

OCL

Optometry & Contact Lenses

Augenoptik
Augenoptik
Augenoptik
Augenoptik
Augenoptik
Augenoptik
Augenoptik
Optometrie
Optometrie
Optometrie
Optometrie

Fixationsdisparität



Wolfgang Cagnolati, DSc*, MSc*,
FCOptom, FAAO, Germany

*Pennsylvania College of Optometry

„Über binokulare Prüfverfahren, das binokulare Sehen, seine nicht krankhaften Anomalien und ihren optischen Ausgleich“ lautet eine Publikation des im Jahr 1980 im Verlag Willy Schrickel, Düsseldorf herausgegebenen Buchs „Binokulare Korrektur“. Autor dieses Beitrags war der damalige Dozent der HFOF Berlin (heute Berliner Hochschule für Technik (BHT) Hans-Joachim Haase, der Namensgeber der von ihm entwickelten „Mess- und Korrekturmethode nach H.J. Haase (MKH)“. Forschung im Bereich des Binokularsehens wird in Berlin schon seit 1937 verstärkt durchgeführt, nachdem der Vater der deutschen Optometrie Peter Abel das von dem britischen Optometristen A. E. Turville entwickelte TIB-Verfahren (Turville Infnitive Balance Test) an der damaligen „Deutschen Schule für Optik und Fototechnik“ einführte.

Forschung und Ausbildung im Bereich des Binokularsehens ist bis heute weiterhin eine Domäne der Berliner Schule. Dies zeigt sich auch in dem frühen internationalen akademischen Austausch der Berliner Ausbildungsstätte mit verschiedenen angelsächsischen Universitäten. Hierzu gehören unter anderem die Kontakte von H.J. Haase mit der Indiana University, School of Optometry und dem legendären Professor Henry Hofstetter, der die damalige HFOF Berlin im Jahr 1961 und 1975 besuchte, um sich mit H.J. Haase fachlich auszutauschen – aber auch der gerade vom späteren Direktor der Berliner Schule Dr. Helmut Goersch forcierte fachliche Dialog mit dem ebenfalls international sehr bekannten Professor David Pickwell von der School of Optometry and Vision Science der University of Bradford zählt hierzu.

Trotz vieler in der Zwischenzeit durchgeführter wissenschaftlicher und klinischer Studien, existieren bis heute immer noch einige nicht abschließend geklärte wissenschaftliche und klinische Fragestellungen im Kontext der MKH und der mitunter notwendigen Korrektur von Heterophorien. Hier steht gerade seit geraumer Zeit die Fixationsdisparität im Zentrum verstärkter Forschungsaktivitäten. Verantwortlich hierfür sind insbesondere Messverfahren wie das Eye Tracking oder die Search-Coil-Methode^{1,2}, mit deren Hilfe zwischen einer objektiven und subjektiven Fixationsdisparität unterschieden werden kann.

In der vorliegenden OCL widmen sich nun Wissenschaftler und Kliniker unterschiedlichen Fragestellungen der Fixationsdisparität. Komplettiert wird die OCL-Ausgabe noch durch eine Fallserie bezüglich der Untersuchung von Kindern mit „Autismus-Spektrum-Störungen“, was diese OCL für Experten aus den Bereichen Kinderoptometrie und Kinderophthalmologie besonders interessant macht. Beschwerdefreies und nicht nur gutes Sehen sollte das Ziel jeder Sehhilfenverordnung sein. Ein aktuelles und profundes Wissen für den Bereich des Binokularsehens ist hierfür unerlässlich.

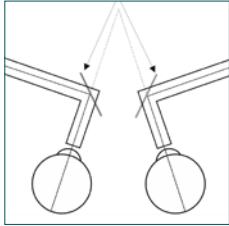
- 1 Houben, M. M. J., Goumans, J., van der Steen, J. (2006). Recording Three-Dimensional Eye Movements: Scleral Search Coils versus Video Oculography. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci., 47, 179-187.
- 2 Schmitt, K. U., Muser, M. H., Lanz, C., Walz, F., Schwarz, U. (2007). Comparing eye movements recorded by search coil and infrared eye tracking. J. Clin. Monit. Comput., 21, 49-53.

117

Editorial

119

Impressum



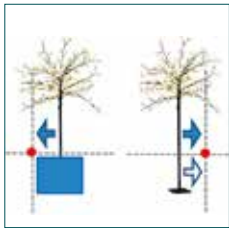
120

V. Schroth

Update zur Fixationsdisparität

127

Fragebogen (COE Zertifizierte Fortbildung)



128

W. Jaschinski

**Warum das Testen der Vergenz so kompliziert ist –
Die subjektive und die objektive Fixationsdisparität**



135

J. Joss · S. Jainta

Verändern MKH-Prismen den binokularen Vorteil beim Lesen?

143

R. A. Coulter · E. Jenewein · Y. Tea · G. Fecho · A. Bade · J. Rodena

**Augenuntersuchungen bei Schulkindern mit einer
Autismus-Spektrums-Störung: Eine Fallserie zur Beurteilung
von Strategien und Hilfsmitteln**

155

VDCO – News

Chefredakteur/Editor-in-Chief

Wolfgang Cagnolati, DSc*, MSc*, FCOptom, FAAO, Germany
 * Pennsylvania College of Optometry
 cagnolati@ocl-online.de, Tel. +49 (0) 171 2035627

Editorial Board

Dr. Michael Bärtschi, Bern, Switzerland
 Dr. Sven Jonuscheit, Glasgow, UK
 Dr. Heiko Pult, Weinheim, Germany

Scientific Advisory Board

Dr. Stefan Bandlitz, Cologne, Germany
 Prof. Dr. Sherry Bass, New York, USA
 Prof. Dr. Jan P. Bergmanson, Houston, USA
 Dr. Andreas Berke, Cologne, Germany
 Dr. med. Detlev Breyer, Düsseldorf, Germany
 Dr. Bastian Cagnolati, Duisburg, Germany
 Dr. Fabian Conrad, Sydney, Australia
 Prof. Dr. Stephan Degle, Jena, Germany
 Prof. Dr. Holger Dietze, Berlin, Germany
 Dr. Klaus Ehrmann, Botany, Australia
 Prof. Dr. med. Carl Erb, Berlin, Germany
 Prof. Dr. J. Peter Gierow, Kalmar, Sweden
 Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. (FH) Hans-Jürgen Grein, Lübeck, Germany
 Prof. Dr. Michel Guillon, London, UK
 Dr. Andreas Hartwig, Heikendorf, Germany
 Dr. Wolfgang Jaschinski, Hagen, Germany
 Prof. Dr. Christian Kempgens, Berlin, Germany
 Prof. Dr. Pete Kollbaum, Bloomington, USA
 Prof. Dr. Konstantin Kotliar, Aachen, Germany
 Prof. Dr. med. Kathleen Kunert, Jena, Germany
 Prof. Dr. med. Anja Liekfeld, Potsdam, Germany
 Dr. Dörte Lünsmann, Waterloo, Canada
 Dr. Sigrid Müller-Schotte, Utrecht, Netherlands
 Prof. Dr. Paul Murphy, Waterloo, Canada
 Prof. Dr. Daniela Nosch, Olten, Switzerland
 Dr. Daniela Oehring, Plymouth, UK
 Dipl.-Ing. (FH) Gustav Pöltner, Innsbruck, Austria
 Prof. Dr. Stephan Reiss, Berlin, Germany
 Dr. Janine Rolfs, Berlin, Germany
 Prof. Wolfgang Sickenberger, Jena, Germany
 Dr. Jan Skerswetat, Boston, USA
 Prof. Dr. med. Nicole Stübiger, Hamburg, Germany
 Dr. Mirjam van Tilborg, Utrecht, Netherlands
 PD Dr. Wolfgang Wesemann, Cologne, Germany
 Prof. Dr. Stefanie G. Wohl, New York, USA
 Dr. Graeme Young, Farnham, UK

Projektkoordination

Stephanie Mühlberg, M.Sc., muehlberg@ocl-online.de,
 Tel. +49 (0) 6221 905170

Verlag und Herausgeber

DOZ-Verlag
 Optische Fachveröffentlichung GmbH
 Postfach 12 02 01, 69065 Heidelberg
 Luisenstraße 14 (Marienhaus), 69115 Heidelberg
 Telefon: +49 (0) 6221 905170
 Telefax: +49 (0) 6221 905171
 Internet: www.doz-verlag.de
 E-Mail: doz@doz-verlag.de

Geschäftsführer

Stephan Schenk, schenk@doz-verlag.de; Dr. Jan Wetzel

Anzeigen

Kerstin Fischer, fischer@doz-verlag.de, Tel. +49 (0) 6221 905173;
 Jochen Reinke, reinke@doz-verlag.de, Tel. +49 (0) 170 3810158

Anzeigenpreise

Es gelten die unter ocl-online.de für das jeweilige Jahr hinterlegten Mediadaten.

Erscheinungsweise

OCL erscheint zehnmal jährlich.

Abonnementservice

Margarethe Pidde, doz@doz-verlag.de, Tel. +49 (0) 6221 905170

Bezugspreise (brutto) ab 01. Juli 2021

(Preise für Studierende und Auszubildende in Klammern):

- Jahresabo Print: 114,90 € (34,90 €)*
- Jahresabo Digital: 109,90 € (29,90 €)*
- Jahresabo Print + Digital: 124,90 € (39,90 €)*

* Die zusätzlichen Versandkosten für Print-Abos belaufen sich im Inland auf 15 € jährlich; Ausland auf Anfrage.

VDCO-Mitglieder erhalten Vorzugskonditionen; wenden Sie sich dazu direkt an die VDCO.

Der Verlag hat das Recht, Abonnementpreise veränderten Gegebenheiten (erhöhte Personal-, Sachkosten oder erhöhte Kosten zur Erbringung von Leistungen, die der Verlag an Dritte zahlen muss) anzupassen.

Abonnementkündigungen

Kündigung eines Jahresabonnements ist jeweils zum 31. Dezember eines Jahres möglich und muss bis spätestens 30. September schriftlich im Verlag vorliegen.

Layout

Ulrike Fritzel, Bad Dürkheim

Herstellung

Druckpress GmbH, Leimen

Alle in der OCL erscheinenden Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch Übersetzungen, vorbehalten. Reproduktionen, gleich welcher Art, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags. Erfüllungsort und Gerichtsstand ist Heidelberg.

Gender-Hinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Hauptwörtern in einigen Beiträgen allein die männliche Form verwendet. Dies hat nur redaktionelle Gründe und beinhaltet keine Wertung.



Update zur Fixationsdisparität

Volkhard Schroth^{1,2}

¹ B.Sc. Optometrie · ² Dozent Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Schweiz

Eingereicht 27. Oktober 2021; angenommen 19. Januar 2022

Received 27 October 2021; accepted 19 January 2022

COE Multiple-Choice-Fragebogen

Die Publikation „Update zur Fixationsdisparität“ wurde von der Gütegemeinschaft Optometrische Leistungen (GOL) als COE Fortbildungsartikel anerkannt. Die Frist zur Beantwortung der Fragen endet am **1. Mai 2023**. Die Fragen können online auf der Website www.ocl-online.de beantwortet werden. Die unten stehende Reihenfolge entspricht nicht der Online-Version. Pro Frage ist nur eine Antwort richtig. Eine erfolgreiche Teilnahme setzt die Beantwortung von vier der sechs Fragen voraus.



Zusammenfassung

Zweck. Das Ziel der Arbeit ist eine Zusammenfassung und Diskussion des aktuellen Wissensstands zum Gesamtkomplex der Fixationsdisparität (FD).

Material und Methoden. Es wurde eine systematisierte PubMed Literaturrecherche auf Basis des Begriffs „fixation disparity“ durchgeführt; zusätzlich stützt sich die Publikation auf das von I. P. Howard verfasste Buch „Perceiving in Depth“.

Ergebnisse. Bis in die 1990er Jahre war das Verständnis betreffend subjektiver FD recht einheitlich. Studien mit hochauflösenden, objektiven Untersuchungsmethoden und simultaner Messung der subjektiven und objektiven FD haben seither gezeigt, dass der Vergenzfehler (= objektive FD) meist nicht sehr gut mit dem Noniusfehler (= subjektive FD) korreliert ist. Es lässt sich daher vermuten, dass es sich bei den beiden FD-Arten um zwei unterschiedliche Erscheinungen handelt. Der objektive Vergenzfehler kann anzeigen, wie groß

die Verschiebung der Bildlage auf der Netzhaut innerhalb des zentralen Panumbereichs ist. Die subjektive FD muss hingegen als das Ergebnis vielfältiger Verarbeitungsvorgänge im Gehirn betrachtet werden.

Fazit. Es besteht ein Unterschied zwischen subjektiver und objektiver FD. Diese Erkenntnis widerspricht nicht der klinischen Relevanz einer subjektiven FD. Ausgleichsprismen zur Korrektur der subjektiven FD sind in gewissen Fällen wirksam, um Sehbeschwerden zu reduzieren. Möglicherweise wird durch die Ausgleichsprismen ein relevanter Anteil einer Heterophorie reduziert.

Schlüsselwörter

Binokularsehen, Fixationsdisparität, Vergenzfehler, Noniusfehler

Update on Fixation Disparity

Abstract

Purpose. The aim of the paper is to summarise and discuss the current state of knowledge on the overall topic of fixation disparity (FD).

Material and Methods. A systematised PubMed literature search based on the term “fixation disparity” was conducted; in addition, the publication relies on the reference book on “Perceiving in Depth” written by I. P. Howard.

Results. Until the 1990s, the understanding regarding subjective FD was quite uniform. Studies with high-resolution, objective examination methods and simultaneous measurement of subjective and objective FD have since shown that the vergence error (= objective FD) is usually not very well correlated with the vernier error (= subjective FD). It can therefore be assumed that the two types of FD are two

different phenomena. The objective vergence error can indicate how large the shift of the image position on the retina is within the central panum area. Subjective FD, on the other hand, must be seen as the result of multiple processing events in the brain.

Conclusion. There is a difference between subjective and objective FD. This finding does not contradict the clinical relevance of subjective FD. Aligning prisms to correct subjective FD are effective in reducing visual complaints in certain cases. It is possible that aligning prisms reduce a relevant proportion of heterophoria.

Keywords

binocular vision, fixation disparity, vergence error, vernier error

Einleitung

Erstmals wurde im Jahre 1900 von Hofmann und Bielschowsky beschrieben, dass ein binokularer Test mit fusionierbaren Anteilen verschoben wahrgenommen wird, wenn die Fusion durch Prismen belastet wird.¹ Die größte, wahrgenommene Testverschiebung entsteht kurz bevor die Fusion an ihre Belastungsgrenze kommt. Bis heute wird die von den Autoren verwendete Testkonfiguration verwendet: Zentrumsnah befinden sich Noniusmarker, die jedem Auge einzeln dargeboten werden (dichoptische Darbietung); im Umfeld der Marker sind fusionierbare Objekte vorhanden (**Bild 1**).

Etwa 50 Jahre später wurde der Begriff „fixation disparity“ von Ogle et al. geprägt.² Ogle, Martens und Dyer haben in ihrem Fachbuch die wichtigsten Erkenntnisse und Grundlagen zusammengefasst.³ Im Mittel beträgt die Größe einer FD ca. $0,15^\circ$ ($9'$) bis maximal ca. $0,4^\circ$ ($24'$) und ist extrem viel kleiner als die Heterophorie, die Größen von 20° und mehr annehmen kann. Als Maßeinheit für FD werden üblicherweise Winkelminuten verwendet. Die FD-Größe berechnet sich aus dem wahrgenommenen Versatz der Noniuslinien und der Darbietungsdistanz (**Bild 2**).

Die FD ist in der Ferne meist deutlich kleiner als in der Nähe. Auch sind die FD-Belastungskurven, in denen die FD als Funktion der vorgeschalteten Prismenstärken abgetragen ist, in der Ferne flacher und brechen früher ab. Die große FD kurz vor dem Doppeltsehen wurde damit erklärt, dass die prismatische Belastung ab einer gewissen Größe nicht mehr vollständig durch motorische Fusion ausgeglichen werden kann. Crone hat den Vorgang als „retinal slip“ bezeichnet, um auszudrücken, dass die Bildlage des fixierten Testobjektes bei prismatischer Belastung zunehmend disparat wird.⁴

Weil noch nicht doppelt gesehen wird, muss sich die Lage des Bildes im abweichenden Auge innerhalb des zentralen Panumbereiches befinden. Dies ist gleichbedeutend mit einer sensorischen Fusion der disparaten Netzhautbilder. In vereinfachten Modellen wurde versucht, die exakte Bildlage geometrisch-optisch zu konstruieren,⁵ was aber voraussetzen würde, dass die Funktion der Netzhaut einem fest verdrahteten „Sensor“ entsprechen würde. Zwar wurde in viele Studien bis in die 1990er Jahre eine absolute Stabilität der Netzhautkorrespondenz postuliert, allerdings sind schon zu dieser Zeit weitaus mehr Studien zu dem Schluss gekommen, dass die Korrespondenz erwachsener Proband*innen mit normalem binokularem Sehen geringe Schwankungen aufweisen kann, um das binokulare Sehen aufrechtzuerhalten.⁶ Sogar die monokularen Richtungswerte unterliegen einer gewissen, begrenzten Plastizität. Neuere Erkenntnisse hierzu werden im Absatz: „Neuronales Re-Mapping“ behandelt.

