

2. Fielmann Akademie Kolloquium

WELLENFRONTEN IN DER AUGENOPTIK

Samstag, 9. Februar 2008

Vorträge

Wellenfronten in der Augenoptik: Grundlagen	2
Olaf Schmidt (Fielmann Akademie Schloss Plön)	
i.Scription: Refraktion trifft High-Tech	4
Christoph Winter (Carl Zeiss Vision GmbH)	
Spezielle Abbildungsfehler und Kontaktlinsen – Stand der Technik und neue Erkenntnisse	8
Frank Spors (MSc, EurOptom, Fielmann Akademie Schloss Plön)	
Aberrationen höherer Ordnung in Brillengläsern	9
Prof. Dr. Ralf Blendowske (Hochschule Darmstadt)	
Wellenfronten aus Marketingsicht – Strategien und Konzepte für Augenoptiker	11
Tobias Ruhnke (Fielmann Akademie Schloss Plön)	
Adaptive Phoropter – Refraktionsbestimmung der Zukunft?	13
Prof. Dr. Hans-Jürgen Grein (Fielmann Akademie Schloss Plön, Fachhochschule Lübeck)	

WELLENFRONTEN IN DER AUGENOPTIK – GRUNDLAGEN

Dipl.-Ing.(FH) Olaf Schmidt (Fielmann Akademie Schloss Plön)

Optische Eigenschaften werden in der Augenoptik unvollständig beschrieben

In der Augenoptik werden die optischen Eigenschaften eines Auges und des korrigierenden Brillenglases als Rezeptwerte ausgedrückt: Die Brechkraft und die zylindrische Wirkung in Form von Scheitelbrechwerten bezogen auf den Gaußschen Raum. Alle weiteren optischen Eigenschaften wie die sphärische Aberration, die Koma oder der Dreiblattfehler werden als Abbildungsfehler bezeichnet und bleiben in der Darstellung durch Scheitelbrechwerte unberücksichtigt, obwohl sie bei der Benutzung des Brillenglases eine erhebliche Rolle spielen.

Was sind Wellenfronten?

Eine ideal brechende Linse zeichnet sich dadurch aus, dass sie alle Lichtstrahlen eines Bündels aus parallelen Strahlen in einen Punkt abbildet, nämlich in den Brennpunkt F' der Linse (siehe Abbildung 1). Dazu müssen die Strahlen am Rand des Bündels stärker abgelenkt werden als die im Zentrum des Bündels. Zusätzlich müssen auch die Laufzeiten für alle Strahlen gleich sein, um eine ideale Abbildung zu erreichen. Wenn vor der Brechung eine Reihe von „Lichtteilchen“ auf gleicher Höhe ist, dann müssen die weiter außen liegenden Strahlen nach der Brechung einen kleinen Vorsprung gegenüber dem Zentrum des Bündels haben, um gleichzeitig im Brennpunkt anzukommen. Wenn man hinter der Linse eine Messlinie annimmt und die Position der „Lichtteilchen“ zu einem bestimmten Zeitpunkt betrachtet, dann haben einige Teilchen die Linie bereits passiert, andere dagegen noch nicht.

Es ist üblich, Vorsprünge und Rückstände in Mikrometern anzugeben und sie farbig

zu codieren: Rot bedeutet einen Vorsprung, Blau bedeutet einen Rückstand.

Ein Lichtbündel ist dreidimensional. Sind alle beteiligten „Lichtteilchen“ gleichauf, ergibt sich eine ebene Fläche. Sie wird als ebene Wellenfront bezeichnet. Nach der Brechung ergibt sich eine gewölbte Form, die verformte Wellenfront.

In der Abbildung 2 sind die Wellenfronten zum Zeitpunkt $t=0$ und zum Zeitpunkt der Messung nach der Brechung in der Auf-

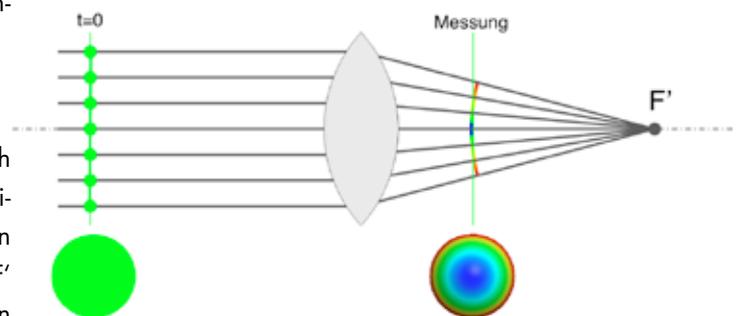


Abbildung 1

Anwendung auf das Auge

Die Idee der Wellenfronten lässt sich auf Messungen am Auge anwenden, indem das oben geschilderte Modell umgekehrt angewendet wird: Ein ideal rechtsichtiges Auge erzeugt aus einem Lichtpunkt auf der Netzhaut eine ebene Wellenfront. Reale Augen haben komplizierte optische Eigenschaften und erzeugen aus einem Lichtpunkt auf der Netzhaut eine kompliziert verformte Wellenfront. Wellenfrontensensoren arbeiten mit dieser Eigenschaft: Sie projizieren einen Lichtpunkt auf die Netzhaut des Auges. Dieser Punkt wird durch das Auge nach außen abgebildet und der Wellenfrontensensor vergleicht die aus dem Auge austretenden Strahlen mit einer ebenen Wellenfront.

sicht dargestellt. Aus der Darstellung ergibt sich der Sinn einer Farbcodierung: Ähnlich wie bei einer topographischen Landkarte lässt sich die Höhe und damit die relative zeitliche Anordnung der Einzelstrahlen anhand der Farbe ablesen.

