Aus dem Bereich Pleoptik und Orthoptik der Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde
Direktor i. R.: Prof. Dr. med. Wolfgang Haase
des Kopf- und Hautzentrums
des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf
Direktor: Prof. Dr. med. Gisbert Richard

Monokulare und binokulare Augenfunktionsprüfungen bei fünf- und sechsjährigen Kindergartenkindern

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg vorgelegt von
Maike Anderssohn
aus Hamburg

Hamburg, 2007

Angenommen vom Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am: 17.9.2007

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende Prof. Dr. W. Haase
Prüfungsausschuss: 2. Gutachter/in Prof. Dr. M. Klemm
Prüfungsausschuss: 3. Gutachter/in Prof. Dr. J. R. Schwarz

Inhaltsverzeichnis

1 Fragestellung ... 3

2 Einleitung ... 4

2.1 Die Sehschärfenprüfung im Kindesalter ... 6

2.2 Die Entwicklung der normalen Sehschärfe ... 8

3 Methoden und Probanden ... 10

3.1 Bestimmung der Sehschärfe nach DIN EN ISO 8596 ... 10

3.1.1 Definition der Sehschärfe ... 10
3.1.2 Monokulare versus binokulare Sehschärfe ... 10
3.1.3 Das Normsehzeichen und seine Skalierung ... 10
3.1.4 Anzahl und Orientierungen des Landoltringes ... 12
3.1.5 Abstand der Sehzeichen ... 12
3.1.6 Prüfdistanz ... 13
3.1.7 Photometrische Bedingungen ... 13
3.1.8 Schwellenwertbestimmung ... 14

3.2 Bestimmung des binokularen Sehens ... 17

3.2.1 Bagolini-Streifenglastest ... 17
3.2.2 Lang-Stereotest II ... 17
3.2.3 Titmus-Test nach Wirt ... 18

3.3 Bestimmung der Augenstellung ... 19

3.3.1 Abdecktest (Covertest) ... 19
3.3.2 Aufdecktest (Uncovertest) ... 19

3.4 Ermittlung von Ametropien und organischen Auffälligkeiten ... 20

3.5 Untersuchte Kindergartenkinder ... 21

3.5.1 Allgemeines ... 21
3.5.2 Altersgruppen ... 21
3.5.3 Gruppenzuordnung Normalsichtige – Ausschlussgruppe ... 22

3.6 Durchführung der Untersuchung ... 24

3.7 Statistische Methoden ... 26

3.7.1 Maße der zentralen Tendenz ... 26
3.7.2 Streuungsmaße ... 27
3.7.3 Konfidenzintervall ... 27
3.7.4 Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben ... 28
3.7.5 U-Test von Mann und Whitney ... 28

4 Ergebnisse ... 30

4.1 Ablauf der Untersuchung ... 30

4.1.1 Mitarbeit der Kinder ... 30
4.1.2 Untersuchungsdauer ... 31
4.1.3 Gruppenzuordnung ... 31

4.2 Visuswerte der normalsichtigen Fünfjährigen ... 35
4.2.1 Einzeloptotypen rechtes Auge ... 35
4.2.2 Einzeloptotypen linkes Auge ... 35
4.2.3 Einzeloptotypen binokular ... 36
4.2.4 Reihenoptotypen rechtes Auge ... 36
4.2.5 Reihenoptotypen linkes Auge ... 37
4.2.6 Reihenoptotypen binokular ... 37
4.3 Visuswerte der normalsichtigen Sechsjährigen ... 38
4.3.1 Einzeloptotypen rechtes Auge ... 38
4.3.2 Einzeloptotypen linkes Auge ... 38
4.3.3 Einzeloptotypen binokular ... 39
4.3.4 Reihenoptotypen rechtes Auge ... 39
4.3.5 Reihenoptotypen linkes Auge ... 40
4.3.6 Reihenoptotypen binokular ... 40
4.4 Ergebnisse des Binokularsehens bei den Normalsichtigen ... 41
4.4.1 Bagolini-Streifenglastest ... 41
4.4.2 Lang-Stereotest II ... 41
4.4.3 Titmus-Test ... 41
4.5 Untersuchung der Augenstellung der Normalsichtigen ... 42
4.6 Ergebnisse der Ausschlussgruppe ... 43
4.6.1 Visuswerte ... 43
4.6.2 Untersuchung des Binokularsehens ... 43
4.7 Vergleich der Visuswerte innerhalb der Gruppen ... 45
4.7.1 Vergleich rechtes Auge – linkes Auge, Normalsichtige ... 45
4.7.2 Vergleich rechtes Auge – binokular, Normalsichtige ... 46
4.7.3 Vergleich Einzeloptotypen und Reihenoptotypen ... 47
4.7.4 Vergleich der Visuswerte bei Berücksichtigung der Stereopsis ... 48
4.8 Vergleich der Visuswerte unterschiedlicher Altersgruppen ... 49
4.8.1 Vergleich Fünfjährige und Sechsjährigen ... 49
4.8.2 Vergleich sechsjähriger Kindergartenkinder und Kinder der 1. Schulklasse ... 49

5 Diskussion ... 50

6 Zusammenfassung ... 59

Literaturverzeichnis ... 60

Abbildungsverzeichnis ... 65

Danksagung ... 67

Lebenslauf ... 68

Erklärung ... 69

1 Fragestellung

Frisén und Frisén [24] untersuchten in einer wegweisenden Studie die normale Visusentwicklung augengesunder Probanden unter der Verwendung vorher definierter Ausschlusskriterien. Die Deutsche Gesellschaft für Ophthalmologie empfiehlt für Visusprüfungen normierte Bedingungen nach DIN EN ISO 8596 [9]. Unter Berücksichtigung dieser Norm und mit Anwendung der von Frisén und Frisén [24] erstellten Ausschlusskriterien wurden bisher nur Kinder ab dem Schulalter untersucht, für Kinder im Vorschulalter gibt es keine vergleichbaren Daten. Diese für eine größere Gruppe fünf- und sechsjährigen Kindergartenkinder zu erheben und auszuwerten soll das Ziel der vorliegenden Arbeit sein. Insbesondere soll sie sich mit den folgenden Fragen befassen:

- Wie gut ist der durchschnittliche monokulare / binokulare Fernvisus bei fünf- und sechsjährigen, normalsichtigen Kindern?
  a) bei einzeln stehenden Sehzeichen (Einzeloptotypen)
  b) bei in Reihe stehenden Sehzeichen (Reihenoptotypen)
- Zeigen die Kinder bessere Ergebnisse bei den Einzeloptotypen als bei den Reihenoptotypen als Zeichen von Trennschwierigkeiten („crowding“)? Wenn dem so ist, wie groß ist der Unterschied der gemessenen Visuswerte?
- Unterscheiden sich die Werte des binokularen Visus signifikant von denen des monokularen Visus?
- Unterscheiden sich die Visuswerte der Fünf- und Sechsjährigen signifikant von denen der bisher untersuchten älteren Kinder?
- Welche Ergebnisse zeigt die Prüfung des räumlichen Sehens (der statischen Stereopsis?)
  a) mit dem Lang-Stereo-Test
  b) mit dem Titmus-Test
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen schlechtem räumlichen Sehen, also einer niedriger Disparationsgrenze in den Tests der statischen Stereopsis, und niedrigem Visus?

2 Einleitung

Die Sehschärfe (Visus) stellt eine zentrale Funktion des visuellen Systems dar, die bei jeder augenärztlichen Untersuchung bestimmt werden sollte [10, 30]. Sie ist das wichtigste Maß für die funktionelle Leistung des Auges und häufig der einzige durch den Augenarzt erhobene Wert zur Beurteilung dieser [14, 53, 68]. Der ermittelte Visus ist die Grundlage für viele augenärztliche Entscheidungen wie die Verordnung einer Brille, die Indikationsstellung für Operationen und die Beurteilung von Therapieerfolgen, aber auch für gutachterliche Zwecke [31, 53].

Eine genaue Visusprüfung sollte schon bei kleinen Kindern durchgeführt werden, da das visuelle System während dieser Zeit noch plastisch ist [18, 37, 61]. Dies bedeutet, dass einerseits schädliche Einwirkungen wie z.B. Behinderung einer gut fokussierten Abbildung eine bleibende Sehschwächen (Amblyopie) verursachen können, andererseits kann jedoch eine Amblyopie, die in diesem Alter entdeckt wird und die mittels der Visusprüfung gut erfassbar ist, noch vollständig geheilt werden. Außerdem kann eine frühzeitig entdeckte und korrigierte Fehlsichtigkeit die Entwicklung der Sehschärfe positiv beeinflussen [22, 23, 42]. Auch Einschränkungen des räumlichen Sehens mit Benachteiligung im Schul- und Berufsleben können bei rechtzeitiger Therapie vermieden werden [4].

