollpatienten und den auffallend hohen Zugewinn der trainierten Teilnehmer erklären wir dadurch, dass diese Gruppe gewöhnlich das schlechte Auge wenig beansprucht und vor allem dessen schwachen Bereich an der Grenzzone zum blinden Feld kaum noch benutzt, da das gute Auge den Defekt ja kompensiert. Als das schlechte Auge aber zum Sehen im Grenzfeld gezwungen wurde, weil das gute abgedeckt war, verbesserte sich die Leistung drastisch.

Zusätzlich erwies die Studie aber, dass die Sehtüchtigkeit auch bei defektem Sehnerv steigerbar ist. Offenbar erhöhte das Training auch hier die Leistung von ▷

▷ Restneuronen, bis sich ein zuverlässigerer Sinneseindruck ergab. Gar keine Verbesserung zeigte nämlich ein Patient, der – neben einer Halbseitenblindheit auf dem einen Auge – auf dem anderen Auge völlig blind war. Dieser Mann versuchte sicherlich im Alltag schon selbst, den verbliebenen Sehrest voll auszunutzen. Das Training konnte ihm darum keinen Zugewinn mehr bringen. Dagegen scheinen viele Patienten im Alltag dazu zu neigen, nur mit dem intakten Bereich zu sehen und den geringen Seheindruck aus den Übergangsbereichen zu vernachlässigen. Wir vermuten, dass das Training dem entgegenwirkt, weil im ansonsten dunklen Raum nur die teilgeschädigten Areale trainiert werden.

Verbesserte Lebensqualität

Eine Vergrößerung des zentralen Gesichtsfelds um rund fünf Winkelgrade mag nicht sehr viel erscheinen. Doch immerhin berührt dies meist den Bereich des scharfen Sehens. Von den Patienten unserer Trainingsgruppen mit beidseitiger Teilblindheit spürten 72 Prozent selbst eine Verbesserung ihres Sehvermö-

gens. Sie registrierten, dass sie wieder Objekte vor den Augen wahrzunehmen vermochten, die ihnen vorher entgangen wären. Von den scheintrainierten Personen meinten dagegen nur 17 Prozent, besser sehen zu können als vorher.

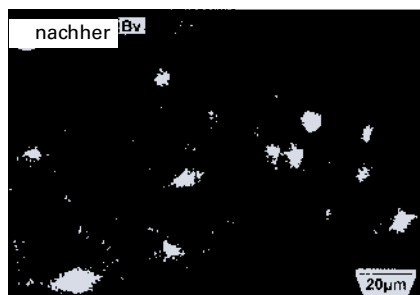
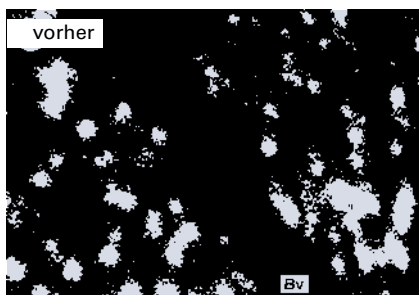
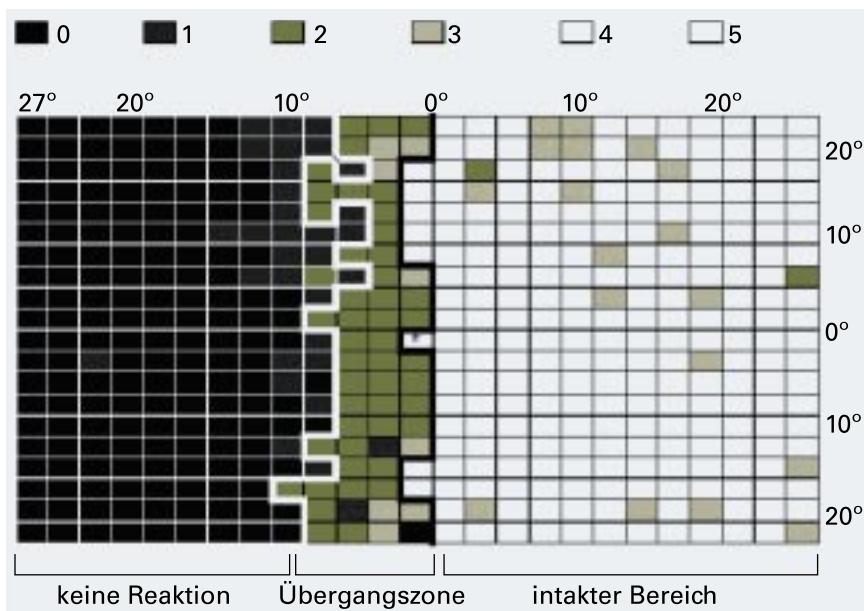
Inzwischen wurden in dem unserem Institut angegliederten »Novavision Zentrum für Sehtherapie« schon 300 weitere teilblinde Patienten mit dem Sehtraining behandelt. Hiervon hat unsere Mitarbeiterin Iris Müller gerade die Daten von 82 Patienten analysiert, die das Training inzwischen abgeschlossen haben. Diese Personen machten ähnlich Angaben wie unsere Studienteilnehmer. Nur 16 Prozent von ihnen spürten subjektiv keine Verbesserung und keinen Gewinn im Alltag. Alle anderen empfanden mindestens in einem Lebensbereich Erleichterung. Rund 70 Prozent vertrauten ihrem Sehvermögen wieder mehr. Sie bewegten sich wieder zwangloser. 43 Prozent hatten das Gefühl, wieder besser lesen zu können. Ein Teil berichtete auch, seltener mit Menschen oder Gegenständen zusammenzustoßen, beim Sport leichter zurechtzukommen oder weniger Schwie-

