

Aus der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde
des Kopf- und Hautzentrums
der Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf
Abteilung Pleoptik und Orthoptik
Direktor: Prof. Dr. med W. Haase (i.R.)

**Bestimmung der physiologisch möglichen Sehschärfe bei
augengesunden Kindern im Alter von sechs bis sieben Jahren**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg
vorgelegt von Janett Heins
aus Lübz

Hamburg, 2007

Angenommen von dem Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am:

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs
Medizin der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende/r :

Prüfungsausschuss: 2. Gutachter/in:

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter/in:

meiner Familie gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einführung	6
2 Stand der Wissenschaft	10
2.1 Begriff des Visus	10
2.2 Visusbestimmung	13
2.2.1 Sehzeichen	13
2.2.1.1 Landolt-Ring als Normsehzeichen	13
2.2.1.2 Andere Sehzeichen	16
2.2.2 Erkennungsrate	17
2.2.3 Prüfungsfolge	20
2.2.4 Rahmenbedingungen	21
2.3 Visus von Kindern	22
2.3.1 Visuswerte	22
2.3.2 Vergleich Jungen und Mädchen	24
2.3.3 Unterschiede zwischen rechtem und linkem Auge	24
2.3.4 Altersspezifische Trennschwierigkeiten	24
2.3.5 Vergleich der mon- und binokularen Sehschärfe	25
3 Probanden und Methoden	27
3.1 Probanden	27
3.2 Methoden	27
3.2.1 Testverfahren	28
3.2.2 Hauptuntersuchung	35
3.2.2.1 Raum und Materialien	35
3.2.2.2 Durchführung	36
3.2.3 Nachuntersuchungen	40
3.2.4 Statistische Auswertungen	41
3.2.4.1 Mittelwertberechnungen	41
3.2.4.2 Signifikanzprüfungen	42

4 Ergebnisse	44
4.1 Visuswerte	44
4.2 Vergleich Mädchen und Jungen	46
4.3 Vergleich rechtes und linkes Auge	47
4.4 Trennschwierigkeiten (Crowding)	47
4.5 Vergleich des mon- und binokularen Visus	50
5 Diskussion	52
5.1 Visuswerte	52
5.1.1 Zuverlässigkeit der gemessenen Einzeldaten	52
5.1.1.1 Testbedingungen	52
5.1.1.2 Reproduzierbarkeit der Testergebnisse	55
5.1.2 Vergleich mit anderen Kindervisusstudien	56
5.1.3 Aussagekraft der Mittelwerte	59
5.2 Visus bei Mädchen und Jungen	60
5.3 Vergleich linkes und rechtes Auge	60
5.4 Trennschwierigkeiten	61
5.5 Monokulares und binokulares Sehen	61
5.6 Praxisempfehlungen	63
6 Zusammenfassung	66
7 Literaturverzeichnis	68
8 Danksagung	73
9 Lebenslauf	74
10 Erklärung	75

1 Einführung

Bei der Beurteilung der visuellen Leistungsfähigkeit eines Menschen ist die Sehschärfe, der sog. Visus, ein besonders wichtiger Parameter. Vom Visus hängt beispielsweise ab, ob und wie genau wir kleinste Details erkennen können [38]. Einem Leser mit sehr stark eingeschränktem Visus ist es unter Umständen nicht möglich, diesen Text zu lesen. Die Sehschärfebestimmung ist die häufigste Funktionsprüfung des Augenarztes mit möglicherweise weitreichenden Konsequenzen. Ergibt sich aus der Untersuchung eine Visusminderung, liegt diese vielen therapeutischen Entscheidungen zu Grunde. Ebenso kann das Gegenteil, eine Visusverbesserung als direktes quantitatives Maß für den Therapieerfolg gelten. So interessiert es den Kataraktchirurgen nach seinem Eingriff, welchen Visus der Patient hat. Der Netzhautchirurg macht die Indikation zur Operation ebenfalls vom Visus abhängig. Eine gute Sehschärfe ist Voraussetzung für den Zugang zu manchen Berufen, zum Flug- oder Führerschein [58]. In sozialmedizinischen Gutachten kann der Visus ein kritischer Parameter sein, wenn es um Rentenansprüche oder Invalidität geht.

Die Visuswerte der Menschen sind sehr unterschiedlich [38]. Neben Augenerkrankungen sind genetische Einflüsse und das Alter der Menschen für die Sehschärfe bestimmend. Bei einer normgerechten Prüfung können beispielsweise junge, augengesunde Probanden Visuswerte um 2,0 erreichen, während manche Senioren nur Visuswerte um 0,5 oder weniger haben [16].

Die Altersabhängigkeit der Sehschärfe ist unbestritten [16, 21], in ihrem detaillierten Verlauf herrscht jedoch noch Unklarheit. Bisher ist nicht durchgehend geklärt, welchem Alter welche konkrete Sehschärfe zuzuordnen ist. Auch für Kinder existieren nur wenige aussagekräftige wissenschaftliche Daten. Insbesondere die physiologischen Visuswerte bei Kindern unter neun Jahren wurden bisher nur unzureichend untersucht [56]. Die veröffentlichten Daten sind oft unter „praktisch klinischen“ Bedingungen erhoben worden, ohne Beachtung der bestehenden Richtlinien zur Visusbestimmung.

Die möglichst frühzeitige Bestimmung eines Referenzvisus bei Kindern ist besonders wichtig. Gerade in den ersten Lebensjahren können Störungen des visuellen Inputs zu einem nachhaltigen Entwicklungsrückstand führen [56, 57, 58, 59]. Ohne Therapie können aus solchen Entwicklungsstörungen irreversible Sehstörungen erwachsen. Dem kann nur durch konkrete Vorsorgeuntersuchungen begegnet werden [17]. Diese erfordern zwingend die Existenz eines Referenzvisus. Nur wenn ein solcher vorhanden ist, lassen sich rechtzeitig Refraktionsfehler wie Myopien, Hyperopien, Astigmatismen oder Amblyopien aufdecken. Ohne einen Referenzvisus drohen visuelle Funktionsstörungen unerkannt zu bleiben.

Auch im Hinblick auf die im Alter von sechs bis sieben Jahren beginnende Schulzeit ist ein Referenzvisus von großem Nutzen [60]. Nur wenn bekannt ist, welche Sehschärfe Kinder im Einschulungsalter üblicherweise haben, können Unterentwicklungen erkannt und rechtzeitig zu Beginn der Schulzeit behoben werden. Eine gute Sehschärfe ist unerlässlich für das Erlernen des Lesens oder das Erkennen des Tafelbildes. „Lesefaulheit“, Konzentrationsschwierigkeiten, psychosomatische Störungen oder auch permanente Unruhe sind nicht selten bedingt durch unentdeckte Ametropien [57]. Vielen Kindern, die auf Grund von pathologischen Veränderungen des funktionellen visuellen Systems unter den oben genannten Schwierigkeiten im Schulalltag leiden, kann durch das rechtzeitige Erkennen und Therapieren einer schlechten Sehschärfe geholfen werden. So lassen sich schlechte schulische Leistungen verbessern und nachhaltig soziale Schwierigkeiten des Kindes vermeiden [57, 60].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden 164 Kinder im Alter von sechs bis sieben Jahren untersucht und die Visuswerte detailliert ermittelt. Ergebnisse aus mon- und binokularen Messungen mit Einzel- und Reihenoptotypen wurden statistisch ausgewertet. Aus den Visuswerten der augengesunden Kinder wurden Referenzvisuswerte für die sechs- bis siebenjährigen Kinder abgeleitet.

Die Zahl der untersuchten Kinder erlaubt detaillierte Auswertungen der Befunde über die ermittelten Visuswerte hinaus. Deshalb enthält diese Studie neben der Normvisusbestimmung noch weitere statistische Angaben.

Es wurde statistisch überprüft, ob sich die Sehschärfe bei sechs- bis siebenjährigen Mädchen und Jungen signifikant voneinander unterscheidet.

In den Testreihen wird zwischen der Sehschärfe des linken und rechten Auges unterschieden. Es wird die Frage beantwortet, ob sich bei sechs- bis siebenjährigen Kindern Auffälligkeiten im Hinblick auf den Entwicklungsstand des linken im Vergleich zum rechten Auge feststellen lassen.

Die Arbeit beschäftigt sich außerdem mit der Frage, ob und wie intensiv Kinder im Einschulungsalter sog. Trennschwierigkeiten haben. Der Begriff steht für die wechselseitige Beeinflussung von Konturen mit der Folge einer verminderten Sehschärfe (auch als „crowding“ bezeichnet) [15, 43]. Buchstaben, die sehr dicht nebeneinander stehen, können weniger gut erkannt werden. Die vorliegende Arbeit beschreibt die maximal erreichbare Sehschärfe bezogen auf die Prüfung von sog. Reihenoptotypen und vergleicht die Befunde mit den Visuswerten für das Erkennen von Einzelsehzeichen. Dem behandelnden Arzt soll das Maß der Trennschwierigkeiten in der Altersgruppe der sechs- bis siebenjährigen Kinder an die Hand gegeben werden.

Das beidäugige (binokulare) Sehen ist dem einäugigen (monokularen) Sehen überlegen [2, 28]. Es wird gezeigt, wie groß die Differenz bei sechs- bis siebenjährigen Probanden ist.

Die Ziele dieser Dissertation lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Wie hoch ist der Referenzvisus bei augengesunden Kindern im Alter von sechs bis sieben Jahren?
2. Kann ein signifikanter Unterschied des Visus zwischen Mädchen und Jungen dieser Altersgruppe festgestellt werden?

3. Lassen sich bei sechs- bis siebenjährigen Kindern Unterschiede der Sehschärfe zwischen rechtem und linkem Auge feststellen?
4. Treten in diesem Alter noch Trennschwierigkeiten auf?
5. Wie verhält sich in der genannten Altersgruppe die monokulare Sehschärfe im Vergleich zur binokularen? Wie groß ist gegebenenfalls der Unterschied?

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie werden von Herrn Prof. Dr. Haase aus Hamburg weiterverwendet. Er beabsichtigt, eine zusammenfassende Arbeit zur Thematik des Visus in Abhängigkeit vom Alter zu veröffentlichen.

2 Stand der Wissenschaft

2.1 Begriff des Visus

Unter dem Begriff Visus, auch als zentrale Sehschärfe bezeichnet, versteht man das maximale räumliche Auflösungsvermögen geprüfter Augen. Die Sehleistung ohne Korrektur wird als Rohvisus (*Visus sine correctione*) bezeichnet. Allgemein hängt der Visus vom Gesamtzustand des Auges, der Sehbahn sowie der kortikalen Verarbeitungszentren ab. Trübungen der optischen Medien wie z.B. Katarakt oder Retinaveränderungen setzen den Visus herab. Die häufigste Ursache für einen verminderten Visus sind Refraktionsanomalien. Hierzu gehören unter anderem die Kurzsichtigkeit (Myopie), die Weitsichtigkeit (Hyperopie) oder die Hornhautkrümmung (Astigmatismus). Die Sehschärfebestimmung erfolgt unter optimaler Korrektur von Refraktionsanomalien, d.h., mit Sehhilfen wie Brille oder Kontaktlinsen.

Man unterscheidet zwischen Nah- und Fernvisus. Der Nahvisus ist die Sehschärfe in einer Entfernung von etwa 30 bis 40 cm und wird beispielsweise zum Lesen benötigt. Der Fernvisus ist die Sehschärfe ab einer Entfernung von mindestens einem Meter. Bei augengesunden Menschen sind Nah- und Fernvisus identisch [21]. In Sehschärfeuntersuchungen wird regelmäßig der Fernvisus bestimmt.

Für die klinische Beschreibung des Visus hat sich das Minimum separabile (*minimum angle of resolution*, MAR = *anguläres Auflösungsvermögen*) durchgesetzt. Es ist definiert als der Winkel, unter dem zwei eng zusammenliegende Punkte gerade noch als getrennt wahrgenommen werden können. Der Visus ist der Kehrwert des in Winkelminuten gemessenen Auflösungsvermögens. Der Visuswert ist eine Zahl ohne Dimension.

Die Angabe des Visus erfolgt in Form eines Dezimalbruches als Kehrwert des in Bogenminuten gemessenen Minimum separabile ($V=1/\alpha$ entspricht $V= \text{min}^{-1}$).

Beispiel für die Berechnung des Visus:

Beträgt α 1 Winkelminute, so ist $V=1/\alpha =1/1$, d.h. der Visus beträgt 1. Ist der Winkel kleiner, z.B. nur 0,5 Winkelminuten, so ergibt sich $1/0,5$ mit einem besseren Visus von 2. Wenn hingegen ein Objekt mit einem Sehwinkel von 5 Winkelminuten gerade noch erkannt wird, beträgt die Sehschärfe nur $1/5=0,2$.

Tab. 1: Sehschärfe-Vergleichstabelle

Dezimaldarstellung	Bruchdarstellung für den „Fünf-Meter-Visus“	Sehwinkel in Minuten
0,020	5/250	50,00
0,025	5/200	40,00
0,032	5/160	32,00
0,040	5/125	25,00
0,050	5/100	20,00
0,063	5/80	16,00
0,080	5/63	12,50
0,100	5/50	10,00
0,125	5/40	8,00
0,160	5/32	6,30
0,200	5/25	5,00
0,250	5/20	4,00
0,320	5/16	3,20
0,400	5/12,5	2,50
0,500	5/10	2,00
0,630	5/8	1,60
0,800	5/63	1,25
1,000	5/5	1,00
1,250	5/4	0,80
1,600	5/3,2	0,63
2,000	5/2,5	0,50
2,500	5/2	0,40

Diese Art der Visusangabe hat sich international durchgesetzt, doch liegen unterschiedliche Schreibweisen vor. Im deutschsprachigen Raum wird die

Dezimalschreibweise bevorzugt, im englischsprachigen Raum die Bruchschreibweise. Dabei steht der Zähler für den Prüfabstand in Metern.

Die Abstufung zwischen den einzelnen Visuswerten ist logarithmisch skaliert [51, 14, 36]. Eine Verbesserung der Sehschärfe um eine Visusstufe bedeutet in jedem Bereich der Skala eine Steigerung um den Faktor 1,2589 [53, 54].

Beispiel:

Der Patient A hat einen Visus von 0,8. Nach einer Therapie beträgt sein Visus 1,0. Der Patient B verbessert seinen Visus durch eine Therapie von 1,0 auf 1,25. Beide Patienten haben ihre Sehschärfe um den Faktor 1,2589 und damit um eine Visusstufe verbessert.

Die geometrische Folge der Visusstufen hat eine physiologische Begründung: Würde man die Visusstufen arithmetisch listen, ergäbe sich im oberen Visusbereich (also bei den gut sehenden Personen) eine unnötig genaue Darstellung (1,4 / 1,5 / 1,6 / 1,7 ...), bei den schwach Sehenden hingegen eine zu grobe Unterteilung (0,2 / 0,3 / 0,4 / 0,5 ...). Im Leben eines Menschen ist es vergleichsweise unbedeutend, ob er über einen sehr guten (1,6) oder einen ausgezeichneten Visus (2,0) verfügt. Hingegen ist es für ihn eine enorme Behinderung, wenn sich sein Visus von 0,4 auf 0,2 verschlechtert. Er könnte dann Objekte in seiner unmittelbaren Nähe (Gesichter, gefährliche Hindernisse u.ä.) kaum noch erkennen. Es ist ungleich wichtiger, kleine Verbesserungen bei den Sehbehinderten messen und bewerten zu können, als die Menschen mit „Adleraugen“ zu betreuen.

2.2 Visusbestimmung

Der Visus eines Probanden wird subjektiv bestimmt. Dem Prüfling werden standardisierte Objekte auf kontrastreichem Grund (sog. Sehzeichen) vorgestellt, die er erkennen und benennen soll. Es werden Sehzeichen vom Großen zum Kleinen angeboten. Jedes Sehzeichen repräsentiert einen konkreten Wert auf der Visusskala. Je kleiner die Sehzeichen sind, die der Proband erkennen kann, desto besser ist sein Visuswert.

Für das Verfahren der Visusprüfung existieren internationale (DIN EN ISO 8596 und 8597) und nationale Normen (DIN 58220 Teil 3, 5 und 6). Diese Normen sind bei gutachterlichen Sehschärfeproofungen und bei Zulassungsverfahren zwingend zu beachten. Auch bei klinischen Prüfungen sollten sie regelmäßig befolgt werden.

Die EN ISO 8596 regelt das Verfahren zur Feststellung der Sehschärfe für die Ferne unter Tageslichtbedingungen. Sie enthält Testkriterien, welche die äußeren Rahmenbedingungen, die Teststrategien und die Abbruchkriterien festlegen. Geregelt sind insbesondere die Beschaffenheit der zu erkennenden Objekte (Sehzeichen), die Prüfungsbedingungen, der Ablauf der Sehschärfeproofung und die Bewertungsmaßstäbe (insbesondere die für das Erreichen einer Visusstufe erforderlichen Erkennungsraten) [6].

2.2.1 Sehzeichen

2.2.1.1 Landolt-Ring als Normsehzeichen

Sehschärfeproofungen sind nach der EN ISO 8596 mit sog. Landolt-Ringen als Normsehzeichen durchzuführen [18].

