

Über binokulare Prüfverfahren, das binokulare Sehen, seine nicht krankhaften Anomalien und ihren optischen Ausgleich

Mitteilungen aus der Forschungs- und Entwicklungsarbeit der Fachschule für Optik und Fototechnik, Berlin - Direktor Dr. W. Thiele

Von Hans-Joachim Haase

Fortsetzung aus Heft 12 1958

C. Der Einfluß der Gesichtsfeldleuchtdichte auf okulare Messungen

1. Allgemeines

In einer Arbeit über ein neues Verfahren zur Bestimmung der Akkommodations-Ruhelage hatten 1952 Lau und Mütze aufmerksam gemacht auf Untersuchungen von Ottoro, Duran und Küh über den Einfluß der Gesichtsfeldleuchtdichte auf die akkommodative Ruhelage (siehe Literaturverzeichnis). Schober (1) zog 1953 aus Untersuchungen von Ivanoff über die Abhängigkeit der Akk- und Konvergenzbreite von der Leuchtdichte im Gesichtsfeld den allgemeinen Schluß, alle Heterophoriemessungen seien u. a. von der Gesichtsfeldleuchtdichte abhängig und man müsse dies auch in der Praxis beachten.

Wohl alle Praktiker achten seit langem auf Einhaltung der alten Grundforderung, daß während der monokularen subjektiven Refraktionsbestimmung nicht nur die Sehprobe selbst „hell“, d. h. mit mindestens 100 Lux beleuchtet sein soll, sondern auch der Prüfraum. Diese Maßnahme soll bekanntlich einerseits eine relative Blendung des Prüflings durch die Sehprobe verhindern, andererseits aber auch nachmyopische Einstellreflexe (den „Kinofeffekt“) vermeiden helfen, die bevorzugt von der Netzhautperipherie her ausgelöst werden (siehe z. B. Schober (2)). Andererseits ist beim Eintritt in die binokulare Prüfung, insbesondere in die Heterophoriebestimmung, für sehr viele Prüflinge der Griff zur Raumverdunklung fast zum bedingten Reflex geworden, denn das Maddoxverfahren, aber auch die Anaglyphentrennmethode und die Methode der Trennung durch farbige Differenzierung gleichgeformter Bilder (siehe Heft 7/1958) lassen kaum eine andere Wahl. Diese alte Gewohnheit hat, wie wir hörten, bisweilen dazu verleitet, auch mit dem TIB-Verfahren und dem Graefeschen Gleichgewichtsversuch in dunkler Umgebung zu arbeiten. Turville selbst allerdings forderte seit je, man solle sein Verfahren unter möglichst natürlichen Sehbedingungen anwenden, also auch in heller Umgebung.

2. Vergleichende Analyse der Maddox- und TIB-Prüfbedingungen

Die Leuchtdichteverhältnisse unter den Prüfbedingungen des Maddoxverfahrens auf der einen und des TIB- und unseres Polatestverfahrens auf der anderen Seite sind, wie sich leicht einsehen läßt, geradezu extrem unterschiedlich. Hierauf machte schon Reinhardt im Jahr 1952 ausdrücklich aufmerksam.

Die TIB- und Polatestprüfung werden im hellen Prüfraum durchgeführt. Dadurch ist für eine relativ intensive Ausleuchtung der peripheren Netzhautabschnitte beider Prüflingsaugen gesorgt. Zentral wird in beiden Verfahren binokular das ebenfalls helle Testfeld dargeboten, und zwar beidem Prüflingsaugen mit gleicher Leuchtdichte. Die Lichtreizverhältnisse im Prüflingsaugenpaar sind also während der Prüfung sehr ähnlich denen, die auch im natürlichen Binokularsehen bei Tage gegeben sind, wenn man von einer gewissen Blendwirkung der Refraktionsgläserfassungen absehen will und davon, daß die durchschnittliche Tageshelligkeit im Freien noch wesentlich höher liegt als die Leuchtdichte in noch so hellen Prüfräumen.

