


# SUBJEKTIVE REFRAKTION: EINE NEUE VEKTORIELLE METHODE ZUR ZYLINDERBESTIMMUNG (1/3)

Die für die Bestimmung des Korrektionszylinders angewandte Refraktionstechnik hat sich seit sehr langer Zeit kaum verändert. Der Hauptgrund sind die Geräte für die Messung der subjektiven Refraktion, die lediglich Korrektionsschritte von 0,25 dpt ermöglichen.


Heute gestatten es Phoropter mit stufenloser Stärkenänderung, gleichzeitig und mit hoher Präzision auf Sphäre, Zylinder und Achse einzuwirken. Demzufolge können neue Refraktionsmethoden entwickelt werden. Diese dreiteilige Artikelreihe beschreibt die Grundlagen einer neuen vektoriiellen Methode zur Bestimmung des Korrektionszylinders und präsentiert die Logik eines automatisierten Algorithmus für die Suche nach dem mit ihm verbundenen Zylinder.



 **H el ene Starynkevitch**  
Studienleiterin F&E  
Division Instruments  
Essilor International


Nach ihrem Abschluss als Diplom-Augenoptikerin am Institut et Centre d'Optom etrie (ICO) in Bures-sur-Yvette (Frankreich) im Jahr 2013 machte H el ene Starynkevitch im Jahr 2016 ihren Abschluss als Gesundheitsingenieurin mit Schwerpunkt Sehwissenschaften an der Universit  d'Orsay Paris Sud XI. Derzeit ist sie Studieningenieurin in der F&E-Abteilung von Essilor Instruments. Sie arbeitet an der Entwicklung von Methoden und Algorithmen für Sehtests mithilfe von neuen Geräten und an der Konzeption der entsprechenden Schnittstellen für die Fachleute für gutes Sehen. Darüber hinaus leitet sie Optometrie-Studien über Ger tevergleiche und/oder Sehtestmethoden. Für VisionSoliDev hat sie ehrenamtlich einen Sehtest für sozial schwache Personen entwickelt.



 **Gildas Marin**  
Studienleiter F&E  
Abteilung F&E Sehwissenschaften  
Essilor International

Nach seinem Abschluss als Optikingenieur im Jahr 1993 promovierte Gildas Marin im Jahr 1997 mit einer Doktorarbeit im Bereich Medizinische Bildverarbeitung am Institut Optique und am Universitätskrankenhaus Hôpital de la Piti -Salpêtrière in Paris. Seit 2006 ist er der Studienleiter im Bereich Sehwissenschaften bei Essilor International. Seine Hauptforschungsgebiete sind die Modellierung des Sehens, die Simulation optischer Effekte und der Sehleistung, insbesondere die Auswirkungen von Abbildungsfehlern auf das Sehen. Sein jüngstes Forschungsgebiet ist die Verbesserung der Refraktionsmethoden. Seit 2015 ist er für das Forschungsprogramm über die Entwicklung und Validierung von in den Phoropter Vision-R™ 800 und die Brillenglastechnologie AVA™ (Advanced Vision Accuracy) integrierten Algorithmen und Methoden für die präzise Refraktionsbestimmung verantwortlich.



 **Dominique Meslin**  
Direktor Refraktionsl sungen  
Division Instruments  
Essilor International

Der ausgebildete Augenoptiker und Optometrist Dominique Meslin hat den gr o ten 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 Refraktionsl sungen 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-Kompodium“ gehört.

## SCHLÜSSELBEGRIFFE:

Subjektive Refraktion, vektorielle Refraktion, Dioptrieraum, Zylinderbestimmung, Kreuzzylinder, Phoropter, Refraktionsalgorithmus, Vision-R™ 800.

