

Moderne Autorefraktometer im Vergleich

(Automatic Eye Refractors – a Comparative Study)

W. Wesemann
Köln

Zusammenfassung: Vier Autorefraktor-Tischgeräte und ein Autorefraktometer, das aus 35 cm Abstand mißt, wurden mit der subjektiven Refraktion verglichen. Alle Messungen erfolgten an Erwachsenen ohne Zykloplegie. Bei den Tischgeräten war die Abweichung vom sphärischen Äquivalent der subjektiven Refraktion in 79% - 82% aller Fälle kleiner als 0,51 dpt. Das freisichtige Autorefraktometer zeigte wesentlich größere Abweichungen. Die totale astigmatische Differenz war in 90% - 99% nicht größer als 0,63 dpt.

Z. prakt. Augenheilkd. 25: 7-16 (2004)

Summary: Four table-top autorefractors and an autorefractor, that operates from a distance of 0.35 m, were compared to subjective refraction. All measurements were carried out on adult subjects without cycloplegic agents. With the table-top autorefractors, the deviation from the spherical equivalent of subjective refraction was smaller than 0.51 D in 79% - 82% of all cases. The distant autorefractor was substantially less accurate. The total astigmatic difference was not larger than 0.63 dpt in 90% - 99% of all cases.

Z. prakt. Augenheilkd. 25: 7-16 (2004)

Autorefraktometer erleichtern dem Augenarzt die tägliche Arbeit. Sie liefern objektive Refraktionswerte, mit denen die anschließende subjektive Refraktionsbestimmung schneller, genauer und für den Patienten weniger belastend ist. Deshalb sind diese computergesteuerten Refraktionsgeräte aus der täglichen Praxis kaum noch wegzudenken. In den vergangenen Jahren haben wir in mehreren vergleichenden Untersuchungen eine Reihe verschiedener Autorefraktometer hinsichtlich ihrer Meßgenauigkeit und Reproduzierbarkeit geprüft [1-5]. In den letzten Veröffentlichungen [6,7] wurde zusätzlich die Anwendbarkeit bei Kindern im Detail untersucht.

In der hier vorgelegten Studie wurden 4 neue Autorefraktor-Tischgeräte und ein freisichtiges Kinderrefraktometer unter die Lupe genommen. Die Ergebnisse erlauben einen direkten Vergleich der Geräte untereinander und einen Vergleich mit den früher untersuchten Geräten.

Autorefraktometer-Tischgeräte: Ausgeklügeltes System zur Entspannung der Akkommodation

Untersucht wurden 4 Autorefraktometer-Tischgeräte neuester Bauart:

- ◆ Canon Autoref RK-F1 (Japan)
- ◆ MRK-3100 Charops (Korea)
- ◆ Zeiss-Humphrey Autorefraktometer Acuitus 5015 (USA)
- ◆ Shin-Nippon Accuref-K 9001 (Japan)

Die ersten drei Geräte verfügen zusätzlich über ein eingebautes Ophthalmometer/Keratometer, mit dem zentrale und z.T. auch periphere Hornhautradialen vermessen werden können. Alle vier Tischgeräte haben ein ausgeklügeltes System zur Entspannung der Akkommodation. Dazu wird dem Patienten ein Diapositiv als Fixationsobjekt gezeigt, das vor und während der Messung aktiv genebelt wird. Mit dieser Vorgehensweise soll eine Minusüberkorrektion, die durch die sogenannte Apparatomyopie entstehen kann, verhindert werden.

Die Geräte von Canon und Humphrey sind sehr benutzerfreundlich ausgestattet. Der Canon Autorefraktor arbeitet vollautomatisch und übernimmt auch die Zentrierung und das Wechseln vom rechten zum linken Auge selbstständig. Das Gerät von Humphrey erledigt die Feinjustierung eigenständig. Beide Geräte sind dementsprechend im oberen Preissegment angesiedelt.

Bei den Geräten von Charops und Shin-Nippon muß der Benutzer die Zentrierung selbst übernehmen. Beide Geräte sind entsprechend kostengünstiger. Die Justierung des Charops ist leicht; die Einstellung des Shin-Nippon ist umständlicher und erfordert eine gewisse Einarbeitungszeit.

Kinderrefraktometer SureSight: Mißt als erstes Autorefraktometer aus größerem Abstand

Zusätzlich wurde das freisichtige Kinderrefraktometer SureSight (Fa. Welch Allyn) in die Studie einbezogen. Das SureSight ist das erste Autorefraktometer, das in der Lage ist, die Refraktionsfehler aus einem größeren Abstand (0,35 m) zu messen. Deshalb ist es besonders gut zur objektiven Refraktion von Kindern geeignet, die nicht an einem konventionellen Autorefraktor-Tischgerät untersucht werden können. Dieses Gerät, über das wir bereits im letzten Jahr ausführlich berichtet haben [7], mißt die Wellenfrontaberrationen des Auges mit einem Hartmann-Shack-Sensor und errechnet den Refraktionsfehler aus den Abbildungsfehlern. Im Gegensatz zu den vier obengenannten Geräten ist im SureSight kein System zur Akkommodationsentspannung eingebaut. Das Funktionsprinzip wird im Anhang 1 kurz erläutert.

Als Probanden dienten 50 Studenten (100 Augen) im Alter zwischen 22 und 27 Jahren. Alle Versuchspersonen hatten eine unkomplizierte Fehlsichtigkeit (Sphäre – 7,25 dpt bis + 3,0 dpt; cyl 0 dpt bis – 2,5 dpt), einen Visus von mindestens 1,0 und keine Augenerkrankungen. Da das SureSight nicht von Anfang an zur Verfügung stand, konnten mit diesem Gerät nicht alle, sondern nur 84 Augen gemessen werden.

