Ophthalmologie 2014 · 111:1057–1064
 DOI 10.1007/s00347-014-3064-6
 Online publiziert: 22. November 2014
 © The Author(s) 2014. This article is published
 with open access at link.springer.com

H.-J. Grein^{1,2} · O. Schmidt² · A. Ritsche²

¹ Fachhochschule Lübeck

² Fielmann Akademie Schloss Plön

Zusatzmaterial online

Dieser Beitrag enthält zusätzlich eine englische Fassung.
 Dieses Supplemental finden Sie unter:
dx.doi.org/10.1007/s00347-014-3064-6.

Zur Reproduzierbarkeit von Refraktionsbestimmungen

Hintergrund

Die Messsicherheit von Refraktionsbestimmungen wird in der Fachwelt regelmäßig diskutiert. In gerichtlichen Auseinandersetzungen kann es darum gehen, unter welchen Umständen das Refraktionsergebnis eines bestimmten Probanden als „falsch“ eingestuft werden kann und wann der Refraktionsist im Falle einer Reklamation regresspflichtig ist. In Fernsehen und Presse werden regelmäßig Qualitätsvergleiche von augenoptischen Dienstleistungen durchgeführt (z. B. Marktcheck, Stiftung Warentest). Hierbei gehen die Refraktionsergebnisse in die Bewertung ein. Unklar bleibt meistens, wie der Referenzwert ermittelt wurde und welche Streubreiten zugelassen werden. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, einen genaueren Blick darauf zu werfen, wie groß die Schwankungen objektiver und subjektiver Refraktionsbestimmungen bei gesunden Augen sind und woher sie kommen können.

Grundsätzliches zur Refraktionsbestimmung

Die Refraktionsbestimmung ist eine Messung mit dem Ziel, die Fernpunktrefraktion eines Auges bzw. eines Augenpaares so genau wie möglich zu bestimmen.

Die heute wohl am häufigsten verwendete Strategie zur Ermittlung der Refraktion besteht darin, zunächst eine objektive Messung mit einem Autorefraktometer durchzuführen und die so gewonne-

nen Werte in einer subjektiven Refraktionsbestimmung abzugleichen.

Faktoren, die das Refraktionsergebnis beeinflussen können

Das Ergebnis der Refraktionsbestimmung ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu gehören neben den systematischen und statistischen Fehlerquellen des Messverfahrens auch Eigenschaften von Prüfer und Proband.

Beurteilung des Bildes

Für einen stringenten Ablauf der Refraktionsprozedur sind eine gewisse Urteilsfähigkeit und Entscheidungsfreudigkeit des Probanden erforderlich. Zu einem Teil hängt dies von der Persönlichkeitsstruktur und eventuell auch von aktuellen Stresssituationen ab. Andererseits können sich Schwankungen in der optischen Qualität des Netzhautbildes z. B. durch Sica-Symptomatik mit instabilem Tränenfilm oder Mouches volantes sehr störend auswirken und zu Fehlbeurteilungen des Probanden führen, was wiederum das Refraktionsergebnis verändern kann.

Stufung der Messgläser

Eine systematische Fehlerquelle bei der Reproduzierbarkeit der subjektiven Refraktionsbestimmung liegt in der üblichen $\pm 0,25$ -dpt-Stufung der Messgläser. Die Refraktion eines Auges kann jeden beliebigen Wert annehmen. Da im Regel-

fall nur eine einzelne subjektive Refraktionsbestimmung durchgeführt wird, ergibt sich die Grenze der Messsicherheit von $\pm 0,125$ dpt allein aus der Stufung der Refraktionsmessgläser. Ein niedriger Visus erfordert eine gröbere Stufung, was zu entsprechend höheren Messunsicherheiten führt.

Fragen des Prüfers und Antworten des Probanden

Das Ergebnis einer Refraktionsbestimmung hängt von der Fragetechnik des Prüfers, den Antworten des Probanden und der Interpretation der Antworten durch den Prüfer ab. Eine korrekte Fragetechnik des Prüfers vorausgesetzt, haben das Beobachtungsvermögen und die Aufmerksamkeit des Probanden einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis der Refraktionsbestimmung. Nach Borish und Benjamin benötigt ein Proband zwischen 0,12 und 1,00 dpt Unterschied in der Glasstärke, um einen Unterschied in der Deutlichkeit des Bildes ausmachen zu können ([2], zitiert in [11]). Besonders beim Feinabgleich der Zylinderstärke und beim Achsabgleich spielt das eine erhebliche Rolle [6].

