

Aus der Augenlaserklinik Dr. D. Dausch Nürnberg  
Leiter Prof. Prof.\* Dr. med. D. Dausch  
\*Associate Prof. Chung Ang Univ. Seoul

**Lassen sich die refraktiven Ergebnisse nach Excimerlaserbehandlungen der  
Myopie mit Astigmatismus unter Zuhilfenahme der Aberrometrie noch  
verbessern?**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde  
in der Medizinischen Hochschule Hannover

vorgelegt von Silke Thießen  
aus Meldorf

Hannover 2014

Angenommen vom Senat der Medizinischen Hochschule  
am 11.09.2015

Gedruckt mit der Genehmigung der Medizinischen Hochschule Hannover

Präsident: Prof. Dr. med. Christopher Baum

Betreuer der Arbeit: Prof. Prof.\* Dr. med. Dieter Dausch

Referent: Prof. Dr. med. Carsten Framme

Koreferent: Prof. Dr. med. habil. Burkhard Wiechens

Tag der mündlichen Prüfung: 11.09.2015

Prüfungsausschussmitglieder:

Prof. Dr. med. dent. Meike Stiesch

Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Xiaoqi Ding

Prof. Dr. phil. Mechthild Groß

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Refraktionsbestimmungen vor der Excimerlaserbehandlung .....	1
1.1.1	Subjektive Refraktionsbestimmung .....	1
1.1.2	Objektive Refraktionsbestimmung.....	2
1.1.3	Refraktionsbestimmung durch Aberration mittels Wellenfrontmessung	3
1.1.4	Hartmann-Shack-Wellenfrontanalyser .....	5
1.2	Operationstechnik ASA der refraktiven Laserbehandlung.....	7
1.3	Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.....	10
2	Methodik und Patientengut.....	12
2.1	Studiendesign.....	12
2.2	Patienten .....	14
2.3	Statistische Methodik .....	17
3	Ergebnisse .....	19
3.1	Vorhersagbarkeit (Predictability) .....	19
3.2	Wirksamkeit (Efficacy).....	23
3.3	Visuelle Rehabilitation.....	25
3.4	Sicherheit (Safety).....	28
3.5	Stabilität (Stability).....	31
3.6	Postoperativer Astigmatismus .....	33
3.7	Vergleich der präoperativen Messmethoden in der „Aberrometergruppe“..	36
3.7.1	Vergleich der Zylinderwerte.....	36
3.7.2	Vergleich der Achsenwerte .....	38
4	Diskussion .....	41
5	Zusammenfassung .....	49
6	Literaturverzeichnis .....	51
7	Anhang.....	55
7.1	Tabellen .....	55
7.2	Tabellenverzeichnis.....	70
7.3	Abbildungsverzeichnis.....	72
8	Danksagung .....	74
9	Lebenslauf.....	75
10	Erklärung .....	77

# 1 Einleitung

Als *conditio sine qua non* vor einer refraktiven Laserbehandlung am Auge ist eine genaue präoperative Bestimmung der Fehlsichtigkeit notwendig.

## ***1.1 Refraktionsbestimmungen vor der Excimerlaserbehandlung***

Die Refraktion eines Auges bezeichnet den Brechwert der optischen Korrektur. Da das Auge nicht aberrationsfrei ist, bedarf es unterschiedlicher Refraktionsbestimmungen. Diese Aberrationen sind nicht Folge unterschiedlicher Brechung bei verschiedenen Wellenlängen, sondern sie entstehen durch Irregularitäten der Optik des Auges [1].

Im Folgenden werden die Refraktionsbestimmung der Sphäre, des Zylinders und der Achse dargestellt, die für diese Arbeit verwendet wurden.

### **1.1.1 Subjektive Refraktionsbestimmung**

„Die subjektive Refraktion gilt bis heute immer noch als der Goldstandard für die Erfassung der optischen Fehler des Auges und somit auch als Basis für refraktive Korrekturen.“[2]

Bei der subjektiven Refraktionsbestimmung wird die Refraktion durch die Aussage des Untersuchenden über die wahrgenommene Bildschärfe ermittelt und erfolgt nach den Werten der objektiven Refraktion.

Der zu untersuchenden Person werden nacheinander systematisch verschiedene Linsen vorgehalten und nach einer Verbesserung oder Verschlechterung des Seheindrucks gefragt. Dabei ist es wichtig, dem Patienten klare Fragen zu stellen [1, 3].

Die Auswahl und das Vorhalten der Linsen werden heute meist mit Hilfe eines Phoropters durchgeführt, einer Apparatur, durch die ein schnelles Wechseln der Linsen möglich ist. Die Untersuchung wird solange fortgeführt, bis durch das Verändern der angebotenen Korrekturwerte keine Verbesserung der Sehschärfe mehr erzielt wird [1]. Man beginnt bei der subjektiven Refraktionsbestimmung immer

mit der Bestimmung der Sphäre. Danach folgt die Bestimmung der Stärke des Zylinders einschließlich der Achse, die schwieriger zu ermitteln sind.

### **1.1.2 Objektive Refraktionsbestimmung**

Die objektive Refraktionsbestimmung wird ohne Angaben des Patienten durchgeführt. Das bisher gebräuchlichste Gerät ist der Refraktometer. Die Geräte der ersten Generation wurden manuell bedient. Die Untersuchung war umständlich und zeitaufwendig, so dass bald die automatischen Refraktometer entwickelt wurden. Bekannt ist vor allem der Autorefraktometer Humphrey. Heute wird bei der objektiven Refraktionsmessung unter Zuhilfenahme einer apparativen Anordnung die Refraktion festgelegt.

Die Bedienung der Refraktionsautomaten ist sehr einfach, der Arbeitsanteil erstreckt sich auf das richtige Positionieren des Probanden zum Gerät. Refraktionsautomaten liefern heute bei sinnvoller und richtiger Anwendung sehr genaue Resultate, die eine ausgezeichnete Basis für den subjektiven Feinabgleich der Refraktionswerte darstellen [4, 5].

Bei den in dieser Arbeit beurteilten Daten wurde zur objektiven Refraktionsbestimmung der Humphrey, Modell 515, ein Autorefraktometer der Firma Zeiss-Meditec verwendet.

„Der Autorefraktometer von Humphrey arbeitet nach dem Schneidverfahren. Das optische System beinhaltet einen Detektor mit einem Set aus vier Schneiden mit acht infraroten Lichtquellen, welche horizontal und vertikal angeordnet sind. Direkt hinter den infraroten Lichtquellen befindet sich ein Quadranten-Detektor.

Während des Messprozesses gelangt der Lichtstrahl der infraroten Lichtquelle durch die Mitte der Pupille in das Auge, wo er von der Netzhaut reflektiert und ins optische System zurück geworfen wird. Damit die Messung nicht durch äußere Lichtquellen beeinträchtigt wird, funktioniert jede infrarote Lichtquelle mit vier verschiedenen Frequenzen und jeder Quadrant reagiert auf eine dieser Frequenzen. Liegt Emmetropie vor, so wird der Lichtstrahl in sich reflektiert und der Detektor empfängt kein Licht. Bei Ametropie ist dies nicht der Fall und es fällt Licht auf den Detektor. Dies veranlasst den Computer, das System, das für die Sphäre verantwortlich ist, so lange zu verschieben, bis der Nullpunkt gefunden ist. Liegt noch ein Zylinder vor, so wird ein Linsensystem so lange gedreht, bis auch hier der Nullpunkt gefunden ist.

Der Computer registriert sämtliche Bewegungen der Motoren für die Sphäre sowie des Zylinders und der Achse und errechnet aus diesen die Fehlsichtigkeit des Probanden.“[6]

Ob jedoch die untersuchte Zone der Pupille bei der objektiven Messung als Referenzzone beim Sehen verwendet wird, kann aus der objektiven Refraktionsbestimmung nicht abgeleitet werden. Außerdem akkomodieren zumindest jüngere Patienten bei apparativen Untersuchungen fast immer (Geräteakkommodation) [1].

Das Standardvorgehen für die Refraktionsbestimmung ist, zunächst eine objektive Refraktionsbestimmung durchzuführen und die ermittelten Werte dann subjektiv abzugleichen [1, 2, 5].

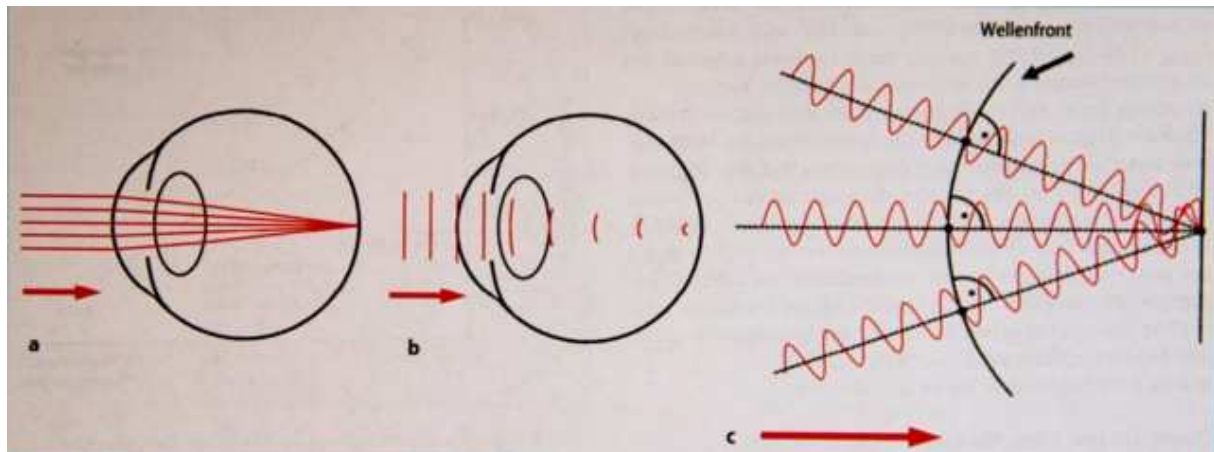
### **1.1.3 Refraktionsbestimmung durch Aberration mittels**

#### **Wellenfrontmessung**

Das neueste Verfahren der Refraktionsbestimmung ist die Refraktionsbestimmung durch Aberration mittels Wellenfrontmessung. Unter Aberration oder Abbildungsfehler versteht man in der Optik die Abweichung von der idealen optischen Abbildung durch die Einwirkung eines optischen Systems. Das Wort Aberration stammt aus dem Lateinischen und bedeutet wörtlich „von dem richtigen Weg abwandern“ („ab“= von, und „errare“= umherirren) [7].

Als Wellenfronten werden die Flächen definiert, die die gleiche optische Weglänge von einer Punktlichtquelle haben. An der Oberfläche der Wellenfront haben alle Lichtstrahlen die gleiche Phase, und die Wellenfront steht in jedem Punkt senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes (siehe Abb.1). Demzufolge ergeben sich aus einer Punktlichtquelle sphärische Wellenfronten. Je weiter diese Punktlichtquelle vom Betrachtungsort entfernt ist, desto größer wird der Krümmungsradius der Wellenfront. Im Falle einer unendlich entfernten Punktlichtquelle (paralleles Licht) resultiert daraus eine ebene Wellenfront. Änderungen der Phasenbeziehungen bzw. der optischen Wellenlänge während der Ausbreitung des Lichtes können zu einer Deformation der Wellenfront führen. Die Abweichungen zwischen der deformierten Wellenfront und

der idealen Wellenfront (sphärisch oder eben) werden als Wellenfrontaberrationen bezeichnet [8, 9].



**Abb.1 Zusammenhang zwischen Lichtstrahl und Wellenfront [9]:** Verlauf der Lichtstrahlen in einem unendlich fokussierten idealen Auge (a), Verlauf der Wellenfront im gleichen Auge (b), die Wellenfront steht dann immer im rechten Winkel zum jeweiligen Lichtstrahl (c).

„Die Wellenfronttechnologie beschreibt den optischen Status des menschlichen Auges durch Beurteilung der Qualität des auf die Fovea projizierten Bildes. Konventionelle Autorefraktometer und subjektiver Refraktionsabgleich erfassen nur sphärozyklindrische Fehler, also Defokus und Astigmatismus. Dies sind Aberrationen 1. und 2. Ordnung. Im Gegensatz dazu zeichnet die Wellenfrontanalyse alle signifikanten Aberrationen niederer und höherer Ordnung auf. Ein Wellenfrontsensor hat das Potenzial, den gesamten Brechungsfehler des Auges an einer Vielzahl von Punkten über den Querschnitt der ganzen Pupille zu ermitteln.“[10]

Es gibt verschiedene Messsysteme für die Wellenfrontmessung, die in der folgenden Tabelle gegenübergestellt sind.

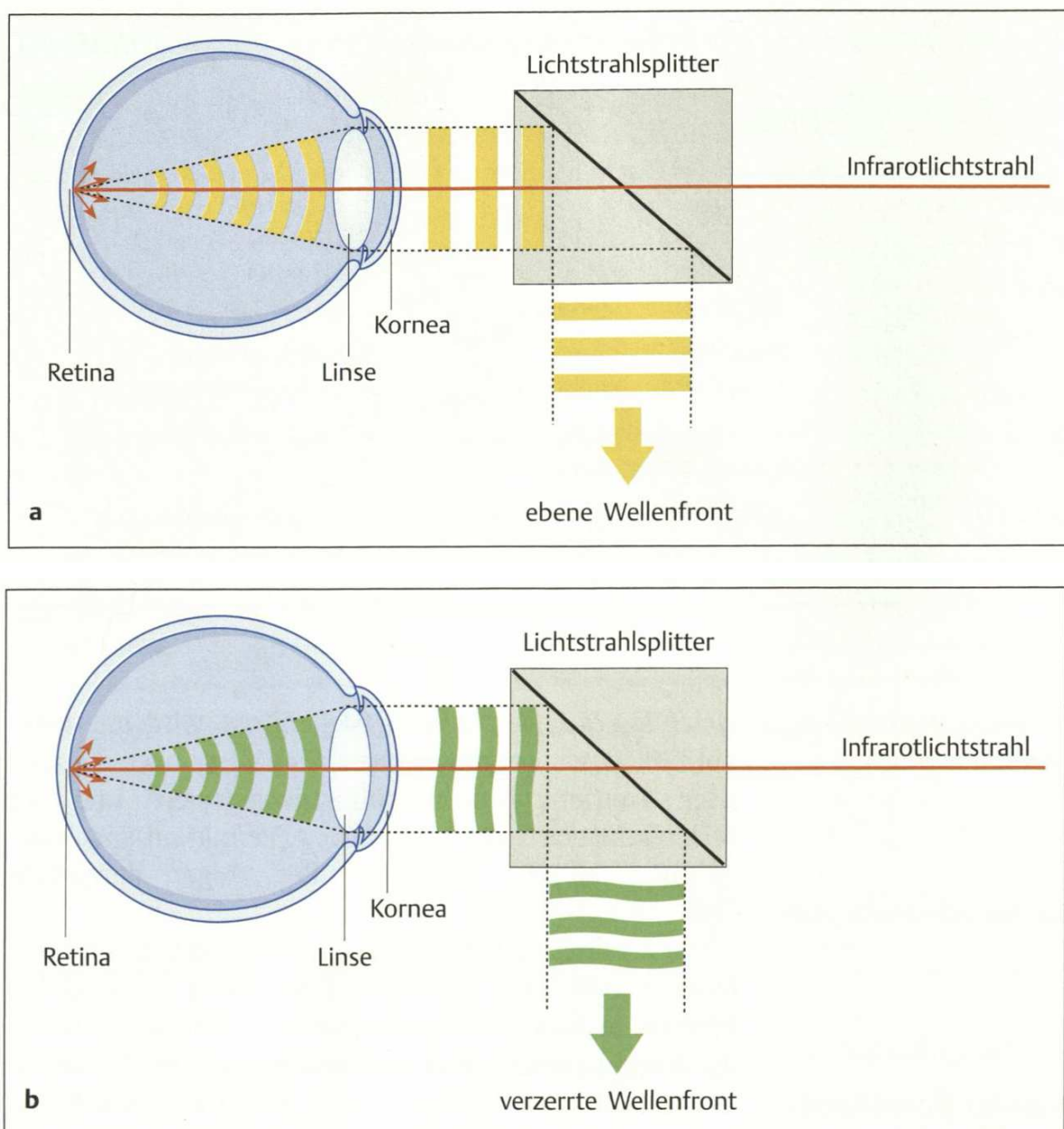
Tab.1 Gebräuchliche Wellenfrontmessmethoden und repräsentative Hersteller, in deren Geräte diese Methoden Anwendung finden[10]

Messsysteme	Hersteller	Vorteile	Nachteile
Hartmann-Shack-Wellenfrontanalyser	VISX, Alcon, Bausch & Lomb,	▶ je nach Gerät sehr hohe Messpunkte	▶ eingeschränkte Analyse des optischen Zentrums
	Topcon, Wavefront Sciences,		
	Zeiss Meditec, Schwind,	▶ sehr verbreitet	▶ tränenfilmabhängig
	Ziemer	▶ einfache Bedienung	▶ kann bei starken Aberrationen versagen
Tscherning-Aberrometer	Wavelight	▶ langjährige Erfahrung	▶ retinale Verkippung
		▶ Excimerlaseranbindung	▶ geringe Messpunktanzahl
Nidek-Skiaskopie	Nidek OPD System	▶ hohe Messpunktzahl	▶ lange Aufnahmezeit
		▶ Excimerlaseranbindung	
Räumlich aufgelöster Refraktometer	Tracey Technologies	▶ großer Messbereich	▶ längere Aufnahmezeit
		▶ kein Akkommodationsreiz	▶ Bewegungsartefakte
		▶ dynamische Messung	

### 1.1.4 Hartmann-Shack-Wellenfrontanalyser

Die in dieser Arbeit verwendeten Aberrometermessdaten wurden mit einem Hartmann-Shack-Sensor gemessen. Dieser wird im Folgenden beschrieben. Es handelt sich um den WASCA-Analyser der Firma Carl-Zeiss Meditec (WASCA = Wavefront Aberration Supported Cornea Ablation).

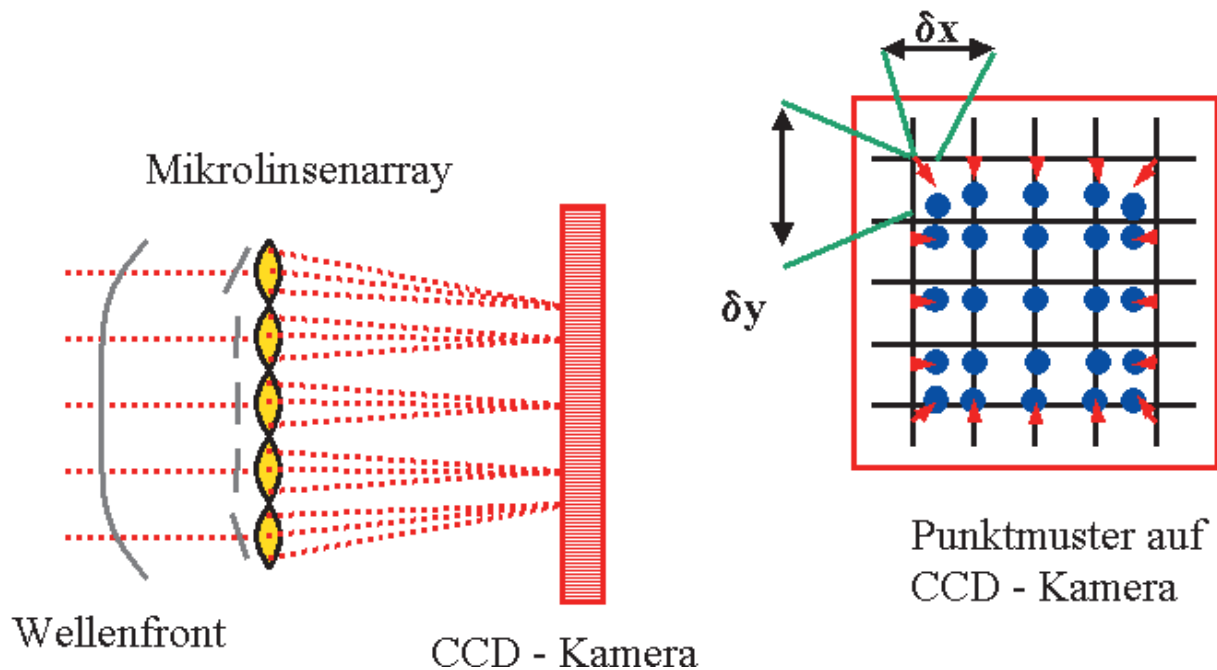
Der Hartmann-Shack-Sensor schickt einen Lichtpunkt (Infrarotlichtstrahl) ins System und vermisst das von der Retina zurückgestreute Licht, d. h. das ausgehende Licht durchläuft auf umgekehrtem Weg das optische System Auge [10, 11].



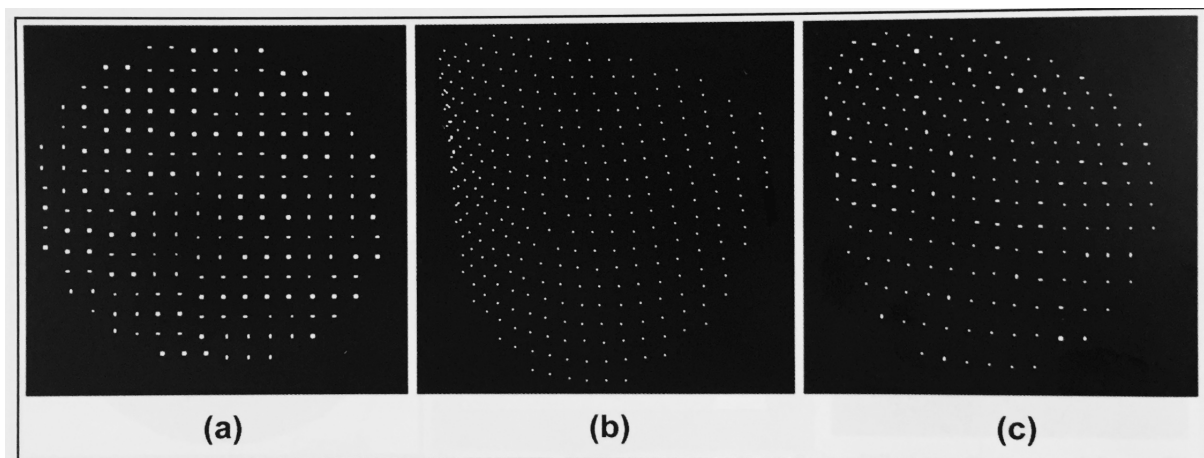
**Abb.2a und b Vereinfachte Darstellung der Funktionsweise eines Hartmann-Shack-Aberrometer [10]:** Bei einem ideal emmetropen Auge ist die resultierende Wellenfront eben (a). Bei einem realen Auge mit Aberration ist die gemessene Wellenfront verzerrt (b).

Das reflektierte Licht lässt sich als sphärische Wellenfront annehmen. Im idealen emmetropen Auge würde eine ebene Wellenfront außerhalb des Auge transformiert werden. Optische Aberrationen und Abbildungsfehler lassen keine reine Ebene entstehen, sondern vielmehr eine entsprechend den optischen Aberrationen verzerrte Wellenfront [8, 10].

Diese deformierte Lichtwellenfront trifft auf das im Hartmann-Shack-Sensor integrierte Mikrolinsenarray. Das Mikrolinsenarray besteht aus kleinsten Linsen, die mit konstanten Abständen angeordnet sind. Dort wird die Wellenfront in viele kleine Teilstrahlen zerlegt und auf einer CCD-Kamera abgebildet (Abb.3). Bei einer idealen ebenen Wellenfront entsteht auf der Videokamera ein Punktmuster mit entsprechend dem Mikrolinsenarray konstanten Abständen. Im Gegensatz dazu kommt es bei einer aberrierten Wellenfront zu lokalen Verschiebungen der einzelnen Lichtpunkte auf der Videokamera [8, 9]. Diese Verschiebungen ( $\delta x$ ,  $\delta y$ ) beschreiben geometrisch die erste Ableitung der eigentlichen Wellenfront und demzufolge lassen sich die Wellenfrontaberrationen durch eine entsprechende Integration aus dem mit der Videokamera aufgenommenen Bild (Punktmuster) rekonstruieren [8]. In der unteren Abbildung (Abb. 4) sind verschiedene Darstellungen der Punktmuster zu sehen. Es sind nicht nur die Abstände der einzelnen Punkte unterschiedlich, sondern auch die gesamte Form des Lichtmusters kann sich verändern. Diese Verschiebungen der einzelnen Lichtpunkte beschreiben nicht nur die optischen Aberrationen höherer Ordnung, sondern beinhalten auch die Information über die Refraktion des Auges (Sphäre und Zylinder) [8].



