

Aus der Augenklinik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Halle (Saale) (Direktor: Prof. Dr. W. CLAUSEN).

Experimentelle Untersuchungen über den Einfluß der Ermüdung auf das räumliche Sehen.

Von

R. SACHSENWEGER.

Mit 4 Textabbildungen.

Problemstellung.

Die Genauigkeit der Tiefenseherschärfe (TS) beruht auf der Entstehung von querdysparaten Netzhautbildern durch Bildverschiedenheit in beiden Augen. Monocular ist die Tiefenwahrnehmung weit gröber und unsicherer; sie stützt sich lediglich auf empirische Faktoren, auf perspektivische Effekte, Farbnuancierungen, Überschneidung der Konturen, Schattenwurf sowie auf Herstellung einer Bewegungsparallaxe durch seitliche Bewegung des Kopfes.

Die binoculare stereoskopische Raumwahrnehmung ist eine phylogenetisch junge Eigenschaft; noch bei den niederen Gattungen der Säuger — mit wenigen Ausnahmen — überdecken sich die Gesichtsfelder beider Augen nur zu einem geringen Teil, da die Augenachsen nach den Seiten anstatt nach vorn gerichtet sind; die gemeinsame Repräsentation in der Sehsphäre ist somit auf einen kleinen Bezirk beschränkt. Durch diese relativ späte entwicklungsgeschichtliche Ausbildung ist wohl in erster Linie erklärbar, daß die Stereofunktion des Menschen — sehr zum Unterschied von seiner Sehschärfe — verhältnismäßig leicht durch exogene und endogene Noxen gehemmt oder gänzlich ausgeschaltet werden kann, so daß das um ein Vielfaches primitivere, aber auch schlechtere *monoculare* Raumsehen allein in Tätigkeit bleibt.

Promptheit und Feinheit der TS sind in der Gegenwart von steigender praktischer Bedeutung. Die Mechanisierung der Arbeit, die Verstärkung des Produktionstempos sowie die ständige Ausbreitung rascher Verkehrsmittel bringen es mit sich, daß Menschen mit mangelhafter räumlicher Wahrnehmung gegenüber den täglichen Anforderungen leicht insuffizient werden. Diese Insuffizienz zeigt sich nicht allein in reduzierter Arbeits- oder Berufsleistung als sozialmedizinisches Problem, sie bedingt auch eine größere Unfallaffinität in den Betrieben sowie im Verkehr und besitzt damit einen beachtlichen forensischen Akzent.

Es ist daher erklärlich, daß die Möglichkeiten einer Schädigung des Tiefensehens bereits wiederholt eine eingehende Prüfung von gerichtsmedizinischer Seite erfahren haben. Man suchte vornehmlich die Inten-

sität jener Faktoren zu klären, die imstande sind, eine unter normalen Bedingungen durchaus genügende TS gegenüber bestimmten Situationen unzureichend zu machen. Besonders der Einfluß des *Alkohols* hat dabei Beachtung gefunden; Arbeiten der letzten Zeit liegen hierüber von MANZ und GIARDINI vor, die übereinstimmend feststellten, daß der Alkohol nicht allein eine Schwächung der Konzentrationsfähigkeit und der Aufmerksamkeitslage bedingt, sondern auch direkt die Stereofunktion bzw. die Fusion beeinträchtigt.

HEINKE prüfte unter anderem die Minderung der TS unter den Verhältnissen des Höhenfluges in Unterdruckkammern für Höhen von 5000—7000 m.

Die Einwirkung der *Ermüdung* auf die TS ist jedoch bisher noch nicht systematisch untersucht worden, obgleich feststeht, daß sich deren Einfluß im Hinblick auf die möglichen Komplikationen ungleich häufiger geltend macht und damit praktisch sicher wichtiger ist als z. B. jener des Alkohols. Gelegentliche Hinweise auf die Zusammenhänge zwischen Ermüdung und Raumsehen finden sich dagegen im Schrifttum recht häufig. So berichtet HEINSIUS, daß er bei Entfernungsmessern der Kriegsmarine nach Nachtwachen, bei anstrengender Seefahrt und psychischen Belastungen eine Abnahme der TS hauptsächlich während der Nacht gefunden hat. Auch BEST betont diese Anfälligkeit des stereoskopischen Sehens.