Physiologische Schwankungen der Akkommodation

Die Refraktion eines Auges unterliegt physiologischen Fluktuationen der Akkommodation. Die Akkommodation pendelt abhängig von der Objektentfernung mit einer Frequenz von 1–5 Hz und einer Am-

plitude von etwa $\pm 0,1$ bis $\pm 0,25$ dpt um die optimale Einstellung herum [4, 5, 8]. Bei einer subjektiven Refraktionsbestimmung hat der Proband in jeder Situation ausreichend Zeit zur Beurteilung der Sehzeichen, also sollte der Einfluss der Akkommodationsfluktuation gering sein. Darüber hinaus können Akkommodations spasmen insbesondere bei jungen Hyperopen zu schwankenden Ergebnissen führen, wenn ohne Zykloplegie refraktiert wird.

Pupillengröße

Die Pupillengröße des Auges ist für 2 Effekte verantwortlich, die sich auf die Reproduzierbarkeit einer Refraktionsbestimmung niederschlagen können.

Erstens beeinflusst der Pupillendurchmesser die geometrische Schärfentiefe des Auges. Je kleiner die Pupillengröße ist, desto größer ist die Schärfentiefe und desto schlechter lassen sich 2 ähnliche Seheindrücke voneinander unterscheiden. Der zweite durch die Pupille verursachte Effekt ist die Beugung des Lichts. Sie führt dazu, dass jeder auf der Netzhaut abgebildete Punkt als Airy-Scheibchen erscheint, also eine Ausdehnung hat. Das schlägt sich als Unschärfe nieder.

Beide Effekte dürften zu keinen signifikanten Variabilitäten der individuellen Reproduzierbarkeit der Refraktion führen, weil die Pupille eines Probanden bei einer Wiederholung der Refraktionsbestimmung unter vergleichbaren Beleuchtungsbedingungen immer ungefähr die gleiche Größe annimmt. Allerdings kann die Reproduzierbarkeit bei unterschiedlichen Probanden aufgrund verschiedener Pupillengrößen variieren.

Eine ausführlichere Abhandlung zu diesem Thema findet sich unter anderem bei Wesemann [19].

Refraktionsschwankungen durch Erkrankungen oder Medikamente

Durch Erkrankungen (z. B. Diabetes) oder Medikamenteneinfluss kann die Refraktion erheblich verändert und destabilisiert werden. Dieser Umstand ist bekannt und wird an zahlreichen Stellen diskutiert (z. B. [1, 9, 17]). In dieser Übersicht

soll es ausschließlich um gesunde Augen gehen.

Ergebnisse vorangegangener Studien

Horstmann [10] untersuchte die tageszeitlichen Schwankungen der subjektiven Refraktion an 16 Testpersonen. Er führte über einen Tag verteilt an 4 Terminen je eine subjektive Refraktion durch und fand bezogen auf Sphäre und Zylinder Unterschiede im Refraktionsergebnis von $\pm 0,25$ dpt. Die Abweichungen in der zylindrischen Wirkung und der Zylinderachse bezeichnete er als „sehr niedrig“, ohne eine Zahl anzugeben. Eine Studie von Krause und Taege [11] unterstützt das Ergebnis von Horstmann.

Zadnik et al. [20] führten an 40 Probanden je 2 subjektive Refraktionen im Abstand von 1 bis 14 Tagen durch und fanden als Differenz im sphärischen Äquivalent eine mittlere Abweichung von $-0,063 \pm 0,319$ dpt (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung). Die 95%-Übereinstimmungsgrenzen lagen also $\pm 0,625$ dpt von der mittleren Refraktion entfernt.

Leinonen et al. [12] verglichen je 2 Refraktionsbestimmungen an 99 Augen. Unter den gemessenen Augen waren die Ergebnisse von 22 gesunden Augen, die anderen hatten eine Katarakt oder waren mit einer Intraokularlinse versorgt. Die Refraktionen wurden von 2 verschiedenen Prüfern durchgeführt. Der mittlere Zeitabstand zwischen den beiden Refraktionen betrug 45 Tage. Es zeigte sich, dass die Reproduzierbarkeit der Refraktion vom Visus der Probanden abhängig ist. Bei Probanden mit einem Visus von $\geq 0,7$ fanden sie im sphärischen Äquivalent einen mittleren Unterschied von $+0,05 \pm 0,51$ dpt (MW $\pm 1,96s$) zwischen den beiden Refraktionen. Das entspricht einer Standardabweichung von $\pm 0,260$ dpt. Probanden mit einem Visus zwischen 0,3 und 0,45 zeigten im sphärischen Äquivalent größere 95%-Übereinstimmungsbereiche von bis zu $\pm 1,14$ dpt um den Mittelwert. Bei den zylindrischen Anteilen der Refraktionen lagen die Streuungen in der gleichen Größenordnung wie beim sphärischen Äquivalent.