**Abb.3 Funktionsprinzip des Hartmann-Shack-Sensors [8]:** Die eingestrahlte Wellenfront wird durch die einzelnen Linsen im Mikrolinsenarray in einzelne Teilstrahlen zerlegt. Diese werden von der CCD-Kamera aufgenommen und als Punktmuster aufgenommen. Die Verschiebungen  $\delta x$  und  $\delta y$  der entstehenden Lichtpunkte auf der CCD-Kamera zu ihrer Referenzposition ist proportional zur ersten Ableitung der eingestrahlten Wellenfront.



**Abb.4 Punktmuster einer CCD-Kamera mit simulierter Hornhaut [12]:** a) Bereich mit einem Radius von 8 mm, b) dezentrierter Keratokonus mit einem Radius von 5 mm und starken ellipsoiden Astigmatismus, c) Hoher ellipsoider Astigmatismus mit starker Verzerrung

## 1.2 Operationstechnik ASA der refraktiven Laserbehandlung

Die Operationstechnik Advanced Surface Ablation (ASA) ist eine modifizierte Technik der Photorefraktiven Keratektomie (PRK).

Prä- und postoperativ werden Messungen der Refraktion und der Sehschärfe (unkorrigierte Sehschärfe / UDVA und bestkorrigierten Sehschärfe / BDVA) vorgenommen. Die Refraktion wird mit und ohne Cycloplegie bei allen Patienten vor der Laserbehandlung durchgeführt. Keratometer-Messung (Zeiss Ophthalmoskop, Carl Zeiss Meditec), Messung der Sehschärfe unter Blendung und Dämmerung mit dem Autorefraktometer (Humphrey Model 515), Spaltlampen-Untersuchung und Topographie (Zeiss ATLAS, Carl Zeiss Meditec) werden präoperativ und bei jedem Nachuntersuchungstermin erhoben.

Der chirurgische Eingriff wird unter einer Oberflächenanästhesie mit Novesine® 0,4% Augentropfen (Oxybuprocain HCL 4 mg, Omnivision GmbH) durchgeführt. Es wird ein Lidspreizer eingesetzt.

Die Hornhaut wird mit einem optischen Zonenmarker markiert. Der Durchmesser des Markers hängt vom Pupillendurchmesser des Patienten ab.

Das Epithel wird mechanisch mit einer Amoil Epithelbürste entfernt. Diese Bürste soll vor der Benutzung mit einem oder maximal zwei Tropfen physiologischer Kochsalzlösung (BSS) in Raumtemperatur befeuchtet werden.

Danach wird sofort mit einem stumpfen Instrument das abgelöste Epithel von der Stromaoberfläche entfernt. Das freiliegende Stroma wird in der vorher markierten Zone mit einem Behandlungsdurchmesser von 5,5mm zu 6,5mm ablatiert. Dieser Durchmesser stimmt mit dem Durchmesser der Pupillengröße überein. Um ein Ansteigen der kornealen Temperatur während der Laserablation zu verhindern, wird ein spezielles Verteilungsmuster der Laserschüsse benutzt.

Der gesamte Vorgang soll zügig und kontinuierlich ausgeführt werden, um eine korneale Dehydratation zu verhindern und einer Traumatisierung der Hornhaut vorzubeugen.

Folgend wird die korneale Behandlungszone mit +5°C temperierter BSS gekühlt. Das wird für eine Zeitspanne von je zehn Sekunden drei bis vier Mal wiederholt. Die Flüssigkeit wird nach jedem Kühlungsprozess mit einem Schwamm abgesaugt.

Danach wird ein Tropfen NSAID (Non-Steroidal-Anti-Inflammatory-Drug) wie Voltaren® (Diclofenac Natrium 0,1%, ciba Vision) appliziert. Voltaren® ist ein entzündungshemmendes Medikament, das schmerzlindernd wirkt und die initiale Entzündung verhindert.

Eine Wundschutzkontaktlinse (disposal soft contact lens, 1-Day-Acuvue® Johnson & Johnson Vision Products, Inc.) wird eingesetzt. Mit der einen Hand wird mit einem

Merocel-Schwamm die Wundschutzkontaktlinse aus der Verpackung genommen und mit der anderen Hand sowie einem weiteren Schwamm die korrekte Position der Linse auf dem Auge erreicht.

Das Ziel dieser Technik ist es, das Infektionsrisiko so gering wie möglich zu halten. Es sollte jedweder Kontakt der Linse mit den OP-Handschuhen vermieden werden. Nach der Positionierung der Linse wird der Lidspreizer entfernt.

Postoperativ werden alle Patienten mit Ofloxacin 0,3% Augentropfen viermal am Tag bis zur kompletten Reepithelisierung (gewöhnlich bis zu zwei Tagen postoperativ) behandelt.

Nach Entfernung der Kontaktlinse werden Fluorometholone Augentropfen 0,1% verordnet, die dreimal täglich für einen Monat und weitere drei Monate mit je einem Tropfen verwendet werden sollen.

Das postoperative Management für den Patienten beinhaltet eine 24-stündige Erreichbarkeit in den ersten drei Tagen nach der Laserbehandlung, um etwaige unerwartete Komplikationen wie z. B. das Auftreten von Hornhautinfiltraten zu behandeln.

### **1.3 Zielsetzung der vorliegenden Arbeit**

Prä- und postoperative Refraktionsbestimmungen sind u.a. unerlässlich zur Qualitätsbestimmung refraktiver Laseroperationen. In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob die präoperative Refraktionsbestimmung des Zylinder- und Achsenwertes mit einem Aberrometer-System einen statistisch nachweisbaren Vorteil gegenüber den herkömmlichen präoperativen Untersuchungsmethoden hat.

Auf der Suche nach Verbesserungsmöglichkeiten von refraktiven Laseroperationen fiel beim Studium der Literatur eine Arbeit von Doane [13] auf. Diese Arbeit beschreibt, dass ein Aberrometer-System bei der Refraktionsbestimmung des menschlichen Auges ungefähr 25 – 50 mal genauer ist als die Bestimmung mit Gläsern am Phoropter. Das Aberrometer-System übertrifft mit seiner Genauigkeit sowohl den Autorefraktor als auch auf Topographie basierende Systeme.

Das Aberrometer-System berücksichtigt alle Elemente des optischen Weges wie Tränenfilm, vordere Hornhautfläche, Hornhautstroma, hintere Hornhautfläche, vordere Fläche der Linse, Linsensubstanz, hintere Linsenfläche, Glaskörper und Netzhaut [13].

Angeregt durch die Arbeit Doanes [13] wurden von D. Dausch in der Augenlaserklinik Dr. B. Dausch Nürnberg ab 2007 daraufhin bei allen Laseroperationen präoperative Refraktionsmessungen routinemäßig mit dem Aberrometer (WASCA-Messungen) durchgeführt. Standardmäßig wurden weiterhin die Refraktionsmessungen mit dem Autorefraktometer Humphrey und subjektive Refraktionsmessungen am Phoropter vorgenommen.

Verschiedene Aberrometer sind seit längerer Zeit im Handel und wissenschaftlich erprobt. Es gibt verschiedene gebräuchliche Methoden der Wellenfrontanalyse. Für diese Studie kam der „WASCA Wavefront Analyzer“ von Zeiss zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um ein Gerät, das die Wellenfront des Lichts erfasst, indem es einen Hartmann-Shack-Sensor benutzt. Bei diesem System wird ein enges Bündel paralleler Strahlen auf die Netzhaut projiziert, das von der Netzhaut reflektiert wird und im Anschluss aus der Pupille des Auges wieder nach außen tritt. Nach dem Austritt aus dem Auge wird die Wellenfront dann analysiert [14]. Der Hartmann-

Shack-Aberrometer erlaubt die Rekonstruktion der abgelenkten Wellenfront aus der veränderten Lokalisation eines jeden Bildpunktes im Gegensatz zu der kalibrierten Position. Der Wavefront Analyzer ermöglicht akkurate Refraktionsmessungen bis innerhalb von 0,1 Dioptrien für Sphäre und Zylinder [14].

Um einen Überblick über den Nutzen des Einsatzes eines Aberrometers (WASCA) bei den prä- und postoperativen Refraktionsbestimmungen zu bekommen, wurde eine retrospektive Auswertung der wichtigsten Parameter wie „Voraussagbarkeit, Effektivität, Stabilität, Sicherheit und visuelle Rehabilitation“ nach refraktiven Eingriffen in Form von Oberflächenablationen (Advanced Surface Ablation) im Hinblick auf die präoperativ verwendete Messmethode vorgenommen.

Die Ergebnisse der auf diese Weise operierten Augen wurden im Rahmen einer retrospektiven Studie analysiert und sollen in der vorliegenden Arbeit dargestellt und bewertet werden.

## **2 Methodik und Patientengut**

### ***2.1 Studiendesign***

In der dieser Arbeit zugrunde liegenden retrospektiven Vergleichsstudie werden die Daten von zwei Patientengruppen miteinander verglichen, die entweder auf einem Auge oder beidseits eine Myopie mit einem Astigmatismus hatten. Die Gruppeneinteilung erfolgte entsprechend der Art der präoperativen Refraktionsbestimmung.

Üblicherweise werden bei der Laserbehandlung die subjektiven Refraktionswerte (Sphäre, Zylinder, Achse) zur Korrektur verwendet. Die subjektiven Refraktionswerte werden mit Hilfe der vorherig objektiven Refraktionsmessung durch den Autorefraktometer Humphrey ermittelt. Diese Refraktionswerte wurden bei der Patientengruppe herangezogen, die in der folgenden Darstellung als „Vergleichsgruppe“ bezeichnet wird.

Bei der anderen Patientengruppe wurde zusätzlich zur subjektiven und objektiven Refraktionsbestimmung begleitend die Sphäre und die Stärke des Zylinders einschließlich der Achse mit dem WASCA-Aberrometer der Firma Zeiss-Meditec präoperativ ermittelt. Diese Patientengruppe wird im Folgenden als „Aberrometergruppe“ bezeichnet.

Bei der Arbeit von Seiler [15] fällt auf, dass die häufigste Indikation zur Reoperation bei LASIK ein Restastigmatismus von 0,5 Dioptrien und mehr war. Bei den hier untersuchten Patienten wurde daher versucht, den Zylinder komplett zu korrigieren und es wurde deshalb präoperativ eine besonders genaue Messtechnik angewandt. Erfahrungsgemäß ist der Zylinderwert bei kleinen Werten für die Patienten subjektiv schwer anzugeben. Deshalb wurde vor der Laserbehandlung der mit der Aberrometrie ermittelte Wert des Zylinders und der Achse den Patienten zum Abgleich subjektiv angeboten, um festzustellen, ob der Zylinderwert und der Achsenwert des Aberrometers akzeptiert werden. Die zu diesem Zylinderwert notwendige Sphäre wurde subjektiv am Phoropter ermittelt und den mit der Aberrometrie ermittelten Zylinder- und Achsenwerte vorangestellt. Der Wert der Sphäre wurde durch einen subjektiven Feinabgleich bestimmt, da dieser Wert der

genauere ist. Die Sphärenbestimmung bei der Aberrometrie wird durch verschiedene Faktoren negativ beeinflusst (Pupillenweite, sphärische Aberrometrie).

Die Antworten der Patienten wurden in drei unterschiedliche Gruppen eingeteilt.

1. Eine Gruppe von Patienten, die die angebotenen Zylinder- und Achsenwerte der Aberrometrie nicht passend fanden. Dementsprechend wurden die subjektiv gewonnenen Zylinder- und Achsenwerte für die Laserkorrektur herangezogen.
2. Eine weitere Patientengruppe erkannte weder eine Verbesserung noch eine Verschlechterung der vorgehaltenen Zylinder- und Achsenwerte des Aberrometers. Dann wurden die Zylinder- und Achsenwerte für die Laserkorrektur gewählt, die mit dem Aberrometer ermittelt wurden.
3. Die dritte Patientengruppe empfand eine Verbesserung der Sehschärfe mit den Werten des Aberrometers. Diese Gruppe wurde ebenfalls mit den Zylinder- und Achsenwerten des Aberrometers korrigiert.

Alle Patienten wurden unter standardisierten Operationsbedingungen mit dem Excimerlaser MEL 80 der Firma Carl Zeiss-Meditec operiert. Es wurde ausschließlich die Advanced Surface Ablation (ASA) in der Augenlaserklinik Nürnberg unter ambulanten Bedingungen durch den gleichen Operateur (D. Dausch) ausgeführt.

Die Untersuchung und die Auswertung der klinischen Daten erfolgt hinsichtlich der Standardparameter der refraktiven Chirurgie: Vorhersagbarkeit, Wirksamkeit, visuelle Rehabilitation, Sicherheit und Stabilität. Diese Begriffe werden nachfolgend kurz erläutert.

Die Vorhersagbarkeit (Predictability) wird durch die Bestimmung des sphärischen Äquivalents postoperativ bestimmt. Sie ist definiert als der Prozentsatz der behandelten Augen, der postoperativ um einen definierten Zielbereich um die Emmetropie liegt. Die Grenzen des Zielbereichs liegen heute bei den refraktiven chirurgischen Eingriffen bei +/- 0,5 Dioptrien. Teilweise wird der Zielbereich noch weiter eingeeengt und liegt dann bei +/- 0,25 Dioptrien.

Die Wirksamkeit (Efficacy) eines refraktiven Eingriffes wird durch die Bestimmung der postoperativen unkorrigierten Sehschärfe bestimmt. Sie ist einer der wichtigsten

Faktoren für den Patienten [16]. Die Efficacy ist der Prozentsatz der behandelten Augen, die eine unkorrigierte Sehschärfe von besser oder gleich 0,5 haben. 0,5 ist der gebräuchliche Visus, bei der sich die Patienten in ihrer Umgebung ohne Sehhilfe orientieren können.

Die visuelle Rehabilitation wird durch die Erholungsgeschwindigkeit der unkorrigierten Sehschärfe im zeitlichen Verlauf beschrieben [16].

Die Sicherheit (Safety) dient der Einschätzung der refraktiven chirurgischen Methode, die angewendet wurde. Die Sicherheit wird durch die postoperative Bestimmung der bestkorrigierten Sehschärfe im Vergleich zur präoperativen bestkorrigierten Sehschärfe ermittelt. Diese Differenz wird in Snellen-Zeilen angegeben. Das Hauptaugenmerk wird auf den Anteil der behandelten Augen gerichtet, der einen Visus gleichbleibend oder besser im Vergleich zum präoperativen Ausgangswert angenommen oder nur eine Zeile verloren hat. Hier wird es als Sicherheitsbereich bezeichnet. Zusätzlich gilt es als wichtig, die Anzahl der behandelten Augen zu bestimmen, die zwei oder mehr Zeilen verloren haben [16].

Die Stabilität (Stability) des refraktiven chirurgischen Eingriffs wird durch den postoperativen Verlauf des sphärischen Äquivalents bestimmt. Man betrachtet die Differenzen des sphärischen Äquivalents im zeitlichen Verlauf, welche als Regression bezeichnet werden, um somit eine Aussage über die Stabilität der postoperativen Refraktion zu erhalten.

Außerdem wird speziell der postoperative Restastigmatismus der beiden Gruppen verglichen. Die präoperativen Messmethoden der subjektiven und objektiven Refraktionsbestimmung sowie die Refraktionsbestimmung durch WASCA-Analyser der „Aberrometergruppe“ werden gegenübergestellt.

## **2.2 Patienten**

In der retrospektiven Studie werden 342 Augen von 201 Patienten einbezogen, die sich im Zeitraum von Juni 2003 bis Juli 2008 einer Advanced Surface Ablation (ASA), einer modifizierten Form der PRK, in der Augenklinik Nürnberg Dr. B. Dausch

unterzogen haben und bis ein Jahr postoperativ möglichst regelmäßig zu den Nachuntersuchungsterminen erschienen sind. Alle Patienten hatten eine Myopie mit Astigmatismus.

Das Patientenkollektiv, welches zusätzlich die Refraktionsbestimmung mit dem Aberrometer erhalten hat, umfasste 105 Augen von 61 Patienten. Diese Patienten wurden im Zeitraum Juli 2007 bis Juli 2008 behandelt. Erst seit diesem Zeitraum konnte die Refraktionsbestimmung mit dem WASCA-Wavefront-Analyser erfolgen, da erst seit diesem Zeitpunkt das Aberrometer in der Augenklinik Nürnberg zur Verfügung stand. Die Altersverteilung lag im Durchschnitt bei 36 Jahren  $\pm$  10 Jahre, wobei der jüngste Patient 20 Jahre alt und der älteste Patient 57 Jahre alt war. 59% Frauen und 41% Männer entschieden sich für die Keratektomie. In 52% der Fälle war das rechte Auge betroffen und in 48% das linke Auge. Die präoperativen subjektiven Refraktionswerte waren im Mittel beim sphärischen Äquivalent  $-4,44 \text{ D} \pm 2,44 \text{ D}$ , bei der Sphäre  $-3,94 \text{ D} \pm 2,47 \text{ D}$  und beim Zylinder  $-0,99 \text{ D} \pm 0,84 \text{ D}$ .

Die Patientenaufteilung durch die Befragung ihres bevorzugten Zylinderwertes ergaben 32 Augen für die Gruppe, die sich für die subjektiven Zylinderwerte entschieden. 37 Augen waren in der Gruppe, die weder eine Verbesserung noch eine Verschlechterung des Zylinderwertes empfanden und 36 Augen in der Gruppe, die eine Verbesserung der Zylinderwerte beobachteten.

Die Gruppenaufteilung für die weitere Auswertung berücksichtigt nur die Patienten, die mit den Zylinder- und Achsenwerten des Aberrometers korrigiert worden sind. Diese Patientengruppe, die im Folgenden als „Aberrometergruppe“ bezeichnet wird, beinhaltet 73 Augen von 45 Patienten. Dies sind 70% der Augen, die die zusätzliche Refraktionsbestimmung mit dem WASCA-Analyser erhalten haben.

Die Patientengruppe, die die rein subjektiven Werte zur Laserkorrektur erhalten hat, umfasst 237 Augen von 140 Patienten und wurde konsekutiv ausgewählt. Diese Patienten wurden im Zeitraum Juni 2003 bis Juni 2007 behandelt. Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 37 Jahre  $\pm$  11 Jahre. Der jüngste Patient war 19 Jahre alt und der älteste Patient war 60 Jahre alt. Die Geschlechtsverteilung lag bei 64% Frauen und 36% Männern. Die mittleren subjektiven Refraktionswerte lagen

präoperativ beim sphärischen Äquivalent  $-4,91 \text{ D} \pm 2,42 \text{ D}$ , bei der Sphäre  $-4,37 \text{ D} \pm 2,42 \text{ D}$  und beim Zylinder  $-1,09 \text{ D} \pm 0,83 \text{ D}$ .

Ziel der Behandlung war es, Emmetropie zu erreichen. Die ASA (Advanced Surface Ablation) wurde mit dem 193-nm-Argon-Fluorid-Excimerleaser MEL 80 der Firma Carl Zeiss Meditec durchgeführt.

Die Ausschlusskriterien der retrospektiven Analyse waren Amblyopie und Patienten mit Keratokonus. Allgemeine Kontraindikationen für den operativen Eingriff waren Autoimmunerkrankungen wie rheumatische Arthritis, schwerer Diabetes mellitus, Schwangerschaft und Hormonschwankungen, wie sie auch in der Stillzeit vorkommen.

Das Einschlusskriterium war die volle bestkorrigierte Sehschärfe. Bei der „Vergleichsgruppe“ musste die subjektive Refraktion angenommen oder besser sein. Die Zielrefraktion musste null sein. Bei der „Aberrometergruppe“ musste die Sphäre der subjektiven Refraktion und der Zylinder, der mit der Aberrometrie gewonnen wurde, angenommen oder als besser empfunden worden sein und auch hier die Zielrefraktion null sein.

Tab.2 Altersverteilung und präoperative Ausgangsrefraktionen der „Aberrometergruppe“

<b>Patientenkollektiv „Aberrometergruppe“</b>		
	<b>Mittelwert</b>	<b>Range / Spannweite</b>
Anzahl der behandelten Augen	73	
Altersverteilung in Jahren	$36 \pm 10$	20 bis 57
sphärisches Äquivalent in [D]	$-4,42 \pm 2,4$	-1,0 bis -11,5
Sphäre in [D]	$-3,77 \pm 2,41$	-0,5 bis -10,5
Zylinder in [D]	$-0,95 \pm 0,85$	-0,25 bis -3,75

Die Tabelle 2 stellt die Altersverteilung und die präoperativen Ausgangsrefraktionen der Patientengruppe dar, die zusätzlich zur subjektiven Refraktionsbestimmung und objektiven Refraktionsbestimmung mit dem Autorefraktometer Humphrey die Wellenfrontmessung mit dem WASCA-Analyser erhielten. Bei diesen Patienten wurden die Zylinder- und Achsenwerte der Aberrometermessung zur Laserkorrektur genommen.

Tab.3 Altersverteilung und präoperative Ausgangsrefraktionen der „Vergleichsgruppe“

Patientenkollektiv „Vergleichsgruppe“		
	Mittelwert	Range / Spannweite
Anzahl der behandelten Augen	237	
Altersverteilung in Jahren	37 ± 11	19 bis 60
sphärisches Äquivalent in [D]	- 4,91 ± 2,42	- 1,0 bis - 11,425
Sphäre in [D]	- 4,37 ± 2,42	- 0,25 bis - 11,175
Zylinder in [D]	- 1,09 ± 0,83	- 0,25 bis - 5,25

Die Tabelle 3 stellt die Altersverteilung und die präoperativen Ausgangsrefraktionen der Patientengruppe dar, die die subjektive Refraktionsbestimmung nach den Werten der objektiven Refraktionsbestimmung mit dem Autorefraktometer Humphrey erhalten hatten. Diese Patienten wurden nach den Werten der subjektiven Refraktion gelasert.

In die vorliegende Studie wurden alle Patienten aufgenommen, die mindestens an zwei Nachuntersuchungsterminen teilgenommen haben. Diese fanden einen Monat, drei, sechs, neun und zwölf Monate postoperativ statt, wobei der Nachuntersuchungstermin mit neun Monaten die geringste Anzahl von nachuntersuchten Augen aufweist.

Tab.4 Anzahl der nachuntersuchten Augen des Patientenkollektivs zu jedem Zeitpunkt

Patientenkollektiv				
	„Aberrometergruppe“		„Vergleichsgruppe“	
Anzahl der Augen	absolut	prozentual	absolut	prozentual
präoperativ	73	100	237	100
1 Monat	73	100	228	96
3 Monate	66	90	197	83
6 Monate	62	85	141	59
9 Monate	39	53	85	36
12 Monate	64	88	182	77

### **2.3 Statistische Methodik**

Die quantitativen Größen wurden anhand von Mittelwert und Standardabweichung, Minimum und Maximum sowie den Quartilen beschreibend dargestellt und mittels Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Die Visuswerte wurden vor der Analyse logarithmiert und im Anschluss wieder delogarithmiert.

Aufgrund signifikanter Abweichungen von einer Normalverteilung erfolgte der Vergleich der beiden Behandlungsgruppen als unabhängige Stichproben mit dem U-Test. Um Zusammenhänge zwischen quantitativen Parametern wie Zylinder-Messungen zu untersuchen, wurde eine Rang-Korrelationsanalyse nach Spearman durchgeführt.

Zu ordinal und nominal skalierten Größen wurden absolute und prozentuale Häufigkeiten angegeben. Je zwei Größen dieser Skalierung wurden in Kontingenztafeln gegenübergestellt, so dass mit dem Chi-Quadrat-Test bzw. bei ordinalem Skalenniveau mit dem Chi-Quadrat-Test auf linearen Trend geprüft werden konnte, ob eine Abhängigkeit bzw. ein Gruppenunterschied bestand.