Material und Methoden

Sowohl ein narratives Literaturreview (PubMed)⁷ als auch eine kritische Auseinandersetzung mit dem Buch „Perceiving in Depth“ wurde vorgenommen.⁸ Für den Zeitraum der letzten 20 Jahre gab es 108 Treffer in der PubMed Suche nach dem Begriff „fixation disparity“ im Titel oder Abstrakt. Diese waren verschiedenen Themenbereichen zuzuordnen: 30 Treffer zu Grundlagen und Physiologie, 21 Treffer zur klinischen Relevanz und 8 Treffer zur Stereopsis. Die relevanten Arbeiten wurden verwendet, und zusätzlich aufgenommen wurden die älteren Studien zum Mallett-Test, die bedeutsam für das Thema der klinischen Relevanz sind. Nicht berücksichtigt wurden

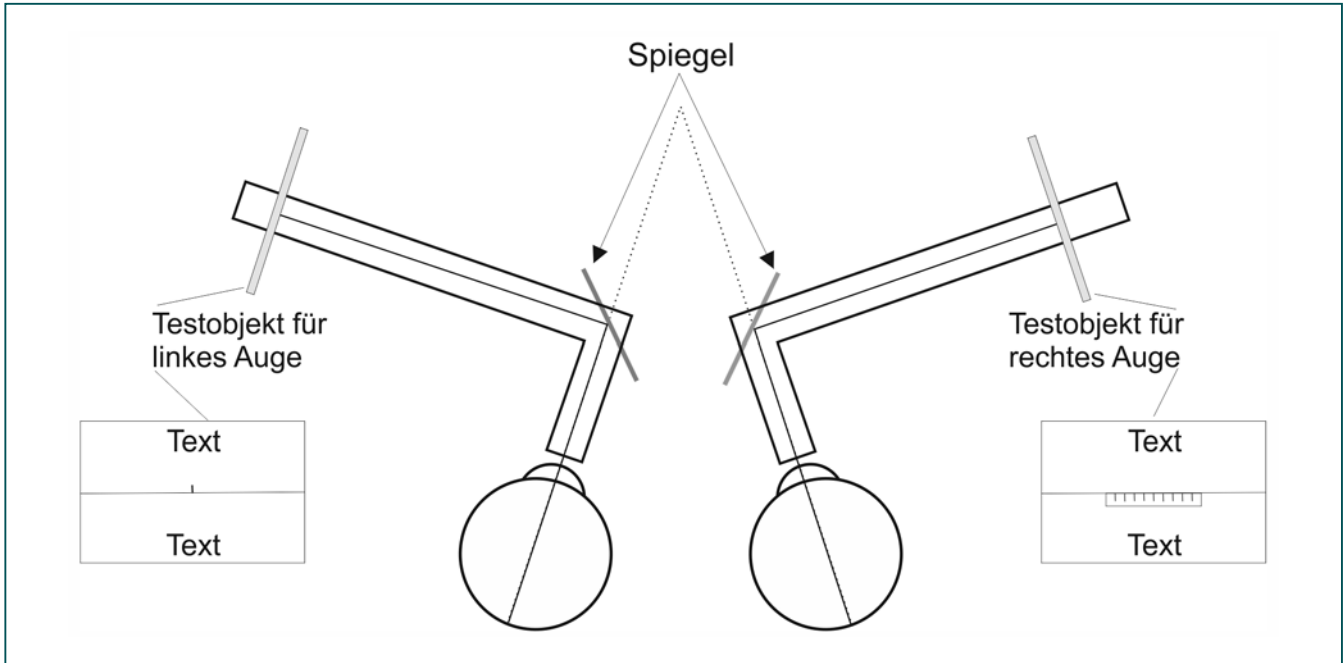


Bild 1: Aufbau der FD-Messung nach Hofmann und Bielschowsky⁴

13 Treffer zu technischen Aspekten, 8 Treffer zum Strabismus und jeweils 4 Treffer zu Ergonomie und zu Kontaktlinsen. Auch 20 Treffer zur Leseforschung wurden hier nicht berücksichtigt, weil sie eine gesonderte Einführung benötigen, die den Umfang dieses Beitrags übersteigen würde. Zur Vertiefung eignet sich ein Review von 2008: Kirkby et al.: Binocular coordination during reading and non-reading tasks.⁹

Fixationsdisparität

Fixationsdisparität ist eine Abweichung einer der Fixierlinien vom beabsichtigten Fixationsobjekt, die zu klein ist, um Diplopie zu verursachen. Dieser geringe Vergenzfehler tritt bei normalem Binokularsehen auf. Die Netzhautbilder des fixierten Objektes fallen dann nicht auf korrespondierende Netzhautstellen. Dieser Fehler kann in horizontaler und/oder vertikaler Richtung vorkommen und beträgt nur wenige Winkelminuten.⁷ Verschiedene Faktoren können zu FD führen, von denen die ersten drei den vermutlich größten Einfluss haben:

1. Tonisches Ungleichgewicht
2. Dynamik der Vergenz mit ungenauer Integration des Geschwindigkeitssignals
3. Neuronales Re-Mapping
4. Asymmetrie der Signale für Konvergenz und Divergenz

Tonisches Ungleichgewicht

Die Hypothese vom tonischen Ungleichgewicht sieht in der Heterophorie die Ursache, die zu FD führen kann. Dies wird gestützt durch den Befund, dass die Richtungen der FD und der Heterophorie meist übereinstimmen. Eine assoziierte

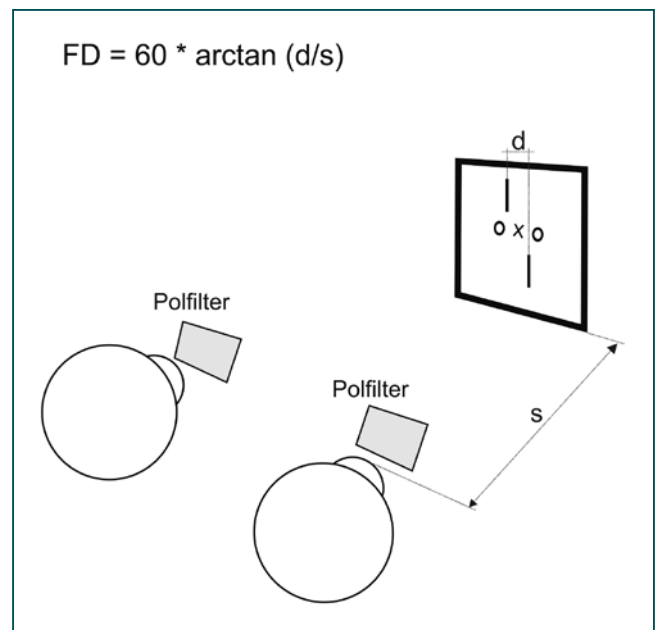


Bild 2: Messung und Berechnung einer subjektiven FD

Heterophorie ist normalerweise kleiner als eine dissoziierte Heterophorie, was möglicherweise durch die subjektive FD erklärbar wird.³ In der assoziierten Sehsituation wird trotz der ungenauen Vergenzstellung nicht doppelt gesehen. Die sensorische Fusion innerhalb vom Panumbereich erlaubt eine Art Toleranzzone. In der Nähe wird FD zusätzlich durch ein tonisches Ungleichgewicht im akkommodativen System beeinflusst. Wenn die Akkommodation durch eine Lochblende open-loop arbeitet, waren subjektive FD und Phorie enger korreliert.¹⁰ Im Dunkeln wurde eine gute Übereinstimmung von subjektiver und objektiver FD gefunden.¹¹ Somit erlaubt

die Messung mit Noniuslinien (= subjektive FD) eine gute Vorhersage der Dunkel-Vergenzstellung (= objektive FD). Weil es keine Einflüsse von Akkommodation und Fusion gibt und auch das Bewusstsein der Nähe ausgeschlossen ist, kann die Dunkel-Ruhestellung der Vergenz als eine Art Referenz für das Vergenzsystems betrachtet werden.

Dynamik der Vergenz mit ungenauer Integration des Geschwindigkeitssignals

Im visuellen Kortex wird eine disparate Abbildung auf der Netzhaut von Disparitätsdetektoren erkannt und führt zu einer motorischen Vergenzänderung. Dieser Vorgang muss sehr schnell ablaufen, um Doppelsehen zu vermeiden. Schon nach wenigen Sekunden beginnt die Phase von langsamer Vergenzanpassung mit dem Ziel, das binokulare Sehen für die jeweilige Arbeitsdistanz optimal aufrecht zu erhalten.^{12,13} Der schnelle, neuronale Integrator richtet die beiden Augen auf die notwendige Distanz aus, während durch den langsamen Integrator die binokulare Ausrichtung beibehalten wird. Die beiden Integratoren sind in ihrer zeitlichen Dynamik entgegengesetzt. Während die schnelle Fusionsvergenz auf die Disparität der Netzhautbilder reagiert, wird der langsame Integrator durch das Signal des schnellen, neuronalen Integrators gesteuert. In diesem Modell ist die FD ein stationärer Fehler des schnellen, neuronalen Integrators. Eine anfängliche FD als Fehlersignal sorgt somit für Stabilität des Vergenzsystems. Das Fehlersignal lässt sich verringern, je besser der langsame Integrator an die aktuelle Vergenzstellung beziehungsweise an Prismen adaptiert ist. Auch eine höhere Dynamik des schnellen Integrators reduziert das Fehlersignal. Die erste Vergenzreaktion benötigt eine gewisse Ungenauigkeit. Einerseits muss der Fusionslock-Prozess schnell greifen, andererseits muss aber die Fusion auch wieder gelöst werden können. In einer normalen Umgebung gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Reize, von denen jeder eine Vergenzbewegung auslösen kann. Wenn man sich entscheidet, die Fixation von einer Entfernung zu einer anderen zu ändern, deaktiviert man den Fusionslock-Mechanismus und erlaubt dem neuen Sehobjekt, eine geeignete Vergenzreaktion auszulösen. Dies aktiviert den Fusionslock-Prozess erneut. Wenn aber nach der Trigger-Reaktion kein neuer fusionierbarer Stimulus auftritt, darf die Vergenz in der neuen Position nicht beibehalten werden. Die Reaktion muss daher transient = vorübergehend sein und benötigt eine gewisse Ungenauigkeit (leaky integrator).⁷ Dies unterstützt die Hypothese, dass eine FD als Ungenauigkeit in der schnellen, ersten Vergenzreaktion von Vorteil ist.

Neuronales Re-Mapping

Lange Zeit war man davon ausgegangen, dass die subjektive FD eine genaue Aussage über die Vergenzstellung ermöglicht. In einer frühen Studie wurde an nur einer Versuchsperson die Vergenzstellung objektiv und subjektiv mittels Kontaktlinsen untersucht, an denen Spiegel angebracht waren. Dort zeigte sich noch eine Übereinstimmung der

beiden FD-Arten.¹⁴ Neuere Arbeiten ermittelten hingegen Unterschiede zwischen beiden Messmethoden und fanden bis zu 10-fach größere objektive Wert.¹⁵⁻¹⁷ Es wurden namhafte Vergenzfehler gemessen, obwohl die subjektiven Noniusfehler nicht vorhanden oder nur gering waren. Diese Unterschiede können durch eine neue Codierung von Richtungswerten trotz normaler Korrespondenz innerhalb der zentralen Panumbereiche erklärt werden. Dies wäre prinzipiell vergleichbar ist mit einer harmonisch, anomalen retinalen Korrespondenz, bei der trotz manifester Fehlstellung ein subjektiver Test zentriert wahrgenommen wird.

Fogt und Jones¹⁵ stellten fest, dass bei allen getesteten Proband*innen die durch Noniuslinien angezeigte subjektive FD recht gut korreliert war mit der objektiven FD, die durch Messung der Positionen der beiden Augen mit Search Coil Technik abgeleitet war. Bei zunehmend forcierter Vergenz unterschätzte die subjektive Nonius-Methode zunehmend die FD einiger Proband*innen im Vergleich zur objektiven Methode bis zu etwa 60'. Diese Unterschätzung trat aber nur auf, wenn die Noniuslinien im Abstand von maximal ca. 3° zum zentralen Fixationsziels lagen.¹⁸ Somit verursachte die erzwungene Vergenz eine vorübergehende und lokale Verzerrung des Horopter in der Nähe eines Vergenzziels. Bei Vergenzbelastungen wurden die objektive und subjektive FD dann ähnlich groß, wenn der Abstand vom zentralen Fusionsobjekt zu den Noniuslinien mindestens 5° betrug.¹⁸ Somit betrifft neuronales Re-Mapping zentrale Netzhautbereiche, die einer Ausdehnung von etwas weniger als 5° entsprechen, wenn die Vergenz belastet wird. Das Verhältnis der beiden FD-Arten auf individueller Ebene wurde in einer eigenen Studie untersucht. Die Regressionsgeraden zwischen objektiver und subjektiver FD waren individuell unterschiedlich. Bei manchen Personen war die subjektive FD nur wenig kleiner als die objektive FD, bei anderen Personen war diese Differenz deutlich höher.¹⁹

Asymmetrie der Signale für Konvergenz und Divergenz

In der Vergenzsteuerung werden Signale einer Gruppe von Disparitätsdetektoren mit überlappenden Abstimmfunktionen zusammengefasst. Detektoren für gekreuzte Disparitäten induzieren Konvergenz, und Detektoren für ungekreuzte Disparitäten induzieren Divergenz. Wenn die Vergenz auf einem definierten Objekt gehalten wird, werden Kreuz-Disparitäts- und Nicht-Kreuz-Disparitätsdetektoren normalerweise gleichermaßen aktiviert. Das symmetrische Disparitätssignal ruft gleiche und entgegengesetzte Vergenzsignale hervor, die zu einer Fixationsdisparität von Null führen. Ein Ungleichgewicht zwischen den beiden Arten von Disparitätsdetektoren verzerrt jedoch die Position der statischen Vergenz.²⁰ Dies widerspricht nicht der Möglichkeit, dass eine Asymmetrie auch durch die äußeren Augenmuskeln verursacht werden kann, wodurch ungleiche Geschwindigkeiten von Konvergenz oder Divergenz resultieren. Dieser Forschungsansatz von Patel et al. wurde in den letzten Jahren nicht weiterverfolgt.

Einflussfaktoren auf die subjektive FD

Wesentliche Einflussfaktoren auf die subjektive FD sind die Gestaltungen der Testgrößen, die verwendeten Fusionsreize und die Darbietungsdistanz.^{21,22} Beispielsweise verändert sich die subjektive FD umso mehr in Exo-Richtung, je kürzer die Distanz wird. Zudem ist die subjektive FD an Testfiguren ohne zentrale Fusionsreize deutlich größer als an Testen mit zentralen Reizen.^{17,23,24} Wenn ein FD-Test keine zentralen Fusionsobjekte aufweist, die binokular sichtbar sind, verschlechtert sich die Wiederholbarkeit bei mehrfacher Testung der gleichen Proband*innen.^{23,25} Ein weiterer Einflussfaktor ist der Noniusfehler, der unter voller Fusion aller Testteile gemessen wird. Der binokulare Noniusfehler beträgt etwa 10 Prozent einer subjektiven FD. Er kann aus den monokularen Fehlern vorhergesagt werden und korreliert mit der subjektiven FD. Wenn man die FD um den Noniusfehler korrigiert, verbessert sich die Korrelation zur tonischen Ruhestellung.²⁶

Zur Relevanz der subjektiven FD

Nach wie vor wird die subjektive FD im klinischen Alltag verwendet, während die objektive FD nur in der Laborsituation gemessen wird. Das Vorhandensein einer subjektiven FD kann darauf hinweisen, dass die Heterophorie nicht gut kompensiert ist. Mallett nahm an, dass das Ausgleichsprisma, mit dem ein FD-Test auf null korrigiert wird, dem dekompenzierten Teil der Heterophorie entspricht.²⁷ Dies wird durch Befunde an mehreren hundert Proband*innen gestützt, dass sich die FD unter binokularer Belastung verstärkt wie zum Beispiel beim Arbeiten bei schlechter Beleuchtung oder bei zu geringem Arbeitsabstand und am Ende eines Arbeitstages.^{21,28,29} Zudem gibt es eine umgekehrte Korrelation zwischen der Größe des Ausgleichsprismas in der Nähe mit den Fusionsreserven. Dies stützt die Ansicht, dass beide Maße Indikatoren für Beschwerden aufgrund einer assoziierten Heterophorie sind.³⁰ Die FD-Größe und auch das Vorhandensein einer Heterophorie ist korreliert mit der Qualität der Stereopsis,³¹⁻³³ allerdings gibt es hierzu auch gegenteilige Studien.^{34,35}

Zumindest ist das Vorhandensein einer subjektiven FD kein alleiniger Indikator für Sehbeschwerden, denn erst ab einer gewissen Stärke von Ausgleichs Prismen ist ein Zusammenhang zu Beschwerden gefunden worden. Jenkins et al. zeigten, dass Basis-innen Prismen am Mallett-Nahtest ab 1,0 cm/m bei Pre-Presbyopen beziehungsweise ab 2,0 cm/m bei Presbyopen mit Symptomen korreliert waren.³⁶ In der Arbeit von Karania und Evans wurde der Befund bestätigt.³⁷ Diese Übereinstimmung zu Sehbeschwerden gilt jeweils nur für die Ergebnisse am Mallett-Test in der Nähe.

Im Gegensatz hierzu wird im Standardwerk „Strabismus“ die Relevanz von Heterophorie-Korrekturen angezweifelt.³⁸ Dies wird begründet mit einer Studie an jeweils 20 Proband*innen mit oder ohne Sehbeschwerden, bei denen kein Zusammenhang zwischen Größe der assoziierten Heterophorie und den Beschwerden gefunden wurde.³⁹ Insbesondere

würden die starken Streuungen bei wiederholter Messung der Prismen einen kausalen Zusammenhang zwischen Beschwerden und Heterophorie-Größe unwahrscheinlich machen. Es wurden aber keine Kontrollen untersucht, die nach der klinisch üblichen Instruktion am Mallett-Test korrigiert wurden. Im Gegensatz zu den Arbeiten von Pickwell und Jenkins, haben die Autor*innen bewusst nicht den geringstmöglichen Prismenwert gesucht, der den Test zentriert, sondern ließen die Proband*innen mit Risley-Prismen selbst einstellen. Diese abweichende Methodik hat vermutlich dazu beigetragen, dass die Prismenwerte bei Mehrfachmessungen stark streuten. Dies verdeutlicht der Vergleich mit einer Arbeit von Alhassan et al., die das geringstmögliche Prisma bei 34 asymptomatischen und 40 symptomatischen Proband*innen mehrfach am Mallett-Test bestimmt haben.⁴⁰ Die Standardabweichungen der Mehrfachmessungen betrugen bei asymptomatischen Proband*innen $\pm 3,8$ cm/m versus $\pm 0,21$ cm/m beziehungsweise bei symptomatischen Proband*innen $\pm 4,3$ cm/m versus $\pm 0,63$ cm/m (Kommerell vs. Alhassan).