Pseudovs et al. [14] untersuchten die Reproduzierbarkeit subjektiver Refrak-

tionen durch 4 verschiedene Prüfer bei 16 Probanden. Sie fanden im sphärischen Äquivalent 95%-Übereinstimmungsgrenzen von $\pm 0,484$ dpt um die mittlere Abweichung. Für den Betrag der Zylinderkomponente (J_0 und J_{45} zu einem Vektor kombiniert) zeigte sich im Median ein Unterschied von 0,110 dpt. Das 95%-Perzentil lag hier bei 0,345 dpt. Die vektorielle Gesamtrefraktion (M , J_0 und J_{45} kombiniert) zeigte im Median Unterschiede von 0,197 dpt mit dem 95%-Perzentil bei 0,611 dpt.

In einer Studie von MacKenzie [13] wurde ein augengesunder Mann von 40 eingetragenen Optometristen untersucht. MacKenzie verwendete die Brechwertvektoren M , J_0 und J_{45} für seine Auswertung. Er fand beim sphärischen Äquivalent M eine Standardabweichung von $\pm 0,28$ dpt. Etwa ein Drittel der durchgeführten Refraktionen zeigte also im sphärischen Äquivalent eine Abweichung von mehr als 0,28 dpt oberhalb oder unterhalb des Mittelwerts. Die 95%-Übereinstimmungsgrenzen lagen bei $\pm 0,549$ dpt um den Mittelwert des sphärischen Äquivalents. In den astigmatischen Anteilen der Refraktion fand MacKenzie Standardabweichungen von $\pm 0,084$ und $\pm 0,086$ dpt für die Zylinderkomponenten J_0 bzw. J_{45} . Umgerechnet in die Wirkung des Gesamtzylinders bedeutet das 95%-Übereinstimmungsgrenzen von $\pm 0,47$ dpt um die mittlere Zylinderstärke. Weitere Studien von z. B. Rasow und Wesemann [15] sowie Rosenfeld und Chiu [16] kamen zu vergleichbaren Ergebnissen.

Probanden und Methoden

Studiendesign

In einer eigenen Studie wurden 20 augengesunde Probanden (Laien) im Alter zwischen 28 und 72 Jahren (11 m, 9 w, Median = 51,5 Jahre), davon 16 presbyope Probanden, je 2-mal an 2 nicht aufeinanderfolgenden Tagen innerhalb eines Zeitraumes von 2 Wochen von 6 erfahrenen Prüfern (insgesamt 24 Messungen pro Proband) nach folgendem Schema refraktiert:

1. Messung der objektiven Refraktion mit einem Autorefraktometer,

2. subjektiver Abgleich der Messwerte mit der Kreuzzylindermethode mit Binokularabgleich und Übergang Raum-Ferne. Der subjektive Abgleich wird nach der bei Diepes [7] beschriebenen Vorgehensweise durchgeführt.

Einschlusskriterium war weiterhin ein jeweils monokularer Visus_{CC} von 0,8 oder mehr. Die Mehrheit der Probanden lag bei einem Visus_{CC} von 1,0 bis 1,2. Lediglich 1 Auge des Probanden 15 war amblyop und wurde von der Auswertung ausgeschlossen.

Jede Refraktionsbestimmung wurde innerhalb von maximal 20 min durchgeführt. Bevor die eigentliche Messung begann, wurde im Rahmen einer Vormessung jeder Proband 3-mal nach dem oben beschriebenen Verfahren refraktiert. Auf diesem Wege sollten die Probanden an den Ablauf gewöhnt werden und eine eventuell vorhandene Lernkurve überwinden. Außerdem wurden bei jedem Probanden die Abbildungsfehler höherer Ordnung mithilfe des Zeiss i.Profiler® bestimmt, um größere irreguläre Astigmatismen auszuschließen. Einschlusskriterium war ein mittlerer Wellenfrontfehler der höheren Ordnungen (RMS) kleiner als 0,4 µm.

Alle Refraktionsdaten wurden auf den Hornhaut-Scheitel-Abstand 13 mm umgerechnet und nach dem Verfahren von Thibos et al. [18] in Brechwertvektoren konvertiert, um die unabhängigen Parameter M , J_0 und J_{45} anstelle der abhängigen Refraktionsdaten Sphäre, Zylinder und Achse zu erhalten.

Brechwertvektoren

Der Vergleich von Refraktionsergebnissen und die Berechnung von Mittelwerten und Abweichungen bergen die Schwierigkeit, dass die in der Augenoptik üblichen Parameter Sphäre (S), Zylinder (Z) und Achse (α) nicht unabhängig voneinander sind. Werden z. B. bei 2 Refraktionsbestimmungen identische Werte für Sphäre und Zylinder gemessen, aber unterschiedliche Werte für die Achslage, schlägt sich dies sowohl auf den sphärischen als auch auf den zylindrischen Korrektionszustand des Probanden nieder. Aus den vonein-

Ophthalmologie 2014 · 111:1057–1064 DOI 10.1007/s00347-014-3064-6
© The Author(s) 2014. This article is published with open access at link.springer.com

H.-J. Grein · O. Schmidt · A. Ritsche

Zur Reproduzierbarkeit von Refraktionsbestimmungen

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Reproduzierbarkeit subjektiver Refraktionsergebnisse ist durch verschiedene Faktoren begrenzt. Zu den wesentlichen Einflussfaktoren gehören Eigenschaften der Messmethode sowie Eigenschaften von Proband und Prüfer.