Exakte subjektive Refraktionsbestimmung und Messung mit 5 Autorefraktometern

Zu Beginn wurde bei jedem Probanden eine sehr sorgfältige subjektive Refraktionsbestimmung durchgeführt, bei der die bis dahin bekannte beste Refraktion (z.B. alte Brille) als Grundlage genommen wurde. Die Refraktionsbestimmung erfolgte mit der Kreuzzylindermethode. Besonders großen Wert wurde auf eine exakte Bestimmung von Zylinderstärke und Achse gelegt. Im Anschluß an die monokulare Messung wurde das binokulare Refraktionsgleichgewicht überprüft, und wenn nötig, wurden Feinkorrekturen am sphärischen Wert vorgenommen. Ermittelt wurde nach der Refraktionsregel das schwächste Minus- bzw. das stärkste Plusglas, mit dem der optimale Visus zu erreichen war. Im Anschluss an die subjektive Prüfung erfolgte die Messung mit den fünf Autorefraktometern. Die Reihenfolge der objektiven Messungen erfolgte nach dem Zufallsprinzip.

Mit jedem Autorefraktor wurden mindestens drei Wiederholungsmessungen vorgenommen und anschließend automatisch gemittelt und ausgedruckt. Der ausgedruckte Mittelwert ging als Meßwert in die vergleichende Untersuchung ein.

Fünf Kriterien zur Beurteilung der Meßgenauigkeit

Zur Beurteilung der Meßgenauigkeit wurden 5 Kriterien herangezogen, die schon in unseren früheren Untersuchungen verwendet wurden [7]. Die mathematischen Berechnungsformeln sind im Anhang 2 dargelegt.

Differenz der sphärischen Äquivalente

Die „Differenz der sphärischen Äquivalente (DSÄ)“ ist ein Maß für die sphärische Meßgenauigkeit. Positive Werte deuten auf eine Überkorrektur in Richtung „Plus“ seitens des Autorefraktors hin; negative Werte auf eine Überkorrektur in Richtung „Minus“.

Differenz der Zylinderstärken

Die „Differenz der Zylinderstärken (DC)“ zeigt an, wie gut der Autorefraktor die Zylinderstärke erkennt. Eine positive

DC zeigt an, daß der mit dem Autorefraktor gemessene Zylinder zu klein war.

Achsendifferenz

Die „Achsendifferenz (DA)“ ist ein Maß für den Fehler der Zylinderachse. Die Berechnungsformel gewichtet die Achsendifferenz mit der subjektiv gefundenen Zylinderstärke, damit unterschiedlich starke Astigmatismen direkt miteinander verglichen werden können. Als Ergebnis erhält man einen Wert in Dioptrien. Zur Veranschaulichung sei hinzugefügt, daß einem Achsenfehler von 0,5 dpt bei einer Zylinderstärke von 1 dpt einer Achsendifferenz von etwa 15 Grad entspricht.

Totale astigmatische Differenz

Die „totale astigmatische Differenz (TAD)“ ist der Betrag der Vektordifferenz zwischen dem automatisch ermittelten und dem subjektiven Zylinder. Das Ergebnis ist ein Maß für den Gesamtfehler der Astigmatismusbestimmung.

Power-Vektor Analyse

Zusätzlich zu den obengenannten vier Kriterien wurde eine neuartige Analyse der Zylinderstärken- und Achsenfehler in die Auswertung aufgenommen, die als „Power-Vektor-Analyse“ bezeichnet wird. Dieses Verfahren wurde von L. N. Thibos und D. Horner [8] vorgestellt. Bei dieser Fehleranalyse wird der mit beiden Methoden gemessene Astigmatismus zunächst in eine 0°/90°-Komponente (J0-Komponente) und in eine 45°/135°-Komponente (J45-Komponente) zerlegt. Anschließend werden die Differenzen zwischen den automatisch gemessenen und den subjektiven Komponenten errechnet. Die Formeln sind etwas unübersichtlich. Das Ergebnis der Analyse läßt sich aber sehr anschaulich deuten.

Fast alle sphärischen Äquivalente stimmen bis auf +/- 0,75 dpt mit der subjektiven Refraktion überein

Abbildung 1 zeigt einen Vergleich zwischen dem sphärischen Äquivalent der subjektiven Refraktion und den 5 Autorefraktoren. Zur besseren Übersicht sind nur die Datenpunkte des Canon am richtigen Ort eingetragen. Alle anderen Punkte wurden um jeweils 3 dpt nach unten verschoben. Bei allen Punkten, die exakt auf den ansteigenden

Geraden liegen, stimmt das Ergebnis des Autorefraktors mit dem Ergebnis der subjektiven Refraktion überein. Wie man sieht, trifft dies für viele Datenpunkte nicht genau, aber zumindest näherungsweise zu.

Aus der Übersichtsabbildung 1 können die feinen Unterschiede zwischen der automatischen Messung und der subjektiven Refraktion aber nicht genau abgelesen werden. Wesentlich mehr Informationen über die Fehler bei der Messung des sphärischen Äquivalents liefert die Abbildung 2, in der die Differenz der sphärischen Äquivalente in Histogrammform dargestellt ist.

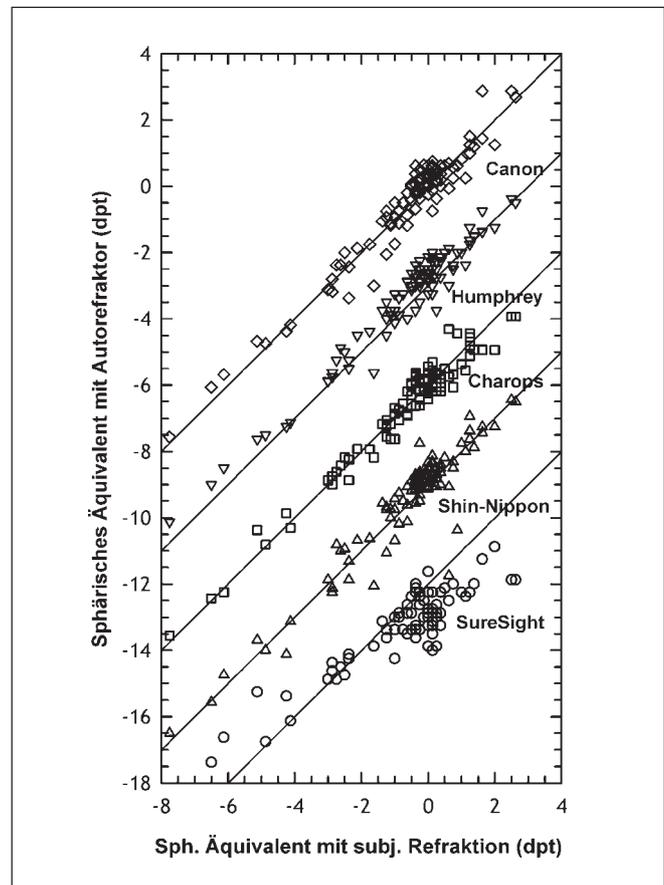


Abbildung 1: Vergleich der sphärischen Äquivalente, die mit der subjektiven Refraktion (x-Achse) und dem Autorefraktor gefunden wurden. Die Datenpunkte für Canon sind am richtigen Ort eingetragen. Alle anderen Werte wurden jeweils um 3 dpt nach unten verschoben. Im Idealfall müßten alle Datenpunkte auf den jeweiligen ansteigenden Geraden liegen.