Die Maddoxprüfung dagegen muß sich im gänzlich oder fast ganz dunklen Prüfraum abspielen. In dieser dunklen Umgebung wird dem einen Prüflingsauge ein Fixierpunkt meistens recht hoher Leuchtdichte dargeboten. Er hat normalerweise einen Durchmesser bis zu 30 mm, und daher deckt sein Bild auf der Netzhaut des fixierenden Auges nur einen Gesichtswinkelbereich von knapp 20 Minuten. Auf die Netzhaut des anderen Auges wirkt indirekt das gleiche Objekt, jedoch wird seine Strahlung hier — durch die Brechung am Maddoxzylinder — in Strichform auf eine große Anzahl zentraler und peripherer Netzhaut-elemente verteilt, zum Teil sogar am Auge vorbeigelenkt. Außerdem werden meistens rot oder grün eingefarbte Maddoxzylinder verwendet, deren Absorption die Leuchtdichte des Netzhautbildes zusätzlich herabsetzt.

Bezeichnen wir die auf die Augen einwirkende Strahlung als Reiz, so können wir zusammenfassend sagen: Im TIB- und im neuen Polatest-Verfahren besteht binokulares Reizgleichgewicht, denn die Intensität, Fläche und Farbe der Reize ist beiderseits

gleich; außerdem sind die Reize großflächig und in ihrer Intensität denen des natürlichen Tagesehens ähnlich.

Im Maddoxverfahren dagegen bestehen insgesamt unnatürliche Reizverhältnisse, und zwar erstens Reizungleichgewicht, da die beiden monokularen Reize flächen- und intensitätsmäßig sowie meistens auch farblich verschieden sind, und zweitens eine unnatürlich geringe Flächenausdehnung der Reize.

Daß solche immerhin erheblichen Reizunterschiede sich auf die von den Augen her gesteuerten muskulären Einstellmechanismen irgendwie auswirken können, dürften wir ohne weiteres annehmen; ob sie so große Veränderungen der Meßwerte hervorgerufen können, wie sie bei uns in einigen Fällen bei den Vergleichsmessungen aufgetreten waren, mußte untersucht werden. Als markanteste Fälle standen der im vorigen Abschnitt (Heft 12 1958) geschilderte, mit einer Maddox-Exophorie von 0 bis 4 pdpt und einer Polatest-Exophorie von 6 bis 7 pdpt zur Verfügung (Fall 1), ferner eine ältere Dame mit einer Maddox-Vertikaldivergenz von 5 bis 6 pdpt und emmetropen, stabiler Orthophorie am Polatest (Fall 2); auch hier hatte sich in der Verträglichkeitsprobe zweifelsfrei herausgestellt, daß wirkliche Orthophorie vorlag, denn es wurde schon ein Ausgleichs-Hohlenprisma von nur 1,0 pdpt als sehr unangenehm empfunden, und 2,0 pdpt, erst recht aber das volle Maddoxprisma, führten zu höhenversetzten Doppelbildern. Auch dieser letzte Fall lag also weit außerhalb der empirischen Maddox-Korrektionsregeln, nach denen ja Höhenfehler durchschnittlich mit 75 bis 100% ihres Maddox-Meßwertes korrigierbar sein sollen (siehe Heft 2/1958, S. 6).

3. Der Hell-Dunkel-Effekt im Vergenzapparat

Einen ersten Hinweis auf eine Beeinflussung des Maddoxwertes durch die Sehreizverhältnisse brachten Vergleichsmessungen am Fall 1 mit einem farblosen und einem rot eingefärbten Maddoxzylinder. Wir erhielten mit dem roten Glas im dunklen Raum 2,5 pdpt B.i., mit dem farblosen Glas im dunklen und im hellen Raum 3,0 pdpt B.i., bei einem Polatest-Meßwert von 7,0 pdpt B.i. Alle drei Werte blieben während mehrerer Wiederholungen der Messungen im Verlauf etwa einer Viertelstunde genau reproduzierbar.

Zur weiteren Klärung der Zusammenhänge fertigten wir einen kleinen Polarisations-Kreuztest wie in Abb. 17 (Heft 12/1958), aber mit weißen Balken in absolut lichtundurchlässigem Umfeld, und projizierten dieses weiße Kreuz lichtstark im völlig verdunkelten Raum auf eine Silberwand. Die Versuchspersonen wurden zunächst am normalen Pol-Kreuztest sorgfältig auf Seh- und Muskelgleichgewicht korrigiert und mit der Korrektur in 5 m Abstand vor das Projektionsbild gesetzt. Eindeutig befand sich dann bei allen Versuchspersonen das projizierte Polkreuz in der Nullstellung. Hierzu muß angemerkt werden, daß das projizierte Kreuz wegen des Fehlens aller fusionalen Verriegelungsmöglichkeiten — denn es wurden nur die jeweils monokular sichtbaren Kreuzbalken und nicht außerdem noch binokular sichtbare Elemente, wie etwa ein Rahmen oder ähnliches, projiziert — gegen kleinste Fehlkorrekturen außerordentlich empfindlich war und auf sie mit adäquaten Auswanderungsbeträgen reagierte.

