



istockphoto.com / Geebshot

**Messungen der Augenbewegungen
bei MKH-Kreuztest-Prismen, Teil 1**

Was genau messen wir da eigentlich? Begrifflichkeiten neu interpretiert

Luise Julia Schmid, Christoph von Handorff, Wolfgang Jaschinski

Zusammenfassung

Seit der Entwicklung des Kreuztests, dem ersten Test der MKH-Messreihe, gilt dieser vorwiegend als Indikator für die motorische Einstellung der Augen. In dieser Studie am Leibniz-Institut für Arbeitsforschung wurden erstmals vergleichende Messungen der Augenstellung mit einem Eye-Tracker durchgeführt. Die Methodik und die Ergebnisse der Studie werden in einem Folgeartikel

dargestellt. In dem vorliegenden Artikel werden zunächst zur Beschreibung und Interpretation der Befunde neue Begriffe eingeführt. Dabei wird zwischen der subjektiven Wahrnehmung am Kreuztest und der objektiv gemessenen Augenstellung unterschieden. Diese Begriffe können allgemein für das physiologische Verständnis der Prismenkorrektur hilfreich sein.

Das beidäugige Sehen umfasst mehrere Stufen physiologischer Prozesse. Die erste Stufe ist die motorische Einstellung eines möglichst optimalen Vergenzwinkels zwischen den Sehachsen. Es folgen sensorische und neuronale Verarbeitungsschritte, wie die sensorische Fusion innerhalb des Panum'schen Bereiches, mögliche neuronale Adaptionen durch erweiterte Panumbereiche, sowie veränderte Netzhautkorrespondenzen [1]. Dieser Artikel befasst sich ausschließlich mit der motorischen Fusion, das heißt mit der Einstellung des Vergenzwinkels.

Die Bewegungen und Stellungen der Augen sind in der Praxis durch den Untersucher zum Beispiel mit Hilfe der Cover-/Uncover-Tests direkt zu beobachten. Handelt es sich allerdings um sehr kleine Fehlstellungen, wie beim Betrachten von Fusionsreizen in natürlichen Sehsituationen, dann werden präzise Messsysteme für Augenbewegungen erforderlich. In der Forschung werden hierfür schon seit Jahrzehnten verschiedene Messmethoden angewendet, die in der DOZ jüngst von Kwiatkowski und Eisenbarth beschrieben wurden [2]. In Bezug auf die beidäugige Koordination wurde die Search-Coil-Methode (Magnetfeld-Induktionsspulen in Kontaktlinsen) von der Freiburger Gruppe von Kommerell angewendet, um Fragen der MKH-Korrektur zu untersuchen [3-5].

Die instrumentell komplexe Analyse der Purkinje-Reflexe (Dual Purkinje Image Eye Tracker, DPI) verwendete die Gruppe von Liversedge in Southampton, um die beidäugige Koordination beim Lesen zu erforschen [6-12]. In den vergangenen zehn Jahren wurde die Binokularität beim Lesen auch mit anwenderfreundlicheren Videoaufzeichnungen des Auges (Video-Eye-Tracker) untersucht [13-21], unter anderen von Jainta (Olten), die dazu einen Übersichtsartikel in der DOZ veröffentlichte [22].

Für optometrische Fragestellungen des Binokularsehens ist es wichtig, Messungen mit Eye-Trackern (objektiv) und Messungen mit Noniuslinien (subjektiv), die für beide Augen separat dargeboten werden, zu vergleichen. Es ist die Noniusmethode, die durchweg von Optometristen eingesetzt wird. Für diesen Objektiv-Subjektiv-Vergleich verwendeten frühere Studien die komplexeren Search-Coil- und DPI-Methoden [23-26]. In den letzten Jahren setzte Jaschinski in Dortmund dazu auch anwenderfreundlichere Video-Eye-Tracker ein [27-31]. Diese Erfahrungen führten zur gemeinsamen Studie mit Schroth und Joos in Olten, die in einer sechswöchigen Tragestudie die Wirkung von MKH-Prismen untersuchte [30]. Die Olten-Dortmunder Studie zeigte, dass heutige Video-Eye-Tracker-Methoden geeignet sind, praktische optometrische Fragestellungen zu untersuchen.

