



PD Dr. Wolfgang Wesemann

# Moderne Videozentriersysteme und Pupillometer im Vergleich, Teil 1

**Vier Videozentriergeräte und vier Pupillometer wurden in einer vergleichenden Untersuchung hinsichtlich Handhabung und Messgenauigkeit geprüft.**

**Alle vier Videozentriergeräte sind angenehm und leicht zu bedienen. Sie messen die Gesamt-PD etwas genauer als die Pupillometer. Zusätzlich ermitteln sie weitere Zentrierdaten (z.B. Einschleifhöhe, Vorneigung und Fassungsscheibenwinkel). Dies ist mit Pupillometern nicht möglich. Zentrierparameter, die auch von der Kopf- und Körperhaltung der Kunden abhängen (z.B. Einschleifhöhe, Vorneigung), sind nicht so genau wie die PD. Hier kommt es sehr darauf an, wie der Kunde im Augenblick der Messung vor dem Gerät steht.**

## 1 Einleitung

Die wichtigsten augenoptischen Tätigkeiten sind die Refraktionsbestimmung und die anschließende Auswahl, Anfertigung und Abgabe der Brille.

Bei einer Brille müssen die Glasstärken und die Zentrierung stimmen. Zentrierfehler verursachen asthenopische Beschwerden, verschlechtern das Stereosehen und verkleinern die nutzbaren Zonen von Gleitsichtgläsern beträchtlich.

Mit der zunehmenden Verbreitung „individueller Gleitsichtgläser“ hat die Bedeutung der exakten Brillenglaszentrierung noch weiter zugenommen. Die alleinige Messung der Pupillendistanz reicht nicht mehr aus. Zusätzliche Zentrierparameter wie zum Beispiel HSA, Fassungsscheibenwinkel und Vorneigung müssen bestimmt und bei der Bestellung der Gläser angegeben werden, denn ohne die genaue Kenntnis dieser Parameter können individuelle Gleitsichtgläser nicht berechnet werden.

Bereits 1997 hatte der Autor sich ausführlich mit der Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit von PD-Messgeräten beschäftigt (Wesemann et al. DOZ 1997). Damals gab es nur ein ausgereiftes Videozentriergerät.

In den letzten Jahren haben aber auch mehrere andere Firmen Videozentriergeräte vorgestellt, die nicht nur die PD, sondern auch die zusätzlichen Zentrierdaten ermitteln können. Wie leicht sind diese neuen Geräte zu bedienen? Wie genau sind sie? Diese Fragen versucht die hier vorgestellte Studie zu klären.

Vier Firmen stellten uns ihr Videozentriersystem zur Verfügung:

- Essilor lieferte das „Visiooffice“.
- Von Rodenstock stammte der „ImpressionIST“.
- Die Firma Ollendorf nahm mit ihrem „Visureal“ an der Untersuchung teil.
- Zeiss steuerte das „RV-Terminal (RVT)“ bei.

Diese vier Videozentriergeräte sind eine repräsentative Auswahl der derzeit erhältlichen Geräte. Aber Vorsicht: Einige der anderen Videozentriergeräte sind reine PD-Messgeräte, die keine zusätzlichen Zentrierdaten messen können.

Die Videozentriergeräte verglichen wir mit vier aktuellen digitalen Pupillometern (PD-2, Fa. BON / Digital CRP, Fa. Essilor / PM-100, Fa. Rodenstock / PD-5, Fa. Topcon), die extra für die Studie neu gekauft worden waren. Alle Firmen wussten, dass die Geräte im Rahmen einer vergleichenden Studie eingesetzt werden sollten.

## 2 Unterschiedliche Messphilosophien

### 2.1 Eine oder zwei Kameras

Das erste ausgereifte Videozentriersystem, das Zeiss Video-Infral, benutzte eine aufwändige Technik mit zwei Kameras. Die eine Kamera blickte direkt auf das Gesicht des Kunden, die andere nahm gleichzeitig das Profil über einen Spiegel auf. Ein ähnliches „Zweikameraprinzip“ mit anschließender echter 3D-Auswertung wird nur beim Impressionist von Rodenstock eingesetzt. Alle anderen Videozentriersysteme verwenden nur noch eine Kamera und nehmen zwei Aufnahmen nacheinander auf.

### 2.2 Horizontale Zentrierung auf Hornhautreflex bzw. Pupillenmitte

Unter den Herstellern besteht keine Einigkeit darüber, wie die Pupillenzentrierung vorgenommen werden soll. Einige Hersteller fordern, dass die Messmarke auf den Hornhautreflex eingestellt wird. Andere befürworten eine Zentrierung der Messmarke auf die Pupillenmitte. Insofern muss der deutsche Augenoptiker derzeit selbst entscheiden, welcher der beiden Methoden er den Vorzug gibt.

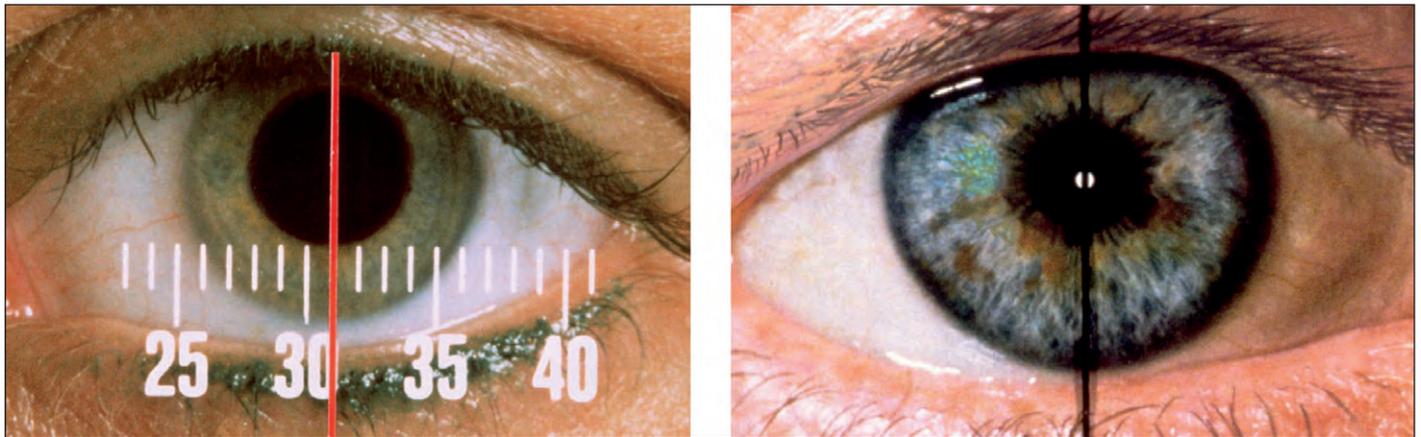


Abb. 1: Zentrierung nach Pupillenmitte (links) oder Hornhautreflex (rechts)

Fest steht, dass die nach der Hornhautreflexmethode gemessene „PD“ im Mittel um etwa 0,5 mm kleiner ist als die nach der Pupillenmittenmethode gemessene PD (Wesemann et al., 1997). Dies liegt daran, dass der Hornhautreflex bei den meisten Menschen ein wenig nach nasal gegenüber der Pupillenmitte verschoben ist. Die Verschiebung des Hornhautreflexes gegenüber der Pupillenmitte ist allerdings keine Konstante, sondern variiert von Person zu Person<sup>1</sup>.

### 2.3 Vertikale Zentrierung auf Pupillenmitte bzw. Unterkante Pupille

Auch bei der vertikalen Zentrierung gibt es unterschiedliche Messphilosophien.

Drei Geräte (Visiooffice, ImpressionIST und RVT) geben die Einschleifhöhe nach Nullblickrichtung Ferne an. Die Hersteller gehen davon aus, dass das Zentrierkreuz des Brillenglases nach dem Einarbeiten in die Fassung bei horizontaler Fixierlinie genau vor der Pupillenmitte liegen soll.

Das Visureal gibt in dem voreingestellten Modus eine etwas kleinere Einschleifhöhe an. Diese Einschleifhöhe entspricht nach Herstellerangaben einem Abblick von 2,25°. Sie wird aus

<sup>1</sup> Welche der beiden Zentriermethoden die bessere ist, ist umstritten. Betrachtet man die Abbildung mit dem Auge auf rein geometrisch-optischer Basis, spricht vieles für eine Zentrierung nach der Pupillenmittenmethode. Allerdings muss man wissen, dass die Position der Pupillenmitte nicht konstant ist. Dies wurde z.B. von Yang et al. (2002) untersucht. Sie fanden, dass der Mittelpunkt der Pupille meistens nach temporal wandert, wenn sich der Pupillendurchmesser vergrößert. Dies liegt daran, dass sich die Iris unsymmetrisch öffnet. Bei den meisten Personen war die Wanderung der Pupillenmitte kleiner als 0,3 mm pro Auge. Eine Person zeigt eine Verschiebung von 0,6 mm pro Auge. In anderen Arbeiten zum gleichen Thema, wurden zum Teil deutlich größere Wanderungsbewegungen beobachtet. Der Hornhautreflex ist unabhängig von der Pupillengröße und liegt immer am gleichen Ort. Das ist ein Vorteil. Ein zweiter Vorteil besteht in der leichteren Lokalisierbarkeit. Das Videozentriersystem von Essilor fand in fast allen Fällen die genaue Position der Hornhautreflexe vollautomatisch.

Wenn man Effekte wie den Stiles-Crawford-Effekt erster Art mitberücksichtigt, so lassen sich auch sinnesphysiologische Argumente für die Hornhautreflexmethode finden. Diese – zum Teil sehr schwierige – Diskussion über die ideale Pupillenmessmethode wurde in einer theoretischen Analyse von Wesemann (1996) angesprochen.

der tatsächlich gemessenen Einschleifhöhe unter Berücksichtigung des HSA berechnet. Dieser Wert soll in etwa einer „Zentrierung auf den unteren Pupillenrand“ entsprechen. Der Unterschied zwischen beiden Methoden beträgt nach Herstellerangaben im Mittel ca. 1,1 mm.

## 3 Handhabung der untersuchten Geräte

### 3.1 Essilor Visiooffice

Das Videozentriersystem von Essilor lässt sich sehr einfach bedienen. Es werden zwei Videoaufnahmen gemacht. Der Kunde muss einmal geradeaus und einmal mit 20° nach rechts gedrehtem Kopf zum Gerät blicken.

Die Auswertung des aufgenommenen Videobildes ist ein Kinderspiel. Der Computer findet die Hornhautreflexe, die grünen Eichmarken auf dem Zentrierbügel, die Fassungshorizontale und die Hornhautreflexe vollautomatisch. Diese automatische Markierung der Eichmarken und des Hornhautreflexes funktioniert in „Echtzeit“ mit hoher Zuverlässigkeit. Nur in sehr wenigen Fällen mussten die Messmarken für die Pupillenposition per Hand nachjustiert werden. Die Arbeit des Untersuchers beschränkt sich im Wesentlichen auf die Einweisung des Prüflings und das Justieren der rechtwinkligen Messlinien auf die Fassungsänder.

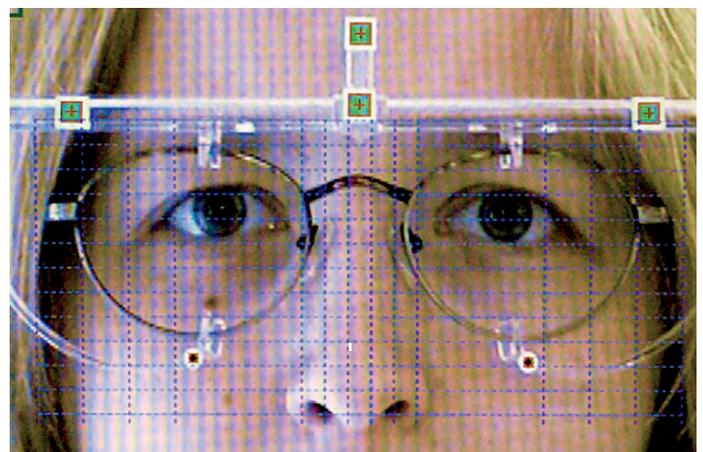


Abb. 2: Screenshot vom Essilor Visiooffice während der Messung. Man sieht die automatisch gefundenen roten Kreuze auf den grünen Quadraten des Zentrierbügels.

