

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 7/1958

E 3. Bildtrennung durch Polarisalation

a) Allgemeines

Es lag recht nahe, für die störungsfreie Bildtrennung in der binokularen Sehprüfung nach dem TIB-Prinzip polarisiertes Licht einzusetzen, weil dann alle Probleme, die an einen geometrischen Trenner geknüpft sind, von vornherein entfallen. Die technischen Möglichkeiten hierzu waren gegeben, seitdem flächenhafte Polarisatoren in Form von Folien mit submikroskopischer Gitterstruktur zur Verfügung standen.

Solche Folien (nach Professor Bernauer) wurden in Deutschland zum ersten Mal im Jahr 1935 durch das Zeiss-Werk herausgebracht; sie bestanden aus einer Jod-Chininverbindung (Hieraupatit) und kamen u. a. unter der Bezeichnung Zeiss-Bernotar in den Handel. Als Vorsatzfilter für Fotoapparate ermöglichten sie es bekanntlich, unerwünschte polarisierte Reflexlichter an Wasser- und besonders Grassflächen in der Aufnahme auszulöschen. Später entwickelten dann auch andere Hersteller, u. a. in Deutschland die Firma Käsemann, Polarisationsfolien, die nach teilweise anderen Verfahren hergestellt und heute schon für recht mannigfache Zwecke verwendet werden.

Für die binokulare Bildtrennung wurden diese Polarisatoren schon sehr frühzeitig eingesetzt. Die Firma Zeiss-Ikon brachte im Jahr 1936 zur Verwendung auf der damaligen Olympiade in Berlin Geräte für die Projektion und Betrachtung stereoskopischer Bilder heraus, in denen die beiden Einzelbilder des Stereobildpaares mit zueinander senkrecht gekreuztem polarisiertem Licht auf eine metallische Fläche projiziert und durch ein Paar jeweils gleichgerichteter Polfilter monokular getrennt, aber gleichzeitig betrachtet wurden. Ebenfalls 1936 zeigte Dr. M. Haase die ersten plastischen Experimentierfilme, 1937 brachte Zeiss-Ikon den ersten plastisierten Farbtontfilm nach dem gleichen Prinzip, und 1939 lief im Berliner Ufa-Palast am Zoo - und danach in Hamburg - ein Stereotontfilm in Großvorführungen.

b) Ältere Polarisations-Schprüfanordnungen

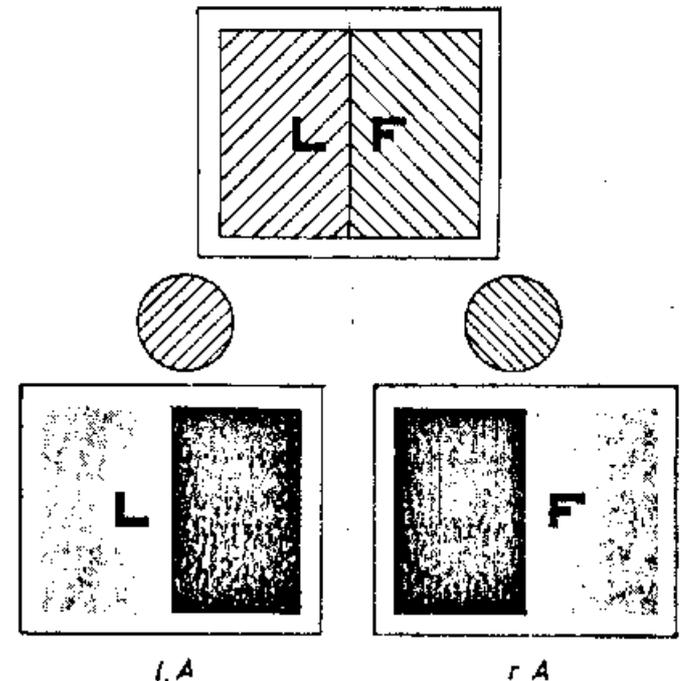
Die in Deutschland unternommenen Versuche, in der binokularen Sehprüfung polarisiertes Licht einzusetzen, gehen zurück auf Vorschläge des Berliner staatlich geprägten Augenoptikers Karl Schultze. Dieser referierte auf dem II. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Optometrie im Jahr 1950 über eine von ihm entwickelte und benutzte TIB-Anordnung mit Polarisations-Bildtrennung (siehe Literaturverzeichnis). Unabhängig von ihm arbeitete ungefähr gleichzeitig in Großbritannien Willmut auf ähnliche Weise, wie später Turville berichtete.

