

R. Blendowske und H. Klöß, Hochschule Darmstadt

Brillengläser und die Korrektur der Abbildungsfehler höherer Ordnung

Bei einem Augenoptiker wurde exemplarisch ein so genanntes wellenfrontkorrigiertes Einstärkenglaspaar bestellt. Vor Ort wurden zu diesem Zweck die Augen mittels eines Wellenfrontsensors vermessen. Die optischen Eigenschaften dieser Gläser wurden nach Lieferung an der Hochschule Darmstadt messtechnisch untersucht. Die gewöhnlichen sphäro-zylindrischen Werte werden ohne Bindung an die 0,25-Dioptrien-Abstufung mit sehr guter Qualität produziert. Eine Korrektur der Aberrationen höherer Ordnung findet weder ganz noch teilweise statt. Ob die sphäro-zylindrischen Werte den Einfluss der Aberrationen höherer Ordnung berücksichtigen, kann von uns nicht festgestellt werden, da die notwendigen Daten fehlen. Die Refraktionswerte weichen allerdings im Rahmen der 0,25-Dioptrien Stufung nicht von den üblichen Refraktionswerten ab.

In Deutschland werden seit September 2006 Brillengläser angeboten, die im Unterschied zu herkömmlichen Gläsern neben der sphäro-zylindrischen Korrektur auch Abbildungsfehler höherer Ordnung (AHO) berücksichtigen. Diese Gläser kann man hinsichtlich des Brille-Auge-Systems in drei Klassen einteilen:

- Die Abbildungsfehler des Auges, inklusive der AHO, werden im Brillenglas korrigiert. Dies wird üblicherweise als *Wellenfrontkorrektur* bezeichnet.
- Die AHO werden verwendet, um eine optimale Bestimmung der Werte für Sphäre, Zylinder, Achse (SZA-Werte) zu erreichen. Dies wird oft als *wellenfront-geführte Korrektur* bezeichnet.
- Die Korrektur von AHO im Brillenglas wird ohne Bezug zu den AHO im Auge durchgeführt.

In unserem Beitrag werden nur Einstärkengläser aus den ersten beiden Kategorien betrachtet. Wie stellen exemplarische Messwerte vor und diskutieren einige Folgerungen aus diesen Ergebnissen. Gläser vom 3. Typ, bei denen es sich meistens um Gleitsichtgläser handelt, werden hier nicht berücksichtigt.

Wer die SZA-Werte und die AHO im Auge-Brille-System korrigieren will, muss auf drei Fragen Auskunft geben können:

- Welche Refraktionswerte (SZA) und welche AHO liegen überhaupt vor?
- Was soll wie korrigiert werden?
- Welche Technologien stehen dafür zur Verfügung?

In der bisherigen Praxis der Augenglasbestimmung werden zwar die AHO nicht explizit gemessen, aber im Verlauf der Refraktionsbestimmung werden diejenigen *effektiven* SZA-Werte bestimmt, die ein gegebenes Auge – bzw. beim binokularen Feinabgleich ein Augenpaar – mit einem gegebenen Pupillendurchmesser am besten korrigieren. Für die Messung stehen dabei erstens verschiedene Refraktionsabläufe und zweitens Messgläser zur Verfügung, die in 0,25 dpt in Sphäre und Zylinder gestuft sind. Die so bestimmte Refraktion beinhaltet für die gegebenen Parameter die Effekte der AHO auf die SZA-Werte. Diese Daten werden dann in die Brille übertragen. In diesem Sinne korrigieren Augenoptiker immer schon AHO.

■ Wellenfronten, Strahlen und Abbildungsfehler höherer Ordnung

Wer, aus welchen Gründen auch immer, über die traditionelle Augenglasbestimmung hinausgehen will, muss zunächst die AHO des Auges vermessen. Dafür stehen unterschiedliche Messtechniken zur Verfügung. Die Messung mittels eines Hartmann-Shack-Sensors (HSS) ist mittlerweile etabliert und liefert schnelle und zuverlässige Ergebnisse. Den Autoren ist kein kommerzielles Messsystem bekannt, das gleichzeitig beide Augen vermisst, obwohl dies technisch durchaus realisierbar wäre. Wir haben es daher bisher mit monokularen Messungen zu tun.

Wellenfronten werden häufig zur Darstellung der Ergebnisse dieser Messungen gewählt. Für eine Welle definieren die Orte gleicher Phase eine Wellenfront. Für unsere Zwecke ist der folgende Zusammenhang besser geeignet: Lichtstrahlen stehen senkrecht auf Wellenfronten und umgekehrt, siehe Abb. 1.

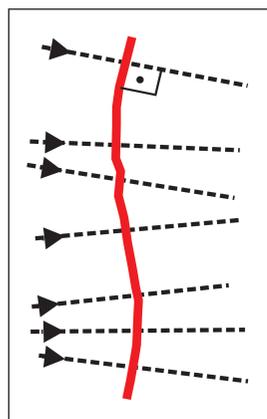


Abb. 1: Beispiel einer deformierten Wellenfront (durchgezogene Linie): Strahlen sind Senkrechte zur Wellenfront und umgekehrt

Für die rechnende Optik, etwa beim Design eines Brillenglasses, ist der Gebrauch von Strahlen oder Wellenfronten völlig gleichwertig, und meistens werden Strahlen verwendet. Erst bei der Berechnung von Beugungseffekten ist der Übergang zur Wellenfront zwingend. Er kann problemlos mittels der Daten aus Strahldurchrechnungen vollzogen werden. Ob Strahlen oder Wellenfronten verwendet werden, ist daher eine Frage der Nützlichkeit und des Geschmacks. Auf die Genauigkeit der Rechnung hat die Auswahl des Verfahrens keinen Einfluss. Wir werden im Folgenden Wellenfronten verwenden, weil sie uns zur Veranschaulichung besser geeignet erscheinen.

