

8 Zerebrale Blindheit und Gesichtsfeldausfälle

Josef Zihl

- 8.1 Anatomie und Physiologie des visuellen Systems – 88
- 8.2 Homonyme Gesichtsfeldstörungen – 90
 - 8.2.1 Formen – 90
 - 8.2.2 Funktionelle Folgen von Gesichtsfeldeinbußen – 92
- 8.3 Zerebrale Blindheit – 95



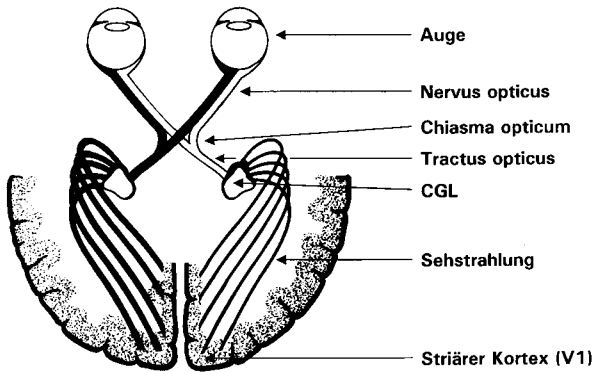
Gesichtsfeldausfälle stellen die häufigste Gruppe zerebraler Sehstörungen dar. Die quantitative (Ausmaß des Ausfalls) und qualitative (betroffene visuelle Teilleistungen) Charakterisierung der unterschiedlichen Formen partieller zerebraler Blindheit diente bereits zu Beginn der klinischen Hirnforschung als Grundlage für die anatomische Zuordnung dieser Ausfälle sowohl entlang der Projektion vom Auge ins Gehirn als auch im visuellen Kortex selbst. Der Vergleich der Assoziation und Dissoziation von Teilfunktionen, d. h. von betroffenen und erhaltenen visuellen Teilleistungen im Gesichtsfeld, erlaubte Rückschlüsse auf die funktionelle Organisation des zentralen visuellen Systems des Menschen, lange bevor bildgebende Verfahren zur Verfügung standen. In diesem Beitrag sollen diese Aspekte exemplarisch dargestellt und in ihrer Bedeutung für das Verständnis der neurobiologischen Grundlagen der visuellen Wahrnehmung diskutiert werden. Die vorliegenden Befunde weisen auf 2 grundlegende funktionelle Organisationsprinzipien des Gehirns hin: die funktionelle Spezialisierung der Verarbeitung und Kodierung von Informationen und die unbedingte Aufrechterhaltung der räumlichen und zeitlichen Kohärenz des Wahrgenommenen.

- ❗ **Eine Schädigung des postchiasmatischen visuellen Systems führt zu einer Gesichtsfeldstörung (beeinträchtigt Sehen) oder einem Gesichtsfeldausfall (Verlust des Sehens) im kontralateralen binokulären Halbfeld. Der vollständige Verlust des Sehens in einem umschriebenen Gesichtsfeldbereich wird als**
▼

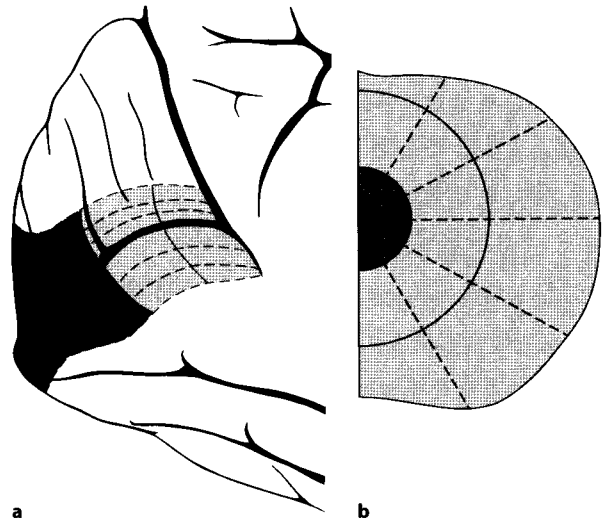
Anopie, die Beeinträchtigung der Sehleistungen als (zerebrale) Amblyopie bezeichnet. Der vollständige Verlust des Sehens in einem definierten Gesichtsfeldbereich oder im gesamten Gesichtsfeld wird als partielle oder totale genikulostriäre Blindheit bezeichnet. Daneben existieren auch »selektive« Formen von kortikaler Blindheit, z. B. für Farbe (Achromatopsie) oder Bewegung (Akinetopsie), die durch eine Schädigung extrastriärer visueller Areale verursacht sind.

8.1 Anatomie und Physiologie des visuellen Systems

Das Gesichtsfeld stellt eine wesentliche Voraussetzung der visuellen Wahrnehmungsfähigkeit des Menschen dar; es ermöglicht die Entdeckung von optischen Reizen in einem großen Bereich (etwa 180° horizontal, 100° vertikal) und erlaubt eine sehr detaillierte Analyse dieser Reize mit Hilfe hochauflösender visueller Funktionen im Zentrum. Periphere Grundlage für das Gesichtsfeld und seiner Leistungen ist die Netzhaut (Retina), deren Rezeptorarten und -verteilung (Zapfen im Zentrum, Stäbchen in der Peripherie) diese funktionelle Zweiteilung (Entdecken und Lokalisieren vs. Erkennen) ermöglichen. Kein anderes Sinnesorgan erreicht eine ähnlich hohe Integration simultaner Erregungen von Millionen von Rezeptoren zur Erzeugung komplexer räumlicher Abbildungen der Umwelt und besitzt eine ähnlich hohe Reichweite. Als einziges Sinnesorgan sind die Augen selbst beweglich und können damit auch intentional auf Reize bzw. Blickziele ausgerichtet werden. Das auf der Netzhaut entstandene Bild wird im Wesentlichen als räumliches Signalmuster kodiert und an höhere Zentren im visuellen System weitergegeben. Insgesamt ziehen jeweils rund 1 Mio. Afferenzen aus jedem Auge zur thalamischen Schaltstation im Zwischenhirn (Corpus geniculatum laterale, CGL), wobei die Kreuzung der nasalen Fasern aus der Netzhaut im Chiasma opticum, der Sehnervenkreuzung, dazu führt, dass das linke Gesichtsfeld in die