Nach seiner Beschreibung hatte K. Schultze die normalen TIB-Testtafeln, wie sie in Heft 11/1957 dieser Zeitschrift beschrieben sind, mit Polarisationsfolien (Polarfolien) zum großen Teil so abgedeckt, daß die linke und die rechte Hälfte der Testfläche gegeneinander gekreuzt polarisiert wurden, daß aber um die polarisierte Gesamtfläche herum ein unpolarisierter Rand oder Rahmen blieb.

In Abb. 8 oben ist ein so zubereiteter TIB-Haupttest dargestellt. Die polarisierten Flächen sind durch Schraffurierung angedeutet, und die Richtung der Schraffuren gibt gleichzeitig ihre Polarisationsrichtungen an. Der Test wird binokular durch Augenfilter (Analytoren) betrachtet; diese sind mit ihren Polarisationsrichtungen in der Mitte der Zeichnung angedeutet. In der unteren Hälfte der Zeichnung sind die monokularen Teilbilder dargestellt, die sich bei Betrachtung des Testes durch diese Augenfilter ergeben. Den binokularen Seheindruck der Test-Nullstellung erhält man, wenn man sich die beiden Teilbilder mit sich deckenden Rändern übereinander gelegt vorstellt.

Es ist klar, daß in dieser Anordnung für die Sehgleichgewichtsprüfung genau so ideale Verhältnisse vorliegen wie in der originalen TIB-Anordnung mit völlig unsichtbarem geometrischem Trenner (siehe Heft 4/1958), daß in ihr außerdem der exopetale Trenner-Fusionsreiz ebenso total entfällt wie dort. Der

Justierungszwang für den Prüfling ist durch die Polarisations-trennung so gut wie völlig umgangen, wenn man davon absehen will, daß die Polarisationsachsen der Augenfilter richtig eingestellt sein müssen; das aber läßt sich, wie schon K. Schultze es vorsah, durch entsprechende Ausführung der Filterfassungen ohne weitere Umstände gewährleisten.



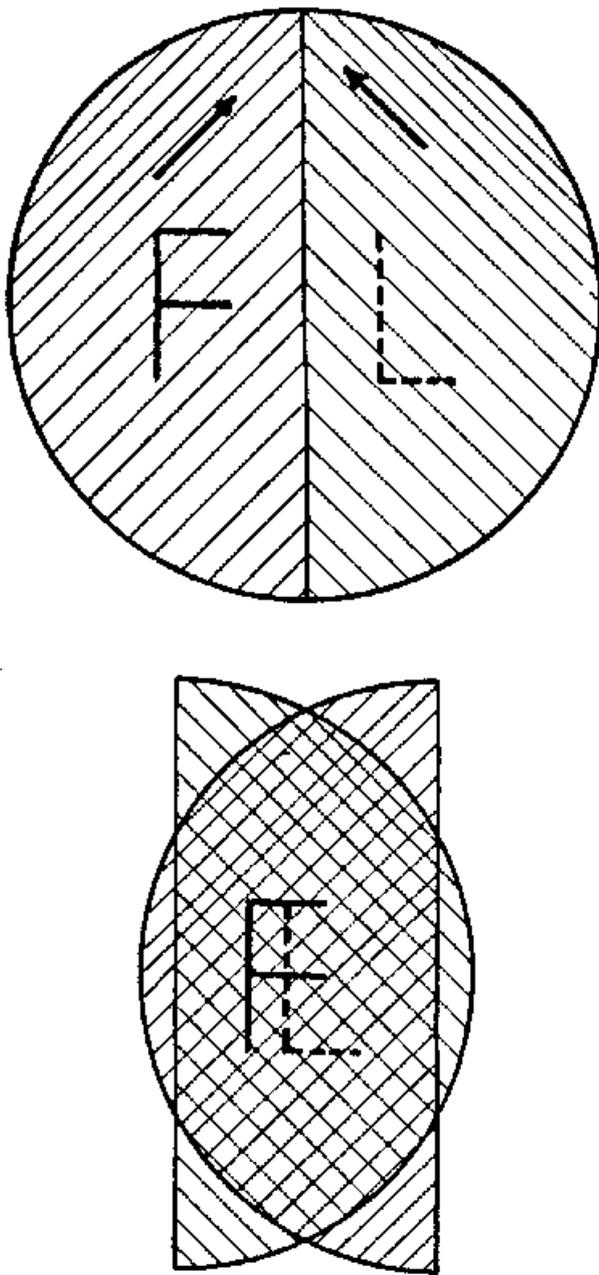
(Abb. 8 Polarisations-Prüfanordnung nach K. Schultze, schematisch)