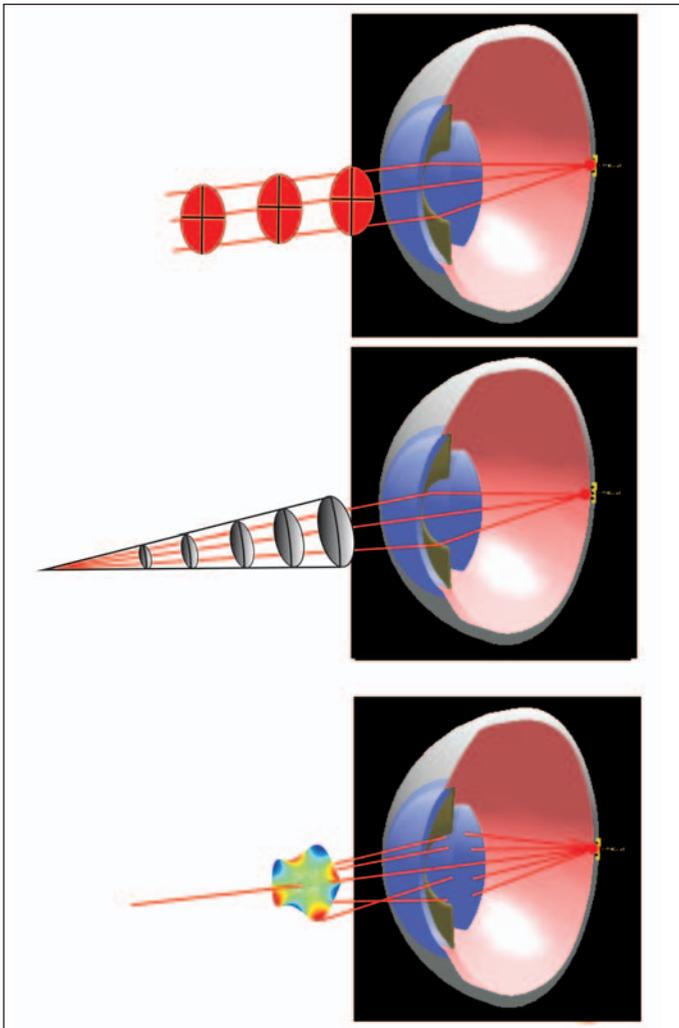


Abb.2: **Oben:** Ausgehend von einem leuchtenden Netzhautpunkt tritt bei einem optisch perfekten Auge eine ebene Wellenfront aus.
Mitte: Bei einem myopen Auge tritt eine konvergente Kugelwelle aus, wenn keine AHO vorhanden sind.
Unten: Bei AHO treten zusätzlich Verbeulungen der Wellenfront auf.

Um zu erläutern, was AHO sind, stellen wir uns einen Netzhautpunkt vor, von dem eine Kugelwelle ausgeht. Ein Auge im Sinne der Technischen Optik ist perfekt, wenn aus dem Auge eine ebene Welle austritt, siehe Abb. 2, oben. Die möglichen Einflüsse der Akkommodation werden hier ignoriert. Diese ebene Welle wird nun als Referenzfläche für die aus einem realen Auge tatsächlich austretende Wellenfront verwendet. In aller Regel ist sie gekrümmt und verbeult. Vornehmer wird dieser Sachverhalt als Wellenfront-Deformation bezeichnet. Bei

DOZ 6-2007

fassung
 Top Fashion Days

**aug/
 sept 2007**

Die topaktuelle Tablemesse
 ... wieder direkt vor Ihrer Haustür:

- X Köln** 18. + 19.08.2007
 Sofitel/Dorint-Hotel
 Deutz-Mülheimer Str. 22-24, 50679 Köln
- X Frankfurt** 25. + 26.08.2007
 Radisson SAS Hotel
 Franklinstraße 65, 60486 Frankfurt am Main
- X Berlin** 01. + 02.09.2007
 Schweizerhof Berlin – Dorint
 Sofitel, Budapester Straße 25, 10787 Berlin
- X Hannover** 08. + 09.09.2007
 Copthorne Hotel Hannover
 Würzburger Str. 21, 30880 Laatzen-Hannover
- X Fürth** 15. + 16.09.2007
 Hotel-Pyramide
 Europa-Allee 1, 90763 Fürth
- X Esslingen** 22. + 23.09.2007
 Neckar-Forum
 Hauffstraße, 73728 Esslingen

Öffnungszeiten jeweils
 samstags 13.00–19.00 Uhr, sonntags 10.00–17.00 Uhr
 Diese Fachmesse ist nur für Optiker, der Eintritt ist frei.
 Zusätzlich gibt's pro Fachgeschäft einen Verzehrsgutschein!



COBRA
 modern optics

**Man sieht sich ...
 auf der fassung hoch x!**

Veranstalter:
 Cobra Modern Optics OHG
 Telefon 0 51 05.52 00 53

www.fassung-hoch-x.de

einer rein sphärischen Fehlsichtigkeit tritt beispielsweise eine Kugelwelle mit positiver oder negativer Krümmung aus dem Auge aus, vgl. Abb. 2, Mitte. Der Krümmungsmittelpunkt dieser Kugelwelle ist dann der Fernpunkt. Sind zusätzlich AHO vorhanden, so verformen sie diese Kugelwelle dann noch mit kleinen Beulen, siehe Abb. 2, unten.