■ **Abb. 8.1.** Schematische Darstellung des visuellen Systems mit Kreuzung der zu beiden nasalen Retinahälften gehörenden Sehnervenfaser. Die beiden linken Gesichtsfeldhälften sind im rechten, die beiden rechten im linken striären Kortex repräsentiert. (Mod. nach Eysel 1998)



■ **Abb. 8.2a,b.** Topographische Repräsentation des Gesichtsfeldes (b) im striären Kortex (V1; seitliche Ansicht, a). Der dunkle Bereich stellt die inneren 10° der rechten Gesichtsfeldhälfte dar. (Mod. nach Eysel 1998)

rechte Hemisphäre und das rechte Gesichtsfeld in die linke Hemisphäre projiziert (sog. homonyme Repräsentation;

■ **Abb. 8.1).**

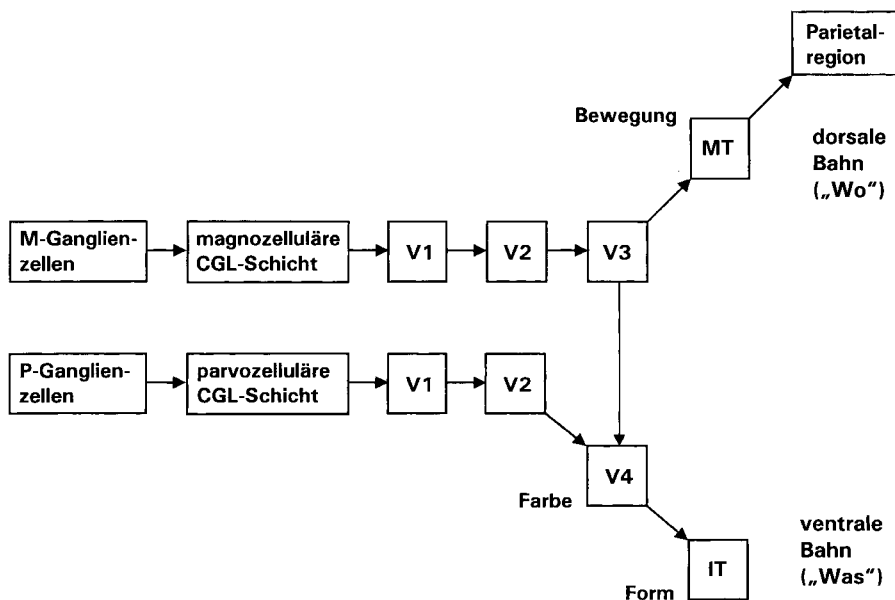
Lediglich ein schmaler Streifen des Gesichtsfeldzentrums zeigt eine Überlappung; es wird angenommen, dass dieser zentrale Gesichtsfeldbereich in beiden Hemisphären repräsentiert ist. Im Verlauf der postchiasmatischen Sehstrahlung entspricht die Topographie der Sehnervenfaser zunehmend dem retinotopen Muster der primären Sehrinde (Area striata, Area 17 nach Brodmann, visuelles Areal V1). In der primären Sehrinde findet sich eine sehr präzise Abbildung der Netzhaut (Retinotopie), wobei das zentrale Gesichtsfeld am Okzipitalpol repräsentiert ist. Die primäre Sehrinde weist einen unterschiedlichen, vom Gesichtsfeldort abhängigen Vergrößerungsfaktor auf. [Als Vergrößerungsfaktor wird die Strecke im kortikalen Projektionsgebiet bezeichnet, die einer Änderung des Ortswertes im Gesichtsfeld um 1 Sehwinkelgrad (°) entspricht.] Der Vergrößerungsfaktor entspricht der Dichteverteilung der retinalen Ganglienzellen und hängt somit vom jeweiligen Gesichtsfeldort ab. Er beträgt im zentralen Gesichtsfeld 5–10 mm, in der Gesichtsfeldperipherie hingegen nur 0,005–0,01 mm. Beim Menschen nehmen die inneren 10° des Gesichtsfeldes etwa die Hälfte des Areals des striären Kortex ein (■ **Abb. 8.2).**

❗ **Bereits in der Netzhaut beginnt die parallele Verarbeitung von optischen Reizeigenschaften, die nach zentral verstärkt wird und von einer zunehmenden Spezifität der Zelleigenschaften begleitet ist (■ **Abb. 8.3).****

Das M-System (magnozelluläres System) besteht aus Zellen mit großen rezeptiven Feldern geringer räumlicher, aber hoher zeitlicher Auflösung. Diese Zellen sind sehr kontrastempfindlich und tragen wesentlich zur Bewegungs- und Tiefenwahrnehmung bei, sind aber »farbenblind«. Das P-System (parvozelluläres System) besteht aus Zellen mit kleinen rezeptiven Feldern und hohem räumlichen, aber niedrigem zeitlichen Auflösungsvermögen und geringer Kontrastempfindlichkeit; sie bilden die Grundlage für eine hohe Detailauflösung (Sehschärfe) und für die Farbmempfindlichkeit. Zellen des M-Systems projizieren im Wesentlichen in visuelle kortikale Areale, die auf die Kodierung globaler räumlicher Informationen und bewegter Reize spezialisiert sind (z. B. V3, V5). Zellen des P-Systems hingegen projizieren in visuelle kortikale Areale, die auf die Kodierung von Farbe und Form spezialisiert sind (z. B. V4, IT). Die Projektionswege für die beiden Systeme finden sich also in extrastriären Verarbeitungsrouten wieder: Das M-System setzt sich in okzipitoparietalen (dorsalen), das P-System in okzipitotemporalen (ventralen) Strukturen fort.