Die Relevanz von subjektiver FD lässt sich auch daran messen, ob die klinische Anwendung von Ausgleichs Prismen zur Korrektur von FD erfolgreich ist. Hierzu gibt es nur wenige placebo-kontrollierte Studien. Teitelbaum et al. haben den Effekt von Prismen auf Sehbeschwerden ausschließlich an presbyopen Personen mit Konvergenz-Insuffizienz untersucht.⁴¹ Im Cross-over-Design wurden die prismatischen Gläser verglichen mit Gläsern gleicher Stärke aber ohne Prismen. Hierzu haben die 29 Proband*innen für drei Wochen eine per Zufall ausgewählte Korrektur A getragen, dann für erneute drei Wochen die Korrektur B. Mit dem CISS-Fragebogen wurde geprüft, ob Basis-innen Prismen die Sehprobleme effektiv verringern.⁴² Zudem verwendete die Arbeit ein neuartiges Glasdesign, das zusätzlich zu den Fernprismen eine ansteigende prismatische Wirkung im Nahbereich aufweist. Als Ergebnis wurde gezeigt, dass die prismatische Korrektur den Beschwerdegrad signifikant senken konnte und dies deutlich besser als die Korrektur ohne Prismen.

Eine weitere doppelblinde und placebo-kontrollierte Studie stammt von O'Leary und Evans, in der 80 Proband*innen bezüglich ihrer Leseleistung (Wörter pro Minute) mit und ohne Prismen untersucht wurden.⁴³ Die Mehrheit der Proband*innen waren exophor und Prismen wurden am Mallett-Nahtest bestimmt. Während der Lesetest in unterschiedlichen Varianten durchgeführt wurde, trugen die Proband*innen kurzzeitig entweder die Prismen- oder Placebo-Gläser. Als Placebo-Gläser wurden Stärken verwendet, die eine vergleichbare Eigenvergrößerung aufwiesen wie die prismatischen Gläser. Es zeigte sich ein Vorteil der Ausgleichs Prismen am Mallett-Nahtest auf die Leseleistung ab einer Stärke von 2,0 cm/m Basis-innen, selbst wenn keine Beschwerden angegeben wurden. Bei Personen mit Esophorie oder mit vertikaler Heterophorie gab es keine Verbesserung, allerdings waren die hier untersuchten Gruppen klein und hatten im Gegensatz zur Exo-Gruppe kaum Beschwerden angegeben. Als Gründe für prismatische Korrekturen nennen die Autor*innen entweder das Vorhandensein von Beschwerden und/ oder eine Verbesserung von Sehfunktionen.

Prismatische Korrektur nach der Mess- und Korrekturmethode nach H.-J. Haase (MKH) wurden in einer doppelblinden Studie mit Korrekturen nach orthoptischer Vorgehensweise im Cross-over-Design verglichen, allerdings nicht placebo-kontrolliert. 72 Proband*innen mit starken Sehbeschwerden trugen in den ersten sechs Wochen Korrektur A, hatten dann zwei Wochen Tragepause und trugen Korrektur B anschließend weitere sechs Wochen. Die eine Korrekturbestimmung war von den beteiligten Orthoptistinnen, die andere von den beteiligten Optometristen. Im Ergebnis konnten beide Korrekturweisen die Beschwerden auf ein enorm tiefes Niveau senken.⁴⁴ Ein wichtiges Ergebnis dieser Studie ist die hohe Wirksamkeit bereits in den ersten sechs Wochen. Dieser positive Effekt war auch noch ein Jahr nach Ende der Studie festzustellen. Die beiden verglichenen Brillenverordnungen unterschieden sich aber sowohl in den Prismenwerten, als auch in den korrigierenden Refraktionswerten. Daher erlaubte das Studiendesign keine Differenzierung, ob eher die refraktiven oder die prismatischen Komponenten der Korrekturen wirksam waren.

Der Effekt von Ausgleichsprismen auf die FD in der Ferne wurde in drei Grundlagenarbeiten mit simultanen Messungen von objektiver FD (mittels Eyetracking) und subjektiver FD untersucht. Bei 24 Proband*innen, die zur Hälfte esophor oder exophor waren, konnte das mehrwöchige Tragen der MKH-Prismen im Vergleich zur Anfangssituation die FD zwar nicht auf null reduzieren, jedoch signifikante Änderungen mit großen Effektstärken hervorrufen.²⁴ Proband*innen mit Basis-außen Prismen zeigten die vermuteten Effekte gleichzeitig auf beiden Arten von FD. Bei den Proband*innen mit Basis-innen Prismen waren die individuellen Effekte auf subjektive und objektive FD negativ korreliert: Je größer der subjektive (sensorische) Effekt, desto geringer der objektive (motorische) Effekt. Dieses Reaktionsmuster stand im Zusammenhang mit den individuellen, fusionalen Vergenzreserven.

Zwei weitere Arbeiten untersuchten die Effekte von kurzfristigem Vorgeben von MKH-Kreuztest-Prismen auf die FD.^{45,46} Ohne Prismen waren beide FD-Arten korreliert mit der Größe des Kreuztest-Prismas. Größere Prismenwerte am Kreuztest zeigten an, dass auch die jeweilige FD größer war.

Diskussion

Seitdem es möglich wurde, die Vergenzfehler im Labor objektiv mit genügend hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu messen, wurde der objektive Fehler in mehreren Arbeiten mit der subjektiven FD verglichen. Zuvor wurde die subjektive FD als Referenz für die Vergenzstellung unter assoziierten Sehbedingungen angesehen. Da aber der subjektive Noniusfehler nicht den gesamten Vergenzfehler anzeigen kann, sollte man heute die objektive FD als Referenz betrachten. Die neuen Erkenntnisse insbesondere zu den Zusammenhängen zwischen subjektiver und objektiver FD sind aber noch nicht geeignet, um hieraus praktische Hinweise für eine klinische Anwendung abzuleiten. Sie zeigen zumindest auf, dass die subjektiven FD-Messungen nur sehr eingeschränkte Aussagen über den Vergenzfehler erlauben. Somit ist ein theoretisches

Modell abzulehnen, das aufgrund der subjektiven FD einen geometrisch-optischen Bildlagefehler konstruieren wollte, weil allein schon die Richtungswerte eine gewisse Variabilität aufweisen können. Derzeit lässt sich die subjektive FD wohl am besten damit beschreiben, dass sie das Resultat einer komplexen Verarbeitung von Sehreizen im Gehirn ist.

Das Wissen zu den Ursachen von FD ist geeignet, die klinischen Methoden gezielter anwenden zu können. Beispielsweise können Erkenntnisse aus der Dynamik der Vergenz verwendet werden, um die schnelle und langsame Adaptation in spezifischen Visualtrainingsübungen anzusprechen.

Es ist schon lange bekannt, dass sich Sehbeschwerden effektiv reduzieren lassen, indem auch kleine Fehlsichtigkeiten durch Korrekturen ausgeglichen werden.^{47,48} Eine bestmögliche refraktive Korrektur ist oft bereits wirksam. In bestimmten Fällen scheint zudem eine prismatische Korrektur der subjektiven FD nach assoziierten Messverfahren vorteilhaft zu sein. Warum die Ausgleichsprismen wirksam sind, ist durch den aktuellen Studienstand bezüglich der objektiven FD noch nicht gut erklärbar. Die Ideen von Mallett und H.-J. Haase weisen eine Gemeinsamkeit auf: Die Heterophorie einer Person könnte aus sich aus Anteilen zusammensetzen, die mehr oder weniger gut kompensiert werden können.^{5,27} Wenn dieses Konzept zuträfe und es gelingen würde, die Beschwerde-induzierenden Anteile spezifisch zu erfassen, würde ein Korrekturerfolg erklärbar und vorhersehbar. Von daher ist die Forschung gefragt, weitere Anstrengungen zu unternehmen, damit die Effekte von Ausgleichsprismen auf individueller Ebene besser verstanden werden.

Interessenkonflikt

Der Autor hat keinen Interessenkonflikt bezüglich der im Artikel genannten Methoden und Geräte.

Autor



Volkhard Schroth
B.Sc.

E-Mail:
volkhard.schroth@fhnw.ch

Literatur

- Hofmann, F. B., Bielschowsky, A. (1900). Ueber die der Willkür entzogenen Fusionsbewegungen der Augen. Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, 301-302.
- Ogle, K. N., Mussey, F., Prangen, A. D. (1949). Fixation disparity and the fusional processes in binocular single vision. Am. J. Ophthalmol., 32, 1069-1087.
- Ogle, K., Martens, T., Dyer, J. (1967). Oculomotor Imbalance in Binocular Vision and Fixation Disparity. Lea and Febiger, Philadelphia.
- Crone, R. A. (1969). Heterophoria I. Albrecht Von Graefes Arch. Klin. Exp. Ophthalmol., 177, 52-65.
- Haase, H.-J. (1995). Zur Fixationsdisparation. DOZ Verlag, Heidelberg.

- 6 Wick, B. (1991). Stability of retinal correspondence in normal binocular vision. *Optom. Vis. Sci.*, 68, 146-58.
- 7 Pubmed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=%28fixation+disparity%5BTITLE%2FAbstract%5D%29+AND+%28fixation+disparity%5BTITLE%2FAbstract%5D%29&sort=>. Referencing: October 2021.
- 8 Howard, I. P. (2012). *Perceiving in Depth, Volume 1: Basic Mechanisms*. New York: Oxford University Press, USA.
- 9 Kirkby, J., Webster, L., Blythe, H., Liversedge, S. (2008). Binocular coordination during reading and non-reading tasks. *Psychol. Bull.* 134, 742-763.
- 10 Semmlow, J., Hung, G. (1979). Accommodative and fusional components of fixation disparity. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 18, 1082-1086.
- 11 Jaschinski, W., Jainta, S., Hoormann, J., Walper, N. (2007). Objective vs subjective measurements of dark vergence. *Ophthal. Physiol. Opt.*, 27, 85-92.
- 12 Schor, C. M. (1979). The relationship between fusional vergence eye movements and fixation disparity. *Vision Res.*, 19, 1359-1367.
- 13 Semmlow, J. L., Yaramothu, C., Scheiman, M., Alvarez, T. (2021). Vergence fusion sustaining oscillations. *J. Eye Mov. Res.*, 14, 10.16910.
- 14 Hebbard, F. (1962). Comparison of subjective and objective measurements of fixation disparity. *J. Opt. Soc. Am.*, 52, 706-712.
- 15 Fogt, N., Jones, R. (1998). Comparison of fixation disparities obtained by objective and subjective methods. *Vision Res.*, 38, 411-21.
- 16 Kertesz, A. E., Lee, H. J. (1987). Comparison of simultaneously obtained objective and subjective measurements of fixation disparity. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 64, 734-738.
- 17 Brautaset, R. L., Jennings, J. A. (2006). Measurements of objective and subjective fixation disparity with and without a central fusion stimulus. *Med. Sc. Monit.*, 12, Mt1-4.
- 18 Fogt, N., Jones, R. (1998). The effect of forced vergence on retinal correspondence. *Vision Res.*, 38, 2711-2719.
- 19 Jaschinski, W. (2019). Individual objective versus subjective fixation disparity as a function of forced vergence. *PLoS One*, 13, e0199958.
- 20 Patel, S. S., Jiang, B. C., Ogmen, H. (2001). Vergence dynamics predict fixation disparity. *Neural. Comput.*, 13, 1495-1525.
- 21 Pickwell, L. D., Kaye, N. A., Jenkins, T. C. (1991). Distance and near readings of associated heterophoria taken on 500 patients. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 11, 291-296.
- 22 Jaschinski, W. (1997). Fixation disparity and accommodation as a function of viewing distance and prism load. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 17, 324-339.
- 23 Ukwade, M. (2000). Effects of nonius line and fusion lock parameters on fixation disparity. *Optom. Vis. Sci.*, 77, 309-320.
- 24 Schroth, V., Joos, R., Jaschinski, W. (2015). Effects of Prism Eyeglasses on Objective and Subjective Fixation Disparity. *PLoS One*, 10, e0138871.
- 25 Mirzaeian, M., Hashemi, H., Narooie-Noori, F., Navabati, P., Yekta, A., Sardari, S., Ostadimoghaddam, H., Doosdar, A., Khabazkhoob, M. (2021). Evaluation of the presence of a central fusion lock effect on fixation disparity curve parameters in symptomatic and asymptomatic subjects. *Clin. Exp. Optom.*, 104, 617-624.
- 26 Jaschinski, W., Brode, P., Griefahn, B. (1999). Fixation disparity and nonius bias. *Vision Res.*, 39, 669-677.
- 27 Mallett, R. (1974). Fixation disparity-its genesis and relation to asthenopia. *Ophthalmic Optician*, 1159-1168.
- 28 Pickwell, D., Jenkins, T., Yekta, A. A. (1987). The effect on fixation disparity and associated heterophoria of reading at an abnormally close distance. *Ophthal. Physiol. Opt.*, 7, 345-347.
- 29 Pickwell, L. D., Yekta, A. A., Jenkins, T. C. (1987). Effect of reading in low illumination on fixation disparity. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 64, 513-518.
- 30 Conway, M. L., Thomas, J., Subramanian, A. (2012). Is the aligning prism measured with the Mallett unit correlated with fusional vergence reserves? *PLoS One*, 7, e42832.
- 31 Saladin, J. (2005). Stereopsis from a performance perspective. *Optom. Vis. Sci.*, 82, 186-205.
- 32 Lam, A., Tse, P., Choy, E., Chung, M. (2002). Crossed and Uncrossed Stereoacuity at Distance and the Effect From Heterophoria. *Ophthal. Physiol. Opt.*, 22, 189-193.
- 33 Ukwade, M., Bedel, H., Harwerth, R. (2003). Stereothresholds with simulated vergence variability and constant error. *Vision research 2003*; 43, 195-2004.
- 34 Kromeier M, Schmitt C, Bach M, Kommerell G. (2002). Do Prisms According to Hans-Joachim Haase Improve Stereoacuity? *Klin. Monbl. Augenheilkd.*, 219, 422-428.
- 35 Rutstein, R. P. (1977). Fixation disparity and stereopsis. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 54, 550-555.
- 36 Jenkins, T. C., Pickwell, L. D., Yekta, A. A. (1989). Criteria for decompensation in binocular vision. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 9, 121-125.
- 37 Karania, R., Evans, B. J. (2006). The Mallett Fixation Disparity Test: influence of test instructions and relationship with symptoms. *Ophthal. Physiol. Opt.*, 26, 507-522.
- 38 Steffen, H., Kaufmann, H. H. (2020). *Strabismus*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- 39 Kommerell, G., Kromeier, M., Scharff, F., Bach, M. (2015). Asthenopia, Associated Phoria, and Self-Selected Prism. *Strabismus*, 23, 51-65.
- 40 Alhassan Alhassan, M., Hovis, J. K., & Chou, R. B. (2015). Repeatability of Associated Phoria Tests. *Optom. Vis. Sci.*, 92, 900-907.
- 41 Teitelbaum, B., Pang, Y., Krall, J. (2009). Effectiveness of base in prism for presbyopes with convergence insufficiency. *Optom. Vis. Sci.*, 86, 153-156.
- 42 Borsting, E. J., Rouse, M. W., Mitchell, G. L., Scheiman, M., Cotter, S. A., Cooper, J., Kulp, M. T., London, R., (2003). Validity and reliability of the revised convergence insufficiency symptom survey in children aged 9 to 18 years. *Optom. Vis. Sci.*, 80, 832-838.
- 43 O'Leary, C. I., Evans, B. J. (2006). Double-masked randomised placebo-controlled trial of the effect of prismatic corrections on rate of reading and the relationship with symptoms. *Ophthal. Physiol. Opt.*, 26, 555-565.
- 44 Simonsz, H. J., van Els, J., Ruijter, J. M., Bakker, D., Spekreijse, H. (2001). Preliminary report: prescription of prism-glasses by the Measurement and Correction Method of H.-J. Haase or by conventional orthoptic examination: a multicenter, randomized, double-blind, cross-over study. *Strabismus*, 9, 17-27.
- 45 Schroth, V., Joos, R., Alshuth, E., Jaschinski, W. (2019). Short-term effects of aligning prisms on the objective and subjective fixation disparity in far distance. *J. Eye Mov. Res.*, 12, 10.16910.
- 46 Schmid, L., von Handorff, C., Jaschinski, W. (2018). Messung der Augenbewegungen bei MKH-Kreuztest-Prismen. Teil 2 Messung der Vergenzstellung mit und ohne Prisma. *DOZ - Opto*, 3, 198-205.
- 47 Scheiman, M., Wick, B. (2020). *Clinical Management of Binocular Vision*. Philadelphia: Wolters Kluwer. Lippincott Williams & Williams.
- 48 Nathan, J. (1957). Small errors of refraction. *Br. J. Physiol. Opt.*, 14, 2004-2009.

COE Multiple-Choice-Fragebogen



Letzter Termin, um die Fragen online auf der Website www.ocl-online.de zu beantworten, ist der 1. Mai 2023

Frage 1: Warum kann eine Fixationsdisparität (FD) nach der Hypothese des tonischen Ungleichgewichts entstehen?

- a) Tonisches Ungleichgewicht führt zu Heterophorie und kann gleichfalls eine FD bewirken
- b) Ursache für FD ist der Unterschied zwischen assoziierter und dissoziierter Heterophorie
- c) FD kann nur in der Nähe entstehen, weil dort die Akkommodation ein Ungleichgewicht bewirkt
- d) Ein Ungleichgewicht der äußeren Augenmuskeln bedingt ein Ungleichgewicht der FD

Frage 2: Im Modell der Vergenzdynamik ist eine Ungenauigkeit notwendig. Warum muss die erste, schnelle Fusions-Verriegelung ungenau sein?

- a) Weil das Vergenzsystem als biologisches System grundsätzlich recht ungenau ist
- b) Der schnelle Integrator nutzt die FD als Fehlersignal und arbeitet umso besser, je langsamer er auf den Fehler reagiert
- c) Wenn die Vergenz neu eingerichtet wird, aber kein fusionierbarer Reiz vorhanden ist, darf diese Vergenzstellung nicht beibehalten werden und muss schnell wieder aufgehoben werden können
- d) Die transiente Reaktion des Vergenzsystems aktiviert und deaktiviert Fusion für eine längere Zeit und muss daher ungenau sein

Frage 3: In welcher Situation haben die objektive und subjektive FD ihre höchste Übereinstimmung?

- a) Bei Fern-Messungen
- b) Bei Messungen in der Nähe mit aktiver Akkommodation
- c) Bei Messungen in Hell-Adaptation
- d) Bei Messungen in Dunkel-Adaptation

Frage 4: Bis zu welcher Ausdehnung der zentralen Netzhaut findet bei Vergenzbelastung eine neuronale Umcodierung statt?