Auf dieser Forschungslinie geht es in der hier vorliegenden Berlin-Dortmunder Studie um den Kreuztest [32-39]. Das Kreuztest-Nullstellungsprisma korrigiert größtenteils den motorisch kompensierten Heterophorieanteil, jedoch auch eventuell bestehende FD I-Anteile („Fixationsdisparation erster Art; Kurzzeichen: FD I) [35]. In welchem quantitativen Maß der Kreuztest den motorisch kompensierten Anteil erfasst, blieb bisher unklar. Denn Kreuztest-Befunde wurden bislang nicht mit Messergebnissen von Video-Eye-Trackern verglichen, die die reine motorische Augenstellung erfassen. Hans-Joachim Haase hatte zur Zeit der MKH-Entwicklung noch nicht die technischen Möglichkeiten, Eye-Tracker einzusetzen. Er interpretierte die Wirkung des Kreuztests aus seinem großen Erfahrungsschatz mit verschiedenen Tests. Heute dagegen sind optometrische Eye-Tracker-Studien technisch leichter möglich.

Messungen der Augenbewegungen bei MKH-Kreuztestprismen waren daher das Thema einer Bachelorarbeit am Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund in Kooperation mit dem Studiengang Augenoptik/Optometrie an der Beuth Hochschule für Technik in Berlin [38]. Konkret bestand die Frage darin, in welchem Maß die Basislage und die Größe eines gemessenen Nullstellungsprismas mit der Messung des Video-Eye-Trackers übereinstimmen und inwieweit ein Kreuztest-Nullstellungsprisma zu einer verbesserten Vergenzstellung führt.

Der genaue Aufbau und die Ergebnisse der Studie werden in einem Folgeartikel beschrieben. Vorab erschien es notwendig, die verwendeten Begriffe und deren physiologische Bedeutung neu zu definieren.

Warum neue Begriffe?

Die Komplexität des beidäugigen Sehens bringt naturgemäß eine Vielzahl von Begrifflichkeiten, Herangehensweisen und Theorien mit sich [1]. Gerade im internationalen Austausch und der damit verbundenen Literatur kommt es deshalb häufig zu Verwechslungen oder zu unpräzisen Verwendungen von Begriffen und Theorien. Fehlinterpretationen sind dann die Folge. Dieser Artikel soll dazu beitragen, Teile des Binokularsehens und die dazugehörigen Testmethoden zu spezifizieren, zu definieren und damit besser zugänglich zu machen.

Bei der Auseinandersetzung mit dem Fachgebiet des Binokularsehens fallen Begriffe wie ‚assozierte bzw. dissoziierte Heterophorie‘, ‚Fixationsdisparation‘ und ‚Fixationsdisparität‘. ▶

Zunächst scheinen diese Begrifflichkeiten in ihrer Bedeutung klar zu sein. Werden sie allerdings in unterschiedlichen Quellen nachgeschlagen, wird schnell deutlich, dass ihnen verschiedene Testmethoden und Theorien zugrundeliegen. Aufgrund fehlender Spezifizierung wird daher viel Interpretationsspielraum gelassen und es wird häufig generalisiert. Darüber hinaus besteht die Versuchung, die gewohnte Methode und Theorie auf andere Testmethoden zu übertragen, ohne sie zu hinterfragen und gegebenenfalls anzupassen. Um Fehlinterpretationen dieser Art zu vermeiden, bedarf es daher einer neuen Begrifflichkeit.

Ein Großteil aller optometrischen Messungen beruht auf der Test-Wahrnehmung des Probanden, der etwa die Abweichung am Kreuztest abschätzt. Dies ist somit ein sogenanntes subjektives Messverfahren, ähnlich wie die subjektive Refraktionsbestimmung mit Hilfe von vorgehaltenen Messgläsern. Als objektive Verfahren gelten apparative Messungen, in diesem Fall mit einem Eye-Tracker, vergleichbar mit der objektiven Autorefraktometermessung bei einer Refraktionsbestimmung. Diese Unterscheidung ist von großer Wichtigkeit, da Forschungsergebnisse der vergangenen Jahre gezeigt haben, dass objektive Eye-Tracker-Messungen von Vergenzfehlstellungen zu erheblich größeren Werten führen können als subjektive Messungen, die in der Optometrie verwendet werden [23-27, 29, 30]. Diese Unterschiedlichkeit sollte in die neuen begrifflichen Definitionen mit einfließen, auch als Grundlage für eine weitere Erforschung der zugrundeliegenden physiologischen Mechanismen.