Die für die Suche nach dem Korrektionszylinder angewandte Refraktionstechnik hat sich seit fast 100 Jahren kaum verändert. Sie besteht allgemein darin, die unterschiedlichen Effekte eines in verschiedenen Positionen gehaltenen Jackson-Kreuzzylinders zu prüfen, um zuerst nach der Zylinderachse und dann nach der Zylinderstärke zu suchen und den Effekt anschließend auf die Sph renst rke abzugleichen. Diese Technik hat sich seit ihrer Erfindung vor allem deshalb kaum weiterentwickelt, weil sich die Geräte für die Messung der subjektiven Refraktion – die Phoropter – kaum weiterentwickelt haben: Seit fast 100 Jahren ermöglichen sie es lediglich, dem Probanden sphärische und zylindrische Gläser in Korrektionsabstufungen von 0,25 dpt und Achsen in Schritten von 5° vorzuhalten, ohne dass es möglich wäre, gleichzeitig auf die Sphäre, den Zylinder und die Korrekturachse einzuwirken.

Mit den neuen Phoroptern mit stufenloser Stärkenänderung, die Korrektionsschritte von 0,01 dpt und Achslagen in Schritten von 0,1° sowie das gleichzeitige Einwirken auf Sphäre, Zylinder und Achse <sup>(\*)</sup> ermöglichen, kann ein neuer Ansatz für die subjektive Refraktion angeboten werden: die „Digital Infinite Refraction™ <sup>(1)</sup>“. Für die Zylinderbestimmung konnte eine vektorielle Methode entwickelt werden, die kohärenter und präziser ist. In dieser Artikelreihe erläutern wir die Prinzipien und die Logik dieser Methode.

In diesem ersten Artikel erinnern wir an die vektorielle Definition der Refraktion und ihre Darstellung im „Dioptrieraum“. Dann werden wir die „herkömmlichen“ Refraktionsmethoden mit der „Digital Infinite Refraction™“ allgemein vergleichen.

Im zweiten Artikel werden wir die bei den herkömmlichen Refraktionsmethoden und der Digital Infinite Refraction™ angewandten Techniken zur Suche nach der Zylinderachse und der Zylinderstärke im Detail beschreiben. Im dritten und letzten Artikel werden wir das Grundprinzip und die Logik der neuen Methode zur Zylinderbestimmung, die „Digital Infinite Refraction™“, mit der herkömmlichen Refraktionsmethode vergleichen

(\*) Der von Essilor Instruments entwickelte Phoropter Vision-R™ 800 mit stufenloser Stärkenänderung

und ihre Anwendung zur Entwicklung eines automatisierten Algorithmus zur Zylinderbestimmung erörtern.

Wir laden Sie also zu einer gründlichen Erkundung und detaillierten Beschreibung einer neuen vektoriellen Methode zur Bestimmung des Korrektionszylinders ein. Es wird darauf hingewiesen, dass ein gutes Grundwissen über die klassische Refraktion notwendig ist, um diesen Artikel perfekt zu verstehen.

## 1) Vektorielle Darstellung des Zylinders in einem Dioptrieraum

### Refraktionsdarstellung anhand von Polarkoordinaten versus von kartesischen Koordinaten:

Traditionell wird eine Refraktion anhand ihrer drei „Polarkoordinaten“ dargestellt: Sphäre, Zylinder und Achse. Es ist aber auch möglich, sie in Form von „kartesischen Koordinaten“ darzustellen:

- 1) Stärke des sphärischen Äquivalents oder mittlere Sphäre  $M$ : Die Sphärenstärke erhöht um die Hälfte der Zylinderstärke,
- 2) horizontale Zylinderkomponente in der Achse  $0^\circ$  ( $J0^\circ$ ), die der direkten/indirekten Komponente des Astigmatismus entspricht,
- 3) schräge Zylinderkomponente in der Achse  $45^\circ$  ( $J45^\circ$ ), die der schrägen Komponente des Astigmatismus entspricht.

Die kartesischen Koordinaten haben den Vorteil, dass sie die Refraktion in Form von 3 voneinander unabhängigen Komponenten in der gleichen Einheit ausdrücken: der Dioptrie. Sie sind eine gute Alternative zu den klassischen Polarkoordinaten Sphäre, Achse und Zylinder, die voneinander abhängen und in unterschiedlichen Einheiten ausgedrückt werden (Dioptrie für Sphäre und Zylinder, Grad für die Achse). Die kartesischen Koordinaten drücken die Refraktion in Form einer einzigen globalen Formel aus, was die Analyse und statistische Vergleiche vereinfacht <sup>(2)</sup>.