❗ **Das dorsale System spielt eine wesentliche Rolle für Leistungen der visuellen Raumwahrnehmung; es wird deshalb vereinfacht auch als »Wo«-System bezeichnet. Das ventrale System ist hingegen für die Analyse von Objektmerkmalen (z. B. Form, Farbe) sowie von Objekten und Gesichtern wichtig und wird deshalb als »Was«-System bezeichnet.**

■ **Abb. 8.3.** Schematische und vereinfachte Darstellung der retinogenikulostriären Bahn und einiger ihrer kortikalen Projektionsgebiete. *V* visuelles Areal; *MT* mediales temporales Areal (Area V5); *IT* inferotemporaler Kortex (vgl. auch ■ Abb. 5.2). (Mod. nach Eysel 1998)



Die Areale beider Verarbeitungswege sind ebenfalls retinotop organisiert, auch wenn die Genauigkeit der retinalen Korrespondenz mit zunehmender Entfernung von V1 abnimmt (Übersichten in Cowey 1994; Eysel 1998; Ungerleider u. Haxby 1994; Zeki 1993).

8.2 Homonyme Gesichtsfeldstörungen

8.2.1 Formen

- ❗ **Schädigungen des postchiasmatischen Anteils der retinostriären Projektion führen zu einer Störung oder einem Verlust des Sehens im kontralateralen beidäugigen Gesichtsfeld.**

Da korrespondierende Gesichtsfeldregionen betroffen sind, werden die resultierenden Gesichtsfeldausfälle als homonym bezeichnet. Homonyme Gesichtsfeldausfälle werden üblicherweise danach klassifiziert, ob sie uni- oder bilateral auftreten, welche Form sie zeigen (Hemianopsie, Quadrantenanopsie, Skotom) und welchen Schweregrad sie aufweisen (Ausmaß an Restgesichtsfeld).

- ❗ **Anopie (oder Anopsie) bedeutet den vollständigen Verlust aller Sehleistungen im betroffenen Gesichtsfeldbereich.**

Die häufigsten Gesichtsfeldausfälle und ihre Charakteristika sind in ■ Abb. 8.4 und in den ■ Tabellen 8.1 und 8.2 zusammengefasst.

Unilaterale Gesichtsfeldeinbußen treten weitaus häufiger auf als bilaterale Ausfälle; sie kommen in etwa 90% der Fälle vor. Homonyme Hemianopsien stehen an der Spitze, gefolgt von Quadrantenanopsien und parazentralen Skotomen. Läsionen im Chiasmabereich und im vorderen Anteil des postchiasmatischen Systems (Tractus opticus, CGL, vorderer Anteil der Sehstrahlung, vgl. auch ■ Abb. 8.1) verursachen aufgrund der geringeren Retinotopie in diesem Abschnitt meist inkomplette, oft sektorenförmige, unregelmäßige und nur gering korrespondierende Ausfälle. Nach Schädigungen des hinteren Anteils der Sehstrahlung bzw. des striären Kortex finden sich hingegen Hemianopsien und Quadrantenanopsien mit hoher Korrespondenz der monokulären Gesichtsfeldgrenzen.

- ❗ **Der foveale Anteil des Gesichtsfeldes (Durchmesser: 3°) bleibt nach unilateraler Schädigung erhalten, weil er in beiden Hemisphären repräsentiert ist.**

Etwa 50% der homonymen Hemianopsien sind durch eine Schädigung des Okzipitallappens, 29% durch eine Schädigung der Sehstrahlung, 21% durch eine Läsion des Tractus opticus und des CGL verursacht. Hirninfarkte stellen die häufigste Ursache dar (ca. 70%); mit großem Abstand folgen Hirntumoren, neurochirurgische Eingriffe und traumatische Verletzungen. Bilaterale homonyme Gesichtsfeld-

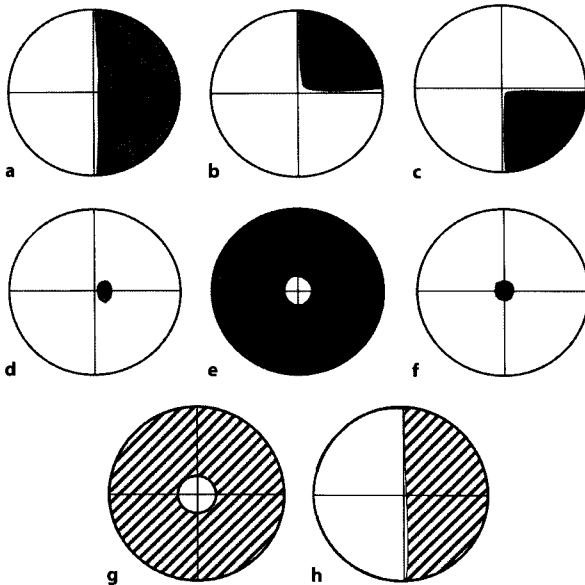


Abb. 8.4a-h. Formen homogener Gesichtsfeldausfälle (*dunkle Bereiche*; beidäugige Gesichtsfelder): **a-d** unilaterale Ausfälle (**a** Hemianopsie; **b, c** Quadrantenanopsie oben bzw. unten; **d** parazentrales Skotom); **e** bilaterale Hemianopsie (Röhren Gesichtsfeld); **f** Zentralskotom; **g, h** bilaterale bzw. unilaterale zerebrale Amblyopie (*schraffierte Bereiche*)

feldaufälle können beide Halbfelder, beide obere und untere Quadranten oder beide parafoveale oder foveale Gesichtsfeldbereiche betreffen; je nach Schädigungsort und -ausmaß finden sich auch Kombinationen. Die schwerste Form einer bilateralen Hemianopsie ist das sog. Röhren Gesichtsfeld mit einem Durchmesser von nur wenigen Sehwinkelgrad; foveale Sehleistungen können zusätzlich beeinträchtigt sein. Beim Zentralskotom hingegen ist die Gesichtsfeldperipherie erhalten, während umgekehrt das zentrale Gesichtsfeld keine Sehleistungen mehr aufweist. Dieser homonyme Gesichtsfeldausfall ist durch eine Schädigung des Okzipitalpols bedingt, z. B. durch eine Schussverletzung oder durch einen chronischen Sauerstoffmangel (Huber 1998; Zihl 1998; Zihl u. von Cramon 1986).