rigkeiten mit anderen Hobbys, etwa Handarbeiten, zu haben.

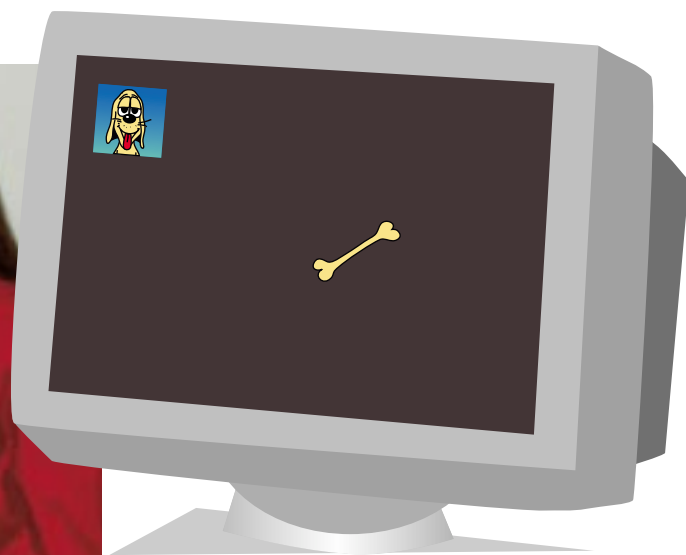
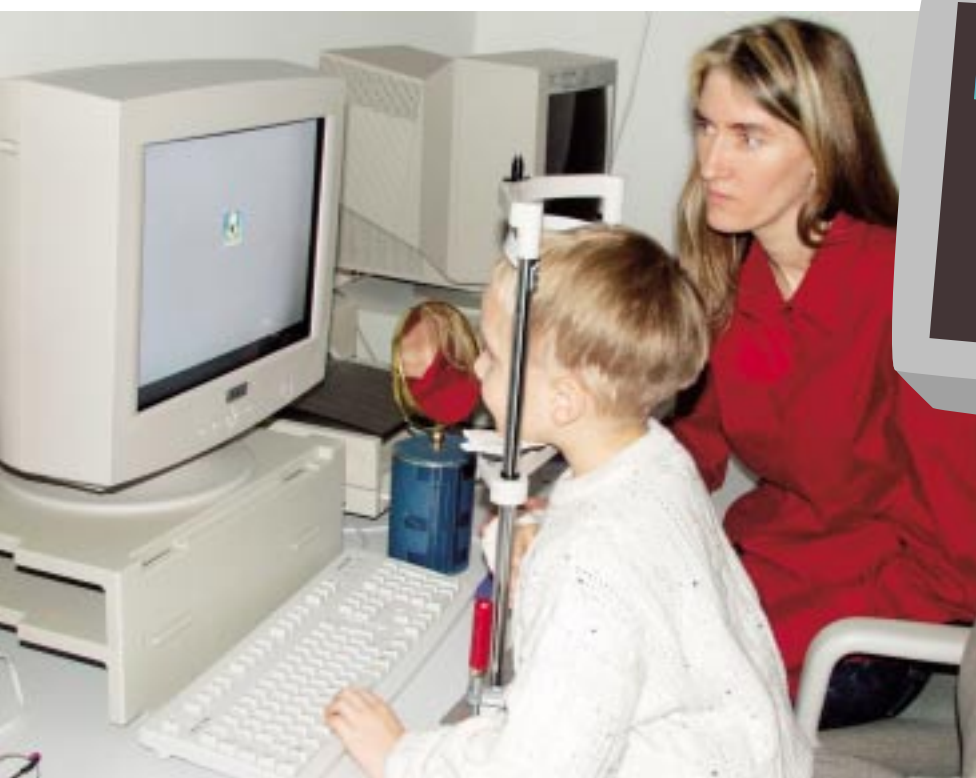
Angesichts dieser Therapieerfolge drängte sich die Frage auf, wie lange die Verbesserung anhält. Würden die Betroffenen lebenslang regelmäßig, vielleicht sogar täglich weiter trainieren müssen, um den geringen Gewinn wenigstens zu erhalten? Glücklicherweise erscheint das bei den meisten Patienten nicht erforderlich. Wir untersuchten das Sehvermögen von 31 Studienteilnehmern erneut zwischen einem halben bis zu zwei Jahren nach Abschluss der sechsmonatigen Übungsphase. Im Mittel hatten sich die Leistungen in der Zwischenzeit um 0,8 Prozent verschlechtert, ein recht geringfügiger Wert. Doch als wir die Daten aufschlüsselten, ergab sich, dass nur ein Teil der Trainierten vom Zugewinn wieder etwas verloren hatte. Ein anderer Teil wies sogar eine weitere Verbesserung auf.