- a) 0,1°
- b) 1,5°
- c) 2,5°
- d) 5°

Frage 5: Es gibt Einflussfaktoren, die dazu führen, dass eine subjektive FD in der Nähe in Exo-Richtung größer wird. Welcher der genannten Faktoren ist diesbezüglich falsch?

- a) Monokularer Noniusfehler
- b) Fehlender, zentraler Fusionsreiz
- c) Verringerte Nahdistanz
- d) Abgeschwächte Fusionsreize

Frage 6: Im Fachbuch „Strabismus“ von Steffen und Kaufmann wird ein Zusammenhang zwischen Heterophorie-Größe (assoziiert) und Beschwerden angezweifelt, weil eine Einzelstudie dies nahelegt. Welcher der nachfolgenden Punkte ist KEINE methodische Schwäche diese Studie?

- a) Die Probanden sollten beim Einstellen mit beliebigen Prismenwerten experimentieren
- b) Das Ziel des Selbst-Einstellens der Prismen war nicht der geringst mögliche Wert
- c) Es fehlten Kontrollen, die nach der üblichen Methode untersucht worden wären
- d) Es fehlten Probanden mit Sehbeschwerden

Warum das Testen der Vergenz so kompliziert ist

Die subjektive und die objektive Fixationsdisparität

Wolfgang Jaschinski^{1,2}

¹ Dr.-Ing. · ² Leibniz-Institut für Arbeitsforschung an der TU Dortmund (IfADo)

Eingereicht 27. Oktober 2021; angenommen 7. Februar 2022
Received 27 October 2021; accepted 7 February 2022

Zusammenfassung

Zweck. Dieser Übersichtsartikel beschreibt neuere Befunde der Augenbewegungsforschung zur Vergenzstellung der Augen und gibt eine Interpretation in Bezug auf diejenigen Aspekte des Binokularsehens, die von klinischen Noniustests erfasst werden.

Material und Methoden. In der klinischen Praxis der Binokularprüfung werden traditionell für die Vergenzstellung verschiedene Varianten von Noniustests verwendet: neben einem Fusionsreiz sind monokular dargebotene Noniuslinien angeordnet, deren wahrgenommener Noniusversatz als Messwert einer „subjektiven Fixationsdisparität“ verstanden wird. In der Grundlagenforschung wird die „objektive Fixationsdisparität“ seit den 1980er Jahren mit präzisen Augenbewegungsmesssystemen erhoben.

Ergebnisse. Es besteht keine enge Korrelation zwischen den Messwerten der subjektiven und der objektiven Fixationsdisparität. Meist sind die subjektiven Messwerte erheblich kleiner als die objektiven Messwerte.

Fazit. Eine präzise Begrifflichkeit für die Ergebnisse dieser Messverfahren erlaubt es, die physiologischen Unterschiede zwischen beiden Erscheinungsformen der Fixationsdisparität zu beschreiben. Neuere Forschungsbefunde können die Basis sein, um die Mechanismen der motorischen und sensorischen Fusion neu zu bedenken und die klinischen Befunde entsprechend zu interpretieren. Mit Hilfe von Video-Eye-Trackern ist es heute möglich, eine klinisch-orientierte optometrische Forschung der subjektiven und objektiven Fixationsdisparität zu betreiben.

Schlüsselwörter

Binokularsehen, Fixationsdisparität, Vergenz, Fusion

Why testing vergence is so complicated – The subjective and the objective fixation disparity

Abstract

Purpose. This review article describes recent findings of eye movement research of ocular vergence and provides an interpretation regarding those aspects of binocular vision that are assessed by clinical nonius tests.

Material and Methods. In the clinical practice of binocular testing, different types of nonius tests are traditionally used for the vergence position of the eyes: near to a fusion stimulus, the test includes monocularly presented nonius lines; the perceived nonius offset is understood as a measure of “subjective fixation disparity”. However, in basic research precise eye movement recording systems are applied since the 1980s for measuring the “objective fixation disparity”.

Results. The correlation between subjective and objective measures of fixation disparity tends to be low. Subjective measures are typically much smaller than objective measures.

Conclusion. A precise terminology for the results of these measurements allows one to describe the physiological differences between the two aspects of fixation disparity. Recent research findings may be the basis for reconsidering the mechanisms of motor and sensory fusion and interpreting the clinical findings accordingly. With the help of video eye trackers, it is now possible to conduct clinically-oriented optometric research of subjective and objective fixation disparity.

Keywords

Binocular vision, fixation disparity, vergence, fusion

Vergenztests sind nicht wie andere Sehtests

Will man testen, wie gut jemand kleine Details erkennen kann, dann zeigt man immer kleinere Objekte und fragt nach dem kleinsten gerade noch unterscheidbaren Objekt. Will man testen, wie gut jemand schwache Kontraste sehen kann, dann zeigt man immer schwächere Kontraste. Will man das Stereosehen testen, dann zeigt man Objekte von immer geringerem Tiefenunterschied. Alle diese Tests messen Schwellenwerte von sensorisch-neuronalen Sehfunktionen, die uns die Wahrnehmung im Alltagsleben ermöglichen, wie Sterne am Himmel, Konturen im Nebel beziehungsweise Nadel und Faden. Die klinisch verwendeten Tests für Sehschärfe, Kontrastempfindlichkeit beziehungsweise Stereosehen sind möglichst standardisierte Nachbildungen von natürlichen Sehsituationen. Dass diese Sehtests für das Sehen im Alltag aussagekräftig sind, das ist durch eine angenäherte Nachbildung der natürlichen Sehsituation quasi selbstverständlich gegeben und muss nicht bewiesen werden. Diese Tests von sensorisch-neuronalen Sehfunktionen sind naturgemäß subjektive Tests in dem Sinne, dass sie auf der Wahrnehmung der Testperson beruhen.

Ganz anders ist es bei Tests für die Vergenzstellung der Augen, die von den äußeren Augenmuskeln eingestellt wird. Für den resultierenden Winkel zwischen den Fixierlinien haben wir – im Unterschied zur Propriozeption anderer Körpermuskeln – keine genaue Wahrnehmung (es sei denn kurz vor

dem Nahpunkt der Konvergenz oder beim Doppeltsehen). Wir benötigen diese Wahrnehmungsmöglichkeit im natürlichen Sehen auch gar nicht. Somit ergibt sich auch kein subjektiver Vergenztest, der unmittelbar dem natürlichen Sehen nachgebildet werden könnte. Daher muss der Optometrist anders vorgehen: in der klinischen Praxis kann man die Augen der Patienten aufmerksam beobachten (wie beim Durchführen des Cover-Tests), im Forschungslabor kann man technische Messapparaturen anwenden, zum Beispiel Magnet-Induktionsspulen auf die Augen setzen (Search Coils) oder die Augenstellung aus Foto- oder Videoaufnahmen ermittelt (Eye-Tracker). Dies wären dann objektive Tests, weil sie nicht auf der Wahrnehmung des Patienten beruhen. Es gibt auch subjektive, also auf der Testwahrnehmung beruhende Vergenztests, die aufgrund der Kenntnisse von physiologischen Funktionen entworfen werden können. Dann ist zunächst unbekannt, ob Messwerte der subjektiven und objektiven Messverfahren übereinstimmen. Falls eine Übereinstimmung besteht, ist die Validität des subjektiven Tests bestätigt. Falls keine Übereinstimmung besteht, kann nach physiologischen Gründen geforscht werden.

In den letzten Jahrzehnten wurden viele experimentelle Studien zu den physiologischen Mechanismen der beid-äugigen Augenbewegungskoordination durchgeführt. Die Befunde dieser Grundlagenforschungen zur Fixationsdisparität werden in diesem Übersichtsartikel zusammenfassend beschrieben und interpretiert in Bezug auf diejenigen Aspekte des Binokularsehens, die von klinisch üblichen subjektiven Noniustests erfasst werden.

Unterschiede im Begriff: subjektive versus objektive Fixationsdisparität

Um den aktuellen Stand der Forschung¹ zu berücksichtigen, legt das Deutsche Institut für Normung im derzeitigen Entwurf von DIN 5340 (Anmerkung 2)² eine aktualisierte Terminologie der Fixationsdisparität vor. Diese neuen Begrifflichkeiten sind im Folgenden erläutert.

Die *objektive Fixationsdisparität* (oFD) ist entsprechend dem derzeitigen Entwurf von DIN 5340² der mit einem Eye-Tracker *gemessene Unterschied zwischen der Vergenzarbeitsstellung*, die beim Betrachten eines Fusionsreizes besteht, und der Orthostellung, die mit Hilfe einer monokularen Kalibrierung des Eye-Trackers bestimmt wird. Es handelt sich hierbei also um die Differenz zwischen zwei Vergenzwinkeln im Sinne einer Vergenzfehlerstellung in der Einheit Bogenminuten oder Grad. Die Testanordnung kann starke zentrale oder schwache periphere Fusionsreize enthalten. In diesem Artikel wird die Kurzbezeichnung „Vergenzfehler“ verwendet (in **Bild 1** mit Δ bezeichnet). Ein Vergenzfehler von Null bedeutet, dass ein kleines Fixierobjekt (x) in jedem Auge auf das Zentrum der Foveola projiziert wird. Dies liegt erwartungsgemäß bei monokularem Sehen vor. Somit wird für jede Messung eine Kalibrierung des Eye-Trackers für jedes einzelne Auge durchgeführt, wobei das jeweils andere Auge abgedeckt wird.

Die *subjektive Fixationsdisparität* (sFD) ist nach dem Entwurf der DIN 5340² die *Größe des wahrgenommenen*

Versatzes zweier, für beide Augen getrennt dargebotener Sehobjekte. Es handelt sich hier um den Sehwinkel des Versatzes d . Dieser winkelmäßige Versatz wird in diesem Artikel in Kurzform als „Noniusversatz“ bezeichnet, da häufig Noniuslinien als Testzeichen verwendet werden.

Man kann die objektive und die subjektive Fixationsdisparität als zwei Erscheinungsformen eines suboptimalen Zustandes des Binokularsehens betrachten. Ein solcher suboptimaler Zustand kann bei vielen Probanden bestehen, auch bei einem physiologisch normalen Binokularsehen, gekennzeichnet zum Beispiel durch ein gutes Stereosehen. Fixationsdisparitäten sind individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt, wobei motorische und sensorische Mechanismen eine Rolle spielen und in Interaktion zueinander stehen. Das Begriffspaar „objektiv“ versus „subjektiv“ war schon seit langem in der internationalen Grundlagenforschung üblich und ist folgerichtig aktuell auch in die DIN 5340² und in die MKH-Richtlinien³ übernommen worden. Diese Begriffe könnten jedoch leicht und fälschlicherweise so verstanden werden, als handele es sich um denselben physiologischen Zustand, beziehungsweise dieselbe Größe eines Messwertes, der mit subjektiven beziehungsweise objektiven Messverfahren bestimmt werden könnte. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie es im nächsten Kapitel erläutert wird. Zur Betonung der physiologisch unterschiedlichen Mechanismen wird in diesem Artikel das Begriffspaar „Vergenzfehler“ (eine motorische Abweichung von der Orthostellung) versus „Noniusversatz“ (eine Wahrnehmungsgröße) verwendet.

Zur Messung des Noniusversatzes d werden in Forschungsstudien⁴ meistens die monokular dargebotenen Objekte im Testdisplay verschoben, bis sie übereinander erscheinen (**Bild 1**); bei diesen Messungen werden keine Prismen angewendet. Viele Tests in der Praxis – so auch in der MKH³ – verwenden physikalisch übereinander dargebotene monokulare Objekte, die dann subjektiv um den Winkel d verschoben erscheinen. Da dieser wahrgenommene Versatz nicht unmittelbar zu quantifizieren ist, wird daher der Wert eines Nullstellungsprismas bestimmt, mit dem kein Versatz mehr wahrgenommen wird. Dies hat den Vorteil, dass unmittelbar ein Prisma für die Brille im Alltag bestimmt ist. Dieses Nullstellungsprisma wird im Englischen *aligning prism* genannt.⁵ Diese Begriffe betonen, dass es sich um die Stärke des Prismas vor den Augen handelt und nicht um den Phoriewinkel zwischen den Fixierlinien, den man in Grad, Bogenminuten oder auch Prismendioptrien angibt. Eine Um-

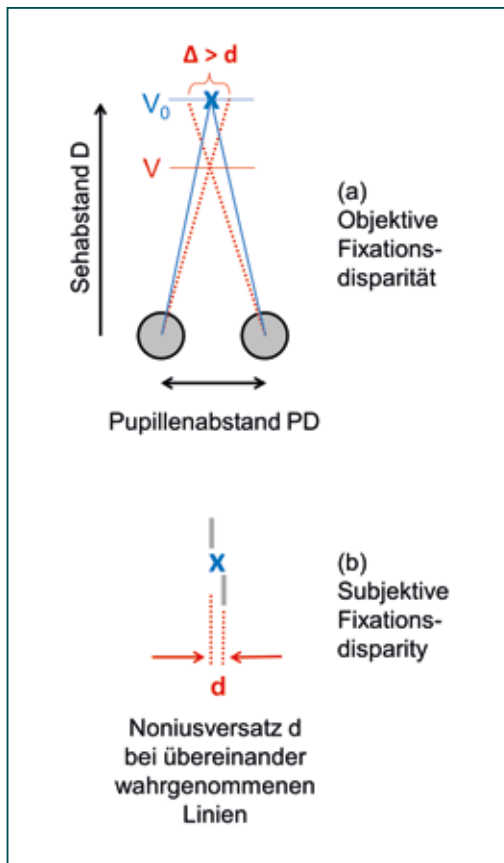


Bild 1: Illustration und Begrifflichkeit der Fixationsdisparität (nicht maßstabsgetreu):

(a) Objektive Fixationsdisparität: abweichend vom geometrisch erwarteten Vergenzwinkel $V_0 = 2 \times \arctan((PD)/2/D)$ besteht eine eso-Vergenzstellung V , also ein Vergenzfehler VF . Der Winkel der objektiven Fixationsdisparität beträgt $2 \arctan((PD + \Delta)/2/D) - V_0$.

(b) Subjektive Fixationsdisparität: die monokularen Noniuslinien werden auf einen Abstand d verschoben, um übereinander wahrgenommen zu werden. Der Winkel der subjektiven Fixationsdisparität beträgt $\arctan(d/D)$.

rechnung zwischen der Fixationsdisparität und dem Nullstellungsprisma ist nicht möglich, da dieser Zusammenhang sich aus der individuellen Charakteristik des Funktionsverlaufs der Fixationsdisparität in Abhängigkeit von dem angewendeten Prisma ergibt⁴ (vgl. Ogle'sche Fixationsdisparitäts-Kurve⁶).

Unterschiede im Messergebnis: subjektive versus objektive Fixationsdisparität

Der einfachste subjektive Vergenztest ist die Messung der dissoziierten Phorie, hier verstanden als die Vergenz, die sich ohne jeden Fusionsreiz einstellt und als Ruhestellung der Vergenz verstanden wird. Beim Maddox-Test hebt der Zylinder die Fusion vollständig auf und der Messwert ergibt sich aus der Wahrnehmung nicht-fusionierbarer monokularer Objekte; dies sind zum Beispiel die Punktlichtquelle und der durch den Maddox-Zylinder erzeugte Strich. Die Abbildungsorte der monokularen Objekte auf die räumliche Netzhautstruktur dienen als Indikator für die Richtungswerte und somit für den Vergenzwinkel, in diesem Fall den Phoriewinkel. Die Validität des Maddoxtests ist aber nicht von vornherein gegeben, sondern muss und kann leicht dadurch belegt werden, dass beim Vorschalten ansteigender Prismenwerte der Maddoxtest die erwarteten Messwerte ergibt. Han et al.⁷ zeigten die Übereinstimmung mit Eye-Tracker-Messungen für die Phorie und Jaschinski et al.⁸ für die Vergenzstellung in Dunkelheit ohne jeden Fusions- und Akkommodationsreiz. Bei diesen Testbedingungen ohne jeden Fusionsreiz sind die subjektiven Messungen also als valide zu bezeichnen.

Für die natürliche Sehsituation mit Fusionsreizen brachten Hofmann und Bielschowsky⁹ erstmals 1900 zusätzlich zu monokularen Noniusobjekten auch einen Fusionsreiz im Testfeld an, um so aus der Wahrnehmung des Noniusversatzes auf den sogenannten „Disparitätsrest“ zu schließen, wie sie ihr Messergebnis nannten. Diese subjektive Testmethode wurde seitdem weltweit von verschiedenen Forschern benutzt, um damit Konzepte zur Prüfung des Binokularsehens zu entwickeln und in die Praxis einzuführen.^{6,10-13} Ob aber diese subjektiven Messwerte von Noniustests mit objektiven Messungen übereinstimmen, das blieb lange unklar. Die erste Studie stammt von Hebbard¹⁴, der Spiegel auf Kontaktlinsen bei einem einzelnen Probanden einsetzte und eine Übereinstimmung zwischen beiden Aspekten der Fixationsdisparität fand. Ab den 1980er Jahren wurden einige Studien¹⁵⁻²⁰ mit hoch-präzisen Eye-Trackern (Search Coils, DPI-Eye Tracker, mit einer Auflösung beziehungsweise Drift in der Größenordnung von 1 Bogenminute) und jeweils einer Reihe von Probanden durchgeführt. Erstaunlicherweise ergaben sich große Diskrepanzen: die objektiven Messwerte waren bei vielen Probanden signifikant und teils um ein Vielfaches größer als die subjektiven Messwerte der Fixationsdisparität. Bei zentralen Fusionsreizen ergab sich ein Faktor von etwa 10 bei einzelnen Probanden.²¹ In jeder dieser Studien waren die Seh- und Fusionsreizbedingungen identisch für die simultan durchgeführten objektiven und subjektiven Messungen.

Kertesz and Lee¹⁷ fassten den damaligen Stand so zusammen: „The intriguing question is what the nonius-displacements represent or are a measure of.“ Dies erschwert die Interpretation der Messwerte von subjektiven Vergenztests, die traditionell in der Praxis der Optometrie verwendet werden.

