

# REFRAKTION: DER HORNHAUTSCHEITELABSTAND IST WICHTIG!

Die Bedeutung des Hornhautscheitelabstands (HSA), also des Abstands vom Hornhautscheitel des Auges bis zur augenseitigen Fläche des Brillenglases, ist bekannt, wird in der Praxis jedoch meist nur bei hohen Korrektionswerten berücksichtigt. Solange Brillengläser lediglich in Schritten von 0,25 Dioptrien angeboten wurden, hatte dies auf die meisten Korrekturen kaum Auswirkungen. Da man die Refraktion heute in 0,01 dpt Abstufungen<sup>(\*)</sup> bestimmen und entsprechend genaue Brillengläser herstellen kann, haben die Kenntnis des HSA und seine Messung eine ganz besondere Bedeutung. Dieser Artikel befasst sich mit den optischen Auswirkungen des HSA, zeigt, wie unterschiedlich der Abstand zwischen Auge und Phoropter sein kann und erläutert, wie dieser Wert für die Berechnung von Korrektionsgläsern berücksichtigt werden kann.



**Mathilde Sebag**  
Studienleiterin  
Abteilung Forschung & Entwicklung  
Division Instruments  
Essilor International

Mathilde Sebag, eine auf Sehwissenschaften spezialisierte Gesundheitsingenieurin, begann ihr Studium an der EOL (Ecole d'Optique Lunetterie) in Lille (Frankreich), setzte es dann am ICO (Institut et Centre d'Optométrie) in Bures-sur-Yvette (Frankreich) fort und machte ihren Abschluss an der Universität Paris Sud. Nach 6-jähriger Berufserfahrung in einem augenoptischen Betrieb stieg sie 2019 in die Abteilung Forschung & Entwicklung der Division Instruments der Essilor International Gruppe ein. Sie ist hier als Studienleiterin im Bereich Optometrie, Wissenschaft & Innovation tätig und trägt zur Entwicklung neuer Optometrieeräte bei.



**Dominique Meslin**  
Direktor Refraktionslösungen  
Division Instruments  
Essilor International

Der ausgebildete Augenoptiker und Optometrist Dominique Meslin hat den größten Teil seiner beruflichen Laufbahn bei Essilor zugebracht, zuerst in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung des Unternehmens, dann in verschiedenen technischen Positionen im Marketing und in der Unternehmenskommunikation in Frankreich und den USA. Nachdem er zehn Jahre lang den Posten des Direktors der Essilor Academy Europe bekleidet hatte, war er im Bereich Professional Relations bei Essilor Europe tätig. Heute ist er in der Division Instrumente von Essilor International für neue Refraktionslösungen zuständig. Im Laufe seiner Karriere hat Dominique Meslin zahlreiche Seminare für Augenoptiker in der ganzen Welt geleitet. Darüber hinaus hat er mehrere wissenschaftliche Publikationen und für Essilor zahlreiche technische Publikationen verfasst, wozu auch die Serie „Brillenoptik-Kompendium“ gehört.

Laut den Gesetzen der physiologischen Optik hängt die Wirkung einer Korrektion vom Abstand ab, in dem das optische System vor dem Auge platziert wird. Da das Prinzip der Korrektion darin besteht, den bildseitigen Brennpunkt des Brillenglases mit dem Fernpunkt des Auges in Übereinstimmung zu bringen, muss die Brennweite des optischen Systems durch Änderung der Glasstärke auf den Abstand von der Sehhilfe zum Auge angepasst werden. Jeder Rezeptwert für Brillengläser hängt also vom Abstand zwischen Auge und Brillenglas ab. Aus dem Grund sollte auf jeder Verordnung der zugrundeliegende Abstand zwischen Phoropter und Auge vermerkt sein. In der Praxis wird dieser Abstand jedoch nur selten angegeben.