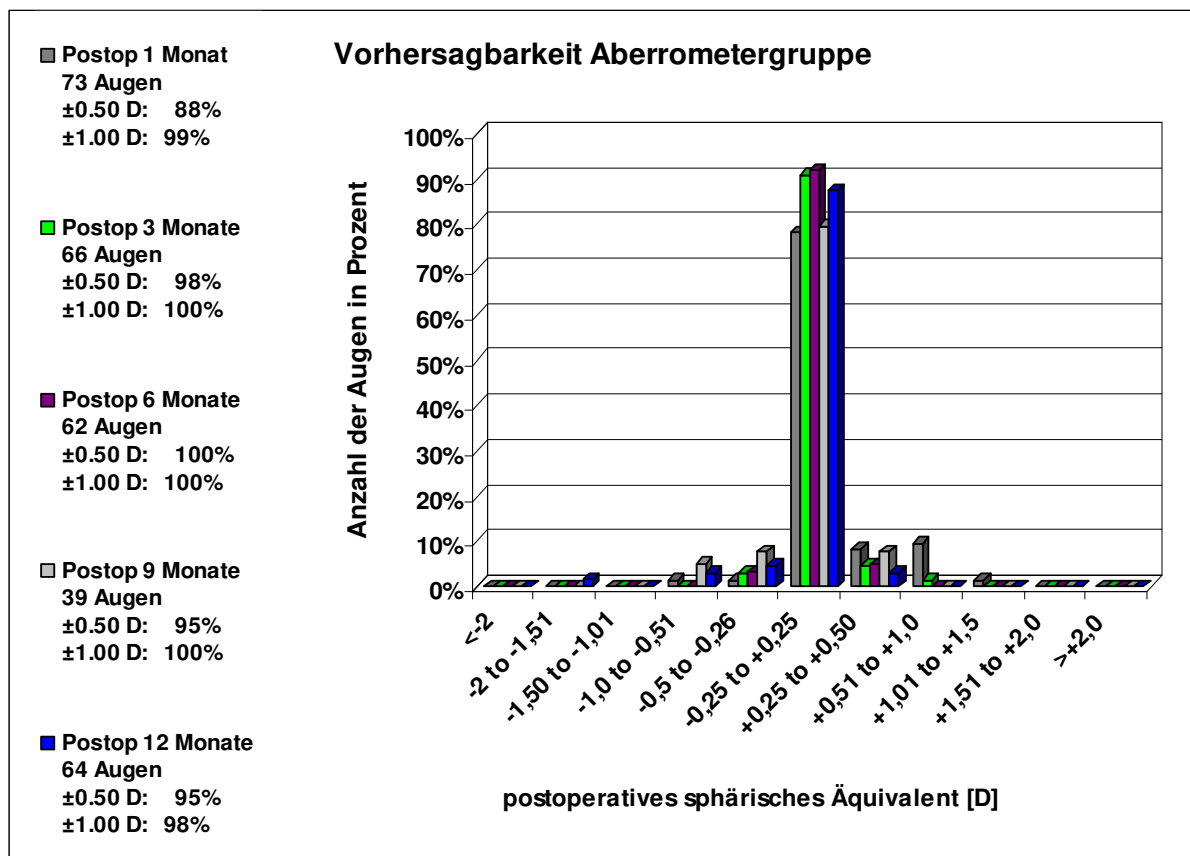
Es wurde zweiseitig getestet und ein Signifikanzniveau von 5% zugrunde gelegt. Eine Alpha-Adjustierung für multiples Testen fand nicht statt, die Ergebnisse haben demnach explorativen und beschreibenden Charakter.

Für die Durchführung der statistischen Berechnungen wurde IBM SPSS Statistics 22 (SPSS Inc. an IBM Company, Chicago, IL) eingesetzt.

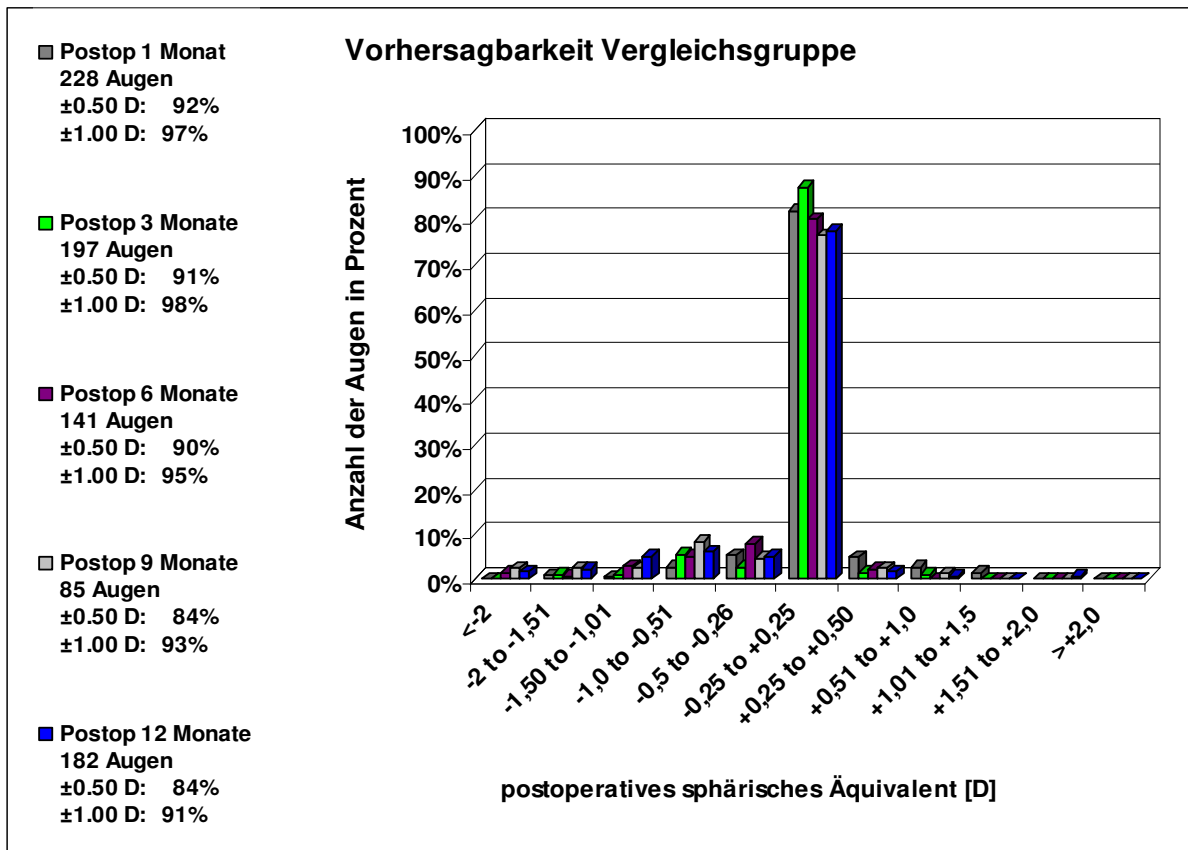
### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Vorhersagbarkeit (Predictability)

Zur Beurteilung der Vorhersagbarkeit wird das sphärische Äquivalent betrachtet. Die Vorhersagbarkeit ist der Prozentsatz der Augen, die postoperativ innerhalb eines definierten Zielbereichs ( $\pm 0,5$  Dioptrien) um die Emmetropie liegt. Zur graphischen Darstellung wird auf der x-Achse das sphärische Äquivalent in Dioptrien und auf der y-Achse der Anteil der Augen in Prozent aufgeführt. Das sphärische Äquivalent wird in verschiedene Bereiche zusammengefasst, wobei die Bereiche „-0,5 to -0,26“, „-0,25 to +0,25“ und „+0,26 to +0,5“ im Zielbereich ( $\pm 0,5D$ ) liegen. Der Bereich mit der Skalierung „-0,25 to +0,25“ entspricht dabei dem heute häufig in der Literatur formulierten engeren Zielbereich. In der Diagrammbeschreibung werden die Sicherheitsbereiche  $\pm 0,5D$  und  $\pm 1,0D$  aufgeführt und der Anteil der behandelten Augen, die den jeweiligen Bereich erreicht haben, in Prozent angegeben.



**Abb.5 Vorhersagbarkeit „Aberrometergruppe“:** In der Diagrammbeschreibung ist die Anzahl der Augen angegeben, die den Sicherheitsbereichs ( $\pm 0,5 D$ ) und den Sicherheitsbereich ( $\pm 1,0 D$ ) erreicht haben. Der Sicherheitsbereich mit  $\pm 1,0 D$  wird bei den Nachuntersuchungsterminen von drei, sechs und neun Monaten von 100% der Augen erreicht.

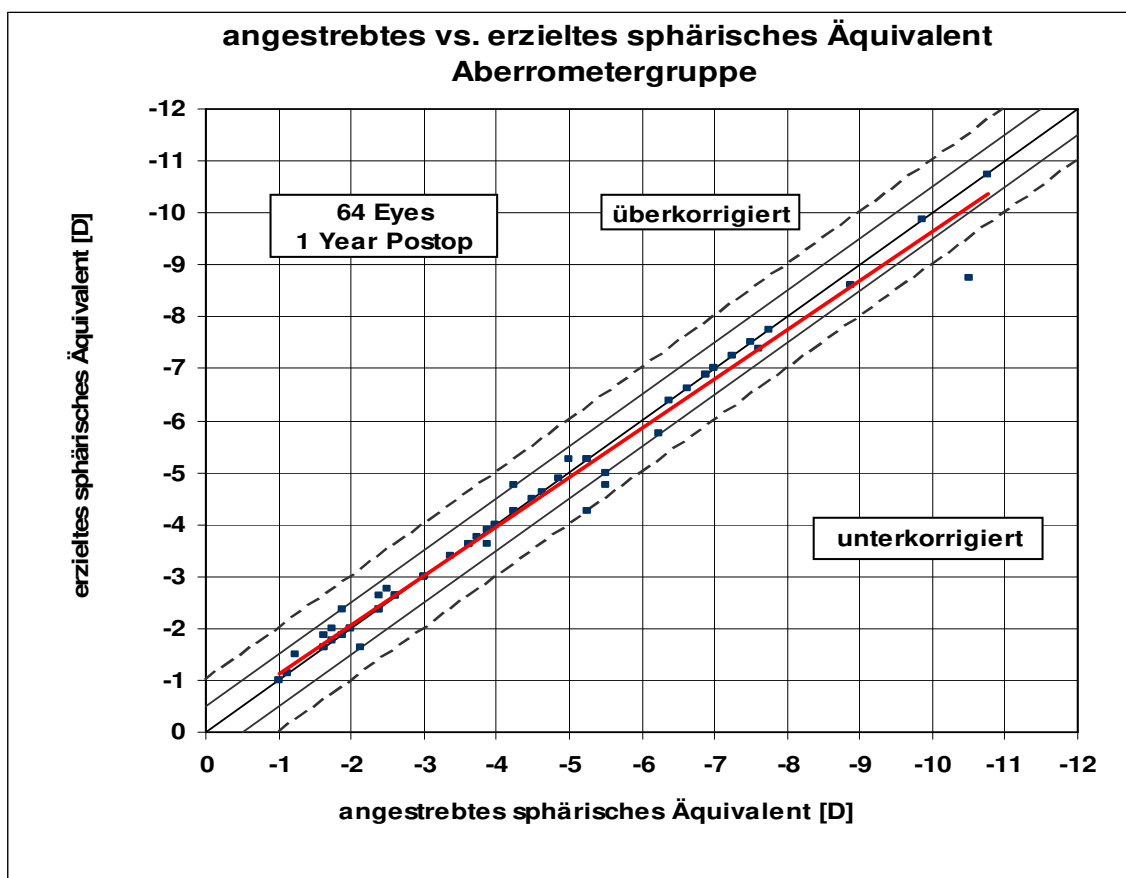


**Abb.6 Vorhersagbarkeit „Vergleichsgruppe“:** Der Sicherheitsbereich ( $\pm 0,5D$ ) wird in der „Vergleichsgruppe“ nach neun und zwölf Monaten von 84% erreicht. In der Diagrammbeschreibung wird die Anzahl der Augen angegeben, die im Sicherheitsbereich liegen.

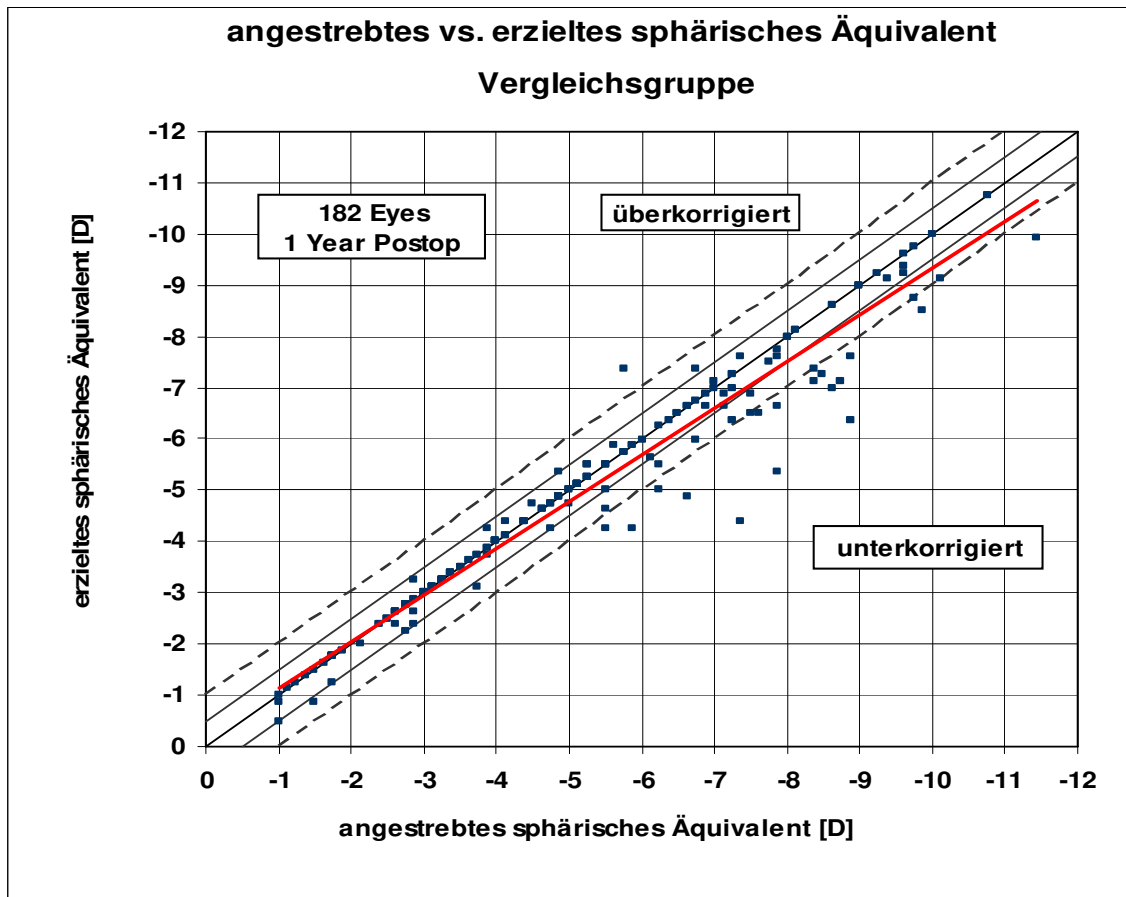
Bei der ersten Betrachtung der Abbildungen fällt auf, dass bei beiden Gruppen der größte Prozentanteil im Zielbereich ( $\pm 0,5D$ ) liegt. Bei differenzierter Betrachtung erkennt man, dass zu fast allen Zeitpunkten die „Aberrometergruppe“ besser abschneidet. Nur beim Kontrolltermin nach einem Monat schneidet die „Vergleichsgruppe“ mit 92% besser ab als die „Aberrometergruppe“ mit 88%. Bei der Kontrolluntersuchung nach drei Monaten haben 98% der „Aberrometergruppe“ den Zielbereich  $\pm 0,5D$  erreicht und 92% der „Vergleichsgruppe“. Nach sechs Monaten haben 99% der „Aberrometergruppe“ und 90% der „Vergleichsgruppe“ das Ziel  $\pm 0,5D$  getroffen. 95% der „Aberrometergruppe“ und 84% der „Vergleichsgruppe“ konnten nach neun Monaten den Zielbereich  $\pm 0,5D$  angeben. Und bei der Nachuntersuchung nach einem Jahr waren es in der „Aberrometergruppe“ 94% und in der „Vergleichsgruppe“ 84%.

Auch bei dem enger gefassten Zielbereich von  $\pm 0,25D$  schneidet die „Aberrometergruppe“ außer bei dem Kontrolltermin nach einem Monat besser ab. Dieser Zielbereich wurde statistisch ausgewertet, weil es sich um den kritischsten Zielbereich handelt. Nach einem Monat haben 78% der Augen der

„Aberrometergruppe“ und 82% der Augen der „Vergleichsgruppe“ den Zielbereich  $\pm 0,25D$  erreicht. Ab dem 3. Monat hat die „Aberrometergruppe“ mit 91% den besseren Wert und die „Vergleichsgruppe“ mit 87% den schlechteren Wert. Beim Nachuntersuchungstermin nach sechs Monaten haben 92% der Augen der „Aberrometergruppe“ und 80% der Augen der „Vergleichsgruppe“ den Zielbereich erreicht. Nach neun Monaten sind es 79% in der „Aberrometergruppe“ und 76% in der „Vergleichsgruppe“. Und auch nach zwölf Monaten schneidet die „Aberrometergruppe“ mit einem Anteil von 88% besser ab als die „Vergleichsgruppe“ mit einem Anteil von 77%.



**Abb.7** Vorhersagbarkeit „Aberrometergruppe“ nach einem Jahr: Nur wenige Augen fallen aus den Mittelwerten heraus.



**Abb.8 Vorhersagbarkeit „Vergleichsgruppe“ nach einem Jahr:** Die Mittelwerte weichen etwas stärker ab, was gut an der roten Linie zu erkennen ist.

Die beiden oberen Abbildungen stellen das angestrebte und das erzielte sphärische Äquivalent der „Aberrometer-“ und der „Vergleichsgruppe“ beim Kontrolltermin nach einem Jahr dar. Jeder Punkt symbolisiert ein Auge. Diese Art der Darstellung wird üblicherweise verwendet. Die rote Linie markiert die Mittelwerte aller Daten nach einem Jahr. Das Optimum wäre, dass alle Werte auf der Null-Linie zum Liegen kommen. Die schwarz durchgezogene Linie stellt den Sicherheitsbereich  $\pm 0,5D$  dar. Dieser ist in der Diagrammbezeichnung von den Abbildungen 5 und 6 als Wert abzulesen und im Text auf Seite 20 nachzulesen. Die schwarz gestrichelte Linie bildet den Sicherheitsbereich mit  $\pm 1,0D$  ab, der auch in der Diagrammbeschreibung den Abbildungen 5 und 6 zu entnehmen ist.

Bei der „Aberrometergruppe“ zum Nachuntersuchungstermin nach einem Jahr (siehe Abb.7) weichen die Mittelwerte des angestrebten und erzielten sphärischen Äquivalents nur geringfügig zur Unterkorrektur ab. Es sind nur wenige Fälle, die aus den angestrebten Bereichen herausfallen. Ein Auge weicht vom Sicherheitsbereich  $\pm 1,0D$  ab.

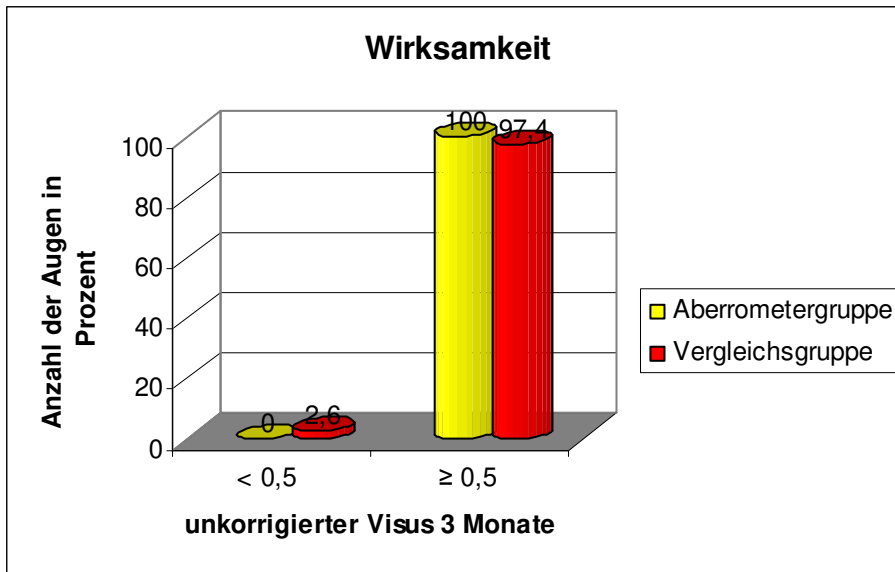
Bei der „Vergleichsgruppe“ zum Nachuntersuchungstermin nach einem Jahr (siehe Abb.8) sind die Mittelwerte des angestrebten und erzielten sphärischen Äquivalents etwas stärker von der Mittellinie abgewichen. Vermehrt erreichen Augen nicht den angestrebten Bereich. Auch wenn in der „Vergleichsgruppe“ eine wesentlich höhere Zahl an Untersuchungsergebnissen vorliegt, ist die Anzahl der Abweichler dennoch erhöht. Hier fallen 9% der Augen aus dem Sicherheitsbereich  $\pm 1,0D$  heraus (siehe Abb.6, Legende).

Die Statistik wurde nur für den enger gefassten Zielbereich der Vorhersagbarkeit von  $\pm 0,25D$  gemacht. Folgende Ergebnisse konnten ermittelt werden. Bei der Gegenüberstellung des sphärischen Äquivalents der „Aberrometergruppe“ und der „Vergleichsgruppe“ konnte keine signifikante Abhängigkeit nach einem Monat festgestellt werden (Chi-Quadrat-Test,  $p=0,841$ ). Es wurde eine signifikante Abhängigkeit bei der Gegenüberstellung nach drei, sechs, neun und zwölf Monaten (Chi-Quadrat-Test,  $p < 0,05$ ) nachgewiesen.

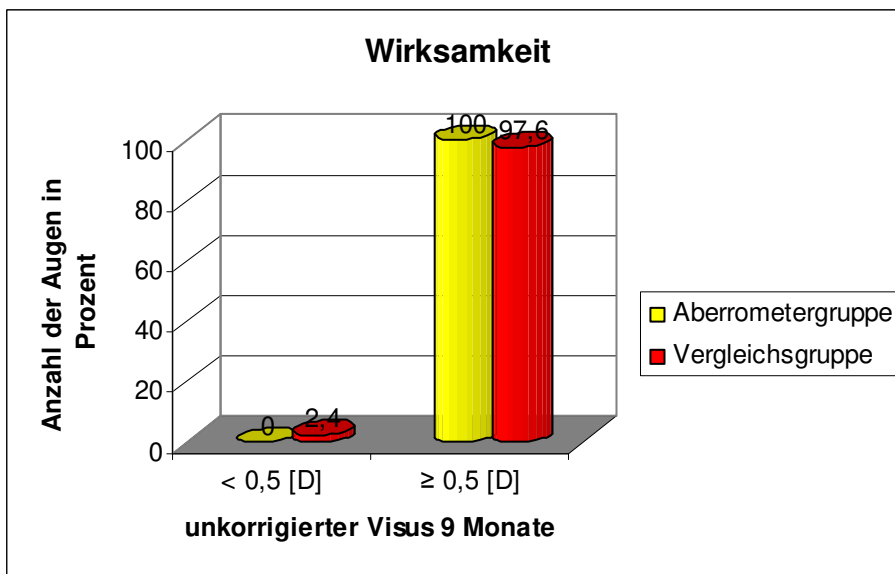
### **3.2 Wirksamkeit (Efficacy)**

Die Wirksamkeit eines refraktiven chirurgischen Eingriffs wird durch die Bestimmung der unkorrigierten postoperativen Sehschärfe erfasst. Dies ist ein äußerst wichtiger Erfolgsparameter für den Patienten.

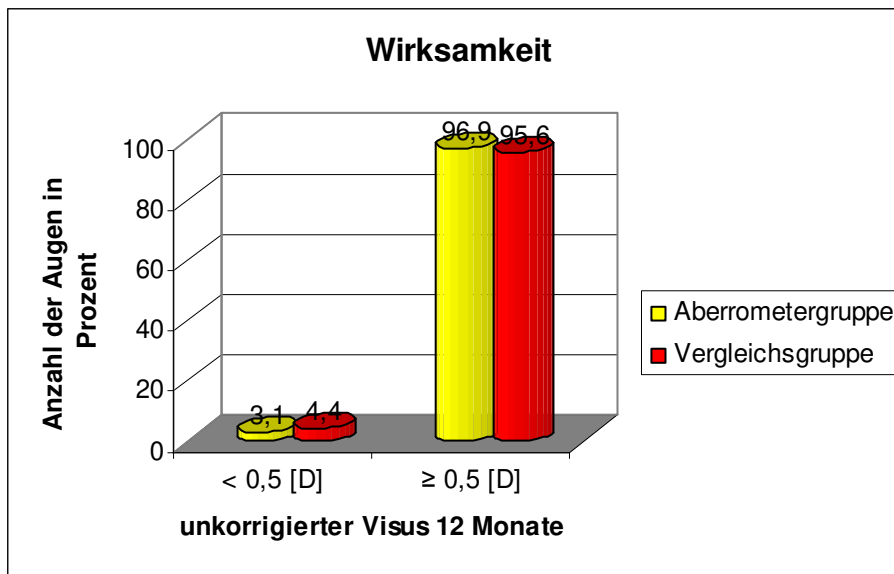
Die Wirksamkeit ist der Prozentsatz der Augen, der eine unkorrigierte Sehschärfe (UDVA) von 0,5 oder besser erreicht.