Als Grund für den Größenunterschied zwischen der objektiven und subjektiven Fixationsdisparität nannten die Autoren sensorische Mechanismen, die sie beschrieben als eine Änderung der Netzhautkorrespondenz für die monokularen Objekte, eine Ausstülpung des Horopters, beziehungsweise eine sensorische Kompensation. Warum aber diese sensorischen Mechanismen bestehen, beziehungsweise welchen Vorteil sie für das Binokularsehen haben könnten, dies ist nach wie vor unklar (siehe letztes Kapitel).

Seit dieser Zeit ist es also einerseits belegt, dass es auf die jeweilige Testbedingung ankommt, ob subjektive Noniustests valide oder nicht valide sind für die objektive Fixationsdisparität. Andererseits zeigten die Arbeiten von einigen klinisch orientierten Forschern, wie Evans^{22,23}, Haase²⁴, Jenkins²⁵, Methling und Schütze²⁶, Ogle⁶, Pickwell²⁷, Lie und Opheim^{28,29}, Sheedy und Saladin¹³, dass Noniustests in der praktischen Optometrie sinnvoll und nützlich sein können. So sprach sich Wick³⁰ für die Verwendung der subjektiven Tests aus: „Given the clinical success (and improvement on previous techniques) the management based on fixation disparity measures enjoys, it seems imprudent to discount the clinical research concerning use of fixation disparity measures simply because the existence of separate sensory and motor components of fixation disparity mean that we have been measuring more than simple eye misalignment. However, thoughtful clinicians should be aware clinical fixation disparity measures probably represent sensory remapping as well as motor misalignment of the eyes.“

Eigenschaften von Vergenzfehler (oFD) und Noniusversatz (sFD)

Nach obigen Studien kann der Vergenzfehler (objektive Fixationsdisparität) bei vielen Probanden erheblich vom Noniusversatz (subjektiven Fixationsdisparität) abweichen, – besonders bei zentralen Fusionsreizen. Beide Größen haben bei den meisten Probanden zwar dasselbe Vorzeichen (sind also gleichermaßen eso beziehungsweise exo), so dass über alle Probanden eine mittelgroße Korrelation besteht.²¹ Innerhalb der eso-Probanden (beziehungsweise der exo-Probanden) besteht – wenn überhaupt – nur ein schwacher Zusammenhang, so dass man nicht sagen kann, dass ein großer Noniusversatz mit einem großen Vergenzfehler einhergeht.

Trotz dieser Diskrepanz in der winkelmäßigen Größe haben Noniusversatz und Vergenzfehler einige Eigenschaften gemeinsam: beide sind mit der Phorie korreliert²¹, beide Maße hängen von der Stärke eines vorgeschalteten Prismas vor den Augen ab, das die Fixationsdisparität experimentell verändert.^{15,16,31} Allerdings zeigt sich ein Unterschied, wenn der Fusionsreiz in die Nähe verschoben wird: während der Noniusversatz sich typischerweise bei vielen Probanden mit

zunehmender Nähe in die exo-Richtung verschiebt, was dies beim Vergenzfehler nicht zu beobachten.³²

Es ist immer von Bedeutung, wie Noniusobjekte und Fusionsreize räumlich angeordnet sind^{15,16}: wenn die Noniusobjekte mehr als 3 Grad von einem zentralen Fusionsreiz entfernt ist, stimmen subjektive und objektive Maße überein. Jedoch ist eine genaue Noniusbeurteilung sehr erschwert, wenn man die Noniusobjekte entfernt anordnet. Je näher die Noniusobjekte und Fusionsreize jedoch zusammenrücken, umso kleiner wird die subjektive Fixationsdisparität bei gleicher objektiver Fixationsdisparität.

In der klinischen Optometrie gelten der Noniusversatz beziehungsweise das Nullstellungsprisma der subjektiven Fixationsdisparität als Indikatoren für das Auftreten von asthenopischen Beschwerden.^{6,12,13,23,25,28,29,33,34-37} Dieser Zusammenhang zeigte sich nicht für die objektive Fixationsdisparität (gemessen mit dem Eye-Tracker am Ende der Fixationsperioden bei einer Leseaufgabe), jedoch für die zeitliche Änderung (Drift) der Vergenz während der Lesefixationen und für die Dauer der Fixationen beim Lesen von Textsätzen.^{38,39} Allerdings gibt es bis heute keine Studie mit einem direkten Vergleich der subjektiven und objektiven Maße in Bezug auf Asthenopien.

Weitere Eigenschaften der objektiven und subjektiven Fixationsdisparität (auch in Bezug auf Prismenkorrekturen) wurden in jüngeren Artikeln zusammenfassend dargestellt^{31,32,40-42}, aktuell auch im vorliegenden OCL Special Issue⁴³. Einen direkten Online-Zugang zu vielen internationalen wissenschaftlichen Artikeln findet man im englischsprachigen Wikipedia-Eintrag.⁴⁴

Was geschieht neuronal beim Betrachten eines Nonius-Vergenztests?

Nehmen wir den Fall eines Mallett-Tests⁴⁵ mit einem kleinen zentralen Fusionsreiz und parazentralen monokularen Noniuslinien, die für diese Überlegung physikalisch übereinander stehen sollen. Wenn man beispielsweise einen Vergenzfehler von 20 Bogenminuten annimmt (mit einem Eye-Tracker objektiv gemessen), dann werden die retinalen Bilder des Fusionsreizes und der Noniuslinien mit einem gewissen Richtungsversatz, das heißt einer Disparität von 20 Bogenminuten an das Gehirn geleitet. Die sensorische Fusion modifiziert die Richtungswerte des Fusionsreizes derart, dass in der Wahrnehmung kein Versatz, kein Doppeltsehen besteht. Was geschieht nun mit den monokularen Noniuslinien? Bei einem objektiven Vergenzfehler von 20 Bogenminuten kann man beispielsweise von einem Noniusversatz von 2 Bogenminuten ausgehen.⁴ Mit anderen Worten: die objektive Fixationsdisparität von 20 Bogenminuten erscheint im subjektiven Noniustest als sensorisch von 20 auf 2 Bogenminuten reduziert. Die monokularen Noniuslinien werden offenbar weitgehend, aber nicht vollständig so verarbeitet wie die fusionierbaren Bildanteile, nämlich immerhin in einem Ausmaß von 18 der ursprünglichen 20 Bogenminuten

(denn es verbleibt ein Noniusversatz von 2 Bogenminuten). Würden die Noniuslinien vollständig so verarbeitet wie der Fusionsreiz, dann wäre der beobachtete Noniusversatz Null. Diese Interpretation entspricht dem Konzept des „Capture of Visual Direction“, das Erkelens und van Ee^{46,47} aus Versuchen mit dynamischen Vergenzänderungen abgeleitet hatten: „the visual directions of monocular objects are captured by those of nearby binocular objects“: In einem großflächigen Random-Dot-Stereogramm variierte die absolute Disparität des Sehreizes sinusförmig mit der Frequenz von 0,75 Hz um ± 80 Bogenminuten: entsprechende Vergenzbewegungen wurden gemessen, aber subjektiv erschien das Stereogramm stationär. In einer kleinen mittleren Lücke im Stereogramm erschien eine monokulare Noniuslinie, deren Richtungswerte von den Richtungswerten des Stereogramms bestimmt wurden; Erkelens und van Ee bezeichneten dies als „capture“.

Monokulare Objekte im natürlichen Sehen?

Unser Sehsystem hat sich im Laufe der menschlichen Evolution so entwickelt, dass wir die Vorteile des beidäugigen Sehens im Alltag optimal nutzen können. Sicher hat die Natur dabei nicht das Ziel verfolgt, dem Optometristen eine Möglichkeit zu bieten, die Vergenz mit einfachen Noniustests präzise untersuchen zu können. Also besteht die Frage: wofür könnte es im natürlichen Sehen nützlich sein, dass monokulare Noniuslinien in angemessener Weise sensorisch verarbeitet werden.⁴⁸

Es gibt im natürlichen Sehen durchaus Situationen, in denen Objekte teilweise monokular gesehen werden, wie es zum Beispiel in **Bild 2** dargestellt ist. Dort wird die blaue Karte gerade so gehalten, dass das linke Auge den unteren Baumstamm nicht sehen kann, während der obere Baumstamm von beiden Augen gesehen wird. Der obere Baumstamm mit der Krone stellt den Fusionsreiz dar. Wenn dabei ein motorischer Vergenzfehler (eine objektive Fixationsdisparität) besteht, dann werden die disparaten Netzhautprojektionen sensorisch im Panum-Bereich fusioniert: die Netzhautbilder des oberen Stammes erhalten denselben Richtungswert. Dieser normale sensorische Fusionsmechanismus besteht jedoch für den unteren, monokular gesehenen Stamm nicht. Dennoch wird der untere Stamm in die Gesamtwahrnehmung integriert, so dass man den Stamm realitätsgetreu durchgehend sieht und nicht mit einem „Noniusversatz“. Solche Situationen kommen in natürlichen Umgebungen häufig vor. Bei einem Waldspaziergang zum Beispiel sieht man vielfältige Verdeckungen durch Äste und Stämme und entsprechende monokulare Bildanteile, die dennoch nicht versetzt erscheinen. Es muss also einen Mechanismus geben, der diese monokularen Bildanteile passend in das Gesamtbild integriert. Es dürfte also bei dieser Betrachtungsweise gar keinen „monokularen Noniusversatz“ geben, also keine „subjektive Fixationsdisparität“. Monokulare Bildanteile durch Verdeckungen in natürlichen Sehsituationen sind ein spezieller Gegenstand im Bereich der Wahrnehmungsforschung.^{49,50} Harris und

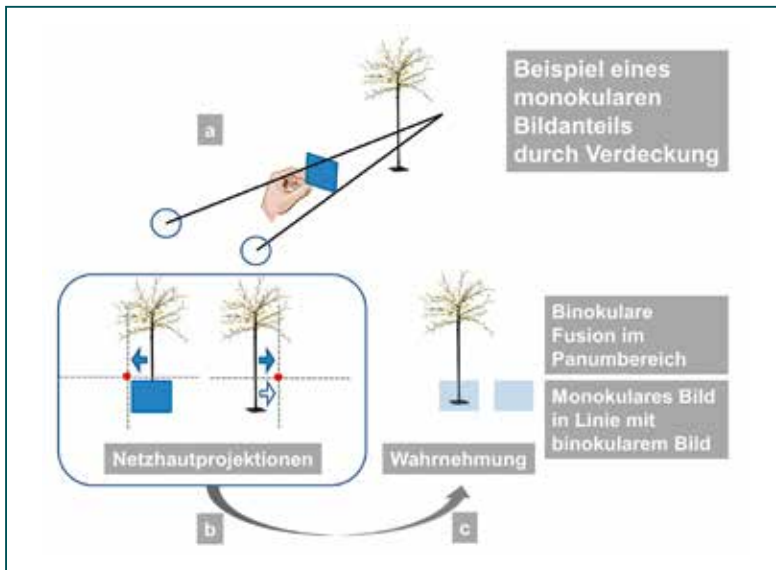


Bild 2: Illustration einer Sehsituation mit binokularen und monokularen Bildanteilen⁴⁸. Siehe Text.

Wilcox⁴⁹ beschreiben in ihrem Review sensorische Mechanismen zur Integration monokularer Bildanteile. Man kann erwarten, dass diese Mechanismen auch beim Blick auf optometrische Noniustests wirksam sein werden.

Die „unnatürliche“ Besonderheit der optometrischen Noniustests besteht vielleicht nicht darin, dass überhaupt monokulare Bildanteile vorkommen, sondern darin, dass es in direkter Nachbarschaft dieser monokularen Linien keine entsprechenden identischen binokularen Bildanteile gibt. Überdies sind im optometrischen Test die monokularen Noniuslinien nicht in einen dreidimensionalen Raum mit Verdeckungen eingebettet. Diese Bedingungen könnten dazu führen, dass man überhaupt einen Noniusversatz wahrnimmt, der dann indirekt vom Vergenzfehler (und eventuell vom Akkommodationsfehler) beeinflusst wird. Nach dieser hypothetischen Sichtweise unterliegt die Wahrnehmung der monokularen Noniuslinien im optometrischen Test vielleicht den Gesetzmäßigkeiten, wie monokulare Bildanteile in eine dreidimensionale Wahrnehmung integriert werden. Leider liefert dieser Gedanke derzeit für das Verständnis der subjektiven Fixationsdisparität noch keine genauere Erklärung. Denn die Forschung zu monokularen Bildanteilen bezog die Fixationsdisparität bisher nicht ein, und die Forschung zur Fixationsdisparität berücksichtigte nicht die Rolle monokularer Bildanteile im natürlichen Sehen.

Ein Kommentar zum Abschluss

Howard and Rogers⁵¹⁻⁵³ haben in ihrem dreibändigen Werk eine umfassende Wissensbasis über alle Aspekte des Binokularsehens zusammengetragen und als Anregung auch offene Forschungsfragen benannt. So sei auch hier eine kommentierende Einschätzung des Forschungsstandes zur Fixationsdisparität gegeben.

Es ist ernüchternd, dass seit den ersten Messungen der subjektiven Fixationsdisparität durch Hofmann und Bielschowsky⁹ im Jahre 1900 immer noch nicht wirklich klar ist,

was Noniustests physiologisch tatsächlich widerspiegeln. Diese Unsicherheit drückt sich auch darin aus, dass in den USA, in Großbritannien und im deutschsprachigen Raum nach wie vor verschiedene klinische Konzepte zum Verständnis der Fixationsdisparität und deren Korrektionsmöglichkeiten bestehen. Die Forschung ist also durchaus nicht abgeschlossen, sondern auf dem Weg zu einem allseits akzeptierten Gesamtkonzept. Dazu sollten Grenzen zwischen Wissenschaftsdisziplinen und Ländern überwunden werden.

Das Jahr 2021 war insofern wichtig, als in mehreren praxisorientierten Publikationen die objektive und die subjektive Fixationsdisparität als zwei unterschiedliche Aspekte benannt und somit der klinischen Praxis näher gebracht wurden. Dies erfolgte deutschsprachig in der DIN 4350² und in den MKH-Richtlinien³ sowie englischsprachig durch Evans²³ in seinem optometrischen Standardwerk über Forschung und Praxis.

Man kann in der klinischen Optometrie durchaus die verschiedenen international verbreiteten Noniustests anwenden, jedoch mit Blick auf den aktuellen Forschungsstand. Man sei sich dabei aber bewusst, dass Noniustests immer nur einen begrenzten Aspekt des komplexen physiologischen Geschehens im Binokularsehen widerspiegeln.

So besteht weiterhin die Aufgabe, den Zusammenhang zwischen subjektiver und objektiver Fixationsdisparität und die zugrunde liegenden physiologischen Mechanismen zu untersuchen, auch in Bezug auf praktisch klinische Fragestellungen, zum Beispiel die Wirkung von Prismenbrillen zur Abhilfe bei Asthenopien. Diese Forschungen sind an Hochschulen möglich und werden seit etwa 10 Jahren dadurch erleichtert, dass es mit Video-Eye-Trackern und geeigneten Messprozeduren heute leichter möglich ist, die Fixationsdisparität im Bereich unterhalb von 1 Grad zuverlässig objektiv zu messen. Eine solche forschungsbasierte Weiterentwicklung ist jedoch kein leichter Weg, denn das Testen der verschiedenen motorischen und sensorischen Aspekte des Binokularsehens ist nun einmal aus physiologischen Gründen komplexer als das Testen zum Beispiel der Sehschärfe oder der Kontrastempfindlichkeit.