! Eine postchiasmatische Schädigung kann auch zu einem teilweisen Verlust aller Sehleistungen im betroffenen Gesichtsfeldbereich führen; solche Störungen werden als relative Ausfälle oder zerebrale Amblyopien bezeichnet.

Typischerweise sind in diesen Fällen die Form- und Farbwahrnehmung stärker betroffen als die Lichtwahrnehmung,

Tab. 8.1. Häufigkeit (in Prozent) von unilateralen und bilateralen homonymen Gesichtsfeldstörungen bei 714 Patienten. (Mod. nach Zihl 2000)

Häufigkeiten	
Einseitige Ausfälle (n=634)	
Hemianopsien	65,2
Quadrantenanopsien	16,1
Parazentrale Skotome	7,7
Hemiamblyopie	11,0
Bilaterale Ausfälle (n=80)	
Hemianopsien	53,8
Quadrantenanopsien	10,0
Parazentrale Skotome	13,7
Zentralskotome	12,5
Amblyopien	10,0

Tab. 8.2. Restgesichtsfeld (in Sehwinkelgrad; Häufigkeiten in Prozent) bei 634 Patienten mit unilateralen Gesichtsfeldstörungen. (Mod. nach Zihl 2000)

	Restgesichtsfeld			
	<2°	2°-4°	5°-10°	≥10°
Hemianopsien	34,1	40,3	18,0	7,6
Quadrantenanopsien	16,7	39,2	28,4	16,7
Parazentrale Skotome	34,7	38,8	22,5	4,0
Hemiamblyopien	31,5	34,3	23,9	10,2

die in der Regel durch eine Schwellenerhöhung charakterisiert ist. Bewegte Reize werden im betroffenen Gesichtsfeldbereich besser entdeckt als stationäre; die Bewegungsrichtung kann jedoch nicht sicher identifiziert werden und die Lokalisationsgenauigkeit ist in manchen Fällen beeinträchtigt (Riddoch 1917; Zihl 1998; Zihl u. von Cramon 1986). Es handelt sich somit nicht um eine intakte visuelle Bewegungswahrnehmung bei fehlender Form- und Farbwahrnehmung. Die erhaltene Entdeckung und teilweise auch Lokalisation von Reizen wird von manchen Autoren als Hinweis auf ein intakt gebliebenes »Wo«-System interpretiert (Blythe et al. 1987). Die angeführten topographischen Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Kongruenz und damit der Retinotopie gelten auch für diese Gruppe von homonymen Gesichtsfeldstörungen (Zihl 1998; Zihl u. von Cramon 1986).

Neben den beschriebenen Formen vollständigen oder teilweisen Verlusts aller Sehleistungen sind auch homonyme Gesichtsfeldstörungen berichtet worden, die durch den Verlust einer einzelnen Sehleistung charakterisiert sind. Der zentrale Bereich des Gesichtsfeldes ist dabei typischerweise ausgespart.

- ❗ **Selektive Gesichtsfeldausfälle sind für die Farbwahrnehmung (Hemiachromatopsie; Zeki 1990; Zihl u. von Cramon 1986), für die Formwahrnehmung (Poppelreuter 1917), für die Größenwahrnehmung (Frassinetti et al. 1999), für die Bewegungswahrnehmung (Schenk u. Zihl 1997) und für die visuelle Lokalisation von Reizen (Zihl u. von Cramon 1986) beschrieben worden.**

Der selektive Verlust einzelner Sehleistungen im Gesichtsfeld unterstützt das Konzept der funktionellen Spezialisierung des visuellen Kortex (Zeki 1993) und das Modell der beiden Verarbeitungsrouten, da z. B. Störungen der Farb- und Formwahrnehmung sowie der Größenwahrnehmung nur nach einer Schädigung okzipitotemporaler Areale, also der »Was«-Route gefunden wurden. Die Beobachtung, dass der selektive Verlust ein Halbfeld (oder gelegentlich auch einen Quadranten) betreffen kann, weist auf die auch jenseits des striären Kortex geltende Retinotopie hin.

- ❗ **Die kortikale Retinotopie scheint nicht nur für die Verarbeitung afferenter Informationen, sondern auch für visuelle Vorstellungen zu gelten.**

Patienten mit einer unilateralen okzipitalen Läsion unterschätzen den Anteil eines Objekts oder einer Linie kontralateral zur Hirnschädigung nicht nur, wenn das Objekt tatsächlich gezeigt wird (vgl. Zihl u. von Cramon 1986), sondern auch in ihrer visuellen Vorstellung (Butter et al. 1997). Dies bedeutet, dass auch visuelles Vorstellen in topographisch organisierten visuellen Arealen stattfindet.