Ungewöhnlich ist, dass der Kunde bei der Messung aktiv mitarbeiten muss. Dieses dynamische Messprinzip fördert die entspannte Kopf- und Körperhaltung vor dem Gerät. Der Kunde soll sowohl beim Blick geradeaus als auch beim Seitwärtsblick seinen Kopf langsam seitlich hin und her bewegen und dabei konstant auf seine Nasenwurzel im Spiegel blicken. Dies muss man dem Kunden vor Beginn der Messung sorgfältig erklären. Ohne genaue Anweisungen funktioniert die Messung nicht richtig. Alle Prüflinge, die an unserer Studie teilnahmen, haben aber sehr schnell verstanden, was sie während der Messung tun sollen. Auf jeden Fall sollte der Augenoptiker während der Messung darauf achten, ob der Kunde den Kopf bei der Messung richtig bewegt und mit seinen Augen wirklich dorthin blickt, wo er hinsehen soll.

### 3.2 Rodenstock ImpressionIST

Der ImpressionIST ist das einzige Videozentriergerät, bei dem nur eine Aufnahme gemacht werden muss, denn der Kunde wird gleichzeitig mit zwei Kameras aufgenommen. Die eine Kamera blickt frontal auf das Gesicht, die andere blickt schräg von unten. Dies ist ein Vorteil, denn der Kunde muss nur einmal richtig positioniert werden. Durch die beiden Kameras werden simultan alle Informationen erfasst, die zur Berechnung aller Zentrierdaten nötig sind.



Abb. 3: Screenshot vom Rodenstock Impressionist während der Einjustierung des Kunden. Man sieht die Aufnahmen der Frontalkamera und der Kamera, die von schräg unten blickt.

Zur Positionierung des Prüflings dient ein Teppich, in den eine Linie eingewebt ist, die die richtige Position der Füße des Prüflings anzeigt. Die Positionierung klappt im Normalfall relativ leicht, allerdings hat die Kamera des Impressionisten kein Autofokussystem, sondern ist fix auf die geforderte Entfernung eingestellt. Auch die „Blickrichtung“ der Kameras ist fest eingestellt. Bei Personen mit sehr großen oder sehr kleinen Schuhgrößen musste der Prüfling deshalb nachpositioniert werden, bis das Monitorbild der Augen scharf war.

Die beiden Lichtleisten, mit denen der Kunde beleuchtet wird, sind sehr hell und leuchten dauernd. Sie wurden manchmal als blendend hell empfunden. In dem neuen Modell, das auf der Opti 2009 vorgestellt wurde, hat man dieses Problem durch den Einsatz einer Blitzbeleuchtung beseitigt.

Die Auswertung am berührungsempfindlichen „Touchscreen“-Monitor ist etwas mühselig. Zur Justierung wird zunächst der entsprechende Teil des Bildes wie durch eine Lupe vergrößert. Dann muss der Zentrierkreis und jede Messlinie in allen Richtungen mit einem Spezialstift schrittweise eingestellt werden. Der Zeitbedarf für eine Auswertung ist deshalb größer als bei den anderen Zentriergeräten.

### 33 Ollendorf Visureal

Das Visureal hat die beste Bildqualität aller getesteten Systeme. Selbst feine Details der Augen und der Fassung sind deutlich erkennbar. Besonders bemerkenswert ist, dass dies ohne eine Zusatzbeleuchtung gelingt. Der Kunde wird beim Visureal weder durch helles Dauerlicht noch durch Blitzlicht irritiert.

Vor der Messung muss ein Zentrierbügel auf die Fassung gesetzt werden. Dieser Zentrierbügel ist im Vergleich zu den Bügeln von Zeiss und Essilor sehr filigran gebaut. Er wird mit zwei Haken lose über den Oberrahmen gehängt und stützt sich mit zwei senkrechten Streben am unteren Rahmen ab. Der Bügel ist deshalb sehr leicht. Dem Vorteil der Leichtbauweise steht aber der Nachteil der fehlenden Klemmhalterung gegenüber. Im Laufe unserer Serienmessungen fiel der Zentrierbügel den Probanden mehr als einmal von der Fassung und musste dann erneut angepasst werden. Die senkrechten Haltestreben waren darüber hinaus für sehr große Scheibenhöhen zu kurz.

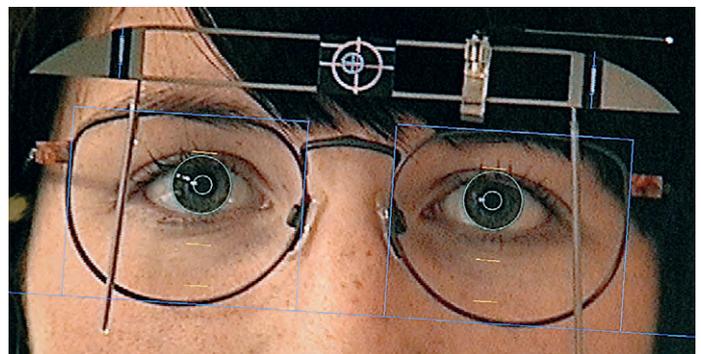


Abb. 4: Screenshot vom Visureal während der Auswertung. Man sieht den lose auf der Fassung sitzenden Zentrierbügel und die Justiermarken von Pupille und Boxing-System.

Die Seitenaufnahme wird beim Visureal dadurch erleichtert, dass sich die Kamera per Fernsteuerung auch seitlich nachstellen lässt. Das ist sehr praktisch. Wenn der Prüfling nicht exakt mittig steht, kann man dies durch eine Kamerabewegung ausgleichen.

Bei der Seitenaufnahme ist die Rotation des Kopfes relativ kritisch. Der Prüfling soll sich exakt um 90° drehen. Der Zentrierbügel soll im Kamerabild weder leicht schräg von vorn noch schräg von hinten zu sehen sein. Dies erforderte manchmal Feinkorrekturen der Drehung des Prüflings bis die richtige Drehung eingestellt war. Bei dem von uns getesteten Modell gab es auch Probleme bei der Ermittlung des Fassungsscheibenwinkels. Dazu muss nämlich ein Zusatzbügel von oben auf den Zentrierbügel aufgesetzt und anschließend möglichst parallel zur Fassungsscheibe ausgerichtet werden. Dieser Zusatzbügel verdrehte sich bei einigen Messungen so stark, dass negative Fassungsscheibenwinkel angezeigt wurden. In diesen Fällen wurde die Messung noch einmal wiederholt. Mittlerweile hat der Hersteller aber einen anderen Messbügel vorgestellt, der diese Probleme nicht mehr haben soll.

### 3.4 Zeiss RV-Terminal (RVT)

Das RV-Terminal ist ebenfalls einfach zu bedienen. Nachdem die richtige Höhe des Messkopfes eingestellt ist, blickt der Kunde auf ein rot flackerndes Fixierlicht, das die Akkommodation

nach Herstellerangaben nur wenig anregt. Der Kunde steht in kurzer Distanz (70 - 150 cm) vor dem Gerät. Der Abstand ist in diesem Bereich frei wählbar. Die Kamera stellt sich per Autofokus auf das Gesicht scharf.

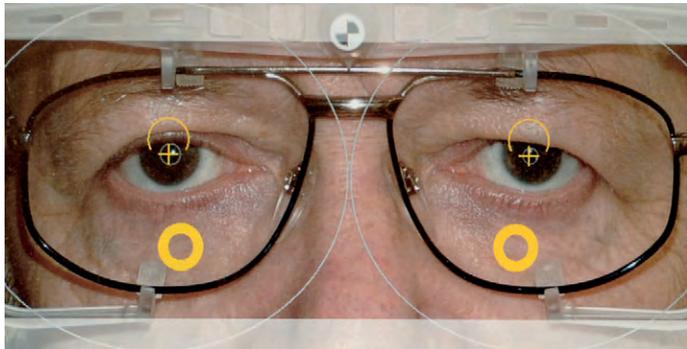


Abb. 5: Screenshot vom Zeiss RVT während der Auswertung.

Bei unseren Messreihen traten anfangs allerdings relativ oft Probleme mit der Scharfstellung auf, da sich in unserem Messraum hinter dem Prüfling weit entfernte kontrastreiche Objekte befanden, die das Autofokussystem irritierten. Deshalb haben wir hinter dem Prüfling eine Trennwand mit einfarbigem Karton aufgestellt. Danach funktionierte die Scharfstellung immer einwandfrei.

Die 90°-Seitenaufnahme war beim RVT wesentlich schwieriger als beim Visureal, da sich der Prüfling ganz genau an eine bestimmte Stelle stellen muss. Das Gerät verlangt, dass das Auge und die Fassung in einem stark eingeschränkten Bereich des Monitors sichtbar sein müssen. Schon kleine Vorwärts- oder Rückwärtsschwankungen des Prüflings führten dazu, dass der Visierbügel oder das Auge nicht mehr vollständig in dem „erlaubten Bereich“ auf dem Monitor zu sehen war und die Aufnahme wiederholt werden musste.

Die Auswertung wird dadurch erleichtert, dass der Computer versucht, die Pupillen automatisch zu finden und die Zentrierkreuze darauf einstellt. Bei blauen Augen funktionierte das automatische Auffinden recht gut. Bei dunklen Augen traten Probleme auf. In zwei Fällen stellte der Computer die Zentrierkreuze versehentlich auf eine Niete der Brillenfassung, die das Licht besonders hell reflektierte. Manchmal klappte die automatische Vorzentrierung gar nicht.

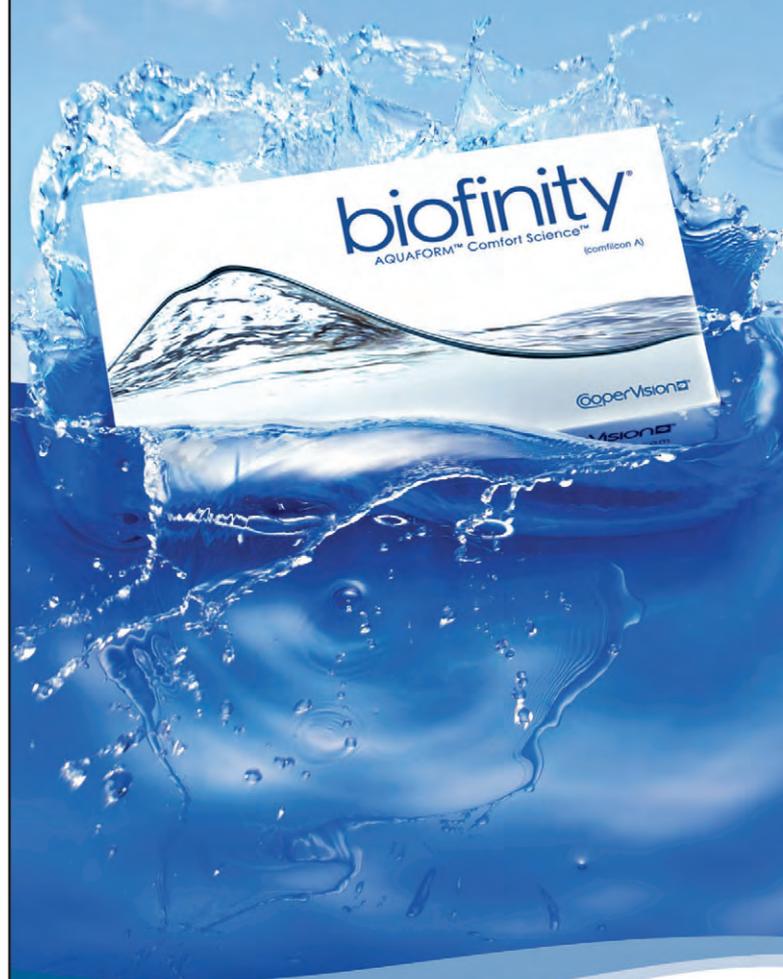
### 3.5 Digitale Pupillometer

Alle digitalen Pupillometer werden im Ausland hergestellt. Das PD-2 von Fa. BON stammt von der Firma 3B Optical Instruments Corporation aus Argentinien. Das Digital CRP von Essilor wird in China gefertigt. Die beiden anderen Geräte (PM-100 von Rodenstock und PD-5 von Topcon) stammen von der Firma Towa in Japan. Die beiden zuletztgenannten Geräte sind, soweit man erkennen kann, im Geräteinneren baugleich. Nur äußerlich gibt es Designunterschiede. Interessanterweise ist der Verkaufspreis des Topcon-Pupillometers aber deutlich höher als der des Rodenstock-Pupillometers.