Relativ ungünstiger sieht es aber hinsichtlich der exopetalen Fusionsreize aus. Diese gehen in der TIB-Anordnung mit unsichtbarem geometrischem Trenner nur von den relativ kleinen Schreizen aus, die jedem Auge in einem sonst völlig strukturlosen und binokular sichtbaren weißen Umfeld erscheinen und von denen nur die deckungsgleichen senkrechten Balken des L und F fusionierbar sind. In der Prüfanordnung der Abb. 8 dagegen stehen im binokularen Seheindruck nicht nur die beiden monokularen Zeichenbilder nebeneinander, sondern die Bilder der beiden polarisierten, rechteckigen Testflächenteile, in denen sich die Zeichen befinden. Auch sie können durch eine Divergenzbewegung der Sehachsen miteinander verschmolzen werden und stellen demnach einen exopetalen Fusionsreiz dar, der - auf Grund der größeren Ausdehnung und des größeren Gewichtes dieser Flächen - sich stärker auswirken muß als der Zeichen-Fusionsreiz allein.

Diesem exopetalen Reiz entgegen wirkt nur der orthopetale Reiz, der vom Innen- und Außenrand des unpolarisierten und deshalb binokular wahrnehmbaren Rahmens ausgeht. Würde der Rahmen fehlen, so wäre der exopetale Reiz sogar allein vorhanden und es würde dann dem Einsatz des gesamten Divergenz-Fusionsvermögens erzwungen, ohne daß dazu die beiden polarisierten Flächen deckungsgleich sein müßten.

Hierauf wies Dr. W. Pistor im Zusammenhang mit Versuchen hin, die er im Zuge der Entwicklung einer binokularen Prüfanordnung für Schreizen-Projektoren durchführte. Er polarisierte die beiden Hälften eines runden Testtafels mit TIB-Schreizen zueinander gekreuzt, wie es Abb. 9 oben zeigt.

Es ergab sich, daß dann bei binokularer Betrachtung die beiden monokularen Bildhälften fusional mit großer Hartnäckigkeit zu einem Gesamtbild wie in Abb. 9 unten verschmolzen wurden und daß sich diesem Zwang gegenüber der Reiz zur Verschmelzung der deckungsgleichen Sehzeichenelemente gar nicht mehr durchsetzen konnte (Pistor 1).



(Abb. 9 = Abb. 2 aus der Arbeit Dr. Pistor in Heft 12/1953 des „Augenoptiker“, dazu Vermerk „nach Dr. W. Pistor“)

Praktische Erfahrungen mit der Anordnung von K. Schultze sind uns leider nicht bekanntgeworden. Es darf aber als sicher gelten, daß — trotz des orthopetalen Rahmen-Reizes — eine individuell verschieden starke Exophorieverschiebung in die Maßwerte eingegangen ist, die jeweils mit Erfahrung und Fingerspitzengefühl eliminiert werden muß. Sie könnte verkleinert werden, wenn man die polarisierten Flächen des Testes nur gerade so groß wählte, daß die Sehzeichen oben in ihnen Platz fanden; auch dann bliebe aber der exopetale Fusionsreiz noch immer stärker als in der TIB-Anordnung mit unsichtbarem geometrischen Trenner, weil die fusionierbaren Flächen stets größer wären als die dort allein fusionierbaren senkrechten Balken der Sehzeichen.

Für unser Anliegen — die Erarbeitung möglichst präziser Erkenntnisse über die binokularen Funktionen auf Grund fusional so weit wie irgend möglich unbeeinflusster Messungen — war also mit der Polarisation nebeneinander liegender heller Flächen mit lichtundurchlässigen Sehzeichen nicht weiterzukommen, so sehr auch beim damaligen Stand der Dinge die Anordnung nach

K. Schultze für rein praktische Zwecke schon eine gewisse Verbesserung gegenüber dem TIB-Verfahren mit sichtbarem Trenner darstellte.