In arbeitswissenschaftlichen Abhandlungen ist ebenfalls verschiedentlich auf die Bedeutung der Ermüdung für das räumliche Sehen hingewiesen worden, ohne daß brauchbare konkrete Zahlenangaben gebracht werden konnten. Die Ursachen hierfür liegen vornehmlich darin, daß trotz der sehr großen Anzahl von psychotechnischen Bestimmungsmethoden des Ermüdungsgrades keine einzige zu finden ist, die geeignet wäre, an einer größeren Zahl von Personen in Reihenuntersuchungen die Stärke des Ermüdungseffektes objektiv zu bestimmen, um ihn mit der Störung der Sinnesfunktionen in Relation bringen zu können.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit bestand darin, mit einer einfachen, leicht reproduzierbaren *experimentellen* Methode die Veränderungen darzustellen, denen die binoculare Raumwahrnehmung im Zustand der Ermüdung bei normaler und herabgesetzter Beleuchtung sowie bei Momentdarbietung unterliegt, und dabei auf jene physiologischen und psychologischen Faktoren im besonderen einzugehen, die bei Ermüdung negativ zur Einwirkung auf die Stereofunktion gelangen.

Versuchsanordnung und Methodik.

Zur Messung der TS verwandten wir das Spaltstäbchenggerät von BEST, das eine Modifikation des HELMHOLTZschen Drei-Stäbchen-Apparates darstellt. Ein Mittelstab wird dabei vor oder hinter eine

frontoparallele Ebene geschoben, die durch zwei Seitenplatten dargestellt wird; die jeweilige räumliche Stellung des Stabes muß vom Beobachter durch einen Einblick an der Vorderseite des Apparates beurteilt werden. Aus den gemessenen Schwellenabständen des Mittelstabes kann unschwer der Disparationswinkel errechnet werden. Nach hinten ist das Blickfeld durch eine durchleuchtete Milchglasscheibe abgeschlossen. Bei den Dunkelversuchen wurde diese Scheibe durch das Reizfeld eines auf Apostilb geeichten ENGELKING-HARTUNGschen Adaptometers ersetzt, mit dem alle Leuchtdichten bis zur Dunkeladaptationschwelle mit genügender Exaktheit hergestellt werden konnten.

Die Prüfungsentfernung betrug für die Hellmessungen 5 m, für die Dunkelmessungen 2 m. Die Dicke des Mittelstabes war auf 1,5 mm (= 1 Winkelminute in 5 m Entfernung) festgelegt; für die Dunkelversuche wurde der Stab wegen der herabgesetzten Sehschärfe durch einen Blechstreifen von 2,3 cm Breite (= 40 Winkelminuten in 2 m Entfernung) ersetzt. Die Spaltbreite war im Hellen auf 2,5 cm, im Dunkeln auf 7,5 cm eingestellt.

Bei den Messungen wurde ausschließlich die Stufenmethode angewandt. Sie besteht zum Unterschied zur gleitenden Methode darin, daß man mehrmals eine jeweilige ruhende Anordnung im Apparat dem Blick zur Beurteilung darbietet; bei fehlerhaftem Erkennen wird auf größere Distanzen übergegangen. Als Schwelle wird derjenige Abstand des Mittelstabes gewertet, bei dem von je 10 Einstellungen nach vorn und zurück nicht mehr als je 2 Fehler gemacht werden. Aus den Resultaten der Vor- und Zurückerstellung wird das arithmetische Mittel errechnet und als Schwelle verwertet.

Bezüglich der Ermüdung verzichteten wir wegen der Unzahl von Fehlermöglichkeiten auf die Kennzeichnung des jeweiligen Ermüdungszustandes durch Messung mit einem der psychotechnischen oder physiologischen Tests. Alle damit gewonnenen Maße können trotz der aufgewandten Mühe stets nur einen relativen Wert für sich beanspruchen. Wir setzten vielmehr bei den Versuchspersonen experimentell durch Gaben von 1,0 g Adalin (Bromdiäthylacetylcarbamid) per os einen Ermüdungszustand, bei dessen Beurteilung zwar wegen der individuell verschiedenen Toleranz mit einer gewissen Dispersion gerechnet werden mußte, der jedoch den Vorteil hatte, daß er kausal gleichgeartet sowie jederzeit herstellbar und wiederholbar war. Die Prüfungen erfolgten stets zu gleicher Tageszeit.