Zur Illustration sind in Tabelle 1 einige Beispiele klassischer Polarkoordinaten und ihre Transposition in kartesische Koordinaten aufgeführt. Diese Tabelle zeigt, dass die

kartesische Darstellungsweise einer Korrektionsformel gewissermaßen darin besteht, die Refraktion in Form einer mittleren Komponente und von zwei rein zylindrischen Komponenten auszudrücken, deren mittlere Sphärenwerte Null betragen und den mit einem Jackson-Kreuzzylinder erhaltenen Werten ähneln ( $0^\circ/90^\circ$  entspricht der horizontalen/vertikalen Komponente des Astigmatismus und  $45^\circ/135^\circ$  entspricht der schrägen Komponente des Astigmatismus).

Die Beziehung zwischen der Darstellung in Form von Polarkoordinaten und in Form von kartesischen Koordinaten ein und derselben Refraktion basiert auf einer einfachen trigonometrischen Berechnung; es ist relativ einfach, von einer Darstellung zu anderen überzugehen:

- Wenn man die klassischen Polarkoordinaten Sph (Cyl) Achse kennt, kann man die kartesischen Koordinaten mit Hilfe folgender 3 Formeln berechnen:

- $M = Sph + Cyl / 2$
- $J0^\circ = Cyl * \cos(2 * Achse)$
- $J45^\circ = Cyl * \sin(2 * Achse)$ .

Sie werden bemerkt haben, dass es wegen des nicht trigonometrischen Zyklus der Achse, d. h. ihrer Variation von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  und nicht von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ , notwendig ist, den Wert der Zylinderachse mit zwei zu multiplizieren.

- Wenn man umgekehrt die beiden kartesischen Komponenten des Zylinders ( $J0^\circ$  und  $J45^\circ$ ) kennt, ist es einfach, seine Polarkomponenten (Zylinder und Achse) durch vektorielle Zusammensetzung zu berechnen. Was die Sphäre angeht, reicht es, die Hälfte des Zylinderwertes vom Wert des sphärischen Äquivalents abzuziehen. Die Formeln sind die folgenden, wie es die Konvention will, mit negativem Zylinderwert:

- $Sph = M - Cyl / 2$
- $Cyl = -\sqrt{J0^{02} + J45^{02}}$
- $Achse = 0,5 * \text{Arc Tan}(J45^\circ / J0^\circ) + C$ , wobei C konstant gleich  $90$  ist, wenn  $J0^\circ > 0$ , und konstant gleich  $0$ , wenn  $J0^\circ < 0$ .

Für ein besseres Verständnis und eine einfachere grafische Darstellung haben wir uns entschlossen, die Gewichtung von  $1/2$  zwischen den Werten der Komponenten  $J0^\circ$  und  $J45^\circ$  des Zylinders einerseits und der Stärke des sphärischen Äquivalents  $M$  andererseits in diesem Artikel nicht zu berücksichtigen, wie es in der Literatur über die vektorielle

Tabelle 1: Polarkoordinaten und kartesische Koordinaten verschiedener Korrektionsformeln

POLARKOORDINATEN			KARTESISCHE KOORDINATEN		
Sphäre	Zylinder	Achse	M	$J0^\circ$	$J45^\circ$
+2,00			+2,00	0,00	0,00
-2,00			-2,00	0,00	0,00
Plan	-2,00	0	-1,00	-2,00	0,00
Plan	-2,00	90	-1,00	+2,00	0,00
Plan	-2,00	45	-1,00	0,00	-2,00
Plan	-2,00	135	-1,00	0,00	+2,00
+1,00	-2,00	120	0,00	+1,00	+1,73
+1,00	-2,00	30	0,00	-1,00	-1,73

Darstellung der Refraktion üblich ist. Das Prinzip ist das gleiche, so ist es aber leichter verständlich.