Ein weiteres Merkmal, durch das sich binokulare Testmethoden unterscheiden, ist die Art des Fusionsreizes. In der aktuellen Begrifflichkeit wird grob zwischen An- und Abwesenheit von Fusionsreizen unterschieden. Bei Anwesenheit von Fusionsreizen wird nicht immer differenziert, um welche Art von Fusionsreiz es sich handelt. Eine Heterophorie, die ohne jeglichen Fusionsreiz gemessen wird, nennt man ‚dissoziierte Heterophorie‘ [32]. Das Wort ‚dissoziieren‘ steht bildungssprachlich für „ge-

trennt werden, sich auflösen“ [40]. Die Bildeindrücke werden demnach komplett voneinander getrennt, so dass keine Art der Fusion möglich ist. Das Wort ‚dissoziiert‘ wird aber häufig überhaupt nicht genannt [32]. Im Gegensatz dazu steht die ‚assozierte Heterophorie‘. Sie wird unter Anwesenheit von ausgewählten Fusionsreizen gemessen; die Testbedingungen kommen dem natürlichen Sehen etwas näher [39]. In der MKH ist es wichtig zwischen peripheren und zentralen Fusionsreizen zu unterscheiden (Kreuztest, Zeigertest). In der angelsächsischen Optometrie gibt es ebenfalls Tests mit und ohne zentralen Fusionsreiz [41-43].

Es entsteht also der Eindruck, dass in der Literatur die Messung einer ‚assozierten Heterophorie‘ zu stark generalisiert wird, aufgrund einer oft fehlenden Differenzierung hinsichtlich der Testmethodik, die Art der Fusionsreize bleibt entsprechend unbeachtet. Auch dieser Aspekt soll in der neuen Begrifflichkeit beachtet werden.

In der neuen Terminologie wird vor allem darauf geachtet, so wenig Interpretationsspielraum wie möglich zu lassen. Der Anspruch liegt darin, die Materie zugänglicher zu machen und den internationalen Austausch dadurch zu erleichtern. Begriffe wie ‚assozierte Heterophorie‘, ‚Fixationsdisparation‘, ‚Fixationsdisparität‘ sollen demnach zur Beschreibung der vorliegenden Studie vermieden werden. Durch die Benennung des jeweiligen Tests soll die Art des Fusionsreizes spezifiziert werden. Weiterhin wird klar zwischen subjektiver und objektiver Datenerhebung unterschieden.

Der Noniusversatz

In der Optometrie zeigt man den beiden Augen nicht-fusionierbare Noniusobjekte und schließt aus deren subjektiver Wahrnehmung auf die Vergenzaugenstellung. Die klassische Form