**Abb.9 Wirksamkeit nach drei Monaten:** In der „Aberrometergruppe“ ist die Efficacy nach drei Monaten 100%, d. h. alle Augen haben eine unkorrigierte Sehschärfe von 0,5 oder besser.



**Abb.10 Wirksamkeit nach neun Monaten:** Nach neun Monaten haben ebenfalls in der „Aberrometergruppe“ 100% der Augen eine unkorrigierte Sehschärfe von 0,5 oder besser.



**Abb.11 Wirksamkeit nach zwölf Monaten:** Nach zwölf Monaten wird eine Efficacy in der „Aberrometergruppe“ von 96,9% erreicht und in der „Vergleichsgruppe“ von 95,6%.

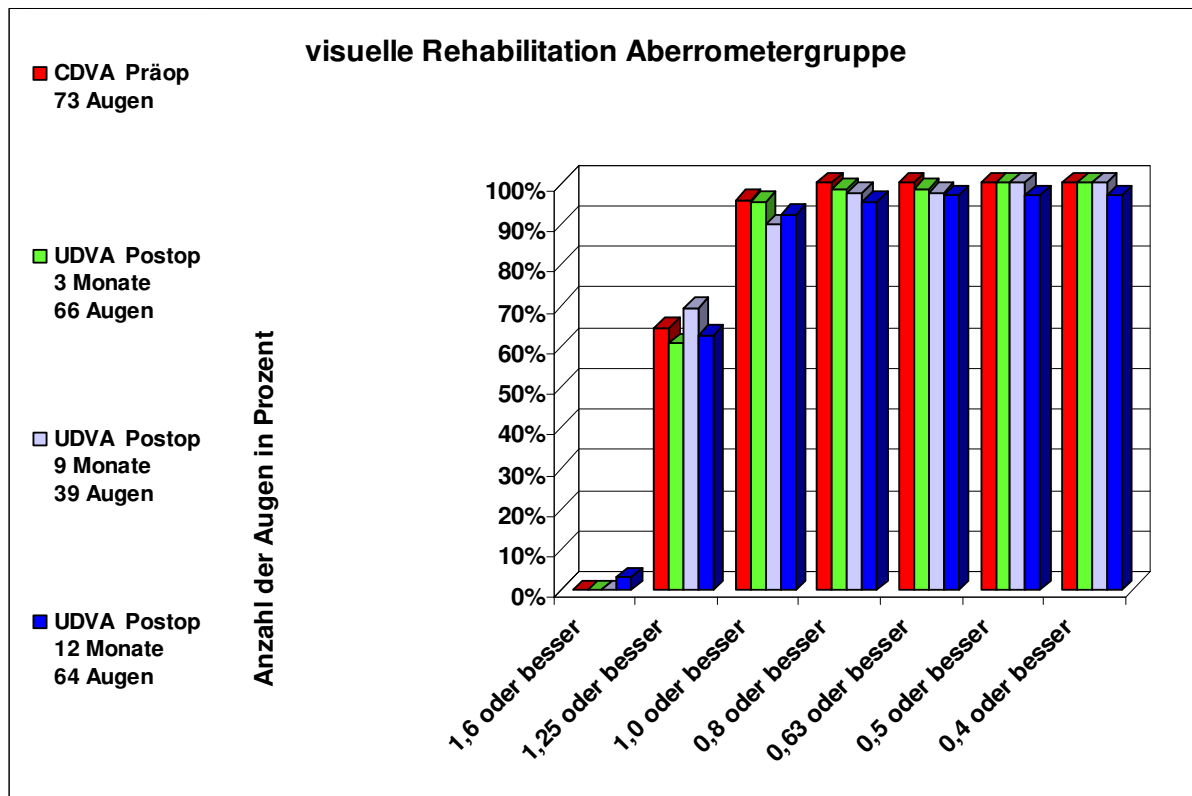
Nach einem Monat haben beide Gruppen eine Efficacy von 100%. Beim Kontrolltermin nach drei Monaten ist die Efficacy in der „Aberrometergruppe“ 100%, in der „Vergleichsgruppe“ nur 97,4%. In dem Zeitraum nach sechs Monaten wurde in der „Aberrometergruppe“ die Efficacy wieder mit 98,4% erreicht, die „Vergleichsgruppe“ hat die Efficacy von 98,6%. Nach neun Monaten ist die Efficacy in der „Aberrometergruppe“ ebenfalls bei 100% und in der „Vergleichsgruppe“ bei 97,6%. Beim Nachuntersuchungstermin nach einem Jahr ist die Efficacy bei der „Aberrometergruppe“ bei 96,9% und in der „Vergleichsgruppe“ bei 95,6%.

Zur statistischen Analyse müssen die Werte der unkorrigierten Sehschärfe logarithmiert werden. Trotz des Logarithmierens zeigen sich zu allen Zeitpunkten und in beiden Gruppen signifikante Abweichungen von einer Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test,  $p < 0,001$ ). Die weitere statistische Analyse erfolgt demnach mit nicht-parametrischen Methoden. Mit dem Mann-Whitney-Test zeigt sich in der Statistik kein signifikanter Gruppenunterschied.

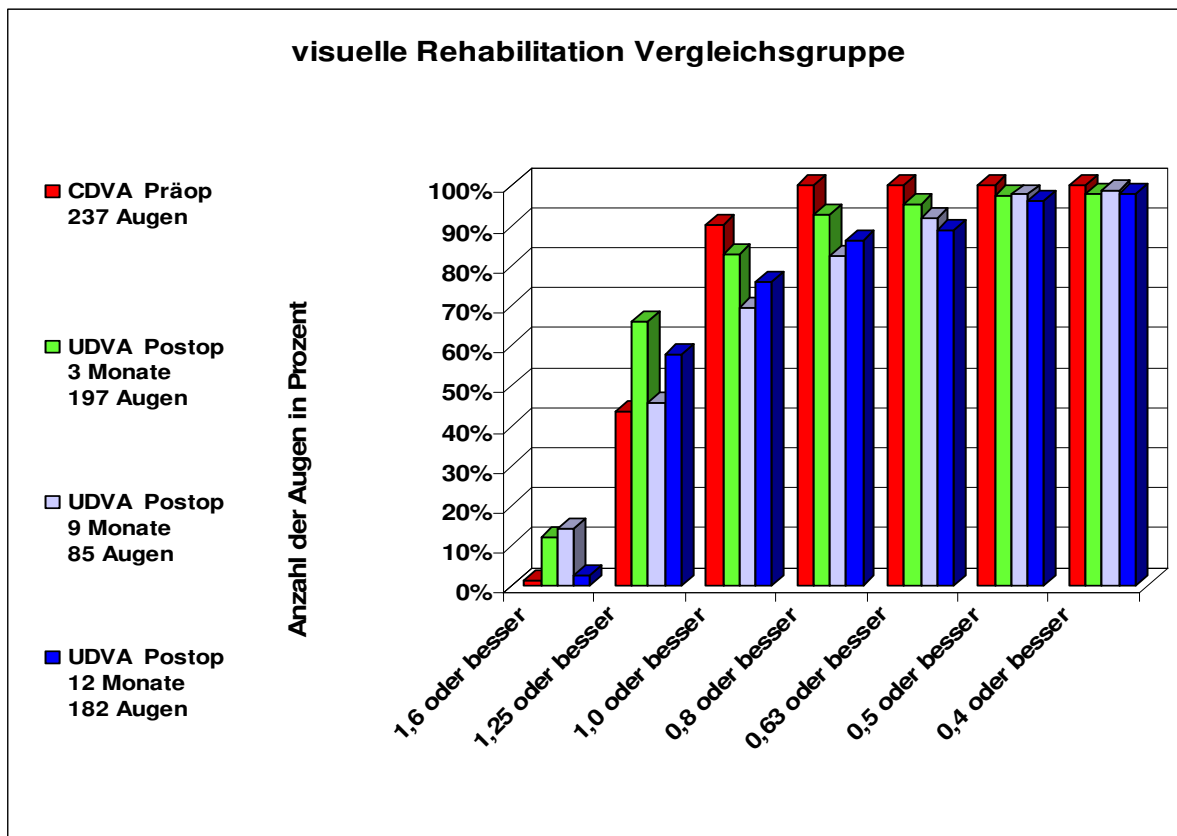
### 3.3 Visuelle Rehabilitation

In den folgenden Diagrammen werden die bestkorrigierte Sehschärfe präoperativ (CDVA, in rot) und die unkorrigierte Sehschärfe postoperativ (UDVA) zu den Nachuntersuchungsterminen nach drei, neun und zwölf Monaten dargestellt. Es wird

die visuelle Rehabilitation durch die Erholungsgeschwindigkeit der unkorrigierten Sehschärfen im zeitlichen Verlauf abgebildet. Auf der x-Achse sind die zu erreichenden Sehschärfen und auf der y-Achse der Anteil der Augen in Prozent angegeben. Man kann nun ablesen, wie hoch der Anteil der Augen ist, die die jeweilige Sehschärfe erreicht haben. Zur besseren Übersicht wurden die Angaben von einem Monat und sechs Monaten weggelassen.



**Abb.12 visuelle Rehabilitation „Aberrometergruppe“:** Die unkorrigierte Sehschärfe von 1,0 oder besser wurde in dieser Gruppe von mindestens 90% der Augen zu allen Nachuntersuchungsterminen erreicht.



**Abb.13 visuelle Rehabilitation „Vergleichsgruppe“:** Zu dem Nachuntersuchungstermin nach drei Monaten haben 83% der Augen die unkorrigierte Sehschärfe von 1,0 oder besser erreicht.

Bei der Darstellung der visuellen Rehabilitation ist zu erkennen, dass die Gruppe, bei der der durch das Aberrometer ermittelte Zylinderwert als Lasereinstellung genommen wurde („Aberrometergruppe“), eine schnellere Erholung der Sehschärfe erreicht als die Gruppe, bei der die subjektiven Refraktionswerte zur Laserkorrektur herangezogen wurden („Vergleichsgruppe“). Gerade bei den Werten 1,0 oder besser und 0,8 oder besser ist ein deutlicher Unterschied zu sehen.

Zu dem Kontrolltermin nach einem Monat hatten die Augen der „Aberrometergruppe“ den Visus 0,8 oder besser zu 99% erreicht und die der „Vergleichsgruppe“ zu 94%. Beim Kontrolltermin nach drei Monaten lagen die Werte bei 98% in der „Aberrometergruppe“ und bei 93% in der „Vergleichsgruppe“. Nach sechs Monaten hatten wieder 98% der Augen der „Aberrometergruppe“ den Visus 0,8 oder besser und in der „Vergleichsgruppe“ 91%. Zum Zeitpunkt nach neun Monaten waren es in der „Aberrometergruppe“ 97% und in der „Vergleichsgruppe“ 81%. Und nach einem Jahr hatten 95% der Augen der „Aberrometergruppe“ und 86% der „Vergleichsgruppe“ den Visus 0,8 oder besser.

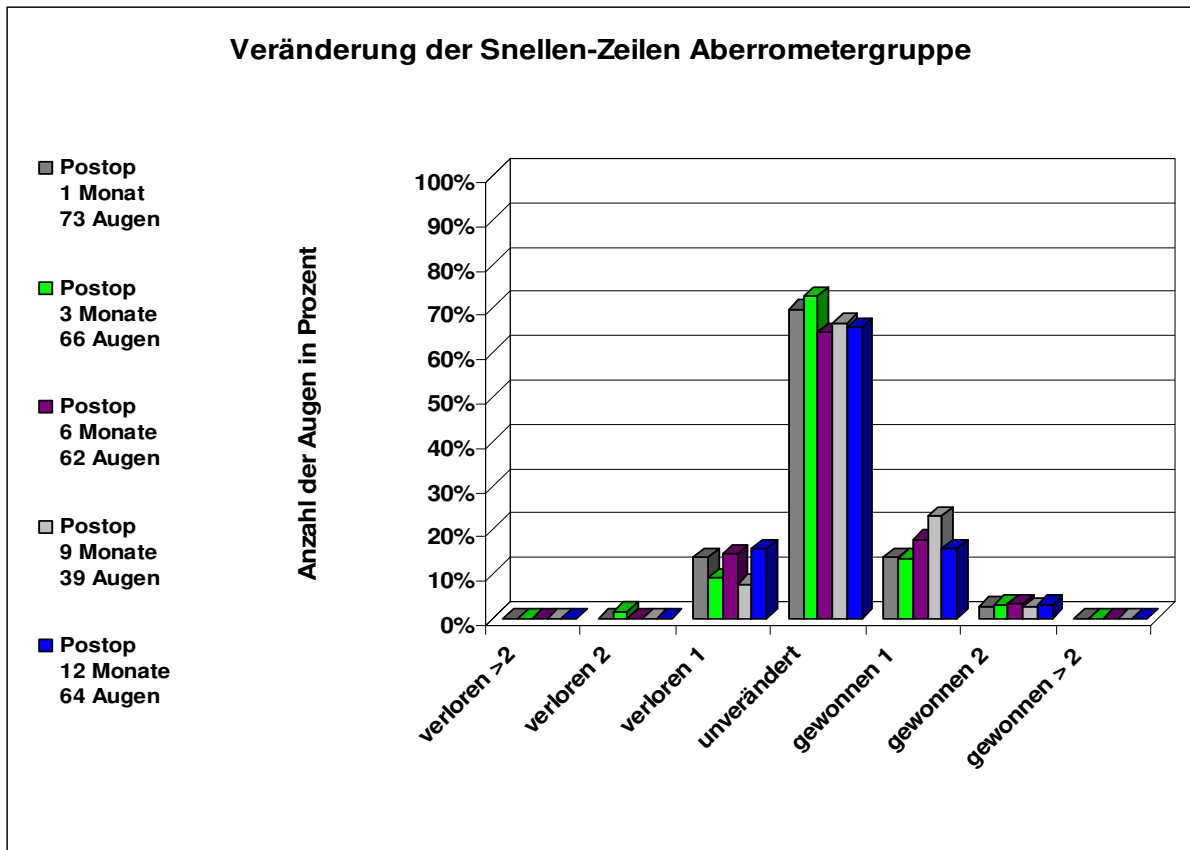
Den Visus 1,0 oder besser erreichten zum Nachuntersuchungstermin nach einem Monat 89% der Augen der „Aberrometergruppe“ und 80% der Augen der „Vergleichsgruppe“. Beim Kontrolltermin nach drei Monaten lagen 95% in der „Aberrometergruppe“ und 83% in der „Vergleichsgruppe“ beim Visus 1,0 oder besser. Nach sechs Monaten haben 97% der behandelten Augen der „Aberrometergruppe“ und 77% der Augen der „Vergleichsgruppe“ den Visus 1,0 oder besser erreicht. Zum Nachuntersuchungszeitpunkt nach neun Monaten waren es in der „Aberrometergruppe“ 90% der Augen und in der „Vergleichsgruppe“ 67% der Augen. Beim Nachuntersuchungstermin nach einem Jahr waren es 92% in der „Aberrometergruppe“ und 76% in der „Vergleichsgruppe“, die den Visus 1,0 oder besser erreicht hatten.

Der Visus 1,25 oder besser wurde immerhin noch von 60% - 69% der Augen zu allen Zeitpunkten bei der „Aberrometergruppe“ und 45% - 66% zu allen Zeitpunkten bei der „Vergleichsgruppe“ erreicht.

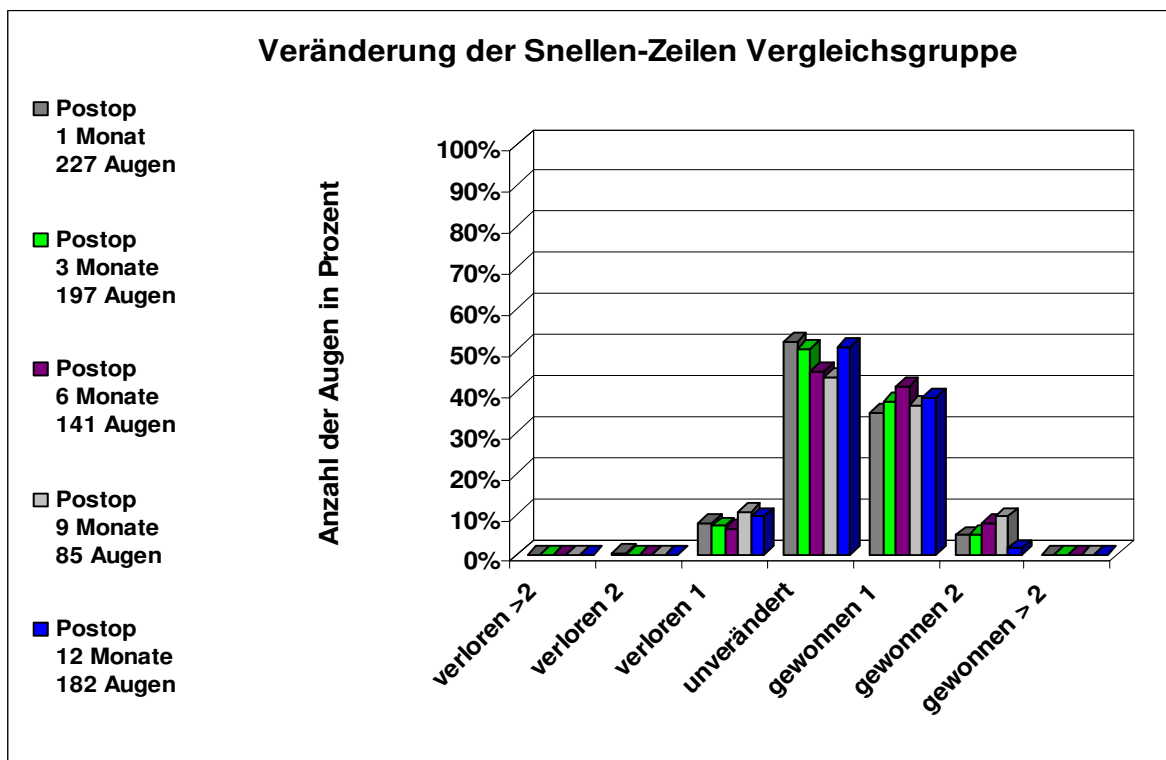
Auch hier mussten die Werte des UDVA logarithmiert werden, da sie keinen linearen Verlauf zeigen. Trotzdem sind zu allen Zeitpunkten und in beiden Gruppen signifikante Abweichungen von einer Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test,  $p < 0,001$ ) vorhanden. Es erfolgt eine weitere statistische Analyse mit nicht parametrischen Methoden. Statistisch ist mit dem Mann-Whitney-Test kein signifikanter Gruppenunterschied zu ermitteln.

### **3.4 Sicherheit (Safety)**

In den folgenden Abbildungen wird die Sicherheit der „Aberrometergruppe“ und der „Vergleichsgruppe“ dargestellt. Die präoperative bestkorrigierte Sehschärfe wird mit der postoperativen bestkorrigierten Sehschärfe verglichen. Wenn es zu einer Differenz dieser Werte kommt, spricht man von einem Zeilengewinn oder Zeilenverlust (angegeben als Snellen-Zeilen). Oder die bestkorrigierten Sehschärfen prä- und postoperativ sind gleich, dann sind die Snellen-Zeilen unverändert. Die nachfolgenden Graphiken stellen die postoperativen Sehschärfengewinne oder Sehschärfenverluste der „Aberrometergruppe“ (Abb.14) und der „Vergleichsgruppe“ (Abb.15) dar. Auf der x-Achse werden die Zeilengewinne bzw. -verluste aufgetragen und auf der y-Achse der Anteil der Patientenaugen in Prozent.



**Abb.14 Sicherheit „Aberrometergruppe“:** Bei der Betrachtung der bestkorrigierten Sehschärfe ist in der „Aberrometergruppe“ der größte Anteil der Augen unverändert geblieben.



**Abb.15 Sicherheit „Vergleichsgruppe“:** Bei der „Vergleichsgruppe“ haben 30% - 40% der Augen einen Zeilengewinn von einer Zeile zu allen Nachuntersuchungsterminen.

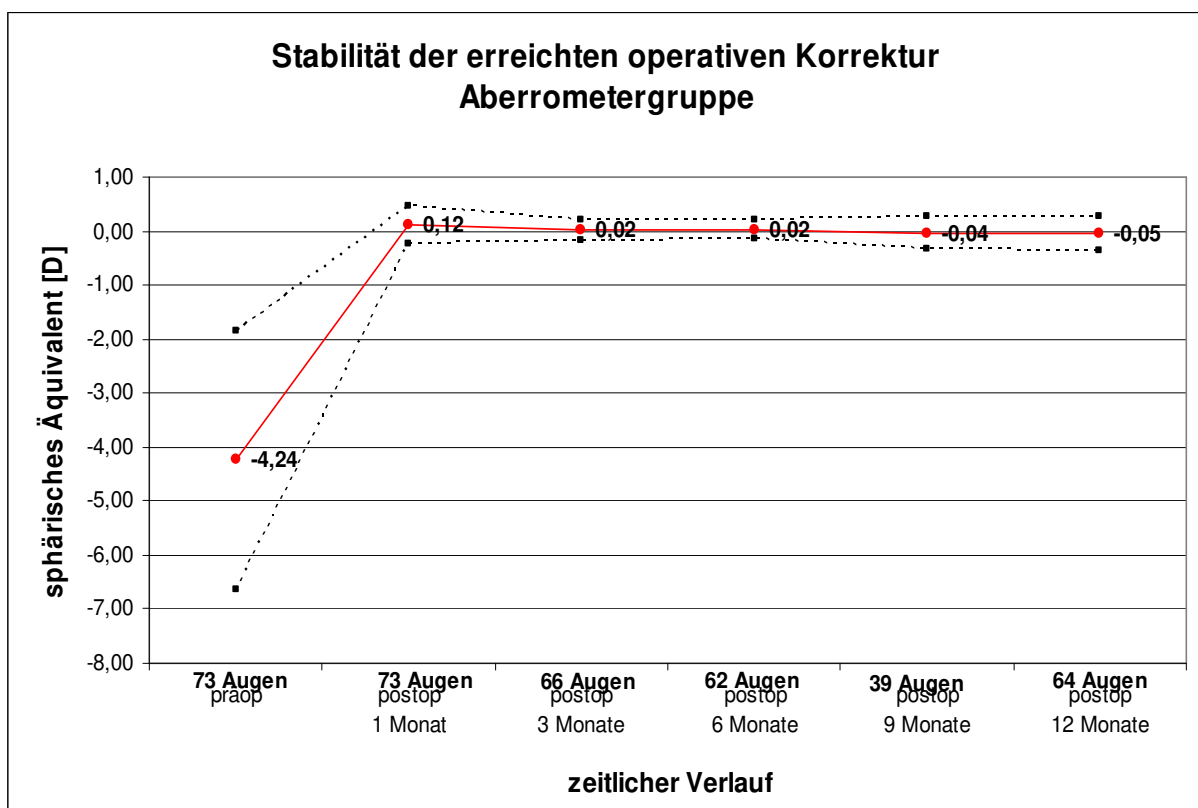
Bei der Auswertung der Messwerte erkennt man, dass beide Gruppen nach einem Jahr im Sicherheitsbereich liegen. Die „Aberrometergruppe“ hat bei allen Kontrollen einen größeren Anteil an Augen (zwischen 65% und 73%), der keine Veränderung aufweist als in der „Vergleichsgruppe“ (zwischen 44% und 52%). Bei beiden Gruppen ist bei den Kontrolluntersuchungen nach sechs, neun und zwölf Monaten kein Verlust von mehr als einer Zeile feststellbar. Zum Verlust einer Zeile kommt es in der „Aberrometergruppe“ nach einem Monat von 14%, nach drei Monaten von 9%, nach sechs Monaten von 15%, nach neun Monaten von 8% und nach zwölf Monaten von 16%. Bei der „Vergleichsgruppe“ ist der Verlust einer Zeile nach einem Monat bei 8%, nach drei Monaten bei 6 %, nach sechs Monaten bei 7%, nach neun Monaten bei 11% und nach zwölf Monaten bei 9%. Einen Zeilengewinn von einer Zeile hat die „Aberrometergruppe“ nach einem Monat und drei Monaten mit 14%, nach sechs Monaten mit 18%, nach neun Monaten mit 23% und nach einem Jahr mit 16%. Die „Vergleichsgruppe“ hat beim Zeilengewinn von einer Zeile bessere Ergebnisse. Nach einem Monat gewinnt diese Gruppe 35%, nach drei und zwölf Monaten 38%, nach sechs Monaten 41% und nach neun Monaten 36%. Ein Zeilengewinn von zwei Zeilen ist in der „Aberrometergruppe“ zu jedem Untersuchungszeitpunkt mit 3% angegeben. In der „Vergleichsgruppe“ haben nach einem Monat und drei Monaten 5% aller Augen einen Zeilengewinn von zwei Zeilen, nach sechs Monaten 8%, nach neun Monaten 9% und nach einem Jahr 2%.