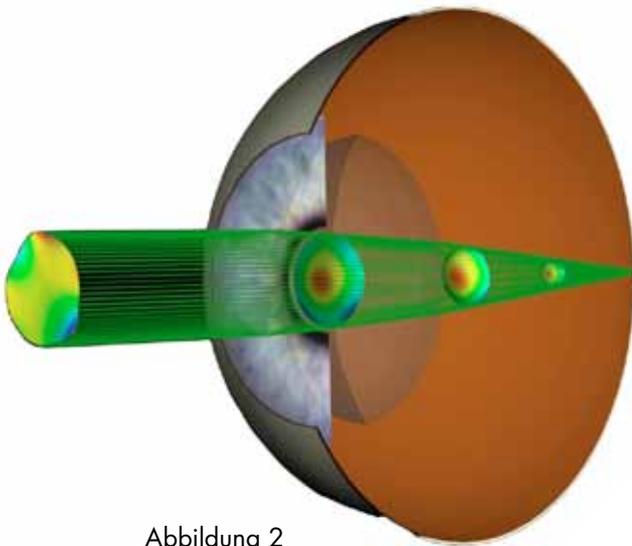


Abbildung 2

Beschreibung von Wellenfronten

Wellenfrontensensoren erfassen eine Wellenfront, in der sich die Summe aller Abbildungseigenschaften zeigt. Zur Beschreibung dieser Eigenschaften haben sich die Zernikepolynome durchgesetzt. Sie bieten gegenüber anderen Verfahren einige Vorteile:

Jede optische Eigenschaft ergibt einen Zahlenwert. Mit Hilfe der Zernikepolynome lassen sich die Brechkraft, der Astigmatismus, die Koma, der Dreiblattfehler und viele weitere einzeln quantifizieren und grafisch darstellen. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Abbildungsfehler eines Auges anschaulich darzustellen. Zernikepolynome sind kreisförmig und können deshalb berücksichtigen, dass sich die optischen Eigenschaften des Auges mit der Pupillengröße ändern.

I.SCRPTION – SEHEN NEU ERLEBEN

Peter Henrik Koch (Carl Zeiss Vision)

Die Wellenfronttechnologie ermöglicht es erstmals die Abbildungseigenschaften des Auges über die komplette Pupillenweite zu ermitteln. Hiermit lassen sich Besonderheiten beim Sehen bei unterschiedlichen Lichtbedingungen erstmals erfassen!

Diese Wellenfront-basierte Messung liefert wertvolle Hinweise für die anschließende Refraktion und zeigt Wege für Korrekturen auf, die mit traditionellen Untersuchungsmethoden bisher nicht bestimmbar waren.

Der Grund liegt in der erstmaligen Erfassung von Aberrationen höherer Ordnung des Auges. Diese Werte können anschließend auch zur Berechnung und Fertigung individueller Brillengläser (i.Scription) herangezogen werden.

Ursachen für Aberrationen, die das Sehen beeinflussen können

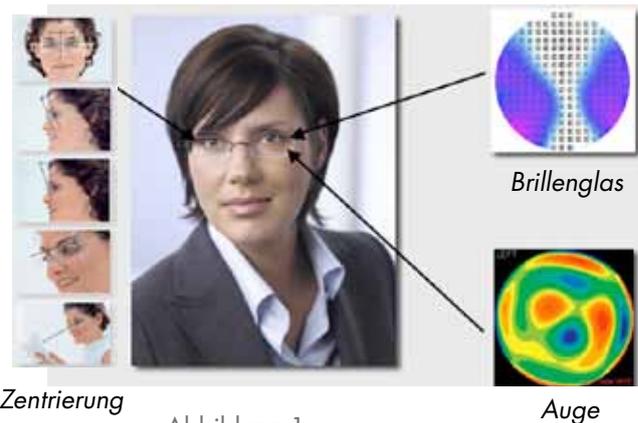
Bei der Betrachtung des optischen Systems „Brille – Auge“, gibt es drei Bereiche, in denen Aberrationen (Abbildungsfehler) auftreten können:

- Das Auge ist kein perfektes optisches System
- Das Brillenglas
- Das Zusammenspiel von Brillenglas und Auge (Zentrierung!)