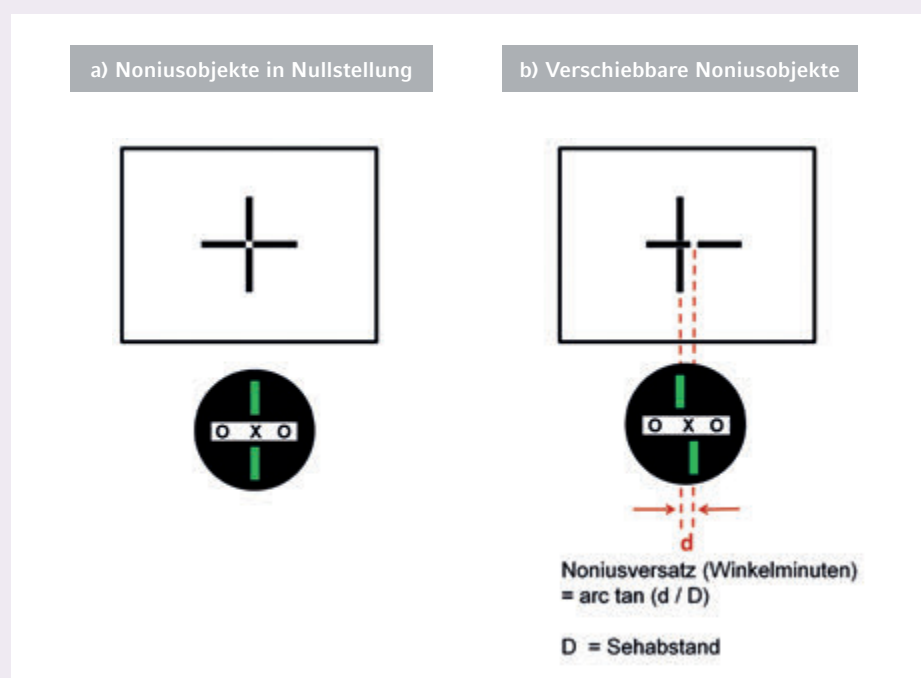


Abbildung 1: Noniusobjekte am MKH-Kreuztest und am Mallett-Test
a) Feststehende, zentrierte Noniusobjekte, so wie sie in der Praxis zur Prismenbestimmung verwendet werden.

b) Horizontal verschiebbare Noniusobjekte zur Messung des Noniusversatzes. Die Formel ergibt den Noniusversatz aus dem Sehabstand D und dem horizontalen Abstand d der beiden Noniusobjekte bei wahrgenommener Koinzidenz.

von Noniusobjekten sind zwei übereinander stehende identische Linien (wie im Mallett-Test), aber auch die waagrechten und senkrechten Linien des Kreuztests oder Zeiger und Skala des Zeigertests aus der MKH können als Noniusobjekte angesehen werden. Sie werden jeweils mit Polarisationsfiltern den beiden Augen getrennt dargeboten.

In der praktischen Optometrie werden die Noniusobjekte in Nullstellung präsentiert und der Proband beurteilt den wahrgenommenen Versatz der Linien zueinander (Abb. 1a). Der Optometrist hält bei der Binokularprüfung nacheinander verschiedene Prismenstärken vor die Augen, bis die Noniusobjekte übereinander erscheinen. Das Prisma, das den wahrgenommenen Versatz ausgleicht, wird in der neuen Begrifflichkeit als ‚Nullstellungsprisma am jeweiligen Test‘ bezeichnet. Entsprechende englischsprachige Begriffe sind ‚associated phoria‘ oder ‚aligning prism‘ [41]. Würde zum Beispiel am Kreuztest subjektiv ein Prisma ermittelt werden, dann hieße es ‚Nullstellungsprisma am Kreuztest‘. Dieses Nullstellungsprisma ist für den Optometristen die wichtigste Messgröße, weil sich daraus die Dimensionierung einer möglichen Prismenbrille ergibt.

In der Forschung wird oft die Größe des wahrgenommenen Versatzes gemessen: Die Noniusobjekte werden computer-gesteuert horizontal zueinander verschoben, bis sie in Linie erscheinen (Abb. 1b). Typische Werte liegen im Bereich von ± 15 Winkelminuten, je nach Sehabstand und Fusionsreiz. In der englischsprachigen Fachliteratur ist dieser Messwert als ‚subjective fixation disparity‘ bekannt. In der neuen Terminologie wird nun von ‚Noniusversatz an dem jeweiligen Test‘ die Rede sein.