Um eine Aussage darüber treffen zu können, ob ein erhobener Visuswert als normal oder als auffällig zu gelten hat, ist es notwendig, den Visus mit Werten von normalsichtigen Personen zu vergleichen [17, 34, 49]. Auch ein Vergleich mit vorher erhobenen Visuswerten derselben Person kann im Sinne einer Verlaufskontrolle notwendig sein [25]. Der Vergleich von Sehschärfewerten ist jedoch schwieriger, als man zunächst annimmt. Eine Reihe von Autoren haben schon früh darauf hingewiesen, dass der gemessene Visus von den Messbedingungen abhängt [3, 25, 51, 58]. Nur Visuswerte, die unter den gleichen Bedingungen erhoben wurden, können sinnvoll miteinander verglichen werden [12]. Aus diesem Grund wurde 1974 mit der DIN 58220 die erste Norm für die Sehschärfenprüfung eingeführt, welche mittlerweile von der internationalen Norm DIN EN ISO 8596 abgelöst wurde [9, 53]. Sie enthält Bestimmungen, die alle wesentlichen Einflussgrößen der Sehschärfe regeln. Auch die Visusprüfung bei Kindern sollte, soweit möglich, solchen Standards folgen [6, 17, 34]. Die durch die Norm gesicherte Vergleichbarkeit verschiedener Visuswerte ist nicht nur die Voraussetzung für die Beurteilung von intra- oder interindividuellen Unterschieden, sondern dient auch der besseren Kommunikation zwischen Kollegen [31].

Für die Sehschärfenprüfung bei Kindern ist die Kenntnis der altersabhängigen Normwerte unverzichtbar [47, 57]. Das visuelle System befindet sich noch in der Entwicklung und die

Visuswerte verändern sich mit zunehmendem Alter [51]. So wie es für Körpermaße wie Größe, Gewicht und Kopfumfang sogenannte Perzentilenkurven gibt, anhand derer überprüft wird, ob die Entwicklung altersentsprechend verläuft, sollte auch bei der Bewertung des Visus dessen Verteilung bei den Gleichaltrigen berücksichtigt werden [34, 47, 57]. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund wichtig, dass die erste Sehschärfenprüfung bei Kindern häufig als Screening im Rahmen der Vorsorgeuntersuchungen beim Kinderarzt durchgeführt wird [39]. Ziel von Screeninguntersuchungen ist es, die Kinder zu identifizieren, bei denen der Verdacht auf eine vorher definierte, therapierbare Erkrankung besteht und sie einer genaueren Diagnostik und Therapie zuzuführen [42]. Bei den Sehscreenings wird speziell auf Anzeichen einer Visusminderung geachtet, die das sensibelste Kriterium für die Diagnose einer Amblyopie darstellt [39, 42, 61, 69]. Ob ein Kind diesbezüglich auffällig ist, wird anhand von festgelegten Mindestwerten bestimmt, die jedes gleichaltrige Kind erreichen sollte. Die Sensitivität, also die Wahrscheinlichkeit mit der man auffällige Kinder auch als solche erkennt, ist umso höher, je höher der Mindestwert angesetzt werden kann [61]. Ist er zu niedrig, werden viele Kinder trotz visueller Beeinträchtigung die Grenze erreichen, als normal eingestuft werden und keine Therapie erhalten [60, 69]. Ist er jedoch zu hoch, läuft man Gefahr, zu viele Kinder als auffällig einzustufen, bei denen keine visuelle Beeinträchtigung vorliegt. Aus ökonomischen Gründen ist auch die Rate dieser als falsch-positiv bezeichneten Ergebnisse möglichst gering zu halten, da sie zu unnötigen fachärztlichen Untersuchungen führt [39, 40]. Je genauer man demnach weiß, in welchem Bereich der normale Visus gleichaltriger Kinder liegt, desto besser kann man den Mindestwert festlegen und damit sowohl die Kosteneffektivität als auch die Qualität des Sehscreenings verbessern.

Um auch kleine Veränderungen der Sehschärfe im oberen Bereich (Schwellenregion) sicher erfassen zu können, sollte eine genaue Sehschärfenprüfung immer zum Ziel haben, den bestmöglichen Visus zu ermitteln [25, 31]. Leider ist es nach wie vor üblich, im klinischen Alltag den Visus über den Wert 1,0 hinaus nicht zu bestimmen. Dies liegt zum Teil daran, dass für das Refraktionieren (Bestimmung der Brechungsverhältnisse des Auges) die Ermittlung des bestmöglichen Visus nicht notwendig ist [26, 31]. Zum Teil liegt es aber auch an den zur Zeit noch verwendeten Sehtafeln, die häufig über Werte von 1,0 oder 1,2 nicht hinausgehen, da ein Visus von 1,0 lange Zeit fälschlich als der „normale“ Visus angesehen wurde [14, 17, 25, 67]. Der gemessene Visuswert hängt somit unmittelbar auch von dem Verfahren ab, mit dem er bestimmt wird und kann höchstens so gut sein, wie das jeweilige Verfahren es zulässt.

2.1 Die Sehschärfenprüfung im Kindesalter

Die Sehschärfenprüfung bei Kindern wird mit einer Vielzahl unterschiedlicher, an das jeweilige Lebensalter angepasster Testverfahren durchgeführt [17]. Sie ermöglichen eine Beurteilung des Visus schon von Geburt an. Die erhobenen Werte sind allerdings wegen der verschiedenen Rahmenbedingungen nur eingeschränkt untereinander vergleichbar und auch die Art der gemessenen Sehschärfe ist zum Teil unterschiedlich [17, 34, 56]. Einige der von Geburt bis zum Schulalter eingesetzten Verfahren sollen im weiteren kurz dargestellt werden.

Teller Acuity Cards (TAC)

In den ersten zwei bis drei Lebensjahren wird der Visus meist mit Hilfe der von Teller [65] entwickelten Acuity Cards (TAC) oder einer ihrer Varianten bestimmt. Sie nutzen die Erkenntnis, dass schon Säuglinge strukturierte visuelle Reize homogenen Reizen vorziehen [15]. Dem zu prüfenden Kind wird auf einer Karte sowohl ein Gittermuster, als auch eine graue Fläche dargeboten, die in ihrer Helligkeit und ihrem Grauwert bei Unterschreiten der Schwellenauflösung übereinstimmen. Der Prüfer kann durch ein kleines Loch in der Mitte der Tafel sehen, welche Seite das Kind bevorzugt anblickt. So kann er beurteilen, ab welchem Visuswert beide Seiten für das Kind gleich erscheinen, es also nicht mehr in der Lage ist, das Gittermuster aufzulösen. Die so erhobenen Sehschärfenwerte geben einen Eindruck über die frühe visuelle Entwicklung des Kindes und repräsentieren die sogenannte Gittersehschärfe. Diese ist nicht mit der bei älteren Kindern und Erwachsenen mittels Sehzeichen (Optotypen) getesteten Erkennungssehschärfe gleichzusetzen [34, 45, 65]. Es wurde beobachtet, dass zum Beispiel Amblyope bei der Testung der Gittersehschärfe bessere Ergebnisse erreichen, als bei der Sehschärfenprüfung mit Optotypen [46].

H-Test, Kolt-Test

Etwa ab dem dritten Lebensjahr ist es möglich, den Visus unter Mitarbeit des Kindes mittels Optotypen zu testen [44, 45]. Gerade für junge Kinder kann sich aber die Testung mit eher abstrakten Optotypen, wie dem Landoltring (vgl. Abb 3.1, S. 11) oder dem E-Haken, als schwierig erweisen [6, 48, 50]. Dabei ist weniger das Erkennen das Problem, als vielmehr das korrekte Benennen oder Anzeigen der Richtung, in der das Sehzeichen ausgerichtet ist. Insbesondere die Unterscheidung zwischen rechts und links sowie den diagonalen Richtungen stellt für die Kinder eine Überforderung dar [17, 32]. Aus diesem Grund wurden speziell für die Gruppe der drei- bis fünfjährigen Kinder Tests entwickelt, die es dem Kind ermöglichen, das erkannte Symbol auf einer Tafel oder Tastatur anzuzeigen. Als Beispiele

seien der H-Test nach Hohmann und Haase [36] und der Kolt-Test nach Lithander [44] genannt. Beide Testverfahren arbeiten mit geometrischen Figuren, die eine definierte Strichstärke besitzen und wie der Landoltring nach dem Snellen-Prinzip 1:5:5 (Strichstärke : Höhe : Breite) konzipiert sind. Die Testdistanz beträgt 3 m und die geforderte Erkennungsrate beträgt 60% beim H-Test und 75% beim Kolt-Test. Da die Sehzeichen jedoch nicht das sogenannte „kritische Detail" besitzen (beim Landoltring die Lücke im Ring), prüfen sie die Mustererkennung, welche ein Sehschärfenäquivalent der bei älteren Kindern und Erwachsenen üblicherweise getesteten Sehschärfe darstellt [30]. Beide Testverfahren kommen den in der DIN geforderten Bedingungen schon sehr nahe. Studien, die zur Vergleichbarkeit der Optotypen des Kolt-Tests mit dem Landoltring durchgeführt wurden, zeigen allerdings, dass mit dem Kolt-Test etwas höhere Visuswerte erreicht werden [6, 26].