Die Abbildungsqualität von Brillengläsern ist seit langem im Focus der optischen Industrie. Hier wird fast immer sichergestellt, dass Brillengläser exakt die Wirkung erzeugen, die gewünscht ist und unerwünschte Aberrationen vermieden werden.

Unerwünschte Aberrationen können aber entstehen, wenn die Brillengläser nicht

optimal zum Auge positioniert sind, sprich, die Zentrierung nicht gemäß den Vorgaben vorgenommen wird.



Zentrierung

Abbildung 1

Auge

Eine „Unbekannte“ bleibt das Auge selbst. Man kann weder durch gute Fertigung noch durch gute Zentrierung die Qualität verbessern. Bisher sind wir einzig auf die subjektiven Angaben des Kunden angewiesen, um die bestmögliche Korrektur zu bestimmen.

Aberrationen des Auges

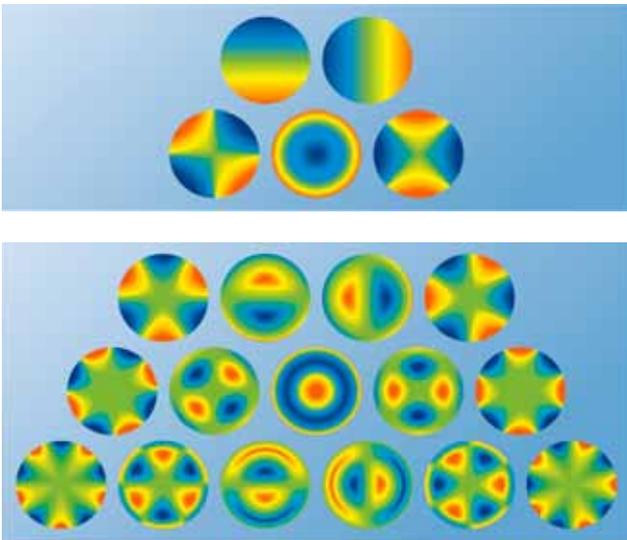
Um die Abbildung eines optischen Elements zu beschreiben, sind wir gewohnt, dieses mit Sphäre (sph) und Zylinder (cyl + A) zu tun. Wir wissen aber, dass wir mit diesen Parametern die Abbildung nicht komplett beschreiben können.

Da es sich um eine mehr oder weniger irreguläre Abbildung handelt, hat man die Flächenbeschreibungen des holländischen Wissenschaftlers Zernike herangezogen, um die Abbildung genauer zu beschreiben. Üblicherweise werden diese Aberrationen in Form einer „nach unten offenen“ Pyramide dargestellt.

Grenzen der traditionellen Augenglasbestimmung

Zwei Phänomene begrenzen die Präzision der traditionellen subj. Refraktion:

1. Die Pupillenweite bei der Refraktion
Die Refraktion findet i. d. R. mit schwarzen Sehzeichen auf sehr hellem Untergrund statt, somit haben wir eine relativ geringe Pupillenweite (ca. 3 mm). Die Folge ist eine erhöhte Schärfentiefe des Auges von ca. 0,25 dpt. (Somit macht die Stufung der Messgläser auf 0,25 dpt auch Sinn.)



Messung von Aberrationen

Das Wissen über die Aberrationen wird für den Fehlsichtigen jedoch erst dann sinnvoll, wenn es Möglichkeiten gibt, diese Aberrationen auch zu erfassen. Dieses ist mit modernen Wellenfront-Aberrometern (z. B. i.Profiler) nunmehr möglich!

Die Geräte messen und analysieren eine Wellenfront (ausgesendet von der Netzhaut) und sind somit in der Lage, die Abbildung über die komplette Pupillenweite zu erfassen. Das Ergebnis sind viel differenzierte Aussagen zur Abbildung des Auges:

Abbildung 2

Aberrationen niederer Ordnung, wie Prisma, sph und cyl Mit Brillengläsern korrigierbar

Aberrationen höherer Ordnung, Sph. Aberration, Dreiblatt, Koma, etc. Mit Brillengläsern nicht direkt korrigierbar!

In Situationen mit weniger optimalen Beleuchtungsbedingungen kann diese grobe Stufung zu Visuseinbußen führen, da nunmehr aufgrund der geweiteten Pupillen eine geringere Schärfentiefe vorliegt.

2. Aberrationen höherer Ordnung (HOA)
Das Vorhandensein dieser Aberrationen sorgt neben der kleinen Pupille für weiter „undefinierbare“ Unschärfen, die eine Refraktion beeinträchtigen können. Darüber hinaus haben die HOA zur Folge, dass sich die Refraktion mit der Änderung der Pupillenweite auch verändert!