Kontaktlinsenspezialisten kennen die Bedeutung des HSA sehr gut: Sie legen die Korrektionswerte für Brillengläser zugrunde und verringern deren Minuswirkung mithilfe von Formeln, die z. B. von den Kontaktlinsenherstellern bereitgestellt werden. Dies ist ebenfalls in der refraktiven Chirurgie der Fall, wo die Refraktionswerte auf die Ebene des Auges umgerechnet werden.

Bei Brillengläsern hängt die Auswirkung einer HSA-Änderung von der Glasstärke ab. Sie ist in den meisten Fällen relativ gering und wird normalerweise nicht berücksichtigt, weil sie geringer als die herkömmliche Korrektionsabstufung von 0,25 dpt ist. Eine Ausnahme bilden hohe Korrektionswerte. Eine Änderung von 5 mm (die unter tatsächlichen Tragebedingungen meist +/- 2,5 mm um diesen Wert variiert) führt bei einem Korrektionsbedarf von 5,00 dpt zu einer notwendigen Anpassung des Korrektionsbedarfes von mehr als 0,125 dpt und rechtfertigt eine Änderung um einen Schritt bei 0,25 dpt Abstufungen (siehe unten). Neue Phoropter mit stufenlosen Stärkenänderungen, die es ermöglichen, die Refraktion auf eine Hundertstel Dioptrie (0,01 dpt)<sup>(\*\*)</sup> genau zu bestimmen, machen es erforderlich, den Einfluss des HSA bereits ab niedrigen Korrektionswerten zu berücksichtigen. Eine Änderung um 5 mm (+/- 2,5 mm) bei einem Korrektionswert von 2,00 dpt führt bereits zu einer Anpassung um 0,02 dpt, was nicht zu vernachlässigen ist.

<sup>(\*)</sup> Der von Essilor Instruments entwickelte Phoropter Vision-R 800™

<sup>(\*\*)</sup> Für die in Korrektionsschritten von 0,01 dpt angefertigten Gläser mit der AVA™ (Advanced Vision Accuracy) Option

#### SCHLÜSSELBEGRIFFE:

Subjektive Refraktion, Phoropter, Hornhautscheitelabstand, HSA, Abstand Auge-Phoropter, genaue Brillengläser, Advanced Vision Accuracy, Vision-R 800™, AVA™.

In diesem Artikel rufen wir zuerst einmal die optischen Auswirkungen des HSA in Erinnerung und zeigen dann anhand von an Probanden durchgeführten Messungen, wie unterschiedlich der Abstand zwischen Phoropter und Auge sein kann. Schließlich befassen wir uns mit der praktischen Umsetzung dieses Parameters für die jetzt verfügbare neue Glasgeneration, die in Korrektorschritten von 0,01 dpt berechnet werden kann.

### Zur Erinnerung: die optischen Auswirkungen des HSA.

Das optische Grundprinzip der Korrektur besteht darin, den bildseitigen Brennpunkt des optischen Systems, also des Brillenglases oder der Kontaktlinse, mit dem Fernpunkt des zu korrigierenden Auges in Übereinstimmung zu bringen. Um im nicht akkommodierten Zustand scharf sehen zu können, müssen also die vom optischen System in der bildseitigen Brennpunktebene des Brillenglases erzeugten Bilder - ausgehend von im Unendlichen liegenden Objekten - in der Fernpunktebene des Auges liegen. Auf diese Weise erlangt ein fehlsichtiges Auge die optische Situation eines rechtsichtigen Auges.

Dieses Grundprinzip hat eine einfache Konsequenz: Wenn die Position des optischen Systems geändert wird – also der HSA – muss auch seine Stärke verändert werden: Nur so kann die Position des bildseitigen Brennpunkts  $F'$  auch weiterhin mit dem Fernpunkt  $R$  des Auges zusammenfallen, der sich von Natur aus nicht verändert (siehe Abbildung 1). Wenn das Brillenglas vom Auge entfernt wird, muss der Brechwert in Minusrichtung geändert werden, und wenn es dem Auge angenähert wird, muss er in Plusrichtung geändert werden.