Ähnliches galt, wie sich bald herausstellte, für die Verwendung hell polarisierter Zeichen in dunklem Umfeld, wie sie ebenfalls schon K. Schultze vorschlug und wie sie später in einigen industriell gefertigten Geräten auch angewendet wurden.

c) Eigene Versuche mit hellen polarisierten Sehzeichen

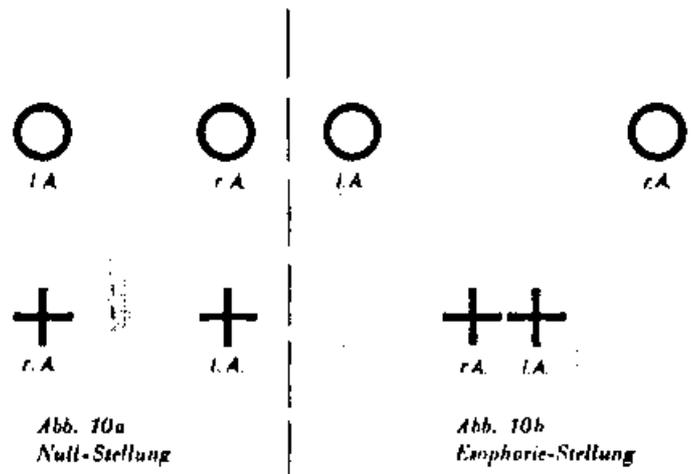
aa) Phoriemessung

Wir selbst führten auf Veranlassung von Herrn Dr. Thiele (Thiele 4) im Jahr 1952/53 eine Reihe von Versuchen mit solchen Anordnungen durch, bei denen entweder zwei oder vier Sehzeichen aus lichtundurchlässigen Flächen ausgespart und für die monokulare Darbietung wie beim TIB-Zwei- oder Vierzechentest mit Polarisationsfolien in zwei um 90° gekreuzten Polarisationsrichtungen hinterlegt waren. Wurden sie auf eine metallische Fläche projiziert oder auch nur transparent beleuchtet und durch entsprechend gekreuzte Augenfilter betrachtet, so erschien eines — oder beim Vierzechentest zwei — der Zeichen dem einen Auge hell auf dunklem Grund, blieb aber dem anderen Auge unsichtbar, und diesem Auge erschien statt dessen das andere oder die beiden anderen Sehzeichen ebenfalls hell auf dunklem Grund.

Die Erwartung, auf diese Weise ungefähr zu Maddox-Meßwerten zu kommen, zu TIB-Meßwerten dagegen, wenn zusätzlich zu den Sehzeichen noch ein unpolarisierter leuchtender, binokular sichtbarer Rahmen definierter Größe um die Zeichen herum als orthopetaler Fusionsreiz dargeboten wurde, erfüllte sich nicht.

Die Zwei zeichenanordnung — auch mit anderen Zeichen als dem F und L, so zum Beispiel nur mit zwei vertikalen Strichen — brachte sehr stark verwirrende Seherscheinungen wie Teil- und Überpressionen oder, bei zusätzlicher Darbietung des Fusionsrahmens, stereoskopische Effekte bei Annäherung der Zeichen aneinander, so daß auswertbare Meßwerte überhaupt nicht zu erhalten waren. Die Vier zeichenanordnung dagegen ließ all die verwirrenden Fusionswettbewerbsercheinungen auftreten, die uns vom TIB-Vierzechentest her schon bekannt waren (siehe Abschnitt D 2, 3 in Heft 4/1958) und deren gleichstarkes Auftreten unter der Polarisationstrennung nur unterstrich, daß man von quadratischen Vierzechentesten ausreichend sichere und reproduzierbare Messungen grundsätzlich nicht erwarten kann.