Methoden und Ergebnisse. Im vorliegenden Beitrag werden die Ergebnisse einer Probandenstudie zu diesem Thema vorgestellt. Der Schwerpunkt liegt auf der Messsicherheit subjektiver Refraktionsbestimmungen an gesunden Augen. Die Darstellung der Ergebnisse vorangegangener Studien durch die jeweiligen Autoren ist inhomogen und lässt sich ohne die originalen Datensätze nicht vollständig vereinheitlichen. Soweit vergleichbar, decken sich die Ergebnisse unserer Studie mit denen früherer Untersuchungen weitgehend: Bei einer wiederholten subjektiven Re-

fraktionsbestimmung liegen 95% der Abweichungen vom mittleren Refraktionsergebnis bei etwa $\pm 0,2$ bis $\pm 0,65$ dpt für das sphärische Äquivalent und die Zylinderstärke. Die Reproduzierbarkeit von Refraktionsergebnissen bei gesunden Augen ist selbst unter optimalen Bedingungen begrenzt.

Schlussfolgerung. Zur sicheren Bewertung eines Refraktionsergebnisses muss der individuelle Streubereich des Probanden bekannt sein. Hierzu müssen mehrere Messungen durchgeführt werden. Refraktionsmessungen ohne Toleranz sind nicht möglich.

Schlüsselwörter

Messsicherheit · Intraindividuelle Schwankungen · Kreuzzylindermethode · Proband · Prüfer

Reproducibility of subjective refraction measurement

Abstract

Background. Reproducibility of subjective refraction measurement is limited by various factors. The main factors affecting reproducibility include the characteristics of the measurement method and of the subject and the examiner.

Methods and results. This article presents the results of a study on this topic, focusing on the reproducibility of subjective refraction measurement in healthy eyes. The results of previous studies are not all presented in the same way by the respective authors and cannot be fully standardized without consulting the original scientific data. To the extent that they are comparable, the results of our study largely correspond largely with those of previous investigations: During repeated subjective refraction measurement, 95% of the devi-

ation from the mean value was approximately ± 0.2 D to ± 0.65 D for the spherical equivalent and cylindrical power. The reproducibility of subjective refraction measurement in healthy eyes is limited, even under ideal conditions.

Conclusion. Correct assessment of refraction results is only feasible after identifying individual variability. Several measurements are required. Refraction cannot be measured without a tolerance range.

The English full-text version of this article is available at SpringerLink (under supplemental).

Keywords

Measurement accuracy · Intraindividual variance · Cross-cylinder method · Subject · Examiner

ander abhängigen Parametern Sphäre, Zylinder und Achslage lässt sich dieser Unterschied jedoch nicht ohne Weiteres quantitativ erfassen.

Aus diesem Grund werden bei der statistischen Aufbereitung von Refraktionsdaten die sog. Brechwertvektoren (engl.: „power vectors“) eingesetzt. Die sphärozyklindrischen Kombinationen werden nach Thibos et al. [18] in 3 Vektoren zerlegt: das sphärische Äquivalent M und 2 Kreuzzylinder J_0 für die Achslagen 0° und 90° so-

wie J_{45} für 45° und 135° . Jeder Kreuzzylinder hat das sphärische Äquivalent 0. Zwei kombinierte Kreuzzylinder ergeben unabhängig von den Achslagen der Einzelzylinder wieder einen Kreuzzylinder. J_0 und J_{45} beschreiben also vektoriell die Zylinderstärke und dessen Richtung und haben keinen Einfluss auf das sphärische Äquivalent M . Die explizite Angabe der Achslage erübrigt sich, weil die Richtung der Zylinderwirkung in den Größen J_0 und J_{45} des Vektors steckt.