Zu diesem Thema ist anzumerken, dass die optische Auswirkung der HSA-Änderung unabhängig von der optischen Wirkung des Brillenglases – sei sie positiv oder negativ – „in der gleichen Richtung“ erfolgt: Eine Entfernung der Gläser von den Augen resultiert immer in einer stärker positiven Wirkung (die mit negativen Wirkungen kompensiert werden muss) und eine Annäherung der Gläser an die Augen resultiert immer in einer stärker negativen Wirkung (die mit positiven Wirkungen kompensiert werden muss).

Aus dem Grund sollte ein vollkorrigierter Brillenträger, der seine Gläser von den Augen entfernt, in der Ferne theoretisch ein wenig unschärfer sehen. Andererseits dürfte er normalerweise nicht wirklich eine Veränderung wahrnehmen, wenn er seine Gläser den Augen annähert (die optische Auswirkung wird durch die Akkommodation kompensiert). Auf die gleiche Weise streben Brillenträger, die ihre Brille von den Augen entfernen, um bequemer lesen zu können, eine positive Wirkung bzw. eine höhere Addition an. Denken wir in diesem Zusammenhang an den Fall aphaker Patienten, die nicht mit intraokularen Implantaten versorgt werden und mit starken Plusgläsern eine hohe Nahaddition erzeugen können, indem sie ihre Gläser einfach von den Augen entfernen. Diese Auswirkungen sind aber nur bei hohen Korrektionswerten wirklich bedeutsam und wahrnehmbar.

Um die optischen Auswirkungen des HSA zu objektivieren, ist es interessant, sie zu quantifizieren. Dies kann man sehr einfach auf folgende Weise tun: Wenn  $A_R$  die Refraktion des zu korrigierenden Auges ist, mit anderen Worten die Fehlsichtigkeit oder der Kehrwert des Fernpunktabstandes des fehlsichtigen Auges, wird die Brechkraft  $S'$  des Brillenglases entsprechend der HSA-Änderung  $\Delta e$  mit der Formel  $S' = A_R / (1 + \Delta e \times A_R)$  wiedergegeben, wobei  $A_R$  in Dioptrien und  $\Delta e$  in Metern ausgedrückt wird.