Bei neueren Versuchen wurde durch den Verfasser festgestellt, daß sogar stereoskopische Effekte auch in der Vierzeichenanordnung sehr leicht auftreten können, wenn die nebeneinander angeordneten Sehzeichen nicht, wie beim TIB-Test, verschoben, sondern deckungsgleich sind und sich Infolge von Heterophorien oder durch Fusionsbewegungen im binokularen Seheindruck einander so nahe kommen, daß ihre räumliche Verschmelzung möglich wird. Wir beobachteten zum Beispiel, daß bei Fixation eines der unteren Kreuze eines Polarisationsstes nach Abb. 10a — aber mit hellen Zeichen! — und nachweisbar vorliegender Orthophorie die unteren Figuren sich einander in gewohnter Weise näherten, bis etwa zu einer Gesamtkonstellation, wie sie in Abb. 10b dargestellt ist. Im nächsten Moment verschmolzen dann



Vierzeichen-Heterophorietest mit paarweise gleichen Zeichen

die beiden unteren Figuren zu einem einzigen Bild, das aus der Testebene bzw. der Ebene der beiden oberen Zeichen sehr weit (etwa 1 bis 2 m) vorgelagert erschien — ein Vorgang, der aus der sensorischen Auswertung der Konvergenzbewegung der Sehachsen unschwer zu erklären ist, die zur binokularen Verschmelzung der gekreuzt angeordneten beiden Sehzeichen vollzogen werden mußte. So interessant solche Beobachtungen und Erscheinungen sind, so wenig sind sie in Anordnungen, die der Hetero-

phorie- und Sehgleichgewichtsbestimmung dienen sollen, zu brauchen, da sie das Zustandekommen eindeutiger Meßwerte noch zusätzlich erschweren.

bb) Sehgleichgewichtsprüfung

Außerdem bestätigte sich bei diesen Versuchen eine Vermutung, die sich schon rein Überlegungsmäßig vorher ergeben hatte: an monokular gleichzeitig abgebildeten weißen Zeichen auf dunklem Grund kann man das Akkommodations- und Sehgleichgewicht, wenn überhaupt, dann nur in unerträglich weiten Grenzen überprüfen. Akkommodative Abgleichfehler bemerkt man in der Regel erst, wenn sie so groß sind, daß das Netzhautbild bzw. der Seheindruck eines der beiden Augen eine wahrnehmbare Konturenunschärfe aufweist; das aber ist — je nach Zeichenbeschaffenheit und -größe — bei dieser Darbietungsart erst bei Abgleichfehlern zwischen 0,5 und 1,0 dpt mit einiger Sicherheit der Fall. Dagegen machen sich, wie bereits erläutert wurde, an den schwarzen Sehzeichen auf weißem Grund der originalen TIB-Anordnung sphärische Abgleichfehler bereits in der Größenordnung ab 0,12 dpt bemerkbar, und zwar nicht in der Konturenschärfe der Abbildungen, sondern in ihrer Schwärzung (siehe Abschnitt B, 4a und 5 in Heft 11/1957).

Auch in der monokularen Refraktionsbestimmung zeigen sich ja geringe positive Überkorrekturen bis etwa 0,25 dpt nicht in einer erkennbaren Unschärfe und einer Herabsetzung des Auflösungsvermögens, sondern in einer Ablassung der schwarzen Optotypenbilder, für die genaue Ursachen nur schwer anzugeben sind, die als empirische Tatsache aber feststeht. Dieser Ablassungseffekt wird in der TIB-Prüfung noch dadurch unterstützt, daß sich in der binokularen Mischung der Bilder dem abgeblähten Seheindruck des TIB-Sehzeichens, den das relativ überkorrigierte Auge einbringt, der von den korrespondierenden Netzhautelementen des anderen Auges eingebrachte Seheindruck „weiß“ überlagert, was zu verstärktem Hervortreten des sogenannten stereoskopischen Glanzes auf dem nicht vollschwarzen Sehzeichen führt. Beim Vergleichen der Bildschwärzung zweier in der TIB-Prüfung monokular gleichzeitig gesehener schwarzer Sehzeichen handelt es sich im Grunde um den Vergleich zweier Reizintensitäten, von denen die geringere von dem schwächer wahrgenommenen Bild geliefert wird. Sie ist — bei ideal schwarzen Optotypen — annähernd gleich null und braucht dann bei dem anderen, schlechteren Bild nur ganz geringfügig größer zu sein, um einen merklichen, als „weniger schwarz“ empfundenen Wahrnehmungsunterschied zu ergeben, denn nach dem Weber'schen Grundgesetz ist ein Wahrnehmungsunterschied beim Vergleich zweier Reize nachweisbar, wenn der stärkere Reiz die (Ausgangs-)Intensität des schwächeren um etwa ein Drittel übertrifft. Da dieses Gesetz auch für den Vergleich zwischen zwei Bildern weißer Optotypen gilt, bei denen die Ausgangsintensität größer ist, bedarf es hierbei größerer Reizunterschiede, um einen Wahrnehmungsunterschied auszulösen, und es ist demnach auch theoretisch erklärlich, weshalb schwarze Optotypen in der Sehgleichgewichtsprüfung — und in der Refraktionsbestimmung überhaupt — weißen Optotypen so merklich überlegen sind.