Wir dunkelten danach mit Hilfe von Graufiltern verschiedener Absorption im Projektorstrahlengang das ganze Projektionsbild zunehmend ab. Hierbei erhielten wir bei einer Leuchtdichte kurz oberhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle eine Auswanderung der Testfigur in Richtung auf den Maddoxwert und konnten durch Verabfolgung der vorher ermittelten Maddoxkorrektur die Nullstellung reproduzieren — mit gewissen Schwankungen, die ja auch der Maddoxmessung eigentümlich sind.

Dieser Effekt, den wir als Hell-Dunkel-Effekt bezeichnen, trat nicht nur bei unseren beiden Extremfällen ein, sondern er bestätigte sich auch bei allen anderen Versuchspersonen, bei denen wir vorher Differenzen zwischen dem Maddox- und dem Polameßwert festgestellt hatten. Alle Versuchspersonen aber, bei denen die Maddox- und Polatestmessung gleiche Werte ergeben hatten, zeigten auch keine Hell-Dunkel-Reaktion.

Im Laufe zahlreicher Messungen an vielen verschiedenen Versuchspersonen fiel uns auf, daß die Hell-Maßwerte im Durchschnitt sehr stabil sind, während die Maddoxwerte sowohl im Laufe der einzelnen Messungen als auch von Mal zu Mal recht stark schwanken. Schwankungen von über 1,0 pdpt in den Hell-Maßwerten stellten wir bisher nur bei solchen Personen fest, die nach ärztlichem Urteil in erheblichem Maß an Störungen des nervlichen, insbesondere des vegetativen Gleichgewichtes (vegetative Dystonie) litten, wenn nicht gar pathologische Veränderungen im Schapparat selbst oder in seiner näheren Umgebung vorlagen).

Wie sich bald herausstellte, läßt sich der Hell-Dunkel-Effekt auch unter weniger idealen Bedingungen sicher auslösen, so zum Beispiel in nicht total verdunkelten Räumen mit noch deutlich erkennbaren Fusionsobjekten. Herr Dr. Thieme demonstrierte ihn u. a. an rund 250 nicht besonders ausgewählten Personen gleichzeitig in großen, unvollkommen verdunkelten Sälen in Berlin und Leipzig im Rahmen seiner Vorträge anlässlich der Kongresse der Deutschen Gesellschaft für Optometrie und des Fachausschusses Augenoptik der K.d.T. im Jahr 1955 (Thieme [6, 7]). Auf Grund dieser notgedrungen primitiven und nur grob auswertbaren Versuche ließ sich schätzen, daß der Hell-Dunkel-Effekt bei etwa 40 bis 50 Prozent aller Menschen auftritt und daß durch ihn bei etwa 2 bis 3 Prozent der Gesamtzahl sogar ein Richtungswechsel des Stellungsfehlers (Exophorie/Esophorie oder umgekehrt) hervorgerufen wird.

Auch am normalen Pola-Kreuztest läßt sich die Dunkelreaktion nachweisen, wenn man — im dunklen Prüfraum — das Testumfeld bis zur kritischen Leuchtdichte abdunkelt. Die helligkeitsabhängige Stellungsänderung setzt sich auch gegenüber dem orthopetalen Rahmenfusionsreiz des normalen Kreuztestes ohne weiteres durch, obwohl dieser sich, wie leicht einzusehen ist, im dunklen Prüfraum weit kräftiger auswirken muß als in heller Umgebung mit geringem Kontrast zum Umfeld des Testes.

Bemerkenswert ist ferner, daß genau gleiche Heterophoriewerte gemessen wurden einerseits mit dem Maddoxverfahren, in dem nur einem Auge ein verhältnismäßig dunkles, dem anderen Auge dagegen ein relativ helles, wenn auch kleines Bild dargeboten wird, und andererseits mit dem modifizierten Kreuztest bei Reizgleichgewicht und binokularer Abdunklung bis nahe an die Wahrnehmbarkeitsschwelle. Daraus läßt sich einigermaßen sicher folgern, daß die Dunkelinstellung nicht nur bei sehr geringen Reizen für beide Augen, sondern auch schon bei größeren binokularen Reizdifferenzen eintritt. Auch bei Anwendung des Maddoxverfahrens mit farblosem Maddoxzylinder im hellen Raum lag ja, wie oben dargestellt wurde, der Maßwert dem normalen Maddox- oder Dunkelwert näher als dem Hell- oder Polawert. Diese letzte Beobachtung scheint auch darauf hinzuweisen, daß diese Hell-Dunkel-Reaktion wesentlich über die zentralen Netzhautpartien ausgelöst wird und weniger über die Peripherie.