C-Test

Ab einem Alter von vier bis fünf Jahren wird es zunehmend besser möglich, die Kinder auch mit Landoltringen zu prüfen [2]. Der in dieser Altersgruppe häufig eingesetzte C-Test mit Landoltringen richtet sich nach den Vorgaben der DIN EN ISO 8596 und bestimmt neben dem Einzeloptotypenvisus bei einzeln stehenden Sehzeichen auch den sogenannten Reihenoptotypenvisus bei in enger Reihe stehenden Sehzeichen [27]. Die Landoltringe sind bei der Prüfung des Reihenoptotypenvisus in horizontaler Reihe und dichtem Abstand (2-3 Winkelminuten) angeordnet, ähnlich den Buchstaben eines Lesetextes. Dies ist insofern von praktischer Bedeutung, als der Reihenoptotypenvisus im täglichen Leben häufiger als der Einzeloptotypenvisus beansprucht wird, so zum Beispiel beim Lesen [27]. Es wurde festgestellt, dass Kinder und Amblyope häufig Schwierigkeiten haben, dicht beieinander stehende Sehzeichen zu erkennen [16, 19]. Dieses als Trennschwierigkeit (engl. „crowding") bezeichnete Phänomen führt zu einem deutlich geringeren Visus bei den Reihenoptotypen [27, 35]. Die maximale Trennschwierigkeit wird bei einem Abstand der Optotypen von 2,6 Winkelminuten erreicht [19]. Der C-Test bietet Sehzeichen mit konstanten Abständen von von 35/ 17,2 / 2,6 Winkelminuten an, so dass der Visus sowohl mit als auch ohne Einfluss des crowdings überprüft werden kann. Hohmann und Haase [35] zeigten, dass er ermittelte Unterschied zwischen Einzel- und Reihenoptotypenvisus auch bei normalsichtigen Kindern vier oder mehr Visusstufen betragen kann. Diese Differenz nimmt bei visuell ungestörten Personen mit zunehmenden Alter ab. Etwa ab dem 10. Lebensjahr findet man bei Kindern und bei Erwachsenen die gleichen Differenzen in der Größenordnung von einer Visusstufe zwischen Einzel – und Reihenoptotypenvisus.

2.2 Die Entwicklung der normalen Sehschärfe

Mit dem Begriff der normalen Sehschärfe wird fernerhin der Visus von normalsichtigen Personen verstanden. Damit eine Person als normalsichtig gilt, haben wir die von Frisén und Frisén [24] verwendeten Ausschlusskriterien übernommen. Diese besagen, dass eine normalsichtige Person keinerlei Auffälligkeiten der Auges oder des Nervensystems aufweisen darf, die eine Visusreduktion zur Folge haben könnten. Darüberhinaus darf das Ausmaß einer Ametropie 5 D sphärisch oder 2 D zylindrisch nicht überschreiten.

Unabhängig davon, mit welcher Methode die Sehschärfenwerte gemessen werden, kann man beobachten, dass der Visus von Geburt an stetig zunimmt [51]. Der größte Anstieg ist bis zu einem Alter von sechs Monaten zu verzeichnen [47, 57]. In dieser Zeit verzehnfacht sich der Visus von 0,02 bis auf etwa 0,2. Danach steigt der Visus etwas langsamer, aber kontinuierlich weiter an und erreicht im Alter von drei Jahren binokulare Werte zwischen 0,6 und 0,9 für die mit den TAC gemessene Gittersehschärfe [47, 57].

Der weitere Verlauf bis zum Schuleintritt ist aufgrund der unterschiedlichen Untersuchungsmethoden schwieriger zu beurteilen [17]. Tab. 2.1 gibt einen Überblick über die Ergebnisse verschiedener Studien mit dem Schwerpunkt auf den bisher beschriebenen Testverfahren. Sie zeigen, dass der Visus auch im Vorschulalter weiter kontinuierlich zunimmt und mit der Einschulung etwa einen Wert um die 1,0-1,2 erreicht.

Zur Visusentwicklung während der Schulzeit gibt es mehrere Studien, die sich nach den DIN-Kriterien gerichtet und den Fernvisus normalsichtiger Kinder und Jugendlicher bestimmt haben [7, 11, 13, 33, 62]. Die Ergebnisse sind in Tab. 2.2 dargestellt.

Tab. 2.1: Überblick über die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zur Visusentwicklung im Alter zwischen 3 und 6 Jahren. Tabelle modifiziert und ergänzt nach Haase und Rassow [29]

Untersuchung	Sehzeichen / Testart	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
Neu / Sireteanu [49]	TAC (Gittersehschärfe)	0,77	0,92	0,93	1,1
	C-Test, Einzeloptotypen, Nahvisus	0,69	0,71	0,88	0,99
Lithander [44]	Kolt-Test, Fernvisus	0,8	1,0		
Steinhorst et al. [64]	H-Test, Fernvisus	0,6-0,7	0,8	1,2	1,2
Hohmann et al. [36]	H-Test, Einzeloptotypen, Fernvisus		0,8	1,0	1,0
	H-Test, Reihenoptotypen, Fernvisus		0,5	0,7	0,9
	C-Test, Einzeloptotypen, Fernvisus			1,0	1,0
	C-Test, Reihenoptotypen, Fernvisus			0,6	0,7
Carl [5]	C-Test, Einzeloptotypen, Nahvisus			0,91	0,96
	C-Test, Reihenoptotypen, Nahvisus			0,49	0,56
Haase [29]	Landoltringe, Einzeloptotypen, Fernvisus		1,0	1,25	
Stukenbrock [63]	Landoltringe, Einzeloptotypen, Fernvisus		1,14	1,39	1,39

Tab. 2.2:Entwicklung des monokularen und binokularen Visus sowohl mit Einzeloptotypen, als auch mit Reihenoptotypen. Übersicht über die Ergebnisse der Altersgruppen von 6 bis 19 Jahren unter Verwendung der Daten aus den Studien von 1) Staiger [62], 2) Heins [33], 3) Eggert [13], 4) Donner [11] und 5) Chang [7].

Alter in Jahren	**n =**	**Monokularer Visus Einzeloptotypen**	**Binokularer Visus Einzeloptotypen**	**Monokularer Visus Reihenoptotypen**	**Binokularer Visus Reihenoptotypen**
6-7 [1)]	45	1,31	1,59	0,89	1,03
6-7 [2)]	151	1,43	1,66	0,95	1,07
9-11 [1)]	49	1,52	1,78	1,21	1,40
12-14 [3)]	91	1,61	1,94	1,45	1,75
12-14 [4)]	100	1,56	1,87	1,24	1,55
15-17 [4)]	89	1,63	1,89	1,30	1,58
15-19 [5)]	72	1,73	1,89	1,47	1,68

Tab. 2.3: Altersverteilung der monokularen Sehschärfenwerte bei 50% Erkennungsrate nach Frisén und Frisén [24]

Alter	11	12-21	22-24	25	26-27	28-30	31	32-49	51-59	60-67	68-69	70-74	75
Visus	1,20	1,53	1,73	1,77	1,80	1,71	1,65	1,61	1,55	1,53	1,40	1,35	1,20

Der Visus nimmt demnach auch in der Schulzeit weiterhin zu. Frisén und Frisén [24] konnten in ihrer Studie „How good is visual acuity“ zeigen, dass der maximale Visus bei normalsichtigen Probanden etwa mit Mitte zwanzig erreicht wird und danach kontinuierlich wieder abnimmt (s. Tab. 2.3). Elliot *et al.* [14] bestätigten diese Altersverlauf und verglichen ihre Daten mit denen älterer Studien, bei denen keine Ausschlusskriterien angewandt worden waren. Da die von ihnen gefundenen Werte deutlich über denen der älteren Studien lagen, forderten sie, dass Studien, die auch Probanden mit visuellen Dysfunktionen einschließen, nicht zur Beurteilung normaler Visusveränderungen herangezogen werden sollten.

Warum es zu diesen Visusveränderungen, insbesondere während der Kindheit kommt, konnte noch nicht mit Sicherheit geklärt werden. Paliaga [51] schließt eine Verbesserung der optischen Eigenschaften oder der Akkommodation aus und nennt drei mögliche Ursachen:

1. Die Größenzunahme des Bulbus während des Wachstums, was eine Vergrößerung des Netzhautbildes und damit auch eine bessere Auflösungssehschärfe bewirkt.
2. Die Abnahme des Zapfendurchmessers, die eine größere Zapfendichte zur Folge hat.
3. Die Verkleinerung der rezeptiven Felder von Netzhaut, Corpus geniculatum und Sehrinde.

Der Visusabfall im Alter beruht wahrscheinlich auf der Verminderung der retinalen Beleuchtungsstärke aufgrund von verminderter Linsentransparenz. Auch ein möglicher Schaden der Photorezeptoren durch UV-Licht wird vermutet [51].

3 Methoden und Probanden

3.1 Bestimmung der Sehschärfe nach DIN EN ISO 8596

3.1.1 Definition der Sehschärfe

Da das Wort „Sehschärfe“ in verschiedenen Zusammenhängen gebraucht wird, soll hier zunächst geklärt werden, welche Art der Sehschärfe im Zusammenhang mit der Norm gemeint ist. Die augenärztliche Sehschärfenprüfung und auch die vorliegende Arbeit beschäftigen sich mit der Bestimmung des minimum separabile (Visus, anguläre Sehschärfe). Dabei handelt es sich um die Fähigkeit, zwei Objekte als voneinander getrennt wahrzunehmen. Der kleinste Winkel, in dem die Objekte zueinander stehen können, wird als „minimum angle of resolution“ (MAR) angegeben, sein Kehrwert ist der Visus. Dabei ist es nicht ausreichend, wenn die Objekte nebeneinander auf der Netzhaut liegende Rezeptoreinheiten stimulieren, sondern sie müssen durch eine Rezeptoreinheit voneinander getrennt sein [51]. Die Anatomie der Netzhaut bestimmt den maximal möglichen Visus. Am Ort des schärfsten Sehens, der Foveola, stellt jeder Zapfen eine eigene Rezeptoreinheit dar. Die Grenze des minimum separabile werden durch den Zapfendurchmesser von etwa 2 µm bestimmt [51]. Der physiologische MAR liegt beim jungen Erwachsenen zwischen 30 und 50 Winkelsekunden [30, 68].