Wir vermuten, dass der Gewinn nur dann bestehen bleibt, wenn die Betroffenen diesen Bereich des Gesichtsfelds tagtäglich im Alltag benutzen. Offenbar gelingt das nicht jedem. Auch diese Beobachtung spricht dafür, dass das Gesichtsfeldtraining einen regelrechten Lernprozess der Nervenzellen der Schrinde in Gang setzt. Das Gelernte muss aber anscheinend, wie beim Fremdsprachenlernen, regelmäßig angewandt werden. Sonst verblasst es wieder.

Erfreulicherweise stellte sich auch heraus, dass das von uns in Magdeburg entwickelte Gesichtsfeldtraining nicht nur die Wahrnehmung weißer Lichtpunkte schult, wie sie auf dem Monitor erscheinen. An sich sind in der Hirnrinde für das Erkennen von Hell und Dunkel andere Zellen oder Zellgruppen zuständig als etwa für Farben. Trotzdem sehen viele der Patienten im hinzugewonnenen Bereich auch wieder Farben und Konturen – was sie vorher gleichfalls nicht konnten. Dieser Effekt ist zwar etwas geringer als bei den Helligkeitswerten. Doch er enthebt die Betroffenen der Mühsal, diese gerade im Alltag entschei-



◀ Das Trainingsprogramm nutzt aus, dass bei vielen Teilblinden ein Übergangsbereich der Hirnrinde noch bei Lichtreizen anspricht, wenn auch unzuverlässig (oben: Zahl der Reaktionen bei fünf Reizen). Auch im Tierversuch überlebten nach einer Läsion des Sehnerven einzelne Zellen der Sehrinde (unten).



◀ Unsere Mitarbeiterin Iris Müller arbeitet in einem Forschungsprojekt mit hirngeschädigten Kindern. Um die kleinen Patienten für das Gesichtsfeldtraining zu motivieren, entstand ein Programm mit animierten Witzbildern. Dieses Programm findet selbstständig den Übergangsbereich, den es dann trainiert.

denden Fähigkeiten gesondert üben zu müssen. Allerdings erkannten nur solche Personen auch wieder Formen und Farben im gewonnenen Sehbereich, bei denen die Schädigung hinter der Sehnervenkreuzung lag. Bisher können wir die Diskrepanz nicht erklären.