Die mittlere Krümmung der Kugelfläche ist ein Maß für einen Abbildungsfehler zweiter Ordnung, das sphärische Äquivalent. Die kleineren Beulen zählen zu den AHO. Bei einer astigmatischen Fehlsichtigkeit erhalten wir eine Wellenfront mit zwei axialen Krümmungen, deren Fläche näherungsweise durch ein Ellipsoid beschrieben werden kann. Hier handelt es sich ebenfalls um Abbildungsfehler 2. Ordnung.

Die typischen Größenverhältnisse werden in Abb. 3 veranschaulicht. Dominant sind die sphäro-zylindrischen Effekte (oben) mit einer Spanne von etwa $3\mu\text{m}$. Die Aberrationen höherer Ordnung sind bei Verwendung desselben Maßstabes kaum zu erkennen (Mitte). Erst bei entsprechender Nachvergrößerung werden die Strukturen sichtbar (unten). Für die Interpretation der Falschfarbendarstellung verweisen wir auf den Artikel von Wesemann in dieser DOZ hin.

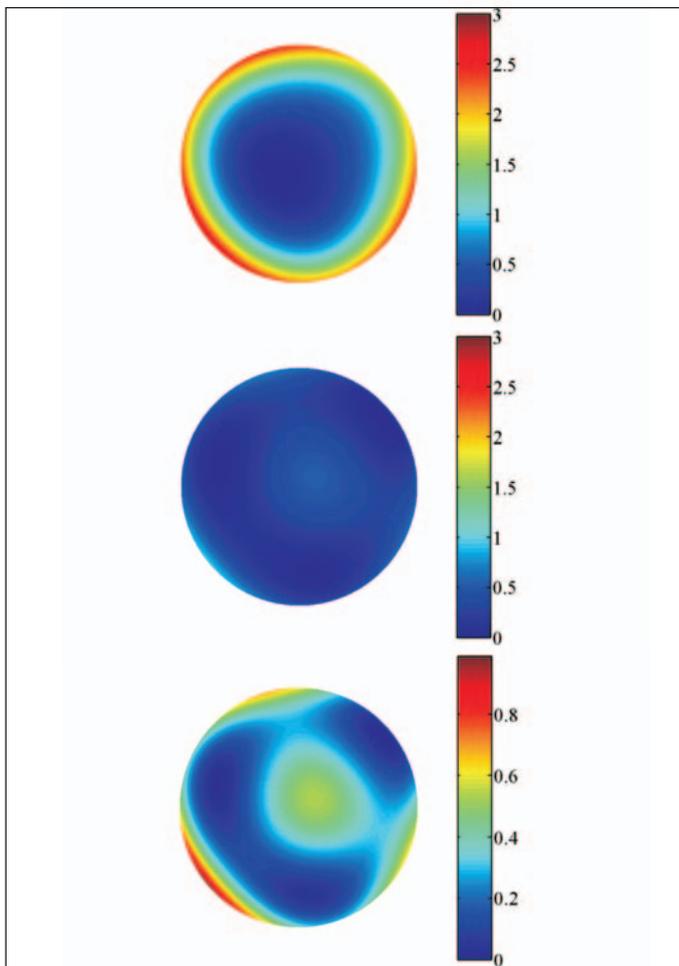


Abb. 3: Wellenfrontdeformationen (in μm) im linken Auge (RB) für eine Pupille von 4,5 mm Durchmesser. **Oben:** Die komplette Wellenfront mit allen Abbildungsfehlern (einschließlich sph $-0,90\text{ dpt.}$) und einer Spanne von ca. $3\mu\text{m}$. **Mitte:** Nur die AHO (dieselbe Skala wie oben) werden dargestellt. Sie sind kaum wahrnehmbar. **Unten:** Erst bei einer vergrößerten Skala werden die Wellenfront-Deformationen aufgrund der AHO sichtbar, deren Spanne etwa $1\mu\text{m}$ beträgt.

Bei einer Korrektur des Auges muss nun die umgekehrte Lichtrichtung betrachtet werden. Am Beispiel des myopen Auges heißt dies: Anstelle der austretenden konvergenten Wellenfront muss zur Korrektur eine einlaufende divergente Wellenfront mit einer betragsmäßig gleichen Krümmung verwendet werden. In diesem Sinne kann von einem Negativ der austretenden Wellenfront gesprochen werden.

Eine vollständige optische Korrektur der AHO muss aus einer ebenen Welle, die von einem fernen Objekt kommt, das Negativ derjenigen verbeulten Wellenfront erzeugen, die aus dem Auge austritt. Nur dann wird ein optimales Punktbild (kein Punkt!) auf der Netzhaut erzeugt.

Um die Sehleistung zumindest grob mit den Wellenfrontdeformationen in Zusammenhang bringen zu können, werden diese in Basisbestandteile zerlegt. Als besonders geeignet haben sich hier die Zernike-Polynome erwiesen, die mittels Polarkoordinaten, d.h. einer normierten Radialkoordinate ρ und einer Winkelkoordinate τ , dargestellt werden können, vgl. Wesemann (Beitrag in dieser DOZ).

Je nach Potenz der Radialkoordinate ρ wird dann von der Ordnung dieser Polynome gesprochen. Beispielsweise enthalten Polynome 1. Ordnung nur Terme mit ρ , Polynome der 2. Ordnung Terme bis maximal ρ^2 , Polynome der 3. Ordnung Terme bis maximal ρ^3 usw. Terme der ersten Ordnung repräsentieren prismatische Effekte. Die drei Terme der 2. Ordnung beschreiben Defokussierung und Astigmatismus. Als *Aberrationen höherer Ordnung* werden alle Beiträge bezeichnet, die von 3. Ordnung oder höher sind. In der 3. Ordnung sind dies die Koma und der Dreiblattfehler.