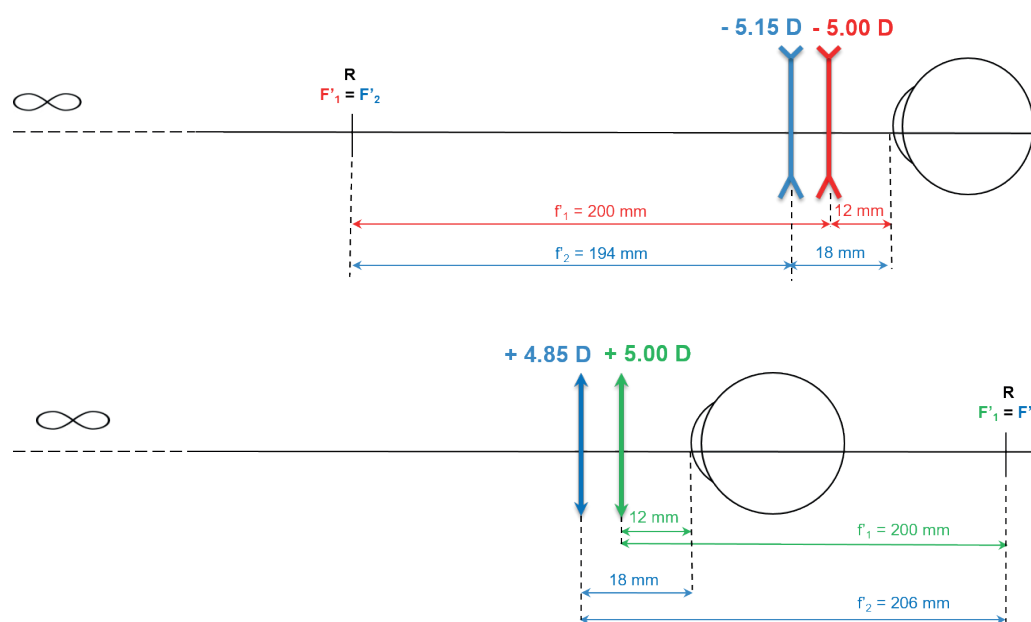


Abbildung 1: Notwendige Anpassung der Korrektur durch HSA-Änderung:  
a) Fall einer kurzsichtigen Person, die mit einem Glas von -5,00 dpt bei 12 mm voll korrigiert wird: Die Stärke des Glases muss auf -5,15 dpt geändert werden, wenn der HSA um 6 mm vergrößert wird.  
b) Fall einer weitsichtigen Person, die mit einem Glas von +5,00 dpt bei 12 mm voll korrigiert wird: Die Stärke des Glases muss auf +4,85 dpt geändert werden, wenn der HSA um 6 mm vergrößert wird.

Wenn man die Berechnung für alle Korrektionswerte und HSA-Änderungen durchführt, kann man die Auswirkungen in Form von Kurven darstellen (siehe Abbildung 2). Diese Kurven geben die HSA-Änderungen wieder, die notwendig sind, um entsprechend dem Korrektionswert Wirkungsänderungen von 0,25 dpt, 0,125 dpt bzw. 0,05 dpt herbeizuführen. Man kann daran beispielsweise ablesen, dass eine HSA-Änderung um 5 mm bei einer Brechkraft von 5,00 dpt eine Änderung um 0,125 dpt herbeiführt. Daran sieht man, dass HSA-Änderungen große Auswirkungen auf die Sehkorrektur haben können.

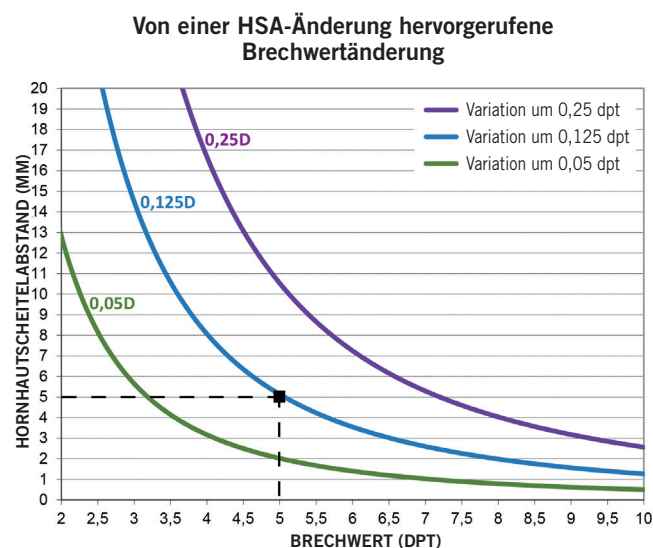


Abbildung 2: Von einer HSA-Änderung hervorgerufene Brechwertänderungen entsprechend der Wirkung des Brillenglases

Man kann anhand dieser Kurven auch konstatieren, dass die optischen Auswirkungen bei den meisten Korrektionswerten relativ begrenzt sind. Die Nichtberücksichtigung des HSA bei in Korrektionsschritten von 0,25 dpt angebotenen Brillengläsern hat nur geringfügige Auswirkungen, weil sie unter 0,25 dpt liegt. Man kann also davon ausgehen, dass es keine großen Auswirkungen hat, wenn man den HSA in einer Korrekturspanne von -4,00 und +4,00 dpt in Schritten von 0,25 dpt nicht berücksichtigt. Abgesehen von diesem Bereich ist es aber wichtig, dass die Korrektur für den HSA, in dem die Brillengläser getragen werden, exakt bestimmt wird. Mit aktuellen Gläsern, die in Korrektionsschritten von 0,01 dpt angeboten werden können, ist es wichtig, den HSA bereits ab geringen Korrektionswerten zu berücksichtigen. Nachstehend erfahren Sie, wie dies funktioniert.