- Unterschiedliche Refraktionen bezogen auf unterschiedliche Pupillenweiten
- Jeweils Aufspaltung der gemessenen Wellenfront in einzelne Fehler-Komponenten mit Betrag und Richtung

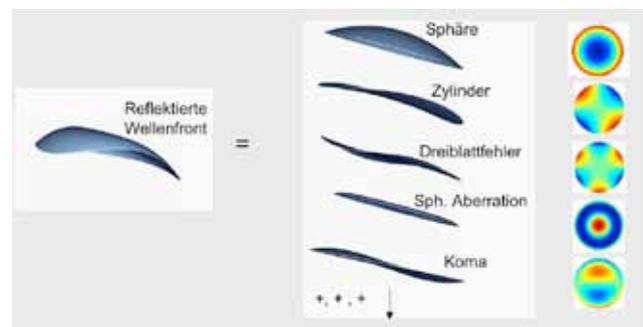


Abbildung 3

Aberrationen höherer Ordnung: Umsetzung für eine Brillenglaskorrektur

Aberrationen höherer Ordnung lassen sich bekannterweise nicht direkt mit Brillengläsern korrigieren. Jedoch lässt sich mit Kenntnis der HOA eines Auges und der Abbildung des Auges bei geöffneter Pupille eine sphäro-zylindrische Korrektur bestimmen, die zusätzliche Parameter berücksichtigt. Somit kann besonders bei ungünstigen Lichtverhältnissen (= geöffnete Pupille) eine Verbesserung des Sehens erreicht werden.

Zeiss hat hierfür einen Algorithmus entwickelt, der sowohl die objektive Wellenfrontmessung als auch die weiterhin notwendige subjektive Refraktion berücksichtigt. Dieses Rechenverfahren berücksichtigt darüber hinaus auch bekannte physiologische Phänomene des Sehens.

Das aufwendige Rechenverfahren wird nun verkürzt und vereinfacht dargestellt:

1. Die gemessene Wellenfront wird in Zernike Polynome aufgesplittet
2. Die Zernike Polynome beider Augen sowie die subjektive Refraktion werden an Zeiss übermittelt.
3. Zeiss erzeugt aus den Zernike Polynomen eine sog. Point-Spread-Function (PSF). Die PSF gibt an, als welche Figur ein Punkt aus dem Unendlichen auf der Netzhaut abgebildet wird.
4. Anhand der PSF wird eine sphäro-zylindrische Korrektur errechnet, die einem Punkt am nächsten kommt.

5. Da der i.Profiler eine monokulare Messung aus einem Einblickgerät liefert, ist die Einflussnahme der subjektiven Refraktion zwingend. Das Sehgleichgewicht beider Augen muss erhalten bleiben!

Somit werden das objektive Messergebnis der Wellenfront-Messung und die subjektive Refraktion auf intelligente Art kombiniert.



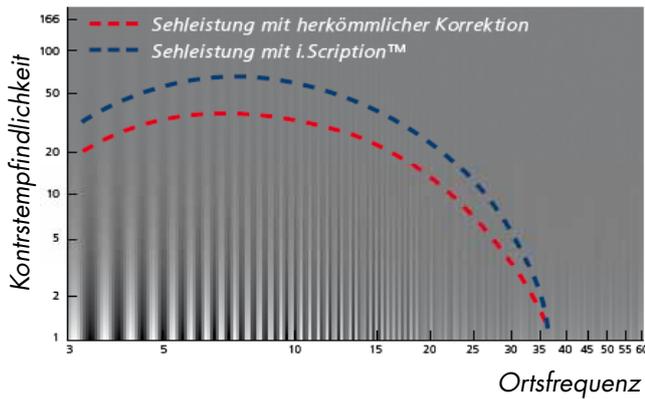
Abbildung 4

Das Ergebnis sind Brillengläser mit i.Scription. Dieses Verfahren kann Zeiss auf alle Rezeptgläser anwenden.

Wo liegt der Grund für eine mögliche Verbesserung des Sehens besonders bei ungünstigen Lichtbedingungen?

Da die Messung bei relativ geöffneter Pupille erfolgt, erfasst man auch Aberrationen, die bei einer subjektiven Refraktion (kleiner Pupillen-Durchmesser) nicht erfasst werden konnten. Somit wird es vielfach gewisse Abweichungen zur subj. Refraktion geben, die sich besonders bei ungünstigen Lichtverhältnissen positiv auf das Sehen auswirken.

Verbesserung der Kontrastempfindlichkeit durch i.Scription



Die Grafik versucht dieses anhand von Ortsfrequenzen darzustellen. Man sieht, i.Scription steigert nicht unbedingt den maximalen Visus, aber steigert das Kontrastsehen.