Andere Arten der Sehschärfe, wie z.B. die Punktsehschärfe (minimum visibile) als Fähigkeit, ein Objekt überhaupt wahrzunehmen oder die Übersehschärfe (minimum discriminibile, „hyperacuity“) als Fähigkeit, die relative Beziehung zweier Objekte zueinander zu erkennen, sind nicht Gegenstand der Sehschärfenprüfung nach der DIN-Norm.

3.1.2 Monokulare versus binokulare Sehschärfe

Die Bestimmung der Sehschärfe kann sowohl einäugig (monokular) als auch beidäugig (binokular) erfolgen. Die Norm sieht beide Messungen vor. Häufig wird binokular eine bessere Sehschärfe erreicht als monokular, was wahrscheinlich im wesentlichen auf einer Summation der sensorischen Information beider Einzelaugen beruht [29]. Insofern ist es wichtig anzugeben, ob der Visus monokular oder binokular ermittelt wurde.

3.1.3 Das Normsehzeichen und seine Skalierung

Als Normsehzeichen wird der Landoltring verwendet (Abb. 3.1). Bei dem Landoltring handelt es sich um einen Kreis, der an einer Stelle durch eine quadratische Öffnung unterbrochen ist. Sein Verhältnis von Strichstärke zu Höhe und Breite beträgt 1:5:5.

Tab. 3.1: Sehschärfenwerte bei logarithmischer Skalierung des Sehzeichens, angegeben in dezimaler Notierung (oben) und als in Winkelminuten gemessener Sehwinkel (unten).

Dezimal-Darstellung	0,1	0,125	0,16	0,2	0,25	0,32	0,4	0,5	0,63	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5
Sehwinkel in Minuten	10	8	6,3	5	4	3,2	2,5	2,0	1,6	1,25	1,0	0,8	0,63	0,5	0,4

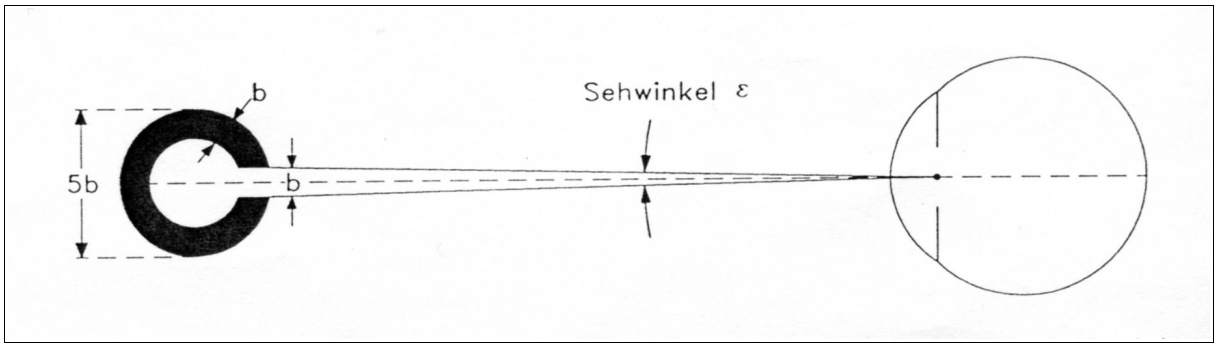


Abb. 3.1: Der Landoltring als Standardsehzeichen. Er ist nach dem Snellen Prinzip 1:5:5 (Strichstärke:Höhe:Breite) aufgebaut. Die Öffnung des Landoltrings entspricht der Strichstärke b und erscheint bei definierter Prüfentfernung unter dem Sehwinkel ε, dessen Kehrwert der Visus ist. Abb. aus [29] mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlages.

Die Öffnung entspricht der Strichstärke und erscheint je nach Größe des Landoltringes und der Prüfentfernung unter einem genau definierten Sehwinkel, dessen Kehrwert den geprüften Visus festlegt. Obwohl mittlerweile auch bestimmte Buchstaben als Normsehzeichen nach DIN EN ISO 8597 angeschlossen wurden, empfiehlt die DOG weiterhin die alleinige Verwendung des Landoltringes zu gutachterlichen Zwecken [10]. Der Vorteil des Landoltringes ist, dass er keinerlei Vorkenntnisse des Prüflings verlangt, wie es z.B. bei Buchstaben (Lesefähigkeit) oder bei Kinderbildern (Kenntnis der richtigen Bezeichnung) der Fall ist [17].

Ausgehend von dem definierten Visus 1,0 = 1 Winkelminute, wurde eine logarithmische Skalierung der Sehzeichen festgelegt, die zum Ziel hat, eine gleichmäßige Visusänderung von Stufe zu Stufe zu erreichen. Durch Multiplikation bzw. Division mit dem Faktor 1,2589 (1db oder 0,1 log) erhält man den Visuswert der jeweils höheren bzw. niedrigeren Visusstufe. Diese Skalierung bewirkt eine Größenzunahme des Sehzeichens und dessen Auflösungswinkel um 26% zwischen den einzelnen Stufen und etwa eine Verdoppelung über drei Stufen [30, 51].

Tab. 3.1 zeigt die Sehwinkel (in Minuten) und die dazugehörenden dezimalen Visuswerte im Bereich zwischen Visus 0,05 und 2,5 an.

Entsprechend dieser Vorgaben haben wir bei unseren Untersuchungen Auflichttafeln mit Landoltringen in logarithmischer Progression verwendet, die uns ermöglicht haben, den Bereich zwischen Visus 0,1 und 2,5 zu prüfen.

3.1.4 Anzahl und Orientierungen des Landoltringes

Da der Landoltring nicht astigmatismusneutral ist, muss bei der Darbietung der Sehzeichen darauf geachtet werden, dass die vier Grundrichtungen gleichmäßig verteilt angeboten werden, sonst besteht die Gefahr, bei vorhandenem Astigmatismus falsche Visuswerte zu erheben. Es wurde außerdem beobachtet, dass die Anzahl falscher Antworten bei den diagonalen Richtungen um etwa 15% höher liegt als bei den vertikalen und horizontalen Ausrichtungen, was als „Oblique-Effekt" bezeichnet wird [1, 31]. Die Norm fordert aus diesem Grund die gleichmäßige Darbietung des Landoltringes in allen acht Orientierungen.
Pro Visusstufe sollten nach Möglichkeit 10 Sehzeichen dargeboten werden. Da dies bei großen Sehzeichen praktisch schwierig umzusetzen ist, wurde die Mindestanzahl der präsentierten Sehzeichen in den sehr niedrigen Visusstufen angepasst. Im Bereich von 0,05 bis 0,1 muss es mindestens zweimal, von 0,125 bis 0,2 mindestens dreimal und von 0,25 bis 2,0 mindestens fünfmal in unterschiedlichen Stellungen angeboten werden können.
Abweichend von diesen Vorgaben haben wir den Kindern den Landoltring ausschließlich in den vertikalen und horizontalen Orientierungen dargeboten, da Kinder im Vorschulalter häufig bei Verwendung von diagonalen Positionen des Landoltringes überfordert sind [32]. In einer Vorbesprechung wurde den Kindern der Landoltring genau erklärt und anhand eines Beispielringes die verschiedenen Richtungsbezeichnungen geübt. Den Kindern hat es in der Regel geholfen, wenn man zusätzlich zu den Richtungen auch Orientierungshilfen gab wie „dort wo die Tür ist" oder „oben an der Zimmerdecke". Die Kinder wurden dabei aufgefordert, in die Richtung zu zeigen, in der der Ring „kaputt" ist. Vor der Testung jedes einzelnen Kindes wurde zusätzlich anhand der großen Optotypen überprüft, ob das Kind die Aufgabe verstanden hat, was in der Regel der Fall war.

3.1.5 Abstand der Sehzeichen

Auf das Problem der Trennschwierigkeiten (crowding) wurde in der Einleitung bereits hingewiesen. Um dieses Problem zu umgehen, legt die Norm fest, dass der Abstand der Außenränder der einzelnen Sehzeichen mindestens 20 Winkelminuten betragen soll und der Mindestabstand der Sehzeichen zum Rand des Prüffeldes mindestens 30 Winkelminuten (=0,5°).
Da uns neben der Erhebung des Visus ohne crowding auch interessierte, ob es bei den Kindern zu Trennschwierigkeiten kommt, haben wir die Testung sowohl mit Einzelsehzeichen, als auch mit Reihensehzeichen gemäß des C-Tests nach Haase und Hohmann [27] durchgeführt. Bei diesem Test haben die Sehzeichen auf beiden Tafeln durch alle Visusstufen hindurch einen konstanten Außenabstand. Bei der Tafel mit den

Einzelsehzeichen beträgt dieser 35´, bei den Reihensehzeichen 2,6´ was dem Maximum des crowdings entspricht.