Im Gegensatz zu den Barbituraten, die als Hirnstamm-Mittel besonders vegetative Reflexzentren — darunter das Schlafsteuerungszentrum an der Zwischen-Mittelhirngrenze — treffen und erst sekundär die Großhirntätigkeit lähmen, hat das Adalin als Hirnrindenmittel unmittelbaren Einfluß auf Großhirnzentren und -bahnen, auf Bewußtseinslage und

Reaktionsfähigkeit. Es kommt im wesentlichen zu einer Dämpfung aller Empfindungsreize und zu einer Hemmung ihrer normalen Auswertung. In erster Linie werden naturgemäß die komplizierteren Assoziationen, zu denen die Stereofunktion zweifellos hinzugehört, in Mitleidenschaft gezogen.

Über die Stärke der so experimentell gesetzten Ermüdung bekommt man einen ungefähren Anhalt, wenn man bedenkt, daß nach 1 g Adalin (= 2 Tabletten) normalerweise innerhalb der nächsten Stunde mit Auslösung des Schlafes gerechnet werden kann, sofern keine Schlafstörungen besonderer Art vorliegen. Der medikamentös erzielte Ermüdungszustand in unseren Versuchen gleicht also jenem, der direkt zum Einschlafen führen könnte, wenn sich die Versuchsperson zum Schlafen niederlegen würde. Messungen mit leichteren Graden der Ermüdung führten nur zu sehr variablen uncharakteristischen und wenig auswertbaren Resultaten. Ohne Zweifel kann experimentell trotz sorgfältiger Auswahl des Medikaments ein natürlicher Ermüdungszustand nicht vollkommen erreicht werden; brauchbare Anhaltspunkte sind auf diesem Wege jedoch sicherlich zu gewinnen.

Ergebnisse.

In einer ersten Versuchsreihe prüften wir den Einfluß der *Darbietungszeit* auf die Qualität der TS. Das rasche, sichere Erfassen einer räumlichen Situation ist von besonderer praktischer Bedeutung und darf als charakterisierend für die qualitative Beschaffenheit der Stereofunktion angesehen werden.

Üblicherweise bleibt bei den Messungen der TS die Zeit unberücksichtigt. Den Einfluß des Zeitfaktors bei den Problemen der Raumwahrnehmung haben in ausgedehnten Messungen in neuerer Zeit HERTEL und MONJÉ untersucht und graphisch zur Darstellung gebracht, ihre Resultate wurden von WAGNER mit anderer Methodik nachgeprüft und im wesentlichen bestätigt. Sie führten den aus der Elektrophysiologie stammenden Begriff der „Hauptnutzzeit“ ein, worunter jene Zeit zu verstehen ist, bei der noch eben die bei Dauerdarbietung ermittelte Tiefenschwelle angegeben werden kann, im Falle der Unterschreitung jedoch größere Schwelleneinstellungen erforderlich sind, um noch eine räumliche Wahrnehmung zu erhalten. Dabei ist interessant zu beobachten, daß bei kürzerer Darbietungszeit die Einzelheiten im Apparat zwar recht gut erkannt, über ihre räumliche Anordnung jedoch keine Angaben gemacht werden können. Es besteht also ein wohl zu beachtender zeitlicher Unterschied zwischen der „Sehschwelle“ und der „Raumschwelle“. Auch der Begriff der „Chronaxie“ wurde aus der Physiologie übernommen und mit ihm jene Zeit bezeichnet, die benötigt wird, um denjenigen Stababstand eben noch als tiefendistant zu erkennen, den man erhält, wenn man die bei Dauerdarbietung gefundene Schwelle verdoppelt.

Bei Durchführung der Messung ist es wesentlich, den Blick bereits vor Auslösung der zeitlich begrenzten Darbietung auf das Objekt zu fixieren, damit nicht Zeit zur Blickwanderung zum Objekt hin sowie zu Akkommodation und Convergenzeinstellung beansprucht wird. Wir erreichten diese Fixierung dadurch, daß der abdeckende Schirm des Zeit-Verschlusses mit einem Mattglas versehen war, das die Konturen des Apparates bereits vor Beginn der eigentlichen Prüfung andeutungs-

weise erkennen ließ. Es wurde in Zeitstufen von 50 msec geprüft.