**i.Scription –
Überraschende Ergebnisse**

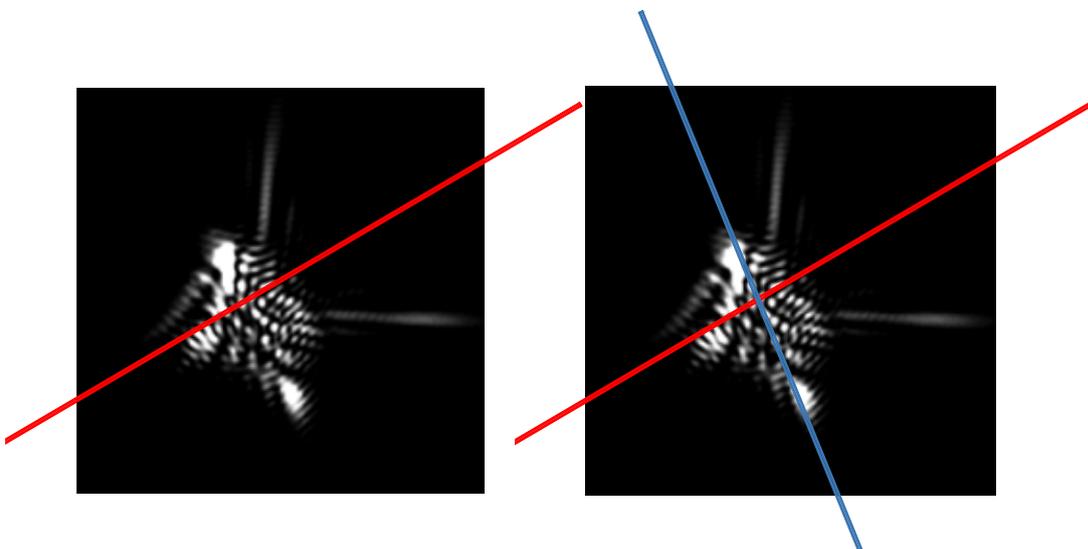
Betrachtet man sich die Point Spread Function (PSF) oder auch die Wellenfront-Abbildungen, so ergibt sich, dass es manchmal nicht nur eine mögliche Korrektionsachse für den Zylinder gibt.

Dieses widerspricht dem traditionellen „Weltbild“, nachdem 90° entgegen der gemessenen Zylinderachse der Visus am schlechtesten sein sollte. Den Grund hierfür liefern auftretende HOA (besonders die mehrachsigen Astigmatismen).

Schlussbemerkungen

Die Wellenfronttechnologie ermöglicht eine viel differenziertere Analyse der Abbildungseigenschaften der Augen. Besonders bezüglich des korrigierenden Zylinders und dessen Achse lassen sich neue Aspekte bestimmen und für die Brillenglaskorrektur nutzen.

Die Kenntnis über Aberrationen höherer Ordnung wird unser Vorgehen bei der Refraktion zukünftig beeinflussen, da die HOA oftmals der Grund für bisher unerklärliche Reaktionen der Kunden bei Refraktionen sind. Dass Kunden teilweise unpräzise oder unerwartete Aussagen machen, hat nicht immer etwas mit deren vermeintlichen Intelligenzquotienten zu tun, sondern die Analyse aller Abbildungsfehler kann oft die Erklärung für diese Verhalten bringen.



SPEZIELLE ABBILDUNGSFEHLER UND CONTACTLINSEN

Stand der Technik und neue Erkenntnisse

Frank Spors, MSc, EurOptom (Fielmann Akademie Schloss Plön)

Wellenfronten und wellenfrontkorrigierte Optiken sind derzeit in aller Munde. Die Messung und Korrektur von Abbildungsfehlern höherer Ordnung für das visuelle System sind der neue Trend in der Augenoptik. Während bei Brillengläsern die Korrektur von Abbildungsfehlern höherer Ordnung für die Nutzung am blickenden und bewegten Auge derzeit technisch nicht möglich ist, bieten Kontaktlinsen in dieser Hinsicht ein großes Potenzial. Hier werden bereits Korrekturen der sphärischen Aberration in ganz unterschiedlichen Systemen durchgeführt. Einige Hersteller korrigieren dabei die Eigenaberration der Linsen, andere korrigieren zusätzlich die sphärische Aberration des Auges über einen Pauschalbetrag. Dieser ist bezogen auf einen statistischen Mittelwert.

Der Vortrag gibt einen Überblick über die relevanten Abbildungsfehler, ihre Verteilung und Konzepte zur Korrektur. Des Weiteren wird die Rolle der Abbildungsfehler höherer Ordnung in der Physiologie des menschlichen Auges und ihre Auswirkung auf die visuelle Wahrnehmung beleuchtet. Zum Abschluss folgt ein Ausblick auf mögliche zukünftige Korrekturkonzepte.

ABERRATIONEN HÖHERER ORDNUNG IN BRILLENGLÄSERN

Prof. Dr. Ralf Blendowske (Hochschule Darmstadt)

Alles, was Sie über die Bestimmung von Sehhilfen wissen, hat sich geändert, sagt die Firma Ophthonix (USA), deren Brillengläser iZon in Deutschland von der Firma Oculus vertrieben werden. Neu sei neben der Korrektur von Sphäre, Zylinder, Achse (SZA-Werte) die Korrektur der Aberrationen höherer Ordnung (AHO). Die Gläser wurden mit folgenden Eigenschaften beworben:

- Wellenfrontkorrektur des Auges ohne chirurgischen Eingriff
- sprechen die Aberrationen höherer Ordnung an, die für jeden Menschen individuell verschieden sind („Fingerabdruck“)
- intensivere Farben
- größere Tiefenschärfe
- perfektes Dämmerungs- und Nachtsehen