3.1.6 Prüfdistanz

Die Norm gibt eine Prüfdistanz zwischen Pupille und Sehzeichen von mindestens 4 m vor, da in dieser Entfernung weitgehend akkommodationsfrei getestet werden kann und so einer Ermüdung der Augenmuskulatur bei längerer Testdauer vorgebeugt wird [29].
Wir haben unsere Untersuchung mit einer Prüfdistanz von 5 Metern durchgeführt, da die auf den Sehtafeln aufgetragenen Visuswerte für diesen Abstand berechnet worden waren. Die Einhaltung der Distanz wurde dadurch gewährleistet, dass nach Ausmessen des Abstandes die Position des Stuhls, auf dem die Kinder während der Prüfung sitzen sollten, auf dem Boden markiert wurde. So konnten wir verhindern, dass die Kinder durch vorrücken des Stuhls den Abstand zu den Sehtafeln verringern.

3.1.7 Photometrische Bedingungen

3.1.7.1 Leuchtdichten des Prüffelds

Die Leuchtdichte wird definiert als Lichtstärke pro Fläche und in Candela pro Quadratmeter angegeben. Ihr Einfluss auf die Sehschärfe ist vor allem in niedrigen Leuchtdichtebereichen relevant, oberhalb von etwa 50-100 cd/m^2 ist die Visusverbesserung bei zunehmenden Leuchtdichten jedoch vernachlässigbar [3, 51]. Der Wert von 100 cd/m^2 ist bei der Darstellung der Sehzeichen auf Computermonitoren nur schwer erreichbar, so dass die Norm eine Leuchtdichte des Prüffeldes von 80-320 cd/m^2 festgelegt hat. Eine zu hohe Leuchtdichte hat den Nachteil, dass die dadurch resultierende Miosis zur Zunahme der Tiefenschärfe führt und so eine geringe Ametropie unentdeckt bleiben kann.

3.1.7.2 Kontrast

Die Leuchtdichte des Sehzeichens darf laut Norm höchstens 15% der Leuchtdichte des Prüffeldes betragen, damit ein ausreichend hoher Kontrast von mindestens 85% gewährleistet wird. Als Kontrast wird der Leuchtdichtenunterschied zwischen Sehzeichen und Prüffeld bezeichnet. Für scharf begrenzte Flächen errechnet sich der Kontrast K nach der Formel:

$$K = \Delta L / L$$

Δ L steht für den Leuchtdichtenunterschied zwischen den benachbarten Flächen (Sehzeichen und Pfüffeld) und L steht für die Leuchtdichte des Prüffeldes [68].

3.1.7.3 Umgebungsleuchtdichte

Um ein photopisches Sehen zu gewährleisten, muss die Umgebungsleuchtdichte ausreichend hoch sein. Die Zunahme der Umgebungsleuchtdichte bewirkt eine Visusverbesserung, allerdings auch eine Verminderung des Kontrastes [58]. Die Norm gibt vor, dass in einem Winkel von 10° um das Prüffeld herum die Leuchtdichte zwischen 10 und 25% der Prüffeldleuchtdichte betragen soll und außerhalb dieses Bereichs nicht weniger als 1%.

3.1.6.4 Pupillendurchmesser

Der Pupillendurchmesser wird nicht von der Norm vorgegeben, resultiert jedoch aus den Beleuchtungsbedingungen. Der beste Visus wird bei einem Durchmesser von 2,5 mm erreicht, bis 6 mm Durchmesser kann man allerdings klinisch keinen Unterschied im Visus feststellen. Kleinere Pupillendurchmesser führen zwar zu einer Zunahme der Tiefenschärfe, die Beugung des Lichtes an der Pupillenöffnung bewirkt jedoch eine Verschlechterung des Visus [51].

Die Leuchtdichte wurde mit einem Luminance-Meter der Firma Minolta gemessen. Sie betrug bei den von uns verwendeten Sehtafeln etwa 169 cd/m^2 und bei den Optotypen etwa 7 cd/m^2, so dass sich ein Kontrast von über 95% ergab.
Die Untersuchungen wurden bei normaler Raumbeleuchtung, welche eine ausreichende Umgebungsleuchtdichte gewährleistete, durchgeführt. Einer Blendung durch einfallende Sonne wurde gegebenenfalls durch Vorhänge entgegengewirkt.

3.1.8 Schwellenwertbestimmung

Die Ermittlung des Visus ist nicht direkt auf einem Messinstrument ablesbar, sondern beruht auf den Angaben, die der Proband während der Visusprüfung macht. Die Sicherheit mit der diese Angaben erfolgen, hängt stark von der Größe der Sehzeichen ab. Zeigt man ihm Sehzeichen, die aufgrund ihrer Größe sicher erkannt werden, befindet man sich im überschwelligen Bereich, in dem die Anzahl der korrekten Antworten 100% beträgt. Je kleiner die Sehzeichen werden, desto unsicherer werden auch die Antworten. Der Prüfling wird in diesem Bereich, der Transitionszone, sowohl richtige als auch falsche Antworten geben. Der prozentuale Anteil richtiger Antworten wird bei kleiner werdenden Sehzeichen immer weiter abnehmen, bis er im unterschwelligen Bereich auf die Ratewahrscheinlichkeit reduziert ist [52]. Die Ratewahrscheinlichkeit ist dabei abhängig von der Anzahl der Darbietungsmöglichkeiten des Sehzeichens. Wird zum Beispiel der Landoltring in vier verschiedenen Orientierungen angeboten, liegt die Ratewahrscheinlichkeit bei 25%. Wenn

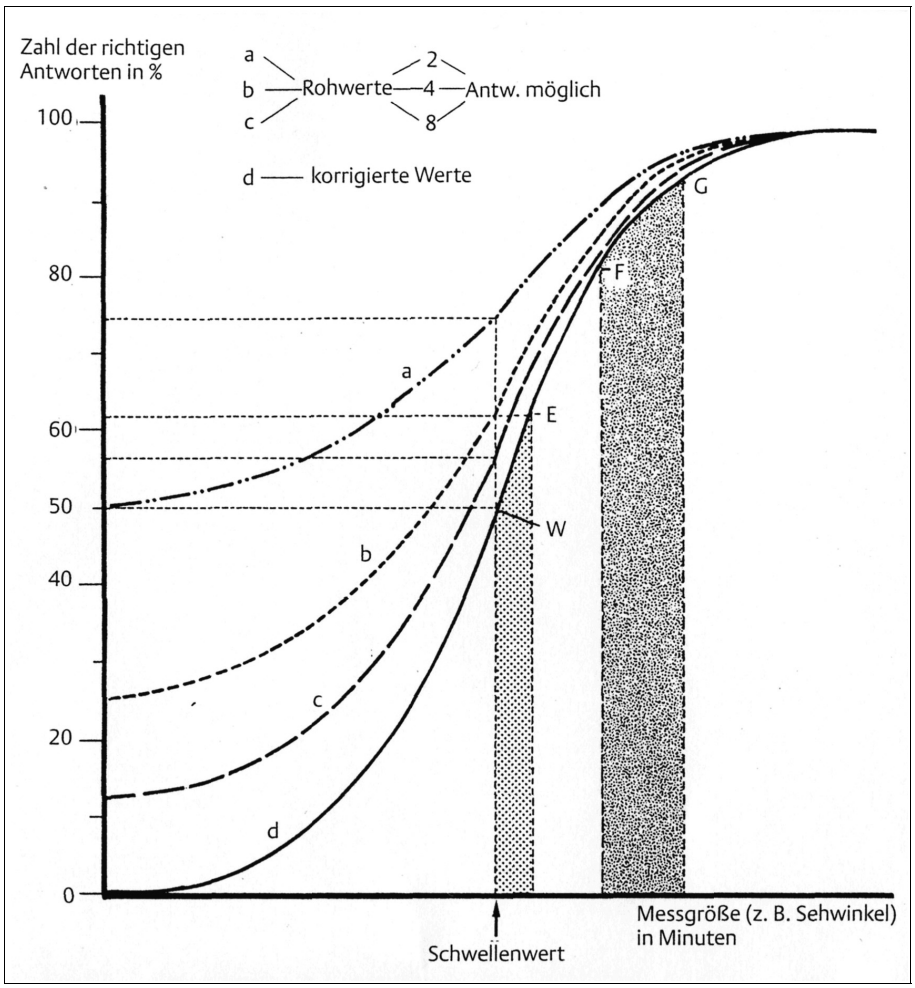


Abb. 3.2: Graph der psychometrischen Funktion nach Haase und Rassow [29].
Die Kurven a, b und c zeigen den Verlauf der Rohwerte, womit die Häufigkeit richtiger Antworten bei 2, 4 und 8 Antwortmöglichkeiten bezeichnet wird. Die Kurve d zeigt den Verlauf der um die Ratewahrscheinlichkeit korrigierten Werte. W bezeichnet den Wendepunkt der Kurven. Im Bereich des Schwellenwertes kann man bei den jeweiligen Kurven ablesen, welche Erkennungshäufigkeit dem Wendepunkt der korrigierten Kurven entspricht. Die beiden schraffierten Bereiche zeigen die unterschiedliche Genauigkeit mit der man die Visuswerte im Bereich von 50% bzw. 80% richtiger Antworten bestimmen kann. Während dies im Bereich von 50% richtiger Antworten genauer möglich ist, variiert der korrespondierende Visuswert im Bereich von 80% deutlich mehr. Abb. aus [29] mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlages.

man den prozentualen Anteil der richtigen Antworten gegen den Sehwinkel aufträgt, erhält man den S-förmigen Graphen der psychometrischen Funktion der Sehschärfe (Abb. 3.2) [29, 53]. Seine Steigung ist bei etwa 50% richtiger Antworten am steilsten, so dass hier eine Bestimmung des entsprechenden Sehwinkels am genauesten erfolgen kann. Sowohl bei einer größeren als auch einer kleineren Erkennungsrate nimmt die Genauigkeit, mit der der Sehwinkel bestimmt werden kann, ab.