Tabelle 1. *Hauptnutzzeit- und Chronaxiewerte (in Millisekunden) bei 12 Versuchspersonen im nicht ermüdeten und im ermüdeten Zustand (s. Text).*

Versuchspersonen			Im nicht ermüdeten Zustand		Im ermüdeten Zustand	
Lfd. Nr.	Alter Jahre	Ge-schlecht	Haupt-nutz-zeit msec	Chron-axie msec	Haupt-nutz-zeit msec	Chron-axie msec
1	58	♂	350	200	350	250
2	25	♂	300	150	400	250
3	32	♂	250	150	400	300
4	16	♂	250	100	250	100
5	38	♂	200	100	200	100
6	45	♂	200	100	250	200
7	25	♂	200	100	300	200
8	17	♂	200	100	250	200
9	18	♂	200	100	250	200
10	44	♂	200	100	250	200
11	36	♂	150	100	150	100
12	25	♂	150	50	150	100

Die gefundenen Werte für Hauptnutzungszeit und Chronaxie sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Bis auf wenige Ausnahmen zeigt sich darin eine deutliche Herabsetzung der TS im Ermüdungszustand, die bei den Chronaxiewerten zum Teil das Doppelte vom Normalen ausmacht. Auffällig ist, daß die Hauptnutzzeit in viel geringerem Maße als die kürzere Chronaxie beeinflußt wird. Der ermüdete Mensch versagt also um

so leichter, je schneller eine räumliche Situation eine diffizilere Beurteilung erheischt.

Dieselbe Feststellung drängt sich bei der Betrachtung der Abb. I auf, die die Streubereiche der TS für sämtliche Versuchspersonen bei verschieden variierten Darbietungszeiten von 50—500 msec mit und ohne Adalinmedikation in Vergleich setzt. Mit Verkürzung der Darbietungszeit sinkt die Leistung für Ermüdete in ungleich intensiverer Weise als jene für Nichtermüdete ab. Die Einzelkurven der Versuchspersonen zeigten dabei einen auffallend verschiedenartigen Verlauf. Bei einigen Versuchspersonen machte sich gar kein Ermüdungseinfluß bemerkbar.

Die Ursachen der Herabsetzung der TS im Ermüdungszustand liegen sicherlich in erster Linie in der Verlangsamung aller zentralen Funktionen, in der Verlängerung der Reaktionszeit und in der Schwächung der Urteilsfähigkeit begründet. Aber auch der reduzierte Intensitätsgrad der Aufmerksamkeit fällt ins Gewicht: bei müdem, uninteressierten

Vorsichhinstarren kommt es wohl zum Rezipieren von Farben und Konturen im Blickfeld, der räumliche Eindruck liegt aber in gradmäßig verschiedener Weise darnieder, solange ihn ein Aufmerksamkeitsimpuls nicht in besonderem Maße anspricht. Für praktische Fälle außerhalb des Experimentierraumes kommt hinzu, daß die bereits erwähnten, von der binocularen Tiefenwahrnehmung unabhängigen Faktoren des räumlichen Sehens, wie Perspektive, Schattenwurf, Bewegungsparallaxe usw., ebenfalls ein gewisses Maß an Aufmerksamkeit beanspruchen, so daß auch für die monoculare Raumsehfunktion bei Beeinträchtigung des Wachzustandes mit merklicher Herabsetzung zu rechnen ist.

In diesem Zusammenhang verdient auch der Begriff der „psychischen Sättigung“ Erwähnung. Mit ihm bezeichnet man jenen Zustand, der eintritt, wenn stereotyp der gleiche Reiz lange Zeit einwirkt und beachtet werden muß; als Folge entsteht dabei leicht eine nur auf eine bestimmte Reizqualität bezogene Ermüdung. Beispiele hierfür aus dem praktischen Leben sind auch bezüglich

des stereoskopischen Sehens unschwer zu finden: So kann der fortwährend gleichartige räumliche Eindruck bei stundenlangem Fahren im Verkehr einer Großstadt oder bei ununterbrochenem Arbeiten an der gleichen Maschine eine partielle Ermüdung provozieren, die zur Unterschätzung der Entfernungen oder zu deren gänzlicher Nichtbeachtung in Form einer Hemmung in der Urteilsbildung für räumliche Situationen führt. Auch die Beobachtung von POPPELREUTHER und JAENSCH, wonach bei längerer Betrachtung einer Tiefendistanz der Tiefeneindruck mehr und mehr verflacht, entspricht diesem Vorgang.

Beim dreidimensionalen Film wird ein ähnliches Problem dann akut, wenn ununterbrochen und in überladener Weise Stereoeffekte und -tricks auf den Betrachter einstürmen; der Tiefeneindruck ist im allgemeinen zu Beginn des Filmes besser und auffälliger als am Schluß.