Abb. 1 ▲ Sphärische Ametropien und Zylinderstärken der Probandenau-
gen. Die Grafik ist nach M aufsteigend sortiert. Die Einteilung nach Myopie
und Hyperopie erfolgte ebenfalls nach dem sphärischen Äquivalent M

Abb. 2 ▲ 95%-Übereinstimmungsgrenzen der Probanden für das sphä-
rische Äquivalent M und die Zylinderstärke Z

Abb. 3 ▲ Streuungen im sphärischen Äquivalent und in der Zylinderstärke bei 2 Beispielpatienten.
Die mittleren Refraktionswerte lagen bei Proband 11: R sph +0,07 cyl -1,70 A 6°; L sph 0,00 cyl -0,95
A 164°; Proband 2: R sph -0,22 cyl -0,43 A 55°; L sph -0,70 cyl -0,44 A 67°

Ergebnisse

Refraktionsergebnisse

Die Ergebnisse der subjektiven Refrak-
tionsbestimmungen für die Einzelaugen
sind in **Abb. 1** dargestellt. Die
Daten sind nach dem sphärischen Äqui-
valent aufsteigend sortiert. Die sphäri-
schen Äquivalente lagen zwischen -6,19
und +1,98 dpt mit einem Median von
-0,63 dpt. Die Beträge der Zylinderstär-

ken sind als Balken dargestellt. Die gemit-
telten, subjektiv gemessenen Zylinderstär-
ken lagen zwischen 0,08 und 4,32 dpt mit
dem Median 0,68 dpt.

Beurteilt nach dem sphärischen Äqui-
valent handelt es sich um 23 myope und 16
hyperope Augen.

Probandenabhängige Abweichungen

In **Abb. 2** finden sich je 40 Datenpunk-
te für die 95%-Übereinstimmungsgrenzen
des sphärischen Äquivalents und der Zylinder-
stärke jedes Einzelauges. Jeder Datenpunkt
repräsentiert die 1,96-fache Standardabwei-
chung eines Auges, ermittelt aus allen 24 bei
dem jeweiligen Probanden durchgeführten
subjektiven Refraktionsbestimmungen. Die
mittlere Übereinstimmungsgrenze des sphäri-
schen Äquivalents liegt bei $\pm 0,44$ dpt um
das mittlere M . Etwa 95% aller ermittel-
ten Übereinstimmungsgrenzen liegen
für das sphärische Äquivalent zwischen
 $\pm 0,22$ und $\pm 0,65$ dpt. Die mittlere Über-
einstimmungsgrenze für die subjektiv er-
mittelte Zylinderstärke ist $\pm 0,39$ dpt; 95%
aller zylindrischen Standardabweichungen
liegen im Bereich zwischen $\pm 0,12$ und
 $\pm 0,67$ dpt. Die unterschiedlichen Über-
einstimmungsgrenzen zeigen die unter-
schiedlich gute Reproduzierbarkeit der
Refraktionsbestimmung in Abhängigkeit
von den Probanden.

In **Abb. 3** sind beispielhaft die Streu-
ungen in M und Z für 2 Probanden mit
unterschiedlich guter Reproduzierbarkeit
dargestellt. Auf der Abszisse ist die Streu-
ung der sphärischen Äquivalente darge-
stellt. Jeder Punkt stellt die Differenz zwi-
schen einer Einzelmessung und dem Mit-

Abb. 4 ◀ Streuungen aller Probanden. Die Streubreiten der einzelnen Probanden sind sehr unterschiedlich

telwert aus allen Messungen dar. Auf der Ordinate ist die Streuung der Zylinderwerte abgetragen. Auch hier ergibt sich jeder Wert aus der Differenz zwischen einer Einzelmessung und dem Mittelwert aus allen Messungen. In die Auswertung sind für jeden Probanden 54 Messdaten eingeflossen: 24 Messungen für jedes Auge aus der Hauptmessung plus 3 Messungen pro Auge aus der Vormessung. Die Werte aus der Vormessung wurden einbezogen, da sich kein signifikanter Unterschied der Streubereiche aus Vormessung und Hauptmessung ergaben hat. Ergebnisse des rechten Auges sind grün, die des linken Auges rot dargestellt.

Die eingezeichneten Ellipsen repräsentieren den Bereich, in den mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% ein bei einer erneuten Refraktionsbestimmung erhobener Datenpunkt fallen würde. Interessant sind vor allem die horizontale und die vertikale Ausdehnung der Ellipse, denn diese Richtungen repräsentieren das sphärische Äquivalent und die Zylinderstärke.

Beim Probanden 11 unterscheiden sich die Streubereiche des rechten und linken Auges. Links weicht keine der Einzelmessungen im sphärischen Äquivalent und im Zylinder stärker als $\pm 0,5$ dpt vom Mittelwert der Refraktion ab. Die Reproduzierbarkeit der Refraktionsergebnisse

am rechten Auge ist besser und liegt bei ca. $\pm 0,3$ dpt für M und Z . Bei Proband 2 sind die Streuungen erheblich größer. Bei einer erneuten Refraktion läge das sphärische Äquivalent mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% nicht weiter als $\pm 1,0$ dpt und die Zylinderstärke nicht weiter als ca. $\pm 0,75$ dpt vom Mittelwert entfernt.