Korrektionsstrategien

Wer die Verdellungen der Wellenfront des Auges mit einem Brillenglas ausbeulen will, kann dies in unterschiedlicher Art und Weise und mit unterschiedlicher Genauigkeit tun:

1. Es werden nur **SZA-Werte** korrigiert (2. Ordnung). Bei den meisten Brillengläsern kann für größere Blickbewegungen leider selbst davon nicht die Rede sein.
2. Bei einer **Wellenfrontkorrektur** muss eine Wellenfront als Negativ der Wellenfrontdeformationen des Auges, einschließlich der wichtigsten AHO, vom Brillenglas erzeugt werden. Dies ist jedoch für das *blickende* Auge über einen Brillenglasbereich, der größer als die Augenpupille ist, nicht realisierbar. Es könnten höchstens isolierte Zonen von der Größe der Pupille erzeugt werden, an deren Rändern aber die Sehleistung deutlich schlechter würde – insbesondere schlechter als bei einer traditionellen Korrektur. Dieser Effekt könnte reduziert werden, indem nur ein Teil der AHO korrigiert werden. Kurz gesagt: Eine Wellenfrontkorrektur ist zwar bei einer geeigneten Fertigungstechnologie möglich, aber nur für einen sehr kleinen Bereich des Blickfeldes.
3. Eine **AHO-geführte** Korrektur verwendet Informationen über die AHO des Auges um **effektive SZA-Werte** zu berechnen und für unterschiedliche Umgebungssituationen anzupassen. Es findet dann, wie es in der rechnerischen Optik heißt, eine Multikonfigurations-Optimierung statt. Diese Art der Korrektur kann auch für das blickende Auge durchgeführt werden. Wie weit die so ermittelten effekti-

ven SZA-Werte von denen einer normalen Refraktionsbestimmung entfernt liegen, ist nicht bekannt. Aber es dürften im Regelfall keine drastischen Änderungen erwartet werden.

In allen Fällen gilt, dass die Berücksichtigung der AHO eine Technologie erfordert, die mittels des Brillenglases kleinste Beeinflussungen der Wellenfront ermöglicht. Innerhalb der gängigen 1/4-Dioptrien-Stufung ist dies sicherlich nur beschränkt möglich. Die Freiformflächen-Technologie, wie sie aus der Gleitsichtglasproduktion bekannt ist, kann hier eingesetzt werden. Allerdings dürfte das Problem des Polierens, mit dem die Korrektur kleinster Beulen wieder verwischt werden kann, eine Herausforderung darstellen.

Eine Firma aus den USA ist einen anderen Weg gegangen und bietet ein dreischichtiges Glas an, das eine Polymerschicht enthält, deren optische Eigenschaften durch Eintrag von Laserstrahlung verändert werden kann. Bei dieser interessanten Technologie könnten auch kleine Änderungen der optischen Eigenschaften erzeugt werden.

Welche Strategie auch immer gewählt wird, für alle gelten die folgenden physiologischen Grundlagen gleichermaßen: **Die AHO hängen vom Alter ab, sie verändern sich deutlich mit der Akkommodation und sind bei Pupillendurchmessern bis 3 mm belanglos.**

■ Wellenfrontdaten

Die Augen der beiden Autoren wurden bei einem Augenoptiker mittels eines Wellenfrontsensors vermessen und die Abbildungsfehler des Auges einschließlich der SZA-Werte bestimmt. Nur einer der beiden (RB) stellte sich als geeigneter Kandidat für dieses spezielle Glas heraus. Gemäß diesen Messungen wurden dann die Gläser bestellt, die auf ihre Korrektureigenschaften hin untersucht werden sollten. Die gelieferten Gläser zeigt Abb. 4.

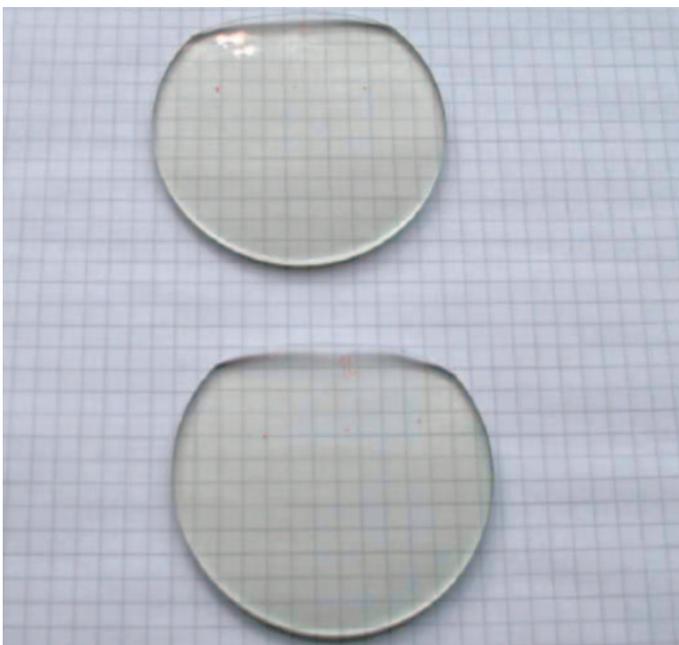


Abb. 4: Das gelieferte Gläserpaar mit Herstellermarkierungen und Zuschnitt durch den Hersteller

DOZ 6-2007

AMOTM
Vision. For life.