Bei herabgesetzter Beleuchtung sind die Bedingungen für das binoculare räumliche Sehen anders geartet als im Hellen. Die Herabsetzung der Sehschärfe, der schwache optische Reiz, die Notwendigkeit der Dunkeladaptation, die Entstehung des physiologischen zentralen Dämmerungskotoms und das Wirksamwerden der Nachmyopie treten als neue

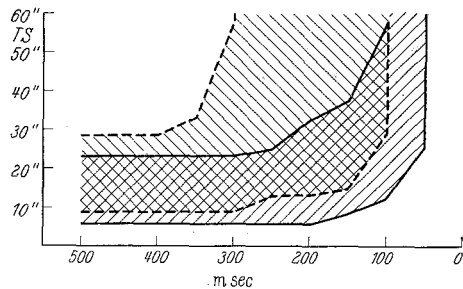


Abb. 1. Streubereiche der Tiefensehschärfe von 12 Versuchspersonen bei Momentdarbietung im ermüdeten und im nicht ermüdeten Zustand.

Abzisse: Darbietungszeit in Millisekunden.
Ordinate: Tiefensehschärfe (Disparationswinkel) in Winkelsekunden.

gestaltende Faktoren auf und bedingen eine im Voraus schwer abschätz-
bare Änderung der Funktionsleistung. Die Einwirkung der Ermüdung
unter diesen Gegebenheiten ist jedoch von besonderer Wichtigkeit, da
zwischen Dunkelheit und Ermüdung sehr enge Wechselbeziehungen
bestehen.

Erfahrungsgemäß gibt eine ungenügende räumliche Wahrnehmung
in der Dunkelheit sehr oft zu Unfällen Anlaß. SIMPSON führt 24 % aller

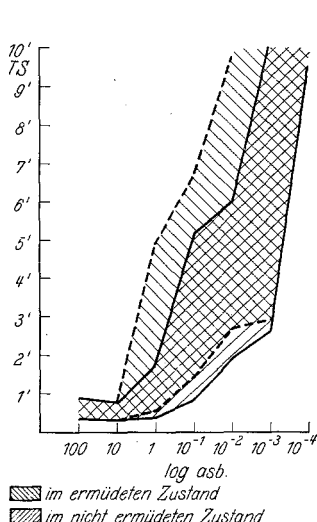


Abb. 2.

Abb. 2. Streubereiche der Tiefensehschärfe von 10 Versuchspersonen bei herabgesetzter
Beleuchtung im ermüdeten und im nicht ermüdeten Zustand. Abszisse: Leuchtdichte in
Apostilb. Ordinate: Tiefensehschärfe (Disparationswinkel) in Winkelminuten.

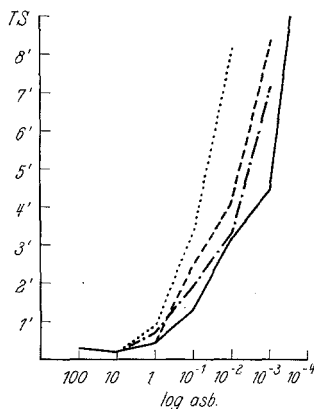


Abb. 3.

Abb. 3. Gemittelte Tiefensehschärfe von 3 Versuchspersonen bei herabgesetzter Leuchtdichte
und Momentdarbietung im ermüdeten und im nicht ermüdeten Zustand. Abszisse:
Leuchtdichte in Apostilb. Ordinate: Tiefensehschärfe in Winkelminuten.

	Dauerdarbietung	Momentdarbietung
im ermüdeten Zustand:	-----
im nicht ermüdeten Zustand:	—————	-----

Unfälle direkt oder indirekt auf mangelhafte Beleuchtung zurück. Nach
Ermittlungen des Brit. Dep. Committee of Lighting ereignen sich bei
künstlicher Beleuchtung 29 % Unfälle mehr als bei Tageslicht; bei Un-
fällen durch Fall und Sturz steigt der Prozentsatz sogar auf 71 % an.
Es ist somit kein Wunder, daß sich in beinahe allen Unfallstatistiken
der Juli als hellster Monat am unfallärmsten, der Januar dagegen als
am unfallreichsten erweist.