Der Safety-Index ist der Quotient des postoperativen bestkorrigierten Visus zum präoperativen bestkorrigierten Visus. Der Index sollte im Mittel mindestens 1 betragen. Bei der „Aberrometergruppe“ beträgt der Safety-Index zum Nachuntersuchungszeitpunkt nach einem Monat 1,01, nach drei, sechs und zwölf Monaten 1,02 und zum Kontrolltermin nach neun Monaten 1,05. Bei der „Vergleichsgruppe“ haben wir einen Safety-Index von 1,09 nach einem Monat, 1,11 nach drei Monaten, 1,12 nach neun Monaten, 1,14 nach sechs Monaten und 1,08 nach zwölf Monaten.

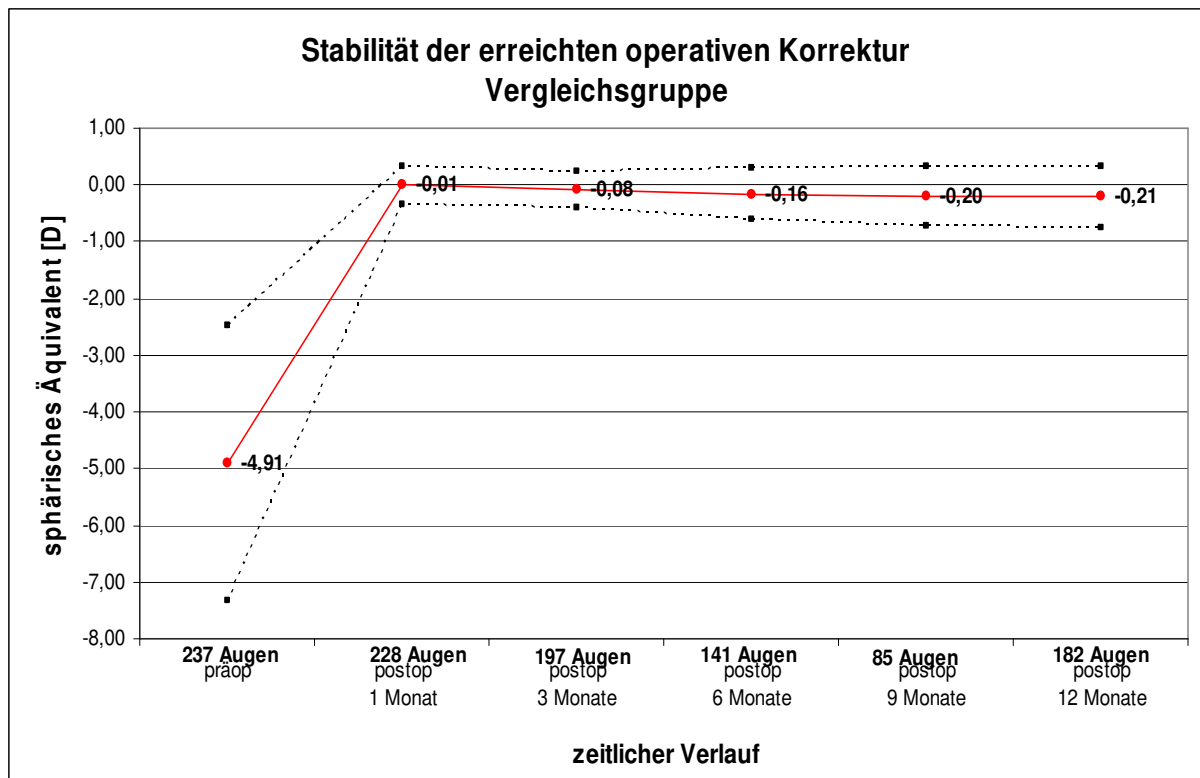
Die Statistik wird für die Nachuntersuchungstermine nach drei und zwölf Monaten erstellt, wobei nur Fälle ausgewertet werden, die unverändert geblieben sind. Es wird ein signifikanter Gruppenunterschied (Chi-Quadrat-Test auf linearen Trend,  $p < 0,05$ ) zu beiden Nachuntersuchungszeiten festgestellt.

### 3.5 Stabilität (Stability)

Die Stabilität der refraktiven Ergebnisse beschreibt den zeitlichen Verlauf des sphärischen Äquivalents postoperativ. Die Stabilität der „Aberrometergruppe“ und der „Vergleichsgruppe“ ist in den folgenden Verlaufsdiagrammen (Abb. 16 und 17) dargestellt. Die rote Linie zeigt die Mittelwerte. Die schwarz gestrichelten Linien stellen die Streubreiten nach oben und nach unten dar.



**Abb.16 Stabilität „Aberrometergruppe“:** Die Regression in der „Aberrometergruppe“ beträgt zwischen einem Monat und zwölf Monaten  $-0,17D$ .



**Abb.17 Stabilität „Vergleichsgruppe“:** Die Regression in der „Vergleichsgruppe“ beträgt zwischen einem Monat und zwölf Monaten  $-0,20\text{D}$ .

### Vergleich des sphärischen Äquivalents im zeitlichen Verlauf

Um die Stabilität bestimmen zu können, werden die Werte der Nachuntersuchung nach einem Monat postoperativ mit den Werten der Nachuntersuchung nach einem Jahr postoperativ verglichen und somit die Regression berechnet (die Differenz des sphärischen Äquivalents beider Werte).

Die Abbildung 16 der Gruppe, die mit den Zylinderwerten des Aberrometers korrigiert worden ist („Aberrometergruppe“), stellt die gesamte Streubreite der Daten dar. Die rote Linie bildet den Mittelwert, der in der „Aberrometergruppe“ nur sehr gering von der Nulllinie des sphärischen Äquivalents abweicht. Die Streubreite, die durch die schwarz gestrichelten Linien dargestellt wird, ist gering. Es ist zu erkennen, dass sich nach einem Monat eine Überkorrektur von  $0,12\text{D}$  im Mittelwert ablesen lässt und es im Verlauf des Jahres zu einer leichten Unterkorrektur von  $-0,05\text{D}$  im Mittelwert kommt. Die Regression beträgt  $-0,17\text{D}$ . Nach drei Monaten ist noch eine leichte Überkorrektur von  $0,02\text{D}$  im Mittelwert vorhanden. Die Regression zu einem Jahr beträgt  $-0,07\text{D}$ .

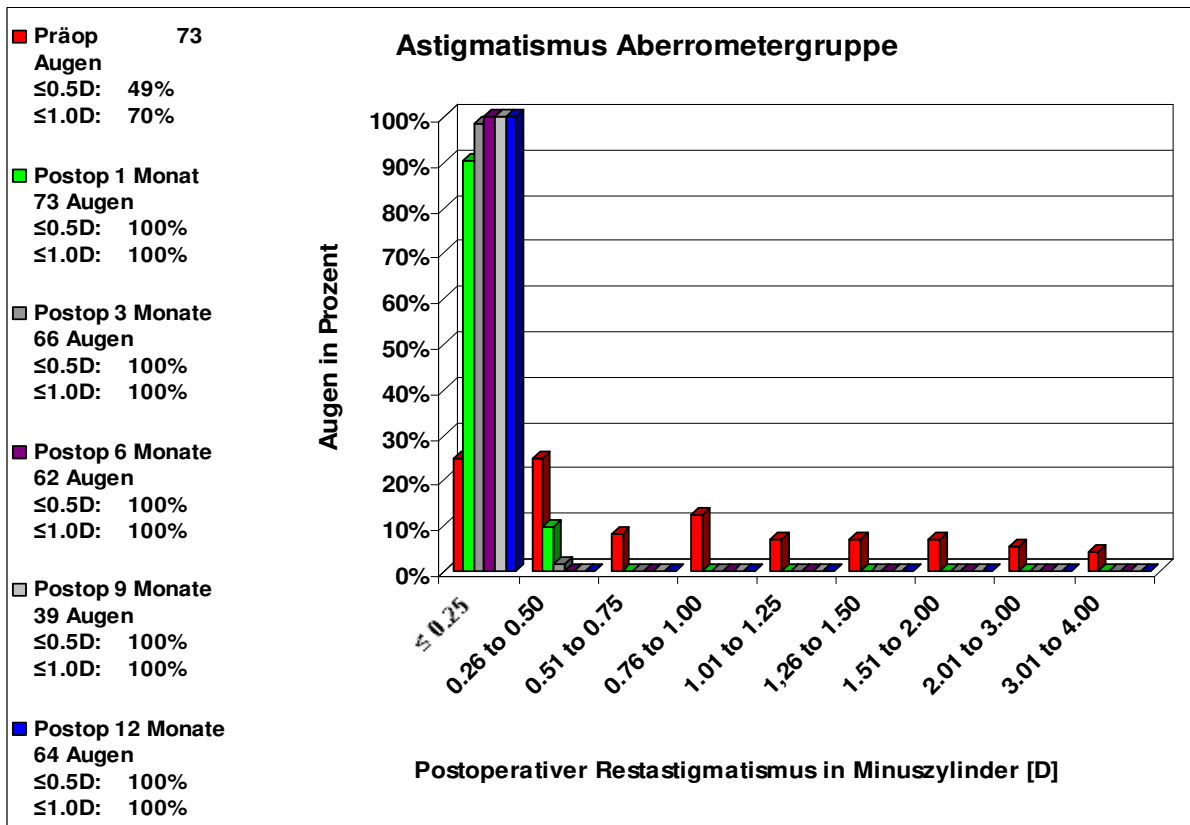
Bei Betrachtung der Abbildung 17 der Gruppe, die mit den Werten der subjektiven Refraktionsmessung gelasert worden ist („Vergleichsgruppe“), ist zu erkennen, dass bei der Kontrolluntersuchung nach einem Monat eine geringere Unterkorrektur von -0,01D im Mittelwert vorhanden ist, jedoch im Verlauf des Jahres eine größere Unterkorrektur von -0,21D im Mittelwert entstanden ist. Hier beträgt die Regression -0,20D. Bei der Nachuntersuchung nach drei Monaten ist eine Unterkorrektur von -0,08D im Mittelwert festzustellen. Die Regression zu einem Jahr beträgt -0,14D. Die Mittellinie (rote Linie) weicht geringfügig von der Nulllinie des sphärischen Äquivalents ab. Auch die Streuung (schwarz gestrichelte Linien) ist stärker in der „Vergleichsgruppe“ als in der „Aberrometergruppe“.

Tendenziell ist die Differenz zwischen dem Untersuchungszeitpunkt nach zwölf Monaten und dem nach drei Monaten in der „Aberrometergruppe“ geringer, jedoch ist statistisch kein Gruppenunterschied in den Differenzen nachweisbar (U-Test,  $p=0,706$  einem Jahr zu einem Monat,  $p=0,286$  einem Jahr zu drei Monaten).

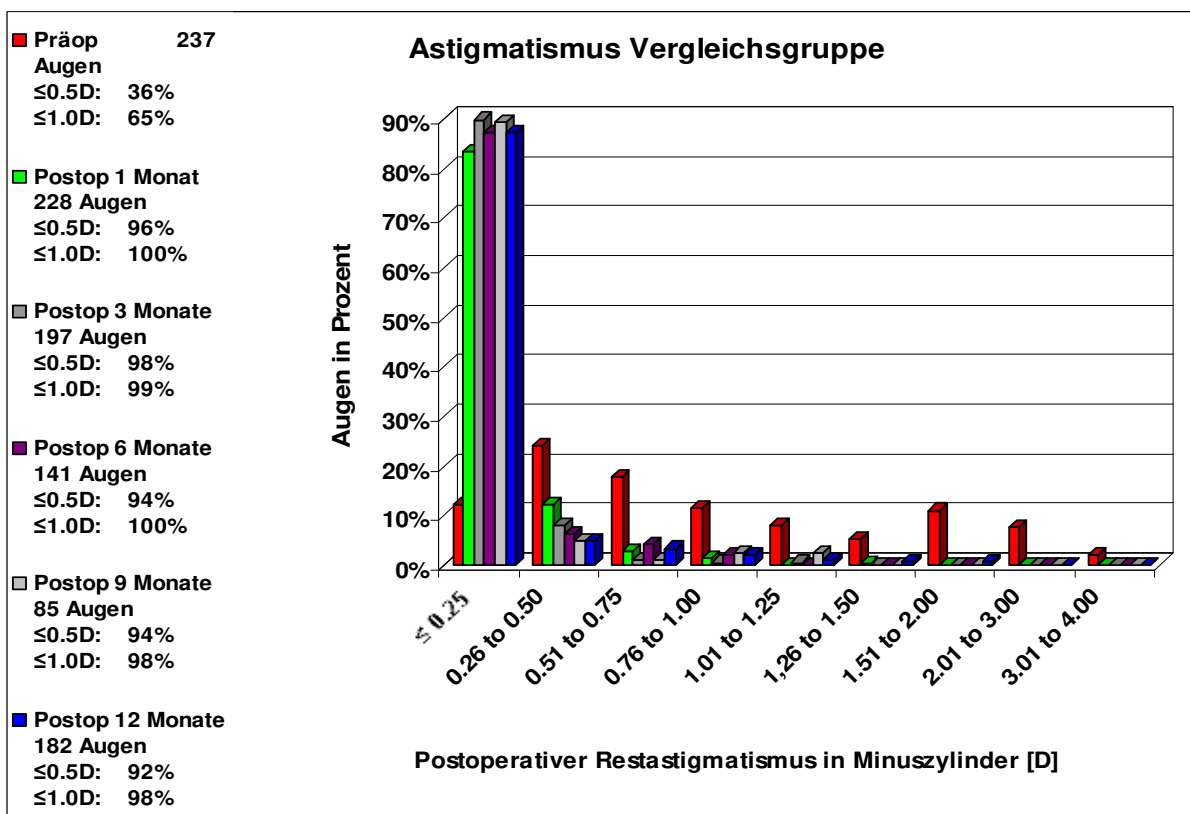
### **3.6 Postoperativer Astigmatismus**

Gruppenvergleich hinsichtlich postoperativer Zylinderwerte

Im Folgenden werden die Zylinderwerte der „Aberrometergruppe“ mit der „Vergleichsgruppe“ sowohl prä- als auch postoperativ verglichen und graphisch dargestellt. Auf der x-Achse sind die Zylinderwerte aufgetragen, wobei sie in Dioptrienbereiche eingeteilt worden sind. Auf der y-Achse ist der Anteil der Augen in Prozent angegeben. Zusätzlich gibt die Diagrammbeschreibung Bereiche der Zylinderwerte an, die bei den Augen gemessen worden sind. Die Bereiche sind  $\leq 0,5D$  und  $\leq 1,0D$ .



**Abb.18 Zylinderwerte der „Aberrometergruppe“:** Die Zylinder der Augen postoperativ sind ab dem 6. Monat unter 0,25D. In der Diagrammbeschreibung kann man die Werte für die Zylinder  $\leq 0,5D$  und  $\leq 1,0D$  ablesen. Alle Augen haben bei allen Kontrollen 100% erreicht.



**Abb.19 Zylinderwerte der „Vergleichsgruppe“:** In der „Vergleichsgruppe“ sind Zylinder der Augen postoperativ nach einem Jahr vorhanden.

Vergleicht man die Zylinderwerte der „Aberrometergruppe“ mit denen der „Vergleichsgruppe“, fällt auf, dass in der „Aberrometergruppe“ bei den Nachuntersuchungsterminen nach sechs, neun und zwölf Monaten nur Zylinderwerte gemessen werden, die kleiner als 0,25D sind. Bei den Kontrollterminen nach einem Monat und drei Monaten weisen 100% der Augen einen kleineren oder gleichen Zylinderwert als 0,5D auf. In der „Aberrometergruppe“ haben nach einem Monat noch 10% der Augen einen Zylinderwert zwischen 0,26D und 0,5D und nach drei Monaten noch 2% einen Zylinderwert zwischen 0,26D und 0,5D. Sonst sind keine Zylinderwerte postoperativ feststellbar.

Bei allen Kontrollen sind in der „Vergleichsgruppe“ noch geringe Zylinderwerte vorhanden. Nach einem Monat haben 12% der Augen der „Vergleichsgruppe“ einen Zylinder zwischen 0,26D und 0,5D, 3% der Augen einen Zylinder zwischen 0,51D und 0,75D und 1% der Augen einen Zylinder zwischen 0,76D und 1,0D. Man erkennt, dass bei der Nachuntersuchung nach drei Monaten der Wert kleiner oder gleich 0,5D für 98% der Augen gemessen wird. Dieses ist der beste Wert in der „Vergleichsgruppe“. Zum späteren Zeitpunkt nach sechs Monaten erreichen 93% und nach neun Monaten 94% der Augen den Wert kleiner oder gleich 0,5D. Nach einem Jahr hatten 92% der Augen den Wert kleiner oder gleich 0,5D. Auch sind bei dem Zylinderwert größer als 1,0D in der „Vergleichsgruppe“ noch Zylinder vorhanden, nämlich 1% bei der Kontrolluntersuchung nach drei Monaten und 2% nach dem Zeitraum von neun und zwölf Monaten.

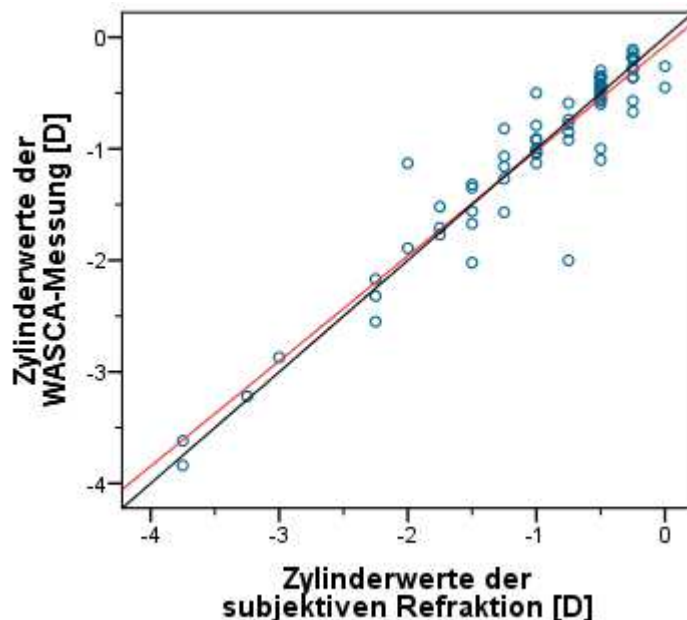
Diese Werte sind links in der Diagrammbeschreibung der Abbildungen 18 und 19 abzulesen.

Es wurden signifikante Unterschiede in allen postoperativen Messungen und zu allen Zeitpunkten (U-Test, p-Werte < 0,05) festgestellt.

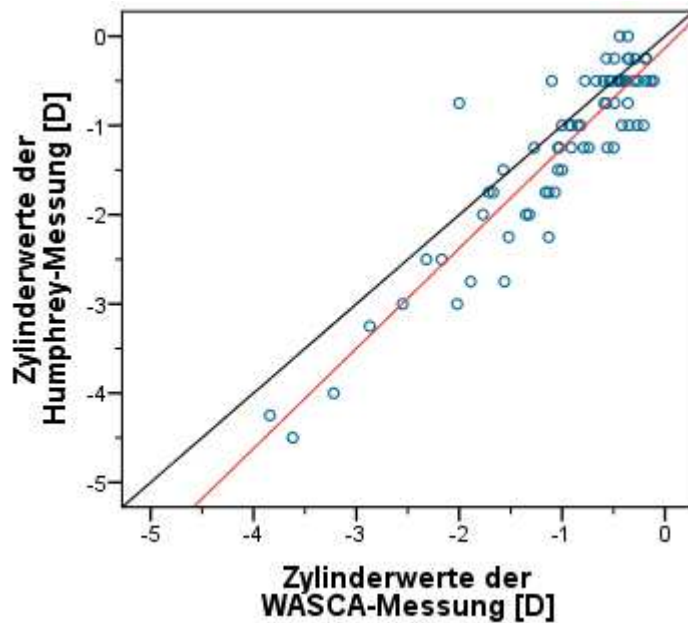
### 3.7 Vergleich der präoperativen Messmethoden in der „Aberrometergruppe“

#### 3.7.1 Vergleich der Zylinderwerte

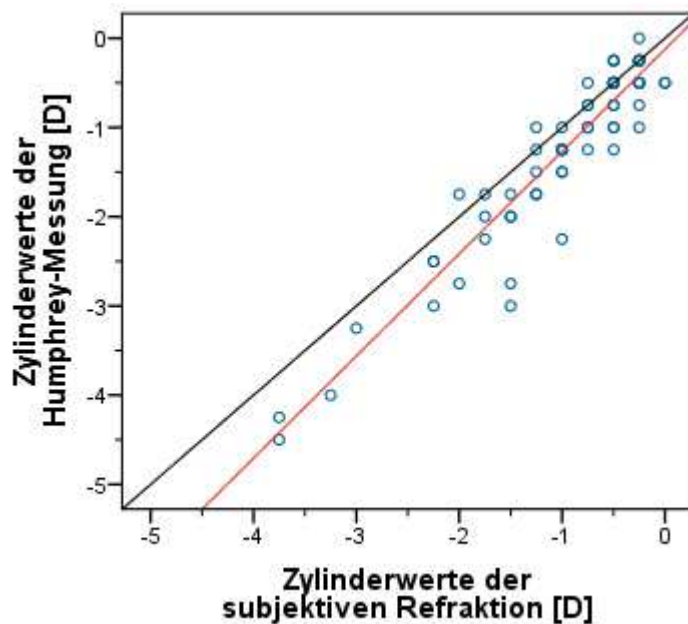
Im Folgenden werden die Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des präoperativen Zylinders der „Aberrometergruppe“ miteinander verglichen. Es handelt sich um die subjektive Refraktionsbestimmung, die objektive Refraktionsbestimmung durch den Autorefraktometer Humphrey und die Wellenfrontmessmethode durch das WASCA-Aberrometer von der Firma Zeiss Meditec. In den folgenden Punktdiagrammen stellt die rote Linie den Mittelwert der gemessenen Zylinderwerte dar. Man sieht die Abweichung von der schwarzen Nulllinie. Diese wäre das Optimum, d. h. die Zylinderwerte der einen Messmethoden würden zu 100% mit der anderen Messmethode übereinstimmen. Jeder Punkt entspricht einem Auge, dem die entsprechenden Untersuchungsmethoden zugeordnet sind. Die Zylinderwerte der jeweiligen Messmethode sind auf der x- bzw. y-Achse in Dioptrien aufgetragen.



**Abb.20 Vergleich der präoperativen Zylinderwerte der WASCA-Messung mit den präoperativen Zylinderwerten der subjektiven Refraktion in der „Aberrometergruppe“:**  
Die Zylinderwerte haben eine große Übereinstimmung.



**Abb.21 Vergleich der präoperativen Zylinderwerte gemessen mit dem Autorefraktometer Humphrey und dem WASCA-Aberrometer in der „Aberrometergruppe“:** Diese Zylinderwerte differieren. Die Werte der WASCA-Messung sind geringer als die Werte der Messung mit dem Autorefraktometer.



**Abb.22 Vergleich der präoperativen Zylinderwerte gemessen mit dem Autorefraktometer Humphrey und den präoperativen Zylinderwerten der subjektiven Refraktion in der „Aberrometergruppe“:** Auch hier variieren die Werte ähnlich der oberen Abbildung (Abb.21).

Beim Vergleich der Messmethoden zur Feststellung der Zylinderwerte der „Aberrometergruppe“ fällt auf, dass die Zylinderwerte gemessen mit dem Autorefraktometer Humphrey stärker von dem Optimum abweichen als die

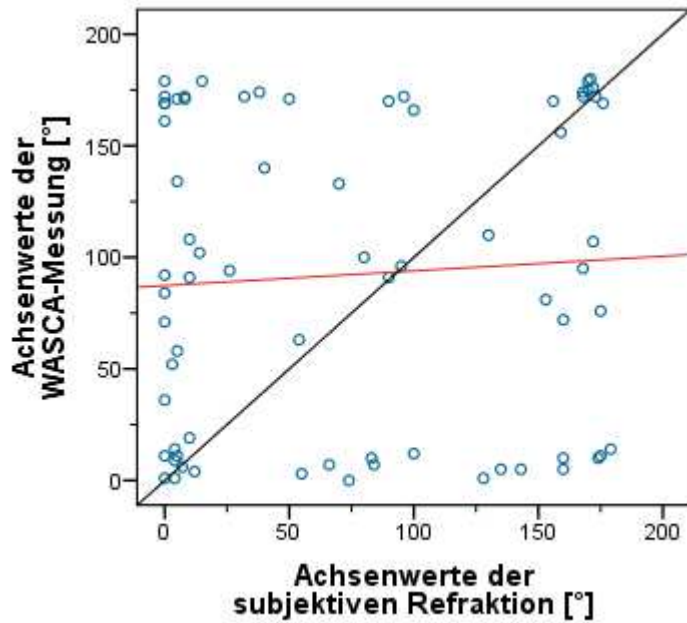
Zylinderwerte, die durch die subjektive Refraktion ermittelt wurden und durch die Aberrometrie gemessen wurden. Die Zylinderbestimmung durch die subjektive Refraktion und durch die Aberrometrie mit dem WASCA-Analyser liefert sehr ähnliche Werte.