Die Bedienung aller Geräte ist einfach. Alle Geräte verfügen über eine umklappbare Blende, mit der ein Auge bei Bedarf abgedeckt werden kann. Die Ablesung der Rechts-/Links-PD erfolgt auf einer Digitalskala mit einer Schrittweite von 0,5 mm.

# Perfekte Balance

DER KLASSIKER



CooperVision®

biofinity®  
AQUAFORM™ Comfort Science™

Preislich gehören die Videozentriersysteme in die Oberklasse. Sie kosten deutlich mehr als 5000,- Euro. Die klassischen Pupillometer sind hingegen für weniger als 500,- Euro erhältlich.

### 3.6 Zusatzfunktionen der Videozentriergeräte

Alle vier Videozentriersysteme bieten zahlreiche weitere Anwendungsmöglichkeiten. So ist z.B. eine ausgiebige Glasberatung am Gerät möglich, bei denen die Vorzüge der unterschiedlichen Glastypen demonstriert werden können. Außerdem können dem Kunden Videos mit Produktvorteilen gezeigt werden und Websites mit optischen Inhalten aufgerufen werden. Diese Produkteigenschaften wurden von uns nicht verglichen.

### 3.7 Bedienungsprobleme

Die Messungen mit den vier Videozentriergeräten gelangen in den meisten Fällen ohne Schwierigkeiten. Folgende Probleme erscheinen dennoch erwähnenswert:

#### 3.7.1 Probleme bei der seitlichen 90-Grad-Aufnahme

Beim Visureal und beim RVT werden zwei Fotos aufgenommen. Ein Foto frontal von vorn, das zweite mit um 90° gedrehtem Gesicht. Dabei ergab sich das Problem, dass die Prüflinge bei der 90° Aufnahme nicht ohne weitere Erklärungen wussten, wohin sie blicken sollten bzw. wie sie den Kopf halten sollten. Da es bei der Seitenaufnahme keine Fixiermarke gibt, blickten unsere Prüflinge in unterschiedliche Richtungen. Bei den ersten Messungen ergaben sich zum Teil unbrauchbare Werte für die Vorneigung. Zur Verminderung dieses Problems haben wir eine zusätzliche Sehprobentafel in der Blickrichtung des um 90° gedrehten Prüflings aufgestellt und dem Prüfling genau gesagt, auf welchen Buchstaben auf der Tafel er blicken soll. Hier sollten die Gerätehersteller dem Augenoptiker konkrete Hilfen anbieten.

#### 3.7.2 Das Problem der „natürlichen Kopf- und Körperhaltung“

Während der Messung soll der Kunde eine „natürliche Kopf- und Körperhaltung“ einnehmen. Hier begegnen wir einem sehr wichtigen und sehr schwierigen Problem. Häufig ist der Kunde im Laden angespannt und nicht in der Lage seine normale habituelle Haltung einzunehmen. Häufig weiß er auch überhaupt nicht, was seine „normale“ Kopfhaltung ist und wie er sich vor dem Gerät aufstellen soll.

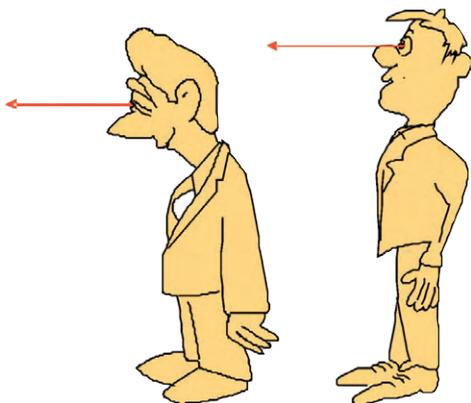


Abb. 6: Der „entspannte“ und der „militärische“ Typ (Quelle: Essilor)

Wir kennen unter Anderem 2 Typen von Prüflingen (Abb. 6)  
a) den militärischen „Hab-Acht“ Typ, der vor dem Videozentriergerät eine stramme Haltung annimmt, die Hände seitlich an der Hosennaht anlegt und den Kopf leicht nach hinten reckt. Bei diesem Typ misst man eine zu niedrige Einschleifhöhe, weil der Kopf zu weit in den Nacken gelegt wird.

b) den entspannten/schlaffen Typ, der vor dem Videozentriergerät mit vorgeschobenem Bauch, leicht nach unten gesenktem Kopf und vielleicht sogar mit den Händen in den Hosentaschen steht. Bei diesem Typ misst man eine zu hohe Einschleifhöhe, da er die Fixiermarke des Zentriergerätes im leichten Aufblick betrachtet.

Das Problem der „natürlichen Kopf- und Körperhaltung“ ist nach unserer Erfahrung nicht wirklich lösbar. Man sollte aber stets den Kunden genau beobachten und darauf achten, dass

a) die Arme locker neben dem Körper baumeln.

b) der Kunde nicht soldatisch strammsteht.

Im Zweifel sollte man den Kunden zunächst ein wenig im Raum herumgehen lassen, um ihm die Anspannung zu nehmen.

#### 3.7.3 Probleme bei besonderen Brillenfassungen

##### • Transparente Fassungen und Bohrbrillen

Bei allen vier Videozentriergeräten gab es große Schwierigkeiten mit transparenten Brillenfassungen. Der transparente Fassungsrand konnte nur mit Mühe erkannt werden. Die Einstellung der Zentrierlinien war entsprechend fehlerbehaftet.

##### • Runde /Schräge Fassungen

Bei den drei Videozentriergeräten, bei denen man einen Zentrierbügel auf die Fassung aufsetzen muss (Visiooffice, Visureal und RVT), gab es Probleme mit runden oder abgesehenen Fassungen. Bei Fassungen mit einem runden Oberrahmen verrutschte der Zentrierbügel plötzlich. Die Messung musste dann von vorn begonnen werden. Auch Fassungen mit seitlich abgeschrägten Oberrahmen waren manchmal problematisch. Bei mehreren Fassungen mit Doppelsteg ließ sich der Zentrierbügel nicht so befestigen, wie vom Hersteller vorgesehen, da die Halteklammern genau an der Grenze des Doppelstegs saßen und in die eine oder andere Richtung verrutschten.

##### • Nylorfassungen und Bohrbrillen mit Stützscheiben

Bei Nylorfassungen mit Stützscheiben war die Pupillenmitte zum Teil schlecht zu erkennen, da die Reflexe auf den nicht entspiegelten Scheiben störten. Dies Problem haben wir aber nicht weiter untersucht, sondern alle Messungen, über die hier berichtet wird, ausschließlich mit stützscheibenfreien Fassungen durchgeführt.

#### 3.8 Zeitbedarf für eine Messung

Wir haben den Zeitbedarf nur stichprobenartig ermittelt. Gemessen wurde die Zeit für den gesamten Messvorgang, beginnend bei den mündlichen Erklärungen und der Einweisung des Kunden bis zum Ausdruck des fertigen Messprotokolls.

Im Mittel ergab sich bei problemlosen Kunden mit den drei Videozentriergeräten Essilor Visiooffice, Ollendorf Visureal und Zeiss RVT eine Gesamtzeit von etwa 2 min 40 sek mit leichten Vorteilen für das Visiooffice. Traten Probleme auf – zum Beispiel

wenn eine Seitenaufnahme wiederholt werden musste – erhöhte sich die Messzeit im Mittel auf etwa 3 min 20 sek. Diese Zeiten gelten für eine Dateneingabe mit Tastatur und eine Einstellung der Zentrierlinien per Maus. Bei Bedienung über einen „Touchscreen“ braucht man länger.

Die mit Abstand kürzeste Mess- und Auswertzeit hatte das Essilor Visiooffice, weil das Visiooffice die Eichmarken und die Hornhautreflexe fast immer vollautomatisch fand. Hier war aber eine etwas längere Zeit für die einleitenden Kundenanweisungen nötig, so dass wir letztlich bei diesen drei Geräten keine signifikanten Unterschiede nachweisen konnten.

Mit dem Rodenstock Impressionist dauerte eine problemfreie Messung im Mittel 4 min 20 sek. Diese längere Messzeit kam im Wesentlichen durch die arbeitsaufwendigere Auswertung auf dem Touchscreen zustande. Zur Einstellung von Pupillenmitte und Zentrierlinien musste der Monitor mit dem Touch-Pen in vielen einzelnen Schritten „angetippt“ werden. Der gesamte Messvorgang mit dem Impressionist dauert im Mittel also etwa 1:30 - 2 Minuten länger als mit den drei anderen Zentriergeräten. Wenn man – wie wir – zahlreiche PD-Messungen hintereinander machen will, ist das lästig. In einem normalen Augenoptikerbetrieb dürfte es aber in den meisten Fällen unerheblich sein, ob die gesamte PD-Messung inklusive Auswertung insgesamt 2:30 oder 4:00 Minuten dauert.

### 3.9 Kurzbewertung der Handhabung

Eine Bewertung der Bedienung der vier Videozentriergeräte ist nicht leicht, da alle Geräte einen ausgesprochen positiven Eindruck hinterlassen haben. In Tabelle 1 wurde eine Schulnotenbewertung von 7 wesentlichen Eigenschaften versucht. Wenn man die Gesamtzahl der Pluspunkte miteinander vergleicht, schneiden alle vier Geräte fast gleich gut ab.

Kriterium	Essilor Visiooffice	Ollendorf Visureal	Rodenstock Impressionist	Zeiss RVT
1.) Der Abstand des Kunden zum Gerät ist leicht einzustellen. Das Bild der Augen wird automatisch scharfgestellt.	+	+	0	+
2.) Computer hilft bei der Einstellung der Zentriermarke auf Hornhautreflex bzw. Pupillenmitte.	++	+	+	+
3.) Kameraaufnahme hat hohe Bildqualität.	+	++	+	+
4.) Messzeit ist kurz.	++	+	0	+
5.) Kunde versteht leicht, was er tun soll.	+	+	++	+
6.) Kunde wird nicht geblendet.	+	++	+) )	+
7.) Der Messbügel ist leicht zu montieren und sitzt sicher	+	0	++) )	+
7.) Bedienungsanleitung ist lehrreich, vollständig und übersichtlich.	+	+	+	+
<b>Gesamtzahl der Pluspunkte</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

Tabelle 1: Versuch einer Kurzbewertung der Handhabung der vier Videozentriergeräte (Notenstufen: ++ = sehr gut, + = gut, 0 = befriedigend).

(\*) Anmerkung zu Kriterium 6: Bei der Bewertung des Rodenstock ImpressionIST wurde berücksichtigt, dass die Lichtbänder in der aktuellen Geräteversion gegen eine Blitzbeleuchtung ausgetauscht wurden.

Anmerkung zu Kriterium 7: Beim ImpressionIST ist kein Messbügel erforderlich

# Perfekte Balance

**JETZT NEU!**



CooperVision

**biofinity**  
AQUAFORM™ Comfort Science™

## ■ Fazit zur Handhabung

Wir hatten keine gravierenden Probleme mit der Bedienung der vier Videozentriergeräte. Im Gegenteil es macht Spaß mit Ihnen zu arbeiten. Alle Videozentriergeräte machen einen technisch ausgereiften Eindruck und beeindrucken den Kunden.