4. Grundsätzliche Folgerungen

Aus den geschilderten Versuchen lassen sich mit recht großer Sicherheit die folgenden grundsätzlichen Schlüsse ziehen:

- die bisherige Auffassung, daß es für jedes Individuum eine physiologische Fern-Ruhelage der Sehachsen gebe, auf die sie sich bei akkommodativer Ferneinstellung beider Augen und beim völligen Fehlen von Fusionsreizen einstellen, ist unvollständig;
- bei einem gewissen, noch nicht näher bestimmbareren Prozentsatz der Menschen sind mindestens zwei verschiedene Fern-Ruhelagen nachweisbar, deren Einstellung von der Netzhautbeleuchtungsstärke — vermutlich im wesentlichen der zentralen Gebiete — abhängt. Man kann sie als Hell- und Dunkel-Ruhelage bezeichnen.
- Beide Ruhelagen können sich so erheblich voneinander unterscheiden, daß eine Überbrückung der Differenz durch Fusion nur mit erheblicher Anstrengung (Fall 1) oder sogar überhaupt nicht gelingt (Fall 2). Regeln für den Zusammenhang zwischen den beiden Ruhelagen sind vorläufig nicht erkennbar.

Für die Praxis der Heterophoriebestimmung und -korrektur folgt weiterhin:

- Meßverfahren, die die Dunkel-Ruhelage eintreten lassen, führen in einer beträchtlichen Anzahl von Fällen zu Ergebnissen, aus denen sich für das Sehen bei Tage brauchbare Korrekturen nur bedingt, zum Teil auch gar nicht ableiten lassen.
- Zu den in diesem Sinn unbrauchbaren Verfahren gehört zweifellos das Maddoxverfahren, außerdem aber alle anderen Verfahren, in denen mit relativ niedrigen oder binokular unterschiedlichen Leuchtdichten besonders im zentralen Gesichtsfeld gearbeitet werden muß.

*) Zur Vermeidung von Mißverständnissen unter Nicht-Augenoptikern: solche Fälle wurden uns vielfach zur Ermittlung optischer Korrekturen mit Hilfe unseres Polaretest-Gerätes von Augenfachärzten zugewiesen; alle anderen Fälle mit möglicherweise pathologischen Befunden, die uns direkt aufgesucht hatten, überwiesen wir selbstverständlich unter Mitgabe unserer Prüfungsergebnisse an Augenfachärzte.

f) Für Anordnungen, mit denen zuverlässige Hell-Ruhelagenmessungen erzielt werden sollen, muß gefordert werden, daß sie mindestens im zentralen Gebiet binokular gleichwertige und oberhalb des kritischen Leuchtdichtewertes liegende Reize liefern.

g) Zu diesen Anordnungen gehören bedingt die des Graeteschens Gleichgewichtsversuches, wenn er in heller Umgebung durchgeführt wird, mit der Einschränkung, daß die verfahrensbedingte gegenseitige Höhenversetzung gleichgeformter monokularer Bilder durch fustionale Einflüsse zur Verfälschung der Messungen führen kann; ebenfalls bedingt die TIB-Anordnung und verschiedene ihrer Varianten, wenn sie nicht in dunkler Umgebung und mit sehr niedriger Testleuchtdichte (Schwarzglasplatte — siehe Hell 10/1957, S. 9) verwendet werden, und mit der Einschränkung, daß die orthofugalen Fusionsinflüsse des Trenners und der horizontal getrennt angeordneten Scherzeichen zur Verfälschung der Messungen führen können;

unbedingt der neue Pola-Kreuztest, der außer der Hell-Einstellung auch die Ausschaltung aller störenden Fusionsreize bei gleichzeitig sehr eindeutiger Nullstellungskontrolle gewährleistet.