Abb. 2 bringt die durchschnittliche TS vor und nach experimen-
teller Ermüdung für Leuchtdichten von 100 asb. bis 0,0001 asb. bei
10 Versuchspersonen im Zustand der Dunkeladaptation. Davon wur-
den 3 Versuchspersonen mit ähnlichen Normalwerten ausgewählt,
um ihre TS bei einer Momentdarbietung von 1 sec zu bestimmen
(Abb. 3).

Der Einfluß der Ermüdung macht sich in beiden Versuchsreihen deutlich bemerkbar. Daß es sich dabei um beachtenswert grobe Schwellendistanzen handelt, geht aus der Tabelle 2 hervor, in der die Raumschwellenwerte für 1 asb., 0,1 asb. (etwa Vollmondsbeleuchtung) und für 0,001 asb. (etwa Beleuchtung bei Neumond) in verschiedenen Entfernungen rechnerisch ermittelt worden sind, wobei für den Ermüdungszustand die Meßwerte der Abb. 2 als Anhalt dienten. In Zeile 4 sind die entsprechenden Grenzwerte für die TS vermerkt, bei deren Überschreitung theoretisch auch die größten Raumdifferenzen nicht mehr als tiefendistant erkannt werden können.

Es erhebt sich die Frage, inwieweit Ermüdung und Erschöpfung die Dunkeladaptation direkt herabsetzen können und die obigen Resultate mitbedingen. Schon während des 1. Weltkrieges wurde der Einfluß der Erschöpfung bei der Nachtblindheit eingehend untersucht und diskutiert, die Ansichten hierüber waren

jedoch nicht einheitlich. MANZ fand später nach Alkoholgaben keine direkte Herabsetzung der Dunkeladaptationsfähigkeit. Es darf wohl angenommen werden, daß die Schwellensenkung für die TS bei Dämmerung und Ermüdung in erster Linie einer Alteration der Stereofunktion und nicht der Adaptationsfähigkeit zuzuschreiben ist.

Die Ermüdung ist nicht nur Ursache für eine schlechte TS, umgekehrt vermögen auch ungünstige Bedingungen für ein klares müheloses Tiefensehen eine Ermüdung auszulösen. Wenn während des Krieges amerikanische Betriebe durch Testmethoden festgestellt haben, daß bei schlechter Beleuchtung weit schneller Ermüdung und Produktionsabfall eintrat als bei guter, so wird auch sehr an die Erschwerung des *räumlichen* Erkennens zu denken sein, die jeden Handgriff und jede Bewegung beeinträchtigt; der Visus spielte dabei sicher die geringere Rolle.

Der *Fusion* gebührt bei der Diskussion über den Einfluß der Ermüdung auf die Stereofunktion eine besondere Besprechung. Durch den Fusionszwang als psycho-optischen Reflex wird die bei einem großen Teil der Menschen bestehende Anlage zum Schielen latent gehalten (Heterophorie), d. h. Augen, deren optische Achsen in Ruhelage

Tabelle 2. *Schwellenwerte der Tiefensehschärfe im Ermüdungszustand bei herabgesetzter Beleuchtung für verschiedene Entfernungen.*

Lfd. Nr.	Entfernungen m	Schwellenwerte der binocularen Tiefensehschärfe bei		
		1 asb (Dis- parations- winkel 2')	0,1 asb (Dis- parations- winkel 3,5')	0,001 asb (Dis- parations- winkel 10')
1	1	0,9 cm	1,6 cm	4,5 cm
2	5	22,4 cm	39,1 cm	112,1 cm
3	10	89,6 cm	156,7 cm	448,0 cm
4	Grenze der binocularen Tiefenwahr- nehmung	111,58 m	63,81 m	22,37 m

an sich divergent oder konvergent verlaufen, werden reflektorisch zum Fixierpunkt hin eingestellt. Bei fieberhaften und erschöpfenden Krankheiten kommt es zu einer Schwächung der Fusionskraft und beim Vorliegen einer Heterophorie dementsprechend temporär zu manifestem Schielen. Nach Untersuchungen von LEOPOLDSBERGER war bei Soldaten nach dreistündigem angestrengten Exerzieren die Fusionsbreite deutlich eingeengt. Das gleiche tritt nach Alkoholkonsum und anderen