blinkTM



Erste Hilfe für gestresste Augen

- Benetzung und Erfrischung mit Sofort-Wirkung
- Lang anhaltender Effekt durch Feuchtigkeitsdepot
- Auch für Kontaktlinsenträger



blinkTM contacts⁺
Augentropfen

www.gestresste-augen.de

Für die bestellten Gläser erhält man ein Datenblatt, das eine Darstellung der Wellenfront sowie einige Zahlenwerte enthält. Die Falschfarben-Darstellung der Wellenfronten des rechten und linken Auges, wie sie beim Augenoptiker vermessen wurden, zeigt die Abb. 5, oben. Dabei werden nur die Anteile der AHO gezeigt. Für die Simulation, Abb. 5, unten, wurden folgende Zernike-Koeffizienten verwendet:

Koeffizient	R	L
C (+3,-3)	-0,05	0,05
C (+3,+3)	0,05	0,08
C (+3,-1)	-0,05	0,07
C (+3,+1)	-0,095	-0,04
C (4,0)	-0,13	-0,10

Tab. 1: Zernike-Koeffizienten (OSA-Standard) der AHO (in μm), die für die Simulation der Wellenfronten verwendet wurden.

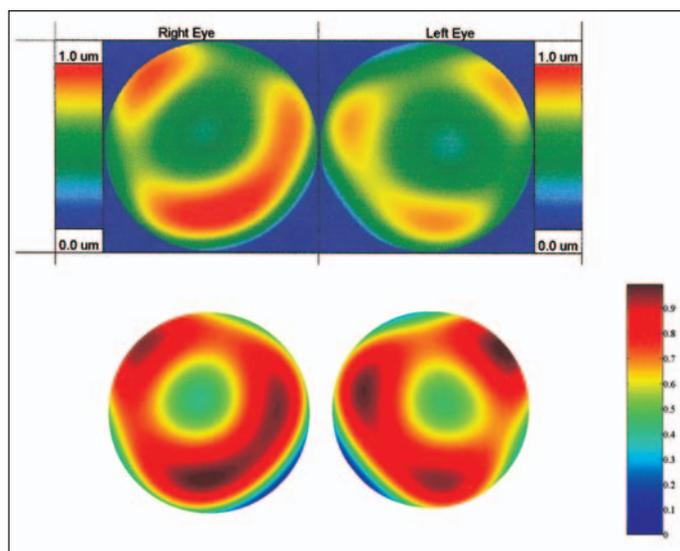


Abb. 5. **Oben:** Die bei einem Augenoptiker vermessenen und ausgedruckten Wellenfronten (nur AHO) **Unten:** Simulation dieser Wellenfronten, die auf den Daten des Datenblattes und eigenen Berechnungen basiert. Die Falschfarben-Darstellungen sind nicht identisch. Eine sehr gute Übereinstimmung kann trotzdem festgestellt werden.

Die numerischen Ergebnisse für Koma, Dreiblattfehler (Trefoil oder auch dreistrahligem Astigmatismus genannt) und sphärische Aberration werden im Datenblatt als Beträge (ohne Vorzeichen und Richtung) ausgewiesen. Diese Angaben beziehen sich auf folgende Kombination von Zernike-Koeffizienten, die gemäß dem OSA-Standard angegeben sind, (vgl. Wessmann, DOZ):

$$c_{\text{Koma}} = \sqrt{(c_3^{-3})^2 + (c_3^{+3})^2} \quad (1)$$

$$c_{\text{Trefoil}} = \sqrt{(c_3^{-1})^2 + (c_3^{+1})^2} \quad (2)$$

$$c_{\text{sph. Aber.}} = |c_4^0| \quad (3)$$

Normalerweise werden diese Koeffizienten in der Einheit μm angegeben. Auf den neueren Datenblättern findet man allerdings stattdessen auch die Einheit Dioptrie. Die Umrechnung erfolgt dann nach folgender Relation

$$c_x/\text{dpt.} = \frac{16\sqrt{3}}{D^2} c_x/\mu\text{m} \quad (4)$$

wobei x = (Koma, Trefoil, sph. Aber.) Der Durchmesser der Pupille wird mit D bezeichnet und muss in mm eingesetzt werden. Der Koeffizient in Dioptrien c_x/dpt gibt diejenige rein sphärische Wellenfrontdeformation an, deren Verdellerung gegenüber einer planen Welle (im Sinne von RMS) genauso groß ist wie die der betrachteten AHO mit dem Koeffizienten $c_x/\mu\text{m}$. Für den hier verwendeten Pupillendurchmesser von $D = 4,5 \text{ mm}$ erhalten wir die Umrechnungsformeln

$$c_x/\text{dpt.} = 1,37 \cdot c_x/\mu\text{m} \quad (5)$$

$$c_x/\mu\text{m} = 0,73 \cdot c_x/\text{dpt} \quad (6)$$

Die Frage, unter welchen Bedingungen ein Auge ein guter Kandidat für eine Wellenfrontkorrektur ist, hängt offenbar auch von den gerade diskutierten Koeffizienten für Koma, Trefoil und sph. Aberration ab. Welches Kriterium für die Entscheidung letztlich maßgebend ist, konnte aber nicht geklärt werden.

■ Experimenteller Aufbau

Zur Vermessung der Gläser wurde ein kommerzielles Hartmann-Shack-System verwendet, vgl. Abb. 6.