Es ist sehr wichtig, dass die Mitarbeiter der Herstellerfirma, die vor Ort die Einweisung vornehmen sollen, gut mit allen „Bedienungstricks“ vertraut sind und allen Augenoptikern, die das Gerät später bedienen sollen, eindringlich klarmachen, wie wichtig die exakte Einstellung der Zentrierlinien durch den Untersucher ist. Nicht allen Augenoptikern ist klar, dass eine ungenaue Einstellung zwangsläufig zu sehr großen Messfehlern führen. Außerdem sollte eine schriftliche Bedienungsanleitung vorliegen, in der man alles noch einmal nachlesen kann. Wenn nicht alle Personen, die das Geräte später bedienen sollen, bei der Einweisung anwesend sein können, sollten Betriebsmitarbeiter namentlich benannt werden, die die anderen gründlich einweisen und die Richtigkeit der Bedienung später im Rahmen des Qualitätsmanagements kontrollieren. Sehr gut gefallen hat uns die Telefonhotline von Ollendorf, die man schnell erreichen konnte und unsere vielen Fragen stets geduldig beantwortete.

Mehrere Videozentriergeräte können sowohl mit Maus als auch über einen Touchscreen bedient werden. Die Bedienung über Touchscreen sieht moderner und interessanter aus

– schneller und vielleicht sogar genauer geht es nach unserer Meinung jedoch mit Tastatur und Maus.

Alle Geräte haben kleine Eigenarten, an die man sich erst gewöhnen muss. So störte uns, dass man bei der Seitenaufnahme mit dem RVT das Auge und die Brille in einem unangenehm kleinen Fenster auf dem Bildschirm unterbringen muss. Deshalb mussten die Probanden häufig nachjustiert werden. Beim Visureal kann man als älterer Benutzer die winzige Windows-Schrift auf dem Laptopmonitor nur mit Mühe aus der Halbdistanz erkennen. Beim Impressionist wird man manchmal nervös, weil die Bedienung des Touchscreens relativ lang dauert. Beim Visiooffice muss man darauf vertrauen, dass alle Kunden verstehen, wie sie den Kopf bei der Messung bewegen sollen. All diese Ärgernisse sind aber nach kurzer Zeit und mit zunehmender Bedienungsroutine schnell vergessen.

### In der nächsten Ausgabe der DOZ erfahren Sie viele Details zur Messgenauigkeit der Zentriergeräte.

**Danksagung:** An der Planung der Studie und der Durchführung der Messungen haben die staatlich geprüften Augenoptiker/innen Katie Grah, Sabrina Kuene, Manuela Irmeler, Andreas Neumann, Lukas Nedelka, Christina Schmidt, Benjamin Seel und Christian Sickel aktiv mitgewirkt. Dafür möchte ich mich an dieser Stelle ganz herzlich bedanken.

**Anschrift des Autors: E-Mail: wesemann@hfak.de**

Volkhard Schroth

## MKH in Theorie und Praxis

Mit dem vorliegenden Buch ist es Volkhard Schroth in bemerkenswerter Weise gelungen, den **aktuellen Wissensstand** zu Theorie und Praxis der MKH darzustellen. Dabei hat er eine geschickte Trennung von Theorie und Praxis vorgenommen. Beigefügt ist **auch eine CD** mit Videobeispielen. Der Theorieteil möchte den aktuellen Erkenntnisstand darlegen, die noch zu klärenden Punkte erläutern und damit anregen, sich an der Suche nach Lösungen zu beteiligen. Der Autor unterstützt ausdrücklich die **praktische Anwendung der MKH** – weil er aus eigener Erfahrung weiß, dass sie in den meisten Fällen **sehr hilfreich** ist. Gleichzeitig werden unbeschönigt Kritikpunkte und offene Fragen angesprochen.

Format 170 x 250 mm, 250 Seiten, 105 Grafiken und Abbildungen, größtenteils farbig + CD mit Videobeispielen



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

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

[www.doz-verlag.de](http://www.doz-verlag.de)



€ 49,90

inklusive ges. MwSt.,  
zzgl. Porto und Verpackung



PD Dr. Wolfgang Wesemann

# Moderne Videozentriersysteme und Pupillometer im Vergleich, Teil 2, Schluss

**Im ersten Teil wurden die Geräte und die Handhabung beschrieben. In diesem zweiten Teil werden die Ergebnisse von vergleichenden Messungen vorgestellt.**

## 4 Methodik der Messungen

Zum besseren Verständnis wird zunächst die Vorgehensweise bei den Untersuchungen erläutert. Insgesamt wurden 1000 Zentriermessungen vorgenommen. Die Messungen gliederten sich in zwei verschiedene Studien:

**1. Reproduzierbarkeitsstudie:** Neun Versuchspersonen wurden mit acht Zentriergeräten jeweils fünfmal gemessen. Die Wiederholungsmessungen erfolgten nicht unmittelbar hintereinander. Erst nachdem ein kompletter Messzyklus mit allen acht Geräten abgeschlossen worden war, wurde mit dem nächsten Zyklus begonnen. Das hatte zur Folge, dass die Messbügel beim Visiooffice, Visureal und RV Terminal vor jeder Messung wieder neu auf die vorangepasste Fassung montiert werden mussten. Danach wurde die Fassung neu aufgesetzt und die Prüflinge neu vor den Geräten positioniert. Mit dieser Vorgehensweise kann man herausfinden, wie gut die Geräte bei der gleichen Person immer wieder das gleiche Ergebnis anzeigen.

**2. Reihenuntersuchung:** 80 Versuchspersonen wurden mit acht Zentriergeräten jeweils einmal gemessen. Die acht Messungen erfolgten nacheinander in einem Zeitraum von maximal 45 Minuten. Die Reihenfolge der Zentriergeräte wurde zufällig variiert. Alle Probanden der Reihenuntersuchung waren mit den Zentriergeräten nicht vertraut und wurden vor jeder Messung ausführlich angeleitet. Ihnen wurde erklärt, wie die Kopf- und Körperhaltung idealerweise sein sollte. Es wurde auch genau erklärt, wohin der Prüfling während der 0°- und 90°-Messung blicken sollte. Während der Messung wurde darauf geachtet, ob die Haltung des Prüflings akzeptabel war und der Prüfling das Fixationsobjekt richtig fixierte. Mit der Reihenuntersuchung kann man herausfinden, wie genau Kunden, die die Messgeräte nicht kennen, vermessen werden können.

### Versuchspersonen, Untersucher, Auswertung

Alle Versuchspersonen waren Dozenten oder Studierende der Höheren Fachschule für Augenoptik Köln. Die Pupillendistanzen dieser Personen variierten von 56 bis 74 mm. Der

Median lag bei 62,25 mm. Keiner der Probanden hatte einen manifesten Schiefelder. Alle Brillenfassungen waren sorgfältig vorangepasst worden. Zwei Personen trugen Brillenfassungen, die so groß waren, dass der Messbügel des Visureal nicht befestigt werden konnte. Bei zwei anderen Personen erschienen aus unbekanntem Gründen nicht alle Messdaten auf dem Ausdruck des Zeiss RV Terminals. Diese vier Personen wurden von der endgültigen Auswertung ausgeschlossen.

Alle Messungen wurden von neun Untersuchern vorgenommen. Die Untersucher waren von den Herstellern der Videozentriergeräte im Rahmen einer ausführlichen Einweisung mit der Bedienung der Geräte vertraut gemacht worden. Ergänzende Fragen zur Bedienung und zur Auswertung wurden über die Telefonhotline geklärt. Vor den eigentlichen Messungen wurden zahlreiche Übungsmessungen durchgeführt, die nicht in die Auswertung einbezogen wurden. Die Auswertung aller Daten erfolgte mit den Computerprogrammen Excel, SigmaPlot und Sigmastat.

### Der „Goldstandard“

Wenn man die Ergebnisse von verschiedenen Messgeräten miteinander vergleichen will, tritt stets ein unlösbares Problem auf. Der wahre Wert der Messgröße (z. B. die „wahre“ PD einer Versuchsperson) ist nämlich nicht genau bekannt und kann durch die Ergebnisse der verschiedenen Messgeräte auch nicht exakt ermittelt werden.

Jeder Hersteller behauptet natürlich, dass der Messwert seines Gerätes richtig ist. Würde man aber eines der Geräte für besonders genau erklären, würde man den anderen Geräten unrecht tun. Eine sinnvolle Lösung dieses Problems ist die Mittelung aller acht Messwerte. Dieser Mittelwert (z.B. die mittlere PD) ist sozusagen der bestmögliche Kompromiss. Er wird in der englischen Literatur oft als „Goldstandard“ oder „Referenzwert“ bezeichnet.

Ein Beispiel: Bei der Versuchsperson Nr. 53 wurden mit den acht verschiedenen Zentriergeräten folgende Werte für die Gesamt-PD gemessen: 61,7 / 62,4 / 62,6 / 62,2 / 62,0 / 61,5 / 61,0 und 60,5 mm. Wie groß die tatsächliche PD der Person ist, ist nicht bekannt. Als Mittelwert ergibt sich eine PD von 61,74. Diese mittlere PD wird als bestmögliche Annäherung an die Wirklichkeit angesehen. Auf analoge Weise werden im Folgenden die Mittelwerte (der Goldstandard) für alle anderen Beurteilungsgrößen (HSA, Einschleifhöhe usw.) berechnet.

## 5 Ergebnisse der vergleichenden Messungen

### 5.1 Fassungsmaße

Die Fassungsmaße wurden nur mit drei Videozentriergeräten ermittelt. Das Visiooffice nahm an dieser Auswertung nicht teil, da es nur die Mindestgröße des benötigten Brillenglases ausdrückte. Zusätzlich wurden die Fassungsmaße mit einem Messschieber und einem modifizierten Dickentaster (zur Messung der Nutentiefe) sowie mit dem Tracer eines CNC-Automaten gemessen. Beim ImpressionIST und beim RV Terminal muss man die Messlinien auf die Grenze zwischen Fassungsrand und Glas einstellen. Zur Berechnung der Fassungsmaße wird anschließend die angenommene Nutentiefe hinzuaddiert. Dazu nimmt der Computer Standardnutentiefen für Metall-, Zell- und Nylorfassungen an. Bei unseren Fassungen stimmten die tatsächlichen Nutentiefen aber nicht genau mit dem im Computer einprogrammierten Standardwert überein. Dadurch ergab sich zwangsläufig ein kleiner Fehler.

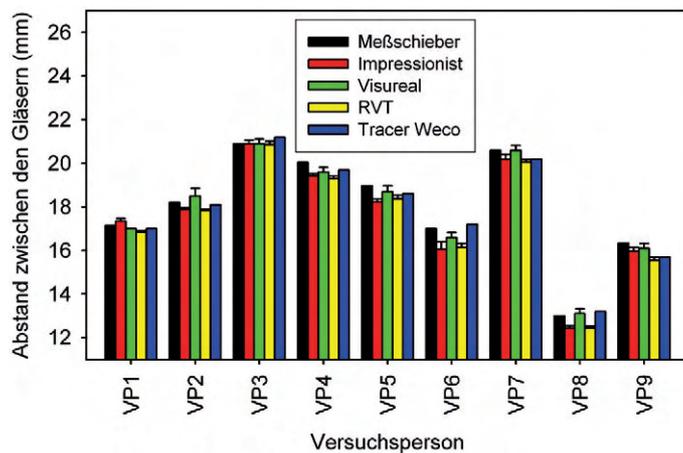


Abb. 7: Vergleich der Brückenweite (AzG) gemessen mit drei Videozentriergeräten und zwei anderen Verfahren. (Mittelwert und Standardabweichung aus jeweils 5 Messungen)

Beim Visureal soll der Untersucher die Messlinien auf die geschätzte Lage des Nutengrundes einstellen. Die so ermittelten Scheibenmaße sind dann bereits die endgültigen Werte. Hier entsteht ein Fehler, wenn der Untersucher die tatsächliche Lage des Nutengrundes am Bildschirm falsch einschätzt. Abb. 7 zeigt exemplarisch die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Brückenweite (AzG). Die von den Videozentriergeräten angezeigten Werte stimmen sehr gut mit den Werten überein, die mit dem Messschieber und dem Tracer ermittelt wurden. In den meisten Fällen gab es nur geringe Unterschiede, die kleiner als ein halber Millimeter waren. Auch bei der Reihenuntersuchung ergaben sich ähnlich geringe Differenzen. Die Fassungsmaße (Brückenweite, Scheibenhöhe, Scheibenbreite) können mit den Videozentriergeräten also mit recht hoher Genauigkeit gemessen werden.