Autor



Dr.-Ing. Wolfgang Jaschinski

E-Mail:
jaschinski@ifado.de

Literaturverzeichnis

- 1 Schmid, L. J., v. Handorf, C. und Jaschinski, W. (2018). Messungen der Augenbewegungen mit MKH-Prismen, Teil 1: Was messen wir da eigentlich? Begrifflichkeiten neu interpretiert. *Deutsche Optikerzeitung*, 73, 192-197.
- 2 DIN 5340: 2021-04 - Entwurf, Begriffe der physiologischen Optik. 192-197.
- 3 IVBS (2021). Richtlinien zur Anwendung der MKH. Internationale Vereinigung für Binokulares Sehen.
- 4 Jaschinski, W. (1997). Fixation disparity and accommodation as a function of viewing distance and prism load. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 17, 324-39.
- 5 Evans, B. J. W. (2009). Binocular vision assessment. In: *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management*. (eds. Rosenfield, M., Logan, N.) Elsevier, 241-256.
- 6 Ogle, K. N., Martens, T. G. and Dyer, J. A. (1967). Oculomotor imbalance in binocular vision and fixation disparity. *Lea & Febiger*.
- 7 Han, S. J., Guo, Y., Granger-Donetti, B., Vicci, V. R. and Alvarez, T. L. (2010). Quantification of heterophoria and phoria adaptation using an automated objective system compared to clinical methods. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 30, 95-107.
- 8 Jaschinski, W., Jainta, S., Hoormann, J. and Walper, N. (2007). Objective versus subjective measurements of dark vergence. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 27, 85-92.
- 9 Hofmann, F. B., Bielschowsky, A. (1900). Ueber die der Willkuer entzogenen Fusionsbewegungen der Augen. *Pflügers Archiv European Journal of Physiology*, 80, 1-40.
- 10 Carter, D. B. (1958). Studies of fixation disparity. II. Apparatus, procedure and the problem of constant error. *Am. J. Optom. Arch. Am. Acad. Optom.*, 35, 590-598.
- 11 Haase, H.-J. (1995). Zur Fixationsdisparition. DOZ - Verlag Optische Fachveröffentlichungen.
- 12 Mallett, R. J. F. (1974). Fixation disparity. Its genesis and relation to aesthenopia. *Ophthal. Optician*, 14, 1156-1168.
- 13 Sheedy, J. E., Saladin, J. J. (1983). In: *Vergence Eye Movements: Basic and Clinical Aspects* (eds. Schor, C. M., Ciuffreda, K.J.) Butterworths, pp. 517-540.
- 14 Hebbard, F. W. (1962). Comparison of subjective and objective measurements of fixation disparity. *J. Opt. Soc. Am.*, A 52, 706-712.
- 15 Fogt, N., Jones, R. (1998a). The effect of forced vergence on retinal correspondence. *Vision Res.*, 38, 2711-2719.
- 16 Fogt, N., Jones, R. (1998b). Comparison of fixation disparities obtained by objective and subjective methods. *Vision Res.*, 38, 411-421.
- 17 Kertesz, A. E., Lee, H. J. (1987). Comparison of simultaneously obtained objective and subjective measurements of fixation disparity. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 64, 734-738.
- 18 Kertesz, A. E., Lee, H. J. T. (1988). The nature of sensory compensation during fusional response. *Vision Res.*, 28, 313-322.
- 19 Remole, A., Code, S. M., Matyas, C. E., McLeod, M. A. and White, D. J. (1986). Objective measurement of binocular fixation misalignment. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 63, 631-638.
- 20 Robertson, K., Schor, C. M. (1986). Changes in retinal correspondence induced by disparity vergence. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 27 (Suppl.), 79.
- 21 Jaschinski, W., Jainta, S. and Kloke and W. B. (2010). Objective vs subjective measures of fixation disparity for short and long fixation periods. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 30, 379-390.
- 22 Evans, B. J. W. (2010). The investigation & management of heterophoria. Part 3: Binocular vision. *Optometry Today*, September 2, 40-48.
- 23 Evans, B. J. W. (2021). *Pickwell's Binocular Vision Anomalies E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- 24 Haase, H.-J. (1995). Zur Fixationsdisparition. DOZ-Verlag Optische Fachveröffentlichungen.
- 25 Jenkins, T. C., Pickwell, L. D. and Yekta, A. A. (1989). Criteria for decompensation in binocular vision. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 9, 121-125.
- 26 Methling, D., Schütze, J. (2002). Latente Störungen des Binokularsehens, eine ernstzunehmende Ursache für asthenopische Beschwerden und Sehbeeinträchtigungen. *Deutsche Optiker Zeitung*, 26-31.
- 27 Pickwell, D. (1984). *Binocular Vision Anomalies: Investigation and Treatment*. Butterworth-Heinemann.
- 28 Lie, I., Opheim, A. (1985). Long-term acceptance of prisms by heterophorics. *J. Am. Optom. Assoc.*, 56, 272-278.
- 29 Lie, I., Opheim, A. (1990). Long-term stability of prism correction of heterophorics and heterotropics; a 5 year follow-up. Part I: Heterophorics. *J. Am. Optom. Assoc.*, 61, 491-498.
- 30 Wick, B. (1991). Stability of retinal correspondence in normal binocular vision. *Optom. Vis. Sci.*, 68, 146-158.
- 31 Jaschinski, W. (2018). Individual objective versus subjective fixation disparity as a function of forced vergence. *PLoS ONE* 13(7), e0199958.
- 32 Jaschinski, W. (2017). Individual objective and subjective fixation disparity in near vision. *PLoS ONE* 12(1), e0170190.
- 33 Evans, B. J., Allen, P. and Wilkins, A. (2009). Vision & Reading Difficulties, Part 2: Optometric correlates of reading difficulties. *Optometry Today*, Feb 27.
- 34 Jaschinski, W. (2002). The proximity-fixation-disparity curve and the preferred viewing distance at a visual display as an indicator of near vision fatigue. *Optom. Vis. Sci.*, 79, 158-169.
- 35 London, R., Crelier, R. S. (2006). Fixation disparity analysis: sensory and motor approaches. *Optometry*, 77, 590-608.
- 36 Schroth, V. (2021). Binokulare Korrektion. MKH in Theorie und Praxis. DOZ - Verlag Optische Fachveröffentlichungen.
- 37 Cagnolati, W. (1993) Acceptance of different multifocal contact lenses depending on the binocular findings. *Optom. Vis. Sci.*, 70, 315-322.
- 38 Joss, J., Jainta, S. (2021). Do standard optometric measures predict binocular coordination during reading? *Journal of Eye Movement Research*, 13(6).
- 39 Joss, J., Jainta, S. (2022). Verändern MKH-Prismen den binokularen Vorteil? *Optom. Contact Lenses*, 2, 135-142.
- 40 Schroth, V., Joos, R. and Jaschinski, W. (2015). Effects of Prism Eyeglasses on Objective and Subjective Fixation Disparity. *PLoS ONE* 10(10), e0138871.
- 41 Schroth, V., Joos, R., Alshuth, E. & Jaschinski, W. (2019). Effects of aligning prisms on the objective and subjective fixation disparity in far distance. *Journal of Eye Movement Research* 12, 10.16910.
- 42 Schmid, L. J., von Handorff, C. und Jaschinski, W. (2018) Messungen der Augenbewegungen bei MKH-Kreuztest-Prismen, Teil 2: Messungen der Vergenzstellung mit und ohne Prisma. *DOZ Deutsche Optikerzeitung*, 73, 198-205.
- 43 Schroth, V. (2022). Update zur Fixationsdisparität. *Optom. Contact Lenses*, 2, 120-126.
- 44 Wikipedia (2022) Fixation disparity. https://en.wikipedia.org/wiki/Fixation_disparity. Referencing: 07. February 2022.
- 45 Mallett, R. J. F. (1974). The investigation of heterophoria at near and a new fixation disparity technique. *Optician*, 148, 547-551.
- 46 Erkelens, C. J., van Ee, R. (1997a). Capture of visual direction: an unexpected phenomenon in binocular vision. *Vision Res.*, 37, 1193-1196.
- 47 Erkelens, C. J., van Ee, R. (1997b). Capture of the visual direction of monocular objects by adjacent binocular objects. *Vision Res.*, 37, 1735-1745.
- 48 Jaschinski, W. (2018). Subjektive und objektive Messungen der Fixationsdisparität: Noniustest versus Eye-Tracker. *Zeitschrift für praktische Augenheilkunde*, 39, 339-346.
- 49 Harris, J. M. & Wilcox, L. M. (2009). The role of monocularly visible regions in depth and surface perception. *Vision Res.*, 49, 2666-2685.
- 50 Zeiner, K. M., Spitschan, M. & Harris, J. M. (2014). Perceptual integration across natural monocular regions. *Journal of Vision*, 14, 5.
- 51 Howard, I. P. (2012). *Perceiving in Depth: Volume 1: Basis Mechanisms*. (Oxford University Press, 2012). Oxford Scholarship.
- 52 Howard, I. P. (2012) *Perceiving in Depth: Volume 2 Stereoscopic vision*. (Oxford University Press, 2012). Oxford Scholarship.
- 53 Howard, I. P., Rogers, B. J. (2012). *Perceiving in Depth: Volume 3 Other Mechanisms of Depth Perception*. Oxford Scholarship.

Verändern MKH-Prismen den binokularen Vorteil beim Lesen?

Joëlle Joss¹, Stephanie Jainta²

¹ M.Sc., Institut für Optometrie, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) · ² Dr., SRH Hochschule in Nordrhein-Westfalen, Deutschland

Eingereicht 12. November 2021; angenommen 19. Dezember 2021

Received 12 November 2021; accepted 19 December 2021

Zusammenfassung

Zweck. Beim Lesen mit beiden Augen stellt sich ein binokularer Vorteil (kürzere Lese- und Fixationszeiten im Vergleich zu monokularem Lesen), welcher durch Prozesse der motorischen und sensorischen Fusion zustande kommt, ein. Der binokulare Vorteil beim Lesen ist zum Teil von der individuellen horizontalen Heterophorie abhängig und damit stellte sich die Frage, ob sich prismatische Korrekturen (bestimmt nach der MKH-Methode, zum Ausgleich einer Heterophorie) auf den binokularen Vorteil oder auf Parameter der binokularen Koordination beim Lesen auswirken.

Material und Methoden. Wir haben die binokularen Augenbewegungen von 54 Personen mit einer individuellen horizontalen Heterophorie beim Lesen vermessen (Eyelink II): für (1) monokular, (2) binokular, (3) binokular mit Disparität (entsprechend MKH-Prisma) und (4) binokular mit Disparität nach sechs Monaten präsentierte, deutschsprachige Sätze (insg. 120). In der sechsmonatigen Pause zwischen Messung (3) und (4) trugen 29 Personen Brillen mit prismatischen Korrekturen, während 25 Personen als Kontrollgruppe fungierten.

Ergebnisse. Unsere Daten zeigten einen klaren, signifikanten Vorteil für binokulares Lesen für alle Personen, ohne dass eine kurzfristige Präsentation einer individuellen Disparität (analog eines MKH-Prismas) daran etwas änderte. Erst nach einer Prismen-tragezeit von sechs Monaten zeigte sich zusätzlich ein tendenziell größerer binokularer Vorteil in der „Prismengruppe“ im Vergleich zur „Kontrollgruppe“. Parallel dazu nahm die Kopplung der Augen (Diskonjunktion) leicht zu und die objektive Fixationsdisparität nahm signifikant ab.

Fazit. Das Tragen einer individuellen prismatischen, horizontalen Korrektur (MKH) hatte für unsere Studienteilnehmer*innen einen Einfluss auf die binokulare Koordination beim Lesen und erhöhte gleichzeitig den binokularen Vorteil. Dieser eher mittel- bis langfristige Effekt von prismatischen Korrekturen ist neu und sollte in weiteren Studien vertieft untersucht werden.

Schlüsselwörter

binokularer Vorteil, horizontale Heterophorie, Binokularsehen, Lesen, binokulare Koordination

Do MCH prisms change the binocular advantage when reading?

Abstract

Purpose. Reading with both eyes comes with a binocular advantage (shorter total reading times and fixation durations in binocular compared to monocular reading), which results from binocular fusional processes. Binocular advantages in reading typically vary with the amount of individual, horizontal heterophoria and thus, we investigated whether prismatic lenses (measured with the MCH method and worn to compensate any heterophoria) have a short- or long-term effect on binocular advantages when reading.

Material and Methods. We measured the binocular eye movements (Eyelink II) of 54 participants with individual horizontal heterophoria when reading a total of 120 German-language sentences (1) monocularly, (2) binocularly, (3) binocularly with disparity (corresponding to an MCH prism), and (4) binocularly with disparity after 6 months. In the 6-month interval between measurements (3) and (4), 29 participants wore glasses with prismatic corrections, while 25 participants were considered the control group.

Results. Our data showed a clear, significant advantage for binocular reading on all participants. A short-term, individual disparity (analogous to an MCH prism) did not alter this result. An additional tendency towards a greater binocular advantage in the “prism group” compared to the “control group” was only observed after using a prismatic lens for 6 months. Additionally, saccade disconjugacy increased slightly and the objective fixation disparity decreased significantly.

Conclusion. Individual prismatic corrections (MCH) had an effect on some aspects of the binocular coordination during reading and increased the binocular advantage in our heterophoric participants after 6 months of wearing prismatic corrections. This delayed effect on fusion during reading is new and calls for further research.

Keywords

binocular advantage, horizontal heterophoria, binocular vision, reading, binocular coordination

Einleitung

Um mit beiden Augen gut und schnell (also effizient) lesen zu können, wird durch die visuelle Verarbeitung aus den Bildern beider Augen ein stabiler Seheindruck des Textes erzeugt und über die Blicksprünge (sogenannte Sakkaden) von Wort zu Wort hinweg konstant gehalten. Die dazu benötigten Fusionsmechanismen schaffen zusätzlich einen binokularen Vorteil: man liest mit beiden Augen (binokular) schneller als mit nur einem Auge (monokular).^{1,2,3} Die Ursprünge dieses Vorteils liegen in der sogenannten sensorischen Fusion, denn wenn mit beiden Augen gelesen wird, können durch den Abgleich der beiden Bilder feinere visuelle Eigenschaften detektiert und differenziert werden.⁴⁻⁹ Der binokulare Vorteil ist allerdings mehr als eine einfache Summation der beiden Bildinformationen: der Worthäufigkeitseffekt (das heißt kürzere Fixationszeiten für in einer Sprache häufig vorkommende Wörter) variiert mit dem Anteil der binokularen Präsentation des Textes – sieht eine Person den Text parafoveal binokular, so kann man einen Worthäufigkeitseffekt nachweisen, er fällt jedoch geringer aus im Vergleich zu einem vollständig binokularem Lesen und bei rein monokularem Lesen ist er dann nicht mehr zu beobachten.¹⁰

Grundsätzlich ist der binokulare Vorteil von verschiedenen Faktoren abhängig: einerseits von Umgebungsfaktoren, wie zum Beispiel dem Kontrast des gelesenen Textes, und

andererseits von individuellen Faktoren, wie zum Beispiel der individuellen horizontalen Heterophorie.¹¹ Betrachtet man den Textkontrast, so lässt sich sagen, dass das visuelle System für monokulares Lesen grundsätzlich einen höheren Kontrast oder eine stärkere Beleuchtung des Textes benötigt, um die gleiche Leseeffizienz zu erzeugen wie beim binokularen Lesen.⁴⁻⁶ Interessanterweise konnte gezeigt werden, dass der binokulare Vorteil aber größer je niedriger ein Textkontrast ist: bei hohem Kontrast findet man einen binokularen Vorteil von circa 10 % beim Lesen,^{2,3,10,-12} während man einen binokularen Vorteil von circa 25 % beobachtet hat, wenn der Textkontrast um 90 % vermindert wird; für letztere Bedingung sinkt natürlich auch für die binokulare Lesebedingung die Lesegeschwindigkeit; die relativen Unterschiede zwischen monokularem und binokularem Lesen werden aber deutlich größer.^{2,13,14}

Betrachtet man nun Aspekte der individuellen binokularen Koordination der Augen und ihren Einfluss auf den binokularen Vorteil, so findet man Veränderungen mit der individuellen Heterophorie.¹¹ Hierbei handelt es sich um die objektiv gemessene, individuelle horizontale Heterophorie, welche als Winkel zwischen den Sehachsen beider Augen gemessen wird, wenn ein Auge fixiert und das andere (abgedeckt oder verblindet) seine Ruhestellung einnimmt. Es wird allgemein zwischen Orthophorie, Esophorie (das heißt das zugedeckte Auge weicht nach nasal ab) und Exopho-

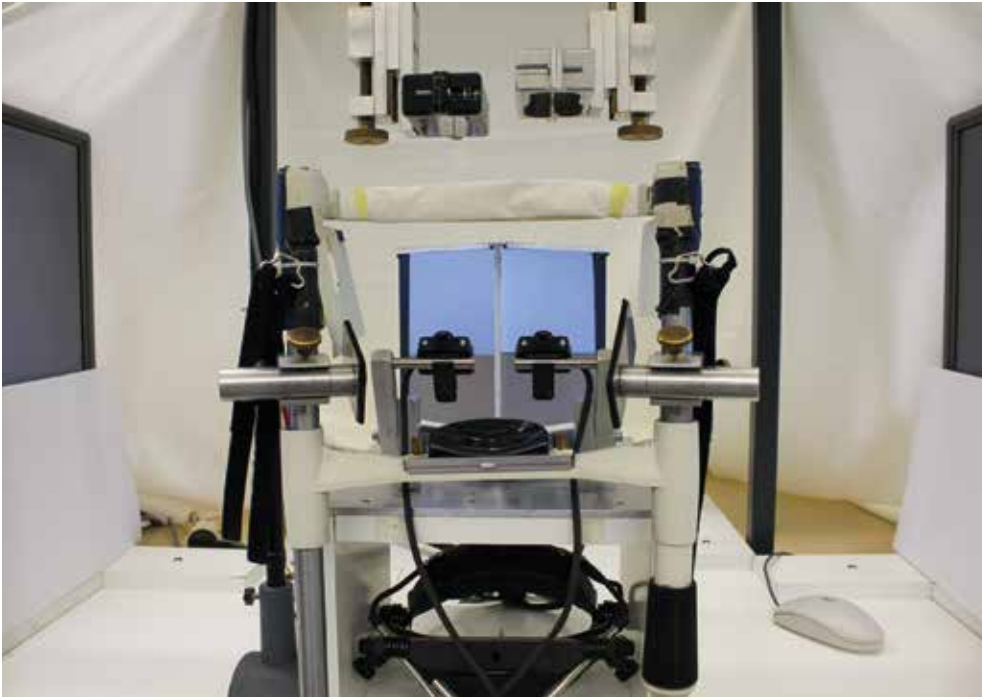


Bild 1: Abbildung des Messaufbaus. Die zwei Spiegel in der Mitte bilden die Texte für das rechte bzw. linke Auge separat ab. Unter den Spiegeln sieht man die Kameras des EyeLink II; diese wurden so eingestellt, dass sie möglichst nahe an den Augen der Studienteilnehmer*innen platziert waren.

rie (das heißt das zugedeckte Auge weicht nach temporal ab) unterschieden, und Beobachtungen der Heterophorie verändern sich durchaus mit der Sehaufgabe.¹⁵⁻¹⁷ In diesem Kontext konnten wir vor einiger Zeit zeigen, dass Personen mit einer größeren Heterophorie einen geringeren binokularen Vorteil aufwiesen.¹² Im Detail haben wir die Heterophorie mit drei Methoden bestimmt (Mess- und Korrektionsmethodik nach H.-J. Haase (MKH) auf 6 m, Maddox-Wing auf 30 cm und objektiv mit Eyetracker auf 60 cm) und gezeigt, dass der Zusammenhang zwischen einem binokularen Vorteil beim Lesen und der Größe einer Heterophorie am deutlichsten zu beobachten war, wenn die Heterophorie mit dem Maddox-Wing-Test bestimmt oder objektiv mit einem Eyetracker gemessen wurde; wurde die Heterophorie hingegen mit der MKH-Methode bestimmt, zeigte sich dieser Zusammenhang zwischen einem binokularen Vorteil und der individuellen Heterophorie überraschenderweise nicht.¹²