Eine einfache geometrische Umrechnung vom Noniusversatz zum Nullstellungsprisma ist physiologisch nicht angemessen. Dies ergibt sich aus dem Funktionsverlauf, wie der Noniusversatz sich innerhalb einer Person verändert, wenn die Stärke des vorgeschalteten Prismas variiert wird. Abbildung 2a zeigt schematisch einen individuellen Verlauf dieser Prismenkurve:

In diesem Fall besteht ohne Prisma ein Noniusversatz von $+8$ Winkelminuten (eso). Der Schnittpunkt der Prismenkurve mit der x-Achse bestimmt dasjenige Prisma, bei dem der Noniusversatz Null wird und somit korrigiert ist. Dieses Prisma $P_{kor NV}$ wird ‚Nullstellungsprisma am Kreuztest‘ genannt; in diesem Beispiel $+3$ Prismendioptrien Basis-außen. Ein solcher Funktionsverlauf stellt eine in der angelsächsischen Optometrie bekannte „fixation disparity curve“ nach Kenneth Ogle dar [44]; siehe auch Diepes [45] und Jaschinski [46]. Diese Kurven sind individuell unterschiedlich und illustrieren den Mechanismus, wie durch ein Prisma der physiologische Vergenzregelkreis beeinflusst werden kann, um einen wahrgenommenen Noniusversatz zu Null zu kompensieren. Der Optometrist weiß aus Erfahrung, dass bei verschiedenen Personen zur Kompensation desselben wahrgenommenen Noniusversatzes verschieden große Prismen erforderlich sein können.

Der Vergenzfehler

Objektiv mit dem Eye-Tracker gewonnene Daten werden in der englischsprachigen Literatur als ‚objective fixation disparity‘ bezeichnet. Wer mit der Messmethodik von H.-J. Haase und seinen Begrifflichkeiten vertraut ist, könnte hier in die Gefahr der Verwechslung geraten. Um dies zu vermeiden, wird eine objektive Messung jetzt als ‚motorische Vergenzfehlerstellung am jeweiligen Test‘ bezeichnet, kurz ‚Vergenzfehler am jeweiligen Test‘. Dies ist die Abweichung des bestehenden Vergenzwinkels V vom Vergenzreiz $V_0 = 2 \arctan((pd/2)/D)$, der sich aus der Pupillendistanz pd und dem Sehabstand D ergibt (Abb. 3a). Stimmt die Vergenzstellung V mit diesem Vergenzreiz V_0 überein, so ist die Vergenzstellung optimal (Orthostellung) und der ‚Vergenzfehler‘ ist gleich Null. Diese Definition wird bei der Messung mit dem Eye-Tracker durch die monokulare Kalibrierung berücksichtigt: ▶

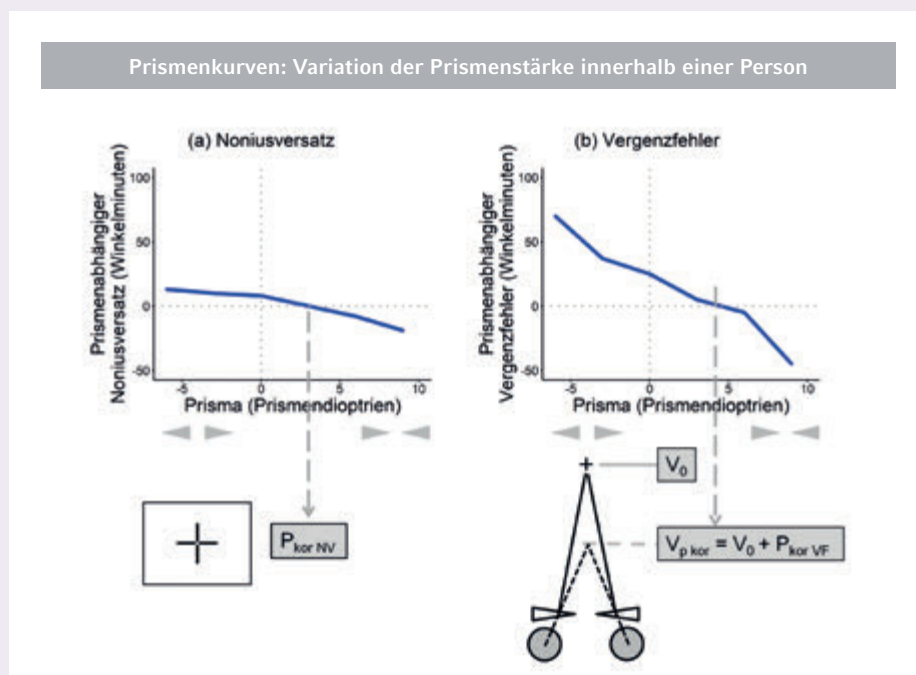


Abbildung 2: Wirkung von Basisinnen und Basisaußen Prismen auf Noniusversatz (a) und Vergenzfehler (b) in schematischer Darstellung. Das Prisma zur Erzielung einer wahrgenommenen Nullstellung des Kreuzes ($P_{kor NV}$) muss im Allgemeinen nicht identisch sein mit dem Prisma zur Erzielung eines Vergenzfehlers von Null ($P_{kor VF}$); siehe Fogt und Jones [24].