Die kleinen Fehler lassen sich zum Teil durch die unterschiedlichen Nutentiefen erklären.

### 5.2 Pupillendistanz

Bei der Messung der PD fanden wir nicht nur gerätespezifische Messunsicherheiten, sondern auch beträchtliche systematische Differenzen

#### Messergebnisse zur Gesamt-PD

Abbildung. 8 veranschaulicht die mit allen acht Zentriergeräten gemessene Gesamt-PD in Form eines Bland-Altman-Diagramms (Bland und Altman, 1986; Mallen et al. 2001; Queiros et al., 2008). Bei dieser Art der Darstellung werden für jede Versuchsperson die Abweichungen der Einzelergebnisse vom Goldstandard gegen die mittlere PD aufgetragen.<sup>1</sup>

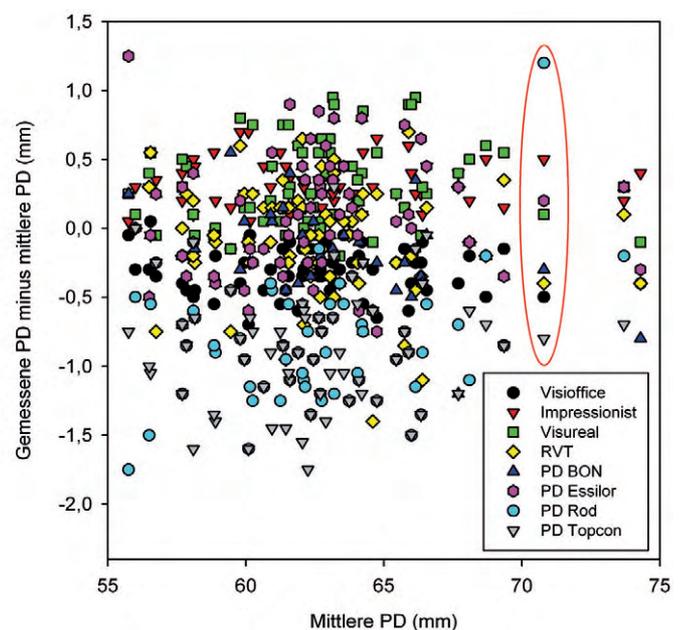


Abb. 8: Bland-Altman-Diagramm der PD-Messung an 76 Personen. Die y-Achse zeigt die Differenz zwischen der mit dem jeweiligen Gerät gemessenen PD und der mittleren PD an. Auf der x-Achse ist die mittlere PD von jeder der 76 Personen aufgetragen. Die rote Ellipse kennzeichnet die acht Ergebnisse, die bei der Versuchsperson „SK“ errechnet wurden.

Wenn der y-Wert in Abb. 8 gleich Null ist, hat das jeweilige Gerät genau die gleiche PD angezeigt wie der Mittelwert über alle Geräte. Eine positive Differenz zeigt, dass das betrachtete Gerät eine größere PD als der Goldstandard gemessen hat. Bei einer negativen Differenz hat das Gerät eine kleinere PD angezeigt. Auffällig ist die enorme Streuung der Messwerte. Unterschiede von 1,5 mm zwischen dem Gerät, das die größte PD angezeigt hat, und dem Gerät, das die kleinste PD angezeigte, sind eher die Regel als die Ausnahme. Die Hoffnung, dass man mit allen PD-Messgeräten nahezu den gleichen Wert misst, erfüllt sich offensichtlich nicht.

<sup>1</sup> Erläuterungen zur Abbildung 8: Für jede einzelne der 76 Personen der Reihenuntersuchung wurde zunächst der PD-Mittelwert über alle acht Geräte berechnet. Auf diese Weise ergab sich bei der Versuchsperson „SK“ eine mittlere PD von 70,8 mm. Dann wurde für jede einzelne Messung die Differenz der gemessenen PD zur mittleren PD berechnet. Diese acht Differenzen wurden anschließend senkrecht über der x-Achse bei 70,8 mm aufgetragen (in Abb. 8 durch die rote Ellipse herausgehoben). Auf gleiche Weise wurden für allen anderen Personen die Differenzen berechnet und senkrecht über der gemittelten PD aufgetragen.

### Streuung der Messwerte / Unsicherheit der PD-Messung

Die beträchtliche Streuung der Messwerte in Abb. 8 reduziert sich deutlich, wenn man die Ergebnisse der verschiedenen Geräte voneinander trennt. Abb. 9 zeigt exemplarisch die Einzelergebnisse der vier Videozentriergeräte. Die drei Linien kennzeichnen den jeweiligen Mittelwert und die Standardabweichung der Messwerte. Die mittleren Linien von Visiooffice und RV Terminal liegen in dieser Darstellung nahe bei Null. Das heißt, diese Geräte zeigten im Mittel fast genau den gleichen Wert an wie der Goldstandard. Der Mittellinien von ImpressionIST und Visureal liegen etwa bei +0,5 mm. Diese systematischen Abweichungen werden im nächsten Absatz genauer besprochen. Hier soll zunächst die Streuung der Messwerte betrachtet werden.

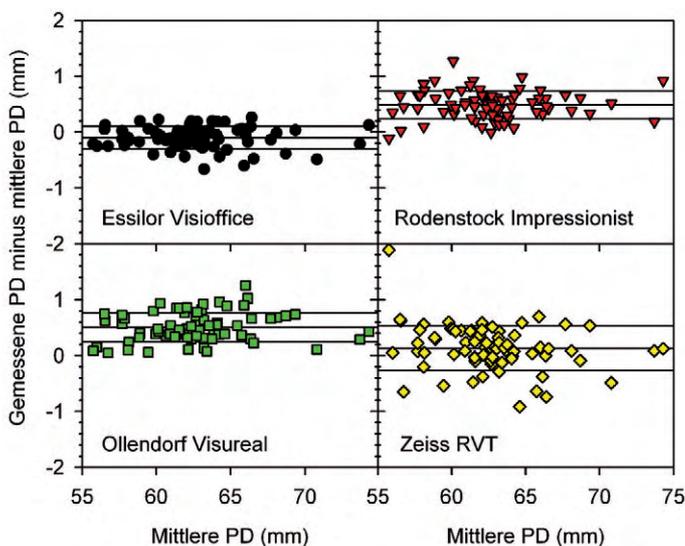


Abb. 9: Bland-Altman-Diagramm der PD-Messung der vier Videozentriergeräte bei 76 Personen. Die drei Linien in jedem Diagramm kennzeichnen den Mittelwert und die Standardabweichung aller 76 Messwerte.

Die Standardabweichung der Messwerte ist ein gutes Maß für die Streuung der Messwerte um den Mittelwert. Der Zahlenwert der Standardabweichung beschreibt den Bereich um den Mittelwert, in dem etwa 68% aller Messwerte liegen.<sup>2</sup> Eine systematische Abweichung vom wahren wahren Messwert wird von diesem Maß aber nicht berücksichtigt. Sie ist vielmehr ein Maß, das die gerätespezifische Messunsicherheit und die Einstellfehler des Untersuchers umfasst. In der technischen Messsystemanalyse werden solche Maße auch „Wiederholpräzision“ (repeatability) bzw. „Vergleichspräzision“ (reproducibility) genannt (ISO 3534-1).

Die Standardabweichung  $\sigma$  der Gesamt-PD ist in Tabelle 2 angegeben. Das Visiooffice von Essilor schnitt sowohl bei der Reproduzierbarkeitsstudie ( $\sigma = \pm 0,09$  mm) als auch bei der Reihenuntersuchung ( $\sigma = \pm 0,20$  mm) am besten ab. Dies ist eine außerordentlich hohe Wiederholpräzision.

<sup>2</sup> Bei wissenschaftlichen Untersuchungen wird alternativ auch ein Konfidenzintervall betrachtet, das doppelt so groß ist wie die Standardabweichung. In diesem größeren Intervall liegen etwa 95% aller Messwerte (95%-Vertrauensbereich,  $2\sigma$ -Bereich).

Der ImpressionIST und das Visureal erreichten bei beiden Untersuchungen ebenfalls sehr gute Werte von  $\pm 0,25$  mm. Das Zeiss RV Terminal zeigte bei der Reproduzierbarkeitsstudie an geübten Versuchspersonen eine sehr gute Präzision ( $\sigma = \pm 0,13$  mm). Bei der Reihenuntersuchung war die Streuung größer ( $\sigma = \pm 0,40$  mm). Die Streuung der Pupillometer war sowohl bei der Reproduzierbarkeitsstudie als auch bei der Reihenuntersuchung recht ähnlich und betrug im Mittel über alle vier Pupillometer etwa  $\sigma = \pm 0,35$  mm.

Gerät	Standardabweichung der PD-Messung	
	Reproduzierbarkeitsstudie	Reihenuntersuchung
Visiooffice	0,09 mm	0,20 mm
ImpressionIST	0,24 mm	0,25 mm
Visureal	0,24 mm	0,26 mm
Zeiss RV Terminal	0,13 mm	0,40 mm
Mittelwert Videozentriergeräte	0,18 mm	0,28 mm
BON Pupillometer	0,47 mm	0,30 mm
Essilor Pupillometer	0,29 mm	0,35 mm
„Rodenstock“ Pupillometer (Vertrieb Fa. Buchmann)	0,32 mm	0,39 mm
Topcon Pupillometer	0,29 mm	0,37 mm
Mittelwert Pupillometer	0,34 mm	0,35 mm

Tabelle 2: Standardabweichung der PD-Messung bei der Reproduzierbarkeitsstudie und der Reihenuntersuchung.

Insgesamt gesehen war die Messwertstreuung der vier Pupillometer bei der Reproduzierbarkeitsstudie fast doppelt so groß wie die Streuung der Videozentriergeräte. Bei den Wiederholungsmessungen an neun Versuchspersonen waren die Videogeräte also sehr viel besser als die Pupillometer. Bei der Reihenuntersuchung an 80 Personen war der Unterschied zwischen den Videogeräten und den Pupillometern nicht so groß. Bei den Rechts-/Links-PD-Messwerten, die hier aus Platzgründen nicht ausführlich besprochen werden, war die Messwertstreuung der Videogeräte schließlich nur geringfügig besser als die der Pupillometer.

### Systematische Messabweichung der Gesamt-PD

Bei der Betrachtung der mehr als 600 Datenpunkte in Abb. 8 erkennt man charakteristische Unterschiede. So liegen die grünen Quadrate eher im oberen Bereich und die grauen Dreiecke eher im unteren Teil des Diagramms. Die Gesamt-PD, die man mit den acht verschiedenen Geräten erhält, weist also zum Teil beträchtliche systematische Unterschiede auf. Diese Unterschiede erkennt man am besten, wenn man die Differenz zwischen dem mittleren Ergebnis jedes Gerätes und dem Goldstandard berechnet. Das Ergebnis dieser Berechnung ist in Abb. 10 anschaulich dargestellt. Die roten Symbole bezeichnen die systematischen Unterschiede, die bei der Reproduzierbarkeitsstudie gefunden wurden. Die grünen Symbole zeigen die systematischen Unterschiede bei den

Reihenmessungen an 76 Personen. Obwohl die Messreihen an vollkommen verschiedenen Personen und zu völlig verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt worden sind, findet man nahezu identische Ergebnisse. Diese Tatsache untermauert, dass die systematischen Unterschiede tatsächlich vorhanden sind und die neun Untersucher, die die Studie durchgeführt haben, sehr sorgfältig gemessen haben.