Aus den Histogrammen läßt sich ablesen, wie groß die Differenzen zum Ergebnis der subjektiven Refraktion waren und wie häufig sie auftraten. Die beste Übereinstimmung mit der subjektiven Refraktion zeigte das Gerät von Humphrey. Das Histogramm liegt symmetrisch zum Nullpunkt. Fast alle Ergebnisse stimmten bis auf $\pm 0,75$ dpt mit der subjektiven Refraktion überein. Die Histogramme der drei anderen Tischgeräte (Canon, Charops und Shin-Nippon) liegen nicht symmetrisch zum Nullpunkt, sondern weisen eine systematische Verschiebung zu positiven Werten auf. Dies bedeutet, daß diese Autorefraktoren im Mittel ein wenig zu viel „Plus“ anzeigen.

Diese systematische Abweichung ist nicht neu [4] und möglicherweise Ausdruck einer besonderen Meßphilosophie der Hersteller dieser Geräte. Mehrere asiatische Hersteller sind nämlich der Meinung, daß eine geringe Abweichung nach „Plus“ wünschenswert sei, da man dann bei der anschließenden subjektiven Refraktionsbestimmung bei einem leicht genebelten Zustand beginnt. Dadurch könne die Gefahr der Minusüberkorrektur bei der subjektiven Refraktionsbestimmung vermindert werden. Berücksichtigt man diese kleine systematische Verschiebung, so kann man allen vier Tischgeräten eine zufriedenstellende sphärische Meßgenauigkeit bescheinigen.

In Einzelfällen Abweichungen vom sphärischen Äquivalent > 1,5 dpt

In Einzelfällen traten bei allen Autorefraktor-Tischgeräten größere Abweichungen vom sphärischen Äquivalent der subjektiven Refraktion auf. Diese Abweichung war beim Shin-Nippon in 3 von 100 Fällen größer als 1,5 dpt.

Das freisichtige Kinderrefraktometer schneidet bei der Messung der Sphäre nicht so gut ab. Hier liegen die Differenzen nicht symmetrisch zum Nullpunkt. Sie weisen eine deutliche Verschiebung zu negativen Differenzen und eine große Streuung auf. Dies bedeutet, daß viele Personen vom SureSight deutlich minusüberkorrigiert wurden.

Power-Vektor-Analyse zur Astigmatismusmessung: Je mehr Einschüsse in der Zielscheibenmitte, umso genauer der Schütze

Abbildung 3 zeigt die Genauigkeit der Astigmatismusmessung. Dargestellt ist das Ergebnis der „Power-Vektor-Analyse“. Auf der x-Achse ist die $0^\circ/90^\circ$ -Komponente der

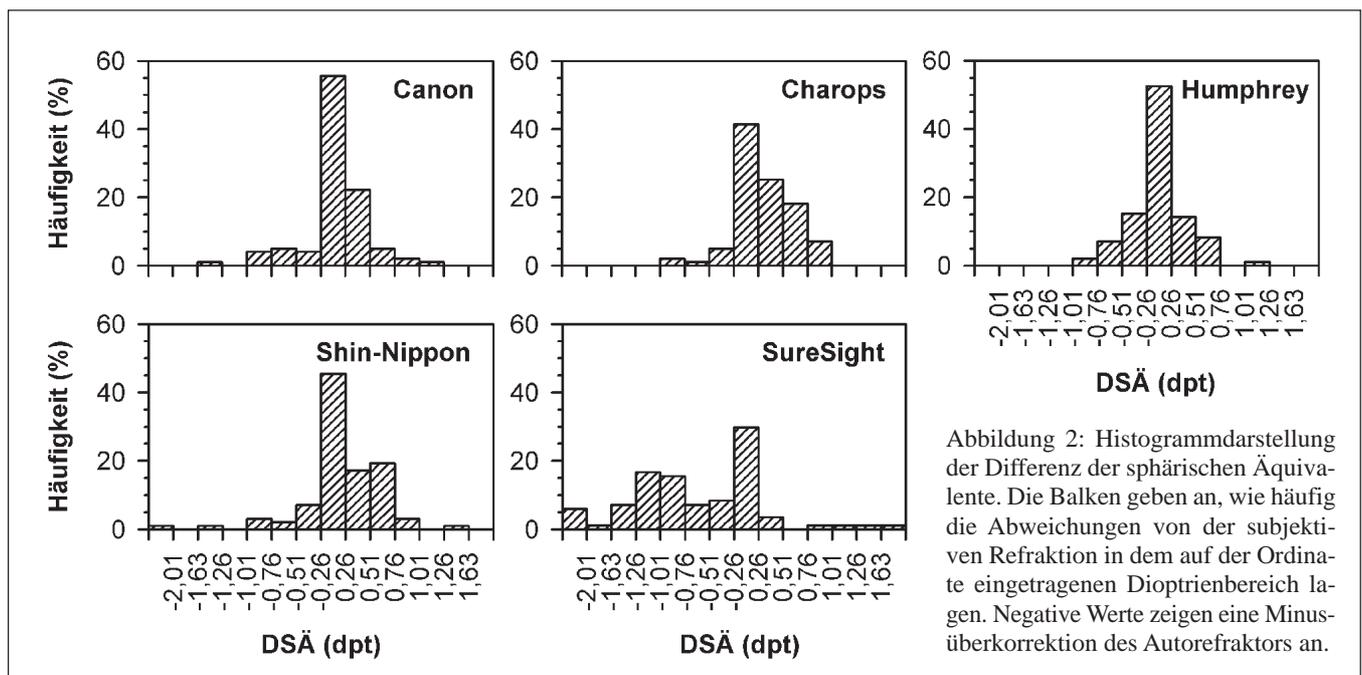


Abbildung 2: Histogrammdarstellung der Differenz der sphärischen Äquivalente. Die Balken geben an, wie häufig die Abweichungen von der subjektiven Refraktion in dem auf der Ordinate eingetragenen Dioptrienbereich lagen. Negative Werte zeigen eine Minusüberkorrektur des Autorefraktors an.