Definition des Vergenzfehlers

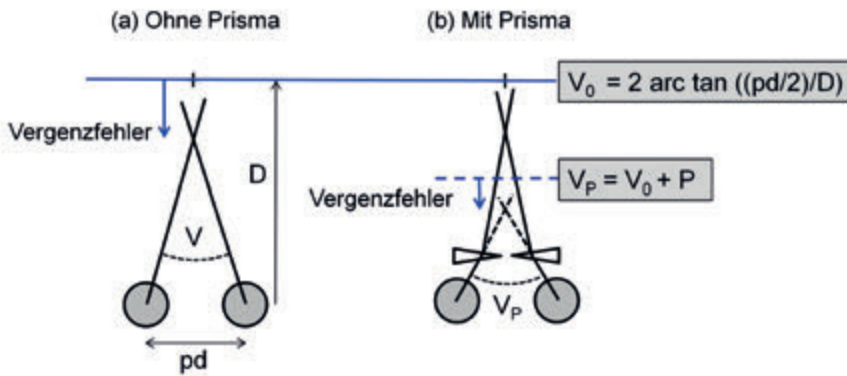


Abbildung 3: Darstellung des ‚Vergenzfehlers‘ als Abweichung der vorliegenden Vergenzstellung vom jeweiligen Vergenzreiz. (a) Ohne Prismen weicht der Vergenzzustand V vom Vergenzreiz V_0 ab, der sich aus der Pupillendistanz pd und dem Sehabstand D ergibt. (b) Mit einem beliebigen Prisma der Stärke P weicht der Vergenzzustand V_P vom dann bestehenden Vergenzreiz V_{0P} ab, der um die Prismenstärke P relativ zu V_0 verschoben ist. Nach V. Schroth et al., 2015 [30].

Beim Abdecken eines Auges beobachtet das sehende Auge ein kleines Fixierobjekt, das dann erwartungsgemäß auf die Fovea-mitte projiziert wird. Das entsprechende Signal des Eye-Trackers definiert die Nullstellung des jeweiligen Auges.

Dieses Prinzip lässt sich auch auf ein Augenpaar übertragen, vor dem sich Prismen befinden. Entsprechend der Stärke des Prismas P verändert sich der Vergenzreiz und beträgt dann $V_{0P} = V_0 + P$; dabei zählen Basis-außen Prismen positiv. Ergibt sich eine Abweichung der Vergenzstellung V_P von dieser erwarteten Vergenz V_{0P} , wird sie ebenfalls als ‚Vergenzfehler‘ bezeichnet (Abb. 3b).

Misst man den Vergenzfehler als Funktion der Prismenstärke (Abb. 2b), so ergibt sich die Prismenkurve für den Vergenzfehler, die sich von der Prismenkurve für den Noniusversatz (Abb. 2a) unterscheiden kann. Denn – wie oben beschrieben – sind die Messwerte für Noniusversatz und Vergenzfehler im Allgemeinen

nicht identisch. In Abbildung 2b bestimmt der Schnittpunkt der Prismenkurve mit der x-Achse dasjenige Prisma, bei dem der Vergenzfehler Null wird und somit korrigiert ist. Dieses Prisma P_{korVF} wird ‚Vergenz-Ausgleichsprisma am jeweiligen Test‘ genannt. Es ist im Allgemeinen nicht identisch mit dem Nullstellungsprisma P_{korNV} , das sich in Abbildung 2a aus der Prismenkurve des Noniusversatz ergibt [24].