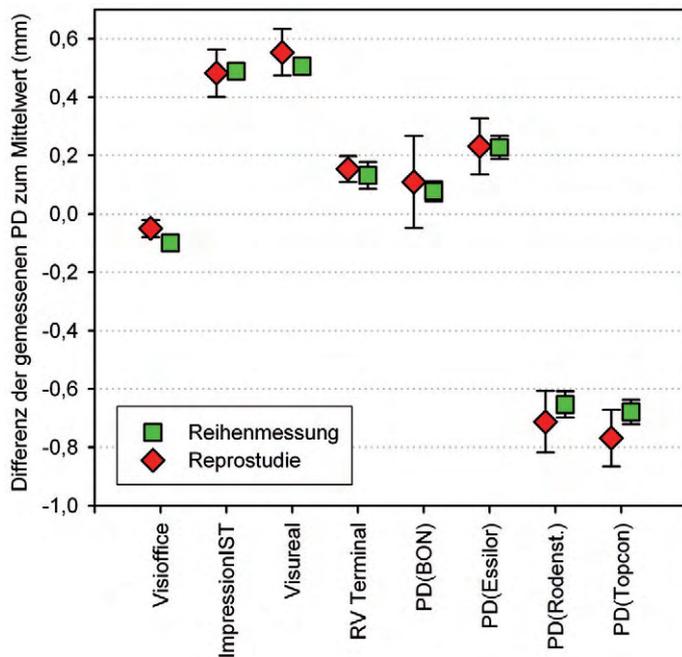


Abb. 10: Systematische Unterschiede zwischen den PD-Messergebnissen der acht Messgeräte. Die Fehlerbalken kennzeichnen den Standardfehler.<sup>3</sup>

Aus Abb. 10 kann man ablesen, dass die Zentriergeräte Visioffice, RV Terminal und PD(BON) Ergebnisse lieferten, die um weniger als 0,2 mm vom Mittelwert über alle Geräte abwichen. Die Zentriergeräte ImpressionIST und Visureal zeigten eine Gesamt-PD an, die um ca. 0,5 mm größer als der Goldstandard war. Die Pupillometer von Rodenstock und Topcon lieferten Werte, die um ca. 0,8 mm kleiner waren als die mittlere PD. Das heißt, dass selbst bei sorgfältigster Arbeit systematische Unterschiede von 1,3 mm zwischen den Geräten mit dem größten PD-Messwert und den Geräten mit dem kleinsten PD-Messwert auftraten. Diese Unterschiede sind keine Folge von Messunsicherheiten der Geräte oder Einstellfehlern der Untersucher, sondern ausschließlich durch die Kalibrierung und das Messprinzip der Geräte bedingt.

### Umrechnung auf gleiche Messphilosophie

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Geräten werden geringer, wenn man die prinzipiellen Unterschiede zwischen der Hornhautreflexmessmethode und der Pupillennormenmessmethode berücksichtigt. Bei drei Geräten (ImpressionIST, Visureal und RV Terminal) empfahlen uns die Herstel-

ler eine Zentrierung auf Pupillenmitte. Bei fünf Geräten (Visioffice und alle vier Pupillometer) wurde eine Zentrierung auf Hornhautreflex empfohlen. Nach den Untersuchungen von Wesemann et al. (1997) und den Ausführungen in Absatz 2.2 ist zu erwarten, dass bei der Zentrierung auf Pupillenmitte im Mittel eine um 0,5 mm größere Gesamt-PD herauskommt als bei der Zentrierung auf den Hornhautreflex.

Um diesen Effekt auszugleichen, wurde zu den Messergebnissen aller Geräte, die nach der Hornhautreflexmethode arbeiten, ein Korrekturwert von 0,5 mm hinzuaddiert. Anschließend wurde der Mittelwert über alle Geräte – der Goldstandard der Gesamt-PD – neu berechnet. Nach dieser Korrektur ergeben sich die in Abb. 11 eingezeichneten korrigierten Differenzen.

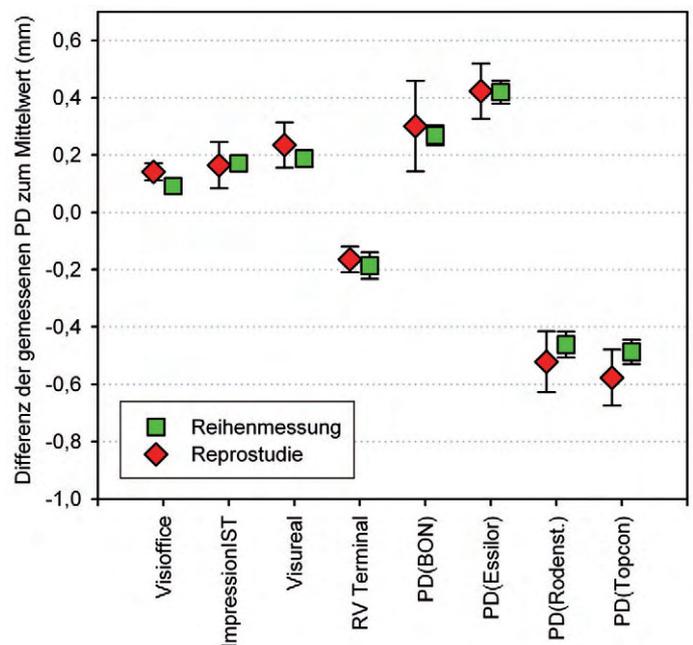


Abb. 11: Systematische Unterschiede nach Korrektur auf gleiche Messmethode (Pupillenmitte). Die Unterschiede zwischen Visioffice, ImpressionIST und Visureal sind jetzt verschwindend gering und betragen weniger als  $\pm 0,05$  mm.

Aus dem anfänglichen Datenwirrwarr in Abb. 8 kristallisiert sich jetzt also heraus, dass die Geräte Visioffice, ImpressionIST und Visureal nach der Korrektur im Mittel fast exakt die gleiche PD anzeigen. Die Unterschiede sind verschwindend gering und betragen weniger als  $\pm 0,05$  mm. Die mit dem RV Terminal gemessene PD war im Vergleich zu Visioffice, ImpressionIST und Visureal um ca. 0,35 mm kleiner.

Bei Betrachtung der Abbildungen 10 und 11 drängt sich der Verdacht auf, dass das „Rodenstock“ Pupillometer von Fa. Buchmann und das Topcon Pupillometer zu kleine Werte anzeigen. In Abb. 10 ist die PD um 0,8 mm kleiner als der Mittelwert. In Abb. 11 ist die PD immerhin noch um 0,5 mm zu klein.

<sup>3</sup> Der Standardfehler ist die Standardabweichung des Mittelwertes. Er ergibt sich, indem man die Standardabweichung der Einzelwerte durch die Wurzel aus der Anzahl der Messwerte teilt. Er ist ein Maß für die Genauigkeit, mit der der Mittelwert bestimmt wurde. Bei der Reihenuntersuchung wurde der Mittelwert über 76 Personen berechnet. Bei der Reproduzierbarkeitsstudie nur über neun. Deshalb ist der Standardfehler bei der Reihenmessung deutlich kleiner als bei der Reproduktionsstudie.

### 5.3 Vorneigung

Die Vorneigung ist ein Maß, das sich technisch relativ einfach bestimmen lässt. Beim Visureal wird die Vorneigung (und auch die Kopfdrehung) z.B. aus der parallaktischen Verschiebung einer kleinen Kreismarke gegenüber einer größeren Kreismarke ermittelt (Abb. 12). Ähnliche Verfahren werden beim Visiooffice und beim RV Terminal angewandt.

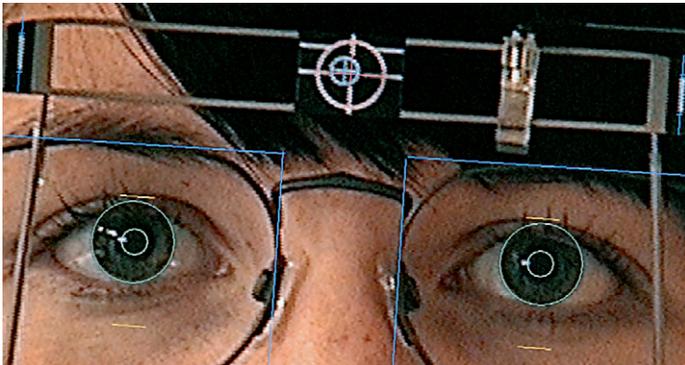


Abb. 12: Die über der Nase auf dem Messbügel angebrachte kleine Kreismarke ist bei dieser Aufnahme nach links oben gegen die große Kreismarke versetzt. Beide Kreismarken werden vom Computer automatisch gefunden und markiert.

Menschliche Messfehler, die z.B. durch eine ungenaue Einstellung von Zentriermarken zustande kommen, können bei der Messung der Vorneigung ausgeschlossen werden, da die Videozentriergeräte die Messmarken automatisch detektieren. Eine manuelle Einstellung durch den Bediener ist nicht erforderlich.

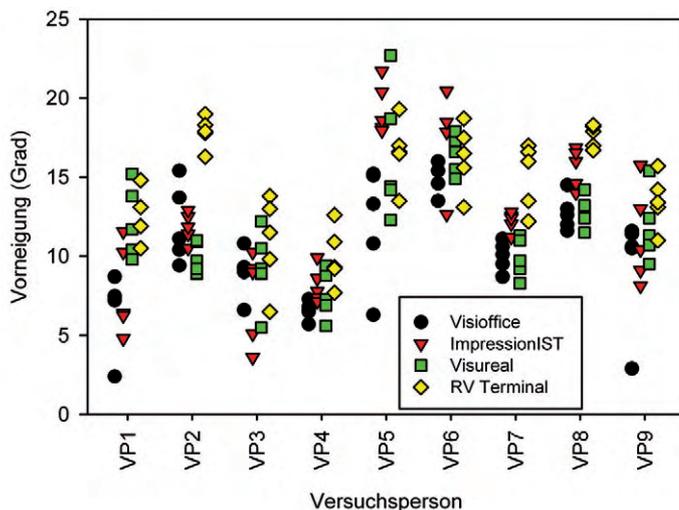


Abb. 13: Vorneigung bei neun Versuchspersonen, die mit jedem Gerät fünfmal gemessen wurden. Dargestellt sind alle Einzelergebnisse.

Deshalb könnte man meinen, dass die Vorneigung eine Messgröße ist, bei der die verschiedenen Geräte mit hoher Genauigkeit immer das gleiche Ergebnis anzeigen. Dies ist aber nicht der Fall. In Abb. 13 sind die Ergebnisse für die Vorneigung bei neun Personen und fünf Wiederholungsmessungen dargestellt. Unterschiede von 5 Grad sind eher die Regel als die Ausnahme und treten bei allen vier Geräten auf.

Da die Vorneigung technisch leicht messbar ist, kann es sich bei den unterschiedlichen Ergebnissen wahrscheinlich nicht um Messfehler der Geräte handeln. Stattdessen müssen die verschiedenen Vorneigungen im Moment der Messung wohl tatsächlich vorgelegen haben. Dies ist umso bemerkenswerter, weil es sich bei den neun Versuchspersonen der Reproduzierbarkeitsstudie um geübte Versuchspersonen handelte, die das Ziel und die Probleme der Messungen genau kannten. Sie wussten, dass sie bei den Wiederholungsmessungen möglichst genau die gleiche Kopf- und Körperhaltung einnehmen sollten. Die Unterschiede, die bei den fünf Wiederholungsmessungen dennoch herausgekommen sind, zeigen eindringlich, wie schwierig es selbst für geübte Versuchspersonen ist, die „natürliche Kopf- und Körperhaltung“ einzuhalten.

Angesichts der Unsicherheit der Vorneigung bei der Reproduzierbarkeitsstudie ist es nicht überraschend, dass auch bei der Reihenuntersuchung große Unterschiede herauskamen. Die Standardabweichung der Vorneigungsmesswerte betrug bei der Reproduzierbarkeitsstudie bei allen vier Geräten etwa  $\pm 1,9^\circ$  und bei der Reihenuntersuchung etwa  $\pm 2,1^\circ$ .