Die **Abb. 4** zeigt Streuungsplots für alle gemessenen Probanden. Wie in **Abb. 3** sind die Differenzen zwischen Einzelmessung und Mittelwert von M auf der Abszisse und Z auf der Ordinate abgebildet. Die Ergebnisse der jeweils rechten und linken Augen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit zusammengefasst.

Abb. 5 ◀ Abweichungen der Zylinderkomponenten J_0 und J_{45} vom Mittelwert. Jeder Punkt beschreibt das Wertepaar für die Differenz der Zylinderkomponenten vom Mittelwert bei einer Refraktionsbestimmung am Einzelaugen. Die Ellipse stellt das 95%-Konfidenzintervall der Messwerte dar

Abb. 6 ▲ Differenzen der einzelnen Achslagen vom Mittelwert (blau) und Standardabweichungen der Achslagedifferenzen für die Einzelaugen (rot). Bis etwa 2,0 dpt Zylinderstärke verbessert sich die Reproduzierbarkeit der Achslage

Die Ellipsen zeigen die Bereiche, in die mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die Werte einer erneuten Refraktion fallen würden. Je kleiner diese Ellipse ist, desto besser ist die Reproduzierbarkeit der Refraktion eines Probanden. Ist der Streubereich kreisförmig, besteht eine ähnliche Reproduzierbarkeit hinsichtlich des sphärischen Äquivalents und der Zylinderstärke.

Die Zylinderkomponenten J_0 und J_{45} beinhalten neben der Zylinderstärke auch die Zylinderachslagen bei der Refraktionsbestimmung. Die mittleren Standardabweichungen der Zylinderkomponenten sind 0,1035 dpt für J_0 und 0,0890 dpt für J_{45} . Das Streudiagramm der Abweichungen der gemessenen Zylinderkomponenten vom Mittelwert lässt keine relevanten bevorzugten Richtungen

der Zylinderachsabweichungen erkennen. Die Sicherheit, mit der die Achslage bestimmt werden kann, ist für alle Astigmatismusrichtungen annähernd gleich groß (Abb. 5).

Die Sicherheit bei der Bestimmung der Achslage ist von der Zylinderstärke abhängig. Eine Verdrehung der Achse um einen bestimmten Betrag führt bei kleinen Zylinderstärken zu einem kleineren Fehler in der Korrektur als bei einem großen Zylinder. In der Abb. 6 sind die Streuungen in der Achsbestimmung für alle subjektiven Refraktionen in Abhängigkeit von der Zylinderstärke in blau dargestellt. Ab einer Zylinderstärke von etwa 2,00 dpt lässt sich die Achse auf wenige Grad genau reproduzieren, bei kleineren Zylindern sind die Schwankungen erheblich größer. In rot sind die Standardabweichungen der Achslagenabweichungen der Einzelaugen für den jeweils mittleren Zylinder eingetragen.

Prüferabhängige Abweichungen

Die Abb. 7 zeigt die Abweichungen der Refraktionsergebnisse aufgeschlüsselt nach den Prüfern. Auf der Abszisse sind die Differenzen von Einzelmessungen und dem Mittelwert aller Prüfer im sphärischen Äquivalent abgetragen, auf der Ordinate stehen die Differenzen von Einzelmessung und Mittelwert der Zylinderstärke. Die Ellipsen repräsentieren den Bereich, in den mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die Abweichungen im sphärischen Äquivalent und in der Zylinderstärke bei einer wiederholten Messung fallen würden. Die Abbildung enthält die Messungen der einzelnen Prüfer bei allen Probanden inklusive der Vormessungen. Die prüferabhängigen Standardabweichungen liegen bei etwa $\pm 0,5$ dpt und sind für alle Prüfer ungefähr gleich groß.

Diskussion

Die Präzision einer Refraktionsbestimmung gilt als Qualitätskriterium bei der Augenglasbestimmung. Wendet man die gängigen subjektiven Refraktionsmethoden korrekt an, führt der Algorithmus meist zu einem eindeutigen Ergebnis. Dies verleitet in der subjektiven Wahrnehmung der Refraktionsisten zu der Einschätzung,

Abb. 7 Alle Prüfer haben ungefähr gleich große Streubreiten bei der Refraktionsbestimmung

dass Refraktionswerte innerhalb der üblichen 0,25-dpt-Stufung vollständig reproduzierbar seien. Eine Vielzahl von Einflüssen führt jedoch auch bei gesunden Augen zu Streuungen bei der Refraktionsmessung, die deutlich über die Glasstufung hinausgehen können. Schwankungen durch die subjektiven Einflüsse des Probanden und des Refraktionsisten überlagern tageszeitliche und physiologische Schwankungen sowie Limitationen durch die Refraktionsmethodik.