Nun stellt sich die Frage, warum eine MKH-Heterophorie kaum Bezüge zum binokularen Vorteil zeigte. Liest man die einschlägige Literatur, so findet man Berichte von Personen, bei welchen Symptome wie allgemeine Sehbeschwerden oder Beschwerden beim Lesen durch das Tragen einer prismatischen Korrektur vermindert wurden, wenn gleich diese Befunde in der Literatur kontrovers diskutiert werden.¹⁸⁻²¹ So konnten zum Beispiel auch Dysli, Vogel und Abegg²² keinen unmittelbaren Effekt von Prismen auf Vergenzänderungen beim Lesen finden: in dieser Studie waren alle Teilnehmer emmetrop und zeigten keine binokularen Auffälligkeiten, und es wurden keine potenziell langzeitigen Prismeneffekte erfasst. In Deutschland, Österreich und der Schweiz werden binokulare Sehbeschwerden und Heterophorien oft mit prismatischen Brillengläsern korrigiert²³, und damit ergeben sich im Sinne einer evidenz-basierten Arbeitsweise einige dringende Fragen für weiterführende Studien. Bevor

wir allerdings auf die Forschungsfragen der vorliegenden Studie eingehen, werden weitere Befunde zu Heterophorieeffekten kurz skizziert: So wurde vor einiger Zeit gezeigt, dass starke Exophorien mit einer größeren Diskonjunktion (das heißt stärkere Entkopplung beider Augen) während der Sakkaden verbunden sind¹¹ und eine objektiv gemessene Heterophorie sowohl mit der objektiven als auch mit der subjektiven Fixationsdisparität (FD) korreliert.^{24,25} Eine Veränderung der FD konnte bereits nach einigen Sekunden des Vorhaltens von individuellen oder unterschiedlich starken Prismen beobachtet werden²⁵⁻²⁷, und damit finden sich weitere Hinweise auf eine direkte Verbindung zwischen der individuellen Heterophorie und Aspekten der binokularen Koordination, wenn der Fusionskreis geschlossen ist. Wir haben zudem kürzlich untersucht, welche optometrischen Parameter (Heterophorie, Vergenz- und Akkommodationsflexibilität, AC/A, Nahpunkt und Symptome) die Varianz in binokularen Fusionsaspekten (Fixationsdisparität, Vergenzdrift, Diskonjunktion und Fixationsdauer) beim Lesen am besten erklären. So zeigten unterschiedliche Heterophorie-Werte eine signifikante Varianzaufklärung, wenn die Varianz der Fixationsdisparität beim Lesen vorhergesagt werden sollte: wurde die MKH-Heterophorie benutzt, konnten allerdings nur 12% der Varianz in der FD im Vergleich zu 24% bei der Verwendung des Maddox-Wing-Tests vorhergesagt werden; den höchsten Vorhersagewert mit 31% erreichte die objektiv gemessene Heterophorie. Zusätzlich konnten wir zeigen, dass der Nahpunkt und die Vergenzflexibilität ebenfalls zur Varianzaufklärung der FD beitragen. Weiter haben wir gezeigt, dass AC/A, Vergenzflexibilität und Sehbeschwerden Bezüge zum Vergenzdrift haben, die Vergenzflexibilität einen Bezug zur Diskonjunktion zeigt und Sehbeschwerden Bezüge zur durchschnittlichen Fixationsdauer beim Lesen zeigen.²⁸

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass vereinzelte Berichte einen Einfluss von prismatischen MKH-Korrekturen auf die binokulare Koordination zeigen^{25,28} – und auch der binokulare Vorteil beim Lesen mit optometrischen Kenngrößen in Verbindung gebracht werden konnte (siehe z. B. Jainta und Joss¹²). Bis heute wurde aber nicht untersucht, wie sich prismatische Korrekturen nach MKH-Bestimmungen bei Personen mit einer Heterophorie kurz- oder langfristig (einige Minuten beziehungsweise mehrere Monate des Tragens) auf den binokularen Vorteil beim Lesen auswirken. Diese Frage wurde daher in der vorliegenden Studie in einem Kontrollgruppen-Design untersucht.

Material und Methoden

Studienteilnehmer*innen

Insgesamt haben 54 Probanden (19 Männer, 35 Frauen) zwischen 25 und 31 Jahren (MW 26,1 Jahre, SD 4,7) an dieser Studie teilgenommen. Alle Probanden hatten einen monokular unkorrigierten Visus von 0,8 (oder mehr) auf 60 cm. Der (Un-)Covertest und der TNO-Stereotest (60" oder besser) zeigten keine Auffälligkeiten. Probanden mit vertikalen Heterophorien über 1 cm/m oder mit bestehender prismatischer Korrektur wurden von der Studie ausgeschlossen. Die individuelle Korrektur wurde zudem mittels Skiaskopie und subjektiver Refraktion überprüft, und wenn die gemessene Korrektur mehr als 0,5 dpt (sphärisches Äquivalent) von der bestehenden Fernkorrektur abwich oder die Differenz des korrigierten Visus zwischen beiden Augen mehr als eine Visusstufe betrug, wurden die Probanden ebenfalls von der Studie ausgeschlossen. Somit hatten alle Probanden eine gute Sehleistung und ein unauffälliges Binokularsehen.

Alle Studienteilnehmer*innen wurden schriftlich über die Ziele und die Durchführung der Studie informiert und haben eine Einverständniserklärung unterzeichnet. Die Studie wurde gemäß der Deklaration von Helsinki durchgeführt und von der Schweizerische Vereinigung der Forschungsethikkommissionen zugelassen (<https://www.swissethics.ch/>; Projekt-Nummer: 2017-01155).

Messung der Heterophorie

Für die vorliegende Studie wurden nur Probanden ausgewählt, welche eine absolute Heterophorie (MKH-Prismenwerte) zwischen 0,75 cm/m bis 4,50 cm/m in der Ferne aufwiesen. Die Heterophorie wurde dabei mit der Mess- und Korrekturmethode nach H.-J. Haase (MKH) auf einer Sehtfernung von 6 m, gemäß den „Richtlinien zur Anwendung der Mess- und Korrekturmethode nach H. J. Haase“, bestimmt (siehe www.ivbs.org für Details). Die MKH ist eine subjektive Methode zur Messung der Heterophorie in der Ferne. Die einzelnen Tests werden dabei beiden Augen angeboten, wobei durch die Trennung mittels positiver Polarisation einige Objekte nur vom rechten oder nur vom linken Auge gesehen werden. Prismen werden dann ansteigend

vor die Augen eingesetzt, bis die angebotenen Objekte zueinander zentriert sind. Das resultierende Prisma entspricht der Heterophorie in cm/m.²⁹

Die Leseaufgabe und das Studiendesign

Die Studienteilnehmer*innen lasen insgesamt 120 deutschsprachige Sätze (zufällig gewählt aus einem Satzpool: 8 bis 13 Wörter Satzlänge und damit zwischen 55 und 75 Zeichen lang (angelehnt an den Potsdam-Sentence-Corpus³⁰), die in den einzelnen Bedingungen in Blöcken à 5 Sätzen präsentiert wurden. Damit wurde jeder Satz nur einmal von jedem/r Studienteilnehmer*in gelesen. Die Sätze wurden in schwarzer, Courier New Schrift (12 Punkt) auf einem weißen Hintergrund mit einer Leuchtdichte von 24 cd/m² und mit einer Umgebungsbeleuchtungsstärke von circa 127 Lux gezeigt. Der Sehabstand zum Text betrug immer 60 cm. Vor jedem Block wurde eine monokulare Kalibrierung durchgeführt und zwischen den Blöcken gab es eine Pause, damit die Probanden ihre Augen für ein paar Minuten entspannen konnten. In einem Drittel der Versuche beantworteten die Studienteilnehmer*innen eine Frage zum Inhalt des gerade gelesenen Satz (Antwort mit Maus-Klick), um so das Textverständnis zu kontrollieren. Lag die Quote bei mehr als 10 % falschen Antworten, wurden die Daten der entsprechenden Person von der Datenanalyse ausgeschlossen. Nur so konnte garantiert werden, dass die Studienteilnehmer*innen die Leseaufgabe für alle Bedingungen auf gleichbleibend gutem Niveau absolviert haben.

Alle Studienteilnehmer*innen wurden zufällig einer Prismen- oder Kontrollgruppe zugeteilt. Die Prismengruppe (n = 29) erhielt im Laufe der Studie eine Brille mit einer prismatischen Korrektur (zusätzlich zu der individuellen Fernkorrektur), die für 6 Monaten der Studienlaufzeit getragen wurde. Die Kontrollgruppe (n = 25) erhielt ebenfalls eine Brille mit ihrer bestehenden Fernkorrektur, jedoch ohne die prismatische Korrektur. Die prismatische Korrektur entsprach dabei den individuellen Werten, die aus der MKH-Messung ermittelt wurden. In der Kontrollgruppe lag die mittlere, absolute Heterophorie (unabhängig von der Richtung) entsprechend bei 2,1 cm/m und in der Prismengruppe bei 2,5 cm/m.

Im Verlauf der Studie wurden für jede Person vier Messungen der beidäugigen Augenbewegungen beim Lesen durchgeführt: (1) während monokularem Lesen, (2) während binokularem Lesen, (3) während binokularem Lesen mit Disparität, das heißt mit einem Textversatz, der einer MKH-Prismenkorrektur entsprach, und (4) während erneutem Lesen mit Disparität (entsprechend MKH-Prisma) nach 6-monatigem Tragen der prismatischen Korrektur. Die Studienteilnehmer*innen wurden weder speziell auf die zusätzliche Disparität in (3) und (4) hingewiesen, noch konnten sie diese direkt im Versuchsaufbau erkennen (siehe **Bild 1**): das für die Textdarbietung genutzte Haploskop erlaubte eine individuelle Anpassung der Textpräsentationen an die gemessenen MKH-Prismenwerte und zudem eine störungsfreie Darbietung des monokularen Textes (siehe Jaschinski,

Jainta und Hoormann³¹ für Details). In einem solchen Spiegelstereoskop^{5,6} werden zwei Halbspiegel benutzt (senkrecht zueinander positioniert), um eine Bildtrennung für die beiden Augen zu ermöglichen.

Erfassung und Auswertung der Augenbewegungen

Alle horizontalen Augenbewegungen während des Lesens wurden objektiv mit dem video-basierten EyeLink II (mehr Informationen dazu von SR Research Ltd, Osgoode ON, Kanada; Abtastfrequenz 500 Hz) und für beide Augen getrennt aufgezeichnet. Eine Kalibrierung für den EyeLink II erfolgte immer monokular, wobei die Probanden ein Kreuz fixierten, welches für 1000 ms an einer von drei horizontalen Positionen (Abstand: 8 Grad) erschien. Die monokulare Darbietung (rechtes oder linkes Auge) wurde dabei zufällig gewechselt. Weitere Details zur Kalibrierung und zum Ablauf der Augenbewegungsmessungen sind in mehreren früheren Studien beschreiben und können dort nachgelesen werden.^{11,32-34}

Aus allen Augenbewegungsdaten wurden zuerst die Sakkaden und Fixationen über das Versionssignal [(linkes Auge + rechtes Auge) / 2] extrahiert und für jede Fixation die Fixationsdauer berechnet. Als nächstes wurde das Vergenzsignal, das heißt die gegengerichteten Augenbewegungen [(linkes Auge - rechtes Auge) berechnet und folgende Kenngrößen bestimmt:^{12,32,35,36} die Diskonjunktion der Augen während einer Sakkade (in Bogenminuten); der Vergenzdrift (in Bogenminuten) als Differenz zwischen der Vergenz am Anfang und am Ende einer jeden Fixation, sowie die FD am Ende jeder Fixation (als Vergenzfehler, das heißt Abweichung der Sehschnittstelle von der Textebene auf 60 cm; in Bogenminuten). Da wir wissen, dass die objektive FD beim Lesen leicht im Eso-Bereich liegt,^{1,34,37} wurde zuerst die mittlere individuelle FD für jede Person über alle binokularen Lesebedingungen hinweg berechnet (Bedingungen: binokulares Lesen, binokulares Lesen mit Disparität und binokulares Lesen mit Disparität nach 6 Monaten). Diese mittlere individuelle FD wurde von allen FD-Messungen der Person abgezogen. Dann wurde der Betrag der FD für jede Fixation berechnet und der Betrag der mittleren FD anschließend wieder addiert. So konnte für die Auswertung der Daten direkt über alle Personen hinweg verglichen werden – unabhängig von der individuellen Lage der FD (Eso oder Exo) und ohne, dass individuelle Veränderungen der FD in Exo-Richtung (aus einer zumeist Eso-Startposition) die mittleren Effekte fälschlicherweise zu klein werden ließen. Zudem konnte so die absolute Größe der FD in den Daten beibehalten werden, ohne die relativen Veränderungen unter Disparität zu beeinflussen.

Insgesamt wurden die Daten von 54 Probanden analysiert und damit rund 37.200 Fixationen beim Lesen ausgewertet. In den zwei Gruppen (Kontroll- versus Prismengruppe) wurden vier verschiedene Lesebedingungen (monokulares Lesen, binokulares Lesen ohne und binokulares Lesen mit Disparität sowie binokulares Lesen mit Disparität nach einer 6-monatigen Prismen-tragephase) miteinander verglichen. Die Gruppenzugehörigkeit und Lesebedingungen gingen

als feste Faktoren in ein gemischtes lineares Modell^{38,39} in $R^{39,40}$ ein, während die Sätze und Studienteilnehmer*innen als zufällige Faktoren in das Modell aufgenommen wurden. Es werden im Folgenden jeweils die geschätzten festen Effekte (b) mit Standardfehler (SE), t-Wert und dem dazugehörigen p-Wert berichtet.

Ergebnisse

Betrachtet man den binokularen Vorteil beim Lesen, zeigte sich, dass die mittlere Fixationsdauer von rund 260 ms (SD = 117 ms) fürs monokulare Lesen um rund 10 ms abnahm, wenn die Teilnehmer binokular lasen ($b = -9,29$; $SE = 2,56$; $t = -3,63$; $p < 0,01$; siehe **Bild 2**). Eine ähnlich signifikante Veränderung konnte für das Lesen mit Disparität beobachtet werden ($b = -7,31$; $SE = 2,61$; $t = -2,79$; $p < 0,01$). Zusätzlich zeigte sich eine Tendenz, dass sich die Fixationsdauer zusätzlich für die Prismengruppe verkürzte, sich also der binokulare Vorteil für die Prismengruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe nach dem Tragen der Prismengläser nach 6 Monaten weiter vergrößerte (Interaktionseffekt: $b = -5,63$; $SE = 3,804$; $t = -1,60$; $p = 0,11$). Zusätzlich berechnete Kontraste (Post-hoc-Vergleiche) zeigten, dass dieser Unterschied zwischen Kontroll- und Prismengruppe für die Lesebedingung unter Disparität nach sechs Monaten signifikant ausfiel ($t = 2,57$; $p = 0,01$). Auch zeigte der Vergleich zwischen binokularem Lesen und Lesen unter Disparität nach 6 Monaten für die Prismengruppe eine Tendenz zu leicht verkürzten Fixationszeiten unter Disparität ($t = -1,76$; $p = 0,08$).

Betrachtet man nun die Veränderungen in der motorischen Fusion über die Bedingungen des binokularen Lesens mit und ohne Disparität, so zeigten sich interessante Effekte

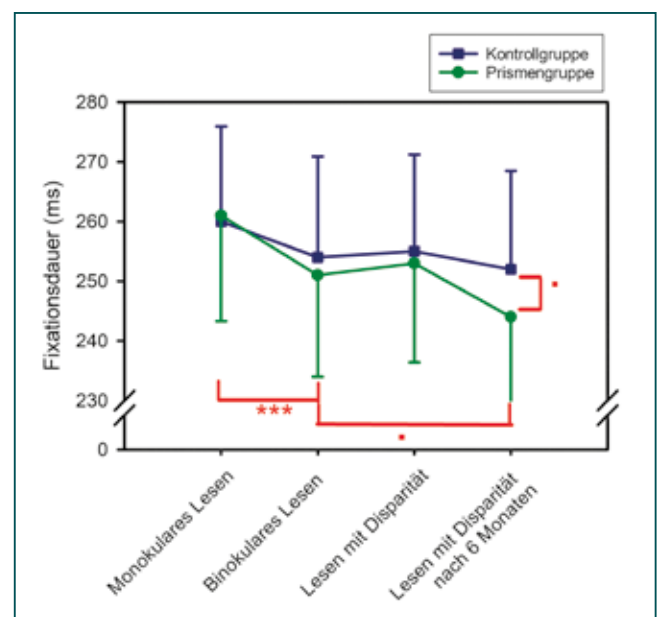


Bild 2: Mittlere Fixationsdauer (\pm Standardfehler) in Abhängigkeit von den 4 Lesebedingungen für die Kontroll- und Prismengruppe. Die signifikanten Unterschiede sind durch zusätzliche rote Klammern markiert. (Anmerkung: *** $\leq 0,001$; ** $\leq 0,01$; * $\leq 0,05$; $\cdot \leq 0,1$)

(siehe Bild 3): Der Vergenzdrift während der Fixationen blieb über alle Lesebedingungen hinweg unverändert, während die Diskonjunktion in der Sakkade nur in der Prismengruppe für die Lesebedingung mit Disparität und nach sechs Monaten signifikant abnahm (Interaktionseffekt: $b = -0,53$; $SE = 0,21$; $t = -2,53$; $p = 0,01$). Gleiches galt für die Fixationsdisparität: während die Kontrollgruppe keinen Effekt beim Lesen mit

Disparität nach sechs Monaten zeigte, verringerte sich die Fixationsdisparität der Prismengruppe signifikant um circa 8 Bogenminuten (Interaktionseffekt: $b = -8,04$; $SE = 0,43$; $t = -18,68$; $p < 0,01$). Ein zusätzlich berechneter Kontrast zeigte, dass auch diese geringere Fixationsdisparität beim Lesen mit Disparität nach sechs Monaten signifikant von der Fixationsdisparität beim binokularen Lesen abwich, wenn nur die Prismengruppe betrachtet wurde ($t = -12,01$; $p < 0,01$).