### Der Abstand zwischen Auge und Phoropter kann sehr unterschiedlich sein!

Zur Illustration haben wir den Abstand zwischen Auge und Phoropter in Refraktionssituationen gemessen. Es wurde ein Phoropter benutzt, mit dem mithilfe von Videokameras präzise Messungen durchgeführt werden können<sup>(\*)</sup> (Abbildung 3).

Der Versuch bestand darin, den Abstand zwischen Auge und Phoropter an einer Stichprobe von 50 zufällig ausgewählten Probanden zu messen. Die Position des Phoropters wurde für eine Probandin durch Einstellung der

Stirnstütze auf einen HSA von 12 mm eingestellt. Diese Position wurde dann für die Messungen an den anderen Probanden beibehalten.

Die Messungen wurden folgendermaßen durchgeführt: Der Proband setzt sich hinter den Phoropter, in der primären Blickposition. Er blickt auf einen 5 m entfernten Testbildschirm. Der Pupillenabstand des Phoropters wird für jedes Auge eingestellt. Mit einer Videokamera hinter jeder Phoropterhälfte werden von der Seite Fotos der Augen des Probanden aufgenommen und auf der Bedienkonsole des Phoropters angezeigt (Abbildung 3). Ein virtuelles Fadenkreuz kann auf den Hornhautscheitel jedes Auges eingestellt und positioniert werden. Die Einstellung erfolgt zuerst binokular; gibt es einen Unterschied zwischen dem rechten und dem linken Auge, wird sie monokular angepasst. Das System zeigt den Abstand zwischen Auge und Phoropter also auf sehr präzise Weise in Schritten von 0,5 mm an. Dieser Wert kann aufgezeichnet werden. Für jeden Probanden wird die Messung 3-mal durchgeführt, wobei der Proband gebeten wird, sich vom Phoropter zu entfernen und dann wieder in die alte Position zurückzukehren. Außerdem wurden 30 aufeinanderfolgende Messungen an einem Bezugsprobanden durchgeführt, wobei dieser zwischen den einzelnen Messungen gebeten wurde, sich vom Phoropter zu entfernen und dann wieder in die alte Position zurückzukehren.

Die Messergebnisse sind in Abbildung 4 aufgeführt. Sie zeigen einerseits, dass der Abstand zwischen Auge und Phoropter in einer Spanne von 15,5 mm ganz erheblich variiert (von 4,0 mm für den kleinsten Wert bis 19,5 mm für den größten Wert) und dass der Mittelwert für diesen Versuch 11,1 mm mit einer Standardabweichung von +/- 3,11 mm beträgt, was beachtlich ist. Sie zeigen andererseits, dass der Abstand zwischen Auge und Phoropter bei den am selben Probanden wiederholten Messungen in einer Spanne von 5,0 mm variiert, mit einer Standardabweichung von +/- 1,31 mm, was auch signifikant ist. Es zeigt sich sehr deutlich, dass der Abstand zwischen Auge und Phoropter ein äußerst variabler Parameter ist, der von der Morphologie des Kopfes, von der Position der Augen in den Augenhöhlen, aber auch von der Körperhaltung abhängt. Sie zeigen, dass der Abstand zwischen Auge und Phoropter, der häufig ignoriert wird, für die Bestimmung einer präzisen Korrektur nicht vernachlässigt werden darf.