Die Möglichkeit der Korrektur der AHO des Auges wurde schon 1961 von Smirnov betrachtet, aber für die Brille verworfen: Prinzipiell ist es möglich, eine Linse zu produzieren, die die Aberrationen höherer Ordnung korrigiert. Dies muss dann klarerweise aber eine Kontaktlinse sein. Andernfalls würden kleine Blickbewegungen des Auges einen drastischen Anstieg der Bildfehler des Gesamtsystems hervorrufen. (Biofizika 6, 687-703, 1961)

Objektive Messung

Die Korrektur der AHO, die die erstaunlichen Eigenschaften der iZon-Gläser bewirken sollte, wurde an der Hochschule Darmstadt mit objektiven Messmethoden (Hartmann-Shack-Sensor) untersucht und publiziert (DOZ 6-2007, S. 18-25., siehe auch DOZ 8-2007, S. 10-11). Das Ergebnis lautet:

- Eine Korrektur der Aberrationen höherer Ordnung findet bei iZon-Gläsern nicht statt.
- Die üblichen SZA Werte werden gut reproduziert.

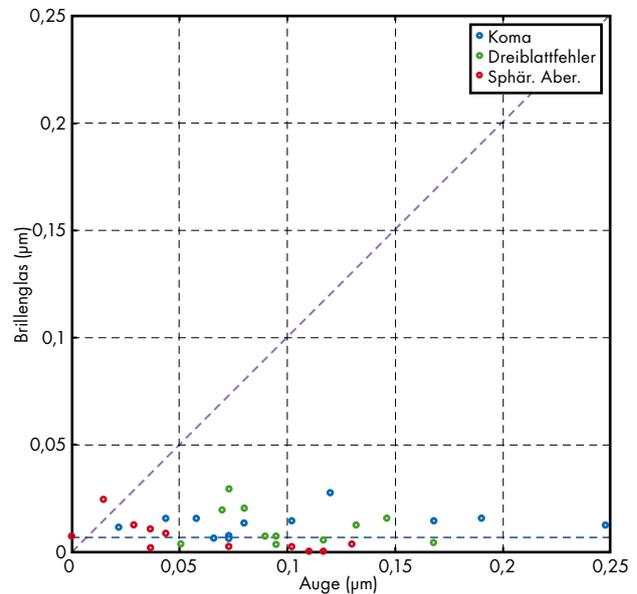


Abbildung 1 zeigt die Messergebnisse für 12 Gläser. Die AHO sind getrennt für die drei Typen Koma, Trefoil und sphärische Aberration dargestellt. Auf der Abszisse sind die Soll-Werte des Wellenfrontmessgerätes Zview der Firma Ophthonix dargestellt. Auf der Ordinate sind die tatsächlich im Glas gemessenen Werte aufgetragen. Alle Werte unter 0,05 m können als Rauschen vernachlässigt werden. Bei einer wie immer gearteten Korrektur der AHO müssten die Messwerte der Gläser in der Nähe der magenta-farbenen Diagonale liegen. Stattdessen zeigen die realen Werte keine Korrelation mit den im Auge gemessenen AHO. Die typischen AHO eines normalen Einstärkenglases zeigt die durchgezogene horizontale Linie an.

Im Januar 2008 hat Oculus die Aussagen über die Korrektur der AHO in Izon-Gläsern wie folgt geändert: Es werden keine Abbildungsfehler höherer Ordnung korrigiert. Die AHO des Auges und des Brillenglases werden als Best-Fit-Funktion im Brillenglas berücksichtigt. Es bleibt unklar, was damit gemeint ist.

Subjektive Messung

Auf der ARVO 2008 wurde von T. Kuyk et al. eine Untersuchung vorgestellt (992/D848), bei der für 20 Probanden iZon-Gläser mit normalen Gläsern verglichen wurden. Der Visus wurde mit Sehzeichen mit hohem und niedrigem Kontrast bestimmt, und zusätzlich wurde die Kontrastempfindlichkeit bei unterschiedlichen Leuchtdichten gemessen. Im Ergebnis konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gläsern beobachtet werden.

Ergebnis

Weder objektiv bei Messungen an den iZon-Gläsern noch subjektiv bei Untersuchungen an Probanden konnten bisher die behaupteten Eigenschaften der iZon-Gläser nachgewiesen werden.

AHO und ihre Bedeutung

Die AHO machen sich normalerweise nur bei großen Pupillendurchmessern ($> 3\text{mm}$) bemerkbar. Die Pupillengröße wird durch die Umgebungsleuchtdichte beeinflusst.

Bei älteren Menschen sinkt der maximale Pupillendurchmesser mit dem Alter deutlich ab und liegt bei 65 Jahren bei etwa 5 mm. Der Einfluss der AHO auf die Bildqualität ist dann aber eher klein.

Probleme des Nachtsehens, insbesondere beim Autofahren, werden überwiegend durch Streulicht im Auge und nicht durch AHO erzeugt. Dieser Effekt kann aber weder mit Brillen noch mit Kontaktlinsen gemindert werden. Das Versprechen eines besseren Nachtsehens ist daher oft problematisch und risikoreich.