Bei der 50% Erkennungsrate wird allerdings noch nicht die Ratewahrscheinlichkeit berücksichtigt. Die um die Ratewahrscheinlichkeit korrigierte Erkennungsrate (KER) kann man nach der folgenden Formel berechnen:

$$KER=R-p/(1-p/100)$$

wobei R für die prozentuale Häufigkeit der richtigen Antworten und p für die prozentuale Ratewahrscheinlichkeit steht [29].

Bei p=25% und einer KER von 50% erhält man eine zu fordernde Erkennungshäufigkeit von R = 62,5%. Bei acht Sehzeichen und p=12,5% erhält man als zu fordernde Erkennungshäufigkeit 56,25%, die aufgerundet auf 60% auch von der DIN EN ISO festgelegt wurde.

Da die von uns verwendeten Landoltringe lediglich in vier Orientierungen angeboten wurden, mussten die Kinder 4 von 6 Sehzeichen erkennen, um eine Visusstufe zu bestehen. Dies entspricht gemäß oben stehender Formel einer um die Ratewahrscheinlichkeit bereinigten KER von 55% (bei R = 67% und p=25%) und liegt somit im Bereich der von der Norm geforderten Rate von mindestens 50%.

Die Kinder wurden aufgefordert, auch dann eine Antwort zu geben, wenn sie sich nicht sicher waren, in welche Richtung die Öffnung des Landoltringes zeigt. Diese als „forced choice" bezeichnete Methode stellt sicher, dass die Visuswerte nicht dadurch falsch niedrig sind, weil nur im überschwelligen Bereich Antworten gegeben werden, während Antworten in der Transitionszone verweigert werden, da sich der Prüfling nicht sicher ist, was er sieht [51].

3.2 Bestimmung des binokularen Sehens

Zur Bestimmung des beidäugigen Sehens haben wir insgesamt drei Tests verwendet, den Bagolini-Streifenglastest, den Lang-Stereotest II und den Titmus-Test.

Die Stereopsis als höhste Funktion des Binokularsehens haben wird mit Stereogrammen überprüft (Lang-Stereotest II und Titmus-Test) auf denen bei intakter Binokularfunktion ein dreidimensionaler Eindruck entsteht. Das Ausmaß der Querdisparation gibt hierbei den „Schwierigkeitsgrad" des jeweiligen Objekts an, wobei Objekte mit einer großen Querdisparation leichter erkannt werden können und dem Betrachter näher erscheinen als solche mit niedriger Querdisparation. Die Kombination von Stereo-Tests und Visusprüfung verbessert sowohl Sensitivität als auch die Spezifität, mit der ein Kind als auffällig erkannt werden kann [21]. Auch bei unserer Untersuchung war dies das Hauptziel. Daneben wollten wir aber auch ein quantitatives Ergebnis der Disparationsgrenze ermitteln, was mit den Ringen des Titmus-Test gut möglich ist.

3.2.1 Bagolini-Streifenglastest

Der Test prüft die Richtungsgleichheit des Sehens mit beiden Augen und ermöglicht die Aussage, ob eine normale Fusion der Seheindrücke beider Augen, eine Diplopie oder eine Suppression (Inhibition) vorliegt. Das Kind betrachtet ein Licht durch ein brillenähnliches Streifenglas, das die natürlichen Sehbedingungen nicht verfälscht. Die Gläser vor beiden Augen sind plan und mit sehr feinen Rillen versehen, wobei die sich Ausrichtung der Rillen zwischen rechtem und linkem Auge um 90° unterscheidet (45° und 135°). Bei normaler Fusion sieht das Kind ein X oder einen Stern, in dessen Kreuzungspunkt die Lichtquelle liegt [55]. Bei Schielkindern wird meist eine Seite unterdrückt oder sie sehen ein verschobenes Kreuz. Alle Kinder, die einen anderen Seheindruck als den Stern oder das X beschrieben, wurden als auffällig beurteilt.

3.2.2 Lang-Stereotest II

Dieser Test ist einfach und schnell durchzuführen und erfordert aufgrund eines speziellen Konstruktionsprinzips (Zylinderrasterverfahren) nicht das Tragen einer polarisierenden Brille [41]. Der Test besteht aus einer Karte in Postkartengröße auf der innerhalb von zufallsverteilten Punkten vier kindgerechten Figuren (Stern, Mond, Elefant und Auto) mit Querdisparationen im Bereich zwischen 200 und 600 Winkelsekunden abgebildet sind. Der Stern wird auch ohne querdisparates Tiefensehen erkannt, so dass alle Kinder unabhängig vom Testergebnis ein Erfolgserlebnis haben. Die Testdistanz beträgt 40 cm. Häufig sind für die Testdurchführung keine Erklärungen notwendig, die Kinder zeigen spontan auf die

Figuren oder benennen sie, sonst werden sie dazu aufgefordert. Man kann in der Regel auch aufgrund der Augenbewegungen beurteilen, ob das Kind die Figuren sieht [41, 55]. Aus technischen Gründen ist es beim Lang-Test nicht möglich, kleinere Disparationen darzustellen, so dass er nicht zur Bestimmung feiner Stereoschwellen herangezogen werden kann. Er eignet sich jedoch gut, um in der Praxis oder im Kindergarten zu entscheiden, ob ein Kind einen Strabismus oder Mikrostrabismus hat, da diese Kinder den Test allgemein nicht bestehen. Kinder mit einer Amblyopie aufgrund einer Anisometrie bestehen hingegen meist den Test, was verdeutlicht, dass er eine genaue Visusprüfung nicht ersetzen kann [41].
Alle Kinder die ein pathologisches (=positives) Testergebnis hatten, wurden zunächst als auffällig beurteilt.

3.2.3 Titmus-Test nach Wirt

Der Titmus-Test besteht aus drei Anteilen, der Hausfliege, der Tierserie und den Kreissymbolen. Alle Anteile erfordern das Tragen einer polarisierenden Brille und werden im Abstand von 40 cm durchgeführt .
Die Hausfliege stellt einen groben Stereoeindruck dar (Disparation 3000''). Die Kinder können aufgefordert werden, die Flügel zwischen zwei Finger zu nehmen. Dies ermöglicht die Beurteilung, ob das Kind die Fliege als dreidimensionales Objekt sieht oder lediglich als normales Foto.
Die Tierserien bestehen aus drei Zeilen A-C in denen je fünf Tiere dargestellt sind. Pro Zeile tritt eines der Tiere aus der Tafelebene hervor. Die Querdisparation beträgt in Zeile A 400'', in Zeile B 200'' und in Zeile C 100''. Das Kind wird aufgefordert auf das Tier zu zeigen, welches ihm am nächsten erscheint.
Die Kreissymbole dienen dem Erkennen feiner Tiefenunterschiede. Sie bestehen aus neun Feldern in denen jeweils vier Ringe dargestellt sind, von denen immer einer querdisparat abgebildet ist und näher erscheint. Das Kind wird aufgefordert auf diesen Ring zu zeigen.
Die Verteilung der Querdisparation über die Stufen zeigt Tab. 3.2.
Alle Kinder, die die Hausfliege nicht sehen konnten, weniger als drei Reihen der Tiere oder weniger als sechs Ringe korrekt erkannt haben, wurden zunächst als auffällig eingestuft. Lagen zudem die Visuswerte unterhalb des festgesetzten Mindestwertes, wurden sie zur Nachuntersuchung eingeladen.

Tab. 3.2:Titmus-Test: Querdisparation der Kreissymbole von Stufe 1-9 in Winkelsekunden

Stufe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Disparation in Sekunden	800	400	200	140	100	80	60	50	40

3.3 Bestimmung der Augenstellung

Die Augenstellung der Kinder wurde durch den Abdeck- und Aufdecktest (Cover- und Uncovertest) bestimmt. Der Covertest dient der Untersuchung des manifestes Schielens (Heterotropie), während der Uncovertest ein latentes Schielen (Heterophorie) aufdeckt.

3.3.1 Abdecktest (Covertest)

Bei dieser Untersuchung wird das Kind zunächst aufgefordert, ein Objekt konstant zu fixieren. Das vermutlich führende Auge wird nun abgedeckt, während das andere Auge beobachtet wird. Kommt es zu einer Augenbewegung im Sinne einer Übernahme der Fixation durch dieses Auge, ist die Augenstellung nicht parallel und es liegt ein manifestes Schielen vor.