Auch bei Betrachtung der Mittelwerte der Zylinder gleichen sich die Werte der subjektiven Refraktion mit einem Mittelwert von -1,0D und die Werte der Aberrometrie mit einem Mittelwert von -0,9822D. Der Mittelwert der Messung durch das Autorefraktometer von -1,2465D zeigt einen stärkeren Zylinder.

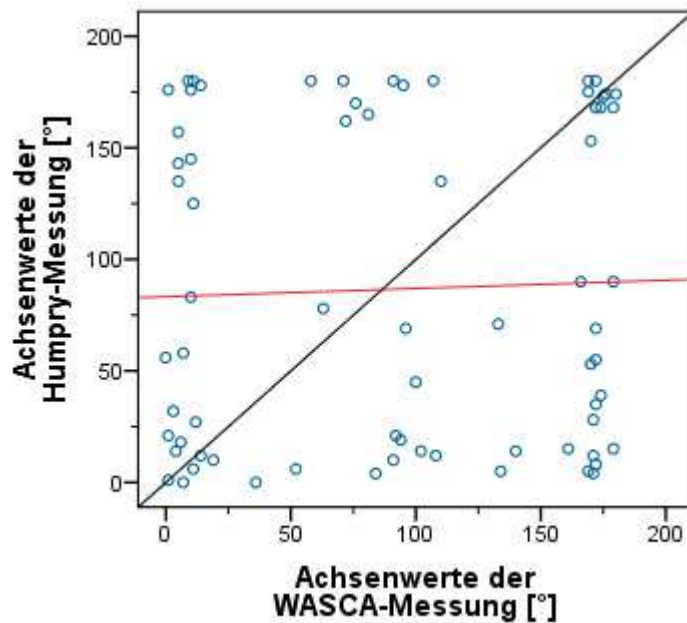
Statistisch hat die Humphrey-Messung im Vergleich zu den anderen beiden Verfahren einen niedrigeren Korrelationskoeffizienten als diese untereinander. Die Messmethode mit dem Autorefraktometer Humphrey ist signifikant unterschiedlich zu der subjektiven Refraktion wie auch zur Aberrometrie mit dem WASCA-Analyser ( $p$ -Werte < 0,5).

### **3.7.2 Vergleich der Achsenwerte**

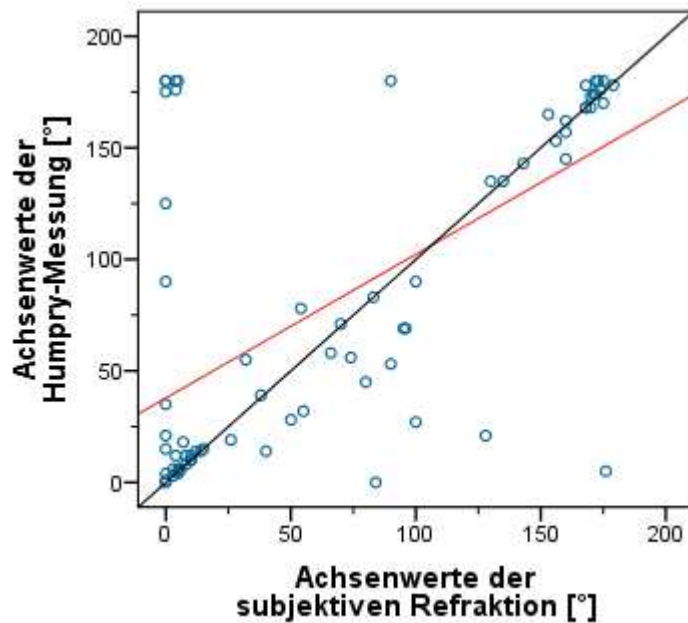
Des Weiteren werden die unterschiedlichen Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der präoperativen Achsenwerte in der „Aberrometergruppe“ verglichen. Die Bestimmung der Achsenwerte erfolgte wie die Bestimmung der Zylinderwerte durch die subjektive Refraktionsbestimmung, durch die objektive Refraktionsbestimmung mittels des Autorefraktometers Humphrey und durch die Wellenfrontbestimmung durch das WASCA-Aberrometer der Firma Zeiss Meditec. Die Auswertung der Punktdiagramme ist wie bei dem Vergleich der Zylinderwerte. Die rote Linie gibt die Mittelwerte der präoperativ gemessenen Achsenwerte an. Die schwarze Linie wäre das Optimum, d.h. die unterschiedlichen Untersuchungsmethoden würden gleiche Ergebnisse liefern. Jeder Punkt entspricht einem Auge. Die Achsenwerte der jeweiligen Messmethode sind auf der x- bzw. y-Achse in Grad angegeben.



**Abb.23 Vergleich der präoperativen Achsenwerte der WASCA-Messung mit den präoperativen Achsenwerten der subjektiven Refraktion in der „Aberrometergruppe“:** Es ist keine Übereinstimmung zu erkennen.



**Abb.24 Vergleich der präoperativen Achsenwerte gemessen mit dem Autorefraktometer Humphrey und dem WASCA-Aberrometer in der „Aberrometergruppe“:** Auch hier ist keine Übereinstimmung zu sehen.



**Abb.25 Vergleich der präoperativen Achsenwerte gemessen mit dem Autorefraktometer Humphrey und den präoperativen Achsenwerten der subjektiven Refraktion in der „Aberrometergruppe“: Die Achsenwerte ähneln sich.**

Beim Vergleich der Messmethoden für die Feststellung der Achsenwerte der „Aberrometergruppe“ ist keine Übereinstimmung der Messmethode für die subjektive Refraktion sowie der Messmethode mit dem Autorefraktometer Humphrey mit den Messdaten des WASCA-Analysers vorhanden. Der Vergleich der Messmethode der subjektiven Refraktion und der Messmethode des Autorefraktometers Humphrey zeigt eine Annäherung der Achsenwerte bei diesen Methoden.

Statistisch stellt sich ein deutlicher und signifikanter Zusammenhang der Messmethode der subjektiven Refraktion und der Messmethode mit dem Autorefraktometer Humphrey dar ( $p < 0,05$ ).

## 4 Diskussion

Die Korrektur von Fehlsichtigkeiten mittels refraktiver Laserhornhautchirurgie gehört heute zu den Standardverfahren in der Augenheilkunde. Excimer-chirurgische Techniken wie photorefraktive Keratektomie (PRK) und Laser-in-situ-Keratomileusis (LASIK) haben weite Verbreitung gefunden.[2, 17, 18] Es konnte mit den hier dargestellten Ergebnissen gezeigt werden, dass sich Myopie und Astigmatismus innerhalb ihres Indikationsbereichs mittels unterschiedlicher Laseralgorithmen sehr zufriedenstellend korrigieren lassen. Trotzdem kommt es zu einer geringen Zahl von Reoperationen, die in der Arbeit von Seiler [15] untersucht wurden. Restastigmatismus wurde als der häufigste Grund für Reoperationen nach einer Excimerlaserbehandlung mit der LASIK-Technik angegeben. Das Ziel der Excimerlaserbehandlung war es, die Stärke des Zylinders möglichst komplett zu korrigieren. Auf Grund dessen wurde bei refraktiven Eingriffen großer Wert auf die präoperative Refraktionsbestimmung der Zylinderwerte gelegt.

In dieser Arbeit wird retrospektiv analysiert, ob es durch eine zusätzliche präoperative Refraktionsbestimmung mit dem WASCA-Analyser zu verbesserten Ergebnissen bei der Excimerlaserbehandlung kommt. Da postoperative Ergebnisse von der Präzision der präoperativen Refraktionsmessung abhängig sind und laut Doane [13] die Zylinderwerte 50 mal genauer mit Hilfe von Aberrometermessungen ermittelt werden, wurde präoperativ zusätzlich zur subjektiven Refraktionsbestimmung und der objektiven Refraktionsbestimmung durch den Autorefraktometer Humphrey eine Refraktionsbestimmung mit dem WASCA-Analyser der Firma Zeiss Meditec durchgeführt. Die mit WASCA ermittelten Zylinderwerte wurden in den Mittelpunkt der präoperativen Laseroperationsplanung gestellt.

Bei der Betrachtung der postoperativen Ergebnisse des sphärischen Äquivalents wurden bei der Beurteilung der Vorhersagbarkeit folgende Ergebnisse erreicht (siehe Abb. 5, 6, 7, 8).

Die „Aberrometergruppe“ hat den Zielbereich (+/-0,5D) zum Untersuchungstermin von drei Monaten mit 98% erreicht. Die „Aberrometergruppe“ ist die Gruppe, bei der der Zylinderwert mit Hilfe der Aberrometrie ermittelt wurde und zur Laserkorrektur

herangezogen worden ist. Bei der „Vergleichsgruppe“ wurde für den Zielbereich ( $\pm 0,5D$ ) zum Untersuchungstermin nach drei Monaten ein Anteil von 91% erreicht. Bei dem enger gefassten Zielbereich von  $\pm 0,25D$ , der statistisch ausgewertet wurde, hat die „Aberrometergruppe“ mit 91% den besseren Anteil, im Vergleich zur Vergleichsgruppe mit einem Anteil von 87%. Die signifikante Abhängigkeit der Vorhersagbarkeit im Zielbereich  $\pm 0,25D$  wurde zum Nachuntersuchungszeitraum drei Monaten analysiert und durch den ChiQuadrat-Test ermittelt

In der Veröffentlichung von Tomita [19] wurde für die Vorhersagbarkeit folgende Aussage getroffen: 94,1% der behandelten Augen nach einer LASIK-Operation hatten nach drei Monaten den Zielbereich von  $\pm 0,5D$  angenommen. Hier blieben die Werte unter denen der „Aberrometergruppe“. Bei Taneri und Stottmeister [20] hatten drei Monate postoperativ nach einer Excimerlaserbehandlung mit der Operationstechnik LASIK nur 78% der behandelten Augen den Zielbereich von  $\pm 0,5D$  erreicht. Eine weitere Arbeit von Gamaly [21] gab den Zielbereich der Vorhersagbarkeit von  $\pm 0,5D$  nach sechs Monaten mit einem Anteil von 94,6% der behandelten Augen an. Auch hier handelte es sich um eine Excimerlaserbehandlung mittels LASIK-Technik.

Im Vergleich zu den Ergebnissen der in der Literatur dargestellten Behandlungsgruppen und den Ergebnissen der „Vergleichsgruppe“ in dieser Studie sind die Ergebnisse der „Aberrometergruppe“ besser. Die verbesserten Ergebnisse der Vorhersagbarkeit lassen sich dadurch erklären, dass die verwendeten präoperativen Zylinderwerte viel präziser sind. Die von Doane [13] formulierte Annahme der präziseren Messung der Zylinderwerte durch das Aberrometer konnte statistisch nachgewiesen werden.

Ein weiteres Ziel der Excimerlaserbehandlung ist es, die unkorrigierten Sehschärfe (UDVA) der Patienten zu verbessern. Bei den Ergebnissen der Wirksamkeit (siehe Abb. 9, 10, 11) erkennt man, dass der Wert der Efficacy (gleich oder besser als 0,5) in der „Aberrometergruppe“ etwas besser ist. Die „Aberrometergruppe“ hat mit drei Monaten eine Efficacy von 100% und die „Vergleichsgruppe“ 97%. Die Tendenz zum besseren Visus ist eindeutig zu erkennen. Die Differenzen sind so gering, dass kein signifikanter Unterschied zu ermitteln war. Die Ergebnisse der „Aberrometergruppe“ sind besser als in der „Vergleichsgruppe“.

In vergleichenden Arbeiten wurden ähnlich gute Werte für die Efficacy gefunden [19, 22]. Bei einer Laserkorrektur eines hohen Astigmatismus mit der SMILE-Methodik kam es in der Arbeit von Ivarsen und Hjortdal [23] jedoch zu einem geringeren Wert der Efficacy von ca. 90%, bei der Korrektur eines niedrigeren Astigmatismus wieder zu einem besseren Wert von ca. 95%. Gamaly [21] gibt in seiner Arbeit die Efficacy mit 97,3% nach sechs Monaten an, wobei die Excimerlaserbehandlung mit der LASIK-Methode durchgeführt wurde. Auch Kohnen [24] kommt in der Wirksamkeit mit einem Wert von 98% mit der LASIK-Methode zu einem guten Wert nach einem Jahr.

Die Ergebnisse der Wirksamkeit sind auch im Vergleich mit anderen Untersuchungen und der „Vergleichsgruppe“ ähnlich gut. Die Werte der Efficacy liegen zwischen 97% und 100%. Nur in der Arbeit von Ivarsen und Hjortdal [23] wurden geringere Werte der Efficacy von 90% und 95% angegeben. Hier handelte es sich um die neue Operationstechnik der Femtosekundenlaserbehandlung, der SMILE-Methodik.

Bei der Betrachtung der Erholung (siehe Abb. 12, 13) stellt man in der „Aberrometergruppe“ eine schnellere Erholung fest als in der „Vergleichsgruppe“. Dieser Unterschied ist aber nicht signifikant. Wenn man die unkorrigierte Sehschärfe (UDVA) nach drei Monaten beim Wert 1,0 oder besser betrachtet, haben 95% der „Aberrometergruppe“ und 83% der „Vergleichsgruppe“ diesen Wert erreicht.

Tomita [19] gab in seiner Arbeit eine UDVA von 1,0 oder besser nach drei Monaten mit 96,6% an. Behandelt wurden dort Patienten mit sphärischer Myopie und myopischem Astigmatismus. In der Arbeit von Ivarsen [22] wurde ein Wert von 25% der untersuchten Augen angegeben, die nach drei Monaten eine UDVA von 1,0 oder besser erreichten. Eine weitere Arbeit von Ivarsen und Hjortdal mit der SMILE-Methodik [23] gab eine UDVA nach drei Monaten bei hohem Astigmatismus von 40% und bei niedrigem Astigmatismus von 55% an. In der Arbeit von Kohnen [24] hatten nach einem Jahr 83% der behandelten Augen die UDVA mit 1,0 oder besser erreicht. Und bei Gamaly [21] wurde nach sechs Monaten die UDVA von 1,0 oder besser von 78,3% der behandelten Augen angegeben.

Wenn man die Arbeiten mit Korrektur eines myopen Astigmatismus genauer auswertet, stellt man fest, dass die Werte der Untersuchung für die „Aberrometergruppe“ in dieser Studie sehr gut ausfallen. In keiner betrachteten anderen Untersuchung und auch nicht in der hier untersuchten „Vergleichsgruppe“

wurden solch hohe Werte bei der UDVA-Erholung nach drei Monaten festgestellt. Daraus kann man folgern, dass die präoperative Zylinderrefraktion durch die Aberrometrie zu besseren Ergebnissen führt. Dies bestätigten die Untersuchungen von Doane [13].

Die Einschätzung der refraktiven chirurgischen Methode wird durch die Sicherheit (siehe Abb. 14, 15) angegeben. 73% der behandelten Augen der „Aberrometergruppe“ haben einen unveränderten Ausgangswert der bestkorrigierten Sehschärfe zum Nachuntersuchungszeitraum von drei Monaten und 66% der behandelten Augen nach zwölf Monaten. Die „Vergleichsgruppe“ hat einen geringeren unveränderten Ausgangswert der bestkorrigierten Sehschärfe von 50% nach drei und 51 % nach zwölf Monaten, jedoch einen höheren Zeilengewinn von einer Zeile. Die Statistik wurde nur für die unveränderten Werte der bestkorrigierten Sehschärfe ermittelt und ergab einen signifikanten Gruppenunterschied. Der Safety-Index ist in der „Aberrometergruppe“ zu allen Zeitpunkten im Mittel bei 1,02 und bei der „Vergleichsgruppe“ im Mittel bei 1,1.

Beim Vergleich mit anderen Arbeiten findet sich bei Gamaly [21] ein Verlust von zwei Zeilen nach sechs Monaten von 5,3%. Tomita [20] gibt für die Sicherheit nach drei Monaten an, dass in 63,8% der Fälle der bestkorrigierte Visus unverändert blieb, ein Gewinn von einer Zeile konnte bei 25,1% festgestellt werden. Der Safety-Index wird bei drei Monaten mit 1,06 angegeben. Wie schon oben erwähnt, unterscheidet diese Arbeit nicht zwischen der Behandlung von Patienten mit Myopie und Myopie mit Astigmatismus, sie hat aber eine hohe Fallzahl mit 1280 Augen. Katz [26] gibt in seiner Arbeit den Safety-Index der Excimerlaserbehandlung bei der Operationstechnik PRK mit 1,10 und bei der Operationstechnik LASIK mit 1,01 an. Frings [27] kommt nach vier Monaten zu einem Safety-Index von 1,0 bei der Operationstechnik LASIK.

Der Vergleich der Arbeiten mit den hier erhobenen Daten ist zum Teil sehr schwierig, da die Angaben sehr unterschiedlich gemacht werden. Auch die Nachuntersuchungszeiträume variieren und bei der Angabe der Patientenaugen wird die Prozentzahl nicht mit angegeben.

Trotzdem gelangt man zu dem Ergebnis, dass die Unterschiede sehr gering sind. Beim Zusammenfassen der Auswertung der Snellen-Zeilen von unverändert und Zeilengewinn um eine Zeile liegt der Anteil der behandelten Augen in beiden

Gruppen zwischen 80% -90% zu allen Zeiträumen. Dieses ist dadurch zu erklären, dass sich das Ablationsprofil der Excimerlaserbehandlung in der Gruppenunterteilung nicht verändert hat. Deshalb weicht auch die bestkorrigierte Sehschärfe kaum ab. Es wurde nicht erwartet, dass der Wert der Sicherheit variiert.

Das Verhalten der Stabilität (siehe Abb. 16, 17) zeigt nur geringe Differenzen zwischen der „Aberrometergruppe“ und der „Vergleichsgruppe“. Hier wird der zeitliche Verlauf der sphärischen Äquivalenz betrachtet. Statistisch wurde kein signifikanter Unterschied ermittelt. Die Streuung der Werte des sphärischen Äquivalents ist in der „Vergleichsgruppe“ etwas stärker ausgeprägt. Die Werte der Regression sind in der „Aberrometergruppe“ geringfügig kleiner.

In der Arbeit von Gamaly [21] wird die Stabilität wie folgt angegeben. Sie wird zwischen dem ersten und dritten Monat erreicht und verifiziert sich mit sechs Monaten postoperativ. Bei Blum [28] wird die Stabilität mit einer minimalen Regression von -0,15D zwischen dem ersten und dritten Monat angegeben.

Beim Vergleich der „Aberrometergruppe“ mit der „Vergleichsgruppe“ und anderen Arbeiten konnten bei der Stabilität kaum Unterschiede festgestellt werden. Dies ist, ähnlich wie die Ergebnisse der Sicherheit, auf das unveränderte Ablationsprofil zurückzuführen. Auch hier sind die Ergebnisse der Stabilität wie erwartet nahezu unverändert geblieben. Auch in den verglichenen Arbeiten sind ähnliche Werte zu finden.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der in dieser Arbeit herausgearbeitet wurde, ist der postoperative Astigmatismus (siehe Abb. 18, 19). Die postoperative Zylinderwerte der „Aberrometergruppe“ sind erstaunlich gering. Bei den Nachuntersuchungsterminen nach sechs, neun und zwölf Monaten waren keine Zylinderwerte größer als 0,25D vorhanden. Zu allen Kontrollterminen sind keine Zylinderwerte über 0,5D darstellbar. In der „Vergleichsgruppe“ konnten zu allen Zeitpunkten noch geringe Zylinderwerte festgestellt werden. Nach sechs Monaten hatten z. B. 93% einen kleineren oder gleichen Zylinderwert von 0,5D. Ein signifikanter Unterschied wurde zu allen postoperativen Messungen und zu allen Zeitpunkten mit dem U-Test festgestellt.

In der Veröffentlichung von Tomita [19] werden bei 89,7% der behandelten Augen keine Residualzylinder festgestellt und 96% der Augen haben einen postoperativen

Astigmatismus von weniger als 0,5D. Bei der Arbeit von Ivarsen [22] wird bei der myopen Behandlungsgruppe ein unterkorrigierter Restastigmatismus postoperativ von  $0,77D \pm 0,62D$  angegeben. Auch bei Seiler [15] wird der Restastigmatismus seiner Reoperationen mit 0,5D und mehr angegeben. In der Arbeit von Frings [28] wurden die Patienten genannt, die einen Restastigmatismus nach LASIK von 0,75D und mehr hatten. In dieser Studie sind 2991 Augen untersucht worden. 46% der behandelten Augen hatten einen Restastigmatismus von 1,0D und mehr. In einer weiteren Studie von Frings [27] wurde dargestellt, dass eine Korrektur von geringem präoperativem Astigmatismus von 0,5D oder weniger zur Überkorrektur des Astigmatismus führen kann.

Wenn man die Untersuchungsergebnisse der zum Vergleich herangezogenen Arbeiten und die Werte der „Vergleichsgruppe“ mit den Werten der „Aberrometergruppe“ zu dem postoperativen Astigmatismus vergleicht, sind die Ergebnisse der „Aberrometergruppe“ sehr positiv. Hier bewahrheitet sich die Annahme, dass die präoperative Genauigkeit der Zylinderwertbestimmung mittels Aberrometrie [9] zu exakten postoperativen Zylinderwerten führt. Man kann aufgrund der ausgewerteten Daten dieser Studie nicht der Meinung von Frings [27] zustimmen, dass es zu einer Überkorrektur des Astigmatismus bei Korrektur geringer präoperativer Zylinderwerte kommt.

Heutige Behandlungsmethoden sind bestrebt, die präoperative Refraktion, speziell die Zylinder komplett zu korrigieren. Die komplette Korrektur des Astigmatismus ist jedoch nur schwer zu erreichen [15, 19, 22, 25, 29, 30]. Weiterhin wird in verschiedenen Arbeiten [18, 31] diskutiert, ob kleinere Zylinderwerte unter 0,5D oder 0,75D nicht korrigiert werden sollten, da sie die Sehschärfe nicht beeinflussen oder es bei Korrektur geringerer Zylinderwerte sogar zur Verschlechterung der Sehschärfe kommt. Dieser Aussage kann nicht zugestimmt werden, das Bestreben der Excimerlaserbehandlung sollte eine komplette Korrektur der Sphäre und auch des Zylinders sein. Die hier dargestellten Werte der „Aberrometergruppe“ zeigen, dass eine komplette Korrektur der Zylinder möglich ist.

Auf Grund der guten Ergebnisse der Zylinderwerte wurden die präoperativen Messmethoden der „Aberrometergruppe“ (siehe Abb. 20, 21, 22) verglichen.

Beim Vergleich der Zylinderwerte stellt sich heraus, dass die präoperative Zylindermessung mit dem WASCA-Analyser und die präoperative Zylinderbestimmung durch die subjektive Refraktion eine große Übereinstimmung haben. Die präoperative Refraktionsbestimmung mit dem Autorefraktometer Humphrey differiert von der präoperativen Refraktionsbestimmung des WASCA-Analysers sowie von der präoperativen subjektiven Refraktionsbestimmung, wobei die Werte des Autorefraktometers einen stärkeren Zylinder im Mittel um 0,25D anzeigen. Es wurde ein statistischer Unterschied der Zylinderbestimmung mit dem Autorefraktometer Humphrey zur subjektiven Zylinderbestimmung und zur Zylinderbestimmung mit dem WASCA-Analyser festgestellt.

Hierzu findet man in der Arbeit von Goes [14] die Aussage, dass die subjektive Refraktionsbestimmung sehr gut mit der Refraktionsbestimmung mit dem WASCA-Analyser übereinstimmt. Wesemann [32] gibt in seiner Veröffentlichung an, dass es bei Messungen mit dem Autorefraktometer zu Abweichungen im Vergleich zur subjektiven Refraktion in Sphäre, Zylinder und Achse von 0,5D kommen kann. Auch Carvalho [12] gibt in seiner Arbeit an, dass die Autorefraktometer nicht die ausreichende Genauigkeit aufweisen.