Die einzelnen Einflüsse lassen sich kaum kontrollieren. Dadurch ist auch unter optimalen Verhältnissen, wie sie bei der vorliegenden Studie gegeben waren, mit einer Streuung (95%-Bereich) von ca. $\pm 0,4$ dpt beim sphärischen Äquivalent und beim Zylinder zu rechnen. Die aktuellen Ergebnisse decken sich weitgehend mit Aussagen vorangegangener Studien. Jedes Messergebnis, das innerhalb des 95%-Streubereiches liegt, muss folglich als korrekt gelten. Zur Bewertung eines Einzelfalles müsste die individuelle Streubreite des Refraktionsergebnisses bekannt sein. Aus **Abb. 4** geht hervor, dass die Reproduzierbarkeit von subjektiven Refraktionswerten interindividuell sehr unterschiedlich ist. Die „zuverlässigsten“ Probanden erreichen eine Streuung (95%-Bereich) von ca. $\pm 0,3$ dpt in Sphäre und Zylinder, während die „schlechtesten“ Probanden bei einer Streuung um $\pm 0,75$ bis $\pm 1,0$ dpt liegen.

Die Reproduzierbarkeit der Achslage zeigte eine starke Abhängigkeit von der Zylinderstärke (**Abb. 6**). Bei kleinen Zylinderstärken liegt die Streubreite erheblich höher als bei größeren. Der Grund dafür liegt im durch eine Achsabweichung verursachten Fehlerzylinder. Einen Achsfehler von 10° angenommen, ergibt sich bei einer Zylinderstärke von 0,50 dpt ein Fehlerzylinder von 0,17 dpt. Hier ist fraglich, ob der Proband den Unterschied bemerken kann. Bei einer Zylinderstärke von 3,00 dpt führt der gleiche Achsfehler zu einem Fehlerzylinder von 1,04 dpt und wird vom Probanden sicher wahrgenommen.

Die ausgewerteten Augen hatten im Mittel einen korrigierten Visus von 1,1 (Bereich 0,8 bis 1,2). Damit lag die Sehschärfe in einem Bereich, in dem eine gute bis sehr gute Beurteilung der Optotypen möglich ist. Lediglich bei Proband 15 ergab sich eine zuvor nicht bekannte Amblyopie am linken Auge. Bei einem Visus von 0,2 zeigte sich ein erwartungsgemäß großer 95%-Streubereich von $\pm 1,5$ dpt für sphärisches Äquivalent und Zylinder. Dieses Auge wurde aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

Alle Probanden wurden 3 Vorrefraktionen unterzogen, um einen ggf. auftretenden Lerneffekt zu erfassen. Die Streubereiche aller Vorrefraktionen waren jedoch nicht signifikant unterschiedlich zu den Streuungen der Hauptuntersuchung.

Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass sie der gleichen Grundgesamtheit entstammen und damit kein relevanter Lerneffekt aufgetreten ist. Aus diesem Grund wurden die 3 Vormessungen auch in die weiteren Auswertungen einbezogen.

Für Test- und Prüfungszwecke wäre ein Proband mit geringer subjektiver Refraktionsstreuung sinnvoll. In jedem Falle muss zur Bewertung eines Refraktionsergebnisses der individuelle 95%-Streubereich bekannt sein. Andernfalls besteht die Gefahr, dass individuelle Refraktionsstreuungen als Messfehler missdeutet werden. In der Praxis liegen keine Informationen zum individuellen Streubereich des Probanden vor. In der vorliegenden Studie liegen 95% aller Probanden innerhalb einer Streuung von maximal $\pm 0,65$ dpt für das sphärische Äquivalent bzw. $\pm 0,67$ dpt für den Zylinder ($1,96 \times$ Standardabweichung; **Abb. 2**). Bei gutachterlichen Fragestellungen muss deshalb, wenn keine detailliertere Information zur individuellen Streubreite vorliegt, von diesen Toleranzen ausgegangen werden.

An dieser Studie nahmen 6 Refraktionsisten mit langjähriger Refraktionserfahrung teil. Alle verwendeten die gleiche Refraktionsmethode nach Diepes [7]. Die Tatsache, dass die Streuung der Refraktionsergebnisse bei allen Prüfern annähernd gleich war, zeigt eine insgesamt geringe Untersucherabhängigkeit der Kreuzzylindermethode. Einzelne Ausreißer in **Abb. 7** können sowohl untersucher- als auch probandenbedingt sein.