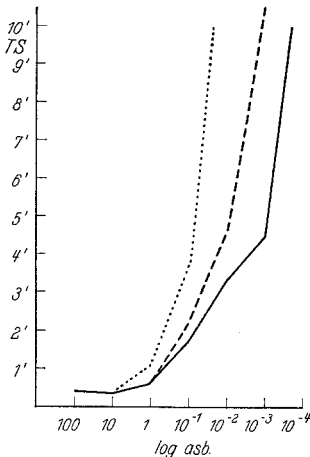


Abb. 4. Gemittelte Tiefenschärfe von 8 Versuchspersonen nach Vorsetzen eines Prismas (3 Prdptr., Basis innen) im ermüdeten und im nicht ermüdeten Zustand bei stufenmäßig herabgesetzter Leuchtdichte. Abszisse: Leuchtdichte in Apostilb. Ordinate: Tiefenschärfe in Winkelminuten. — TS-Normalkurve. - - - TS nach Vorsetzen von 3 Prdptr., Basis innen. TS nach Vorsetzen von 3 Prdptr. im ermüdeten Zustand.

starken Ermüdungszustand ohne Schwierigkeiten überwunden wird. Unter Dämmerungsbedingungen und bei Ermüdung kommt es jedoch beachtenswert zeitig und regelmäßig zu Ausfällen, wie aus der Abb. 4 hervorgeht.

Die praktische Nutzenanwendung dieser Beobachtung ist unschwer zu ziehen: Besonders in Verkehrsberufen, bei denen mit ermüdender Beanspruchung hauptsächlich bei Nacht gerechnet werden muß, ist bei Bestehen einer stärkeren Heterophorie die Gefahr einer Insuffizienz der TS verhältnismäßig groß. Es verdient um so mehr Beachtung, daß durch eine Prismenbrille nahezu jede Heterophorie ohne Schwierigkeiten kompensiert werden kann.

Intoxikationen ein: GIARDINI fand bereits nach Gaben von 1 g Äthylalkohol je Kilogramm Körpergewicht bei 12 Versuchspersonen eine deutliche Schwächung der Fusion. Andererseits ist die Fusion auch von der Intensität des optischen Reizes abhängig: So hat PIPER gezeigt, daß die Zeit, die zum Fusionieren gebraucht wird, mit Abnahme der Leuchtdichte kontinuierlich ansteigt.

In einer früheren Arbeit haben wir nachweisen können, daß bei reduzierter Leuchtdichte eine Heterophorie die Qualität der TS merklich herabzusetzen imstande ist. Es liegt auf der Hand anzunehmen, daß ein Ermüdungszustand diese Einwirkung noch steigert. Es kommen dann 2 Faktoren gleichzeitig zur Geltung: ein schwacher optischer Reiz und eine durch Ermüdung matte Fusion.

Um Aufschluß über den Wirkungsgrad dieser Faktoren zu erhalten, setzten wir eine experimentelle Heterophorie durch ein adduzierendes Prisma von 3 Prdptr., das bei normaler Beleuchtung auch im

Der negativen Einwirkung der Ermüdung und der Hypnotica auf die Qualität des stereoskopischen Sehens steht der positive Einfluß der *Exzitantien* gegenüber. Er ist naturgemäß dort am stärksten zu vermuten, wo das Tiefensehen durch Ermüdung und Erschöpfung am meisten angeschlagen ist. Unsere Messungen an nur vereinzelt Versuchspersonen nach Gaben von Coffein entsprachen im wesentlichen dieser Annahme.

Bei der Unfallentstehung ist die Bedeutung der Ermüdung sicherlich nicht mit Erörterungen über die TS allein erschöpft, doch wird in nicht wenigen Fällen eine schlechte optische Raumwahrnehmung als ausschlaggebender Unfallfaktor angesehen werden müssen. Es gibt kein Verbot, im stark ermüdeten oder erschöpften Zustande z. B. sich an das Steuer eines Autos zu setzen, und keine Gesetze, die eine solche Handlung als Fahrlässigkeit ahnden. Der Begriff der „Unfallschuld“ existiert gegenüber dem Ermüdungszustand nicht. Auch die seit Jahrzehnten so fruchtbare „Safety-first-Bewegung“ unter den Arbeitern in den Betrieben ist an der Ermüdung als Unfallfaktor im wesentlichen vorbeigegangen, obgleich deren Bedeutung im ganzen Umfange arbeitsstatistisch erwiesen ist. Es dürfte von Wert sein, wenn bei Unfallbeurteilungen auch an die differenten Möglichkeiten einer Auswirkung der Ermüdung gedacht wird und an Hand von objektiven, experimentell gewonnenen Zahlenangaben auf deren Ausmaß hingewiesen werden kann.