Der Covertest wird für beide Augen sowohl in der Nähe als auch der Ferne durchgeführt.

Alle Kinder, die hierbei eine Heterotropie (manifestes Schielen) zeigten, wurden der Ausschlussgruppe zugeordnet.

3.3.2 Aufdecktest (Uncovertest)

Ähnlich dem Covertest soll das Kind ein Objekt fixieren während ein Auge abgedeckt gehalten wird. Das abgedeckte Auge wird nun untersucht, indem beobachtet wird, ob nach Wegnahme der Abdeckung eine Nachstellbewegung des Auges erfolgt. Im Fall einer Heterophorie weicht die Achse des Auges ohne die Hilfe der Fixation von der Parallelstellung ab. Sobald die Fixation nach Wegnahme der Abdeckung wieder möglich ist, erfolgt die Korrektur der Augachse, so dass eine parallele Augenstellung wieder erreicht wird.

Auch der Uncovertest wird für beide Augen in der Nähe und der Ferne durchgeführt.

Die Kinder, die ausschließlich eine Heterophorie aufwiesen, sonst aber unauffällige Befunde zeigten, wurden der Gruppe normalsichtiger Kinder zugeordnet.

3.4 Ermittlung von Ametropien und organischen Auffälligkeiten

Die Messung der Fehlsichtigkeit erfolgte mittels Skiaskopie. Kinder, die bereits eine Brille trugen, behielten diese zunächst auf, um eine Über- oder Unterkorrektur beurteilen zu können, anschließend wurden die Brillenwerte ausgemessen.

Zur Beurteilung des Fundus wurde eine direkte Ophthalmoskopie durchgeführt. Die Fixation wurde mit dem Visuskopstern überprüft. Das Kind fixiert hierbei ein Sternchen, welches ein spezielles Ophthalmoskop auf dem Augenhintergrund abbildet. So kann der Untersucher beurteilen, ob das Sternchen genau auf die Fovea centralis fällt (zentrale Fixation) oder außerhalb davon (exzentrische Fixation). Die beste Sehschärfe ist nur bei zentraler Fixation erreichbar [51].

Sämtliche Untersuchungen wurden bei spielender Pupille durchgeführt, zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung haben wir den Kindern Augentropfen verabreicht. Wenn dies zur genaueren Diagnostik notwendig war, wurden die Kinder an einen niedergelassenen Augenarzt überwiesen.

Diese Untersuchungen wurden nur bei den Kindern durchgeführt, die in der ersten Untersuchung als auffällig beurteilt wurden oder bereits eine Brille trugen. Ziel war es, den Grund für die auffälligen Befunde zu finden, die Fehlsichtigkeiten zu beurteilen und die Brillenwerte zu bestimmen.

3.5 Untersuchte Kindergartenkinder

3.5.1 Allgemeines

Die Untersuchung wurde im Zeitraum von September 2003 bis März 2004 in fünf Norderstedter, einem Ahrensburger und in vier Hamburger Kindergärten durchgeführt. Die Hamburger Kindergärten lagen in den Stadtteilen Barmbek, Hoheluft, Bramfeld und Sasel. Unser Ziel war es, möglichst viele Kinder in die Untersuchung einzuschließen. Aus diesem Grund wurden im Vorfeld der Untersuchung in den Kindergärten Elterninformationen ausgeteilt, die über den Inhalt und das Ziel dieser Untersuchung aufklärten. Damit keine Gruppe in unserer Untersuchung überrepräsentiert wird, haben wir die Eltern gebeten, sowohl Kinder, die zu dem Zeitpunkt bereits in augenärztlicher Behandlung waren, als auch Kinder ohne jegliche Sehprobleme an der Untersuchung teilnehmen zu lassen. Es wurden nur Kinder untersucht, deren Eltern vorher ihr Einverständnis zu der Untersuchung gegeben hatten. Da die Informationsmaterialien und Einverständniserklärungen freundlicherweise durch die Kindergartenleitungen verteilt wurden, können wir leider keine Angabe zur Beteiligungsquote machen, da wir keine Rückmeldung erhielten, an wie viele Eltern unsere Materialien verteilt worden waren. Insgesamt konnten wir 226 Kinder in die Untersuchung einschließen.

3.5.2 Altersgruppen

Die Einteilung in die Altersgruppen erfolgten anhand des Alters zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung. In der Gruppe der Fünfjährigen wurden alle Kinder zusammengefasst, die zum Untersuchungszeitpunkt zwischen vier Jahren, sieben Monaten und fünf Jahren, sechs Monaten waren (=55-66 Monate). In der Gruppe der Sechsjährigen wurden alle Kinder zwischen fünf Jahren, sieben Monaten und sechs Jahren, sechs Monaten zusammengefasst (=67-78 Monate).

Der *Gruppe der Fünfjährigen* konnten 150 Kinder zugeordnet werden, das Durchschnittsalter in dieser Gruppe lag bei 5,05 Jahren, der Median bei genau fünf Jahren. Die Geschlechtsverteilung war mit 76 Jungen (51%) und 74 Mädchen (49%) nahezu gleich verteilt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung trugen 14 Kinder (9%) bereits eine Brille.

Der *Gruppe der Sechsjährigen* konnten 76 Kinder zugeordnet werden, das Durchschnittsalter lag hier bei 5,89 Jahren, der Median bei fünf Jahren und elf Monaten. Die leichte Tendenz zu den jüngeren Kindern hin erklärt sich dadurch, dass die ersten Untersuchungen im Herbst nach Einschulung der älteren Kinder stattfanden. Die Geschlechtsverteilung innerhalb der Gruppe der Sechsjährigen war mit 40 Jungen (53%) und 36 Mädchen (47%) ebenfalls etwa gleich verteilt. Zum Zeitpunkt der Untersuchung trugen 7 Kinder (9%) eine Brille.

3.5.3 Gruppenzuordnung Normalsichtige – Ausschlussgruppe

Um eine Vergleichsmöglichkeit mit den Ergebnissen anderer Autoren [7, 11, 13, 33, 62] zu erhalten, haben wir uns bei der Gruppenzuordnung an den von Frisén und Frisén [24] festgelegten Ausschlusskriterien orientiert.

Diese legen fest, dass die Kinder, um als normalsichtig zu gelten, keine Auffälligkeiten des Sehapparates zeigen durften. Alle Kinder mit Strabismus, Amblyopie oder organischen Erkrankungen des Auges wurden ausgeschlossen. Eine Ametropie von mehr als 5 D sphärisch oder 2 D zylindrisch führte ebenfalls zum Ausschluss wie auch Behinderungen der geistigen Entwicklung.

Unabhängig von der Gruppeneinteilung wurden alle Kinder mit den beschriebenen Tests untersucht und ihre Ergebnisse zum Vergleich dokumentiert.

Die Zuordnung wurde in drei Phasen vorgenommen:

I. *Phase: Erstuntersuchung*

   Bei dem ersten Termin im Kindergarten wurden alle Kinder untersucht. Hierbei wurden der normalsichtigen Gruppe die Kinder zugeordnet, die in allen Tests unauffällige Ergebnisse erzielten, deren Visuswerte einem von uns festgelegten Mindestwert von 1,0 für die Einzel-Optotypen und 0,6 für die Reihen-Optotypen entsprach und die noch keine Brille trugen. Die übrigen Kinder wurden zunächst als auffällig eingestuft. Die genannten Grenzwerte haben wir aus den bisher bekannten Daten abgeleitet, die jedoch mit nicht validierten Verfahren ermittelt wurden. Die Werte wurden von uns bewusst relativ hoch angesetzt, da eine zu hohe Zahl Nachuntersuchter zu keiner Verfälschung des Resultates führt, wohl aber eine zu geringe Quote Nachuntersuchter.

II. *Phase: Nachuntersuchung*

   Bei einem zweiten Termin im Kindergarten wurden alle auffälligen Kinder nachuntersucht. Dabei wurden die Tests wiederholt, deren Befunde in der ersten Untersuchung auffällig waren und die Brillen wurden ausgemessen. Außerdem wurde die Refraktion mittels Skiaskopie bestimmt, der Fundus wurde beurteilt und die foveolare Fixation überprüft.

   Konnte bei den Kindern eine organische Ursache für die Auffälligkeiten ausgeschlossen werden und lagen die Ergebnisse bei wiederholter Testung im normalen Bereich, wurden sie der Gruppe der Normalsichtigen zugeordnet. Dies galt

auch für die Kinder, deren Brillenwerte in dem festgelegten Normalbereich lagen. Alle Kinder, bei denen kein endgültiger Befund erhoben werden konnte, wurden zum niedergelassenen Augenarzt überwiesen mit der Bitte um weitere Diagnostik. Hierfür wurde den Eltern die von uns ermittelten Befunde schriftlich mitgegeben. Außerdem haben wir die Eltern um ihr Einverständnis gebeten, die Befunde mit dem Augenarzt besprechen zu dürfen.