Bei größeren AHO, seien sie natürlichen Ursprungs oder Folge eines chirurgischen Eingriffs (bspw. Lasik), kann es nützlich sein, diese AHO in die Bestimmung der SZA-Werte einfließen zu lassen. Die Firma Carl Zeiss Vision bietet eine solche Berechnung unter dem Namen i.Scription an. Empirische Studien dazu wurden bisher nicht veröffentlicht.

Quasi als Nebeneffekt hat die Messung der AHO einen neuen erfolgreichen Auto-refraktometertyp hervorgebracht, der auf der Vermessung der Wellenfront des Auges basiert. Im deutschen Markt sind die Systeme Zview von Ophthonix und i.Profiler von Carl Zeiss Vision vorhanden, wobei sich der i.Profiler von ZView beispielsweise dadurch unterscheidet, dass die gemessenen Daten offen zugänglich sind. Es ist absehbar, dass diese Art der Vermessung des Auges sich in wenigen Jahren zu einem Standard in der Augenoptik entwickeln wird. Eine entsprechende Schulung und Ausbildung der Augenoptiker für diese Geräte scheint mir daher zwingend zu sein.

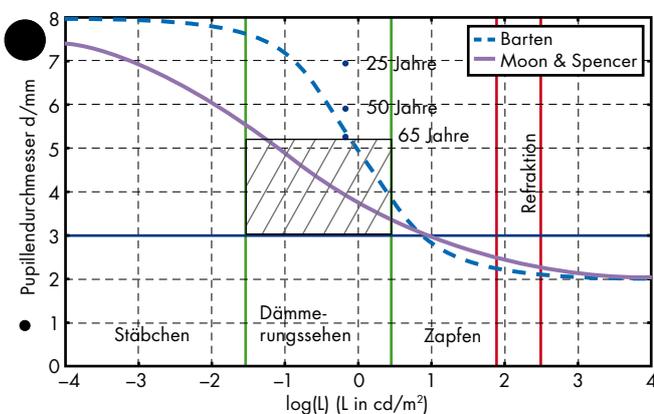


Abbildung 2 zeigt den Durchmesser gemäß zweier Fitformeln in Abhängigkeit von der Leuchtdichte L . Erst beim Dämmerungssehen wird die Korrektur der AHO bedeutsam.

WELLENFRONTEN AUS MARKETINGSICHT

Strategien und Konzepte für Augenoptiker

Dipl. Kfm., Dipl. VW Tobias Ruhnke, Staatl. gepr. AO (Fielmann Akademie Schloss Plön)

Wenn Hersteller der optischen Industrie mit Produktinnovationen auf den Markt gehen, stellen sich für Augenoptiker neben technischen Fragen auch solche der Vermarktung. Die Entscheidungsfindung pro oder contra Wellenfrontprodukte ist da keine Ausnahme. Im Gegenteil: während z. B. die Entscheidung für oder gegen ein neues Gleitsichtglas relativ leicht zu fällen ist, muss bei den Wellenfrontprodukten vorsichtiger vorgegangen werden, da sich aus Marketingsicht einige Besonderheiten ergeben.

Anders als z. B. bei Gleitsichtgläsern, deren Grundkonzeption im Prinzip gleich ist, wird mit dem Begriff Wellenfront sehr Unterschiedliches kommuniziert; die verschiedenen Produkte der Hersteller haben außer diesem Begriff kaum etwas gemeinsam.

Die Faktenlage – und damit der objektive Kundennutzen – ist unklar. Die verschiedenen Produkte sind nicht einfach alle gut und nur für unterschiedliche Kundentypen besser oder schlechter geeignet, sondern die wissenschaftliche Diskussion stellt den Sinn mancher Konzeptionen grundsätzlich in Frage.

Wellenfront-Brillengläser sind in der Regel nicht einfach bestellbar, sondern benötigen eine zusätzliche Ausstattung, wie ein Aberrometer, das mit ca. 30.000 € zu Buche schlägt.

All diese Faktoren bedeuten für den Augenoptiker einen höheren Informations- und Investitionsbedarf und damit ein höheres Risiko. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Entscheidungsfindung einmal anhand eines idealtypischen Ablaufs der Strategieent-

wicklung im Marketing zu betrachten, wie sie schematisch in der Abbildung (aus Homburg/Krohmer, „Marketingmanagement“, 2006) dargestellt ist.



Strategien sind langfristig angelegt und können nicht problemlos revidiert werden. Daher sollte jede Marketingstrategie vom Unternehmenszweck – der „Business Mission“ – ausgehen und auf diese abgestimmt sein. Für den Augenoptiker bedeutet dies, klar herauszustellen, wo er sich innerhalb des Wettbewerbs sieht, welche Kunden er gezielt anvisiert und wie sich diese Position mittel- und langfristig verändern soll.