Im Mittel maßen Visiooffice und Visureal eine um etwa  $1^\circ$  Grad kleinere Vorneigung und das RV Terminal eine um  $2^\circ$  größere Vorneigung als der Gruppenmittelwert. Diese Unterschiede waren klein, aber signifikant ( $p < 0,001$ , Student-Newman-Keuls Test).

### 5.4 Einschleifhöhe

Die Einschleifhöhe ist nach der PD die zweitwichtigste Messgröße. Dies gilt besonders für Gleitsichtgläser. Wenn Gleitsichtgläser zu hoch eingeschliffen werden, blickt man beim Autofahren durch den Progressionskanal und sieht die Straße undeutlich. Werden sie zu tief eingeschliffen, muss der Kunde sehr stark in den Abblick gehen, um durch das Nahteil scharf zu sehen. Alle Videozentriergeräte messen in Nullblickrichtung. Die Blicklinien sind entweder horizontal auf das im Spiegel sichtbare eigene Gesicht (Nasenwurzel beim Visiooffice und ImpressionIST) oder auf eine Fixiermarke (Laser-Speckle-Muster beim RV Terminal; rotes Fixierlicht beim Visureal) ausgerichtet. Die für den Kunden unsichtbare Videokamera befindet sich in etwa auf gleicher Höhe wie das Augenpaar. Abb. 14 zeigt die Einschleifhöhen, die bei der Reihenuntersuchung für das rechte Auge ermittelt wurden. Um die Übersichtlichkeit der Abbildung zu verbessern, wurde für jede Person die mittlere Einschleifhöhe über alle vier Videozentriergeräte berechnet und die Personen nach aufsteigender Einschleifhöhe sortiert.<sup>4</sup>

Berücksichtigt man auch die Einschleifhöhen für das linke Auge, so erhält man zur statistischen Auswertung insgesamt 152 Messwerte für jedes der vier Geräte. Dabei ergaben sich erfreulicherweise nur sehr geringe systematische Unterschiede zwischen den vier Geräten. Im Mittel unterschieden sich die Einschleifhöhen um deutlich weniger als  $\pm 0,5$  mm.

<sup>4</sup> Alle Messwerte des Visureal wurden vorher auf die Nullblickrichtung umgerechnet. Wenn man diese Umrechnung nicht vornimmt, liegen die grünen Quadrate etwa 1,1 mm tiefer. Der Grund für diese Umrechnung wurde in Absatz 2.3 thematisiert.

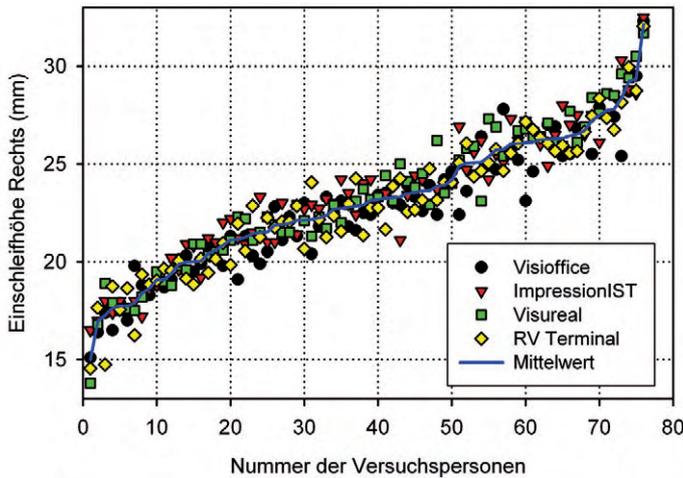


Abb. 14: Einschleifhöhe (rechtes Auge) bei 76 Personen. Die Versuchspersonen wurden nach aufsteigender Reihenfolge sortiert.

Die Standardabweichung war bei allen Geräten etwa  $\pm 0,84$  mm groß. Das heißt, dass trotz der Sorgfalt beim Aufsetzen der Fassung und der Einweisung der „Kunden“ bezüglich ihrer Kopf- und Körperhaltung nennenswerte Messwertschwankungen auftraten. Dies ist nach den in Absatz 4.2.3 dargestellten Vorneigungsergebnissen nicht verwunderlich. Es ist scheinbar so, dass unsere „Kunden“ trotz ausführlicher Einweisung bei den verschiedenen Messungen nicht mit exakt gleicher Kopfhaltung vor den vier Geräten standen.

### 5.5 HSA

In Abb. 15 sind die Ergebnisse der HSA-Messung bei der Reproduzierbarkeitsstudie aufgetragen. Die Versuchspersonen VP4 und VP8 lieferten bei allen vier Geräten sehr ähnliche Werte. Bei den anderen Versuchspersonen erhielten wir zum Teil recht unterschiedliche HSA-Werte. Bei VP9 fällt auf, dass Visioffice mit hoher Reproduzierbarkeit einen HSA von 12 mm und der ImpressionIST ebenfalls mit hoher Reproduzierbarkeit einen HSA von 7 mm angezeigt hat.

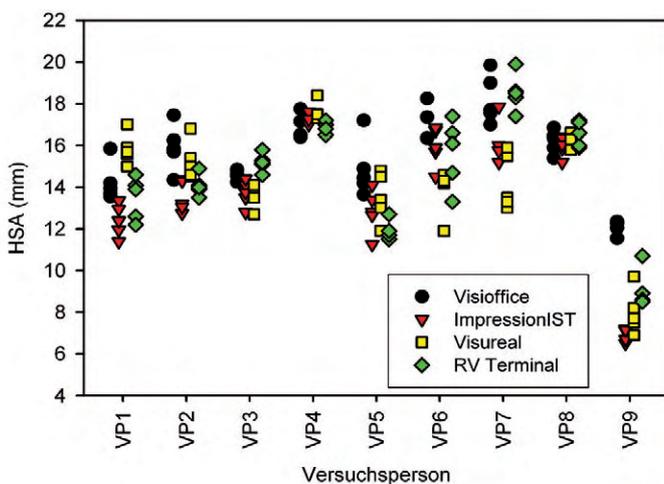


Abb. 15: HSA bei neun Versuchspersonen, die mit jedem Gerät fünfmal gemessen wurden. Dargestellt sind alle Einzelergebnisse.

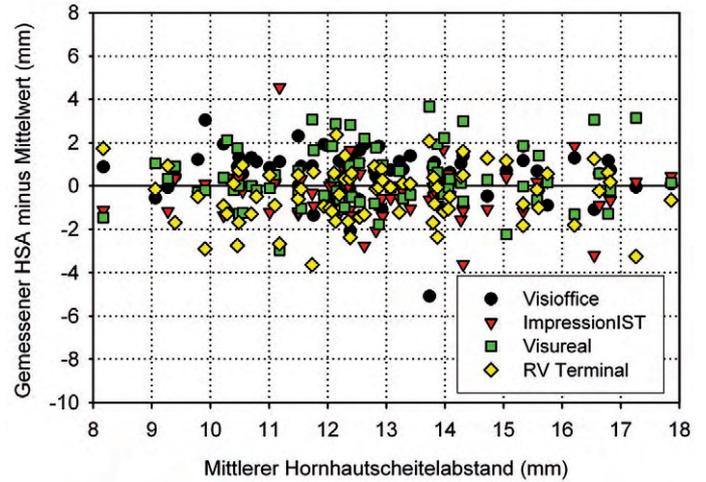


Abb. 16: HSA bei 76 Versuchspersonen, die mit jedem Gerät einmal gemessen wurden. Dargestellt sind alle Einzelergebnisse.

Abb. 16 zeigt die Abweichung des gemessenen HSA vom Mittelwert bei der Reihenuntersuchung. Bei der HSA-Messung treten nur geringe systematische Unterschiede auf. Alle vier Geräte liegen im Mittel nahe beim Goldstandard. Die Streuung der HSA-Messung kann man zusammengefasst Tabelle 3 entnehmen. Die geringste Streuung zeigte der ImpressionIST gefolgt von Visioffice und Visureal. Im Großen und Ganzen ist die Streuung alle vier Geräte recht ähnlich.

Gerät	Mittlere Standardabweichung der HSA-Messung	
	Reproduzierbarkeitsstudie	Reihenuntersuchung
Visioffice	$\pm 0,80$ mm	$\pm 1,16$ mm
ImpressionIST	$\pm 0,68$ mm	$\pm 1,10$ mm
Visureal	$\pm 0,87$ mm	$\pm 1,36$ mm
RV Terminal	$\pm 0,75$ mm	$\pm 1,26$ mm
Mittelwert	$\pm 0,78$ mm	$\pm 1,21$ mm

Tabelle 3: Unsicherheit der HSA-Messung. Angegeben ist die Standardabweichung bei Wiederholungsmessungen (Reproduzierbarkeitsstudie) bzw. die Standardabweichung der Abweichungen vom Goldstandard (Reihenuntersuchung).

### 5.6 Fassungsscheibenwinkel

Der Fassungsscheibenwinkel wurde nicht nur mit den Videozentriergeräten, sondern auch mit einem einfach zu bedienenden Messtool (Abb. 17) ermittelt. Diese manuellen Messungen wurden von zwei Augenoptikern vorgenommen und sind in der Abb. 18 als Rod Messtool 1 und 2 gekennzeichnet. Das in Abb. 18 dargestellte Histogramm zeigt bei allen vier Geräten ähnliche Fassungsscheibenwinkel. Die mit dem manuellen Messtool gefundenen Werte waren gleich oder tendenziell größer (bei VP2, VP6 und VP7). Dies könnte daran liegen, dass die Fassungen beim Aufsetzen leicht aufgebogen werden und sich dadurch der Winkel verkleinert. Die mittlere Standardabweichung über alle neun Personen betrug beim Visioffice  $\pm 0,81^\circ$ , beim ImpressionIST  $\pm 0,67^\circ$ , beim Visureal  $\pm 1,83^\circ$ <sup>5</sup>, und beim RV Terminal  $\pm 0,55^\circ$ . Das ist eine zufriedenstellende Genauigkeit.

<sup>5</sup> Die etwas größere Unsicherheit beim Visureal könnte möglicherweise auf eine zu lose Befestigung des Aufsteckbügels zurückzuführen sein. Inzwischen hat die Herstellerfirma Ollendorf einen neuen Klemmeinsatz vorgestellt, mit dem man den Fassungsscheibenwinkel genauer bestimmen kann. Dieser Bügel konnte im Rahmen dieser Studie aber nicht mehr erprobt werden.



Abb. 17: Messtool zur Bestimmung des Fassungs-scheibenwinkels

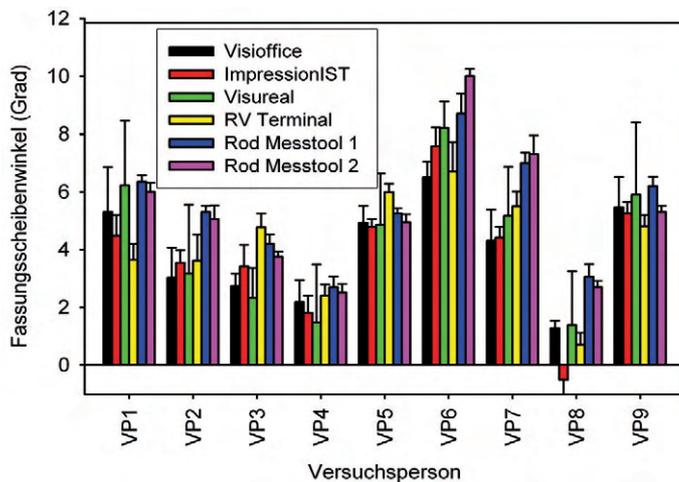


Abb. 18: Fassungs-scheibenwinkel bei neun Versuchspersonen. Mittelwert und Standardabweichung aus jeweils 5 Einzelmessungen.

Die Standardabweichung mit dem Rodenstock Messtool war besser. Sie betrug  $\pm 0,35^\circ$  bei Augenoptiker 1 und  $\pm 0,32^\circ$  bei Augenoptiker 2. Mit dem preiswerten manuellen Messtool erhält man also ebenfalls genaue Messwerte.