Aber nicht jede Veränderung der Sehleistung muss damit zusammenhängen, dass die Zellen langsam etwas Neues lernen. Denn auch die momentane Aufmerksamkeit kann das Verhalten der Zellen beeinflussen. Dieser Effekt setzt dann aber sofort ein – nicht nach Monaten wie bei unseren Studien –, und er bleibt nicht bestehen. Wie Tierstudien erwiesen, verändern die Zellen der Sehrinde ihren Einzugsbereich fortwährend, abhängig von der Stimmung und dem Befinden des Tiers. Bei Schläfrigkeit wird er vorübergehend größer, bei Wachheit und Aufmerksamkeit kleiner.

Plötzlich doch nicht blind

Vielleicht erklärt sich so, dass Teilblinde manchmal plötzlich im blinden Feld ohne Training doch Lichtreize bewusst wahrnehmen können. Dieses Phänomen prüfte unsere Mitarbeiterin Dorothe Poggel vor zwei Jahren. Sie sagte den Versuchspersonen jeweils, auf welchen Bereich des Bildschirms sie beim Sehtest besonders achten sollten, während sie starr

zum Fixationspunkt in der Mitte des Schirms blicken mussten. In manchen Durchgängen zeigte ein quadratischer Rahmen auch vorher an, wo der Lichtreiz auftreten würde. Zu ihrer eigenen großen Verblüffung erkannten die Patienten im blinden Bereich im vorher ausgewiesenen Rahmen nun viel mehr Lichtpunkte als ohne die Anweisung.

Auch die Motivation beeinflusst erstaunlicherweise das Lernen der Nervenzellen. Schon Manfred Fahle hatte bei den Übungen zur Sehschärfe beobachtet, dass die Teilnehmer das Verlangte schneller lernen, wenn man ihnen stets mitteilt, dass sie den Reiz richtig erkannt haben. Diesen Aspekt berücksichtigen wir inzwischen in einem an unserem Institut speziell für Kinder entwickelten Trainingsprogramm. Auf dem Bildschirm erscheint statt eines langweiligen Fixationspunktes eine animierte Trickfilmfigur, und statt mit einfachen Lichtpunkten wird das visuelle System mit Bildern von Objekten gereizt (siehe Bild oben). Außerdem erscheinen bei Leistungsschritten nach jedem Durchgang auf dem Bildschirm immer mehr Teile eines großen Puzzlebildes.

Jedes Gehirn ist individuell gestaltet, und seine Struktur hängt auch vom Gebrauch ab. Selbst das visuelle System, so präzise es eigentlich verschaltet zu sein

scheint, erweist sich als unerwartet plastisch und bis ins Alter lern- und anpassungsfähig. Offenbar sind plötzlich funktionslos gewordene Gehirnzellen stets bereit, wieder Aufgaben zu übernehmen. Diese Eigenschaft versuchen Neurowissenschaftler zum Nutzen von Patienten zu verwerten und so auch Erkrankungen zu behandeln, die bisher als unabänderlich galten. ◀



Erich Kasten (oben) ist Klinischer Neuropsychologe am Institut für Medizinische Psychologie der Universität Magdeburg. Für »Spektrum der Wissenschaft« verfasste er den Artikel: »Wenn das Gehirn aus der Balance gerät: Halluzinationen« (Dez. 2000, S. 64). **Bernhard A. Sabel** ist seit 1992 Direktor des Instituts für medizinische Psychologie der Universität Magdeburg.



Diagnose und Behandlung zerebraler Störungen. Von Erich Kasten. Shaker-Verlag, Aachen 1999.

Computer-based Training for the Treatment of partial Blindness. Von Erich Kasten et al. in: Nature Medicine, Bd. 4, Heft 9, Sept. 1998, S. 1083.

Restoration of Vision by Training of Residual Functions. Von Bernhard A. Sabel und Erich Kasten in: Current Opinion in Ophthalmology, Bd. 11, 2000, S. 430.

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.