Der Landolt-Ring hat die Form des Buchstaben C. Die Dicke der Linie und die Größe der Lücke entsprechen einem Fünftel des Außendurchmessers des

Ringes. Der Landolt-Ring wird den Prüflingen in unterschiedlichen Positionen angeboten. D.h., die Öffnung des Ringes weist in verschiedene Richtungen. Diese wechseln in zufälliger Abfolge. Der Prüfling wird gebeten, die jeweilige Öffnungsposition zu benennen (z.B. oben, unten, rechts oben usw.) Die richtige Benennung der jeweiligen Öffnungsposition des Landolt-Ringes ist die Basis jeder Sehschärfeprüfung.

Die Ringe sind den Probanden größenmäßig in logarithmischer Progression zu zeigen, entsprechend den Visusstufen. D.h., die angebotenen Ringgrößen und der Abstand des Probanden von der Sehtafel sind so zu wählen, dass die Winkel zwischen dem Auge des Betrachters und den unterschiedlich großen Öffnungen der Landolt-Ringe den Kehrwerten der Visusstufen entsprechen. Benennt der Proband aus einer Reihe gleichgroßer Landolt-Ringe eine repräsentative Anzahl von Öffnungspositionen richtig, verfügt er (mindestens) über einen Visus entsprechend dem Kehrwert des geleisteten Seh winkels in Winkelminuten.

Beispiel:

Ein Proband, der die Öffnung eines Landolt-Ringes mit einem Seh Winkel von zwei Winkelminuten noch zuverlässig erkennen kann, verfügt über einen Visus von $\frac{1}{2} = 0,5$ (Abbildung 1).

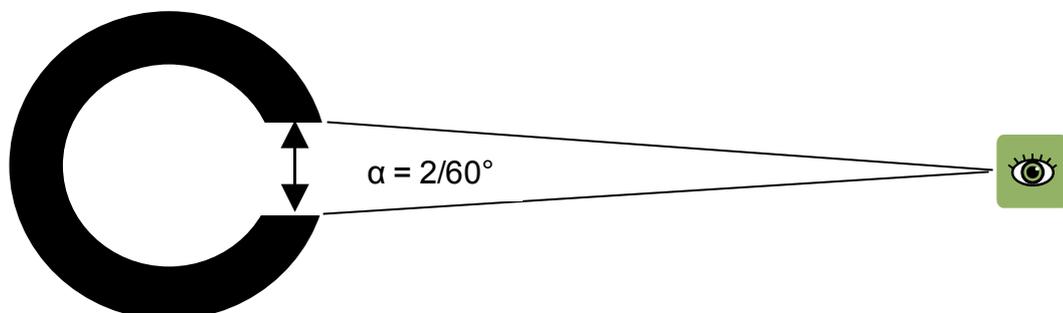


Abb. 1: Visusbestimmung mit dem Landolt-Ring

Nach der EN ISO 8596 sind Mindestanzahlen von Optotypen (Sehzeichenvariationen) pro Visusstufe verlangt. Die Zahlen sind ein Kompromiss zwischen den technischen Möglichkeiten und den statistischen Anforderungen. Große Sehzeichen brauchen nur in geringer Zahl, kleine müssen in höherer Zahl angeboten werden. Die Normsehzeichen müssen für die Visusstufen 0,05 bis 0,1 mindestens zweimal, von 0,125 bis 0,2 mindestens dreimal und von 0,25 bis 2,0 mindestens fünfmal gezeigt werden für acht mögliche Richtungen der Lücke des Ringes.

Die Landolt-Ringe sind den zu testenden Personen nach der EN ISO 8596 in acht Variationen anzubieten. D.h., die Öffnung des Landolt-Ringes weist nach dem Zufallsprinzip in acht verschiedene Richtungen (oben, unten, links, rechts, links oben, rechts oben, links unten oder rechts unten).

C-Test

Die Sehschärfepfung unter Verwendung des Landolt-Ringes erfolgt durch kontrastreiche Visustafeln, mit denen man insbesondere den „statischen“ Teil des Sehsystems, den, der auf unbewegte Reize spezialisiert ist, testen kann. Das Ziel einer klinisch brauchbaren Testvorlage ist die Prüfung der Sehschärfe und der Lesefähigkeit. *HAASE* und *HOHMANN* entwickelten aus dieser Vorgabe den C-Test (siehe Abbildung 2) [25]. Die C-Test-Tafeln zeigen nicht nur einzelne Landolt-Ringe, sog. Einzeloptotypen (EOP), sondern auch solche, die in horizontalen Reihen, den sog. Reihenoptypen (ROP) eng nebeneinander angeordnet sind. Einzeln angeordnete Landolt-Ringe weisen einen Mindestabstand von 35 Winkelminuten auf. Bei den in Reihe angeordneten Landolt-Ringen beträgt der Abstand nur 2,6 Winkelminuten. Die relativen Abstände zwischen den Optotypen bleiben durch sämtliche Visusstufen konstant. Die Größe und der Abstand der Optotypen untereinander beeinflussen die Erkennbarkeit der Sehzeichen. Bei weit auseinander liegenden Sehzeichen werden bessere Visuswerte als bei eng zusammen stehenden erreicht. Mit größer werdendem Visus wird es zunehmend schwieriger, die Sehzeichen voneinander zu trennen (sog. Trennschwierigkeiten, auch

„crowding“ genannt). Die Reihenanzordnung imitiert eine visuelle Stimulussituation, wie sie auch bei Lesetexten oder Zahlenreihen vorliegt. Somit gestattet der C-Test nicht nur die Prüfung von Einzeloptotypen, sondern gleichzeitig eine quantitative Prüfung der Trennschwierigkeiten.

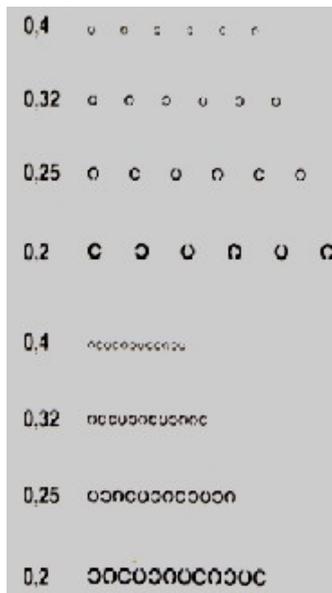


Abb. 2: C-Test nach Hohmann und Haase: oben Ausschnitt für Einzeloptotypen; unten Ausschnitt für Reihenoptotypen (Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlages)

2.2.1.2 Andere Sehzeichen

Neben den Landolt-Ringen hat die Wissenschaft eine Vielzahl von andersartigen Sehzeichen hervorgebracht. Diese kommen insbesondere dann zum Einsatz, wenn die zu prüfende Probandengruppe den Landolt-Ring aus Alters- oder Krankheitsgründen kognitiv nicht erfassen kann.

Säuglinge und Kleinkinder beispielsweise sind intellektuell noch nicht in der Lage, Landolt-Ringöffnungen korrekt zu benennen oder anzuzeigen. Ihnen werden andere Sehzeichen angeboten. Gängig sind Streifenmuster unterschiedlicher Feldgröße (getestet im sog. Preferential-Looking-Verfahren), geometrische Zeichen, die sog. E-Haken nach *SNELLEN* und *PFLÜGER* und kindgerechte Bilder [21].

2.2.2 Erkennungsrate

Das Verfahren der subjektiven Visusbestimmung hat zum Ziel, das maximale Sehvermögen eines Probanden zu bestimmen.

Hierfür ist es erforderlich, den Probanden bis an seine Leistungsgrenze zu testen. Die Landolt-Ringe sind dem Prüfling in immer kleiner werdender Größe zu zeigen. Die Untersuchung wird solange fortgesetzt, bis der Geprüfte die Öffnungen der Landolt-Ringe definitiv nicht mehr erkennen kann.

Der Übergang vom Erkennen zum Nichterkennen ist kein abrupt, sondern erstreckt sich über mehrere Visusstufen. Zu Beginn dieses Übergangsbereiches macht der Proband nur wenig Fehler. Werden die angebotenen Landolt-Ringe allmählich kleiner, sinkt die Trefferrate kontinuierlich. Schließlich benennt der Prüfling die richtigen Öffnungspositionen nur noch mit einer der Ratewahrscheinlichkeit entsprechenden Häufigkeit. Der Proband erkennt die Sehzeichen nicht mehr.

Die Entwicklung der Erkennungsrate in Abhängigkeit von der Reizstärke (Sehzeichengröße) ist als psychometrische Funktion darstellbar. Die Funktion beschreibt die Häufigkeit richtiger Antworten (Trefferrate in %) pro Visusstufe (bzw. Optotypengröße). Abbildung 3 zeigt den typischen Verlauf der Erkennungshäufigkeit bei Sehschärfeprüfungen. Die Probanden erreichen bei den großen Optotypen eine Trefferrate von annähernd 100%. Werden die Sehzeichen kleiner, nähern sich die Erkennungsraten mehr und mehr der Ratewahrscheinlichkeit an. Verbindet man die Messdaten mit einer durchgezogenen Linie, ergibt sich eine sanft abfallende Kurve, die psychometrische Funktion der Sehschärfe [37].

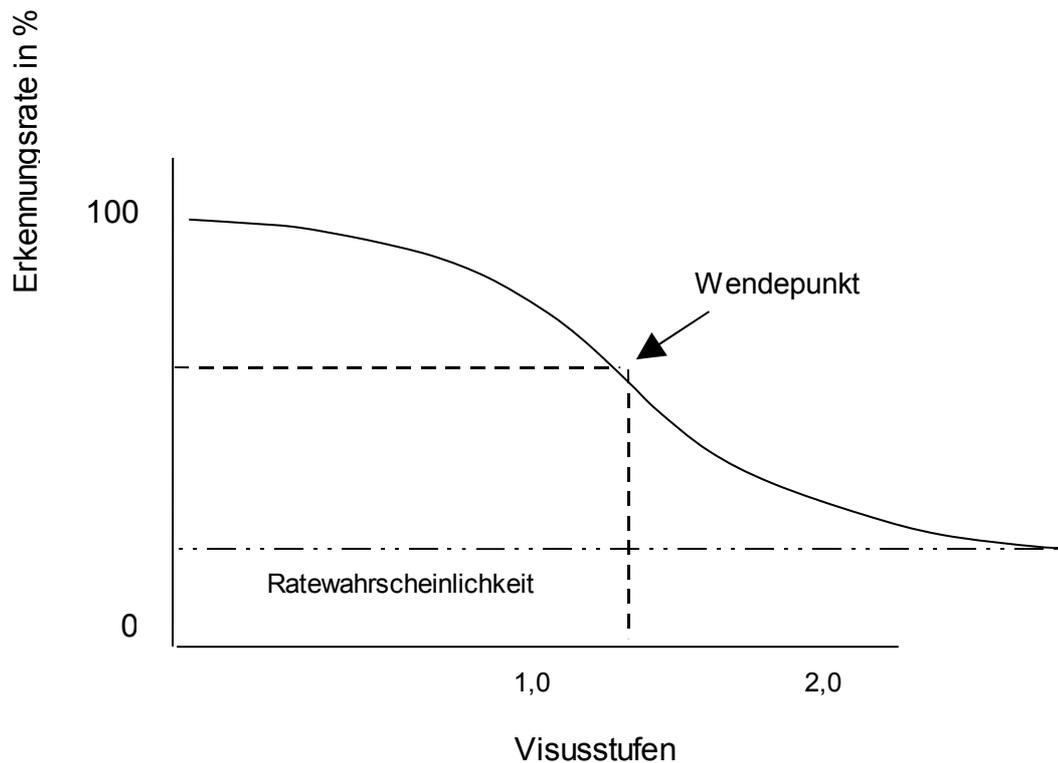


Abb. 3: Typischer Verlauf der Erkennungshäufigkeit bei Visusbestimmungen

Die Kurve der psychometrischen Funktion hat einen Wendepunkt. Der Wendepunkt liegt auf der steilsten Stelle der Kurve. Im Bereich des Wendepunktes führen größere Schwankungen der Trefferrate zu vergleichsweise geringen Änderungen bei der abzulesenden Sehschärfe. D.h., die in diesem Segment erzielten Visuswerte sind am wenigsten von zufälligen Schwankungen beeinflusst [37] und am ehesten reproduzierbar [18].

Die EN ISO 8596 [6] ist dieser Erkenntnis gefolgt und verlangt eine Quote richtiger Antworten, die dem Wendepunkt möglichst nahe kommt.

Die zu leistende Erkennungsrate kann exakt berechnet werden.

Der Wendepunkt liegt genau mittig zwischen der maximal möglichen Erkennungsrate von 100% und der Ratewahrscheinlichkeit. Die Ratewahrscheinlichkeit ist der Kehrwert der angebotenen Ringöffnungen.

Beispiel:

Bei Landolt-Ringen mit acht Öffnungspositionen beträgt die Wahrscheinlichkeit, die richtige Öffnung trotz Nichterkennens zu benennen, $1/8 \times 100\% = 12,5\%$. Der Wendepunkt liegt bei $(100\% + 12,5\%) : 2 = 56,25\%$.

Je mehr Orientierungen angeboten werden, desto niedriger ist der Wendepunkt. Das bedeutet umgekehrt: Je weniger Öffnungen gezeigt werden, desto höher ist die Quote der richtigen Antworten, die ein Proband geben muss, um eine Visusstufe zu bestehen.

Beispiel:

Wird ein Landolt-Ring nur in zwei Varianten angeboten (z.B. mit der Öffnung entweder oben oder unten), liegt der Wendepunkt bei $(100\%+50\%): 2 = 75\%$.

Für die Berechnung der tatsächlich geleisteten Erkennungsrate genügt es nicht, die Zahl der richtigen Antworten ins Verhältnis zur Zahl der angebotenen Sehzeichen zu setzen. Statistisch korrekt ist es vielmehr, die Erkennungsrate in Abhängigkeit von der Optotypenanzahl zu berechnen (sog. korrigierte Erkennungsrate, KER). Hierfür ist die Hartmann-Formel entwickelt worden [22]:

$$KER = [N(n-1) - F_n] : [N(n-1)],$$

KER=korrigierte Erkennungsrate

N=Anzahl der insgesamt angebotenen Sehzeichen

n=Anzahl der möglichen Lückenpositionen im Landolt-Ring

F=Zahl der falschen Antworten

Beispiel:

Benennt ein Proband in einer Sehschärfeprüfung nach Vorgaben der EN ISO 8596 (Verwendung von Landolt-Ringen mit acht möglichen Lücken) sechs von zehn Landolt-Ringe richtig, beträgt seine Erkennungsrate nicht $6/10 = 60\%$, sondern nach der Hartmann-Formel richtigerweise 54%. Eine KER von 54% bei

acht möglichen Öffnungen ist dem Wendepunkt von 56,25% optimal angenähert und erfüllt damit die Kriterien der EN ISO 8596.

2.2.3 Prüfungsfolge

Die EN ISO 8596 gibt für die Visusbestimmung eine konkrete Prüfungsfolge vor. Zuerst ist der Visus ohne Korrektur (ohne korrigierendes Glas) zu bestimmen. Dabei ist mit dem schlechteren Auge zu beginnen, dann folgt das andere Auge, schließlich das beidäugige (binokulare) Sehen. Danach ist der Visus in derselben Reihenfolge mit Korrektur zu bestimmen.

Der Untersuchte muss die immer kleiner werdenden Sehzeichen solange benennen, bis seine Erkennungsrate die vorgegebene Mindestquote nicht mehr erreicht. Dies impliziert die Aufforderung an den Probanden, auch die Landolt-Ringe zu beurteilen, die er vermeintlich nicht mehr erkennt. Er wird gebeten, die Öffnung anzugeben, die er glaubt zu erkennen. Bei Nichterkennen muss er raten. Entscheidungsschwache Probanden werden durch diese sog. Forced-Choice-Methode zu einer Antwort gezwungen. Somit wird eine zu niedrige Sehschärfe vermieden. Der Sinn mag nicht spontan einleuchten, da man zu der Annahme neigt, dass ein Ergebnis nicht richtig sein kann, in das auch falsche Antworten einfließen. Es mag die Erklärung helfen, dass eine „Grenze“ am besten dadurch bestimmt werden kann, dass man sich ihr von beiden Seiten aus nähert.

Laut EN ISO 8596 [6] sollte das Sehzeichen innerhalb einer Sekunde erkannt werden. Die maximal zulässige Darbietungszeit für allgemeine Sehtests beträgt 10 Sekunden. Langes Starren führt zum „Verschwimmen“ der Sehzeichen und verbessert nicht das Ergebnis. Erklärt wird dieses Phänomen durch eine Lokaladaptation der Rezeptoren auf der Netzhaut, die den jeweiligen Optotypen abbilden. Klinische Erfahrungen zeigen, dass ein kurzes Schließen der Augen und ein erneutes Wiederhinblicken oft zu einer spontanen Antwort führen.

Die Untersuchung muss mit einem Wert begonnen werden, der mindestens zwei Visusstufen unter dem Abbruchwert liegt. Der erreichte Sehschärfewert ist als Zahl zu notieren.

2.2.4 Rahmenbedingungen

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte des Prüffeldes soll laut EN ISO 8596 [6] zwischen 80 und 320 cd/m^2 (Candela/ m^2) liegen. Je höher die Leuchtdichte ist, desto besser sind die Sehschärfewerte [1, 40, 42].