### Berücksichtigung des HSA in der Praxis.

#### Einstellung des Abstands zwischen Auge und Phoropter

Obwohl die Bedeutung des HSA bekannt ist, wird er auf sehr unterschiedliche Weise berücksichtigt. In der Praxis ist es relativ selten, dass der Abstand zwischen Auge und Phoropter bei der Refraktion berücksichtigt und noch weniger, dass er gemessen wird. In den meisten Fällen wird er bei der Positionierung des Phoropters vor dem Kopf des Refraktionierenden überprüft und auf einen Mittelwert eingestellt. Das Prinzip besteht darin, den Phoropter nah genug an den Augen des zu Refraktionierenden zu



Abbildung 3: Messung des Abstands zwischen Auge und Phoropter mittels Videokameras

positionieren, so dass dieser ein großes Blickfeld hat, aber auch weit genug von seinen Augen zu entfernen, so dass seine Wimpern das hintere Glas des Phoropters nicht streifen (was nicht nur unangenehm ist, sondern den Phoropter zudem beschmutzen kann). Mit traditionellen Phoroptern wird diese Anpassung durch Einstellung der Stirnstütze durchgeführt, wobei die Augen des Refraktionierenden beobachtet werden, entweder durch die Rückseite des Phoropters oder mittels spezieller seitlicher, mit einer Skala versehener Spiegelsysteme durch den Phoropter hindurch.

Es sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen:

- Wie gezeigt, kann der Abstand zwischen Auge und Phoropter von einem zu Refraktionierenden zum nächsten bei der gleichen Stirnstützen-Position sehr unterschiedlich sein. Aus dem Grund ist es sehr wichtig, die Position des Phoropters vor den Augen des zu Refraktionierenden sehr genau einzustellen.
- Der Abstand zwischen Auge und Phoropter verändert sich auch ganz erheblich mit der Kopfhaltung des zu Refraktionierenden: Er verringert sich, wenn er den Kopf hebt, und erhöht sich, wenn er ihn senkt. Es ist also wichtig, dass der zu Refraktionierende bequem sitzt, damit er nicht das Bedürfnis verspürt, seine Kopfhaltung im Laufe der Refraktion zu verändern.

- Der Abstand zwischen Auge und Phoropter kann im Laufe der Refraktionsbestimmung ganz erheblich variieren. Aus dem Grund ist es wichtig, ihn am Ende der Refraktion zu überprüfen, vor allem bei hohen Korrektionswerten und für die Verordnung von Brillengläsern in 0,01 dpt Abstufungen.

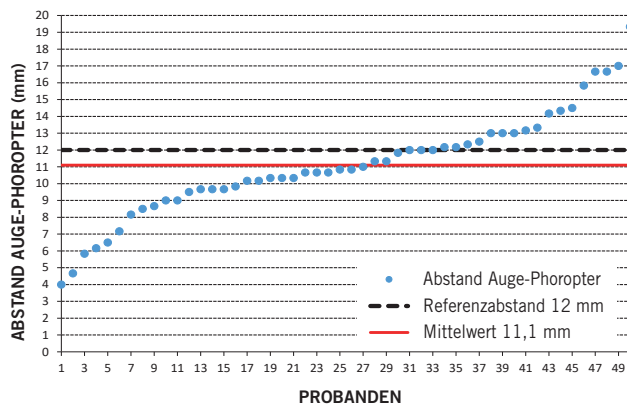
Dem Abstand zwischen Auge und Phoropter wird nur selten Aufmerksamkeit geschenkt. Mit klassischen Phoroptern kann er überprüft, aber nur schwer gemessen werden. Mit modernen Phoroptern<sup>(\*)</sup> ist es jetzt möglich, präzise Messungen mit Videokameras durchzuführen und diesen Parameter präzise zu kontrollieren, vor allem für seine Berücksichtigung bei der Berechnung der Rezeptwerte von Brillengläsern.