Diese Aussagen kann man mit den untersuchten Ergebnissen bestätigen. Dies wirft die Frage auf, ob die Refraktionsbestimmung mit dem Autorefraktometer Humphrey ersetzbar wird. Dieser Gedanke wurde auch schon von Bühren [33] verfolgt, der die Autorefraktometer durch die Wellenfrontsensoren ersetzen lassen wollte. Dieser Ansatz wird durch die Auswertung der hier untersuchten Daten unterstützt.

Zur Vervollständigung der Ergebnisse wurde auch der Vergleich der Achsenwerte untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die präoperativen Achsenwerte gemessen mit dem WASCA-Analyser keine Übereinstimmung mit den präoperativen Achsenwerten der subjektiven Refraktionsbestimmung und mit den präoperativen Achsenwerten der objektiven Refraktionsbestimmung mittels des Autorefraktometers Humphrey hat. Der Vergleich der Messmethoden der subjektiven Refraktionsbestimmung und der objektiven Refraktionsbestimmung mittels des Autorefraktometers Humphrey zeigt einen eindeutigen statistisch nachweisbaren Zusammenhang.

Theoretisch ist die subjektive Refraktionsbestimmung das am besten geeignete präoperative Untersuchungsmittel vor der Laseroperation, weil es dem subjektiven Empfinden des Patienten am nächsten kommt. Die Nachteile der subjektiven Refraktionsbestimmung am Phoropter sind, dass durch Faktoren aus der Umgebung wie z.B. die Raumbelichtung die Bestimmung beeinflusst wird und dementsprechend der Pupillendurchmesser variiert [34, 35, 36]. Außerdem spielt auch der Ermüdungsfaktor seitens des Patienten eine weitere Rolle [4]. Diese Faktoren sind bei der Refraktion mittels des Aberrometers unbedeutend. Zudem ist die Wellenfrontanalyse, insbesondere der Zylinderwert der WASCA-Messung, objektiv und nicht subjektiv [37].

Es werden heutzutage neue Operationstechniken zur Korrektur der Fehlsichtigkeiten dargestellt und untersucht [23, 38]. Das Augenmerk sollte ebenso auf die präoperativen Refraktionsbestimmungen gelegt werden, denn nur durch optimale präoperative Refraktionswerte können optimale postoperative Refraktionswerte erzielt werden.

In 70% der Fälle kann das dargestellte Verfahren der Refraktionsbestimmung mit dem Aberrometer in die tägliche Praxis der Excimerlaserbehandlungen integriert und durchgeführt werden. In 30% der Fälle lässt sich die vorgeschlagene Vorgehensweise nicht ausführen. In diesen Fällen hat der Patient den mit dem Aberrometer ermittelten Zylinderwert subjektiv nicht akzeptiert. Dementsprechend kann dieser Zylinderwert für die Laseroperationsplanung und die folgende Operation nicht verwendet werden.

In dieser retrospektiven Arbeit wurden nur die präoperativen Refraktionsbestimmungen der Patienten gegenübergestellt, die eine Excimerlaserbehandlung bei Myopie mit Astigmatismus durch ASA erhalten haben. Es wäre wünschenswert, wenn noch weitere Arbeiten mit gleichen präoperativen Refraktionsbestimmungen zur Hyperopie oder nach Durchführung der LASIK ausgewertet werden könnten.

## 5 Zusammenfassung

In der vorliegenden retrospektiven Arbeit sollte geklärt werden, ob eine zusätzlich präoperative Refraktionsbestimmung mit dem WASCA-Analyser zu besseren postoperativen Ergebnissen nach einer Excimerlaserbehandlung führt. Dazu wurden die Daten der Patienten ausgewertet, die einerseits präoperativ mit den Refraktionswerten der herkömmlichen Refraktionsbestimmung gelasert wurden und andererseits eine zusätzliche präoperative Refraktionsbestimmung der Zylinderwerte mit dem WASCA-Analyser erhalten haben und dann mit diesen zusätzlich ermittelten Zylinderwerten gelasert wurden.

Die Ergebnisse wurden einerseits nach den Standardparametern der refraktiven Laserchirurgie ausgewertet und zusätzlich Werte des postoperativen Restastigmatismus betrachtet. Außerdem wurden die Messmethoden der präoperativen Refraktionsbestimmung miteinander verglichen.

Bei der Vorhersagbarkeit wurden eindeutige Unterschiede, die auch statistisch nachgewiesen werden konnten, festgestellt. Hierbei wurde eine bessere Vorhersagbarkeit der „Aberrometergruppe“ eruiert. Diese Patientengruppe stellt die Patienten dar, die eine zusätzliche Refraktionsbestimmung mit dem WASCA-Analyser erhalten hat und mit den so erhaltenen Zylinderwerten gelasert wurde.

Auch bei der Wirksamkeit und der visuellen Rehabilitation konnten bessere Ergebnisse bei der „Aberrometergruppe“ festgestellt werden, die allerdings nicht signifikant waren.

Die Annahme von Doane [13] der präziseren Messung der Wellenfronttechnologie konnte somit durch diese Auswertungen bestätigt werden.

Bei der Sicherheit und Stabilität wurden nur geringe Unterschiede zwischen den Gruppen und zu den Untersuchungen in der Literatur festgestellt. Ein unterschiedliches Ergebnis für Sicherheit und Stabilität wurde für diese Arbeit nicht erwartet, da das Ablationsprofil für die Excimerlaserbehandlung nicht verändert worden war.

Bei der Auswertung des postoperativen Restastigmatismus wurden für die „Aberrometergruppe“ sehr gute Werte erreicht, d.h. es waren fast keine Restzylinder mehr bei den behandelten Augen festzustellen. Diese Ergebnisse lassen sich wahrscheinlich auch auf die Genauigkeit der präoperativen Refraktionsbestimmung mittels WASCA-Analyser [13] zurückführen.

Der Vergleich der Messmethoden zur präoperativen Refraktionsbestimmung zeigt eindeutig, dass die subjektive Refraktionsbestimmung und die Refraktionsbestimmung mit dem WASCA-Analyser große Übereinstimmung in ihren Werten haben. Die objektive Refraktionsbestimmung mit dem Autorefraktometer Humphrey weicht von den Werten der anderen Messmethoden ab. Daraus kann gefolgert werden, dass die Refraktionsbestimmung mit dem Autorefraktometer Humphrey keine optimale Refraktionswerte für die anschließend präoperativ subjektive Refraktionsbestimmung liefert [12, 33].

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine genauere präoperative Refraktionsbestimmung vor allem der schwieriger zu bestimmenden Zylinderwerte durch eine Wellenfronttechnik zu postoperativ besseren Ergebnissen der Excimerlaserbehandlung führt. Und damit kann die eingangs gestellte Frage: „Lassen sich die refraktiven Ergebnisse nach Excimerlaserbehandlung der Myopie mit Astigmatismus unter Zuhilfenahme der Aberrometrie noch verbessern?“ mit „Ja“ beantwortet werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Friedburg D, Krause K. Subjektive Refraktionsbestimmung. Teil II: Monokularer Feinabgleich. *Ophthalmologe*. 2002; 99, 657-667.
- [2] Mrochen M, Hafezi F, Iseli H, Löffler J, Seiler T. Verbesserung der refraktiven Ergebnisse durch Nomogramme. *Ophthalmologe* 2006; 103, 331-339.
- [3] Lachenmayr B. Subjektive Refraktionsbestimmung. In: Lachenmayr B, Friedberg D, Hartmann E, Buser A. *Auge – Brille – Refraktion*, 4. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme, 2005: 51-86.
- [4] Krause K. Refraktionsbestimmung. In: Kroll P, Kühle M, Kühle HJ. *Augenärztliche Untersuchungsmethoden*, 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Thieme, 2008: 74-101.
- [5] Lachenmayr B. Objektive Refraktionsbestimmung. In: Lachenmayr B, Friedberg D, Hartmann E, Buser A. *Auge – Brille – Refraktion*, 4. überarb. Aufl. Stuttgart: Thieme, 2005: 33-37.
- [6] Kühne P, Zemp M. Autorefraktometer im Vergleich zur monokularen subjektiven Refraktion. Seminararbeit Olten, Schweiz. Höhe Fachschule f. Augenoptik (SHFA), © 1999. Überarb. v. R. Joos. Pers. Mitteilung d. Überarbeiters.
- [7] Elling M. Objektive Messung der Akkommodation durch ein dynamisches Stimulationsaberrometer. Bochum, Univ., Diss., 2010.
- [8] Mrochen M, Seiler T. Grundlagen der wellenfrontgeführten refraktiven Hornhautchirurgie. *Ophthalmologe* 2001; 98, 703-714.
- [9] Bühren J, Kohnen T. Anwendung der Wellenfrontanalyse in Klinik und Wissenschaft, Vom irregulären Astigmatismus zu Aberrationen höherer Ordnung – Teil I: Grundlagen. *Ophthalmologe* 2007; 104, 909-925.
- [10] Sekundo W. Aberrometrie (Wellenfrontmessung). In: Kroll P, Kühle M, Kühle HJ. *Augenärztliche Untersuchungsmethoden*, 3., vollst. überarb. u. erw. Aufl. Stuttgart: Thieme, 2008: 106-112.
- [11] Dausch D, Schröder E. Supernormaler Visus durch wellenfrontgesteuerte Excimer-Laser-Ablation. *Augenspiegel* 2000; 45 G 1396, 21-25.
- [12] Carvalho LH et al. Understanding optical aberrations of the eye and principles of measurement. In: Boyd F B, Agarwal A, editors. *Wavefront Analysis, Aberrometers and Corneal Topography*. El Dorado, Panama: Highlights of Ophthalmology, 2003: 244-264.

- [13] Doane JF et al. Wavefront Analysis and corneal Topography. In: Boyd FB, Agarwal A, editors. Wavefront Analysis, Aberrometers and Corneal Topography. El Dorado, Panama: Highlights of Ophthalmology, 2003: 213-243.
- [14] Goes F. WASCA Wavefront Analyzer. In: Boyd F B, Agarwal A, editors. Wavefront Analysis, Aberrometers and Corneal Topography. El Dorado, Panama: Highlights of Ophthalmology, 2003: 383-394.
- [15] Seiler T, Hafezi F, Iseli HP, Koller T, Alkara N. Reoperationen nach LASIK . Klin.Monatsbl.Augenheilkd. 2006; 223: 509-512.
- [16] Michelson IM. Einfluss der Technik auf die refraktiven Ergebnisse nach Excimerlaserbehandlung. Hannover, Med. Hochsch., Diss., 2008.
- [17] Kohnen T, Bühren J, Cichock M, Kasper T, Terzi E, Ohrloff C. Optische Qualität nach refraktiver Hornhautchirurgie. Ophthalmologe 2006; 103, 184-191.
- [18] Christiansen SM, Mifflin MD, Edmonds JN, Simpson RG, Moshirfar M. Astigmatism induced by conventional spherical ablation after PRK and LASIK in myopia astigmatism < 1.00 D. Clin.Ophthalmol.2012; 6: 2109-2117.
- [19] Tomita M, Watabe M, Yukawa S, Nakamura N, Nakamura T, Magnoago T. Safety, efficacy and predictability of laser in situ keratomileusis to correct myopia or myopic astigmatism with a 750 Hz scanning-spot laser system. Cataract Refract Surg. 2014; 40: 251-258.
- [20] Taneri S, Stottmeister S. Asphärische Ablationsprofile zur Myopiekorrektur: klinische Ergebnisse nach LASIK mit dem Bausch & Lomb 217 Z 100 Excimer-Laser. Klin.Monatsbl.Augenheilkd.2009; 226: 101-109.
- [21] Gamaly T. LASIK with the optimized aspheric transition zone and cross-cylinder technique for the treatment of astigmatism from 1.00 to 4.25 diopters. J.Refract.Surg.2009; 25: 927-930.
- [22] Ivarsen A, Næser K, Hjortdal J. Laser in situ keratomileusis for high astigmatism in myopic and hyperopic eyes, J.Cataract Refract.Surg.2012; 39: 74-80.
- [23] Ivarsen A, Hjortdal J. Correction of myopia astigmatism with small incision lenticule extraction. J.Refract.Surg. 2014; 30: 240-247.
- [24] Kohnen T, Bühren J, Kühne C, Mirshahi A. Wavefront-guided LASIK with the Zyoptix 3.1 system for the correction of myopia and compound myopic astigmatism with 1-year follow-up: clinical and change in higher order aberrations. Ophthalmology 2004; 111: 2175-2185.

- [25] Seiler T. Innovationen in der refraktiven Laserchirurgie 2014. *Ophthalmologie* 2014; 111: 539-542.
- [26] Katz T, Wagenfeld L, Galambos P, Darrelmann BG, Richard G, Linke SJ. LASIK versus photorefractive keratectomy for high myopic (>3 diopter) astigmatism. *J.Refract.Surg.*2013; 29: 824-831.
- [27] Frings A, Katz T, Richard G, Druchkiv V, Linke SJ. Efficacy and predictability of laser in situ keratomileusis for low astigmatism of 0.75 diopter or less. *J.Cataract Refract.Surg.*2013, 39: 366-377.
- [28] Blum M, Kunert K, Gille A, Sekundo W. LASIK for Myopia Using the Zeiss VisuMax Femtosecond Laser and MEL 80 Excimer Laser. *J.Refract.Surg.*2009, 25: 350-356.
- [29] Frings A, Katz T, Steinberg J, Druchkiv V, Richard G, Linke SJ. Ocular residual astigmatism: Effects of demographic and ocular parameters in myopic laser in situ keratomileusis. *J.Cataract Refract.Surg.*2014; 40: 232-238.
- [30] Kymionis GD. Correcting Astigmatism With the Excimer Laser. *Cataract & Refract.Surg.*2010,25-27.
- [31] Villegas EA, Alcón E, Artal P. Minimum amount of astigmatism that should be corrected. *J.Cataract Refract.Surg.*2014, 40: 13-19.
- [32] Wesemann W. Erfahrungen mit dem handgehaltenen Autorefraktometer „Retinomax K-plus“. *DOZ* 1998, 4: 28-32.
- [33] Bühren J, Kohnen T. Anwendung der Wellenfrontanalyse in Klinik und Wissenschaft, Vom irregulären Astigmatismus zu Aberrationen höherer Ordnung – Teil II: Beispiele. *Ophthalmologie* 2007; 104, 991-1008.
- [34] Dietze H, Refraktion. In: Dietze H. *Die optometrische Untersuchung*. Stuttgart: Thieme, 2008: 60-107.
- [35] Degle S, Hofmann Y. Abhängigkeit der Refraktion von Beleuchtung und Pupillendurchmesser. *DOZ* 2009, 8: 38-41.
- [36] Alpíns NA, Walsh G. Aberrometry and topography in the vector analysis of refractive laser surgery. In: Boyd F B, Agarwal A, editors. *Wavefront Analysis, Aberrometers and Corneal Topography*. El Dorado, Panama: Highlights of Ophthalmology, 2003: 313-322.
- [37] Hardten DR, Lindstrom RL. Basics and diagnostic applications of the vixs wavescan system. In: Boyd F B, Agarwal A, editors. *Wavefront Analysis*,

Aberrometers and Corneal Topography. El Dorado, Panama: Highlights of Ophthalmology, 2003: 283-303.

- [38] Kim JR, Hwang HB, Mun SJ, Chung YT, Kim HS. Efficacy, predictability, and safety of small incision lenticule extraction: 6-months prospective cohort study. BMC Ophthalmol.2014, 14:117.

## 7 Anhang

### 7.1 Tabellen

Tab. 5 Vorhersagbarkeit „Aberrometergruppe“

Gruppe 2, Gruppe 3,	-2 to - 1,51	-1,50 to - 1,01	-1,0 to -0,51	-0,5 to -0,26	-0,25 to +0,25	+0,25 to +0,50	+0,51 to +1,0	+1,01 to +1,5	+1,51 to +2,0
Postop 1 Monat 73 Augen ±0.50 D: 88% ±1.00 D: 99%	0%	0%	1%	1%	78%	8%	10%	1%	0%
Postop 3 Monate 66 Augen ±0.50 D: 98% ±1.00 D: 100%	0%	0%	0%	3%	91%	5%	2%	0%	0%
Postop 6 Monate 62 Augen ±0.50 D: 100% ±1.00 D: 100%	0%	0%	0%	3%	92%	5%	0%	0%	0%
Postop 9 Monate 39 Augen ±0.50 D: 95% ±1.00 D: 100%	0%	0%	5%	8%	79%	8%	0%	0%	0%
Postop 12 Monate 64 Augen ±0.50 D: 95% ±1.00 D: 98%	2%	0%	3%	5%	88%	3%	0%	0%	0%

Tab. 6 Vorhersagbarkeit „Vergleichsgruppe“

Vergleichsgruppe,	<-2	-2 to -1,51	-1,50 to -1,01	-1,0 to -0,51	-0,5 to -0,26	-0,25 to +0,25	+0,25 to +0,50	+0,51 to +1,0	+1,01 to +1,5	+1,51 to +2,0
Postop 1 Monat 228 Augen ±0.50 D: 92% ±1.00 D: 97%	0%	1%	0%	3%	5%	82%	5%	3%	1%	0%
Postop 3 Monate 197 Augen ±0.50 D: 91% ±1.00 D: 98%	0%	1%	1%	6%	3%	87%	2%	1%	0%	0%
Postop 6 Monate 141 Augen ±0.50 D: 90% ±1.00 D: 95%	1%	1%	3%	5%	8%	80%	2%	0%	0%	0%
Postop 9 Monate 85 Augen ±0.50 D: 84% ±1.00 D: 93%	2%	2%	2%	8%	5%	76%	2%	1%	0%	0%
Postop 1 Jahr 182 Augen ±0.50 D: 84% ±1.00 D: 91%	2%	2%	5%	6%	5%	77%	2%	1%	0%	1%

Tab. 7 Vorhersagbarkeit, deskriptive Statistiken

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Gruppe 1 Beh. 2/3	Subjektive Refraktion: Sphärisches Äquivalent	73	-4,26164	2,385735	-11,065	-1,090	-5,55750	-3,78500	-2,32750
	WASCA: Sphärisches Äquivalent	73	-4,2947	2,02842	-9,77	-,63	-5,8075	-3,9800	-2,6275
	Sphärisches Äquivalent 1 Mon.	73	,09	,318	-1	1	,00	,00	,00
	Sphärisches Äquivalent 3 Mon.	66	-,01	,196	-1	0	,00	,00	,00
	Sphärisches Äquivalent 6 Mon.	62	,00	,222	-1	1	,00	,00	,00
	Sphärisches Äquivalent 9 Mon.	39	-,05	,276	-1	1	,00	,00	,00
	Sphärisches Äquivalent 1 Jahr	64	-,0820	,39605	-2,75	,25	,0000	,0000	,0000
Gruppe 2	Subjektive Refraktion: Sphärisches Äquivalent	237	-4,91371	2,423267	-11,425	-1,000	-6,62500	-4,62500	-3,00000
	WASCA: Sphärisches Äquivalent	0	.	.	.	.	.	.	.
	Sphärisches Äquivalent 1 Mon.	228	-,01	,338	-2	2	,00	,00	,00
	Sphärisches Äquivalent 3 Mon.	197	-,08	,330	-2	1	,00	,00	,00
	Sphärisches Äquivalent 6 Mon.	141	-,15	,461	-3	1	,00	,00	,00
	Sphärisches Äquivalent 9 Mon.	85	-,20	,520	-2	1	-,19	,00	,00
	Sphärisches Äquivalent 1 Jahr	182	-,1928	,56804	-3,00	1,75	-,1563	,0000	,0000

Tab. 8 Vorhersagbarkeit 1 Monat, Kreuztabelle

Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
Sphärisches Äquivalent 1 Mon. $\leq  0,25D $	nein	Anzahl	14	48	62
		% innerhalb von Gruppe	19,2%	20,3%	20,0%
	ja	Anzahl	59	189	248
		% innerhalb von Gruppe	80,8%	79,7%	80,0%
Gesamt		Anzahl	73	237	310
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 9 Vorhersagbarkeit 3 Monate, Kreuztabelle

Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
Sphärisches Äquivalent 3 Mon. ≤  0,25D	nein	Anzahl	9	65	74
		% innerhalb von Gruppe	12,3%	27,4%	23,9%
	ja	Anzahl	64	172	236
		% innerhalb von Gruppe	87,7%	72,6%	76,1%
Gesamt		Anzahl	73	237	310
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 10 Vorhersagbarkeit 6 Monate, Kreuztabelle

Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
Sphärisches Äquivalent 6 Mon. ≤  0,25D	nein	Anzahl	15	123	138
		% innerhalb von Gruppe	20,5%	51,9%	44,5%
	ja	Anzahl	58	114	172
		% innerhalb von Gruppe	79,5%	48,1%	55,5%
Gesamt		Anzahl	73	237	310
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 11 Vorhersagbarkeit 9 Monate, Kreuztabelle

Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
Sphärisches Äquivalent 9 Mon. ≤  0,25D	nein	Anzahl	39	172	211
		% innerhalb von Gruppe	53,4%	72,6%	68,1%
	ja	Anzahl	34	65	99
		% innerhalb von Gruppe	46,6%	27,4%	31,9%
Gesamt		Anzahl	73	237	310
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 12 Vorhersagbarkeit 12 Monate, Kreuztabelle

Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
Sphärisches Äquivalent 12 Mon. $\leq  0,25D $	Nein	Anzahl	14	97	111
		% innerhalb von Gruppe	19,2%	40,9%	35,8%
	Ja	Anzahl	59	140	199
		% innerhalb von Gruppe	80,8%	59,1%	64,2%
Gesamt		Anzahl	73	237	310
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 13 Wirksamkeit, deskriptive Statistiken

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Gruppe 1, Beh. 2/3	log UCVA 1 Mon.	73	,0478	,07307	-,20	,20	,0000	,0969	,0969
	log UCVA 3 Mon.	66	,0512	,06926	-,30	,10	,0000	,0969	,0969
	log UCVA 6 Mon.	62	,0437	,12604	-,82	,10	,0000	,0969	,0969
	log UCVA 9 Mon.	39	,0519	,08386	-,30	,10	,0000	,0969	,0969
	log UCVA 12 Mon.	64	,0347	,16327	-1,00	,20	,0000	,0969	,0969
Gruppe 2	log UCVA 1 Mon.	226	,0396	,09945	-,30	,20	,0000	,0969	,0969
	log UCVA 3 Mon.	191	,0463	,13197	-,52	,20	,0000	,0969	,0969
	log UCVA 6 Mon.	141	,0397	,12243	-,40	,20	,0000	,0969	,0969
	log UCVA 9 Mon.	73	-,0030	,15550	-,52	,20	-,0969	,0000	,0969
	log UCVA 12 Mon.	177	,0097	,15022	-,70	,20	,0000	,0969	,0969

Tab. 14 Wirksamkeit 1 Monat, Kreuztabelle

UCVA 1 Mon. $\leq 0,5$ * Gruppe Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
UCVA 1 Mon. $\leq 0,5$	ja	Anzahl	73	228	301
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl	73	228	301
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 15 Wirksamkeit 3 Monate, Kreuztabelle

UCVA 3 Mon. $\leq 0,5$ * Gruppe Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
UCVA 3 Mon. $\leq$ 0,5	nein	Anzahl	0	5	5
		% innerhalb von Gruppe	,0%	2,6%	1,9%
	ja	Anzahl	66	192	258
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	97,4%	98,1%
Gesamt		Anzahl	66	197	263
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 16 Wirksamkeit 6 Monate, Kreuztabelle

UCVA 6 Mon. $\leq 0,5$ * Gruppe Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
UCVA 6 Mon. $\leq$ 0,5	nein	Anzahl	1	2	3
		% innerhalb von Gruppe	1,6%	1,4%	1,5%
	ja	Anzahl	61	139	200
		% innerhalb von Gruppe	98,4%	98,6%	98,5%
Gesamt		Anzahl	62	141	203
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 17 Wirksamkeit 9 Monate, Kreuztabelle

UCVA 9 Mon. $\leq 0,5$ * Gruppe Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
UCVA 9 Mon. $\leq$ 0,5	nein	Anzahl	0	2	2
		% innerhalb von Gruppe	,0%	2,4%	1,8%
	ja	Anzahl	39	83	122
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	97,6%	98,2%
Gesamt		Anzahl	39	85	124
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 18 Wirksamkeit 12 Monate, Kreuztabelle

UCVA 1 Jahr $\leq$ 0,5 * Gruppe Kreuztabelle					
			Gruppe		Gesamt
			Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2	
UCVA 1 Jahr $\leq$ 0,5	nein	Anzahl	2	8	10
		% innerhalb von Gruppe	3,1%	4,4%	3,7%
	ja	Anzahl	62	174	236
		% innerhalb von Gruppe	96,9%	95,6%	96,3%
Gesamt		Anzahl	64	182	242
		% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 19 Visuelle Rehabilitation „Aberrometergruppe“