Eine höhere Dichte als 320 cd/m^2 bewirkt eine zu starke Verkleinerung der Pupille. Die Untersuchungsergebnisse könnten dadurch beeinflusst sein. Die Pupille dient dem optischen System als Blende und hat je nach ihrem Durchmesser eine unterschiedliche Wirkung auf das Netzhautbild und auf die Sehschärfe [9, 55]. Ist die Pupille eng, so steigert dies durch das Wegfallen der Randstrahlen die Tiefenschärfe. In diesem Fall kann sich die Sehschärfe verbessern, da Abbildungsfehler des Auges kompensiert werden. Andererseits nimmt mit der Verkleinerung der Pupille auch das Phänomen der Lichtbeugung an der Öffnung der Pupille zu, die der bisher positiven Beeinflussung entgegenwirkt.

Kontrast

Der Unterschied der Leuchtdichte zwischen dem Prüffeld und dem Sehzeichen ist ein wichtiges Kriterium für das Erkennen eines Sehzeichens. Diesen Leuchtdichteunterschied bezeichnet man als Kontrast. Nach *SCHOB*ER und *MUNKER* führen niedrige Kontraste (5-50% Unterschiede zwischen Sehzeichen und Umgebung) zu signifikant schlechteren Visuswerten [39]. Wird der Kontrast erhöht, so ergeben sich bessere Ergebnisse bei den Visusprüfungen [1, 30, 42]. Kontrastunabhängig ist die Sehschärfe oberhalb von 85% [38]. Die EN ISO

8596 fordert deshalb einen Mindestkontrast für Sehschärfeproofungen von 85% [6].

Prüfdistanz

Verlangt ist nach der ISO/DIN 8596 [6] ein Mindestabstand von vier Metern zwischen der Pupille des Probanden und dem zu bestimmenden Sehzeichen. Aus physikalischer Sicht spielt der Mindestabstand eine untergeordnete Rolle, da der Visus durch den Sehwinkel gegeben ist. Wichtig ist, dass das Verhältnis zwischen Sehabstand und Größe des Sehzeichens bei wechselnden Abständen konstant bleibt. Bei klinischen Untersuchungen hat sich ein Abstand von fünf Metern etabliert, da aus dieser Entfernung fast keine Akkommodation mehr stattfindet [21]. Bei größeren Abständen ist auf Grund der in der Luft vorkommenden Aerosole, Luftunruhen oder Dünste der Kontrast und damit das Auflösungsvermögen verschlechtert.

Kopfhaltung

Der Kopf des Untersuchten ist gerade zu halten. Brillenträger haben bei korrekter Brillenglasstärke bei schrägem Durchblick keine optimale Korrektur mehr. Ferner sollte der Visus bei gerader Kopfhaltung geprüft werden, da ein Nystagmus mit extremen Unterschieden der Sehschärfe in verschiedenen Blickrichtungen einhergehen kann.

2.3 Visus von Kindern

2.3.1 Visuswerte

Der Visus von Kindern ist in mehreren Studien untersucht worden. Dabei kamen unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Die Ergebnisse zeigen übereinstimmend einen allmählichen Anstieg des Visus mit zunehmendem Alter. Tabelle 2 zeigt die Messergebnisse für vier- bis zwölfjährige Kinder unter Angabe der Testverfahren.

Tab.2: Entwicklung der Visuswerte bei Kindern und Jugendlichen

Untersucher	Alter der Probanden	Testverfahren	Visuswerte
<i>LITHANDER</i> [29]	4 Jahre	Geometrische Zeichen	1,0
<i>STEINHORST</i> [45]	4 Jahre	Geometrische Zeichen	0,8
<i>SLATAPER</i> [41]	4 Jahre	E-Haken	0,5
<i>OPPEL</i> [35]	4 Jahre	E-Haken Einzeltypen / Kinderbilder	0,75-0,85
<i>HAASE</i> [19]	4 Jahre	FLRe	1,0
<i>STUKENBROCK</i> [47]	4 Jahre	Streifenmuster / FLRe	1,0
<i>STUKENBROCK</i> [47]	5 Jahre	Streifenmuster / FLRe	1,35
<i>BIRCH, HALE</i> [4]	5 Jahre	PLVm	1,0
<i>HAASE</i> [19]	5 Jahre	FLRe	1,25
<i>STEINHORST</i> [45]	5 Jahre	Geometrische Zeichen	1,2
<i>SLATAPER</i> [41]	5 Jahre	E-Haken	0,6
<i>OPPEL</i> [35]	5 Jahre	E-Haken Einzeltypen / Kinderbilder	0,9-1,0
<i>HOHMANN</i> [26]	5 Jahre	C-Test LRe	1,0
<i>STEINHORST</i> [45]	6 Jahre	Geometrische Zeichen	1,2
<i>SLATAPER</i> [41]	6 Jahre	E-Haken	0,74
<i>OPPEL</i> [35]	6 Jahre	E-Haken Einzeltypen	1,0
<i>OPPEL</i> [35]	6 Jahre	Kinderbilder	1,1
<i>HOHMANN</i> [26]	6 Jahre	C-Test LRe	1,0
<i>SLATAPER</i> [41]	7 Jahre	E-Haken	0,78
<i>STUKENBROCK</i> [47]	7 Jahre	Streifenmuster	1,40
<i>STUKENBROCK</i> [47]	7 Jahre	FLRe	1,42
<i>HAASE</i> [19]	7 Jahre	FLRe	1,5
<i>SLATAPER</i> [41]	8 Jahre	E-Haken	0,83
<i>HAASE</i> [19]	9 Jahre	FLRe	1,6
<i>SLATAPER</i> [41]	9 Jahre	E-Haken	0,86
<i>STUKENBROCK</i> [47]	10 Jahre	Streifenmuster	1,48
<i>STUKENBROCK</i> [47]	10 Jahre	FLRe	1,59
<i>SLATAPER</i> [41]	10 Jahre	E-Haken	0,89
<i>STAIGER</i> [44]	9-11 Jahre	FLRe	1,52
<i>SLATAPER</i> [41]	11-12 Jahre	E-Haken	1,0
<i>FRISEN, FRISEN</i> [16]	11-12 Jahre	Buchstaben	1,21

PLV = Preferential Looking Verfahren, monokular

LRe = Landoltringe Einzeloptotypen

FLRe = Fernvisus Landoltringe Einzeloptotypen

2.3.2 Vergleich Jungen und Mädchen

In den in Tabelle 2 genannten Visusstudien ist nur vereinzelt untersucht worden, ob es signifikante Unterschiede bei den Werten für Jungen und Mädchen gibt.

Signifikante Unterschiede zwischen den Werten für männliche und weibliche Probanden wurden dabei nicht festgestellt.

Ob sich der Visus von Jungen und Mädchen im Alter von sechs bis sieben Jahren geschlechtsspezifisch unterscheidet, ist bisher, soweit ersichtlich, nicht untersucht worden.

2.3.3 Unterschiede zwischen rechtem und linkem Auge

Inwieweit sich das Sehvermögen des rechten von dem linken Auge unterscheidet, ist in vielen veröffentlichten Visusstudien untersucht worden. Die Befunde sind einheitlich. Ein signifikanter Unterschied zwischen dem rechten und linken Auge konnte insbesondere für Probanden im Alter von neun bis 19 Jahren in keiner Untersuchung festgestellt werden [44, 13, 11, 7, 23].

Für jüngere Kinder fehlen vergleichbare Untersuchungen.

2.3.4 Altersspezifische Trennschwierigkeiten

Die Frage, ob es Trennschwierigkeiten bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen gibt, ist vielfach untersucht worden.

VOM HOFE zeigte bereits 1930, dass einzeln dargestellte Optotypen eine bessere Sehschärfe erzielen als solche, die von weiteren Konturen umgeben sind [50]. Trennschwierigkeiten sind vor allem bei Patienten mit Amblyopie vertreten. Nach *STUART* und *BURIAN* [46] ist das Crowding-Phänomen jedoch

auch bei augengesunden Patienten zu finden. Die Konturinteraktionen bei eng benachbarten Sehzeichen ist durchaus auch ein physiologisches Phänomen, besonders bei Kindern im Alter von zehn bis zwölf Jahren. Die Differenz zwischen dem Erkennen der Einzelsehzeichen und den Reihenoptotypen sollte bei physiologisch augengesunden erwachsenen Probanden nicht mehr als eine Visusstufe betragen [8, 19, 33].

Tabelle 3 zeigt veröffentlichte Daten für Trennschwierigkeiten bei Kindern und Jugendlichen.

Tab. 3: Altersabhängige Trennschwierigkeiten

Untersucher	Alter der Probanden in Jahren	Differenz in Visusstufen (monokulare Ergebnisse)	Differenz in Visusstufen (binokulare Ergebnisse)
STAIGER [44]	9-11	0,96	1,02
EGGERT [13]	12-14	0,51	/
CHANG [7]	15-19	0,74	0,68

Diese Werte stimmen mit der Aussage von HAASE und HOHMANN [20] überein, dass das visuelle System im Bezug auf Trennschwierigkeiten ab etwa dem zehnten Lebensjahr weitgehend ausgereift ist. Wie sich die Trennschwierigkeiten bei unter Zehnjährigen darstellen, ist, soweit bekannt, bisher nicht gezielt mit der heute international akzeptierten Schwellenbestimmung getestet worden.

2.3.5 Vergleich der mon- und binokularen Sehschärfe

Vergleicht man die monokularen Sehschärfewerte mit den binokularen Sehschärfewerten, so zeigt sich eine Überlegenheit des binokularen Visus von 5-10% [2]. Ursächlich hierfür wird ein sensorischer Summationseffekt vermutet, der eine Verstärkung der einzelnen Signale bedingt. Somit ist ein binokulares Erkennen einer Struktur im Gegensatz zum monokularen Fixieren desselben

Gegenstandes noch möglich [21]. Eine Erklärung für dieses Phänomen beschrieb *HOROWITZ* [28]. Seiner Ansicht nach kommt es bei dem nicht abgedeckten Auge zu einer Pupillenvergrößerung, die den Visus verschlechtert. *TRENDELENBURG* vermutete eine Beeinträchtigung auf Grund einer Spontanaktivität der Ganglienzellen des abgedeckten Auges [49].

Untersucher, die einen Vergleich des einäugigen und beidäugigen Sehens durchgeführt haben, kamen zu einer Überlegenheit des beidäugigen Sehens. Die prozentuale Abweichung zwischen beiden Sehweisen und die Urheber der Untersuchungen sind in der nachfolgenden Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: Darstellung altersabhängiger Unterschiede der binokularen Visusüberlegenheit

Alter der Probanden, jeweiliger Untersucher	Prozentuale Überlegenheit des bin- gegenüber dem monokularen Visus am Beispiel der EOP
9- bis 11-Jährige, <i>STAIGER</i> [44]	17,1
12- bis 14-Jährige, <i>EGGERT</i> [13]	15,8
12- bis 14-Jährige, <i>DONNER</i> [11]	12,4
15- bis 17-Jährige <i>DONNER</i> [11]	11,7
15- bis 19-Jährige, <i>CHANG</i> [7]	9,2
<i>BARANY</i> u. <i>HOROWITZ</i> [2, 28]	5-10

3 Probanden und Methoden

3.1 Probanden

Es wurden 164 Kinder im Alter von sechs bis sieben Jahren untersucht, 83 Mädchen und 81 Jungen. Die Untersuchungen erfolgten in Mecklenburg-Vorpommern in den Monaten Februar bis April des Jahres 2003. 36 Kinder wohnten zu dieser Zeit in der Stadt, 128 auf dem Land. Alle Kinder besuchten zum Zeitpunkt der Untersuchung die erste Grundschulklasse. Die Herkunft der Kinder verteilte sich auf alle sozialen Schichten.

Die Probanden konnten mittels Vorsprache bei den Direktorinnen und Direktoren von fünf Mecklenburger Grundschulen gewonnen werden. Die Grundschulen wurden mit Hilfe von Telefonbüchern nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Neben den Schulleitern wurden die Eltern der Kinder eingehend über die geplante Studie aufgeklärt. Teilnehmen durften alle Kinder, deren Eltern eine vorab ausgehändigte Einverständniserklärung unterschrieben zurückgegeben hatten. Der Einverständniserklärung wurde ein Elternbrief beigefügt, der schriftlich über das Vorhaben der Untersuchung aufklärte. Gab es Unklarheiten im Bezug auf die Anamnese, wurde diese vor Untersuchungsbeginn mit den Eltern und jeweiligen Hausärzten geklärt.

Nach Abschluss der vorbereitenden Maßnahmen waren die Eltern von 164 Kindern mit der Untersuchung einverstanden. 23 weitere Eltern verweigerten sich der Untersuchung ihrer Kinder oder gaben die Einverständniserklärungsvordrucke nicht zurück. Die Rate der Nichtkooperation lag bei 12 %.

3.2 Methoden

3.2.1 Testverfahren

Die bei der Untersuchung der Probanden eingesetzten Testverfahren orientierten sich an dem Ziel der Arbeit, Referenzvisuswerte für sechs- bis siebenjährige Kinder zu ermitteln.

Ein Referenzvisus ist aus den einzelnen Visuswerten einer repräsentativen Anzahl von Angehörigen der Zielgruppe zu bestimmen. D.h., die Probanden sind zunächst einzeln auf ihre Visuswerte zu untersuchen. Anschließend sind die Einzelergebnisse auszuwerten. Es gilt, die mittlere Sehschärfe für die Vergleichsgruppe zu bestimmen. Dabei dürfen nur die Daten von augengesunden Probanden berücksichtigt werden, da unkorrigierte oder nicht vollständig korrigierte Sehfehler einen zu niedrigen Referenzvisus zur Folge hätten [55].

Die einzelnen Visuswerte der für diese Studie ausgesuchten sechs- bis siebenjährigen Probanden wurden mit Hilfe des C-Tests von *HAASE* und *HOMANN* ermittelt (vgl. 2.2.1.1). Als Einzeloptotypen wurden sechs Landolt-Ringe mit vier verschiedenen Lückenpositionen in horizontaler Reihe in einem Mindestabstand von 35 Winkelminuten und als Reihenoptotypen weitere sechs Landolt-Ringe in vier verschiedenen Stellungen (Mindestabstand 2,6 Winkelminuten) angeboten.

Die Prüfung, welche Kinder als augengesund eingestuft werden konnten, erfolgte mit Hilfe der Ausschlusskriterien von *FRISÉN und FRISÉN*, veröffentlicht in der Studie „How good is normal visual acuity“ [16].

Die Ausschlusskriterien sind:

1. Es besteht ein anamnestisch auffälliger Ausgangsbefund, etwa eine Beeinträchtigung der optischen Medien, der Augenlider, der Augenbeweglichkeit, der Pupillenmotorik oder der Netzhaut.
2. Es liegt eine Amblyopie vor.
3. Es besteht ein manifester Strabismus.
4. Der jeweilige Proband weist größere Refraktionsanomalien auf (Ametropie größer als 5 dpt sphärisch oder größer als 2 dpt zylindrisch).
5. Der Proband zeigt ein pathologisch auffälliges Richtungssehen.
6. Es liegt eine Störung des Binokularsehens vor.

Ein besonderes Augenmerk wurde auf eventuell vorhandene Fehlsichtigkeiten, wie Myopien (Kurzsichtigkeiten), Hyperopien (Weitsichtigkeiten) und Astigmatismen (Hornhautkrümmungen) gelegt. *WESTHEIMER* [55] stellte bei einer Ametropie von plus/minus einer Dioptrie (1 dpt) und einem Ausgangsvisus von 1,0 eine Visusminderung auf 0,3-0,4 fest, bei einer Ametropie von plus/minus 2 dpt fiel der Visus in diesem Beispiel auf 0,16. Ein nicht korrigierter Astigmatismus von 1 dpt reduziert den Visus auf die Hälfte [21].

Die genannten Funktionsstörungen wurden unter Einsatz gängiger Diagnoseverfahren/Tests ausgefiltert. Tabelle 5 zeigt, welche Anomalien/Krankheiten mit Hilfe welcher Tests diagnostiziert wurden.

Tab. 5: Gegenüberstellung von Diagnoseverfahren und Krankheitsbildern

Diagnoseverfahren/Test	Anomalien/Krankheiten
C-Test	Amblyopien, Ametropien, morphologische Erkrankungen/ Anomalien im axialen Bereich der Optik
Cover-Uncover-Test	Manifester Strabismus
Lichtschweiftest nach Bagolini	Gravierende Refraktionsanomalien
Anamnese und/oder Brillenpass	
Skioskopie	
Lichtschweiftest nach Bagolini	Gestörtes Richtungssehen
Titmus-Test	Gestörtes Binokularsehen, Strabismus, Amblyopien
Lang-Test	

C-Test

Es wurde als Indiz für eine möglicherweise bestehende Sehschwäche (Amblyopie oder Ametropie oder auch morphologische Erkrankung/Anomalie) gewertet, wenn der C-Test bei einzelnen Probanden auffällig niedrige Visuswerte hervorbrachte. Betrag der Visus für Einzeloptotypen weniger als 1,25 und für Reihenoptotypen weniger als 0,8, wurden zusätzliche Untersuchungen durchgeführt. Nur wenn sich keine weiteren Verdachtsdiagnosen ergaben und nach einer eingehenden Nachuntersuchung die Kriterien von *FRISÉN und FRISÉN* [16] ausgeschlossen werden konnten, ging der Proband mit seinen Visuswerten in die Referenzwertermittlung ein.