Zusammenfassung

Seit der Entwicklung des Kreuztests, dem ersten Test der MKH-Messreihe, gilt dieser vorwiegend als Indikator für die motorische Einstellung der Augen. In dieser Studie wurden erstmals vergleichende Messungen mit einem Eye-Tracker durchgeführt, der die motorische Augenstellung erfasst. Die Methodik und die

In der vorliegenden Studie verwendete Begriffe	Definitionen	Vergleichbare Begriffe in der englischsprachigen Literatur
Noniusversatz am jeweiligen Test (Winkelminute)	Größe des wahrgenommen Versatzes zweier, für beide Augen separat dargebotener Noniusobjekte.	subjective fixation disparity
Nullstellungsprisma am jeweiligen Test (Prismendioptrie)	Das Prisma, das den wahrgenommenen Versatz von zwei Noniusobjekten ausgleicht.	aligning prism
Vergenzfehler am jeweiligen Test (Winkelminute)	Abweichung des bestehenden Vergenzwinkels vom Vergenzreiz.	objective fixation disparity
Vergenz-Ausgleichsprisma am jeweiligen Test (Prismendioptrie)	Das Prisma, das den Vergenzfehler ausgleicht.	

Tabelle 1: Zusammenstellung der hier verwendeten Begriffe

Ergebnisse der Studie werden in einem Folgeartikel dargestellt. In dem vorliegenden Artikel wurden zunächst zur Beschreibung und Interpretation der Befunde neue Begriffe eingeführt. Dabei wird zwischen subjektiver Wahrnehmung am Kreuztest und der objektiv gemessenen Augenstellung unterschieden. Diese Begriffe können allgemein für das physiologische Verständnis der Prismenkorrektur hilfreich sein und sind daher in der untenstehenden Tabelle zusammengefasst.

Die Rechte zu den Abbildungen/Fotos liegen bei den Autoren.

Literaturverzeichnis: online unter www.doz-verlag.de



Autoren:

Luise Julia Schmid, B.Sc.
Bildungszentrum für Augenoptik
und Optometrie (Berufs- und Fachschule
für AO), München



**Prof. Dipl.-Ing. (FH)
Christoph von Handorff**
Studiengang Augenoptik/Optometrie,
Beuth Hochschule für Technik, Berlin



Dr.-Ing. Wolfgang Jaschinski
Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an
der Technischen Universität Dortmund

Die DOZ veröffentlicht unter der Rubrik *Optometrie Beiträge*, die vom Wissenschaftlichen Beirat der DOZ begutachtet, auf ihre fachwissenschaftliche Tragfähigkeit überprüft und freigegeben wurden. Nähere Auskünfte erteilt die Chefredaktion unter ruetten@doz-verlag.de

THEORIE UND PRAXIS DER AUGENGLASBESTIMMUNG BAND II, BINOKULARPRÜFUNG

VON M. HORNIG, K.-R. HARMS



Ein Buch, welches die Mess- und Korrekturmethode nach Haase (MKH) umfassend behandelt, fehlt sowohl für die Ausbildung als auch für die Praxis. Unerfahrenen und erfahrenen Anwendern dieser Methodik soll mit diesem Buch ein Werk zur Verfügung gestellt werden,

44,90 €

das nicht nur die Arbeitsregeln der MKH darstellt, sondern das wichtige Umfeld mit einbezieht.

Natürlich steht die MKH im wissenschaftlichen Diskurs, aber ihr Erfolg für den betroffenen Kunden ist unbestritten. Daher ist es berechtigt, diese Methode der Binokularprüfung zum augenoptischen und optometrischen Handwerkszeug zu zählen. Dies spiegelt sich im Berufsbild des Augenoptikermeisters wider.

Es ist daher konsequent, wenn wir mit diesem Band die Reihe „Theorie und Praxis der Augenglasbestimmung“ mit der Binokularprüfung fortsetzen. Die in der Praxis erworbene Erfahrung und die in der Ausbildung gegebenen Antworten auf viele Fragen fließen in den Inhalt so ein, dass zahlreiche Praxistipps gegeben werden.

Format 195 x 260 mm, 236 Seiten
ISBN 978-3-942873-35-2