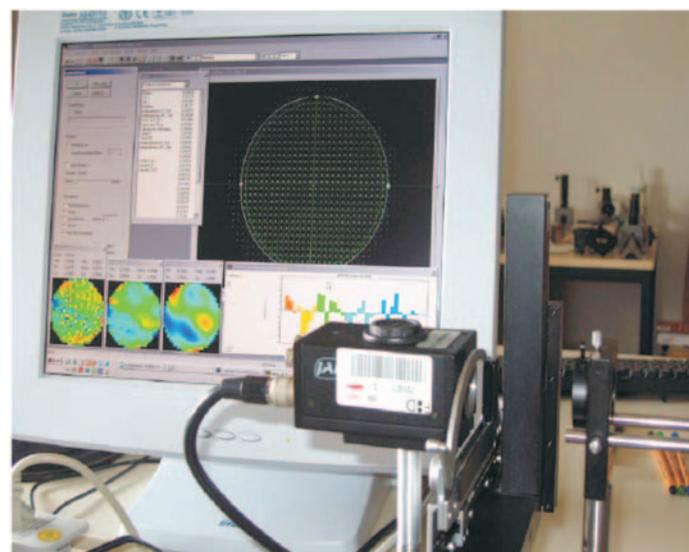


Abb. 6: Experimenteller Aufbau zur Vermessung der Brillengläser: Kollimierter Laserstrahl (nicht im Bild), Blende mit Durchmesser 4,5 mm (ganz rechts), x-y-Tisch zur Aufnahme des Brillenglases und Hartmann-Shack-Sensor. Am Bildschirm ist ein Ausschnitt aus der Auswertungs-Software zu sehen.

Ein Hartmannogramm der Messung mit einem Hartmann-Shack-Sensor mit einigen hundert Spots zeigt Abb. 7.

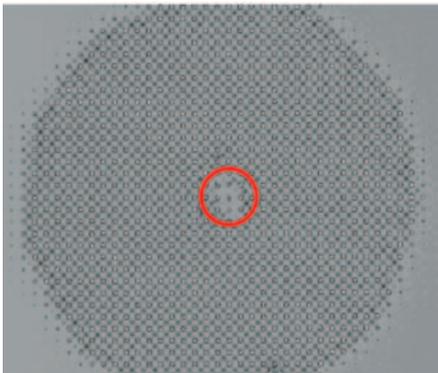


Abb. 7: Mehr als 700 Spots zeigt dieses Hartmannogramm mit der Herstellermarkierung in der Mitte, was die korrekte Zentrierung bei der Messung dokumentiert.

Das Glas wurde gemäß den Herstellermarkierungen zentral vermessen und die aus dem Glas austretende Wellenfront bestimmt. Eingangsseitig wurde ein kollimierter Laserstrahl bei 633 nm verwendet. Die Qualität der ebenen Welle wurde getrennt vermessen und geprüft. Die Verwendung einer einfallenden ebenen Welle entspricht der Betrachtung eines fernen Objektpunktes. Die gemessenen AHO beziehen sich daher auf diese Konfiguration. Um die Daten direkt mit den Herstellerangaben vergleichbar zu machen, wurde mit einem Pupillendurchmesser von 4,5 mm gemessen, der auch vom Hersteller verwendet wird.

Unsere Messergebnisse wurden für zwei Gläser von einem unabhängigen Messlabor überprüft und bestätigt.

Ergebnisse

Als erstes sollen die Ergebnisse für die herkömmlichen Abbildungsfehler zweiter Ordnung diskutiert werden. Die SZA-Werte des jeweiligen Glases und die des dazugehörigen Auges zeigt die Tab. 2. Die Messwerte wurden bei der Herstellung der Gläser sehr gut reproduziert. Eine Bindung an die Stufung in 0,25 dpt-Schritten liegt offenbar nicht mehr vor. Selbstverständlich genügen die Gläser aber dennoch der Norm.

	sph(dpt)	cyl(dpt)	A	
L	-1.00	-	-	Auge
L	-0.90	-0.06		Glas
R	-0.87	-0.25	81°	Auge
R	-0.86	-0.24	79°	Glas

Tab. 2: Die SZA-Werte der Augenmessung und des Glases. Die gemessenen Werte werden vom Brillenglas sehr gut reproduziert und unterliegen keiner Bindung an die 0,25 dpt-Stufung.

Im Rahmen der üblichen Genauigkeit der Refraktionsbestimmung stimmen die angegebenen SZA-Werte des Auges mit den bisherigen Werten des Probanden (RB) überein.

Nun betrachten wir die Ergebnisse für die AHO. Dabei beschränken wir uns auf die Beiträge 3. Ordnung, nämlich Koma und Trefoil und einem Beitrag der 4. Ordnung, der sphärischen Aberration.

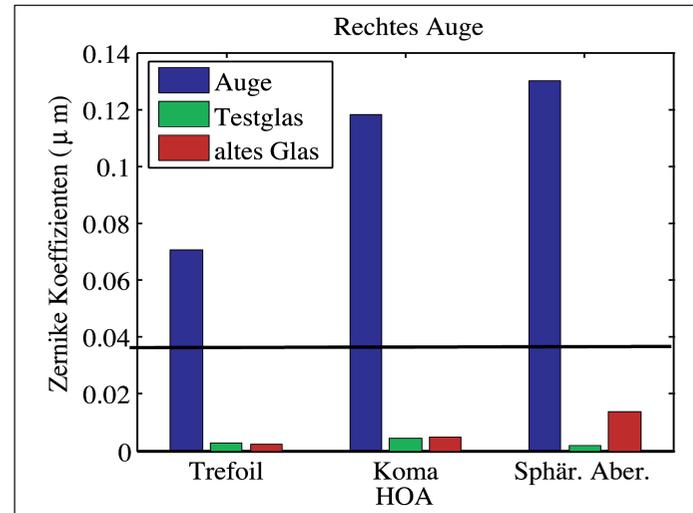


Abb. 8: Vergleich der Aberrationen Koma, Trefoil und sphärische Aberration für die Messergebnisse des Auges (blau) und den Messergebnissen des getesteten Brillenglases (grün). Eine Korrektur der AHO findet nicht statt. Die Werte der AHO unterscheiden sich nicht drastisch von einem herkömmlichen Glas (rot). In beiden Fällen liegen die Beiträge deutlich unter der Grenze beugungsbegrenzter Optik (horizontale Linie).