Cover-Uncover-Test

Mit Hilfe des Auf- und Abdecktestes (Cover-Uncover-Test) konnte die Motorik der Augenmuskulatur geklärt werden.

Der Cover-Uncover-Test dient dazu, Stellungsfehler, Bewegungsfehler oder aber Einschränkungen des Blickfeldes aufzudecken. Stellungsfehler der Augen führen zum Schielen (Strabismus).

Beim einseitigen Abdecktest (Covertest) verdeckt der Untersucher ein Auge und beobachtet das nicht abgedeckte Auge. Macht dieses eine eindeutige Einstellbewegung, so war das Auge zuvor nicht auf das fixierte Objekt gerichtet. Es liegt manifestes Schielen (Heterotropie) vor.

Der Aufdecktest (Uncovertest) dient dem Herausfinden einer Heterophorie (latentes Schielen). Auch hier wird ein Auge abgedeckt. Beim Aufdecken desselben Auges wird dieses beobachtet. Erfolgt eine langsame Einstellbewegung des wieder freigegebenen Auges ohne eine Bewegung des zweiten Auges, so liegt eine Heterophorie vor.

Der alternierende Abdecktest zeigt jede latente oder manifeste Abweichung von der Orthostellung mit sichtbarer Einstellbewegung an. Bei diesem Test wird stets ein Auge nach dem anderen abgedeckt, ohne dabei in der Zwischenzeit beide Augen freizugeben.

Zeigen sich bei einem oder mehreren der Testmethoden Auffälligkeiten, führt dies zur Nachuntersuchung. Stellt der Augenarzt eine klar definierte Heterotropie fest, kommt der Proband nicht in die Referenzgruppe.

Lichtschweiftest nach Bagolini

Bei diesem Test verwendet man eine Brille mit Plangläsern. Diese sind mit sehr feinen Rillen versehen (Streifenglas, s. Abb.4).

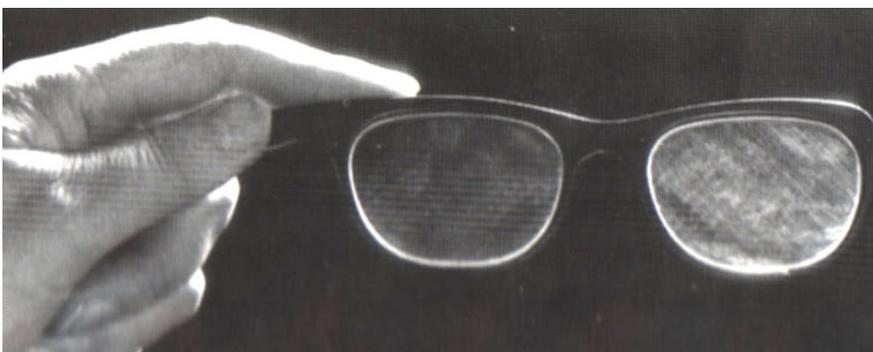


Abb.4: Streifenglasvorhalter nach Bagolini
(Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlages)

Blickt man durch die Brille, so wirkt die Umgebung leicht verschwommen und eine punktförmige Lichtquelle im Untersuchungsraum wird zu zwei feinen Streifen ausgezogen. Kreuzen sich die Streifen aus Sicht und nach Aussage des Probanden mittig (siehe Abb.5 Bild a), besteht ein Parallelstand beider Augen bei normaler Netzhautkorrespondenz. Die Fusionsleistung ist unauffällig.

Beschreibt der Proband das Streifenbild nicht als mittiges Kreuz, sondern wie in Abb.5 Bild b bis e gezeigt, deutet dies auf einen Sehfehler hin. Es könnte ein Strabismus bestehen oder das Richtungssehen gestört sein. Die Testperson muss nachuntersucht werden. Bestätigt sich der Befund im Rahmen einer intensiven augenärztlichen Untersuchung, ist der Proband für die Referenzvisusbestimmung nicht geeignet.

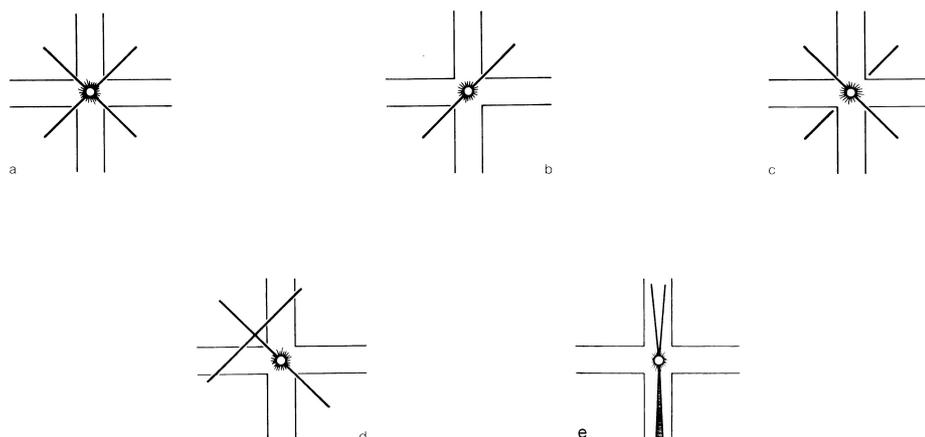


Abb. 5: Streifengläser nach Bagolini (Lichtschweif) zur Prüfung des Richtungssehens (Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Hans Huber Verlages)

Prüfung des räumlichen Sehens mittels Titmus-Tests

Intaktes räumliches Sehen mit altersgemäßer Schwelle schließt Schielen praktisch aus. Auch einseitige Sehschwächen, überwiegend Amblyopien bei Kindern, sind unwahrscheinlich.

Der Titmus-Tests kann Hinweise auf eine Schwächung des räumlichen Sehens geben. Wenn ein Proband Objekte in ihrer Anordnung im Raum zueinander und

zum Betrachter einschätzen kann (sog. stereoskopisches Sehen, auch plastisches Sehen, räumliches Sehen oder Tiefensehen genannt), ist sein binokulares Sehvermögen in der Regel nicht beeinträchtigt. Ein Objekt erscheint nur dann plastisch, wenn es infolge simultaner Fixierung mit beiden Augen und gleichzeitiger Fusion des linken und rechten Netzhautbildes als Einheit wahrgenommen werden kann.

Der Titmus-Test prüft das räumliche Sehen mittels stereoskopischer Bildvorlagen. Die Probanden müssen eine spezielle Brille aufsetzen, die Polarisationsfilter enthält. Jedem Auge werden separate Bildvorlagen angeboten, die von normalsichtigen Probanden beim beidäugigen Betrachten fusioniert werden. Der Titmus-Test gliedert sich in drei Teile. Abbildung 6 zeigt die zugehörigen Bildvorlagen.

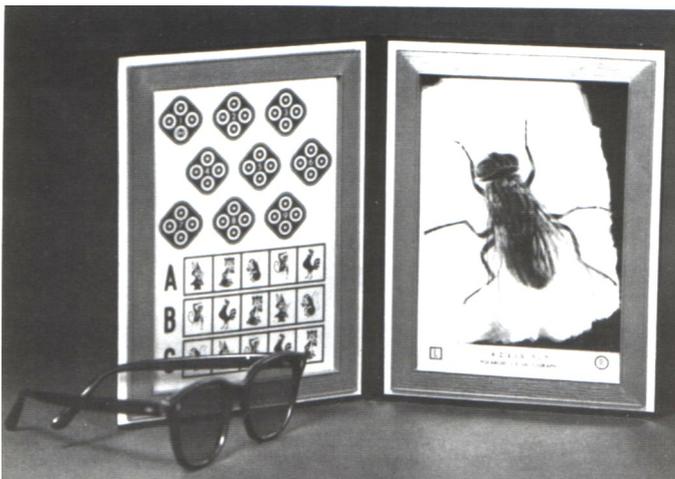


Abb. 6: Titmus-Stereotest
(Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Thieme-Verlages)

Zunächst wird den Testpersonen das Bild mit der Fliege gezeigt. Die dargestellte Hausfliege stellt einen groben Stereoeindruck dar. Sie ist besonders gut für Kinder geeignet, da sie allen bekannt und gut verständlich ist. Bei der monokularen Betrachtung erscheint die Fliege als Fotografie. Binokular betrachtet erscheint sie als räumliches Bild, vorausgesetzt, beide Augen sind gesund. Junge Probanden versuchen die Flügel zu fassen, die einige Zentimeter über der Vorlage zu liegen scheinen. Im zweiten Teil des Titmus-Tests werden den Probanden nacheinander neun Vorlagen mit je vier Kreisen

angeboten. Nur einer der jeweils vier Ringe pro Darbietung ist querdisparat abgebildet, d.h., er scheint optisch hervorzutreten. Genau dieser muss benannt werden. Die erste Vorlage prüft zunächst noch grobes Stereoempfinden, doch mit jedem weiteren Feld werden die Tiefenunterschiede immer feiner und sind schwieriger erkennbar. Ringvorlage Nr.9 zeigt eine Querdisparation von nur 40 Winkelsekunden und gilt als Normalschwelle bei Erwachsenen. Alle Probanden, die bereits das sechste Feld nicht korrekt benennen, werden nachuntersucht. Der dritte Teil zeigt die Reihen A, B, C mit jeweils fünf verschiedenen Tieren. In jeder Reihe tritt bei normalem Stereoempfinden jeweils ein Tier hervor, welches es zu erkennen gilt. Auch hier ist der Schwierigkeitsgrad von A nach C steigend und Probanden, die die Reihe B nicht mehr erkennen oder falsch anzeigen, werden zur Nachuntersuchung eingeladen, da sie möglicherweise nicht augengesund sind.

Lang-Test auf Tiefensehen mittels Zufallspunktmustern

Der Lang-Test prüft ebenfalls das binokulare Tiefensehen und die Fusionsfähigkeit. Beim Lang-Test erfolgt die Trennung der Bilder nicht durch Polarisationsfilter, sondern durch das Zylinderraster-Verfahren nach W. R. Hess [32, 34, 52]. Eine Brille ist dafür nicht notwendig.

Auf einer postkartengroßen Tafel sind in einem feinen Punktmuster binokular drei Objekte zu entdecken (siehe Abb.7). Die Bildvorlagen bestehen aus einer Vielzahl schwarzer, zufällig verteilter Punkte (Random-Dot), wobei Teilmengen dieser Punkte bestimmte Figuren darstellen. Die Figuren sind monokular nicht zu erkennen. Nur bei intakter Binokularität werden Formen sichtbar.

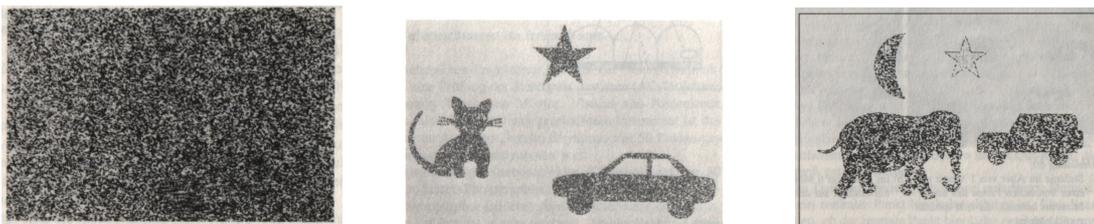


Abb. 7: Lang-Test

(Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Hans Huber Verlages)

3.2.2 Hauptuntersuchung

3.2.2.1 Raum und Materialien

Jede Schule stellte der Untersucherin einen hellen, ruhigen Raum zur Verfügung, der ausreichend groß war, um die Visusbestimmungen mit einem Fünf-Meter-Abstand vom Betrachter zur Tafel durchführen zu können. Die Fenster wurden mit Jalousien abgedunkelt. So konnten Blendungen der Kinder durch Tageslicht vermieden werden. Die Messung der Leuchtdichte erfolgte mit einem Candelameter („Luminance-Meter 10“, Fa. Minolta®). Teil 3 der DIN-Norm 58 220 [10] fordert eine Leuchtdichte des Prüffeldes zwischen 80-320 cd/m^2 (Candela pro Quadratmeter). Die in dieser Untersuchung verwendeten Sehtafeln wurden mit 169 cd/m^2 ausgeleuchtet. Die Leuchtdichte der Optotypen lag bei ca. 6,6 cd/m^2 . Der sich daraus ergebende Kontrast betrug 96,1% und lag damit über dem geforderten Mindestwert von 85%.

Auf einer Staffelei befanden sich zwei konventionelle C-Test-Tafeln nach *HAASE* und *HOMANN* (sog. Auflichttafeln) [25]. In fünf Metern Entfernung wurde eine Markierung auf dem Boden angebracht. Direkt auf der Markierung stand ein Stuhl, auf dem die Probanden Platz nahmen. Dies entsprach dem Fünf-Meter-Abstand zwischen Pupilleneintritt der Testperson und dem Sehzeichen. Die Untersucherin stand links neben der Staffelei. Sie zeigte mit einer dünnen Teleskopstange auf den jeweiligen Landolt-Ring. Dieser musste vollständig zu sehen sein und vom Probanden eindeutig zugeordnet werden können.

Für die Prüfungen des Binokularsehens befanden sich alle weiteren notwendigen Instrumente auf einem Tisch. An diesem standen zwei Stühle, für den Probanden und die Untersucherin. Auf einem weiteren Tisch wurden kleine Präsente für die Kinder angeordnet.

3.2.2.2 Durchführung

Die Untersuchungen wurden bei allen 164 Kindern nach dem gleichen Procedere durchgeführt und fanden ohne größere Unterbrechung statt. Pro Kind dauerte die Untersuchung im Durchschnitt 40 Minuten und fand montags bis freitags in der Zeit von 8.00-13.30 Uhr statt. Die Durchführung gliederte sich in drei Teile.

Im ersten Teil wurde die Sensorik der Kinder überprüft. Untersucherin und Kind saßen nebeneinander an einem Tisch. Zunächst kam der Lang-Test zum Einsatz. Mit diesem Test sollte den Kindern Spaß vermittelt, die anfängliche Skepsis genommen und die Neugierde auf weitere Tests geschaffen werden. Somit konnte ein Vertrauensverhältnis zwischen der Untersucherin und dem Kind aufgebaut werden. Zudem begleitete ein Stofftier namens „Tabs“ die Untersuchung. Seine Funktion bestand darin, den Kindern die Tests kindgerecht zu erklären und sie gegebenenfalls bei Ermüdungserscheinungen aufzumuntern. Es folgten der Lichtschweiftest nach Bagolini, im Anschluss daran der Titmus-Test.

Im zweiten Teil der Untersuchung kam es zur Prüfung der Sehschärfe. Hierfür wurde der C-Test nach Haase und Hohmann angewendet. Anhand eines großen Landolt-Ringes wurde dem Probanden der Ablauf erklärt und auftretende Fragen oder Missverständnisse konnten geklärt werden. Der Landolt-Ring wurde den Kindern als „Mäusehaus“ vorgestellt, das eine offene Tür hat. Da es in diesem Alter oft noch Rechts-Links-Schwächen bei den Kindern gibt, wurden diese Kinder aufgefordert, ihren Zeigefinger in die Richtung zu halten, auf der der Landolt-Ring seine Öffnung hatte [20, 38]. Diese musste durch Drehen der Hand mit dem Zeigefinger angezeigt werden. Bei der monokularen Visusprüfung wurde das nicht untersuchte Auge mit einer Augenklappe abgedeckt. Kinder, die eine Sehhilfe trugen, wurden mit dieser, also mit bester Korrektur geprüft.

Gemäß den Vorschriften zur Durchführung der normgerechten Sehschärfestimmung nach DIN EN ISO 8596 [6] musste die Visusuntersuchung mit einem Sehschärfewert begonnen werden, der mindestens zwei Visusstufen unter dem Grenzwert lag. Damit war gewährleistet, dass sich der Prüfling an den Test gewöhnen konnte und die Untersucherin erkennen konnte, ob der Prüfling den Test beherrschte. Vier von sechs angebotene Zeichen mussten richtig erkannt werden. Wurde das nicht geschafft, kam es zum Testabbruch und die Prüfung begann erneut drei Stufen unter dem nicht erreichten Visus. Eine Wiederholung von einzelnen Optotypen oder ganzen Zeilen, die beim ersten Mal nicht richtig gelesen wurden, war nicht zulässig. Entsprechend der „Forced-Choice-Methode“ mussten sich die Kinder immer für eine Antwort entscheiden. Konnten sie nichts mehr erkennen, so wurden sie aufgefordert zu raten. Somit konnten Unsicher- und Schüchternheiten der Probanden vermieden werden [22]. Die Untersucherin gab keine Hilfestellung. Bei zu langem Hinsehen des Kindes auf einen Landolt-Ring wurde das Kind gebeten, die Augen kurz zu schließen, um dann erneut hinzuschauen [21].

Im dritten Teil kam es nach einer verbalen Motivation zur Prüfung der Motorik. Hier kam der Cover- Uncovertest zum Einsatz. Dieser wurde mit Blick in die Ferne (Abstand fünf Meter) und aus der Nähe (Abstand 0,3 Meter) durchgeführt. Als Fixationspunkt diente in der Ferne eine Lichtquelle und für die Nahprüfung ein Fixationsstab (Bleistift mit aufgesetzter Mausfigur).

Tabelle 6 zeigt die einzelnen Untersuchungsteile und die jeweils zum Einsatz gekommenen Testverfahren im Überblick.