Zusammenfassung.

Es wird über experimentelle Untersuchungen des Einflusses der Ermüdung auf die binoculare Tiefensehschärfe bei mehrfach variierten Versuchsbedingungen berichtet. Der Ermüdungszustand wurde medikamentös durch Gaben von Adalin gesetzt; die Messungen erfolgten am Spaltstäbchengesetz nach BEST.

Bei Momentdarbietung des Prüfobjektes waren im ermüdeten Zustand durchschnittlich größere Raumdifferenzen zur Auslösung eines räumlichen Eindruckes erforderlich als im vollen Wachzustand. Besonders bei sehr kurzen Darbietungszeiten machte sich der Einfluß der Ermüdung ausgiebig bemerkbar. Für die einzelnen Versuchspersonen ergaben sich allerdings als Ausdruck einer großen Variationsbreite stark voneinander abweichende Kurven. Die Ursachen für die Herabsetzung der Tiefensehschärfe im ermüdeten Zustande werden eingehend diskutiert, auf die Bedeutung der „psychischen Sättigung“ wird dabei im besonderen hingewiesen.

Auch bei herabgesetzter Beleuchtung ist der Einfluß der Ermüdung auf das stereoskopische Sehen deutlich nachweisbar. Durch die Schwächung der Fusionskraft kommt es besonders bei latentem Schielen (Heterophorie) leicht zum Zerfall des binocularen Sehaktes. Daraus

wird die Vorteilhaftigkeit der Korrektur einer Heterophorie durch Prismengläser besonders für Verkehrsberufe abgeleitet.

Durch Gaben von Exzitantien ist der negative Einfluß einer Ermüdung auf die Tiefenschärfe weitestgehend zu kompensieren.

Literatur.

BEST, F.: Zur Prüfung des stereoskopisch-räumlichen Sehens. Graefes Arch. **149**, 413 (1949). — GIARDINI, A.: Einfluß des Alkohols auf die Tätigkeit der Fusion von Netzhautbildern. Giorn. ital. Oftalm. **2**, 446 (1949). — HAMBURGER, F. A.: Das Sehen in der Dämmerung. Wien: Springer 1949. — HEINKE, E.: Das Raumsehvermögen im Unterdruck. Z. Luftfahrtmed. **6**, 174 (1942). — HEINSIUS, E.: Über die sekundären Faktoren des binocularen räumlichen Tiefensehens. Graefes Arch. **147**, 1 (1947). — HERTEL, K., u. M. MONJÉ: Über den Einfluß des Zeitfaktors auf das räumliche Sehen. Pflügers Arch. **249**, 295 (1948). — JAENSCH, E. R.: Über die Wahrnehmung des Raumes. Z. Psychol., Erg.-Bd. **6** (1911). — LEOPOLDSBERGER, W.: Über die Beeinflußbarkeit des Fusionsvermögens durch äußere Faktoren. Wien. klin. Wschr. **1942 II**, 705. — MANZ, R.: Der Einfluß geringer Alkoholgaben auf Teilfunktionen von Auge und Ohr. Dtsch. Z. gerichtl. Med. **32**, 301 (1939). — PIPER, A. F.: Der Einfluß des Adaptationszustandes auf Ablauf unwillkürlicher Augenbewegungen. 57. Ber. Dtsch. Ophthalm. Ges. Heidelberg, S. 260. — POPPELREUTER, W.: Beiträge zur Raumpsycholegie. Z. Psychol. **58**, 200 (1911). — SACHSENWEGER, R.: Untersuchungen über den Zusammenhang von Unfallaffinität und Fehlsichtigkeit. Dtsch. Gesundheitswesen **6**, 172 (1953). — Untersuchungen über die Beeinflussung der Tiefenwahrnehmung durch Refraktionsanomalien. Graefes Arch. **154**, 617 (1954). — Die Tiefensehschärfe bei herabgesetzter Beleuchtung. Graefes Arch. **155**, 496 (1954). — SIMPSON: Defective vision and industrial accidents. Amer. J. Physiol. Optics **5**, 48 (1924). — WAGNER, E.: Die Zeitschwelle der Tiefensehschärfe. Klin. Mbl. Augenheilk. **114**, 557 (1949).

Dr. R. SACHSENWEGER, Halle/Saale, Univ.-Augenklinik.