**Darstellung der Refraktion in einem „Dioptrierium“:**

Das Interessante an der Darstellung der Refraktion in Form von kartesischen Koordinaten ist die Möglichkeit, die Werte jeder Refraktion in ein orthonormiertes und standardisiertes dreidimensionales Koordinatensystem einzutragen, den so genannten „Dioptrierium“. Die Refraktion wird mit einem einzigen Vektor dargestellt, dessen Projektierungen auf die 3 Achsen des Koordinatensystems die kartesischen Koordinaten der Korrektionsformel sind.

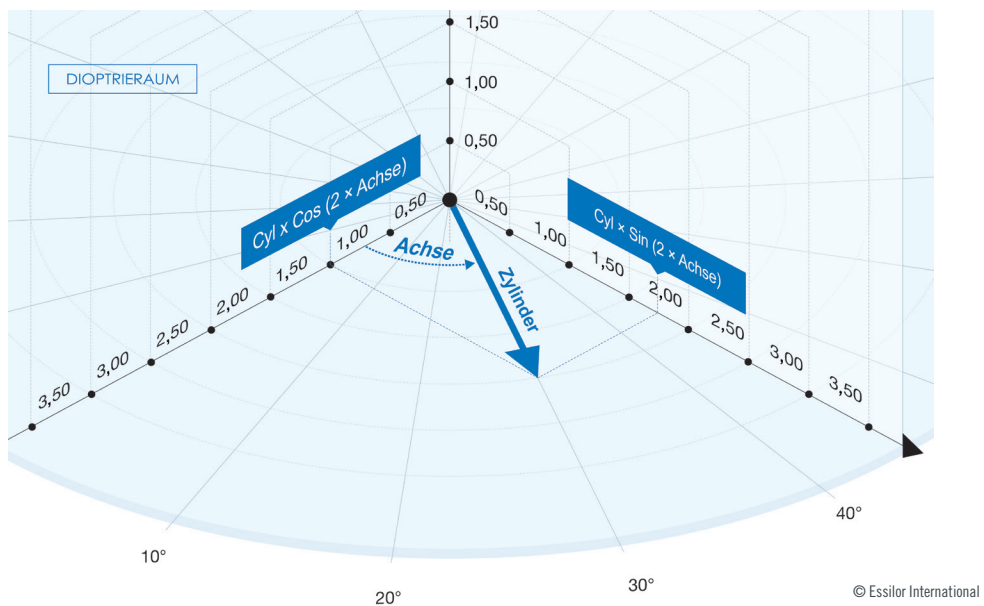
In die 3 Achsen wird eingetragen:

- die Stärke des sphärischen Äquivalents oder die mittlere Sphäre M,
- die horizontale Komponente des Zylinders J0°,
- die schräge Komponente des Zylinders J45°.