Tab. 6: Zeitlicher und inhaltlicher Ablauf der Probandenprüfung

1. Teil	
ca. 3 min	Lang-Test
ca. 3 min	Lichtschweiftest nach Bagolini
ca. 6-7 min	Titmus-Test
2. Teil	
Visusbestimmung mit Korrektur ca. 15 min	C-Test
Visusbestimmung ohne Korrektur ca. 15 min	C-Test
3. Teil	
ca. 3-5 min	Cover-Test
ca. 3 min	Uncover-Test
ca. 3 min	Alternierender Abdecktest

Im Hinblick auf das junge Alter der Probanden wurde während der gesamten Untersuchung eine bestmögliche Atmosphäre geschaffen. Die Kinder sollten sich optimal auf die Aufgabenstellungen konzentrieren können.

Es wurde großer Wert auf die Vertrautheit des Untersuchungsraumes gelegt. Es wurden nur Räume genutzt, die den Kindern aus den täglichen Schulbesuchen bekannt waren. Die Probanden sollten sich heimisch fühlen. Den Untersuchungen war stets eine Kennenlernphase vorgeschaltet, in der sich die Kinder an die Aufgabenstellung und die handelnden Personen gewöhnen konnten. Die Untersucher traten in ziviler Kleidung auf. Die Kinder wurden einzeln untersucht, um sich nicht gegenseitig abzulenken. Die Teststrategien und -abläufe waren bei allen untersuchten Kindern identisch. Hierauf wurde akribisch geachtet.

Die C-Test-Tafeln, die für den Titmus-Test, den Bagolini-Test und den Lang-Test erforderlichen Schautafeln und alle übrigen Untersuchungsmittel wurden den Kindern spielerisch erklärt. Jeder Prüfung wurde eine Probeaufgabe vorangestellt, um die Anfangsnervosität abzufangen. Den Probanden wurde viel

Zeit für die Beantwortung der Fragen gegeben. Falls erforderlich, wurden Untersuchungen unterbrochen und den Kindern Pausen gegeben, in denen sie sich spielerisch wieder sammeln konnten. Die pädagogische Ausbildung der Untersucherin zur examinierten Grundschullehrerin war hier sehr hilfreich. Mit Geduld und Verständnis konnte den Kindern die Scheu genommen werden. Kleine geräuscherzeugende Spielzeuge als Fixierobjekte dienten (auch wiederholt) der Aufmunterung und erneuter Motivation. In bestimmten Untersuchungsphasen steigerte leises Sprechen zusätzlich die Aufmerksamkeit des Kindes.

Beim Lichtschweiftest musste sichergestellt sein, dass den Kindern die Feinheiten nicht entgehen. Deshalb wurde genauestens auf Einzelheiten geachtet, wie Ort und Art der Lichtschweifkreuzung, Helligkeit und Länge der Hauptschweife. Insbesondere Diplopie und Schweiflücken wurden durch gezielte Fragen erforscht. Bei Nichtbeantworten einer Frage oder bei unpräzisen Antworten malten die Kinder das Gesehene auf ein Blatt Papier. Zusätzlich lag eine vorgefertigte Zeichnung mit den verschiedenen Möglichkeiten auf dem Tisch. Hier konnten die Kinder ihre Antwort wiederfinden und zeigen. Das Anbieten dieser Möglichkeit erhöhte die Mitarbeit der Kinder, trotz der schwierigen Beschreibung des Gesehenen. So konnte verhindert werden, dass die Kinder falsche Antworten gaben, obwohl die Objekte tatsächlich erkannt wurden.

Insgesamt machte die Testreihe den Kindern sehr viel Spaß. Deshalb ist anzunehmen, dass sie mit der erforderlichen Konzentration und Motivation die Fragestellungen beantwortet haben. Jedes Kind bemühte sich nach Kräften, richtige Antworten zu geben. Es durfte die Antworten verbal und durch Richtungszeigen mit Händen und Fingern geben.

Als Dankeschön für die gute Mitarbeit durfte sich jedes Kind zum Abschluss der Untersuchung etwas zum Naschen oder Spielen aussuchen.

Alle Ergebnisse wurden in Protokolle eingetragen. Aus Gründen des Datenschutzes befinden sich diese gemeinsam mit den Einverständniserklärungen in einem gesicherten Safe.

3.2.3 Nachuntersuchungen

Kinder, die bei den Tests, die zum Zweck der Identifizierung augenkranker Probanden durchgeführt wurden, in mindestens einem der getesteten Ausschlusskriterien auffällig waren, wurden Herrn Prof. Dr. Haase zur Nachuntersuchung vorgestellt. Betroffen waren 38 Probanden. Prof. Dr. Haase bestätigte bei 13 von diesen 38 Kindern die Ungeeignetheit für die Referenzgruppe. Die restlichen 25 Kinder konnten auf Grund nicht bestätigter Ausschlusskriterien mit in die Gruppe der augengesunden Kinder aufgenommen werden. Damit ergab sich eine Referenzgruppe von 151 Kindern.

Bei 24 Kindern stellte Prof. Dr. Haase eine Kurz- oder Weitsichtigkeit fest. 16 dieser Kinder waren nicht oder fehlerhaft korrigiert. D.h., sie trugen entweder keine Brille oder eine fehlerhaft bemessene Brille. Neun Kinder bekamen daraufhin erstmals in ihrem Leben eine Brille, bei sieben Kindern wurde die Brillengläserstärke korrigiert, also eine neue Brille verordnet.

Prof. Dr. Haase ermittelte bei den korrigierten Patienten neuerlich den Visus. Dieser ging, wenn es keine weiteren Ausschlusskriterien gab, in die Ermittlung des Referenzvisus ein.

3.2.4 Statistische Auswertungen

Die Visuswerte der Kinder, die in die Referenzgruppe aufgenommen werden konnten, wurden mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS®, Version 13.01 ausgewertet.

3.2.4.1 Mittelwertberechnungen

Für die Berechnung der Mittelwerte kamen zwei Methoden in Frage, die geometrische Mittelung und die Angabe des Medians.

Logarithmisch skalierte Werte dürfen nicht arithmetisch gemittelt, sondern müssen zunächst logarithmiert, anschließend arithmetisch gemittelt und danach exponenziert werden [27]. Das Ergebnis ist der geometrische Mittelwert.

Beispiel:

Der Patient C erreicht einen Visus von 0,1, der Patient D einen Visus von 1,0. Der arithmetische Mittelwert beträgt 0,55. Auf der logarithmischen Visusskala liegt der Wert von 0,55 ca. drei Stufen von der Stufe 1,0 entfernt, aber sieben Stufen von 0,1 und damit nicht in der Mitte der Skala. Der geometrische Mittelwert berücksichtigt die logarithmische Skalierung. Werden die Testwerte von 0,1 (Proband C) und 1,0 (Proband D) zunächst logarithmiert, anschließend arithmetisch gemittelt und dann wieder delogarithmiert, ergibt sich ein geometrischer Mittelwert von 0,32. Dieser Wert weist sowohl zu 1,0 als auch zu 0,1 je fünf Stufen auf und liegt in der Mitte der Visusskala.

Der Median, auch Zentralwert genannt, bezeichnet die Grenze zwischen zwei gleich großen Hälften. Er wird von höchstens der Hälfte aller Werte unterschritten und von höchstens der Hälfte aller Werte überschritten. Die Daten werden der Größe nach geordnet und betrachtet wird der Wert in der Mitte der Liste.

Es empfiehlt sich, die Visuswerte geometrisch zu mitteln und die Mediane zu berechnen. So können Ergebnisse verschiedener Arbeiten bestmöglich miteinander verglichen und diskutiert werden.

Der aus einer Stichprobe berechnete Mittelwert für eine Grundgesamtheit weicht fast immer von dem wahren Wert ab. D.h., exakt den richtigen Wert zu ermitteln, ist recht unwahrscheinlich. Man kann jedoch zeigen, dass die meisten Stichprobenwerte nicht sehr weit vom wahren Wert abweichen. Aus einer Stichprobe kann ein Intervall geschätzt werden, das den wahren Parameter mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit enthält. Dieses Intervall wird auch als Vertrauensbereich bezeichnet. Ein 95%iges Konfidenzintervall besagt, dass in 95% aller Stichproben das Konfidenzintervall den wahren Wert enthält. Alternativ kann der Wert angegeben werden, mit der das Intervall den wahren Parameter nicht enthält. In medizinischen Studien wählt man dafür häufig den Wert $p=0,05$. Das führt zu der Aussage, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% der wahre Wert nicht im Konfidenzintervall enthalten ist.

Unter Beachtung dieser Gesetzmäßigkeiten wurden der geometrische Mittelwert und der Median für ein- und beidäugiges Sehen mit dem jeweiligen 95%igen Konfidenzintervall berechnet.

3.2.4.2 Signifikanzprüfungen

Die Abhängigkeit der Visusergebnisse vom Geschlecht der Kinder wurde mit Hilfe des U-Tests nach *MANN AND WHITNEY* [31] untersucht.

Der Test dient dem Vergleich zweier unabhängiger Teilgruppen (sog. Zweistichprobenvergleich bei unabhängigen Stichproben). Dieser Test eignet sich für die Signifikanzprüfung der Visuswerte zwischen männlichen und weiblichen Probanden jeden Alters.

Beim U-Test nach Mann and Whitney werden die Werte beider Stichproben zu einer gemeinsamen Gruppe zusammengefasst, der Größe nach geordnet und

mit Rangzahlen versehen. Zusätzlich notiert man, zu welcher der beiden Stichproben der Wert ursprünglich gehörte. Aus den Rängen der gemeinsamen Gruppe berechnet man eine Rangsumme für jede Stichprobe. Daraus ergibt sich jeweils eine Prüfgröße. Je stärker sich die ermittelten Rangsummen für die beiden Stichproben unterscheiden, desto deutlicher unterscheiden sich die zugehörigen Populationen. Anhand der jeweils ermittelten Prüfgröße wird mit Hilfe von Rechenprogrammen die Wahrscheinlichkeit p ermittelt, deren Größe eine Annahme oder Ablehnung der Ausgangshypothese erlaubt.

Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests wurden folgende Berechnungen angestellt:

1. Prüfung eines signifikanten Unterschiedes zwischen dem rechten und linken Auge eines jeweiligen Probanden
2. Signifikanzprüfung bei dem Vergleich zwischen EOP und ROP eines Probanden (Crowdingprüfung)
3. Vergleich des mon- mit dem binokularen Visus eines Probanden

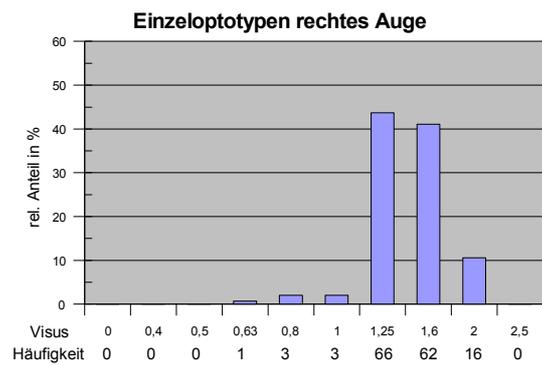
Der Wilcoxon-Test dient der Berechnung der signifikanten Unterschiede zweier abhängiger Stichproben.

Zwei Stichproben werden als verbunden bezeichnet, wenn die Werte der Stichproben immer gemeinsam und damit paarweise auftreten und inhaltlich zusammenhängen. Aus den ermittelten Werten werden jeweils die Differenzen gebildet. Diese werden anschließend ohne Rücksicht auf ihr Vorzeichen der Größe nach rangiert. D.h., die kleinste (absolute) Differenz erhält den Rang eins, die nächstgrößere den Rang zwei usw. Im Anschluss daran werden alle Rangzahlen mit dem Vorzeichen ihrer Differenz versehen und getrennt voneinander addiert. Daraus resultieren eine positive und eine negative Rangsumme. Ist die Nullhypothese gültig, muss die zu positiven Differenzen gehörige Rangzahlsumme ungefähr gleich der für negative Differenzen sein. Anders ausgedrückt, Ränge der positiven und negativen Differenzen heben sich im Mittel gegenseitig auf, wenn zwischen den Populationen kein Unterschied besteht.

4 Ergebnisse

4.1 Visuswerte

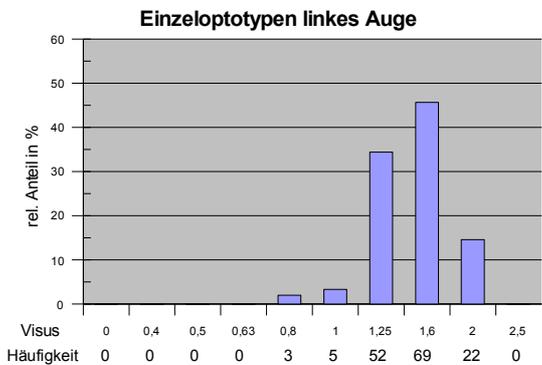
Die Untersuchungen der Probanden und die anschließenden statistischen Auswertungen erbrachten folgende Visuseinzel- und –mittelwerte:



Geometrischer Mittelwert: 1,43
95%iges Konfidenzintervall: [1,38-1,47]

Median: 1,60
95%iges Konfidenzintervall: [1,25-1,60]

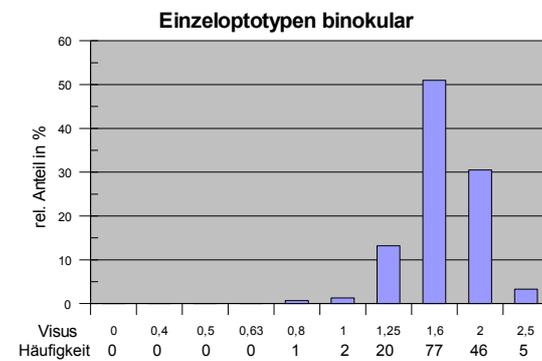
Abb. 8: Einzeloptotypen rechts



Geometrischer Mittelwert: 1,47
95%iges Konfidenzintervall: [1,43-1,52]

Median: 1,60
95%iges Konfidenzintervall: [1,60-1,60]

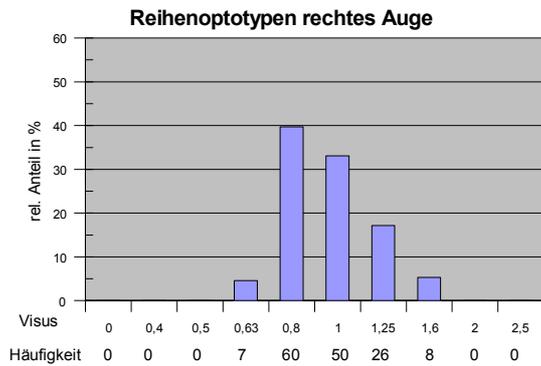
Abb. 9: Einzeloptotypen links



Geometrischer Mittelwert: 1,66
95%iges Konfidenzintervall: [1,61-1,71]

Median: 1,60
95%iges Konfidenzintervall: [1,60-1,60]

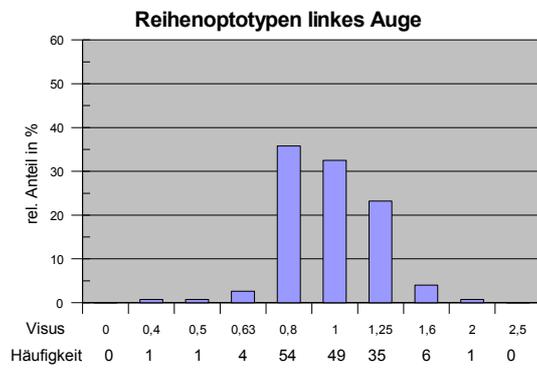
Abb. 10: Einzeloptotypen beidäugig



Geometrischer Mittelwert: 0,95
95%iges Konfidenzintervall: [0,92-0,99]

Median: 1,00
95%iges Konfidenzintervall: [0,80; 1,00]

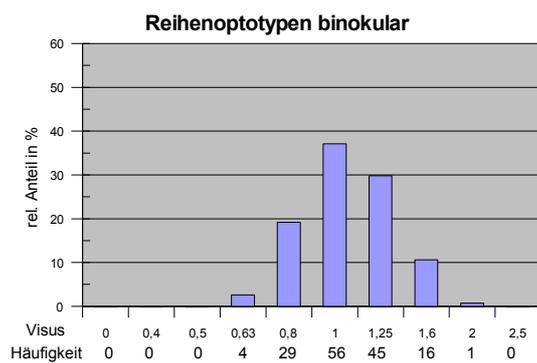
Abb. 11: Reihenoptotypen rechts



Geometrischer Mittelwert: 0,97
95%iges Konfidenzintervall: [0,94-1,01]

Median: 1,00
95%iges Konfidenzintervall: [1,00-1,00]

Abb. 12: Reihenoptotypen links



Geometrischer Mittelwert: 1,07
95%iges Konfidenzintervall: [1,03-1,11]

Median: 1,00
95%iges Konfidenzintervall: [1,00-1,00]

Abb. 13: Reihenoptotypen beidäugig

4.2 Vergleich Mädchen und Jungen

Die Mittelwerte wurden auf der Basis von 151 physiologisch normalsichtigen Kindern im Alter von sechs bis sieben Jahren ermittelt. Tabelle 7 zeigt die Geschlechterverteilung aller berücksichtigten Probanden.