8.2.2 Funktionelle Folgen von Gesichtsfeldeinbußen

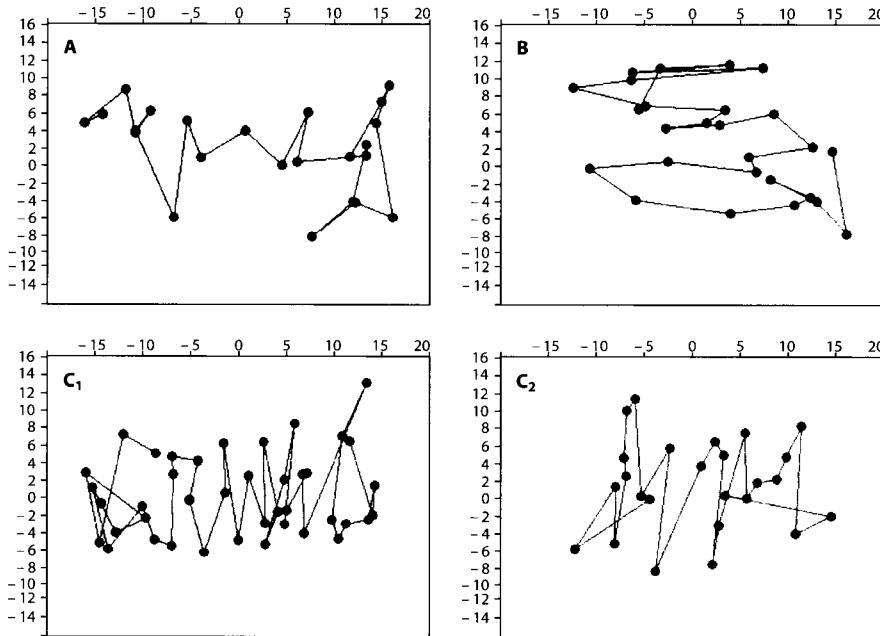
Die Korrelation homonymer Gesichtsfeldausfälle mit dem Ort der Hirnschädigung hat wesentlich zur Entwicklung allgemeiner topographischer Gesetzmäßigkeiten sensorischer Systeme auf subkortikaler und kortikaler Ebene beigetragen und so das Konzept des sensorischen »Mapping« nachhaltig beeinflusst. Darüber hinaus ermöglichte das Studium der funktionellen Folgen von Gesichtsfeldausfällen aber auch wichtige Einsichten in die Grundlagen visueller Wahrnehmung, z. B. der simultanen Erfassung eines größeren Ausschnittes der Umgebung (»Überblick«) oder des Lesens.

Gesichtsfeld und globaler Überblick

Der Ausschnitt, den wir ohne Kopf- und Augenbewegungen simultan überblicken können, ist ziemlich groß; unter binokulären Bedingungen beträgt er etwa 180° horizontal und 100° vertikal. Durch den Einsatz von Augen- und Kopfbewegungen kann dieser Bereich noch erheblich vergrößert werden. Der größte Teil des Gesichtsfelds wird zur Gewinnung eines Überblicks genutzt, der dazu dient, einen möglichst großen Ausschnitt der Umwelt (oder einer Reizvorlage) simultan zu erfassen und räumlich einzuordnen. Bewegte oder unruhige Reize werden schneller und zuverlässiger entdeckt; bei stationären Reizen spielen Merkmale wie z. B. Kontrast, Farbe und Größe sowie Figur-Grund-Eigenschaften eine zentrale Rolle. Der Entdeckung eines Reizes folgt meist eine Zuwendebewegung, um die Fovea zum Reizort zu transportieren, den Reiz zu fixieren und zu analysieren. Fixationswechsel sind wichtig, damit der zentrale Gesichtsfeldbereich mit seinem hohen Auflösungsvermögen eingesetzt werden kann. Aus diesen Zusammenhängen wird klar, dass die Entdeckung und Lokalisation eines Reizes eine unabdingbare Voraussetzung für seine Erkennung ist.

- ❗ **Homonyme Gesichtsfeldausfälle engen den Überblick ein und können dadurch nicht nur zu einer Vernachlässigung eines Teils der Umwelt führen, sondern auch eine Beeinträchtigung der Wahrnehmung der räumlichen Organisation der Umwelt verursachen, da der Gesamtausschnitt als Hintergrund für die räumliche Orientierung nicht mehr als simultane Aufnahme, sondern nur noch in Form sukzessiver Bilder zur Verfügung steht.**

Dies bedeutet eine besondere Herausforderung für das visuelle System: Wie kann die räumliche und damit auch zeitliche Kohärenz der Wahrnehmung trotz dieser Einschränkung wiederhergestellt werden? Angenommen, extrastriäre – vor allem dorsale – visuelle Areale mit ihrer retinotopen Organisation und ihren interhemisphärischen Verbindungen, die durch Blickwechsel gewonnene Informationen in intakte homotope visuelle Areale der betroffenen Hemisphäre »überspielen«, sind für die räumliche Kohärenz des Wahrgenommenen wichtig, dann sollten Patienten mit einer auf die Afferenz begrenzten Schädigung (Sehstrahlung, striärer Kortex) keine wesentliche Beeinträchtigung des Überblicks und der Organisation der Blickmotorik in Abhängigkeit von der räumlichen Struktur der aktuellen Umwelt oder Reizvorlage zeigen. Untersuchungen zur raumzeitlichen Steuerung der Blickmotorik haben diese Annahme



■ **Abb. 8.5.** Blickbewegungen (Aufnahmen mit einer Infrarot-Registrieremethode) während des Abtastens eines Musters aus 20 zufällig verteilten Punkten (Größe der Reizvorlage: 40×30 Grad). Die Punkte geben die Fixationsorte an, die geraden Linien die sakkadischen Bewegungen. Die Gradangaben auf der x-Achse beziehen sich auf die Horizontalachse, die auf der y-Achse auf die Vertikalachse (0/0: Zentrum). A Normalpers-