100 Jahre
SIGNAL IDUNA

100 Jahre Hand in Hand.

Vieles hat sich verändert, nur eines nicht: unser Anspruch.
Die SIGNAL IDUNA feiert Geburtstag. In all den Jahren sind wir einem Grundsatz treu geblieben: Als Versicherungsverein auf Gegenseitigkeit sind wir keine anonyme Gesellschaft, sondern Menschen, die Menschen helfen. Ein Anspruch, an dem wir festhalten – auch in den nächsten 100 Jahren. Infos unter 01 80/3 33 03 30 oder www.signal-iduna.de.

SIGNAL IDUNA
Versicherungen und Finanzen

Gut zu wissen, dass es SIGNAL IDUNA gibt.

In der Abb. 8 werden alle Werte der Koeffizienten c_x aus der Augenmessung als Balken dargestellt und mit den Werten des Brillenglases verglichen. Würde das Brillenglas ein Negativ der gemessenen Wellenfront erzeugen, so sollten die jeweiligen Beiträge annähernd gleiche Beträge (gleiche Balkenhöhe) und umgekehrte Vorzeichen haben. Da schon die Beträge extrem klein sind und in keiner Weise mit den gemessenen AHO in Bezug stehen, müssen die Vorzeichen nicht weiter betrachtet werden. **Das Brillenglas erzeugt fast überhaupt keine AHO.** Im Sinne der Technischen Optik wäre dies ein ideales Glas, wenn das Auge keine AHO aufweisen würde. Hier geht es aber gerade um die Frage, ob eine Wellenfrontkorrektur vorliegt, ob nämlich die AHO des Auges korrigiert werden. Dies ist offenbar nicht der Fall: eine Wellenfrontkorrektur findet nicht statt. Wir haben auch in der Umgebung der Herstellermarkierung keine anderen Messwerte gefunden.

Die Ergebnisse für das linke Auge sind analog; auch hier wurde keine Korrelation zwischen den gemessenen Werten und den AHO des Brillenglases gefunden. Wiederum sind die AHO sehr klein.

Dieser Sachverhalt kann auch anschaulich aus den Wellenfront-Darstellungen in Abb. 9 ersehen werden. Die Wellenfrontmuster haben nichts miteinander zu tun. Insbesondere liegen unterschiedliche Größenverhältnisse vor, wie aus den Skalen hervorgeht.

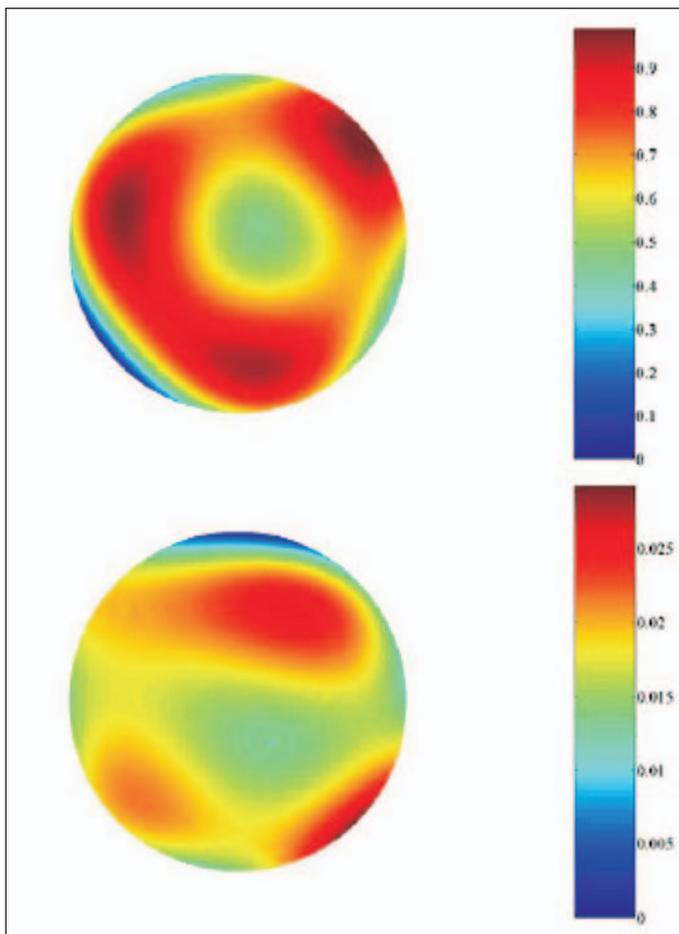


Abb. 9: Vergleich der Wellenfrontdeformationen (nur AHO) für das Auge (oben) und das Brillenglas (unten). Pupillendurchmesser: 4,5 mm. Man beachte auch die unterschiedlichen Skalen oben und unten. **Eine Korrektur der AHO findet nicht statt.**

Das geringe Ausmaß der AHO des Brillenglases ist keine Besonderheit. Wie die entsprechende Abbildung 9 zeigt, haben auch herkömmliche Gläser niedrige Werte für Koma, Trefoil und sphärische Aberration. Der Wert der sphärischen Aberration ist zwar für das herkömmliche Glas größer als bei dem Testglas, es liegen aber beide Werte unter der Grenze für beugungsbegrenzte Optik und sind damit vernachlässigbar klein.