#### Messung des HSA für die Kundenbrille.

Es ist wichtig, den Abstand zwischen Auge und Phoropter genau zu kennen; dieser Wert ist aber nur wirklich nützlich, wenn man auch den HSA für die Kundenbrille messen kann. Es gibt verschiedene Systeme für Augenoptiker, die dies ermöglichen. Abgesehen von althergebrachten manuellen Messgeräten, die kaum noch benutzt werden, wird der HSA für die Kundenbrille heute mit modernen säulenförmigen Systemen oder Tablets gemessen. Wir möchten sie an dieser Stelle nicht alle aufzählen. Allgemein machen

#### Interindividuelle Variation des Abstands zwischen Auge und Phoropter, gemessen an 50 Probanden

(wobei die Stirnstütze für einen Referenzprobanden auf einen Abstand von 12 mm eingestellt wurde)



#### Intraindividuelle Variation des Abstands zwischen Auge und Phoropter (30 Messungen an einem Probanden)

(wobei die Stirnstütze für einen Referenzprobanden auf einen Abstand von 12 mm eingestellt wurde)

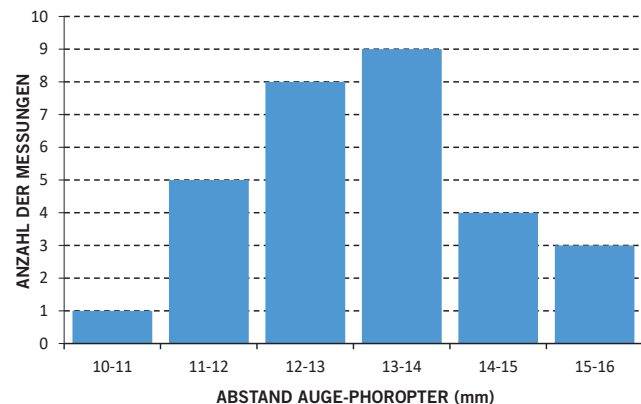


Abbildung 4: Variabilität des Abstands zwischen Auge und Phoropter:

- Interindividuelle Variation, gemessen an 50 Probanden
- Intraindividuelle Variation gemessen an einem Probanden (30 Messungen)



diese Systeme mehrere Aufnahmen der Kundenbrille und der Augen des Kunden. Sie ermöglichen es, die relativen Positionen von Brille und Augen dreidimensional zu rekonstruieren und den Abstand zwischen der Brillenebene und dem Hornhautscheitel der Augen präzise zu berechnen. Der HSA kann also für die Kundenbrillen gemessen und für die exakte Berechnung der Rezeptwerte verwendet werden.

### **Berücksichtigung des HSA bei der Berechnung von Brillengläsern in 0,01 dpt Abstufungen.**

Der HSA ist ein Parameter, der für die Anpassung von Korrektionswerten bis heute nur selten berücksichtigt wurde. Implizit ging man immer davon aus, dass der Korrektionswert der Gläser für den HSA gemessen wurde, in dem sie getragen werden. Dies ist in der Praxis aber nur selten der Fall.

Von der gleichen Hypothese ging man auch bei „personalisierten“ Brillengläsern aus, bei denen die Position des Auges hinter dem Glas gemessen und in die Berechnung integriert wird. In dem Fall wird der Abstand zwischen dem Rotationszentrum des Auges und der Brillenfassung verwendet, um die Konzeption der optischen Flächen von Gläsern mit komplexer Geometrie durch Simulieren des Auges zu optimieren, welches in dieser Position in alle Richtungen durch das Glas blickt. Man ging immer davon aus, dass der Rezeptwert für den Abstand erstellt wurde, in dem die Brillengläser getragen werden, und zwar für die primäre Blickrichtung.