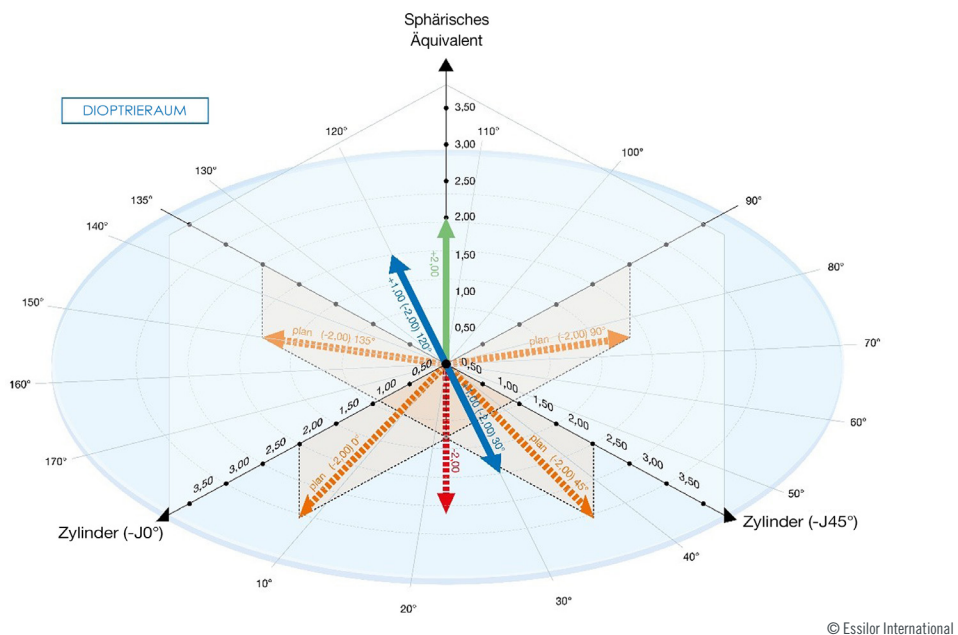
Die dreidimensionale Darstellung des Dioptrieriums in Abbildung 1 ist eine adaptierte Version der herkömmlichen Darstellung, deren detaillierte Erläuterung man in den einschlägigen Publikationen findet<sup>(2, 3, 4, 5)</sup>. Diese Darstellung ermöglicht es, die Charakteristika jeder Korrektionsformel auf einfache Weise dreidimensional abzubilden. Die Sphäre wird über die „vertikale“ Achse und der Zylinder über die „horizontale“ Ebene ausgedrückt: Die Achse des Zylinders

**Abbildung 1: Vektorielle Darstellung der Refraktion in einem „Dioptrierium“**

a) Kartesische Koordinaten: Beispiel anhand der Korrektionsformel +1,00 (-2,00) 30 °



b) Beispiele vektorieller Darstellungen verschiedener Korrektionsformeln



(in Tabelle 1 präsentierte Korrektionsformeln)  
 Sphärenformeln: +2,00 (grün) und -2,00 (rot);  
 Astigmatismusformeln: plan (-2,00) mit Zylinderachsen bei 0°, 45°, 90°, 135° (orange)  
 und +1,00 (-2,00) mit Zylinderachsen bei 30° und 120° (blau).

wird durch die Rotation um die vertikale Achse und die Zylinderstärke über den Abstand zum Koordinatenursprung dargestellt, hier – wie es die Konvention will – mit negativem Zylinderwert. Diese Darstellung ermöglicht es, die Korrektionsformel auf einfache Weise in Form eines einzigen Vektors im Raum darzustellen und die Variationen während der Refraktion zu analysieren. Das ist der Zweck der „vektoriellen Refraktion“.

Für die Fortsetzung dieses Artikels wurde die Korrektionsformel +1,00 (- 2,00) 30° ausgewählt, deren sphärisches Äquivalent Null ist, weil sie auf sehr praktische Weise grafisch dargestellt werden kann: Der entsprechende Vektor befindet sich auf der horizontalen Ebene J0°/J45°. Für jede andere Refraktion, deren sphärisches Äquivalent nicht Null ist, ist die Logik die gleiche, nur dass sich der Vektor im Raum bewegt und die gleiche Spur hinterlässt wie die für die Ebene J0°/J45° beschriebene, allerdings auf horizontaler Ebene parallel dazu, was dem Wert des sphärischen Äquivalents entspricht.

## 2) „Herkömmliche Refraktion“ versus „Digital Infinite Refraction™“: Ähnlichkeiten und Unterschiede

Obwohl beide Refraktionstechniken – die „herkömmliche“ und die „digitale“ Refraktion – einige gemeinsame Grundprinzipien haben, sind sie in anderen Punkten völlig unterschiedlich. In diesem Artikel werden wir ihre Ähnlichkeiten und ihre Unterschiede ansprechen. In den folgenden zwei Artikeln werden wir sie detaillierter erörtern.