Gruppe 2, Gruppe 3, Target plano only	1,6[D] oder besser	1,25[D] oder besser	1,0[D] oder besser	0,8[D] oder besser	0,63[D] oder besser	0,5[D] oder besser	0,4[D] oder besser
CDVA Präop 73 Augen	0%	64%	96%	100%	100%	100%	100%
UDVA Postop 1 Monat 73 Augen	1%	60%	89%	99%	100%	100%	100%
UDVA Postop 3 Monate 66 Augen	0%	61%	95%	98%	98%	100%	100%
UDVA Postop 6 Monate 61 Augen	0%	64%	97%	98%	100%	100%	100%
UDVA Postop 9 Monate 39 Augen	0%	69%	90%	97%	97%	100%	100%
UDVA Postop 1 Jahr 64 Augen	3%	63%	92%	95%	97%	97%	97%

Tab. 20 Visuelle Rehabilitation „Vergleichsgruppe“

Vergleichsgruppe, Target plano only	1,6[D] oder besser	1,25[D] oder besser	1,0[D] oder besser	0,8[D] oder besser	0,63[D] oder besser	0,5[D] oder besser	0,4[D] oder besser
CDVA Präop 237 Augen	1%	43%	90%	100%	100%	100%	100%
UDVA Postop 1 Monat 228 Augen	8%	56%	80%	94%	98%	100%	100%
UDVA Postop 3 Monate 197 Augen	12%	66%	83%	93%	95%	97%	98%
UDVA Postop 6 Monate 141 Augen	13%	59%	77%	91%	96%	99%	100%
UDVA Postop 9 Monate 85 Augen	14%	45%	67%	81%	90%	97%	99%
UDVA Postop 1 Jahr 182 Augen	3%	58%	76%	86%	89%	96%	98%

Tab. 21 Sicherheit „Aberrometergruppe“

Gruppe 2, Gruppe 3,	Safety index	verloren >2	verloren 2	verloren 1	unverändert	gewonnen 1	gewonnen 2	gewonnen >2
Postop 1 Monat 73 Augen	1,01	0%	0%	14%	70%	14%	3%	0%
Postop 3 Monate 66 Augen	1,02	0%	2%	9%	73%	14%	3%	0%
Postop 6 Monate 62 Augen	1,02	0%	0%	15%	65%	18%	3%	0%
Postop 9 Monate 39 Augen	1,05	0%	0%	8%	67%	23%	3%	0%
Postop 12 Monate 64 Augen	1,02	0%	0%	16%	66%	16%	3%	0%

Tab. 22 Sicherheit „Vergleichsgruppe“

Vergleichsgruppe,	Safety index	verloren >2	verloren 2	verloren 1	unverändert	gewonnen 1	gewonnen 2	gewonnen n > 2
Postop 1 Monat 227 Augen	1,09	0%	0%	8%	52%	35%	5%	0%
Postop 3 Monate 197 Augen	1,11	0%	0%	7%	50%	38%	5%	0%
Postop 6 Monate 141 Augen	1,14	0%	0%	6%	45%	41%	8%	0%
Postop 9 Monate 85 Augen	1,12	0%	0%	11%	44%	36%	9%	0%
Postop 12 Monate 182 Augen	1,08	0%	0%	9%	51%	38%	2%	0%

Tab. 23 Sicherheit präoperativ - 3 Monaten, Kreuztabelle

BCVA (Zeilen) präoperativ * BCVA (Zeilen) 3 Mon. * Gruppe Kreuztabelle											
Gruppe			BCVA (Zeilen) 3 Mon.						Gesamt		
			1,6	1,25	1,0	0,8	0,63	0,5			
Gruppe 1 Beh. 2/3	BCVA (Zeilen) präoperativ	1,25	Anzahl		34	6	1			41	
			% der Gesamtzahl		51,5%	9,1%	1,5%			62,1%	
		1,0	Anzahl		8	14	0			22	
			% der Gesamtzahl		12,1%	21,2%	,0%			33,3%	
		0,8	Anzahl		2	1	0			3	
			% der Gesamtzahl		3,0%	1,5%	,0%			4,5%	
	Gesamt	Anzahl		44	21	1			66		
% der Gesamtzahl			66,7%	31,8%	1,5%			100,0%			
Gruppe 2	BCVA (Zeilen) präoperativ	1,6	Anzahl	1	2	0	0	0	0	3	
			% der Gesamtzahl	,5%	1,0%	,0%	,0%	,0%	,0%	1,6%	
		1,25	Anzahl	19	58	4	1	0	0	82	
			% der Gesamtzahl	9,9%	30,4%	2,1%	,5%	,0%	,0%	42,9%	
		1,0	Anzahl	8	52	27	4	0	0	91	
			% der Gesamtzahl	4,2%	27,2%	14,1%	2,1%	,0%	,0%	47,6%	
		0,8	Anzahl	0	3	1	8	2	1	15	
			% der Gesamtzahl	,0%	1,6%	,5%	4,2%	1,0%	,5%	7,9%	
		Gesamt	Anzahl	28	115	32	13	2	1	191	
		% der Gesamtzahl		14,7%	60,2%	16,8%	6,8%	1,0%	,5%	100,0%	
Gesamt		BCVA (Zeilen) präoperativ	1,6	Anzahl	1	2	0	0	0	0	3
				% der Gesamtzahl	,4%	,8%	,0%	,0%	,0%	,0%	1,2%
			1,25	Anzahl	19	92	10	2	0	0	123
				% der Gesamtzahl	7,4%	35,8%	3,9%	,8%	,0%	,0%	47,9%
			1,0	Anzahl	8	60	41	4	0	0	113

		% der Gesamtzahl	3,1%	23,3%	16,0%	1,6%	,0%	,0%	44,0%
	0,8	Anzahl	0	5	2	8	2	1	18
		% der Gesamtzahl	,0%	1,9%	,8%	3,1%	,8%	,4%	7,0%
	Gesamt	Anzahl	28	159	53	14	2	1	257
		% der Gesamtzahl	10,9%	61,9%	20,6%	5,4%	,8%	,4%	100,0%

Tab. 24 Sicherheit präoperativ - 12 Monaten, Kreuztabelle

BCVA (Zeilen) präoperativ * BCVA (Zeilen) 1 Jahr * Gruppe Kreuztabelle									
Gruppe			BCVA (Zeilen) 1 Jahr					Gesamt	
			1,6	1,25	1,0	0,8	0,63		
Gruppe 1, Beh. 2/3	BCVA (Zeilen) präoperativ	1,25	Anzahl	2	29	10			41
			% der Gesamtzahl	3,1%	45,3%	15,6%			64,1%
		1,0	Anzahl	0	8	13			21
			% der Gesamtzahl	,0%	12,5%	20,3%			32,8%
		0,8	Anzahl	0	2	0			2
			% der Gesamtzahl	,0%	3,1%	,0%			3,1%
	Gesamt		Anzahl	2	39	23			64
			% der Gesamtzahl	3,1%	60,9%	35,9%			100,0%
Gruppe 2	BCVA (Zeilen) präoperativ	1,6	Anzahl	0	3	0	0	0	3
			% der Gesamtzahl	,0%	1,7%	,0%	,0%	,0%	1,7%
		1,25	Anzahl	6	60	12	0	0	78
			% der Gesamtzahl	3,4%	33,9%	6,8%	,0%	,0%	44,1%
		1,0	Anzahl	0	52	24	1	0	77
			% der Gesamtzahl	,0%	29,4%	13,6%	,6%	,0%	43,5%
	0,8	Anzahl	0	4	8	5	2	19	
		% der Gesamtzahl	,0%	2,3%	4,5%	2,8%	1,1%	10,7%	
Gesamt		Anzahl	6	119	44	6	2	177	
		% der Gesamtzahl	3,4%	67,2%	24,9%	3,4%	1,1%	100,0%	
Gesamt	BCVA (Zeilen) präoperativ	1,6	Anzahl	0	3	0	0	0	3
			% der Gesamtzahl	,0%	1,2%	,0%	,0%	,0%	1,2%
		1,25	Anzahl	8	89	22	0	0	119
			% der Gesamtzahl	3,3%	36,9%	9,1%	,0%	,0%	49,4%
		1,0	Anzahl	0	60	37	1	0	98
			% der Gesamtzahl	,0%	24,9%	15,4%	,4%	,0%	40,7%
	0,8	Anzahl	0	6	8	5	2	21	
		% der Gesamtzahl	,0%	2,5%	3,3%	2,1%	,8%	8,7%	
Gesamt		Anzahl	8	158	67	6	2	241	
		% der Gesamtzahl	3,3%	65,6%	27,8%	2,5%	,8%	100,0%	

Tab. 25 Sicherheit, Diff. Stufen (Zeilen) 3 Monate – präop., Kreuztabelle

Kreuztabelle						
		Gruppe			Gesamt	
		Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2			
Diff. Stufen (Zeilen) 3 Mon. - präop.	-2	Anzahl	1	2	3	
		% innerhalb von Gruppe	1,5%	1,0%	1,2%	
	-1	Anzahl	6	12	18	
		% innerhalb von Gruppe	9,1%	6,3%	7,0%	
	0	Anzahl	48	94	142	
		% innerhalb von Gruppe	72,7%	49,2%	55,3%	
	1	Anzahl	9	72	81	
		% innerhalb von Gruppe	13,6%	37,7%	31,5%	
	2	Anzahl	2	11	13	
		% innerhalb von Gruppe	3,0%	5,8%	5,1%	
	Gesamt		Anzahl	66	191	257
			% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 26 Sicherheit, Diff. Stufen (Zeilen) 12 Monate – präop., Kreuztabelle

Kreuztabelle						
		Gruppe			Gesamt	
		Gruppe 1, Beh. 2/3	Gruppe 2			
Diff. Stufen (Zeilen) 1 Jahr - präop.	-1	Anzahl	10	18	28	
		% innerhalb von Gruppe	15,6%	10,2%	11,6%	
	0	Anzahl	42	89	131	
		% innerhalb von Gruppe	65,6%	50,3%	54,4%	
	1	Anzahl	10	66	76	
		% innerhalb von Gruppe	15,6%	37,3%	31,5%	
	2	Anzahl	2	4	6	
		% innerhalb von Gruppe	3,1%	2,3%	2,5%	
	Gesamt		Anzahl	64	177	241
			% innerhalb von Gruppe	100,0%	100,0%	100,0%

Tab. 27 Stabilität „Aberrometergruppe“

Gruppe 2, Gruppe 3,	präop	postop 1 Monat	postop 3 Monate	postop 6 Monate	postop 9 Monate	postop 12 Monate
AvgEquiv	-4,24	0,12	0,02	0,02	-0,04	-0,05
'StDev+'	-1,84	0,46	0,22	0,20	0,26	0,26
'StDev-'	-6,65	-0,22	-0,17	-0,16	-0,33	-0,37
	73	73	66	62	39	64
Anz	73 Augen	73 Augen	66 Augen	62 Augen	39 Augen	64 Augen

Tab. 28 Stabilität „Vergleichsgruppe“

Vergleichsgruppe,	präop	postop 1 Monat	postop 3 Monate	postop 6 Monate	postop 9 Monate	postop 12 Monate
AvgEquiv	-4,91	-0,01	-0,08	-0,16	-0,20	-0,21
'StDev+'	-2,49	0,34	0,25	0,30	0,33	0,34
'StDev-'	-7,34	-0,35	-0,41	-0,62	-0,72	-0,75
	237	228	197	141	85	182
Anz	237 Augen	228 Augen	197 Augen	141 Augen	85 Augen	182 Augen

Tab. 29 Stabilität, deskriptive Statistiken

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Gruppe 1, Beh. 2/3	Diff. Sphärisches Äquivalent 1 Jahr - 1 Mon.	64	-,1777	,40447	-2,00	,88	-,4375	,0000	,0000
	Diff. Sphärisches Äquivalent 1 Jahr - 3 Mon.	61	-,0758	,27317	-1,50	,25	,0000	,0000	,0000
Gruppe 2	Diff. Sphärisches Äquivalent 1 Jahr - 1 Mon.	173	-,1906	,52407	-2,50	1,75	-,3125	,0000	,0000
	Diff. Sphärisches Äquivalent 1 Jahr - 3 Mon.	165	-,1324	,44912	-2,50	1,75	-,2500	,0000	,0000

Tab. 30 Astigmatismus „Aberrometergruppe“

Gruppe 2, Gruppe 3,	≤ 0.25	0.26 to 0.50	0.51 to 0.75	0.76 to 1.00	1.01 to 1.25	1,26 to 1.50	1.51 to 2.00	2.01 to 3.00	3.01 to 4.00
Präop 73 Augen ≤0.5D: 49% ≤1.0D: 70%	25%	25%	8%	12%	7%	7%	7%	5%	4%
Postop 1 Monat 73 Augen ≤0.5D: 100% ≤1.0D: 100%	90%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Postop 3 Monate 66 Augen ≤0.5D: 100% ≤1.0D: 100%	98%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Postop 6 Monate 62 Augen ≤0.5D: 100% ≤1.0D: 100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Postop 9 Monate 39 Augen ≤0.5D: 100% ≤1.0D: 100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Postop 12 Monate 64 Augen ≤0.5D: 100% ≤1.0D: 100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Tab. 31 Astigmatismus „Vergleichsgruppe“

Vergleichsgruppe,	≤ 0.25	0.26 to 0.50	0.51 to 0.75	0.76 to 1.00	1.01 to 1.25	1,26 to 1.50	1.51 to 2.00	2.01 to 3.00	3.01 to 4.00
Präop 237 Augen ≤0.5D: 36% ≤1.0D: 65%	12%	24%	18%	11%	8%	5%	11%	8%	2%
Postop 1 Monat 228 Augen ≤0.5D: 96% ≤1.0D: 100%	83%	12%	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%
Postop 3 Monate 197 Augen ≤0.5D: 98% ≤1.0D: 99%	90%	8%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
Postop 6 Monate 141 Augen ≤0.5D: 94% ≤1.0D: 100%	87%	6%	4%	2%	0%	0%	0%	0%	0%
Postop 9 Monate 85 Augen ≤0.5D: 94% ≤1.0D: 98%	89%	5%	1%	2%	2%	0%	0%	0%	0%
Postop 12 Monate 182 Augen ≤0.5D: 92% ≤1.0D: 98%	87%	5%	3%	2%	1%	1%	1%	0%	0%

Tab. 32 Astigmatismus, deskriptive Statistiken

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Gruppe 1, Beh. 2/3	Zylinder 1 Mon.	73	-,04	,156	-1	1	,00	,00	,00
	Zylinder 3 Mon.	66	-,01	,068	-1	0	,00	,00	,00
	Zylinder 6 Mon.	62	,00	,000	0	0	,00	,00	,00
	Zylinder 9 Mon.	39	,00	,000	0	0	,00	,00	,00
	Zylinder 1 Jahr	64	,000	,0000	,0	,0	,000	,000	,000
Gruppe 2	Zylinder 1 Mon.	228	-,11	,243	-2	0	,00	,00	,00
	Zylinder 3 Mon.	197	-,06	,190	-1	0	,00	,00	,00
	Zylinder 6 Mon.	141	-,09	,234	-1	0	,00	,00	,00
	Zylinder 9 Mon.	85	-,11	,271	-1	0	,00	,00	,00
	Zylinder 1 Jahr	182	-,118	,2993	-1,8	,0	,000	,000	,000

Tab. 33 Vergleich Messmethoden der „Aberrometergruppe“, Zylinderwerte, deskriptive Statistiken

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Gruppe 1, Beh. 2/3	Subjektive Refraktion: Zylinder	73	-1,0000	,83798	-3,75	,00	-1,3750	-,7500	-,5000
	WASCA: Zylinder	73	-,9822	,82407	-3,84	-,11	-1,2950	-,7400	-,4050
	Humphrey: Zylinder	73	-1,2465	1,00745	-4,50	,00	-1,7500	-1,0000	-,5000

Tab. 34 Vergleich Messmethoden der „Aberrometergruppe“, Achsenwerte, deskriptive Statistiken

Deskriptive Statistiken									
Gruppe		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25.	50. (Median)	75.
Gruppe 1, Beh. 2/3	Subjektive Refraktion: Achse	73	73,37	69,534	0	179	5,00	55,00	157,50
	WASCA: Achse	73	92,30	69,506	0	180	11,00	94,00	170,00
	Humphrey: Achse	73	84,32	72,116	0	180	14,00	63,50	168,00

## **7.2 Tabellenverzeichnis**

Tab.1 Gebräuchliche Wellenfrontmessmethoden und repräsentative Hersteller, in deren Geräte diese Methoden Anwendung finden[10] .....	4
Tab.2 Altersverteilung und präoperative Ausgangsrefraktionen der „Aberrometergruppe“ .....	16
Tab.3 Altersverteilung und präoperative Ausgangsrefraktionen der „Vergleichsgruppe“ .....	17
Tab.4 Anzahl der nachuntersuchten Augen des Patientenkollektivs zu jedem Zeitpunkt.....	17
Tab. 5 Vorhersagbarkeit „Aberrometergruppe“.....	55
Tab. 6 Vorhersagbarkeit „Vergleichsgruppe“ .....	56
Tab. 7 Vorhersagbarkeit, deskriptive Statistiken.....	57
Tab. 8 Vorhersagbarkeit 1 Monat, Kreuztabelle .....	57
Tab. 9 Vorhersagbarkeit 3 Monate, Kreuztabelle .....	58
Tab. 10 Vorhersagbarkeit 6 Monate, Kreuztabelle .....	58
Tab. 11 Vorhersagbarkeit 9 Monate, Kreuztabelle .....	58
Tab. 12 Vorhersagbarkeit 12 Monate, Kreuztabelle .....	59
Tab. 13 Wirksamkeit, deskriptive Statistiken .....	59
Tab. 14 Wirksamkeit 1 Monat, Kreuztabelle .....	59
Tab. 15 Wirksamkeit 3 Monate, Kreuztabelle .....	60
Tab. 16 Wirksamkeit 6 Monate, Kreuztabelle .....	60
Tab. 17 Wirksamkeit 9 Monate, Kreuztabelle .....	60
Tab. 18 Wirksamkeit 12 Monate, Kreuztabelle .....	61
Tab. 19 Visuelle Rehabilitation „Aberrometergruppe“ .....	61
Tab. 20 Visuelle Rehabilitation „Vergleichsgruppe“ .....	62
Tab. 21 Sicherheit „Aberrometergruppe“ .....	62
Tab. 22 Sicherheit „Vergleichsgruppe“ .....	63
Tab. 23 Sicherheit präoperativ - 3 Monaten, Kreuztabelle.....	63
Tab. 24 Sicherheit präoperativ - 12 Monaten, Kreuztabelle.....	64
Tab. 25 Sicherheit, Diff. Stufen (Zeilen) 3 Monate – präop., Kreuztabelle.....	65
Tab. 26 Sicherheit, Diff. Stufen (Zeilen) 12 Monate – präop., Kreuztabelle.....	65
Tab. 27 Stabilität „Aberrometergruppe“ .....	65

Tab. 28 Stabilität „Vergleichsgruppe“ .....	66
Tab. 29 Stabilität, deskriptive Statistiken .....	66
Tab. 30 Astigmatismus „Aberrometergruppe“ .....	67
Tab. 31 Astigmatismus „Vergleichsgruppe“ .....	68
Tab. 32 Astigmatismus, deskriptive Statistiken.....	69
Tab. 33 Vergleich Messmethoden der „Aberrometergruppe“, Zylinderwerte, deskriptive Statistiken.....	69
Tab. 34 Vergleich Messmethoden der "Aberrometergruppe", Achsenwerte, deskriptive Statistiken.....	69

### **7.3 Abbildungsverzeichnis**

Abb.1 Zusammenhang zwischen Lichtstrahl und Wellenfront [9].....	4
Abb.2a und b Vereinfachte Darstellung der Funktionsweise eines Hartmann-Shack-Aberrometer [10].....	5
Abb.3 Funktionsprinzip des Hartmann-Shack-Sensors [8] .....	7
Abb.4 Punktmuster einer CCD-Kamera mit simulierten Hornhaut [12] .....	7
Abb.5 Vorhersagbarkeit „Aberrometergruppe“ .....	19
Abb.6 Vorhersagbarkeit „Vergleichsgruppe“ .....	20
Abb.7 Vorhersagbarkeit „Aberrometergruppe“ nach einem Jahr .....	21
Abb.8 Vorhersagbarkeit „Vergleichsgruppe“ nach einem Jahr .....	22
Abb.9 Wirksamkeit nach drei Monaten.....	24
Abb.10 Wirksamkeit nach neun Monaten.....	24
Abb.11 Wirksamkeit nach zwölf Monaten.....	25
Abb.12 visuelle Rehabilitation „Aberrometergruppe“ .....	26
Abb.13 visuelle Rehabilitation „Vergleichsgruppe“ .....	27
Abb.14 Sicherheit „Aberrometergruppe“ .....	29
Abb.15 Sicherheit „Vergleichsgruppe“ .....	29
Abb.16 Stabilität „Aberrometergruppe“ .....	31
Abb.17 Stabilität „Vergleichsgruppe“ .....	32
Abb.18 Zylinderwerte der „Aberrometergruppe“ .....	34
Abb.19 Zylinderwerte der „Vergleichsgruppe“ .....	34
Abb.20 Vergleich der präoperativen Zylinderwerte der WASCA-Messung mit den präoperativen Zylinderwerten der subjektiven Refraktion in der „Aberrometergruppe“ .....	36
Abb.21 Vergleich der präoperativen Zylinderwerte gemessen mit dem Autorefraktometer Humphrey und dem WASCA-Aberrometer in der „Aberrometergruppe“ .....	37
Abb.22 Vergleich der präoperativen Zylinderwerte gemessen mit dem Autorefraktometer Humphrey und den präoperativen Zylinderwerten der subjektiven Refraktion in der .....	37
Abb.23 Vergleich der präoperativen Achsenwerte der WASCA-Messung mit den präoperativen Zylinderwerten der subjektiven Refraktion in der „Aberrometergruppe“ .....	39

Abb.24 Vergleich der präoperativen Achsenwerte gemessen mit dem Autorefraktometer Humphrey und dem WASCA-Aberrometer in der „Aberrometergruppe“.....	39
Abb.25 Vergleich der präoperativen Achsenwerte gemessen mit dem Autorefraktometer Humphrey und den präoperativen Achsenwerten der subjektiven Refraktion in der „Aberrometergruppe“.....	40

## 8 Danksagung

Herrn Prof. Prof. Dr. Dieter Dausch danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas, seine Betreuung und stete Unterstützung bei der Ausführung der Arbeit.

Weiter gilt mein Dank Frau Ulrike von Hehn für die kompetente Beratung und Hilfe bei den statistischen Berechnungen.

Außerdem danke ich Herrn Matthias Wottke für die Hilfe bei der graphischen Gestaltung der Arbeit.

Bei dem Team der Augenlaserklinik Dr. B. Dausch Nürnberg möchte ich mich für die Unterstützung bei der Datengewinnung und für ihr Verständnis bedanken, vor allem bei Frau Bärbel Birner für ihre aufmunternden Worte und Frau Martina Birner, die telefonisch immer für mich erreichbar war.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meiner Schwester Birgit Thießen und ihrem Lebenspartner Thomas Möller sowie Uta Löhner für die Hilfe bei der Korrektur der Promotionsschrift.

Ich danke Frau Dr. Burgl Dausch, die mich liebevoll während der Besprechungen aufgenommen hat.

Schließlich danke ich meinem Lebenspartner Herrn Dr. Gerd-Christoph Schreyer und meinen Kindern Laura und Marlene für ihre unaufhörliche Unterstützung.

## **10 Erklärung**

**nach § 2 Abs. 2 Nrn. 6 und 7 der Promotionsordnung der Medizinischen Hochschule Hannover**

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Hochschule Hannover zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

**Lassen sich die refraktiven Ergebnisse nach Excimerlaserbehandlungen der Myopie mit Astigmatismus unter Zuhilfenahme der Aberrometrie noch verbessern?**

in der Augenlaserklinik Dr. B. Dausch Nürnberg  
unter Betreuung von Prof. Prof.\* Dr. med. Dieter Dausch

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Die Gelegenheit zum vorliegenden Promotionsverfahren ist mir nicht kommerziell vermittelt worden. Insbesondere habe ich keine Organisation eingeschaltet, die gegen Entgelt Betreuerinnen und Betreuer für die Anfertigung von Dissertationen sucht oder die mir obliegenden Pflichten hinsichtlich der Prüfungsleistungen für mich ganz oder teilweise erledigt.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Weiterhin versichere ich, dass ich den beantragten Titel bisher noch nicht erworben habe.

München, den

\*Associate Prof. Chung Ang Univ. Seoul