Autorefraktometer zeigen bei modernen Geräten durch sehr schnelle Mehrfachmessung und Mittelwertbildung eine im Vergleich zur subjektiven Refraktionsbestimmung etwas höhere Reproduzierbarkeit [21]. Sie sind somit hervorragend zur Vormessung geeignet. Es ist darauf zu achten, dass im Gerätemenü mindestens 3, besser 5 Messungen als Grundlage verwendet werden. Die hoch entwickelte Messtechnik darf jedoch die subjektive Refraktionsbestimmung im direkten Kontakt mit dem Probanden nicht ersetzen. In jedem Einzelfall sind die Refraktionsmethoden sorgfältig, korrekt und vollständig anzuwenden. Ein Binokularabgleich am Ende der Refraktionsbestimmung zur Herstellung des Refraktionsgleichgewichts

tes erhöht die Verträglichkeit der Brille und sollte immer Bestandteil einer Augenlasbestimmung sein.

Fazit für die Praxis

- Die Reproduzierbarkeit von Refraktionsergebnissen bei gesunden Augen ist selbst unter optimalen Bedingungen begrenzt.
- Zur sicheren Bewertung eines Refraktionsergebnisses muss der individuelle Streubereich des Probanden bekannt sein.
- Refraktionsmessungen ohne Toleranz sind nicht möglich.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. H.-J. Grein
 Fachhochschule Lübeck
 Mönkhofer Weg 239, 23562 Lübeck
 grein@fh-luebeck.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. H.-J. Grein, O. Schmidt und A. Rit-sche geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle Patienten, die über Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts zu identifizieren sind, haben hierzu ihre schriftliche Einwilligung gegeben. Im Falle von nicht mündigen Patienten liegt die Einwilligung eines Erziehungsberechtigten oder des gesetzlich bestellten Betreuers vor.

Open Access: This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License which permits any use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and the source are credited.

Literatur

1. Berke A (2004) Veränderungen der Refraktion. *Augenspiegel* 10:12–16
2. Borish IM, Benjamin WJ (1998) Monocular and binocular subjective refraction. In: Benjamin NJ (Hrsg) *Borish's clinical refraction*. WB Saunders, Philadelphia, S 629–630
3. Bullimore MA, Fusaro RE, Adams CW (1998) The repeatability of automated and clinician refraction. *Optom Vis Sci* 75(8):617–622
4. Campbell FW, Robson JG, Westheimer G (1959) Fluctuations of accommodation under steady viewing conditions. *J Physiol* 145:579–594
5. Denieul P (1982) Effects of stimulus vergence on mean accommodation response, microfluctuations of accommodation and the optical quality of the human eye. *Vision Res* 22:561–569
6. Diepes H (1996) Zur möglichen und notwendigen Genauigkeit bei der Refraktionsbestimmung. *DOZ* 9:30–37
7. Diepes H (2004) Refraktionsbestimmung. *DOZ*, Heidelberg
8. Gray LS, Winn B, Gilmartin B (1993) Accommodative microfluctuations and pupil diameter. *Vision Res* 33(15):2083–2090
9. Grehn F (2012) *Augenheilkunde*, 31. Aufl. Springer, Berlin
10. Horstmann D (1974) Tageszeitliche Schwankungen in der Refraktion. In: *Die Fachvorträge des WVAO-Jahreskongresses 1974 in Baden-Baden*. WVAO, Mainz, S 33–36
11. Krause K, Taege A (1988) Diurnal fluctuations in human refraction. *Klin Monatsbl Augenheilkd* 192(2):53–57
12. Leinonen J, Laakkonen E, Laatikainen L (2006) Repeatability (test-retest variability) of refractive error measurement in clinical settings. *Acta Ophthalmol Scand* 84(4):532–536
13. MacKenzie GE (2008) Reproducibility of spherocylindrical prescriptions. *Ophthalmic Physiol Opt* 28(2):143–150
14. Pesudovs K, Parker KE, Cheng H, Applegate RA (2007) The precision of wavefront refraction compared to subjective refraction and autorefraction. *Optom Vis Sci* 84(5):387–392
15. Rassow B, Wesemann W (1985) Vergleich moderner subjektiver Refraktionsverfahren. Unveröffentlichtes Manuskript
16. Rosenfeld M, Chiu NN (1995) Repeatability of subjective and objective refraction. *Optom Vis Sci* 72(8):577–579
17. Schlote T, Freudenthaler SM, Stübiger N et al (2001) Medikamentöse Nebenwirkungen am Auge. Thieme, Stuttgart
18. Thibos LN, Wheeler W, Horner D (1997) Power vectors: an application of fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci* 74(6):367–375
19. Wesemann W (2001) Die Grenzen der Sehschärfe, Teil 2: Einfluss von Pupillengröße und Beugung. *DOZ* 09:28–32
20. Zadnik K, Mutti DO, Adams AJ (1992) The repeatability of measurement of the ocular components. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 33(7):2325–2333
21. Wesemann W (2004) Moderne Augenrefraktometer im Vergleich. *Z Prakt Augenheilkd* 25:7–16