Zylinderdifferenz aufgetragen, auf der y-Achse die 45°/135°-Komponente des Zylinderfehlers.

Trotz der ungewohnten Art der Analyse ist die Interpretation der Ergebnisse recht anschaulich, wenn man die Darstellung mit einer Zielscheibe vergleicht. Je mehr Schüsse – also je mehr Datenpunkte – in der Mitte der Zielscheibe sitzen, desto besser ist der Schütze bzw. der Autorefraktor. Wenn überhaupt keine Abweichungen zwischen Zylinderstärke und Achse des Autorefraktors und der subjektiven Refraktion auftreten, sind die beiden Fehlerkomponenten gleich Null und der Datenpunkt liegt exakt in der Mitte des

Koordinatenkreuzes. Treten Fehler auf, so ergeben sich Datenpunkte, die einen gewissen Abstand vom Koordinatenursprung aufweisen. Dieser Abstand ist umso größer, je größer der Fehler ist. Ein Autorefraktor mißt die Zylinderstärke und Achse also umso schlechter, je weiter die Datenpunkte vom Ursprung entfernt sind. Der in den Abbildungen eingezeichnete Kreis dient der Orientierung und kennzeichnet eine totale astigmatische Differenz von 0,63 dpt.

Bei der Messung des Astigmatismus zeigt das Charops ein vorbildliches Verhalten. Nur ein einziger Datenpunkt liegt außerhalb des Kreises.

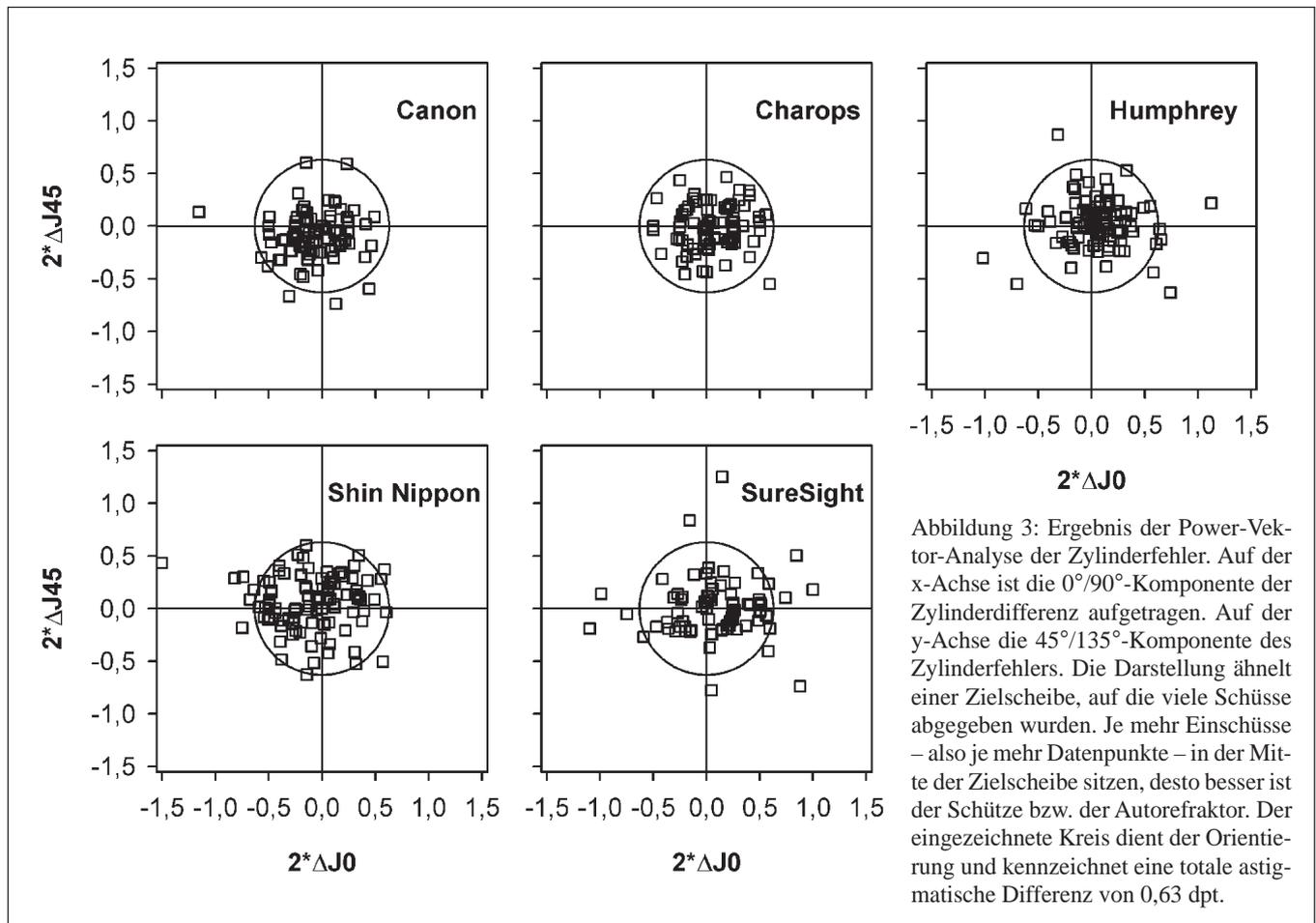


Abbildung 3: Ergebnis der Power-Vektor-Analyse der Zylinderfehler. Auf der x-Achse ist die 0°/90°-Komponente der Zylinderdifferenz aufgetragen. Auf der y-Achse die 45°/135°-Komponente des Zylinderfehlers. Die Darstellung ähnelt einer Zielscheibe, auf die viele Schüsse abgegeben wurden. Je mehr Einschüsse – also je mehr Datenpunkte – in der Mitte der Zielscheibe sitzen, desto besser ist der Schütze bzw. der Autorefraktor. Der eingezeichnete Kreis dient der Orientierung und kennzeichnet eine totale astigmatische Differenz von 0,63 dpt.