Aus der Business-Mission leiten sich dann konkretere Ziele ab, die sich auf unternehmerische Erfolgsgrößen beziehen und bezifferbar sind. Aus diesen wiederum ergeben sich strategische Optionen und Handlungsfelder, die auch produktpolitische Entscheidungen mit einbeziehen. Neue Produkte sollten dann als Strategische Geschäftseinheit (SGE) geführt werden, also wie ein Unternehmen im Unternehmen mit eigener Erfolgsmessung und marketingstrategischer Aufgabe. Hier wird es nun für die Wellenfrontprodukte konkret: sie werden zu SGEs im Augenoptikbetrieb. SGEs sind da-

bei immer auf ein bestimmtes Marktsegment bezogen, d. h. auf eine innerhalb der mitunter sehr heterogenen Käuferschaft möglichst homogene Gruppe in Bezug auf die kaufverhaltensrelevanten Eigenschaften.

Der Vortrag führt weiterhin eine Break-Even-Betrachtung durch und geht dann auf die konkrete Ausgestaltung der Marketingaktivitäten ein, den so genannten Marketing-Mix. Insbesondere wird der Begriff des Kundennutzens herausgearbeitet, dessen subjektive Komponente häufig vernachlässigt wird, die im Bereich der Wellenfrontprodukte allerdings von Bedeutung ist. Die Qualität eines Produktes ist der vom Kunden subjektiv wahrgenommene Nutzen; hierzu zählt auch der Zusatznutzen, wie Lebensfreude usw. Eine halbe Visusstufe mehr kann für Kaufentscheidungen von Kunden durchaus maßgeblich sein.

ADAPTIVER ECHTZEITPHOROPTER

Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. (FH) Hans-Jürgen Grein (Fachhochschule Lübeck /
Fielmann Akademie Schloss Plön)

Neben sphärischen und zylindrischen Abbildungsfehlern, die durch Brillengläser oder Kontaktlinsen korrigiert werden können, gibt es weitere Abbildungsfehler des Auges, die aber bisher nur schwer zu korrigieren sind. Diese Abbildungsfehler höherer Ordnung lassen sich in Form der Zernike Polynome darstellen. Mathematische werden die feinen Wellenfrontdeformationen in Einzelbestandteile zerlegt, die getrennt voneinander betrachtet werden können. Alle Aberrationen höherer Ordnung beeinträchtigen die Abbildungsgüte eines optischen Systems. In Form der sog. Wellenfrontaberrometer stehen mittlerweile Messgeräte zur Erfassung dieser Aberrationen höherer Ordnung zur Verfügung. Wesentlicher Bestandteil ist der sogenannte Hartmann-Shack-Sensor. Ein Feld winziger nebeneinander angeordneter Linsen bildet die Wellenfront auf einem Sensor ab. Über die Verschiebung der einzelnen Bildpunkte zum Idealort kann die Wellenfrontform berechnet werden.

Technisch ist es möglich, wellenfrontoptimierte Sehhilfen zu fertigen. Sobald jedoch Blickbewegungen hinter den Sehhilfen ausgeführt werden, verschlechtert sich zwangsläufig das Sehen. Brillen sind folglich für diese Korrekturen nicht geeignet. Auch Kontaktlinsen bewegen sich auf dem Auge und können nicht eingesetzt werden. Perspektivisch könnten Intraokularlinsen geeignet sein, da diese absolut ortsfest sitzen.

Die Ausprägung der Aberrationen höherer Ordnung ist individuell sehr unterschiedlich. Nicht jeder Mensch würde aber von einer Korrektur profitieren. Selbst bei vollständiger Korrektur der Aberrationen höherer Ordnung ist durch physiologische

und beugungsoptische Grenzen der Visus kaum über 2,0 steigerbar. Das Rezeptoren-raster der Netzhaut ist dabei ein limitierender Faktor. Brechungsoptisch lässt sich die chromatische Aberration am Auge nicht umgehen. Darüber hinaus gibt es Lichtstreuungen durch Inhomogenitäten der optischen Medien des Auges.

Bisher fehlen Refraktionsmöglichkeiten, die den subjektiven Effekt von Korrekturen der Aberrationen höherer Ordnung messbar machen. In einem Verbundforschungsprojekt des Studienganges Augenoptik der FH Jena mit dem Institut für angewandte Optik der Friedrich-Schiller-Universität Jena, der Fa. Carl-Zeiss-Meditec und Ophthalmoinnovation Thüringen wird ein adaptiver Echtzeitphoropter entwickelt. Das Projekt wird mit Bundesmitteln unterstützt. Mit Hilfe eines adaptiven Spiegels, dessen Oberfläche so fein deformiert werden kann, dass Abbildungsfehler gezielt korrigiert werden können, soll ein neuartiger Phoropter entstehen. Damit kann unmittelbar die Auswirkung der wellenfrontoptimierten Optik auf die verschiedenen Sehfunktionen getestet werden. Der Nutzen einer technisch aufwendigen Korrektur von Aberrationen höherer Ordnung wäre also bereits bei der Refraktionsbestimmung beurteilbar.