Tab. 7: Geschlechterverteilung

	Anzahl der Kinder	Angabe in %
männlich	75	49,7
weiblich	76	50,3
gesamt	151	100,0

Mit Hilfe des Mann-Whitney-Tests wurde geprüft, ob es bezogen auf die Sehschärfe zwischen Mädchen und Jungen in der untersuchten Altersgruppe einen signifikanten Unterschied gibt. Das zu Grunde gelegte Signifikanzniveau beträgt 5%. In der Tabelle 8 sind sowohl für die Einzeloptypen als auch für die Reihenoptotypen die jeweiligen Ergebnisse dargestellt.

Tab. 8: Signifikanzergebnisse bezüglich der Geschlechterverteilung

	EOP o.d.	EOP o.s.	EOP bin.	ROP o.d.	ROP o.s.	ROP bin.
Signifikanzniv. 5%	p=0,73	p=0,29	p=0,82	p=0,67	p=0,75	p=0,91

EOP = Einzeloptypenprüfung

ROP = Reihenoptotypenprüfung

o.d. = oculus dexter (rechtes Auge)

o.s. = oculus sinister (linkes Auge)

bin. = binokular (beidäugig)

Da in allen Fällen $p > 0,05$, konnte, bezogen auf die Entwicklung der Sehschärfe, zwischen den Mädchen und Jungen dieser Altersgruppe kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

4.3 Vergleich rechtes und linkes Auge

Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests wurde geprüft, ob die Messwerte für die rechten Augen signifikant von den Messwerten für die linken Augen abweichen. Die Prüfung wurde für die Einzel- und die Reihenoptotypen jeweils gesondert durchgeführt.

Der Wilcoxon-Test war zur Prüfung geeignet, da es sich um einen Vergleich zweier verbundener Stichproben handelt. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt.

Die Nullhypothese H_0 für die Einzeloptotypen und die Reihenoptotypen lautete jeweils: „Die Wahrscheinlichkeit, einen höheren Wert für das linke Auge zu erhalten, ist gleich der Wahrscheinlichkeit, einen höheren Wert für das rechte Auge zu erhalten.“ Die Signifikanzprüfung führte für die Einzeloptotypen zu einem Wert von $p=0,053$ und für die Reihenoptotypen zu einem Wert von $p=0,130$. Damit mussten beide Nullhypothesen angenommen werden. Bezogen auf die Sehschärfe konnte damit kein signifikanter Unterschied zwischen dem rechten und linken Auge festgestellt werden.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurde im weiteren der Einfachheit halber mit den Ergebnissen des rechten Auges weitergerechnet.

4.4 Trennschwierigkeiten (Crowding)

Die Prüfergebnisse für die einzeln stehenden Landolt-Ringe (EOP) wurden mit den Ergebnissen für die sehr dicht beieinander stehenden Landolt-Ringe (ROP) verglichen. Der Vergleich erfolgte für die monokularen und die binokularen Testergebnisse gesondert. Das negative Vorzeichen in den aufgeführten Diagrammen sagt aus, dass die Sehschärfe der Einzeloptotypen kleiner als die der Reihenoptotypen ist. Umgekehrt bedeutet ein positives Vorzeichen, dass

der EinzeLOPTOTYPENVISUS größer als der REIHENOPTOTYPENVISUS ist. Die Differenzen sind in VISUSSTUFEN (VS) dargestellt.

Monokulares Sehen

Da die Sehschärfewerte für monokulares Sehen zwischen rechtem und linkem Auge nicht signifikant voneinander abweichen (vgl. Abschnitt 4.3), beschränkt sich die in der Abbildung 14 dargestellte Differenzanalyse auf einen Vergleich zwischen den EinzeLOPTOTYPEN und den REIHENOPTOTYPEN für das rechte Auge.

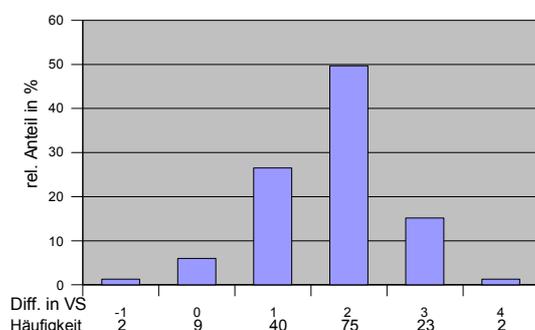


Abb. 14: Differenzen zwischen dem monokularen EinzeLOPTOTYPENVISUS und REIHENOPTOTYPENVISUS; Referenzauge ist das rechte Auge; neg. Vorzeichen: EOP-Visus < ROP-Visus; pos. Vorzeichen: EOP-Visus > ROP-Visus

Abbildung 14 zeigt, dass 92,7% der Probanden einen um mindestens eine Visusstufe besseren Visus für die EinzeLOPTOTYPEN im Vergleich zu den REIHENOPTOTYPEN aufweisen. Die Visusstufendifferenz zwischen EOP und ROP für das monokulare Sehen beträgt im Mittel 1,71.

Binokulares Sehen

Abbildung 15 zeigt die Differenz zwischen dem Einzeloptytypenvisus und dem Reihenoptotypenvisus für das binokulare Sehen.

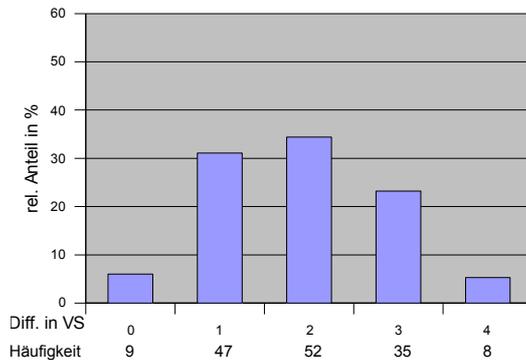


Abb. 15: Differenzen zwischen dem binokularen Einzeloptytypenvisus und Reihenoptotypenvisus; neg. Vorzeichen: EOP-Visus < ROP-Visus; pos. Vorzeichen: EOP-Visus > ROP-Visus

Beim binokularen Vergleich der Einzeloptytypen mit den Reihenoptotypen erreichten 94% aller Kinder einen um mindestens eine Visusstufe besseren Visus für Einzeloptytypen im Vergleich zu Reihenoptotypen. Kein Proband wies einen besseren Reihen- als Einzelvisus auf. Die Visusstufendifferenz zwischen Einzeloptytypen und Reihenoptotypen für das binokulare Sehen beträgt im Mittel 1,90.

Für die Prüfung, ob die für das monokulare und das binokulare Sehen ermittelten Differenzen zwischen Einzeloptytypen und Reihenoptotypen statistisch signifikant sind, konnte der Wilcoxon-Test verwendet werden. Die Nullhypothese H_0 lautete für beide Testmethoden: „Die Wahrscheinlichkeit, einen höheren Einzelvisus zu erreichen ist gleich der Wahrscheinlichkeit, einen höheren Reihenvisus zu erreichen.“

In beiden Prüfungen ist $p < 0,001$. Das hier zu Grunde gelegte Signifikanzniveau beträgt 0,1%. Die Nullhypothesen waren damit abzulehnen. Es liegt in beiden Fällen ein signifikanter Unterschied vor.

4.5 Vergleich des mon- und binokularen Visus

Von 151 Probanden wiesen 2 Kinder einen besseren monokularen als binokularen Visus bei der Prüfung mit Einzel-Landolt-Ringen auf. In 12 Fällen bestand kein Unterschied bei der Prüfung mit einem oder beiden Augen. Die restlichen 137 Probanden zeigten einen besseren bin- als monokularen Visus.

Beim Vergleich der mon- und binokularen Sehschärfe für Reihen-Landolt-Ringe zeigte keines der Kinder einen besseren mon- als binokularen Visus. Sechs Kinder erhielten bei der Prüfung mit einem und bei der Prüfung mit beiden Augen gleiche Ergebnisse. 145 Kinder zeigten eine binokulare Überlegenheit gegenüber der monokularen Sehschärfe.

Um zu prüfen, ob die besseren binokularen Sehschärfewerte gegenüber den monokularen statistisch signifikant sind, wurde der Wilcoxon-Test bemüht. Die Nullhypothese lautete: „Die Wahrscheinlichkeit, einen besseren binokularen Visus zu erreichen, ist gleich der Wahrscheinlichkeit, einen besseren monokularen Visus zu erreichen.“ Für beide Prüfungen ergab sich jeweils $p < 0,001$. Die Nullhypothesen mussten abgelehnt werden. In beiden Fällen konnte auf dem 0,1% Signifikanzniveau ein besserer bin- als monokularer Visus nachgewiesen werden.

Die folgende Tabelle 9 zeigt zum Vergleich die Mittelwerte für den mon- und binokularen Visus.

Tab. 9: Mittelwerte der mon- und binokularen Visusergebnisse

	EOP mon. (o.d.)	EOP bin.	ROP mon. (o.d.)	ROP bin.
Median	1,60	1,60	1,00	1,00
95% Konfidenzintervall	1,25-1,60	1,60-1,60	0,80-1,00	1,00-1,00
Geometrischer Mittelwert	1,43	1,66	0,95	1,07
95% Konfidenzintervall	1,38-1,47	1,61-1,71	0,92-0,99	1,03-1,11

EOP = Einzeloptypenprüfung

ROP = Reihenoptotypenprüfung

mon. = monokular (einäugig)

bin. = binokular (beidäugig)

o.d. = oculus dexter (rechtes Auge)

Bei den Medianen zeigen sich die besseren Messergebnisse für das binokulare Sehen nur in den Konfidenzintervallen. Deutlicher wird der Unterschied bei Betrachtung der geometrischen Mittelwerte:

- Setzt man den monokularen Visus mit 100 % an, ist der binokulare Visus dem monokularen Visus für die Einzeloptypen im geometrischen Mittel um 16,1 % überlegen.
- Setzt man den monokularen Visus mit 100 % an, ist der binokulare Visus dem monokularen Visus für die Reihenoptotypen im geometrischen Mittel um 12,6 % überlegen.

5 Diskussion

5.1 Visuswerte

Zu diskutieren ist, inwieweit die in dieser Arbeit ermittelten Visuswerte der augenärztlichen Praxis als Richtwerte für die Sehschärfe von sechs- bis siebenjährigen Kindern an die Hand gegeben werden können. Es ist zu erörtern,

- ob die bei den untersuchten Kindern gemessenen einzelnen Visusdaten zuverlässig sind,
- wie die gefundenen Werte im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Kindervisusautoren zu bewerten sind,
- welche Aussagekraft der geometrische Mittelwert und der Median für die Praxis haben.

5.1.1 Zuverlässigkeit der gemessenen Einzeldaten

Die gemessenen Einzelvisuswerte der untersuchten Kinder sind zuverlässig, wenn sie unter korrekten Bedingungen getestet wurden und innerhalb einer Toleranzbreite reproduzierbar sind [37].

5.1.1.1 Testbedingungen

Die 151 Kinder, deren Visuswerte in die Ermittlung des Referenzvisus eingingen, sind unter optimalen Bedingungen getestet worden.

Die Kinder wurden vor der Visuserhebung eingehend augenmedizinisch begutachtet. Es gingen nur die Werte der Kinder in die Referenzwertermittlung ein, bei denen pathologische Funktionsbeeinträchtigungen der Augen ausgeschlossen werden konnten. Alle Probanden mit einer Ametropie erhielten vor der maßgebenden Visusmessung eine bestmögliche Korrektur.

Medientrübungen wurden mittels Skiaskopie oder Brücknertest und Ophthalmoskopie ausgeschlossen.

Die Visusprüfungen bei den untersuchten Kindern wurden unter Beachtung der in der EN ISO 8596 niedergelegten Kriterien durchgeführt. Die vorliegende Studie hat Referenzwerte ergeben, die später in der Praxis bei den Untersuchungen der Augenärzte zum Einsatz kommen könnten.

Einzig in zwei Punkten war es schwierig, die Vorgaben der EN ISO 8596 konstant einzuhalten:

Lichtverhältnisse

Nach der EN ISO 8596 soll der genutzte Prüfungsraum unter Tageslichtbedingungen eine möglichst konstante Leuchtdichte aufweisen. Tageslichtschwankungen sind unerwünscht. Solche Tageslichtschwankungen sind bei sich ändernden Witterungsbedingungen, einer Mehrzahl von Untersuchungsräumen und einer über mehrere Wochen dauernden Untersuchung jedoch nicht zu vermeiden. Sie müssen bei dieser Sehschärfestudie kritisch bewertet werden.

Die nicht idealen Lichtverhältnisse (für die Ansprüche physikalischer Laboratorien) sind ein ernstzunehmender, aber kein gravierender Negativfaktor. Die Lichtverhältnisse waren in den jeweiligen Untersuchungsräumen zwar leicht different, bewegten sich jedoch stets in der von der EN ISO 8596 für akzeptabel erachteten Bandbreite (80 und 320 cd/m^2), der Wert lag nie unter 100 cd/m^2 und betrug im Mittel 169 cd/m^2 . Auch die Prüffelder der Augenärzte unterscheiden sich voneinander und können in vielen Fällen nicht völlig konstant gehalten werden. Nach *HARTMANN* [22] beträgt der Sehschärfe-Unterschied zwischen einer Leuchtdichte von 100 cd/m^2 und 1000 cd/m^2 nur eine Visusstufe. Dem Kliniker ist gut bekannt, dass die Sehschärfe auf Änderungen zwischen etwa 100 cd/m^2 und der doppelten Leuchtdichte nicht erkennbar reagiert.

Erkennungsrate

Die Bewertung der Sehleistung der untersuchten Kinder erfolgte in der vorliegenden Studie nicht, wie von der EN ISO 8596 empfohlen, mit einer Erkennungsrate „Fünf von Acht“, sondern mit einer Rate „Vier von Sechs“. Es wurden Landolt-Ringe mit nur vier alternativen Öffnungspositionen angeboten und nicht die nach der EN ISO 8596 vorgesehenen Ringe mit acht Stellungen.

Die EN ISO 8596 enthält für die Visusprüfung von Kindern keine speziellen Empfehlungen. Landoltringe mit acht verschiedenen Positionen überfordern die noch jungen Kinder. Es fällt ihnen schwer, die diagonalen Richtungen richtig zu benennen [21]. Sie können bis in ein Alter von acht bis zehn Jahren sogar die gesehenen Richtungen falsch anzeigen, obwohl sie sie richtig gesehen haben (persönliche Mitteilung von Prof. Dr. W. Haase). Die Kinder verlieren bei einem Angebot von acht Öffnungen schnell den Überblick, werden unkonzentriert und beginnen frühzeitig zu raten. Aus diesem Grund werden Kindern im Alter unter neun Jahren nur vier verschiedene Lückenpositionen des Normsehzeichens angeboten, jeweils zwei horizontal und vertikal [21].

Bei nur vier Öffnungen gelten andere Abbruchkriterien. Der Wendepunkt bei der psychometrischen Funktion für vier mögliche Öffnungspositionen liegt bei $(100\% + 25\% \text{ (Ratewahrscheinlichkeit)}) : 2 = 62,5\%$. Die Forderung bei nur vier verschiedenen Lückenpositionen fünf von acht Landolt-Ringen zu erkennen, ergäbe eine $KER=0,50$ (=50%), bei sechs von zehn geforderten richtigen Sehzeichen wäre die $KER=0,46$ (=46%). Beide Ergebnisse lägen zu weit vom Wendepunkt entfernt. Eine zu niedrige KER bedeutet ein zu leichtes Erkennen und hat einen zu guten Visuswert zur Folge. Üblich ist deshalb, bei den unter Neunjährigen vier von sechs Landolt-Ringen richtig erkennen zu lassen [21]. Diese Quote ergibt eine KER von 55%.

5.1.1.2 Reproduzierbarkeit der Testergebnisse

Visusergebnisse lassen sich nicht exakt auf die gleiche Visusstufe reproduzieren. Der Visus wird subjektiv bestimmt und ist damit abhängig von einer Vielzahl sich verändernder Faktoren. Ein Proband, der sich am Tag 1 hervorragend auf eine Visusprüfung konzentrieren kann, ist am Tag 2 möglicherweise abgelenkt oder unmotiviert. Auch die Rahmenbedingungen lassen sich nicht identisch wiederholen. Die Bedingungen, unter denen ein Referenzvisus wissenschaftlich ermittelt wird, finden sich in der späteren augenärztlichen Praxis nicht 1 zu 1 wieder. Werden durch einen Untersucher Auflichttafeln verwendet, arbeitet ein anderer vielleicht mit Projektoren oder Computerprogrammen.

Auch eine korrekte Durchführung des Sehtestes nach DIN 58 220 garantiert keine absolut reproduzierbaren Visuswerte. *PETERSEN* [37] hat gezeigt, dass bei Testwiederholungen die Ergebnisse nur in ca. einem Drittel aller Fälle identisch waren. In etwa der Hälfte der Fälle ergab sich ein Unterschied von einer Visusstufe, in 16 % der Fälle sogar eine Abweichung von zwei oder drei Stufen [37].