Die Abbildungen für Canon und Humphrey zeigen eine deutliche Zusammenballung der Punkte in der Nähe des Nullpunkts. Alle diese Fälle wurden mit einem sehr kleinen Fehler gemessen. Es gibt aber bei beiden Geräten einige wenige „Ausreißer“ mit astigmatischen Differenzen größer als 0,63 dpt.

Auch das Shin-Nippon und das SureSight schneiden recht gut ab. Eine Konzentration der Datenpunkte in der Mitte der Zielscheibe ist hier aber nicht zu erkennen.

In Abbildung 4 ist die Meßgenauigkeit des Astigmatismus noch einmal in der herkömmlichen Histogrammdarstellung wiedergegeben. Dargestellt ist die Verteilung der „totalen astigmatischen Differenz“. Diese Differenz ist anschaulich gesprochen der Abstand jedes Datenpunktes in Abbildung 3 vom Koordinatennullpunkt.

Deutlich erkennt man, daß die Geräte Canon, Charops und Humphrey den Astigmatismus sehr genau bestimmten. In über 50% aller Fälle war die Abweichung vom Ergebnis der subjektiven Refraktion kleiner als 0,26 dpt. Bei allen Geräten traten in seltenen Fällen aber auch größere zylindrische Fehler auf.

Differenz der sphärischen Äquivalente $\leq 0,5$ dpt in 79% bis 82% aller Fälle: Meßgenauigkeit gut, aber nicht besser als vor 15 Jahren

Die Ergebnisse aller Beurteilungskriterien sind in Tabelle 1 in Kurzform zusammengefaßt. Die Prozentzahlen zeigen an, wie häufig die Abweichung des Autorefraktors vom Ergebnis der subjektiven Refraktion $\leq 0,5$ dpt bzw. 0,63 dpt war. Diese Werte sind also Gütekennzahlen, welche die „Häufigkeit der richtigen oder nahezu richtigen Ergebnisse“ angeben. Zusätzlich sind in Tabelle 1 Vergleichswerte eingetragen, die vom Verfasser mit der gleichen Meß- und Auswertemethode an älteren Autorefraktoren gefunden wurden.

Betrachtet man zunächst die Differenz der sphärischen Äquivalente (Tabelle 1, DSÄ), so findet man bei allen vier Tischgeräten sehr ähnliche Werte zwischen 79% und 82%. Dies ist ein gutes Ergebnis. Vergleicht man die Werte mit den Ergebnissen unserer Vergleichsstudie an sieben Autorefraktoren [4,5, Tabelle 1, Zeile 6], so sieht man aber, daß die heutigen Refraktoren hinsichtlich der sphärischen Meßgenauigkeit nicht besser sind als die Autorefraktoren, die wir vor 15 Jahren geprüft haben.

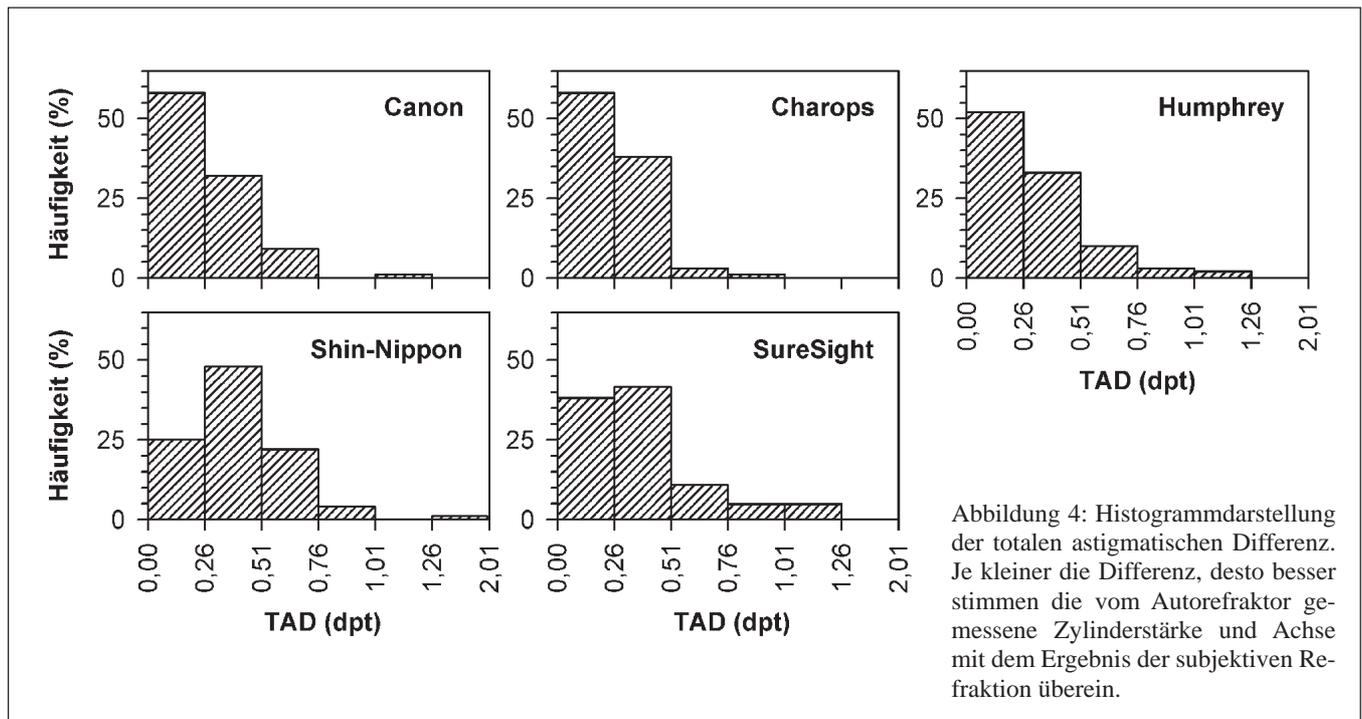


Abbildung 4: Histogrammdarstellung der totalen astigmatischen Differenz. Je kleiner die Differenz, desto besser stimmen die vom Autorefraktor gemessene Zylinderstärke und Achse mit dem Ergebnis der subjektiven Refraktion überein.