### a) Refraktion durch „Vorhalten von Messgläsern“ versus Refraktionen anhand von „stufenlosen Stärkenänderungen“:

- Bei der herkömmlichen Refraktionstechnik werden den Augen des Probanden sphärische und zylindrische Gläser vorgehalten. Dies kann ganz nach Belieben mit Messbrillen und Messgläsern, mit manuellen Phoroptern mit mechanischem Glaswechsel oder mit automatischen Phoroptern mit motorisiertem Glaswechsel erfolgen. Welche Refraktionsgeräte auch immer benutzt werden, die Refraktionsmethode bleibt im Großen und Ganzen die gleiche: Die Gläser werden in Korrektionsabstufungen von 0,25 dpt vorgehalten. Das Einzige, was sich ändert, ist die Art und Weise des Vorhaltens der Gläser. Darüber hinaus kann das Einwirken auf die Sphäre, die Zylinderachse und die Zylinderstärke während der Refraktionsbestimmung nur separat und nacheinander erfolgen.
- Im Gegensatz dazu nutzt die digitale Technik die Fähigkeiten eines von digitalen Mikromotoren gesteuerten Phoropters mit stufenlosen Stärkenänderungen. Diese Technologie ermöglicht es, durch Änderung der Stärke in Schritten von 0,01 dpt unverzüglich von einer Korrektionsformel zur anderen überzugehen. Es ist auch möglich, auf die Sphäre, die Zylinderachse und die Zylinderstärke gleichzeitig einzuwirken; auf diese Weise kann man sofort und stufenlos von einer Korrektionsformel zur nächsten übergehen. Diese Eigenschaft ist der Ausgangspunkt der neuen Refraktionstechnik.

### b) „Aufeinanderfolgende“ versus „gleichzeitige“ Suche nach den Refraktionskomponenten:

- Bei der herkömmlichen Refraktionstechnik wird separat nach den Komponenten gesucht: zuerst nach der Sphäre, dann nach der Zylinderachse und schließlich nach der Zylinderstärke. Am Ende wird der Sphärenabgleich durchgeführt. Die Suche nach dem Zylinder erfolgt zwangsläufig in der Reihenfolge „Zylinderachse“ und dann „Zylinderstärke“; anderenfalls ist es unmöglich, die genaue Zylinderstärke zu finden. In der Tat ist es zwar möglich, die richtige Achslage eines Zylinders abzugleichen und zu finden, wenn die Ausgangsstärke nicht die richtige ist, aber der Abgleich der Stärke eines Zylinders mit einer falschen Ausgangsachse ergibt einen anderen Wert als den Wert, den man mit der richtigen Achslage erhalten hätte. Aus dem Grund wird bei der herkömmlichen Refraktionsmethode immer zuerst nach der Zylinderachse und dann nach der Zylinderstärke gesucht.
- Bei der digitalen Refraktionsmethode wird zuerst nach der mittleren Sphäre gesucht. Dann wird in derselben Sequenz nach der Stärke und der Achse des Zylinders gesucht, wobei die Stärke des sphärischen Äquivalents auf 0,01 dpt genau konstant gehalten wird. Dafür werden zwei Refraktionskomponenten berücksichtigt: eine „Stärkenkomponente“ basierend auf der Ausgangsachse der Vorkorrektur und eine im Dioptrieraum senkrecht dazu liegende „Achskomponente“. Da die Stärkenkomponente und die Achskomponente orthogonal und unabhängig voneinander sind, kann die Suche nach dem Zylinder entweder beginnend mit der Achskomponente oder beginnend mit der Stärkenkomponente durchgeführt werden. Es ist anzumerken, dass der Achsenwert bei den ersten mit Autorefraktometern durchgeführten Refraktionsmessungen normalerweise präziser ist als der Stärkenwert. Aus dem Grund wurde entschieden, bei der neuen digitalen Refraktionstechnik für die Suche nach dem Zylinder mit der Stärkenkomponente zu beginnen, wogegen bei der herkömmlichen Methode grundsätzlich mit der Suche nach der Achse begonnen wird. Man hätte aber auch andersherum vorgehen können.

### c) Bestimmung des Astigmatismus: „physische“ Kreuzzylinder versus „virtuelle“ Kreuzzylinder

Die beiden Methoden zur Messung des Zylinders – herkömmliche Refraktion und digitale Refraktion – wenden die gleichen Prinzipien an wie die Methode der wendbaren Kreuzzylinder nach Jackson, dem amerikanischen Augenarzt, der sie Anfang des 20. Jahrhunderts erfand. Die Umsetzung ist jedoch sehr unterschiedlich.