Die Problematik verschärft sich, je weniger verständlich ein Proband mit der ihm gestellten Aufgabe umgehen kann. Aus diesem Grund sind Visusbestimmungen bei kleinen Kindern besonders fehlergefährdet [35]. Die Visusprüfung erfordert ein hohes Konzentrationsvermögen der Kinder. Die starke Fixierung des Landolt-Ringes kann zu einer Lokaladaptation führen [24] und das Bild scheint zu verschwimmen. Das Kind ist irritiert oder verliert das Interesse an dem Test. Manche Kinder reagieren auf medizinische Untersuchungen ängstlich und zurückgenommen. Die Anwesenheit eines Arztes macht sie unter Umständen nervös oder lenkt sie ab. Auf Grund mangelnder Konzentration erreichen sie nicht immer ihre altersgemäße volle Sehschärfe [12].

Bei den 164 für die vorliegende Studie getesteten Kindern ist diesen Phänomenen intensiv begegnet worden (vgl. die Beschreibung der ergriffenen

Maßnahmen in Kapitel 3.2.2.). Es wurden große Anstrengungen unternommen, denkbare Ursachen für Konzentrations- und Verständnismängel auszuräumen.

Im Hinblick auf die vergleichsweise leichten Aufgabenstellungen (Landolt-Ring mit nur vier Öffnungspositionen) und die pädagogisch geschulte Begleitung der Tests ist davon auszugehen, dass die gemessenen Visuswerte keine schlechtere Reproduzierbarkeitsrate aufweisen als die Untersuchungen bei Erwachsenen. Dort geht man in der Praxis von einer Bandbreite +/- einer Visusstufe aus (persönliche Mitteilung von Prof. Dr. W. Haase).

5.1.2 Vergleich mit anderen Kindervisusstudien

Der Visus von Kindern und Jugendlichen ist in verschiedenen Abhandlungen thematisiert (vgl. Tabelle 2 in Abschnitt 2.3.1). Die Autoren haben ihre Ergebnisse mit Hilfe unterschiedlicher Testverfahren und unter unterschiedlichen Bedingungen gewonnen. Die Zahl der Probanden, die gewählten Sehzeichen, die Abbruchkriterien und Erkennungsraten divergieren z.T. beträchtlich. Leider sind die Untersuchungs- und Rahmenbedingungen in einigen Veröffentlichungen nur ansatzweise beschrieben. Häufig werden Mittelwerte angegeben, ohne den Leser über die statistischen und mathematischen Rechenschritte aufzuklären. Vereinzelt wird fälschlicherweise der arithmetische Mittelwert genannt.

Die Besonderheiten der Vergleichsstudien sollen an dieser Stelle nicht diskutiert werden, sie dürften aus den Zielsetzungen der jeweiligen Aufgabenstellungen heraus nachvollziehbar sein. Eine vergleichende Diskussion der Ergebnisse dieser Studie mit den Ergebnissen der anderen Untersuchungen ist durch die beschriebenen Verfahrens- und Darstellungsunterschiede jedoch nur sehr eingeschränkt möglich.

Die vorliegende Studie kommt bei den Einzeloptotypen monokular zu einem geometrischen Mittelwert von 1,43 und binokular zu 1,66 und einem Median

von 1,60 sowohl mon- als auch binokular. Diese Werte liegen deutlich über den Ergebnissen anderer Autoren für sechs- und siebenjährige Kinder.

SLATAPER [41] kommt bei den Sechsjährigen zu einem Visus von 0,74, bei Siebenjährigen soll der Visus 0,78 betragen. Abgesehen davon, dass die Untersuchung bereits mehr als ein halbes Jahrhundert zurückliegt, weist sie ein Merkmal auf, das den Unterschied zu unseren Ergebnissen erklären hilft. *SLATAPER* hat eine Akkommodation unter Einsatz von Augentropfen (1%ige Atropinsulfatlösungen) ausgeschlossen. Er hat damit die Fähigkeit des Auges, die Brechkraft der Linse der Entfernung des fixierten Gegenstandes anzupassen und so scharfe Abbildungen in der Netzhautenebene zu erzeugen, eliminiert.

OPPEL [35] hat Kinder bis zur Einschulung geprüft. Die ältesten seiner Probanden waren also etwas jünger als die Schülerinnen und Schüler unserer Studie. Das könnte ein Grund sein, warum er lediglich zu einem Wert von 1,0 (E-Haken) und 1,1 (Kinderbilder) für die Fünf- bis Sechsjährigen kam. Denn je kleiner ein Kind ist, desto größer sind seine Kontakt- und Wahrnehmungsschwierigkeiten. Schüchternheit gegenüber dem untersuchenden Arzt und Verständnisschwierigkeiten hinsichtlich der Testaufgaben treten bei Kleinkindern häufiger auf als bei den größeren Kindern. *OPPEL* vermutete, dass seine Ergebnisse durch diese Phänomene verfälscht wurden, das Gesamtergebnis durch eine „erstaunlich große Zahl kindlicher Versager“ beeinträchtigt wurde. Stimmt die Vermutung, ist das tatsächliche Sehvermögen von Vorschulkindern besser als die von *OPPEL* ermittelten Visusmittelwerte [35].

Auch *STUKENBROCK* [47] sieht einen wesentlichen Grund für den Anstieg der Sehschärfe mit zunehmendem Kindesalter in der fortschreitenden Verbesserung kognitiver Fähigkeiten wie Aufmerksamkeit und Motivation.

Die individuellen Unterschiede bei den Visusergebnissen der einzelnen Probanden dieser Studie weisen nur geringe Schwankungen auf. Bereits

eingeschulte Kinder sind an Lehraufgaben offenbar gewöhnter und im Umgang mit Erwachsenen (Lehrern, Betreuungspersonen) gereifter. Der von *OPPEL* beschriebene Verfälschungseffekt ist kaum noch vorhanden. Die deutliche Steigerung der Visusergebnisse von eingeschulten Kindern gegenüber den Vorschülern wäre, zumindest teilweise, erklärt.

OPPEL [35] und *SLATAPER* [41] haben ihre Ergebnisse unter Verwendung von E-Haken als Sehzeichen ermittelt. Das könnte bedeuten, dass E-Haken von Kindern im Einschulungsalter schlechter erkannt werden als Landolt-Ringe. Diese Hypothese wird gestützt durch die Ergebnisse anderer Autoren, die Kinder mit Landolt-Ringen getestet haben. So erzielte *STUKENBROCK* [47] bei den Siebenjährigen immerhin einen (leider arithmetischen) Mittelwert von 1,42, *HAASE* [19] sogar einen Wert von 1,5. Andererseits haben *BECKER/GRÄF* [3] bei der Prüfung Erwachsener mit Schielamblyopie eine „Besorgnis erregende Differenz“ zum Landolt-Ring-Visus bei Verwendung von E-Haken nicht feststellen können.

Es kann nur spekuliert werden, warum die Ergebnisse dieser Studie besser sind als die der anderen Untersucher. Der praktische Nutzen dieser Untersuchung dürfte, in Erweiterung der bisherigen wissenschaftlichen Befunde, vorwiegend in zwei Erkenntnissen liegen:

- Sechs- bis Siebenjährige können unter optimalen Prüfungsbedingungen und unter Beachtung der EN ISO 8596 Visuswerte erzielen, die denen der Erwachsenen bereits sehr nahe kommen.
- Die bei Kleinkindern beklagten Konzentrations- und Verständnismängel sind bei Kindern im Einschulungsalter kaum noch vorhanden. Die Testergebnisse sind annähernd so verlässlich wie bei Erwachsenen.

5.1.3 Aussagekraft der Mittelwerte

In dieser Studie sind die Visusergebnisse als geometrische Mittelwerte und als Mediane angegeben. Zu diskutieren ist, welche Aussagekraft beide Werte für die Praxis haben.

Der geometrische Mittelwert berücksichtigt sämtliche Messwerte zu gleichen Teilen und liefert einen auf mehrere Kommastellen berechenbaren Durchschnittswert. Er lässt auch sehr feine Unterschiede zwischen Vergleichsgruppen erkennen und kann dem Praktiker wie der Wissenschaft quantifizierbare Erkenntnisse bringen.

Eine Schwäche der geometrischen Mittelung ist die mangelnde Resistenz gegen Ausreißer. Der geometrische Mittelwert berücksichtigt sämtliche Messwerte einer Testreihe, auch die an den Rändern liegenden Werte (sog. „Ausreißer“). Dies ist unproblematisch, wenn die einzelnen Testwerte normal verteilt sind. Bei nicht normal verteilten Testergebnissen dagegen können die errechneten Mittelwerte bei den Nutzern zu Irritationen führen. Dieses sei am Beispiel der Einzeloptotypen für das rechte Auge (Abb. 8) demonstriert:

Bei den Einzeloptotypen ballen sich die Testwerte im Bereich von 1,25 und 1,6, sind also nicht normal verteilt. Da bei der geometrischen Mittelwertberechnung auch die Ausreißer einzubeziehen sind, beträgt der geometrische Mittelwert 1,43. Es gibt nicht einen einzigen Probanden, der diesen Wert hat und die Werte aller Probanden liegen außerhalb des geometrischen Konfidenzintervalles.

Der Median vermeidet die Schwächen des geometrischen Mittelwertes. Er gewichtet die Messwerte nach ihrer Häufigkeit. Die Daten werden der Größe nach geordnet und betrachtet wird der Wert in der Mitte der Liste. Der Median ist resistent gegenüber Ausreißern und liegt stets auf einer definierten Tabellenstufe. Er eignet sich damit besonders gut als Lageparameter für nicht

normal verteilte Grundgesamtheiten. Die in der vorliegenden Studie ermittelten Visuswerte sind allesamt nicht normal verteilt. Das zeigen die im Ergebnisteil (Kapitel 4) dargestellten Wertefrafiken.

Für die statistische Mittelwertberechnung der physiologischen Sehschärfe ist mithin der Median die zu bevorzugende Methode.

5.2 Visus bei Mädchen und Jungen

Die Untersuchungen der sechs- bis siebenjährigen Probandinnen und Probanden ergaben keinen signifikanten Unterschied in den Visuswerten bei Jungen und Mädchen. Die Sehschärfe ist bei beiden Geschlechtern im Einschulungsalter gleich entwickelt. Die augenärztliche Praxis braucht keine geschlechtsspezifischen Besonderheiten zu beachten.

5.3 Vergleich linkes und rechtes Auge

Bei sechs- bis siebenjährigen Kindern besteht zwischen den jeweiligen Visuswerten beider Augen kein signifikanter Unterschied.

Für die augenärztliche Untersuchungspraxis bedeutet diese Feststellung:
Zur Beurteilung der an Patienten in den Kliniken und Praxen gemessenen monokularen Visuswerte ist es ausreichend, den Ophthalmologen die Empfehlung nur eines Referenzvisuswertes, üblicherweise den des rechten Auges, an die Hand zu geben.

Das Führungsaugauge ist in 2/3 aller Fälle das rechte Auge [5]. Die Ergebnisse zeigen, dass bei sechs- bis siebenjährigen Kindern offensichtlich keine nachweisbare Visuspräferenz zu Gunsten des richtungsdominanten Auges vorliegt. Systematische Untersuchungen bei anderen Altersgruppen sind nicht bekannt geworden.

5.4 Trennschwierigkeiten

Die Schwierigkeiten bei Konturinteraktionen zwischen eng benachbarten Sehzeichen sind ein physiologisches Phänomen bei Kindern bis etwa zum zehnten, zwölften Lebensjahr. Nach *HAASE* und *HOHMANN* [20] ist das visuelle System im Bezug auf Reihensehtests mit etwa zehn Jahren weitgehend ausgereift. Die Differenz zwischen dem Erkennen der Einzelsehzeichen und den Reihenoptypen sollte bei physiologisch augengesunden jugendlichen und erwachsenen Probanden nicht mehr als eine Visusstufe betragen [8, 19, 33].

Der Unterscheid zwischen dem Erkennen von Einzel- und Reihenoptypen beträgt in der vorliegenden Studie bei sechs- bis siebenjährigen Schulkindern rechnerisch 1,71 Visusstufen monokular und 1,90 Visusstufen binokular. Dieses Ergebnis reiht sich in die bisher erforschten Daten gut ein (siehe Tabelle 3). D.h., im Einschulungsalter ist die Trennschwierigkeit bereits deutlich abgebaut, aber noch vorhanden.

Die Praxis sollte mit einer altersbedingten Differenz zwischen den monokularen und den binokularen Werten von zwei Visusstufen bei Kindern dieses Alters arbeiten.

5.5 Monokulares und binokulares Sehen

Für die untersuchten Probanden im Alter von sechs bis sieben Jahren ergab sich eine binokulare Überlegenheit der Sehschärfe gegenüber der monokularen. Sie beträgt im geometrischen Mittel 16,1 % für Einzeloptypen und 12,6 % für Reihenoptypen (siehe Tabelle 9 im Abschnitt 4.5). Diese Werte liegen jeweils zwischen zwei Visusstufen. Die Medianwerte lassen diesen Unterschied in ihren Konfidenzintervallen erkennen. Klinisch ist der Unterschied seit langem bekannt und gut reproduzierbar.

Dieses Ergebnis passt zu den Feststellungen anderer Studien (siehe Tabelle 10), wonach die Überlegenheit der binokularen Sehschärfe gegenüber der monokularen bei jüngeren Kindern besonders hoch ist und sich die monokulare Sehschärfe der binokularen Sehschärfe erst bei den jüngeren Erwachsenen langsam annähert.

Tab. 10: Darstellung altersabhängiger Unterschiede der binokularen Visusüberlegenheit

Alter der Probanden mit jeweiligem Untersucher	Überlegenheit der geometrischen Mittelwerte des bin- gegenüber dem monokularen Visus am Beispiel der EOP (Angabe in %)
9-bis11jährige, <i>STAIGER</i> [44]	17,1
12-bis14jährige, <i>EGGERT</i> [13]	15,8
12-bis 14jährige, <i>DONNER</i> [11]	12,4
15-bis 17jährige, <i>DONNER</i> [11]	11,7
15-bis19jährige, <i>CHANG</i> [7]	9,2

Das binokulare System reift im Kindesalter schneller als das monokulare. Bei augenärztlichen Untersuchungen muss die Überlegenheit des binokularen Sehens von Kindern und Jugendlichen beachtet werden.

Mit Blick auf das 95%-ige Konfidenzintervall für die Mediane bei den sechs- bis siebenjährigen Kindern (siehe Tabelle 9 im Abschnitt 4.5) empfiehlt sich folgende Handhabe:

Liegt der Messwert für das monokulare Sehen eine Visusstufe unter dem binokularen Wert, ist dieser Unterschied mit hoher Wahrscheinlichkeit altersbedingt. Beträgt die Abweichung mehr als eine Visusstufe, ist der Befund auffällig, wenn auch im Hinblick auf die natürliche Streuung noch nicht zwingend krankheitsabgrenzend.

5.6 Praxisempfehlungen

Der augenärztlichen Praxis können folgende Erkenntnisse an die Hand gegeben werden:

Referenzvisus für sechs- bis siebenjährige Kinder

Der Visus eines sechs- bis siebenjährigen Kindes könnte nicht altersgerecht entwickelt sein, wenn

- der Wert für Einzeloptotypen unter 1,0 monokular und unter 1,25 binokular liegt,
- der Visus für Reihenoptypen weniger als 0,63 monokular und weniger als 0,8 binokular beträgt.

Die in dieser Studie ermittelten Visusmittelwerte aller Probanden liegen eine Visusstufe über der obigen Empfehlung. Es schien nicht ratsam, die außerordentlich guten Testergebnisse 1:1 zu Referenzwerten zu erheben. Der Abschlag ist sinnvoll, weil

- die Ermittlung der Referenzvisuswerte unter nahezu idealen Bedingungen stattfand und diese bei augenärztlichen Untersuchungen so nicht geschaffen werden können,
- Kinder (insbesondere kleinere Kinder) höhere Fehlerquoten bei Visusprüfungen aufweisen als Erwachsene und
- bei allen Visusprüfungen intraindividuelle Streuungen in den Messergebnissen und in der Reproduzierbarkeit von +/- einer Stufe angenommen werden müssen.

Misst ein Augenarzt bei einem sechs- bis siebenjährigen Kind einen Visus unterhalb der Referenzbreiten, sollte diese Feststellung Anlass zu weiterführenden Untersuchungen sein.

Weitere Erkenntnisse:

Sechs- bis siebenjährige Kinder weisen keine geschlechtsspezifischen Visusunterschiede auf.

Linkes und rechtes Auge sind gleich stark.

Trennschwierigkeiten sind in der Altersgruppe der Sechs- bis Siebenjährigen noch vorhanden. Die Praxis sollte mit einer altersbedingten Differenz zwischen den monokularen und den binokularen Werten von zwei Visusstufen arbeiten.

Liegt der Messwert für das monokulare Sehen eine Visusstufe unter dem binokularen Wert, ist dieser Unterschied mit hoher Wahrscheinlichkeit altersbedingt. Beträgt die Abweichung mehr als eine Visusstufe, ist der Befund auffällig, jedoch nicht sofort als pathologisch einzustufen. Hier werden weitere Untersuchungen empfohlen.

Anmerkung:

Die Erhebung der Visuswerte erfolgte an fünf per Zufall ausgewählten Grundschulen in Mecklenburg-Vorpommern. Die gefundenen Referenzwerte repräsentieren somit, streng genommen, nur die sechs- bis siebenjährigen Kinder in Mecklenburg. Sie dürften allein nach den Grundsätzen der Statistik nur bei der Untersuchung Mecklenburger Kinder eingesetzt werden.