Tabelle 1: Häufigkeit der „richtigen oder fast richtigen“ Ergebnisse.

Autorefraktortyp	Beurteilungskriterium			
	DSÄ ≤ 0,5 dpt	DC ≤ 0,5 dpt	DA ≤ 0,5 dpt	TAD ≤ 0,63 dpt
1 Canon Autoref RK-F1	82%*	95%	89%	93%
2 MRK-3100 Charops	79%*	100%	91%	99%
3 Humphrey Acuitus 5015	82%	91%	93%	90%
4 Shin Nippon Accuref-K 9001	80%*	95%	83%	91%
5 SureSight	42%	92%	83%	86%
Vergleichswerte aus früheren Untersuchungen				
6 Sieben Autorefraktor-Tischgeräte (Erwachsene ohne Zykloplegie [4])	80-95%	90-97%	84-93%	83-92%
7 Retinomax K-Plus (Erwachsene ohne Zykloplegie [6])	88%	95%	87%	91%
8 Retinomax K-Plus gegen Skiaskopie (Kinder in Zykloplegie [6])	72-82%	86%	85-87%	74-76%
9 SureSight gegen Skiaskopie (195 Patienten in Zykloplegie [7])	68%	86%	62%	58%
10 SureSight gegen Skiaskopie (SureSight Messungen ohne Zykloplegie, 96 Erwachsene und Kinder [7])	33%	84%	75%	65%

DSÄ = Differenz der sphärischen Äquivalente. DC = Differenz der Zylinderstärken. DA = Achsendifferenz. TAD = totale astigmatische Differenz. Die Prozentwerte zeigen an, wie häufig das Autorefraktorergebnis um nicht mehr als ± 0,5 dpt bzw. 0,63 dpt vom Ergebnis der subjektiven Refraktion abwich.
 Zusätzlich angegeben sind Vergleichswerte, die mit der gleichen Meß- und Auswertemethode vom Autor an anderen Autorefraktoren gefunden wurden.
 ([*] Bei den Geräten von Canon, Charops und Shin-Nippon wurde die systematische Abweichung nach Plus vor der Berechnung kompensiert.)

Das SureSight Kinderrefraktometer schneidet wesentlich schlechter ab. Nur 42% der sphärischen Werte lagen innerhalb von ± 0,5 dpt vom richtigen Wert. Die Ursache liegt in der fehlenden Möglichkeit zur Akkommodationsentspannung, denn der Vergleich mit Tabelle 1, Zeile 9 zeigt, daß das SureSight in Zykloplegie durchaus eine deutlich höhere Genauigkeit von 68% erreichen kann.

**Charops-Autorefraktometer:
Erstmals 100% aller Zylinderstärken
im Toleranzintervall**

Eine wesentlich höhere Anzahl nahezu richtiger Werte ergab sich bei der Analyse der Zylinderfehler (Tabelle 1, DC, DA, TAD). Alle fünf Geräte trafen die Zylinderstärke (DC) in mehr als 90% aller Fälle auf ± 0,5 dpt genau. Beim Charops lagen erstmals 100% aller Zylinderstärken im Toleranzintervall. Bei der Zylinderachse (DA) waren die Geräte von Canon, Humphrey und Charops signifikant besser als die beiden anderen. Die totale astigmatische Differenz (TAD) der Tischgeräte war in 90% – 99% kleiner als 0,63 dpt. Die astigmatische Genauigkeit der neuen Geräte ist demnach insgesamt gesehen so gut, wie die der besten Geräte aus dem Jahr 1987 (Tabelle 1, Zeile 6) oder sogar noch besser. Auch das SureSight schnitt bei der Astigmatismusmessung überraschend gut ab.

**Entwicklung der Autorefraktometer seit 1971:
Schneller, kostengünstiger, bedienungsfreundlicher,
integrierte Messung des Hornhautradius**

Seit der Vorstellung der ersten Autorefraktometer im Jahre 1971 ist das Konstruktionsprinzip vielfach verändert worden. Ein wesentliches Entwicklungsziel war die Beschleunigung der Messung. Das Dioptron Ultima aus dem Jahr 1984 brauchte für eine Messung oft mehr als eine Minute. Alle heutigen Geräte benötigen für die Messung nur noch den Bruchteil einer Sekunde. Deshalb können sie durchweg auch bei Kindern angewandt werden.

Ein zweites Entwicklungsziel war die Vereinfachung der optischen Konstruktion. Dadurch können die Autorefraktoren heute wesentlich kostengünstiger angeboten werden als früher.

Das dritte Entwicklungsziel war die Vereinfachung der Bedienung. Die Geräte von Canon und Humphrey zentrieren sich selbsttätig; der Bediener muß nur noch die grobe Positionierung des Patienten vornehmen. Beim Charops muß der Bediener die Justierung gegenüber dem Auge selbst durchführen. Dies gelingt aber sehr leicht. Der Hersteller des Shin-Nippon sollte hingegen über eine Verbesserung der Justierung nachdenken. Die derzeit verwendete Justiermethode ist vergleichsweise umständlich.

Ein viertes Entwicklungsziel war die Integration zusätzlicher Meßfunktionen im Gerät. Heute verfügen viele Autorefraktoren über eine Einrichtung zur Messung der Hornhautradien, eine Option, die besonders für Kontaktlinsenanpasser interessant ist. Die früher bei vielen Geräten integrierte Möglichkeit zur Visusbestimmung im Gerät findet man hingegen nicht mehr.

Ein prinzipielles Problem bei vergleichenden Autorefraktorstudien, wie der hier vorgelegten, ist die Genauigkeit der subjektiven Refraktionswerte, denn diese werden in der Auswertung als „Goldstandard“ betrachtet. Selbst wenn man, wie wir es hier getan haben, die subjektive Refraktion ohne Zeitdruck und mit größtmöglicher Präzision durchführt, ist das Ergebnis nicht immer vollkommen fehlerfrei. Diese Restunsicherheit ist zwangsläufig in der Auswertung enthalten und verringert die Zuverlässigkeit des Goldstandards sowie den Grad der Übereinstimmung zwischen der automatischen und der subjektiven Messung. Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu bedenken.