Neben diesem Glaspaar wurden weitere vier Gläser desselben Herstellers vermessen und alle zeigen dieselbe Eigenschaft: **Eine Wellenfrontkorrektur der AHO im Sinne eines Negativs der Wellenfront findet weder ganz noch teilweise statt.**

Findet nun überhaupt eine Korrektur der AHO statt? Das hängt davon ab, wie dieser Begriff verstanden wird. Wenn darunter die explizite Reduktion der Wellenfrontdeformationen höherer Ordnung verstanden wird, also eine Wellenfrontkorrektur, dann lautet die Antwort: Nein. Wenn aber darunter die Verwendung der Daten der AHO zur Bestimmung der besten SZA-Werte verstanden wird, dann kann dies für die von uns betrachteten Gläser zumindest nicht ausgeschlossen werden. Allerdings würde sich diese Korrekturmethode dann auch nur in den ermittelten SZA-Werten bemerkbar machen. Im Fall des Glases von RB ist die Abweichung von den Werten der üblichen Refraktionsbestimmung sehr klein, so dass ein Einfluss der AHO auf die Ermittlung dieser Werte kaum nachweisbar ist.

Zusammenfassung

1. Eine Wellenfrontkorrektur, im Sinne eines Negativs der Wellenfront des Auges, ist realisierbar - aber nur für ein extrem kleines Blickfeld. Die Wellenfrontkorrektur kann für das blickende Auge, also bei einer Brillenglaskorrektur, nicht durchgeführt werden. Bei den uns vorliegenden Gläsern wurde weder für ein kleines Blickfeld noch für einen größeren Bereich um die Herstellermarkierung eine Wellenfrontkorrektur nachgewiesen. Anderslautende Werbeaussagen stehen daher für die von uns betrachteten Gläser im Widerspruch zu unseren Messergebnissen.
2. Die AHO können verwendet werden, um die besten SZA-Werte zu bestimmen. Dabei sollte ein Kriterium angegeben werden, was unter „beste“ zu verstehen ist. Die Restaberrationen des Glases sollten dann klein sein, um die so bestimmten effektiven SZA-Werte nicht wieder zu entwerten. Sie sind es auch im vorliegenden Fall. Allerdings sind die Restaberrationen in einem herkömmlichen Glas nur unbedeutend größer als bei den vermessenen Gläsern. Von einem herkömmlichen Brillenglas unterscheiden sich die Gläser daher in (möglicherweise) anderen SZA-Werten sowie der Unabhängigkeit von der 0,25 dpt-Stufung der Brillenglaswerte. Die Farbfehler der Gläser wurden bisher nicht untersucht, daher liegen auch noch keine Ergebnisse vor.

Positive Aspekte

Mit dem Angebot von neuen Gläsern, deren Abgabe an die Verwendung von Wellenfrontmessungen gekoppelt ist, wird möglicherweise das Richtige aus den falschen Gründen getan:

1. Nun finden Wellenfrontmessungen auch beim Augenoptiker statt und unterstützen die Refraktionsbestimmung. Die Häufigkeit von Fehlrefraktionen, insbesondere bei der Bestimmung der Zylinderwerte, kann so deutlich verkleinert werden. Die Messung der Wellenfront kann weiterhin frühzeitig auf Komplikationen bei der Augenglasbestimmung hinweisen, denn es liegen ja optische Informationen aus dem Innern des Auges vor. Natürlich können retinale oder neurologische Defekte nicht aufgezeigt werden!
2. Im Bereich der Augenoptik können jenseits der Verwendung eines Autorefraktometers bei der Augenglasbestimmung technologisch neue Maßstäbe gesetzt werden.
3. Mit neuen Produktionstechnologien, die Schleifschalen verzichtbar machen, kann die bisherige 0,25-dpt-Stufung der Sphäre und der Zylinderwerte aufgegeben werden. Die erwartbaren Effekte sind aber wohl eher klein. Zumindest könnte jedoch die ebenso antiquierte wie lustige gleichabständige Stufung von Sphäre und Zylinderwerten endlich ins Rutschen kommen und durch eine vernünftige Vorgabe ersetzt werden. Dies würde auch eine einfacherer Tolerierung der Gläser hinsichtlich der dioptrischen Wirkung ermöglichen.
4. Die Ausbildung in der Augenoptik wird um die Optik nun leider doch nicht herumkommen. Stattdessen werden wohl vermehrte Kenntnisse gerade in der Optik nötig, wenn die Augenoptik den technologischen Stand halten will.

Diese Untersuchung wurde durch hessische Landesmittel finanziert. Die Mittel wurden durch das Zentrum für Forschung und Entwicklung an der Hochschule Darmstadt vergeben, dem wir an dieser Stelle für die Unterstützung danken.

Kontaktadresse der Autoren:
R. Blendowske und H. Klöß,
Studiengang Optotechnik und Bildverarbeitung
Hochschule Darmstadt,
E-Mail: blendowske@h-da.de

Heinz Diepes
Kunibert Krause
Klaus Rohrschneider

Sehbehinderung

Ursachen – Auswirkungen – Versorgung

Die Autoren wollen mit dem vorliegenden Buch einen Beitrag zur Aus- und Fortbildung geeigneter Fachleute leisten, indem sie das komplexe Gebiet der Sehbehinderungen und ihrer **Rehabilitation von verschiedenen Seiten** beleuchten, wodurch Querbeziehungen offenbar werden sollen, die helfen, in möglichst vielen Fällen eine befriedigende Versorgung der betroffenen Menschen sicherzustellen.

Format 170 x 250 mm, 250 Seiten,
 105 Grafiken und Abbildungen, größtenteils farbig

49,90 €

inkl. ges. MwSt., zzgl. Porto u. Verpackung · ISBN 978-3-922269-77-9



DOZ
 VERLAG

DOZ-Verlag
Postfach 12 02 01
69065 Heidelberg

Tel: +49(0)62 21-90 51 70
 Fax: +49(0)62 21- 90 51 71

www.doz-verlag.de