Medizinisch haben die ermittelten Sehschärfe-Werte jedoch auch außerhalb der Grenzen Mecklenburgs einen Aussagewert. Die visuellen Funktionsleistungen eines Menschen sind vorwiegend anatomisch und genetisch bedingt [21, 35]. Lebensgestaltung, beruflicher Alltag, Freizeitverhalten, Lesegewohnheiten etc. wirken sich, wenn überhaupt, allenfalls marginal auf den Visus aus.

Bei sechs- bis siebenjährigen Kindern dürfte deshalb das räumliche Umfeld nicht ausschlaggebend sein. Jedenfalls liegen hier keine anderslautenden

wissenschaftlichen Erkenntnisse vor. Autoren, die sich mit Visuswerten von Kindern beschäftigt haben, messen allenfalls dem intellektuellen Vermögen der noch jungen Kinder Bedeutung zu [35]. Besonders reife oder besonders intelligente Kinder im Grundschulalter liefern tendenziell höhere Visuswerte als die nicht so begabten Kinder. Die Ursache hierfür ist vermutlich in der besseren Auffassungs- und Konzentrationsfähigkeit der klugen Kinder zu suchen. Laut *OPPEL* haben Kinder mit guter Begabung im Zweifel keine besseren Augen, sie können sich aber besser auf die gezeigten Sehzeichen konzentrieren [35].

Es wäre rein spekulativ zu behaupten, sechs- bis siebenjährige Kinder in Mecklenburg seien begabter oder weniger begabt als Kinder in anderen Bundesländern. Dafür gibt es keinerlei Anhaltspunkte. Ähnliches gilt für die verbreitete Einschätzung, Kinder aus niederen sozialen Schichten hätten weniger Bildungschancen und seien deshalb im Einschulungsalter bereits zurückgeworfen. Solche Einflüsse gibt es in Mecklenburg so häufig und so selten wie in anderen Regionen.

Es spricht daher nichts dagegen, die in dieser Studie ermittelten Referenzwerte auch außerhalb Mecklenburgs zumindest beratend heranzuziehen, statistische Vorbehalte inbegriffen.

6 Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war die Bestimmung von Referenzvisuswerten für augengesunde Kinder im Alter von sechs bis sieben Jahren. Hierzu wurden 164 Kinder in ländlichen wie städtischen Regionen im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern untersucht. 151 und damit 92% der untersuchten Kinder waren augengesund. Auf Basis der ermittelten Visuswerte der augengesunden Kinder wurde der physiologisch erreichbare Referenzvisus als geometrischer Mittelwert und als Median, jeweils unter Angabe eines Konfidenzintervalles (KI), errechnet.

Der geometrische Mittelwert für Einzeloptotypen beträgt für das rechte Auge 1,43 (KI: 1,38-1,47). Der binokulare Referenzwert ist 1,66 (KI: 1,61-1,71). Für die Reihenoptotypenprüfung beträgt der Mittelwert 0,95 monokular (KI: 0,92-0,99) und 1,07 binokular (KI: 1,03-1,11).

Der Median für Einzeloptotypen beträgt für das rechte Auge 1,60 (KI: 1,25-1,60). Der binokulare Referenzwert ist ebenfalls 1,60 (KI: 1,60-1,60). Für die Reihenoptotypenprüfung beträgt der Median 1,00 monokular (KI: 0,80-1,00) und 1,00 binokular (KI: 1,00-1,00).

Aus diesen Mittelwerten leitet sich, unter Berücksichtigung einer individuellen Streuung von einer Visusstufe, folgende Praxisempfehlung ab:

Der Visus eines sechs- bis siebenjährigen Kindes könnte nicht altersgerecht entwickelt sein, wenn

- der Wert für Einzeloptotypen unter 1,00 monokular und unter 1,25 binokular liegt,
- der Visus für Reihenoptotypen weniger als 0,63 monokular und weniger als 0,8 binokular beträgt.

Eine Abhängigkeit des Visus hinsichtlich des Geschlechts konnte statistisch nicht nachgewiesen werden.

Ein signifikanter Unterschied zwischen rechtem und linkem Auge konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

Zur Beurteilung der Trennschwierigkeiten erfolgten die Visusprüfungen nicht nur für Einzeloptotypen, sondern auch für Reihenoptotypen. Mit einer Visusstufendifferenz zwischen EOP und ROP von 1,71 monokular und 1,90 binokular zeigt sich, dass in diesem Alter Trennschwierigkeiten in der Größenordnung von zwei Visusstufen unauffällig sind.

Der binokulare ist dem monokularen Visus im geometrischen Mittel überlegen. Die prozentuale Überlegenheit beträgt für Einzeloptotypen 16,1 % und für Reihenoptotypen 12,6 %. Der Wert liegt damit innerhalb der Größe zwischen zwei benachbarten Visusstufen. Er ist nicht durch einmalige Prüfung oder auch wenige Wiederholungen der Prüfung bei derselben Person zu bestimmen, wohl jedoch durch eine hohe Zahl von Wiederholungen oder durch Prüfung einer Vielzahl von Probanden, die sich hinsichtlich ihres Alters nicht unterscheiden und augengesund sind.

Für Sechs- bis Siebenjährige gilt:

Liegt der Messwert für das monokulare Sehen eine Visusstufe unter dem binokularen Wert, ist dieser Unterschied mit hoher Wahrscheinlichkeit altersbedingt. Beträgt die Abweichung mehr als eine Visusstufe, ist der Befund auffällig, dem nachgegangen werden sollte.

7 Literaturverzeichnis

1. Adler F.H. (1953) Physiology of the eye, 2nd ed. Mosby, St. Louis
2. Bárány W. (1946) A theory of binocular visual acuity and an analysis of the variability of visual acuity. Acta Ophthalmol. (Kbh.) 24: 62-92
3. Becker, R., Gräf, M. (2006) Landolt-Ring- vs. Snellen-E-Visus: Unterschiede bei Schielamblyopie?, Klein Monatsbl Augenheilkd; 223: 24-28
4. Birch, Eileen E., Hale, Linda A. (1988) Criteria for monocular acuity deficit in infancy and early childhood, Investigative ophthalm. vis. sci 29: 636-643
5. Burian, H. M. (1969) Eyedness handedness and Refractive Error in Relation to Strabismic Amblyopia :Wissenschaftliche Zeitschrift Math. Reihe Leipzig (18) Universität Leipzig S. 236- 240
6. CEN (Europäisches Komitee für Normung) EN ISO 8596 Berlin: Beuth Verlag, 1996
7. Chang K. M. (1996) Bestimmung des physiologischen Fernvisus augengesunder Jugendlicher im Alter zwischen 15 und 19 Jahren nach EN ISO 8596, Med. Diss. Universität Hamburg
8. Cibis L., Hurtt J., Rasicovici A. (1968) A clinical study of separation difficulty in organic and functional amblyopia, Am. Orthopt. J. 18: 66 – 72
9. Davson H. (1980) Physiology of the eye, 4th ed. Churchill Livingstone, London New York
10. DIN 58220 (1988-1990) Normausschuss Feinmechanik und Optik im DIN 58220, Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin, Beuth Verlag
11. Donner A., Bestimmung des physiologischen fernvisus augengesunder Jugendlicher im Alter zwischen 12 und 17 Jahren unter Einhaltung der EN ISO 8596. Med. Diss. Universität Hamburg (2005)
12. Effert R., Broichhagen S., Rau G., Reim M. (1991) Visusprüfungen bei Kindern. Klin. Monatsbl. Augenheilkunde, 199: 415-418
13. Eggert K. (2003) Bestimmung des physiologischen Fernvisus augengesunder Jugendlicher im Alter zwischen 12 und 14 Jahren unter Verwendung eines computergestützten Sehtestes. Med. Diss. Universität Hamburg

14. Ferris FL, Kassoﬀ A, Bressnick GH, Bailey I. New visual acuity charts for clinical research. *Am J Ophthalmol* 1982; 94:91-96
15. Flom, M. C., F. W. Weymouth, D. Kahnemann: Visual resolution and contour interaction. *J. Optical Soc. Amer.* 1963; 53: 1026-1032
16. Frisén L., Frisén M. (1981) How good is normal visual acuity? *Albrecht Graefes Arch. Klin. exp. Ophthalmol.* 215: 149-157
17. Fulton AB, Mayer DL. Esotropic children with amblyopia: effects of patching on acuity. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1988; 226: 309-312
18. Gräf M. (2004), Strategien der Visusbestimmung, *Klin. Monatsbl. Augenheilkd.* 221: 557-565
19. Haase W. (1995) Amblyopie, In: Kaufmann H. (Hrsg.) *Strabismus*, Enke, Stuttgart
20. Haase W.; Hohmann A. (1982) Ein neuer C-Test zur quantitativen Prüfung der Trennschwierigkeiten, *Klin. Monatsbl. Augenheilkd.* 180: 210-215
21. Haase W., Rassow B. (1995) Sehschärfe, in: Kaufmann H. (Hrsg.) *Strabismus*, 2. Auflage, Enke, Stuttgart
22. Hartmann E. (1987) Sehschärfebestimmung, *Klin. Monatsbl. Augenheilkd* 191: 62-68
23. Hautzinger S. (1997) Bestimmung der physiologisch möglichen Sehschärfe von gesunden Probanden im Alter zwischen 20 und 30 Jahren unter Verwendung eines neuen Computersehtests. Etablierung des neuen Verfahrens durch Vergleichsmessungen mit Aufsichttafeln (konventionelle Methode), *Med. Diss. Universität Hamburg*
24. Heckenmüller E.G. (1965) Stabilisation of the retinal image: a review of the method, effects and theory, *Psychological Bull.* 63: 157-169
25. Hohmann A., Haase W. (1981) Entwicklung der Sehschärfe beim Menschen. Ein neuer Test mit standardisierten Einzel- und Reihenoptotypen. *Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.v., Arbeitskreis Schielen*, Wiesbaden 1980, Band 13: 137-143
26. Hohmann, A., Haase, W., Steinhorst, U. (1990) Die Validierung eines neuen Sehschärfetests (H-Test) für Vorschulkinder. *Spektrum Augenheilk.* 4, 240-244

27. Holladay, M. D., Prager, Thomas C., (1991) Mean Visual Acuity, American Journal of Ophthalmology (3): 372-374
28. Horowitz M.W. (1949) An analysis of the superiority of binocular over monocular visual acuity, Exp. Psychol. 39: 581
29. Lithander, J. (1984) Kolt-Test. Prüfung der Sehschärfe bei 2-Jährigen. Z. prakt. Augenheilk. (4) 258
30. Ludvigh E. (1941) Effect of reduced contrast on visual acuity as measured with Snellen test letters, Arch. Ophthalmol. 25: 469 – 474
31. Mann, H.B., Whitney, D.R.: On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. Ann. Math. Statist., 18: 50-60, 1947.
32. Marsh W.R., Rawlings S.C., Mumma J.V. (1980) Evaluation of clinical stereoacuity tests. Ophthalmology 87: 1265-1272
33. Müller P. (1951) Über das Sehen der Amblyopen, Ophthalmologica 121: 143 - 149
34. Okuda F.C., Apt L., Wanter B.S. (1976) Evaluation of the TNO random-dot stereogram test. Am Ass Cert Orth 10: 124-130
35. Ooppel O. (1964) Über die Entwicklung der Sehschärfe bei Kindern im Vorschulalter. Klin. Monatsbl. Augenheilkunde 145: 358-371
36. Paliaga G. P. (1993) Die Bestimmung der Sehschärfe, Quintessenz, München
37. Petersen, J. (1993), Fehlerhafte Visusbestimmungen und ihre quantitativen Auswirkungen, Ophthalmologie 90: 533-538
38. Rassow B., Haase W. (1995) Sehschärfe, in: Straub W., Kroll P., Kühle H.J. (Hrsg.) Augenärztliche Untersuchungsmethoden, Enke, Stuttgart
39. Schober H., Munker H. (1965) Die Bestimmung der Sehschärfe und ihre Reproduzierbarkeit, Klin. Monatsblatt Augenheilkunde 146: 210-216
40. Sheedy J. E., Bailey I. L., Raasch T. W. (1984) Visual acuity and chart luminance, Am. J. Optom. Physiol. Opt. 61: 595 – 600
41. Slataper F. J. (1950) Age norms of refraction and vision, Arch. Ophthalmol. 43: 468 - 481
42. Sloan L. L. (1951) Measurement of visual acuity: a critical review, Arch. Ophthalmol. 45: 704 - 725

43. Snellen H., (1873) Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe. 4. Ausg. Peters, Berlin
44. Staiger D. (2000) Bestimmung der physiologisch möglichen Sehschärfe von augengesunden Kindern im Alter von 6 bis 7 Jahren und im Alter von 9 bis 11 Jahren unter Verwendung eines neuen, computergestützten Sehtests, Med. Diss. Universität Hamburg
45. Steinhorst, U., Hohmann, A., Haase, W. (1990) Prüfung eines Sehschärfe-Äquivalentes im nonverbalen Kindesalter. ZPA 11, 87-90
46. Stuart J. A., Burian H. M. (1962) A study of separation difficulty, Am. J. Ophthalmol. 53: 471 – 477
47. Stukenbrock, U. (1988) Bestimmungen des Fernvisus mit Streifenmustern unterschiedlicher Feldgröße bei 4- bis 12-jährigen Kindern, Med. Diss. Universität Hamburg
48. Thomas J. P. (1975) Spatial resolution and spatial interaction. In: Carterette EC, Friedmann MP (Hrsg) Handbook of Perception 5. Academic Press, New York: 233 – 264
49. Trendelenburg W. (1961) Der Gesichtssinn, 2. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg, New Springer, Berlin, Heidelberg, New York
50. vom Hofe K., (1930) Untersuchungen über das Sehen in Fällen von Schielamblyopie. Ber. Dtsche. Ophthalmol. Ges., 48: 41-45
51. Vorschläge der Kommission zur Koordinierung der Sehschärfebestimmungsgeräte der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft, 68. Zusammenk. Dtsch. Ophthalmol. Ges. 1967, (1968) 582
52. Walraven J. (1975) Amblyopia screening with random-dot stereograms. Am J. Ophthalmol 80: 893-900
53. Westheimer G., McKee S.P. (1975) Visual acuity in the presence of retinal image motion, J. Opt. Soc. Amer. 65: 847-850
54. Westheimer G. (1979) Scaling of visual acuity measurements, Arch. Ophthalmol. (Chicago) 97: 327-330
55. Westheimer G. (1981) Visual acuity, In: Moses R (ed) Adler`s Physiologie of the eye, 8th edn., Mosby, St. Louis

Weiterführende Quellen im Internet:

56. Leitlinie Sozialpädiatrie und Jugendmedizin
URL: <http://www.uni-duesseldorf.de/AWMF/II/071-007.htm>
[Stand 2004-12-09]
57. BVA: Schulprobleme – Augenprobleme?
URL: http://www.augeninfo.de/patinfo/pi_kids.php [Stand 2006-10-28]
58. BVA: Pressereferat
URL: <http://www.augeninfo.de/presse/0302ki.htm> [Stand 2004-12-06]
59. BVA: Pressereferat
URL: <http://www.augeninfo.de/presse/9911vor1.htm> [Stand 2005-06-25]
60. Leitlinie Kinder-Jugend-Psychiatrie: Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten.
URL: <http://www.uni-duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/028-017.htm>
[Stand 2006-10-28]

8 Danksagung

An erster Stelle bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. W. Haase für die großzügige Überlassung des Themas, die gute Betreuung und fachliche Anleitung bei der Durchführung der Untersuchungen. Danke sage ich vor allem auch für seine unbürokratische Art und seine immer wieder neu vorhandene Begeisterung für diese Thematik.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Supplieth, der mir bei statistischen Fragen und Auswertungen immer zur Seite stand.

Ein Dank geht auch an die Schulleitung und die Klassenlehrerinnen für die unkomplizierte Unterstützung unserer Untersuchungen. Mein besonderer Dank gilt den Kindern und ihren Eltern.

Meinem Ehemann Dietmar Heins sowie meiner Freundin Dr. Stephanie Brüning danke ich für die konstruktive Kritik an dieser Arbeit.

Dank auch meiner Familie und meinen Freunden, die mich während dieser Arbeit besonders unterstützten.

9 Lebenslauf

Tab. 11: Lebenslauf

23. Juli 1969	Geboren in Lübz/Mecklenburg
<u>Schulbesuch</u>	
1976 bis 1986	Allgemeinbildende Polytechnische Oberschule in Karow
<u>Beruflicher Werdegang</u>	
1986 bis 1990	Pädagogikstudium am Institut für Lehrerbildung „Jacques Duclos“ in Rostock; Studienschwerpunkt: Deutsch und Mathematik
1990 bis 1991	Tätigkeit als Grundschullehrerin in Karow/M.
1991 bis 1993	Ausbildung zur Zahnarzthelferin in Hamburg
1993 bis 1997	Tätigkeit als Zahnarzthelferin in Hamburg; 1995 bis 1997 Besuch des Abendgymnasiums in Hamburg; 1997 Abitur
1998 bis 2004	Studium der Zahnmedizin an der Universität Hamburg
14.07.2004	Zahnärztliche Prüfung
02.08.2004	Approbation als Zahnärztin
Seit 09/2004	Tätigkeit als Assistenz Zahnärztin im Universitätskrankenhaus Eppendorf (HH) (Elternzeit vom 08.02.2006-30.09.2006)

10 Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Aussage (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Hamburg, Februar 2007