**Messungen mit dem
SureSight-Autorefraktometer bevorzugt in
Zykloplegie**

Die hier vorgelegten Ergebnisse belegen, daß es hinsichtlich der sphärischen Meßgenauigkeit im Laufe der Jahre keine wesentlichen Verbesserungen gegeben hat. Die heutigen Autorefraktor-Tischgeräte sind nicht genauer als die vorangegangenen Generationen.

Die wesentlich geringere sphärische Meßgenauigkeit des SureSight kann auf die fehlende Vorrichtung zur Akkommodationsentspannung zurückgeführt werden. Dieses Phänomen wurde bereits von T. W. Schimitzek und W. Wesemann [7] an Kinderaugen beobachtet. Da die Patienten auf den roten Laserstrahl oder die grünen Leuchtdioden in

0,35 m Entfernung schauen, setzt bei vielen Personen die Nahakkommodation ein und besonders Hyperope und Emmetrope werden nicht richtig gemessen. Deshalb empfehlen wir, die Messungen mit dem SureSight bevorzugt in Zykloplegie durchzuführen.

Bei der Bewertung dieses Aspektes sollte man aber daran denken, daß das SureSight nicht für die hier geprüften erwachsenen Patienten entwickelt wurde. Sein Einsatzbereich liegt in erster Linie in der Untersuchung von sehr kleinen Kindern, die mit den heutigen Autorefraktor-Tischgeräten aufgrund der kurzen Meßdistanz und der Bewegungsunruhe der Kinder nicht gemessen werden können.

Eine leichte Verbesserung ergab sich beim Astigmatismus. Hier waren alle geprüften Tischgeräte genauso gut oder sogar noch besser als die besten Geräte der früheren Generationen. Auch das SureSight hat sich hier gut bewährt.

Tabelle 2: Versuch einer vereinfachten Bewertung der geprüften Autorefraktoren

	Bedienungs-komfort	Justie-rung des Patien-tenauges	sphäri-sche Meß-genauig-keit	zylindrische Meßge-nauigkeit
Canon Autorefraktometer RK-F1	⊕⊕	⊕⊕	⊕	⊕
MRK-3100 Charops	⊕	⊕	⊕	⊕⊕
Humphrey Acuitus 5015	⊕	⊕⊕	⊕	⊕
Shin-Nippon Accurefraktometer K 9001	⊗	∅	⊕	⊕
SureSight	⊕	⊗	∅	⊕
⊕⊕ sehr gut	⊕ gut	⊗ befriedigend	∅ ausreichend	

Fazit:

Subjektive Refraktionsbestimmung im Anschluß an die automatische Messung unbedingt zu empfehlen

Tabelle 2 zeigt abschließend den Versuch einer vereinfachten Bewertung. Insgesamt gesehen läßt sich festhalten, daß die heutigen Autorefraktoren schneller messen und einfacher zu bedienen sind als früher. Das eingebaute Ophthalmometer bietet zudem einen Zusatznutzen. Aufgrund der optisch einfacheren Konstruktion ist der Preis jedoch wesentlich niedriger als in früheren Jahren.

Da die Ergebnisse der Autorefraktoren oft nicht vollkommen fehlerfrei sind und in einigen wenigen Fällen sogar beträchtliche Abweichungen auftreten, sollte im Anschluß an die automatische Messung unbedingt eine subjektive Refraktionsbestimmung vom Arzt durchgeführt werden. Durch diese subjektive Gegenkontrolle können die Meßfehler des Autorefraktors ausgeglichen werden. Zusätzlich hat der Patient die Gelegenheit zum persönlichen Gespräch.

Anhang 1: Funktionsprinzip des SureSight

Das freisichtige Refraktometer SureSight mißt die Wellenfrontaberrationen des Auges mit einem „Hartmann-Shack-Sensor“. Ähnlich konstruierte Geräte werden auch zur wellenfrontgesteuerten Hornhautchirurgie verwendet. Das optische Funktionsprinzip ist in Abbildung 5a angedeutet. Ein infraroter Laserstrahl wird über einen Strahlteiler in das Auge geleitet und im emmetropen Auge in die Fovea fokussiert. Bei einem ametropen Auge ist die Fokussierung nicht perfekt – in der Fovea entsteht ein kleiner, etwas unscharfer Lichtfleck. Das Laserlicht wird vom Fundus reflektiert, verläßt das Auge und tritt in den Hartmann-Shack-Sensor ein, der eine Vielzahl winzig kleiner Sammellinsen enthält. Jede dieser Linsen fokussiert das Licht auf eine CCD-Kamera.

Abbildung 5b zeigt die von der CCD-Kamera registrierten Lichtpunkte. Aus dem gegenseitigen Abstand der Lichtpunkte kann die Fehlsichtigkeit ausgerechnet werden. Der Abstand der Lichtpunkte bei Emmetropie dient als Referenz. Bei einer Hyperopie vergrößert sich der Abstand der

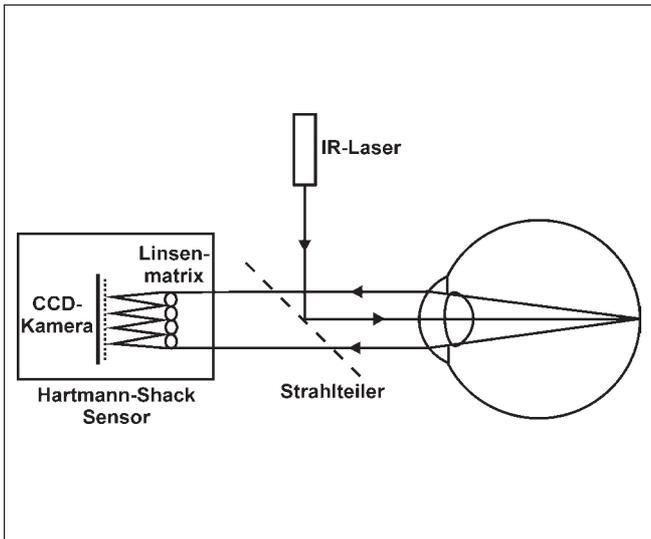


Abbildung 5a: Vereinfachter Strahlengang des Kinderrefraktometers SureSight (IR = Infrarot).