Man kann schon nach dem Ausgang dieser ersten, einfachen Hell-Dunkel-Versuche mit recht großer Sicherheit behaupten, daß die bisherigen Schwierigkeiten in der Ermittlung richtiger Heterophorikorrekturen zu einem wesentlichen Teil in der Fehlerhaftigkeit der überlieferten Meßverfahren begründet waren, und bei den älteren Verfahren speziell in den unnatürlichen Leuchtdichteverhältnissen.

5. Andere Hell-Dunkel-Effekte

Die Hell-Dunkel-Reaktion im Vergenzsystem darf, wenn man die Bedingungen betrachtet, unter denen wir sie auslösten, als von anderen Faktoren unbeeinflusster Muskelreflex auf Veränderungen der Netzhautreizstärke aufgelöst werden. Es wäre denkbar, daß sich aus seiner Auswertung in Zusammenhang mit anderen erst teilweise geklärten Funktionen eine Erweiterung unseres Wissens um die Neurophysiologie des Sehorgans im allgemeinen und seiner Einstellmechanismen im besonderen ergibt, die auch für die optometrische Praxis von Bedeutung sein könnte. Die Erarbeitung geschlossener neuer Hypothesen wird zwar im jetzigen Stand der Dinge noch nicht möglich sein, aber der Versuch einer Zusammenfassung bisheriger Beobachtungen und Gedankengänge könnte vielleicht einige Ansatzpunkte für weitere Arbeiten nicht nur bei uns liefern.

Wegen der seit langem nachgewiesenen funktionellen Verbindungen zwischen den einzelnen okularen Einstellmechanismen wollen wir zunächst versuchen, die neu entdeckte Hell-Dunkel-Reaktion mit anderen, schon länger bekannten motorischen Leuchtdichtereaktionen zu vergleichen.

a) Das Pupillenspiel

Man könnte zunächst annehmen, es bestehe ein direkter Zusammenhang zwischen unserem Hell-Dunkel-Effekt und dem Pupillenspiel. Das aber kann nicht zutreffen, denn erstens waren bei unseren Versuchen mit dem projizierten Kreuz im Dunkelraum die Pupillendurchmesser in beiden Meßphasen nur unwesentlich verschieden, und sie änderten sich keinesfalls so sprunghaft beim Erreichen der kritischen Leuchtdichte wie die Phoriewerte. Zweitens aber müßte man bei Annahme eines solchen Zusammenhanges erwarten, daß stets die Dunkelruhelage der Sehachsen gegenüber der Hellruhelage um gewisse Beträge divergent sei, da ja die Pupillenverengung mit Divergenz und Pupillenerweiterung mit Konvergenz gekoppelt ist. Daß im Gegensatz zu dieser Erwartung die muskulare Hell- und Dunkelruhelage völlig regellos zueinander liegen können, zeigen schon unsere beiden ersten Beispielfälle: Fall 1 verhält sich der Erwartung gerade entgegengesetzt, Fall 2 hat im Dunklen eine beachtliche Vertikaldivergenz gegenüber der Hell-Ruhelage. Ein direkter Zusammenhang wäre hier also wohl zu verneinen.

b) Änderungen der Akkommodations- und Konvergenzbreite

Nach Untersuchungen von Palacios, Gilero und Duran (siehe Schaber [1, 4]) — Mütze [1]) verlieren sowohl das Akkommodations- als auch das Vergenzsystem bei Gesichtsfeldleuchtdichten zwischen 0,01 und 0,06 asb ihre Einstellfähigkeit völlig. Akkommodations- und Konvergenzbreite verengern sich mit abnehmender Leuchtdichte fortlaufend bis auf Null. Fast gleich Null wird nach Mütze [1, 2] die Akk.-breite auch bei monokularer Messung mit Hilfe der etwas unscharfen Beugungsbilder hinter Doppellinien im Dioptrimeter; trotz „größerer“ Feldleuchtdichte; bei geringerer Helligkeit ging sie auch unter diesen Versuchsbedingungen ganz auf Null zurück. Genauere Angaben über die Leuchtdichteverhältnisse im Dioptrimeter fehlen leider, doch ist anzunehmen, daß oberhalb des kritischen Bereiches gearbeitet wurde, so daß hier andere Faktoren die gleiche Wirkung hervorgebracht haben müssen wie in den Versuchen anderer Autoren die Dunkelheit. Wir werden über die Eigenarten der Dioptrimetermessungen an anderer Stelle noch ausführlicher zu berichten haben. (Fortsetzung folgt)