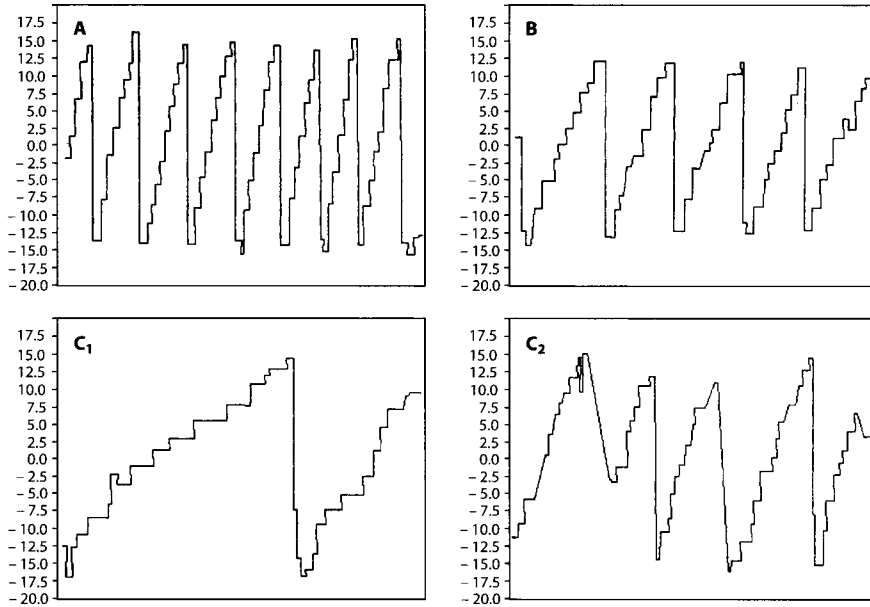
on (52 Jahre); B Patient (55 Jahre) mit rechtsseitiger Hemianopsie (2° Restgesichtsfeld; 3 Wochen nach Infarkt); C1 Patient (52 Jahre) mit rechtsseitiger Hemianopsie (2° Restgesichtsfeld; 4 Wochen nach Infarkt), C2 Patient wie C1, nach Training. Suchzeiten (in s): A 8,3; B 10,1; C 19,9; D 15,8

bestätigt (Zihl 1995b; Zihl u. Hebel 1997). Trotz zum Teil kompletter Hemianopsie (d. h. das Restgesichtsfeld beträgt nicht mehr als $1,5^\circ$) haben solche Patienten (sie stellen mit ca. 10% nur eine sehr kleine Gruppe dar) keine Schwierigkeit, sich einen zuverlässigen und vollständigen Überblick zu verschaffen. Die dafür erforderliche Zeit und die raumzeitliche Organisation des Blickbewegungsmusters unterscheiden sich nur unwesentlich von den Ergebnissen vergleichbarer Normalpersonen.

Im Gegensatz dazu weisen Patienten mit einer zusätzlichen Schädigung vor allem okzipitoparietaler Strukturen und ihrer Faserverbindungen eine auffallende Veränderung ihrer okulomotorischen Abtaststrategie auf. Das Blickbewegungsmuster ist charakterisiert durch kleinamplitudige Sakkaden (Blicksprünge; ► Kap. 28), eine deutlich erhöhte Anzahl von Fixationen und vor allem Fixationswiederholungen, und eine fehlende Übereinstimmung mit der räumlichen Struktur der Reizvorlage (■ Abb. 8.5). Dementsprechend erhöht ist auch die Suchzeit; sie kann das 3- bis 5fache der gesunden Kontrollgruppe betragen.

❗ **Dorsale visuelle Areale spielen durch ihre retinotopie Organisation, ihre Spezialisierung in der Verarbeitung visuell-räumlicher Informationen und ihre homo- und heterotopen kallosalen Verbindungen eine wichtige Rolle für die räumliche Kohärenz des Wahrgenommenen. Durch die zeitlich abgestimmte und integrierte Aktivierung wird in Kooperation mit ventralen Arealen auch die zeitliche Kohärenz garantiert.**

Tatsächlich berichten Patienten mit dieser Störung, dass sie die Welt nicht mehr mit einem Blick, sondern nur noch in Form mehrerer getrennter »Aufnahmen« erfassen können, die sie dann mehr oder weniger mühsam »innerlich« zusammensetzen müssen. Diese Störung kann durch ein entsprechendes Training deutlich reduziert werden; allerdings besteht in der Regel weiterhin ein erhöhter Zeitbedarf (■ Abb. 8.5). Somit kommt ein weiterer Aspekt hinzu: Das Gehirn akzeptiert offensichtlich nun ein etwas vergrößertes Zeitfenster als neue Einheit für »simultan«, was auf eine gewisse Plastizität der Kodierungsprinzipien im extrastriären Kortex hinweist. Der Verlust der striären Re-



■ **Abb. 8.6.** Darstellung der horizontalen Augenpositionen (y-Achse, Angaben in Winkelgrad) von Blickbewegungen während des Lesens. Die Aufnahmen wurden mit einer Infrarot-Registrieremethode gemacht. Die x-Achse stellt jeweils 20 s dar. Oben auf der y-Achse entspricht

dem Anfang der Zeile; unten entspricht dem Zeilenende. Versuchspersonen wie in ■ Abb. 8.5. Lesegeschwindigkeiten: A 192, B 144, C1 48, C2 120 Wörter pro Minute

präsentation eines Gesichtsfeldbereichs führt somit nicht automatisch zu einem Verlust des Überblicks und der räumlichen Orientierung; dieser Verlust kann offensichtlich durch intakte dorsale und vermutlich ventrale Areale sehr effizient kompensiert werden, deren primäre Aufgabe eben darin besteht, den Überblick und die visuell-räumliche Orientierung im Überblicksbereich zu garantieren. Die rezeptiven Felder dieser Areale sind um ein Vielfaches größer als die des striären Kortex und reichen zum Teil über die vertikale Mittellinie in das andere Halbfeld. Zusätzlich sind sie über kallosale Fasern miteinander verbunden, sodass der Bereich der Außenwelt, der mit dem ausgefallenen Gesichtsfeldbereich korrespondiert, durch Blickwechsel mit dem erhaltenen Gesichtsfeld aufgenommen und der (betroffenen) kontralateralen Hemisphäre wieder zugespült werden kann (Zeki 1993). Diese Areale bedienen sich dabei im Wesentlichen der Okulomotorik, wobei nicht nur posteriore, sondern auch frontale Mechanismen zur Steuerung beitragen (Pierrot-Deseilligny et al. 1995; Zihl u. Hebel 1997). Diese Steuerung betrifft auch Blickziele im ausgefallenen Halbfeld; sind solche Blickziele kodiert, können auch komplexe blickmotorische Sequenzen effizient ausgeführt werden (Zangemeister et al. 1995; Zihl 1995b).