## 6 Zusammenfassung und Diskussion

**Pupillenmitte - Hornhautreflex:** Die Tatsache, dass bei fünf Geräten eine Zentrierung auf Hornhautreflex und bei drei Geräten eine Zentrierung auf Pupillenmitte vorgeschlagen wird, ist ärgerlich. Dadurch macht man einen Teil der Genauigkeit dieser hochpräzisen Geräte zunichte. In etwas übertriebener Weise kann man diese Firmenvorgaben mit zwei Tischlern vergleichen, die die Größe eines rechteckigen Tisches messen sollen. Der eine soll die Länge des Tisches und der andere die Breite messen. Dass dabei nicht das gleiche Ergebnis herauskommen kann, ist kein Wunder. Hier wäre wünschenswert, dass sich die Firmen – vielleicht über eine neue DIN/ISO-Norm – auf eine gemeinsame Vorgehensweise einigen.

**Messgenauigkeit:** Die Pupillometer von „Rodenstock“/Buchmann und Topcon lieferten bei dieser Studie PD-Messwerte, die signifikant kleiner waren als alle anderen. Bei der Studie von Wesemann et al. (1995) wurde ein Vorläufermodell des Gerätes von Topcon getestet. Dieses Gerät zeigte als einziges Pupillometer der damaligen Studie ebenfalls eine kleinere PD an als alle anderen Geräte. Wenn man diese beiden Pupillometer aus der Bewertung ausklammert und die oben erwähnte Pupillenmitte/Hornhautreflex-Problematik korrigiert, erhält man mit den anderen sechs Geräten im Mittel sehr

zuverlässige Werte für die PD. Die Unterschiede sind kleiner als  $\pm 0,3$  mm (siehe Abb. 11). Die Streuung der PD-Messwerte war bei den Videozentriergeräten zum Teil wesentlich besser als bei den Pupillometern. Das Visiooffice schnitt bei der Reproduzierbarkeitsstudie am besten ab ( $\sigma = \pm 0,09$  mm). Die entsprechenden Werte für die Pupillometer lagen zwischen  $\sigma = \pm 0,29$  und  $\pm 0,47$  mm. Die Streuung bei der Reihenuntersuchung war größer. Sie variierte von  $\sigma = \pm 0,20$  bis  $\pm 0,40$  mm. Die Unsicherheit der PD-Messwerte ist bei der hier vorgelegten Studie aber kleiner als bei unserer Messgenauigkeitsstudie aus dem Jahr 1997 (Wesemann et al., 1997). Damals variierte die Standardabweichung bei vier Pupillometern von  $\pm 0,46$  bis  $\pm 0,63$  mm.

Insgesamt gesehen ist die Messgenauigkeit aller Geräte wesentlich besser als die Messgenauigkeit nach der Viktorin-Methode. In unserer Studie von 1997 betrug die Standardabweichung mit zwei PD-Messstäben  $\pm 0,68$  bzw.  $\pm 0,74$  mm. Nach einer aktuellen englischen Studie (Walsh und Pearce, 2009), bei der die PD einer Person von 54 Augenoptikern und Optometristen nach Viktorin vermessen wurde, ergab sich sogar eine erschreckend hohe Standardabweichung von  $\pm 1,54$  mm.

### Die Messgenauigkeit aller Geräte ist wesentlich besser als die Messgenauigkeit nach Viktorin

Ein Aspekt, der in dieser Studie nicht untersucht wurde, ist der Einfluss von Rechts-/Linksdrrehungen des Kopfes. Wir hatten nämlich bei allen Videozentriergeräten eingegeben, dass die Rechts-/Links-PD bei der Computerauswertung so umgerechnet werden sollte, als ob die Fixierlinie des Prüflings zum Zeitpunkt der Messung exakt senkrecht zur Fassungsebene verlief. Tatsächlich wiesen die Versuchspersonen aber zum Teil sehr unterschiedliche Kopfdrehungen bei den verschiedenen Geräten auf. Insgesamt gesehen empfehle ich, Kopfdrehungen generell nur dann zu berücksichtigen, wenn wirklich gewichtige Gründe (Einäugigkeit, Kopfwangshaltung etc.) vorliegen.

### Kopfdrehungen sollten nur dann berücksichtigt werden, wenn wirklich gewichtige Gründe vorliegen.

Die Messgrößen, die nicht nur von der Messgenauigkeit der Videozentriergeräte, sondern auch von der Kopf- und Körperhaltung der Kunden abhängen, sind ungenauer als die Pupillendistanz. Bei diesen Zentrierparametern kommt es sehr darauf an, wie der Kunde im Augenblick der Messung vor dem Gerät steht. Dies macht sich z.B. bei der Einschleifhöhe und Vorneigung bemerkbar. Bei diesen Größen ist die Streuung der Messwerte viel größer als bei der PD. Die Standardabweichung der Einschleifhöhe betrug bei allen Geräten etwa  $\pm 0,84$  mm. Die Standardabweichung der Vorneigung betrug etwa  $\pm 2,0^\circ$ . Das hat uns zunächst überrascht, denn beide Messgrößen sind technisch einfach zu messen. Diese Messunsicherheiten werden zum großen Teil durch eine unterschiedliche Kopfhaltung der Probanden verursacht und in geringerem Maße durch Messfehler der Videozentriergeräte.

## Messgrößen, die nicht nur von der Messgenauigkeit, sondern auch von der Kopf- und Körperhaltung der Kunden abhängen (Vorneigung, Einschleifhöhe), sind ungenauer als die PD.

Die Messgenauigkeit des HSA ist geringer als die der PD. Die Fehler könnten folgende Ursachen haben:

1. Da vor jeder Messung der Messbügel angebracht werden musste und die Fassung danach neu aufgesetzt wurde, war der Sitz der angepassten Fassung bei den unterschiedlichen Messungen möglicherweise nicht genau gleich.
2. Bei einigen Fassungen mit breiten, modischen Bügeln wurde der Hornhautapex durch den Bügel verdeckt. Eine genaue Einstellung der Messlinien am Monitor war dann nicht möglich, sondern musste geschätzt werden.

**Fassungsmaße:** Der Untersucher soll bei drei Geräten (Visiooffice, ImpressionIST, RV Terminal) die Boxing-Systemlinien auf die Grenze zwischen dem Glas und der Fassung einstellen. Bei einem Gerät (Visureal) soll auf die Lage des vermuteten Nutengrundes eingestellt werden. Beide Vorgehensweisen sind nicht exakt. Bei der Einstellung auf den Fassungsrand wird vom Computer eine angenommene Standardnutentiefe für Metall- oder Zellfassungen hinzuaddiert, die bei unseren Kontrollmessungen aber nicht mit der tatsächlichen Nutentiefe übereinstimmte. Bei der Einstellung auf den vermuteten Nutengrund kommt der Schätzfehler hinzu. Diese Fehler sind aber insgesamt gesehen klein. Die Fassungsmaße wurden fast immer mit guter Genauigkeit gemessen. Im Prinzip könnte der Benutzer vor der Messung die tatsächliche Nutentiefe der jeweiligen Fassung in das Computerprogramm eingegeben. Nach meiner Erfahrung besitzt aber praktisch kein Augenoptikbetrieb die Präzisionsmessgeräte, die man zur genauen Messung der Nutentiefe braucht.

**Einfluss von hohen Ametropien auf das Ergebnis:** Bei unseren Messungen haben wir Personen mit sehr hohen Ametropien ausgeschlossen. Solche Kunden sehen das Fixierlicht oder ihre Nasenwurzel im Spiegelbild sehr undeutlich. Der Einfluss der daraus resultierenden Fixationsungenauigkeit auf die Messergebnisse wurde bislang nicht erforscht. In einer weiterführenden Arbeit sollte deshalb geklärt werden, welches Fixationstarget (Fixierlicht, Laser-Specklemuster oder Spiegelbild) sich bei diesen Problemkunden am besten bewährt.

**Natürliche Kopf- und Körperhaltung:** Ein zentrales Problem der Messungen ist und bleibt die „natürliche Kopf- und Körperhaltung“. Selbst die „geübten“ Versuchspersonen der Reproduzierbarkeitsstudie hatten große Schwierigkeiten, sich bei Wiederholungsmessungen immer wieder mit der gleichen Kopfhaltung vor die Geräte zu stellen. Dieses Problem ist eine Hauptursache für Messunsicherheiten. Deshalb erscheint es uns ratsam, die Messwerte der Videozentriergeräte nach der Messung auf Messscheiben in der Brillenfassung zu übertragen. So kann man die Messergebnisse durch eine subjektive Nachkontrolle verifizieren und Messfehler seitens der Geräte oder eine falsche Kopf- und Körperhaltung des Prüflings noch rechtzeitig feststellen. Allerdings kann man mit einer Nachkontrolle nach Viktorin nur grobe Messfehler entdecken.

In Zweifelsfällen sollte man aber nicht die Messwerte nach Viktorin verwenden, sondern die gesamte Messung mit dem Videozentriersystem noch einmal wiederholen.

## 7 Abschließender Kommentar

Die Videozentriergeräte und die Pupillometer haben sich in unserer vergleichenden Studie gut geschlagen. Die Videozentriergeräte messen die PD genauer als die Pupillometer und können wichtige zusätzliche Zentrierparameter bestimmen, die zur Bestellung individueller Brillengläser erforderlich sind. Die höhere Genauigkeit der Videozentriergeräte kann für sich allein genommen den wesentlich höheren Anschaffungspreis allerdings nicht vollständig rechtfertigen, denn auch mit den klassischen Pupillometern und den anderen mechanischen Zentrierhilfen, die von der Industrie angeboten werden, kann man – bei entsprechender Sorgfalt – fachgerecht arbeiten und brauchbare Zentrierdaten ermitteln.

Um den Wert eines Videozentriergeräts zu ermitteln, muss man auch den Zusatznutzen berücksichtigen. Mit Videozentriergeräten spart man Zeit im Vergleich zur wesentlich aufwendigen Messung von PD, HSA, Vorneigung und FSW mit manuellen Messtools. Außerdem kann man mit Videozentriergeräten dem Kunden seine moderne Ausstattung zeigen und hochwertige Gläser besser verkaufen. Insofern sind diese „Hightech“-Produkte nicht nur PD-Messgeräte sondern auch Rationalisierungs-, Marketing- und Kundenbindungsinstrumente. Und schließlich macht es großen Spaß, mit ihnen zu arbeiten.

### Literatur:

- Bland, J. H. S., Altman, D. G. (1986), Statistical Methods for Assessing Agreement between two methods of clinical measure. *Lancet*, I (8476) 307-310.
- Mallen, E.A.H., Wolffsohn, J.S., Gilmartin, B. Tsujimura S. (2001) Clinical evaluation of the Shin-Nippon SRW-5000 autorefractor in adults. *Ophthal. Physiol. Opt.* 21, 101-107.
- Queiros, A., Gonzalez-Meijome, J., Jorge J. (2008) Influence of fogging lenses and cycloplegia on open-field automatic refraction. *Ophthal. Physiol. Opt.* 28, 387-392.
- Walsh, G., Pearce E.I. (2009) The difference between belief and reality for Viktorin's method of inter-pupillary distance measurement. *Ophthal. Physiol. Opt.* 29, 150-154.
- Wesemann, W., Bartz, J.U., Arnolds, P. (1997), Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit von PD-Messgeräten und Unterschiede zwischen der Zentrierung auf Pupillenmitte bzw. auf Hornhautreflex. *DOZ* 2/1997, 18-22.
- Wesemann, W. (1996), Wo liegt die lichtenergetische „Mitte“ der Augenpupille? Betrachtungen zum Styles-Crawford-Effekt erster Art? *Neues Optikerjournal* 3/1996, 10-14.
- Yang, Y., Thompson, K., Burns S.A. (2002) Pupil location under mesopic, photopic, and pharmacologically dilated conditions. *Invest Ophthalmol & Vis. Scie* 43, 2508-2512.

**Anschrift des Autors: E-Mail: wesemann@hfak.de**