cc) Folgerungen

Wir kamen schon allein aus diesen Gründen zu der seit 1953 von Herrn Dr. Thiele immer wieder nachdrücklich vertretenen Schlußfolgerung, daß man in der binokularen Sehprüfung helle Sehzeichen auf dunklem Grund nicht verwenden dürfe, wenn man nicht auf die inzwischen als sehr wichtig erkannte Sehgleichgewichtsprüfung verzichten oder sie in einem getrennten Prüfungsgang mit schwarzen Sehzeichen an die Heterophorieprüfung mit weißen Zeichen anhängen wolle. Die zweite dieser Möglichkeiten schien uns damals zwar nur eine unnötige Komplizierung des Prüfungsganges gegenüber dem TIB-Verfahren zu bedeuten, den man aber nach unserer Ansicht doch nur in Kauf nehmen dürfte, wenn die Heterophorieprüfung mit den polarisierten weißen Zeichen irgendwelche Vorteile bot. Da solche Vorteile offensichtlich nicht gegeben waren, hielten wir es für in jeder Hinsicht besser, beim TIB-Verfahren mit unsichtbarem Trenner zu verbleiben.

Demnach schienen uns auch weitere Versuche mit der Polarisations-Bildtrennung überhaupt nicht mehr recht sinnvoll zu sein, da sie, gleich ob mit schwarzen oder weißen Zeichen, anscheinend nur neue Unsicherheiten und Verschlechterungen gegenüber dem vervollkommenen TIB-Verfahren bringen könnten, wenn man von der Einsparung der Justierung absehen wollte. Dieser Gewinn sahen uns aber gegenüber den Verlusten an Meßsicherheit und auch gegenüber dem Zwang, in wenigstens teilverdunkelten Prüfräumen zu arbeiten, nur relativ gering zu wiegen.

Auch Projektionsverfahren mit Stereo-Projektoren, die theoretisch weitere Möglichkeiten geboten hätten, schienen uns nicht angebracht, und zwar in der Hauptsache, weil man auch damit wieder auf wenigstens teilverdunkelte Prüfräume angewiesen wäre, die uns nicht nur wegen des schwierigeren Prüfungsablaufes, sondern auch wegen eventuell möglicher

physiologischer Einwirkungen der unnatürlichen Leuchtdichteverhältnisse auf die okularen Einstellmechanismen bedenklich erschienen. Zu dieser Annahme berechtigten die Arbeiten von Kühl, Ottero, Duran und Schöber über die Nacht- und Dämmerungsmypie.

Folglich blieben wir entschlossen, uns mit dem erreichten technischen Stand der TIB-Anordnung mit unsichtbarem geometrischen Trenner vorläufig zufrieden zu geben und bereiteten uns vor, umfangreichere systematische Versuchsreihen mit vergleichenden Maddox- und TIB- und Fusionsbreitenmessungen an den gleichen Versuchspersonen durchzuführen und die gleichen Versuchspersonen über längere Zeiträume hinweg Verträglichkeitsproben mit abgestuften Stellungskorrekturen vornehmen zu lassen. Wir hofften, hierbei die Kopplungsfaktoren analysieren zu können, die nicht nur wir als für die komfortable binokulare Korrektur maßgeblich vermuteten, und nahmen an, die Ergebnisse zu präziseren Verfahrensregeln ausweiten zu können.