Erinnern wir daran, dass ein Kreuzzylinder ein sphärozyndrisches Glas ist, welches das Resultat der Kombination von zwei planzyndrischen Gläsern gleicher Stärke, aber entgegengesetzter Vorzeichen ist, die senkrecht zueinander positioniert werden – daher der Name „Kreuzzylinder“ – und deren sphärisches Äquivalent gleich Null ist. Die Methode für die Suche nach dem Korrektionszylinder besteht darin, den Kreuzzylinder vor das korrigierte Auge des Probanden zu halten und zu prüfen, wie sich die Sehschärfe mit der Kombination aus dem Restastigmatismus des Auge-Brillenglas-Systems und dem

Restastigmatismus des Kreuzzylinders in unterschiedlichen Positionen des Kreuzzylinders verändert.

Die Kreuzzylindermethode wird bei der herkömmlichen Refraktion und bei der digitalen Refraktion auf ähnliche Weise angewendet, aber sehr unterschiedlich umgesetzt:

- Bei der herkömmlichen Refraktion sind physische Kreuzzylinder in den Phoropter integriert und werden im Laufe der Refraktion gewendet. Es werden normalerweise Kreuzzylinder von +/-0,25 dpt oder +/-0,50 dpt verwendet. Ihre Korrektionsformeln sind +0,25 (-0,50) bzw. +0,50 (-1,00). Von seinem Aufbau her halbiert der „Griff“ des Kreuzzylinders die Achsen des positiven und des negativen Zylinders. So ist es durch einfaches Wenden möglich, ihre Positionen umzukehren, d. h. die Achse des Kreuzzylinders um 90° zu drehen, ohne den Wert der Sphäre zu verändern. Diese Eigenschaft wird genutzt, um zuerst nach der Zylinderachse und dann nach der Zylinderstärke zu suchen. Zu diesem Zweck wird zuerst nach der Achslage und dann nach der Stärke gesucht, bei der das Wenden des Kreuzzylinders für den Probanden zu einer identischen unklaren Sicht führt. Im zweiten Artikel dieser Reihe werden wir im Detail auf diese Technik eingehen.
- Bei der „digitalen“ Refraktion wird ein ähnliches optisches Prinzip wie das der Jackson-Kreuzzylinder benutzt, nur dass in den Phoropter keine physischen Kreuzzylinder integriert sind. Die optischen Effekte „virtueller“ Kreuzzylinder werden im Phoropter durch Berechnung in Verbindung mit der Vorkorrektur erzeugt. Dem Auge des Probanden wird also kein Kreuzzylinder vorgehalten und seine Sehlinie wird durch das Wenden des Kreuzzylinders nicht unterbrochen; der Proband nimmt die Korrektionsänderungen sofort und stufenlos wahr. Darüber hinaus ist die Stärke des Kreuzzylinders nicht die eines herkömmlichen Kreuzzylinders von +/- 0,25 dpt oder +/- 0,50 dpt: Sie kann auf 0,01 dpt genau ausgewählt werden, um einen einfachen Vergleich der zwei Positionen zu ermöglichen. Sie wird bei der Konzeption des Algorithmus für die Suche nach dem Zylinder parametrisiert und kann im Laufe der Refraktion auf die Empfindlichkeit des Probanden eingestellt werden. Diese Flexibilität bietet bemerkenswerte Möglichkeiten für die Weiterentwicklung und Anpassbarkeit der Refraktionsmethoden. In unserem Beispiel ist die Stärke des Kreuzzylinders in allen Artikeln dieser Reihe +/- 0,35 dpt.

Im zweiten Artikel werden wir im Detail auf die praktische Umsetzung der Techniken für die Suche nach dem Zylinder und auf ihre Unterschiede eingehen.