Dank neuer Technologien für die einfache und präzise Messung des Abstands zwischen Auge und Phoropter und des HSA für die Kundenbrille ist es jetzt möglich, den Referenz-HSA von 12 mm in die Berechnung der Gläser selbst zu integrieren. Dieser Wert muss von Anfang bis Ende des Prozesses berücksichtigt werden:

- Zuerst einmal wird der Abstand zwischen Auge und Phoropter bei der Refraktion gemessen: Der Rezeptwert wird am Ende der Refraktion in den Standardabstand von 12 mm umgerechnet. Die Berechnung erfolgt automatisch durch den Phoropter<sup>(\*)</sup>.
- Im Anschluss an die Auswahl der Brillenfassung und vor der Anfertigung der Brille misst der Augenoptiker den HSA für die Kundenbrille und gibt ihn bei der Bestellung der Gläser an<sup>(\*\*)</sup>.
- Der Hersteller rechnet den für einen Abstand von 12 mm erstellten Rezeptwert auf der Basis des vom Augenoptiker gemessenen tatsächlichen HSA für die Kundenbrille um, bevor das Glas in die Herstellung geht.

Auf diese Weise wird der HSA während des gesamten Prozesses berücksichtigt, und die Präzision wird in der gesamten Kette beibehalten: von der Refraktion über die Messungen zur Zentrierung der Brillengläser bis hin zur Lieferung der Brille. Unter diesen Bedingungen ist es möglich, die Vollkorrektion zu erreichen.

### **Schlussfolgerung:**

Dank der Weiterentwicklung der Refraktions- und Messgeräte kann der Abstand zwischen Auge und Brillenglas – der Hornhautscheitelabstand – heute auf präzise Weise berücksichtigt werden. Er wird zu einem ergänzenden Element der Verordnung und kann bei der Herstellung hoch präziser Brillengläser berücksichtigt werden<sup>(\*\*)</sup>. Alle Fachleute für Sehen haben heute also die Möglichkeit, ihren Patienten/Kunden eine noch genauere Korrektion zu bieten.



### **DAS WESENTLICHE IN KÜRZE**

- Der Einfluss des Hornhautscheitelabstands auf die Korrektion ist bekannt, wird jedoch in der Praxis nur selten berücksichtigt, es sei denn bei hohen Korrektionswerten. Solange Brillengläser lediglich in Korrektionsschritten von 0,25 dpt angeboten wurden, hatte dies auf die meisten Korrektionen kaum Auswirkungen.
- Bei aktuellen Gläsern, die dank subjektiver Refraktionseinheiten mit stufenlosen Stärkenänderungen in Schritten von 0,01 dpt angeboten werden können, ist es jedoch wichtig, den HSA auch bei geringen Korrektionswerten zu berücksichtigen.
- Dafür müssen der Abstand zwischen Auge und Phoropter bei der Refraktion und der HSA für die Kundenbrille bei der Brillenanpassung gemessen werden. So kann der Korrektionsbedarf für die Herstellung der Gläser mit exakten Rezeptwerten präzise angepasst werden.
- Der HSA wird zu einem zusätzlichen Parameter der Refraktion, der es ermöglicht, den Kunden eine noch genauere Korrektion anzubieten.

#### **BIBLIOGRAFISCHE REFERENZEN:**

- (1) Longo A., Meslin D., Une nouvelle approche de la réfraction subjective, Cahiers d'Ophtalmologie, Nr. 230, S. 59-63, (Sept 2019) und Points de Vue, www.pointsdevue.com - Ein neuer Ansatz für die subjektive Refraktion (Mai 2020)
- (2) Barthélemy B., Thiébaud T. In Contactologie. 2. Auflage Optique et Vision. S. 293-305, Lavoisier (2012).
- (3) Gatinel D., Distance verre-œil, bei www.gatinel.com/recherche-formation/optique-paraxiale-et-points-cardinaux/formule-de-vergence/, (Update 2019).
- (4) Opticians, The influence of back vertex distance in ocular refraction, bei www.opticianonline.net/news/the-influence-of-back-vertex-distance-in-ocular-refraction/, (2005).