Diskussion

Zum einen konnten wir in der vorliegenden Studie einen allgemeinen binokularen Vorteil von kürzeren Fixationsdauern beim binokularen Lesen im Vergleich zu monokularem Lesen ermitteln.^{1,2,10-12} Zum anderen konnten wir zeigen, dass eine sechsmonatige Prismen-tragephase den binokularen Vorteil weiterhin tendenziell erhöht, wenn Studienteilnehmer eine prismatische Korrektur im Vergleich zu Teilnehmern ohne prismatische Korrektur trugen. Dies deutet auf einen Langzeiteffekt der Prismen hin: das binokulare System der Prismenträger hat sich während der sechs Monaten soweit an die veränderte Sehsituation angepasst, dass es beim Lesen mit den Prismen tendenziell effizienter arbeitet als zuvor.⁴¹ Ein solcher Effekt passt zu Beobachtungen, dass Prismen zu einer Verminderung der FD führen.^{18,19,25} Einen kurzzeitigen Effekt der Prismen (nach circa 5 Minuten) konnten wir nicht beobachten: ein Leseblock mit Disparität vor der Tragephase zeigte keinen Unterschied zwischen der Prismen- und Kontrollgruppe. Diese Beobachtung deckt sich mit jener von Dysli, Vogel²², wohingegen andere Studien, bereits nach kurzzeitigem Vorhalten von Prismen einen Effekt in der binokularen Koordination feststellten.^{25,26} In den letztgenannten Studien wurde allerdings nicht während des Lesens beobachtet, wie sich die binokulare Koordination unter Prismen verändert, sondern nur für eine einfache Fixationsaufgabe. Dass ein kurzfristiger Effekt in der vorliegenden Studie nicht beobachtet werden konnte, könnte verschiedene Gründe haben: zum einen wurden die Prismen mit der MKH-Methode bestimmt, und es zeigten sich, wie oben erwähnt, nur geringe Korrelationen zum binokularen Vorteil beim Lesen und optometrischen Parametern (Vergenz- und Akkommodationsflexibilität, AC/A, NPK, Sehbeschwerden).^{12,28} Zum anderen konnten noch keine kurzfristigen Effekte für eine wirkliche Leseaufgabe gezeigt werden, und es ist möglich, dass eine so hochautomatisierte Aufgabe sehr resistent gegenüber kurzfristigen Veränderungen in zum Beispiel der Bildqualität oder automatisiert ablaufenden, frühen Verarbeitungsprozessen ist.⁴²

Bei der Betrachtung der motorischen Fusion zeigte sich, dass die Kopplung der Augen während der Blicksprünge beim Lesen mit Disparität tendenziell etwas besser ist (das heißt die Diskonjunktion nimmt in beiden Gruppen leicht ab). Wie schon früher von Jainta und Jaschinski¹¹ publiziert, ist die Diskonjunktion beim binokularen Lesen größer, je größer die Heterophorie ist; somit kann unsere Beobachtung auf eine tendenzielle Verbesserung der Kopplung der Augen durch eine prismatische Korrektur hindeuten. Die Diskonjunktion nimmt zudem bei der Prismengruppe über die Dauer

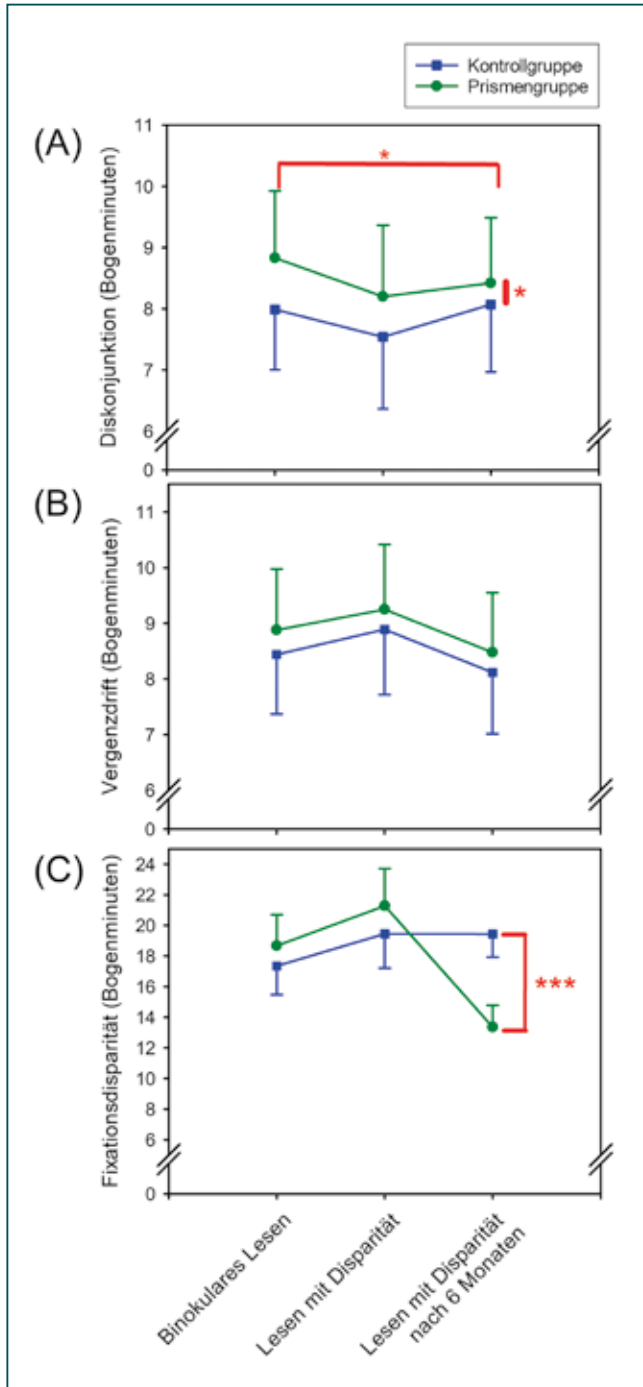


Bild 3: Darstellung der motorischen Parameter (Mittelwerte \pm Standardfehler): (A) Diskonjunktion, (B) Vergenzdrift und (C) Fixationsdisparität in Abhängigkeit von den drei binokularen Lesebedingungen für die Kontroll- und Prismengruppe. Statistisch signifikante Unterschiede sind durch rote Klammern markiert. (Anmerkung: $*** \leq 0,001$; $** \leq 0,01$; $* \leq 0,05$; $\cdot \leq 0,1$)

der Studie tendenziell ab und bei der Kontrollgruppe tendenziell zu. Es handelt sich hierbei um kleine Effekte, aber es scheint, als ob eine prismatische Korrektur für unsere Teilnehmer*innen langfristig einen positiven Effekt auf die Kopplung der Augen hatte. An dieser Stelle ist zu vermerken, dass es wenig Literatur zur Wirkung von statischen Prismen auf die Diskonjunktivität gibt. Aus einer Reihe von Studien zur Wirkung eines Vergenztrainings, wissen wir aber, dass die Diskonjunktivität positiv auf individuelle Trainings reagiert.⁴³ Interessanterweise bleibt der Vergenzdrift während der Fixationen durch die Disparitätsbedingungen unverändert, obwohl es Hinweise gibt, dass der Drift auf die fusionierbaren Anteile in einer Sehaufgabe reagiert (von monokular bis vollständig binokular).^{11,44}

Die spannendste Veränderung in der motorischen Fusion war in unseren Daten sicherlich in der Fixationsdisparität zu finden: Die Fixationsdisparität nahm nur für die Prismengruppe und nur nach sechsmonatiger Tragephase ab. Frühere Studien zeigten bereits, dass die FD beim Lesen auf verschiedenste optometrische Veränderungen reagiert: zum Beispiel „auf größere oder kleinere Heterophorien“, „reduzierte oder normale Vergenzflexibilität“, „weiter entfernte Nahpunkte“ oder lediglich „veränderte Fixationspositionen im Satz“ – das heißt also auf unterschiedlich stark gedrehte Augenpaare.^{28,33,35,45} Für MKH-Prismen konnte außerdem in neueren Studien gezeigt werden, dass sich die objektive FD verändert, wenn Prismen vorgehalten werden – also auch hier reagiert die motorische Fusion.^{25,26}

Fasst man unsere vorliegenden Beobachtungen zusammen, lässt sich festhalten, dass beim Lesen sowohl der binokulare Vorteil als auch die motorische Fusion nach einer Prismen-tragephase von sechs Monaten und nur in der Prismengruppe verändert waren: der Vergenzfehler (FD) nahm klar ab und der binokulare Vorteil tendenziell zu. In der Kontrollgruppe waren keine größeren Veränderungen zu beobachten. Die klare Veränderung der motorischen Fusion deckt sich mit neueren Befunden in Verbindung mit Nicht-Leseaufgaben und unterstützt damit sowohl eine physiologische wie aufgabenunspezifische Wirkung der Prismen auf Aspekte der binokularen Koordination.^{22,25,27,28} Unsere Beobachtungen zu späteren Wirkungen der prismatischen Korrekturen auf den binokularen Vorteil beim Lesen sind dagegen neu und spannend. Bevor diese aber intensiv diskutiert oder für die Anwendung interpretiert werden, sind sicherlich Replikationen dieser ersten, tendenziellen Befunde nötig.

Fazit

Das Tragen prismatischer Brillengläser (nach der MKH-Methode) zur Korrektur der individuellen Heterophorie (gemessen auf 6 m), zeigte Verbesserungen der binokularen Koordination beim Lesen (in 60 cm), sowie eine leichte Erhöhung des binokularen Vorteils: der Vergenzfehler unserer Prismenträger war deutlich geringer als vor der Tragephase und die Fixationsdauer etwas kürzer im Vergleich zur Kontrollgruppe. Diese Beobachtungen sind neu und deuten auf einen eher langfristigen Effekt von prismatischen Korrekturen hin.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen haben keinen Interessenkonflikt in Bezug auf die im Artikel genannten Methoden und Geräte. Diese Studie wurde vom Schweizerischen Nationalfond (SNF; Förderungs-Nr. 320030_172965) finanziert und von der Internationalen Vereinigung für Binokulares Sehen (IVBS) finanziell für die Anschaffung der Brillenfassungen und -gläser unterstützt.

Korrespondierende Autorin



Joëlle Joss
M.Sc.

E-Mail:
joelle.joss@fhnw.ch

Literatur

- Heller, D., Radach, R. (1999). Eye Movements in Reading. In: Current Oculomotor Research, (eds. Becker W., Deubel H., Mergner T.), Springer, Boston, MA, pp. 341.
- Johansson, J., Pansell, T., Ygge, J., Seimyr, G. Ö. (2014). The effect of contrast on monocular versus binocular reading performance. *J. Vis.*, 14, 8-8.
- Sheedy, J. E., Bailey, I. L., Buri, M., Bass, E. (1986). Binocular vs. monocular task performance. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 63, 839-846.
- Blake, R., Wilson, H. (2011). Binocular vision. *Vision Res.*, 51, 754-770.
- Howard, I. P. (2012). Perceiving in depth, Vol. 1: Basic mechanisms: Oxford Scholarship Online.
- Howard, I. P., Rogers, B. J. (2002). Seeing in depth; Depth perception, University of Toronto Press, Toronto, Canada.
- Schor, C. M., Ciuffreda, K. J. (1983). Vergence eye movements: basic and clinical aspects, Butterworth-Heinemann.
- Steinman, S. B., Steinman, B. A., Garzia, R. P. (2000). Foundations of binocular vision: a clinical perspective, McGraw Hill Professional.
- Leigh, R. J., Zee, D. S. (2006). The neurology of eye movements. (4th ed, eds Gilman, S.), Oxford : Oxford University Press, Oxford, pp. 763.
- Jainta, S., Blythe, H. I., Liversedge, S. P. (2014). Binocular advantages in reading. *Curr. Biol.*, 24, 526-530.
- Jainta, S., Jaschinski, W. (2012). Individual differences in binocular coordination are uncovered by directly comparing monocular and binocular reading conditions. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 53, 5762-5769.
- Jainta, S., Joss, J. (2019). Binocular advantages in reading revisited: attenuating effects of individual horizontal heterophoria. *J. Eye Mov. Res.*, 12,10.
- Legge, G. E., Parish, D. H., Luebker, A., Wurm, L. H. (1990). Psychophysics of reading. XI. Comparing color contrast and luminance contrast. *J. Opt. Soc. Am. A.*, 7, 2002-2010.
- Legge, G. E., Rubin, G. S., Luebker, A. (1987). Psychophysics of reading – V. The role of contrast in normal vision. *Vision Res.*, 27, 1165-1177.
- Brautaset, R., Jennings, J. (2005). Horizontal and vertical prism adaptation are different mechanisms. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 25, 215-218.
- Birnbaum, M. H. (1985). An esophoric shift associated with sustained fixation. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, 62, 732-735.
- Schor, C. M., Maxwell, J. S., McCandless, J., Graf, E. (2002). Adaptive control of vergence in humans. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 956, 297-305.
- Lie, I., Opeheim, A. (1990). Long-term stability of prism correction of heterophorias and heterotropics; a 5 year follow-up. Part I: Heterophorias. *J. Am. Optom. Assoc.*, 61, 491-498.
- Lie, I., Opeheim, A. (1985). Long-term acceptance of prisms by heterophorias. *J. Am. Optom. Assoc.*, 272-278.

- 20 Simonsz, H., Van Els, J., Ruijter, J., Bakker, D., Spekreijse, H. (2001). Preliminary report: prescription of prism-glasses by the Measurement and Correction Method of H.-J. Haase or by conventional orthoptic examination: a multicenter, randomized, double-blind, cross-over study. *Strabismus*, 9, 17-27.
- 21 Teitelbaum, B., Pang, Y., Krall, J. (2009). Effectiveness of Base in Prism for Presbyopes with Convergence-Insufficiency. *Optom. Vis. Sci.*, 86, 153-156.
- 22 Dysli, M., Vogel, N., Abegg, M. (2014). Reading performance is not affected by a prism induced increase of horizontal and vertical vergence demand. *Front. Hum. Neurosci.*, 8, 431.
- 23 Haase, H.-J. (1995). Zur Fixationsdisparation: eine erweiterte Theorie und praktische Folgerungen; Nachdruck der gleichnamigen Zeitschriftenserie von 1980-1984; Mit einem Nachtr. Stereo-Sehgleichgewicht [ua]; Hans-Joachim Haase. DOZ Verlag, Heidelberg.
- 24 Jaschinski, W. (2017). Individual Objective and Subjective Fixation Disparity in Near Vision. *Plos One*, 12, 25.
- 25 Schroth, V., Joos, R., Alshuth, E., Jaschinski, W. (2019). Short-term effects of aligning prisms on the objective and subjective fixation disparity in far distance. *J. Eye Mov. Res.*, 12, 10.16910.
- 26 Schmid, L., von Handorff, C., Jaschinski, W. (2018). Messung der Augenbewegungen bei MKH-Kreuztest-Prismen. Teil 2 Messung der Vergenzstellung mit und ohne Prisma. *DOZ*, 73, 198-205.
- 27 Jaschinski, W. (2018). Individual objective versus subjective fixation disparity as a function of forced vergence. *PloS One*, 13, e0199958.
- 28 Joss, J., Jainta, S. (2021). Do standard optometric measures predict binocular coordination during reading? *J. Eye Mov. Res.*, 13, 10.16910.
- 29 Schroth, V. (2021). Binokulare Korrektur: MKH in Theorie und Praxis. (3 ed.), DOZ Verlag, Heidelberg.
- 30 Kliegl, R., Nuthmann, A., Engbert, R. (2006). Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations. *J. Exp. Psychol.*, 135, 12-35.
- 31 Jaschinski, W., Jainta, S., Hoormann, J. (2007). Comparison of shutter glasses and mirror stereoscope for measuring dynamic and static vergence. *J. Eye Mov. Res.*, 1, 2.
- 32 Jainta, S., Dehnert, A., Heinrich, S. P., Jaschinski, W. (2011). Binocular Coordination during Reading of Blurred and Nonblurred Text. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 52, 9416-9424.
- 33 Jainta, S., Hoormann, J., Kloke, W. B., Jaschinski, W. (2010). Binocularity during reading fixations: Properties of the minimum fixation disparity. *Vision Res.*, 50, 1775-1785.
- 34 Jainta, S., Jaschinski, W. (2010). „Trait“ and „state“ aspects of fixation disparity during reading. *J. Eye Mov. Res.*, 3, 1-13.
- 35 Nuthmann, A., Kliegl, R. (2009). An examination of binocular reading fixations based on sentence corpus data. *J. Vis.*, 9, 31, 1-28.
- 36 Liversedge, S. P., Rayner, K., White, S. J., Findlay, J. M., McSorley, E. (2006). Binocular coordination of the eyes during reading. *Curr. Biol.*, 16, 1726-1729.
- 37 Liversedge, S. P., White, S. J., Findlay, J. M., Rayner, K. (2006). Binocular coordination of eye movements during reading. *Vision Res.*, 46, 2363-2374.
- 38 Pinheiro, J., Bates, D. (2006). Mixed-effects models in S and S-PLUS, Springer Science & Business Media.
- 39 Venables, W., Smith, D. (2003). An introduction to R, Version 1.0. The R development Core team.
- 40 West, B. T., Welch, K. B., Galecki, A. T. (2014). Linear mixed models: a practical guide using statistical software, Chapman and Hall/CRC.
- 41 Schroth, V., Joos, R., Jaschinski, W. (2015). Effects of prism eyeglasses on objective and subjective fixation disparity. *PloS one*, 10, e0138871.
- 42 Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychol. Bull.*, 124, 372.
- 43 Daniel, F., Morize, A., Brémond-Gignac, D., Kapoula, Z. (2016). Benefits from vergence rehabilitation: evidence for improvement of reading saccades and fixations. *Front. Integr. Neurosci.*, 10, 33.
- 44 Nikolova, M., Jainta, S., Blythe, H. I., Liversedge, S. P. (2018). Binocular advantages for parafoveal processing in reading. *Vision Res.*, 145, 56-63.
- 45 Poffa, R., Joos, R. (2019). The influence of vergence facility on binocular eye movements during reading. *J. Eye Mov. Res.*, 12, 10.16910.

DOZ
VERLAG

„Eine erfrischende Erfahrung, alles zur MKH so übersichtlich und gut verständlich zu lesen.“

Jules van Els, NL-Heemskerk, Optometrist, Referent und Seminarleiter zur MKH

Binokulare Korrektur MKH in Theorie und Praxis

von Volkhard Schroth

Mit dieser Neuauflage ist es Volkhard Schroth gelungen, den aktuellen Wissensstand zu Theorie und Praxis der „Mess- und Korrekturmethode nach H.-J. Haase“ (MKH) darzustellen.

Dabei hat er Theorie und Praxis geschickt getrennt. So werden Infoblöcke für den schnellen Einstieg verwendet. Schwierige Korrekturfälle oder hohe Werte werden separat behandelt. Im Sonderteil Kinderoptometrie geht es um die Vorgehensweise bei Schulkindern mit Lese-Rechtschreibproblemen. Schroth befürwortet die Anwendung der MKH – aus eigener Erfahrung weiß er, dass sie oft zu hilfreichen Korrekturen führt.

Gleichzeitig werden Kritik und Fragen angesprochen. Hierfür ist im Theorieteil erstmals eine evidenzbasierte Bewertung der MKH mit zahlreichen Literaturhinweisen zu finden.

Volkhard Schroth

Binokulare Korrektur MKH in Theorie und Praxis

3. Auflage



DOZ
VERLAG

3. vollst. überarb. Auflage 2021
244 Seiten; 69,90 €