Wir stellten diese Pläne dann aber zunächst doch wieder zurück, als uns eine gänzlich neue Art der Polarisations-Bildtrennung (nach Haase, 1954) auch neue, im unsere Ziel günstigere Voraussetzungen zu bieten schien.

d) Die neue Art der Polarisations-Bildtrennung: schwarze, polarisierte Sehzeichen in weißem, unpolarisiertem Umfeld

Die neue Art der Bildtrennung geht von der allgemein bekannten Tatsache aus, daß ein auf weißem, durchleuchteten, polarisiertem Umfeld angebrachtes Polafilter (Polarisator), das man durch ein Polafilter mit um 90° dazu gedrehter Polarisationsachse (Analysefilter) betrachtet, schwarz aussieht, weil die Kombination der beiden Filter das Licht total oder fast total auslöscht; dreht man die Polarisationsachse des Analysefilters zu der des Polarisators parallel, so erscheint der Polarisator, je nach seiner Eigenfarbe und Absorption, mehr oder weniger hell farbig oder grau im noch helleren Umfeld. Wenn es nun gelingt, das Umfeld in Farbe und Helligkeit genau dem Aussehen des Polarisators in dieser Analysefilterstellung anzupassen, wird der Polarisator im Umfeld praktisch unsichtbar. Dreht man dann den Analysefilter wieder um 90° in seine Ausgangsstellung zurück, so erscheint der Polarisator wieder schwarz wie zuvor, und das Umfeld sieht trotz seiner inzwischen erfolgten Anfärbung dem Polarisator gegenüber weiterhin weiß aus. Natürlich müssen einwandfrei polarisierende Filter vorausgesetzt werden, wenn ein tief-schwarzes Aussehen des Polarisators — gleichbedeutend mit totaler Lichtauslöschung hinter dem Analysefilter — erzielt werden soll.

In einem so abgestimmten Umfeld können nun natürlich auch zwei oder mehrere Polarisatoren mit um 90° gegeneinander gekreuzten Polarisationsachsen angebracht werden. Betrachtet man solche Kombinationen binokular durch Analysefilter mit entsprechend gekreuzten Polarisationsachsen, so erscheinen dem einen Auge nur die Polarisatoren schwarz, die zu seinem Analysefilter gekreuzt polarisiert sind; die anderen Polarisatoren dagegen bleiben diesem Auge unsichtbar und erscheinen nur dem anderen Auge schwarz, dessen Analysefilter zu ihnen gekreuzt steht.

Wenn man nun den Polarisatoren geeignete Formen gibt und sie zweckmäßig im Umfeld anordnet, kann man beliebige Testkombinationen für binokulare Sehprüfzwecke aus ihnen bilden, u. a. auch die der verschiedenen TIB-Teste. Die Sehprüfung mit diesen Testen müßte zu genau den gleichen Ergebnissen führen wie das TIB-Verfahren mit völlig unsichtbarem Trenner.

Es sei bemerkt, daß die praktisch brauchbare Durchführung dieses an sich recht einfachen Polarisationsprinzips ganz erheblichen technischen Schwierigkeiten begegnete, die bei der Beschaffung geeigneter Polafolien begannen, aber damit längst nicht erschöpft waren. Ohne die unermüdete und fachkundige Mithilfe des Herrn J. Pandrawitz, technischer Assistent und Dozent an der Iototechnischen Abteilung unserer Anstalt, wären einwandfreie Tests wahrscheinlich nicht zustande gekommen.

Nachdem jedoch inzwischen auch die Anfertigung solcher Tests in größerer Zahl möglich geworden ist, darf behauptet werden, daß mit dieser Polarisationsart das Problem der Bildtrennung in der binokularen Sehprüfung in einer praktisch realisierbaren Form gelöst ist, die alle bisher als wichtig erkannten Forderungen an die Sehhedengungen während der Prüfung ohne Abstriche erfüllt. Sie ist in normal beleuchteten Prüfräumen anwendbar und setzt keine Justierungsmaßnahmen voraus, läßt sich also an eine normal durchgeführte Refraktionsbestimmung ohne zeitraubende Zwischenmaßnahmen anschließen, und sie gestattet es, binokular gleichzeitig schwarze monokulare Sehzeichen in einem einheitlichen und völlig strukturlosen weißen Umfeld darzubieten, das beliebig groß sein kann und in seiner ganzen Größe binokular sichtbar ist. Orthogonale Fusionsreize werden durch die Trennmittel nicht ausgelöst, und auch die Anbringung der Sehzeichen an beliebiger Stelle im Testfeld wird durch die Trennmittel nicht behindert.

(Wird fortgesetzt)