Gesichtsfeld und Lesen

Ein noch eindrucksvolleres Beispiel für diese Form der Substitution bietet das Lesen. Zum effizienten Lesen ist ein zentraler Gesichtsfeldausschnitt erforderlich, der etwa 8° Durchmesser aufweist. Dieses sog. Lesefenster ist asymmetrisch: für Menschen mit der Leserichtung von links nach rechts umfasst es links von der Fovea etwa 3–4 Buchstaben, rechts von ihr hingegen bis zu 15 Buchstaben (Rayner u. Bertera 1979). Es ermöglicht die simultane Aufnahme eines längeren Textausschnittes und bildet die Grundlage für die regelrechte und kontinuierliche Weiterführung der Fixation. Das Blickbewegungsmuster ist durch eine geordnete Abfolge von Fixationen und sakkadischen Sprüngen charakterisiert, wobei die durchschnittliche Fixationsdauer 200–250 ms beträgt (■ Abb. 8.6).

! **Patienten mit einem Verlust des parafovealen Gesichtsfeldes (z. B. bei Hemianopsie oder parazentralem Skotom) verlieren aufgrund der Beeinträchtigung des »lokalen« Überblicks die geordnete Abfolge von Fixation und sakkadischen Sprüngen und zeigen eine Beeinträchtigung ihrer Leseleistung.**

Die Lesestörung ist von der Seite des Ausfalls abhängig: Patienten mit linksseitigem Ausfall haben Schwierigkeiten,

den Zeilenanfang zu finden und »übersehen« oft Vorsilben oder kürzere Wörter, während Patienten mit rechtsseitigem Ausfall das Wortende nicht finden können. Besonders im letzteren Fall ist die Fixationsdauer erhöht und die sakkadischen Bewegungen sind verkleinert. Ähnlich wie für den globalen Überblick findet sich jedoch eine kleine Gruppe von Patienten, deren Lesebewegungen bereits wenige Wochen nach dem Auftreten des Gesichtsfeldausfalls denen von Normalpersonen (wieder) sehr ähnlich sind; ihre Leseleistung ist wenn überhaupt nur geringfügig reduziert. Nach einem spezifischen Lesetraining zeigen jedoch auch beeinträchtigte Patienten eine deutliche Steigerung der Leseleistung. Die Lesebewegungen normalisieren sich jedoch nicht völlig; die Fixationsdauer bleibt gegenüber vergleichbaren Normalpersonen häufig verlängert und die Lesegeschwindigkeit reduziert (■ Abb. 8.6). Auch dieser Befund lässt sich als Hinweis auf ein flexibles Zeitfenster selbst bei einer so komplexen Leistung wie der visuellen Texterfassung interpretieren. Die sakkadischen Sprünge müssen, vor allem bei rechtsseitigem Gesichtsfeldausfall, im wahrsten Sinne des Wortes ins Leere gehen; trotzdem stellt sich wieder ein annähernd kohärenter Leseprozess ein.

Die Vermutung liegt deshalb nahe, dass, ähnlich wie für die Gewinnung des globalen Überblicks, extrastriäre visuelle Areale mit ausreichender Retinotopie, großen rezeptiven Feldern und kallosalen Verbindungen vermehrt ins Spiel kommen, und zusammen mit anderen kortikalen Mechanismen der visuellen Blicksteuerung den für normales Lesen erforderlichen parafovealen Gesichtsfeldbereich effizient substituieren können. Die Analyse der Läsionsorte bestätigt diese Annahme. Patienten mit einer genikulostriären Schädigung zeigen eine spontane Anpassung ihrer Lesebewegungen an den Ausfall; das Fehlen dieser Anpassung ist mit einer extrastriären, vornehmlich dorsalen Schädigung assoziiert (Zihl 1995a).

Fovea und visuelle Blickrichtung

Solange das zentrale Gesichtsfeld, die Fovea, intakt bleibt, ist auch eine zentrale Fixation gegeben. Allerdings findet sich bei Patienten mit Hemianopsie häufig eine Verschiebung der subjektiven Geradeausrichtung, und zwar in Richtung des Gesichtsfeldausfalls. Diese Verschiebung, die sich z. B. auch in der Linienhalbierung zeigt, ist jedoch vermutlich keine Folge der Hemianopsie, sondern stellt eine eigenständige Störung dar (Zihl u. von Cramon 1986). Patienten mit dieser Verschiebung weisen jedoch keine Fixationsstörung im Sinne einer exzentrischen Fixation (d. h. außerhalb der Fovea) auf. Im Gegensatz dazu führt ein Zentralskotom, das

typischerweise nach hypoxischer Hirnschädigung auftritt, auch zum Verlust der zentralen Fixation und der sakkadischen Genauigkeit beim Aufsuchen von Blickzielen (Zihl 2000). Patienten mit einem Zentralskotom nach fokaler bilateraler striärer Schädigung (z. B. nach Kopfschussverletzungen; vgl. Teuber et al. 1960) weisen ebenfalls einen Verlust der zentralen Fixation auf. In diesen Fällen scheint es somit kortikal keine zuverlässige Gesichtsfeldmitte mehr zu geben, die als zentrale »Landmarke« für die visuelle Kodierung des Raumes dienen könnte.