#### **d) Eine herkömmliche „unveränderliche“ Technik versus eine digitale „entwicklungsfähige“ Technik**

- Bei der herkömmlichen Refraktion sind die Testmethode und die Methode für die Suche nach dem Zylinder seit mehr als 100 Jahren die gleichen und bieten kaum Entwicklungsmöglichkeiten. Die physischen Grenzen und die mechanische Konzeption der Geräte verhindern dies. Darüber hinaus wird die Refraktion von A bis Z einem Augenarzt oder Augenoptiker anvertraut, der sie basierend

auf seiner Ausbildung, seiner Erfahrung und seiner Arbeitsweise durchführt. Dies führt zwangsläufig zu unterschiedlichen Refraktionsergebnissen.

- Bei der digitalen Refraktion sind die Test- und Refraktionsmethoden ganz im Gegenteil innovativ und entwicklungsfähig. Aufgrund der Steuerung des Optikmoduls durch Berechnungen und seiner absoluten Flexibilität gibt es sehr viele Möglichkeiten für die Entwicklung neuer Refraktionsmethoden. Um die ersten Untersuchungslogiken zu formalisieren, wurden erste Refraktionsalgorithmen entwickelt. Sie dürften zu einer gewissen Standardisierung der Refraktionsmethoden beitragen. Bereits diese Algorithmen sind „anpassungsfähig“, d. h. sie können sich den Antworten des Probanden während der Refraktionsbestimmung anpassen. Sie werden mit dem Fortschreiten der Kenntnisse weiterentwickelt werden und es ermöglichen, in Zukunft mehrere Lösungen für die Refraktionsunterstützung anzubieten. Der neue Ansatz der „Digital Infinite Refraction™“ bietet also ein enormes Potential für Forschung und Fortschritte bei den Refraktionsmethoden.

*Wir werden die Präsentation und die Erörterung dieses Themas in den zwei nächsten Artikeln fortsetzen.*



#### **DAS WESENTLICHE IN KÜRZE**

- Die Technik der Suche nach dem Zylinder hat sich seit der Erfindung der Kreuzzylindermethode nach Jackson Anfang des 20. Jahrhunderts kaum weiterentwickelt, weil sich die Geräte für die subjektive Refraktion, die Phoropter, bei denen den Augen des Probanden Messgläser vorgehalten werden, kaum weiterentwickelt haben.
- Durch das Aufkommen von Phoroptern mit stufenloser Stärkenänderung ist es möglich, eine neue Methode für die Zylinderbestimmung basierend auf einem „vektoriellen“ Refraktionsansatz anzubieten.
- Diese Methode erkundet den „Dioptrieraum“ auf direktere Art und Weise, indem gleichzeitig nach der Stärke und der Achse des Zylinders gesucht wird und die Stärke des sphärischen Äquivalents genau konstant gehalten wird.
- Diese neue Technik, die mit einem sehr präzise kontrollierten Optikmodul verbunden und in Algorithmen für die Refraktionsbestimmung integriert ist, bietet zahlreiche Möglichkeiten für die Weiterentwicklung der Refraktionsmethoden.

#### **LITERATURHINWEISE**

- (1) Longo A., Meslin D., Une nouvelle approche de la réfraction subjective, Cahiers d'Ophthalmologie, Nr. 230, S. 59-63, (Sept 2019) und Points de Vue, www.pointsdevue.com - Ein neuer Ansatz für die subjektive Refraktion (Mai 2020)
- (2) Thibos L. N., Wheeler W., Horner D., Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. Optom Vis Sci. Jun;74(6):367-75 (1997).
- (3) Thibos, L. N., & Horner, D., Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 27(1), 80-85 (2001).
- (4) Touzeau O., Costantini E., Gaujoux T., Borderie V., Laroche L., Réfraction moyenne et variation de réfraction calculées dans un espace dioptrique, Journal français d'ophtalmologie, 33, 659-669 (2010).
- (5) Touzeau O., Scheer S., Allouch, Borderie V., Laroche L., Astigmatisme : analyses mathématiques et représentations graphiques, EMC - Ophtalmologie 1, pp 117-174, Elsevier (2004).