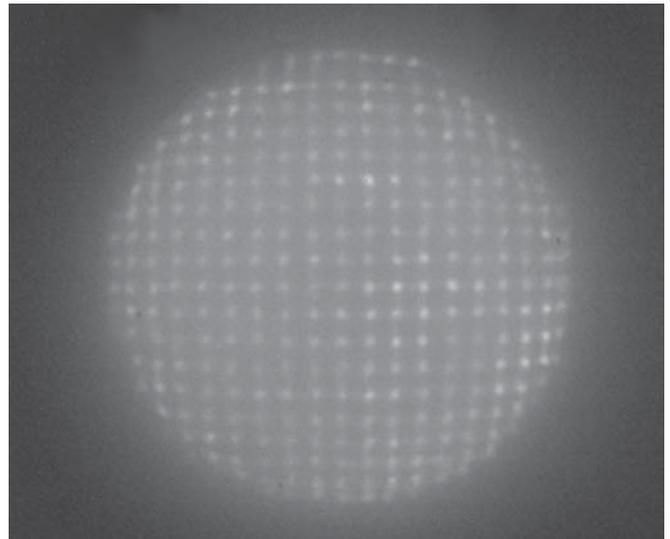


Abbildung 5b: Lichtverteilung auf der CCD-Kamera des Hartmann-Shack-Sensors.

Lichtpunkte, da die Lichtstrahlen, aufgrund der zu geringen Brechkraft des hyperopen Auges, nicht parallel sondern divergent austreten. Bei einem Astigmatismus wird das Punktmuster elliptisch verzerrt. Mit einem Hartmann-Shack-Sensor können im Prinzip auch die Abbildungsfehler höherer Ordnung (z.B. Koma, sphärische Aberration) ermittelt werden. Solche Fehler machen sich als irreguläre Abstandsänderungen der Punkte bemerkbar. Da diese Fehler aber mit Brillengläsern nicht korrigiert werden können, werden sie vom SureSight auch nicht angezeigt.

Anhang 2: Beurteilungskriterien

Die Symbole S , C und α kennzeichnen den sphärischen Brechwert, die Zylinderstärke und die Achse. Die Zylinderstärke C wird als Minuszylinder eingesetzt. Der Index AR bezeichnet den Meßwert des Autorefraktors, der Index SR den mit der subjektiven Refraktion gefundenen Wert.

Zum Vergleich der Refraktionswerte wurden folgende Qualitätskriterien benutzt:

1. Differenz der sphärischen Äquivalente DSÄ

$$DSÄ = (S_{AR} + 0,5 C_{AR}) - (S_{SR} + 0,5 C_{SR})$$
2. Differenz der Zylinderstärken (DC)

$$DC = C_{AR} - C_{SR}$$
3. Achsendifferenz (DA)

$$DA = 2C_{SR} \sin(\alpha_{AR} - \alpha_{SR})$$

4. Totale astigmatische Differenz (TAD)

$$TAD = + \sqrt{C_{AR}^2 + C_{SR}^2 - 2C_{AR}C_{SR} \cos(2(\alpha_{AR} - \alpha_{SR}))}$$

5. Power-Vektor Analyse

Die Power-Vektor Analyse ermöglicht eine neuartige Beschreibung von Zylinderfehlern. Zuerst werden die gemessenen Zylinderwerte in eine Komponente mit horizontal/vertikaler Achslage J_0 und eine Komponente mit schräger ($45^\circ/135^\circ$) Achslage J_{45} zerlegt

$$\begin{aligned} J_{0AR} &= (-C_{AR}/2) \cos(2\alpha_{AR}) & J_{0SR} &= (-C_{SR}/2) \cos(2\alpha_{SR}) \\ J_{45AR} &= (-C_{AR}/2) \sin(2\alpha_{AR}) & J_{45SR} &= (-C_{SR}/2) \sin(2\alpha_{SR}) \end{aligned}$$

Dann kann die sogenannte „J-Vektordifferenz ($\Delta\vec{J}$)“ zwischen den automatisch und subjektiv ermittelten Werte geschrieben werden als

$$\Delta\vec{J} = (\Delta J_0, \Delta J_{45})$$

wobei ΔJ_0 und ΔJ_{45} definiert sind durch

$$\begin{aligned} \Delta J_0 &= (J_{0AR} - J_{0SR}) \\ \Delta J_{45} &= (J_{45AR} - J_{45SR}) \end{aligned}$$

In Abbildung 3 sind die beiden Komponenten ΔJ_0 und ΔJ_{45} des Vektors $\Delta\vec{J}$ aufgetragen. Diese Vorgehensweise erlaubt es, Fehler, die sich bei Zylindern unterschiedlicher Stärke und Achse ergeben haben, direkt miteinander zu vergleichen.

Literatur

1. *Rassow, B., Wesemann, W.*: Moderne Augenrefraktometer; Funktionsweise und vergleichende Untersuchungen. Enke, Stuttgart 1984
2. *Rassow, B., Wesemann, W.*: Automatic infrared refractors – 1984. *Ophthalmology* 91: 10-26 (1984)
3. *Rassow, B., Wesemann, W.*: Automatic infrared refractors – 1985. *Ophthalmology* 92: 20-33 (1985)
4. *Rassow, B., Wesemann, W.*: Automatische Augenrefraktometer. In: *Ophthalmologisch-optische Instrumente* (Hrsg.: B. Rassow). S. 42-65. Enke, Stuttgart 1987
5. *Wesemann, W., Rassow, B.*: Automatic infrared refractors – A comparative study. *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 64: 627-638 (1987)
6. *Wesemann, W., Dick, B.*: Accuracy and accommodation capability of a handheld autorefractor. *J. Cataract Refract. Surg.* 26: 62-70 (2000)

7. *Schimitzek, T., Wesemann, W.*: Clinical evaluation of refraction using a handheld wavefront autorefractor in young and adult patients. *J. Cataract Refract. Surg.* 28: 1655-1666 (2002)
8. *Thibos, L. N., Horner, D.*: Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. *J. Cataract. Refract. Surg.* 27: 80-85 (2001)

Korrespondenzanschrift:

PD Dr. W. Wesemann
 Höhere Fachschule für Augenoptik Köln
 Bayenthalgürtel 6-8, 50968 Köln
 E-Mail: wesemann@hfak.de