! Die kortikale Repräsentation der Fovea in V1 stellt auch eine wichtige zentrale räumliche Referenz für die Steuerung der Blickbewegungen einschließlich der Fixation dar.

8.3 Zerebrale Blindheit

! Die vollständige Zerstörung beider genikulostriären Projektionen führt zum vollständigen Verlust aller Sehfunktionen im gesamten Gesichtsfeld (»Rindenblindheit«).

In ungefähr 25–30% der Fälle bleibt diese Blindheit bestehen; der Rest der Patienten zeigt eine gewisse Spontanerholung. Die Rückkehr des Sehens vollzieht sich typischerweise innerhalb von 2–3 Monaten und folgt einem charakteristischen Muster. Zuerst kehrt die Lichtwahrnehmung zurück, wobei bewegte und flickernde Reize besser wahrgenommen werden können als stationäre. In dieser Phase beschreiben die Patienten die Welt als grau oder »wie durch einen Nebel«. Es folgt die Wahrnehmung von Farben, die allerdings noch »schmutzig« erscheinen, und von groben Konturen und Formen. Die Rückbildung kann auf jeder dieser Stufen beendet sein, nur in seltenen Fällen kehrt auch die Objektwahrnehmung zurück.

Aus der Abfolge der Rückkehr der Sehleistungen ist eine Hierarchie der zentralnervösen Organisation der visuellen Wahrnehmung abgeleitet worden (Teuber et al. 1960), wobei die Lichtwahrnehmung als »primitivste«, die Objektwahrnehmung als »höchste« Stufe angenommen wird. Wahrscheinlicher ist, dass für die Wahrnehmung von Licht, von Hauptfarben und von groben Konturen weniger neuronale Einheiten erforderlich sind; zudem finden sich Neurone, die auf Licht oder einfache Konturmerkmale reagieren, in zahlreichen visuellen kortikalen Arealen (Cowey 1994). Alternativ kann angenommen werden, dass nicht

alle visuellen Areale vollständig geschädigt worden sind, sodass z. B. einzelne Farbtöne oder einfache Formen wahrgenommen werden können. Die Aussparung extrastriärer Areale in Fällen zerebraler Blindheit zeigt sich z. B. auch im Erhalt visueller Vorstellungen und Gedächtnisinhalte z. B. über Formen, Farben, Objekte oder geographische Inhalte (vgl. Chatterjee u. Southwood 1995). Diese Beobachtung unterstützt auch die Annahme, dass der genikulostriäre Anteil des visuellen Systems für die Generierung (korrekter) visueller Vorstellungen nicht erforderlich ist.

Bilaterale extrastriäre Läsionen können zum Verlust einzelner visueller Leistungen führen, z. B. der Farb- oder

Bewegungswahrnehmung (Zeki 1990; Zihl et al. 1983). In diesen Fällen sind die Lichtwahrnehmung, die Formwahrnehmung und die Raumwahrnehmung im Gesichtsfeld nicht beeinträchtigt.

❗ **Zerebrale Blindheit gibt es nicht nur als genikulostriäre Blindheit, bei der alle Sehleistungen ausgefallen sind, sondern auch als extrastriäre Blindheit; sie betrifft dann einzelne Sehleistungen im gesamten Gesichtsfeld, ohne dass das striäre Gesichtsfeld (für Lichtreize) beeinträchtigt ist.**

Zusammenfassung

Die Netzhaut wird nach topographischen Regeln im primären visuellen Kortex abgebildet (»kortikale Retina«), wobei der zentrale Bereich eine weitaus größere Rindenfläche einnimmt als die Peripherie (sog. kortikaler Vergrößerungsfaktor). Die funktionelle Spezialisierung des visuellen Systems beginnt bereits in der Retina und setzt sich im extrastriären Kortex fort. Das M-System ist auf die Übertragung und Analyse bewegter Reize sowie globaler räumlicher Informationen spezialisiert; es bildet auf kortikaler Ebene die dorsale Verarbeitungsrouten und wird als »Wo«-System bezeichnet. Das P-System ist auf die Analyse von Formen und Farben spezialisiert; auf kortikaler Ebene setzt es sich als ventrale Verarbeitungsrouten fort und wird als »Was«-System bezeichnet. Die retinotopische Organisation der extrastriären dorsalen und ventralen visuellen Areale lässt in Abhängigkeit vom Ort der Hirnschädigung selektive Ausfälle visueller Teilleistungen in den entsprechenden Gesichtsfeldarealen erwarten.

Partielle zerebrale Blindheit manifestiert sich in homonymen Gesichtsfeldstörungen mit teilweisem oder voll-

ständigem Verlust aller oder einzelner Sehleistungen im betroffenen Gesichtsfeldbereich. Selektive Verluste von Teilleistungen der visuellen Wahrnehmung im Gesichtsfeld unterstützen das Konzept der funktionellen Spezialisierung des visuellen Kortex und legen eine topographische Organisation dieser Teilleistungen nahe. Diese topographische Organisation scheint auch für visuelle Vorstellungen zu gelten.

Gesichtsfeldausfälle verkleinern den Überblick und beeinträchtigen dadurch »höhere« Leistungen der visuellen Wahrnehmung, z. B. die simultane Erfassung eines größeren Ausschnitts der Umgebung oder das Lesen. Die in manchen Fällen beobachtbare spontane Anpassung weist auf eine effiziente Substitution des verlorenen Gesichtsfeldbereichs durch sakkadische Augenbewegungen hin. Extrastriäre, visuelle Areale sind auch an der Steuerung der Blickmotorik und an der räumlichen und zeitlichen Kohärenz des Wahrgenommenen beteiligt. Für die visuelle Kodierung des Raumes und die visuelle Steuerung der Blickmotorik spielt auch die »kortikale Fovea« eine wichtige Rolle.