III. Phase: Kontrolle beim niedergelassenen Augenarzt

Zeigte der vom niedergelassenen Augenarzt erhobene Befund weiterhin keinen Grund zum Ausschluss, wurden auch diese Kinder der normalsichtigen Gruppe zugeordnet. Die übrigen Kinder wurden der Ausschlussgruppe zugeordnet. Dies galt auch für die Kinder, bei denen wir entweder kein Einverständnis der Eltern zur Befundbesprechung mit dem Augenarzt bekamen oder die keinem niedergelassenen Augenarzt vorgestellt wurden.

3.6 Durchführung der Untersuchung

Unsere Untersuchungen haben wir in Räumen durchgeführt, die uns von den Kindergärten zur Verfügung gestellt worden waren. Die Räume wurden während der Untersuchung ausschließlich von uns benutzt, so dass wir die von uns mitgebrachten Sehtafeln, Lampen und weiteren Utensilien vor Ort lassen konnten. Jeder der Räume war ausreichend groß, um die 5 Meter Testdistanz zu gewährleisten, dies hatten wir im Vorfeld bereits mit den Kindergartenleitungen geklärt.
Die Kinder waren schon vor der Untersuchung darauf vorbereitet worden, dass sie an einem Sehtest mitmachen würden. Bevor die Testung des jeweiligen Tages begonnen wurde, haben wir allen teilnehmenden Kindern den Landoltring vorgestellt und mit ihnen die verschiedenen Richtungsangaben geübt. Dabei haben wir besonderen Wert darauf gelegt, dass die Kinder die Aufgabe verstanden haben und die Richtung immer auch mit den Händen anzeigten. Gerade die älteren Kinder neigten dazu, die Richtung nur zu benennen.
Danach wurden die Kinder einzeln abgeholt und zum Untersuchungsraum gebracht.
Die Reihenfolge der Untersuchung war bei den meisten Kindern wie folgt:

1. Visuswert Einzeloptotypen (binokular und monokular)
2. Bagolini-Streifenglastest und Cover-/Uncovertest bei Fixation eines Lichtes in Nähe und Ferne
3. Lang-Stereotest
4. Titmus-Stereotest
5. Visuswerte Reihenoptotypen (binokular und monokular)

In Einzelfällen haben wir diese Reihenfolge verlassen. Insbesondere schüchterne Kinder haben besser mitgearbeitet, wenn wir mit den Stereotests begonnen haben. Diese Tests sind für die Kinder spannender und bieten aufgrund der Nähe zum Kind eine bessere Möglichkeit zum Kontaktaufbau.
Bei der monokularen Visusprüfung wurde das jeweils andere Auge mit einer gut sitzenden Augenklappe abgedeckt. Die Darbietung der Sehzeichen erfolgte ohne zeitliches Limit. Die Kinder durften so lange wie nötig den gerade erfragten Optotypen betrachten und wurden gegebenenfalls aufgefordert, kurz die Augen zu schließen und das Sehzeichen erneut anzublicken, da eine zu starre Fixation dazu führen kann, dass das Netzhautbild aufgrund von Lokaladaptation verblasst [30].
Wir haben uns bemüht, die Testdurchführung möglichst kindgerecht zu gestalten. Die

Prüfungen des Fernvisus haben wir als „Adleraugentest“ bezeichnet und die Augenklappe als „Piratenklappe“. Unabhängig davon, welche Ergebnisse die Kinder zeigten, wurden sie gelobt und jedem Kind wurde gesagt, dass es den „Adleraugentest“ bestanden habe.

3.7 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung erfolgte unter Zuhilfenahme der Statistik-Software SPSS für Windows (Superior Performance Software Systems, SPSS Inc., USA) in der Version 11.5.

3.7.1 Maße der zentralen Tendenz

Um die Visusverteilung innerhalb der einzelnen Gruppen prägnant beschreiben und auch mit anderen Gruppen vergleichen zu können, werden Maße der zentralen Tendenz zur Hilfe gezogen. Wir haben für unsere Gruppen den Median und das geometrische Mittel berechnet, die im weiteren kurz erklärt werden.

Der *Median* ist derjenige Wert, der die geordnete Reihe der Messwerte in die oberen und unteren 50 Prozent aufteilt. Somit ist die Anzahl der Messwerte über und unter dem Median gleich. Der Vorteil des Median liegt darin, dass er stabil gegenüber Extremwerten ist. [43]

Als *geometrisches Mittel* wird die n-ten Wurzel der Produkte der Messwerte bezeichnet.

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \ldots \cdot x_n}$$

Es ist ein Lagemaß, das gut bei logarithmischer Skalierungen der Messwerte angewendet werden kann [54]. Praktisch lässt es sich einfacher berechnen, wenn man die Messwerte logarithmiert, dann das arithmetische Mittel bestimmt und das Produkt wieder delogarithmiert. Das geometrische Mittel ist besser geeignet, die zentrale Tendenz der Visuswerte zu beschreiben, als das arithmetische Mittel [30, 38]. Die dezimalen Visuswerte nehmen von Stufe zu Stufe nicht um den gleichen numerischen Wert zu, da sie einer logarithmischen Skalierung folgen. Das arithmetische Mittel beachtet diese Tatsache nicht, der so ermittelte Wert wird immer zu hoch sein, da die hohe Visuswerte mehr ins Gewicht fallen, Abb. 3.3 veranschaulicht diese Tatsache.

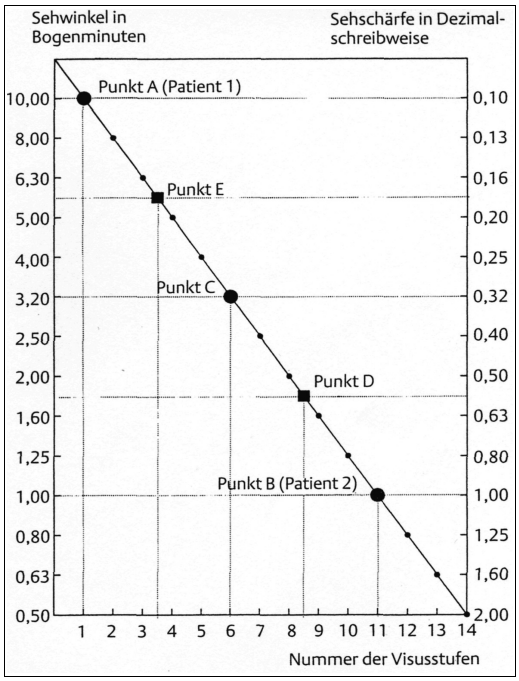


Abb. 3.3: Beispiele der Mittelwertbildung der Sehschärfenwerte der Patienten 1 (Punkt A) und 2 (Punkt B) nach Haase und Rassow [29]. Während das arithmetische Mittel der dezimalen Visuswerte (Punkt D) den Mittelwert überschätzt, wird dieser durch das arithmetische Mittel der Sehwinkel (Punkt E) unterschätzt. Das geometrische Mittel (Punkt C) liegt dahingegen genau mittig und um die gleiche Anzahl an Visusstufen von beiden Patienten entfernt. Abb. aus [29] mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlages.

Man kann das Problem umgehen, indem man die Visusstufen durchnummeriert, anstatt ihnen die dezimalen Visuswerte zuzuordnen. Auf diesem Weg erreicht man eine lineare Abstufung. Eine

Bildung des arithmetischen Mittels aus den Visusstufen ist dann zulässig und führt zum richtigen Ergebnis [30].

3.7.2 Streuungsmaße

Streuungsmaße sollen Informationen über die Abweichung der Messwerte vom Durchschnittswert geben. Wir haben sowohl die 5-er und 95-er Perzentilen als auch die Standardabweichung berechnet.

Als *Perzentilen* werden jene Punkte P1-100 bezeichnet, die eine Verteilung in 100 gleich große Abschnitte aufteilen, P50 oder auch die 50-er Perzentile entspricht dabei dem Median [43]. Übliche Angaben bei normalverteilten Messwerten sind (insbesondere im Bereich der Kinderheilkunde) die 3-er Perzentile und die 97-er Perzentile. Ebenfalls gängig sind die 5-er und die 95-er Perzentile. Liegt ein Messwert auf der 95-er Perzentile heißt dies, dass 95% aller Messwerte unter und nur 5% über diesem Wert liegen.

Als *Standardabweichung* wird der Durchschnitt der absoluten Abweichungen aller Messwerte vom (arithmetischen) Mittelwert verstanden. Die empirische Standardabweichung s wird benutzt, um Stichproben zu beschreiben. Sie wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2}.$$

Wobei N für den Stichprobenumfang steht und $\overline{x}$ für den arithmetischen Mittelwert der gemessenen Werte x_1 bis x_N.
Wir haben die Standardabweichung in Visusstufen angegeben, da sich aus bereits erwähnten Gründen ein arithmetischer Mittelwert sinnvoller Weise nur aus den linearen Visusstufen berechnen lässt.

3.7.3 Konfidenzintervall

Das Konfidenzintervall gibt den Bereich um den berechneten Mittelwert $\overline{x}$ an, in dem sich mit der Wahrscheinlichkeit 1-α der unbekannte Mittelwert μ einer normalverteilten Variable befindet. Die Angabe eines solchen Intervalls ist deswegen sinnvoll, weil der berechnete Mittelwert nur eine Schätzung des „wahren" Mittelwerts μ der Gesamtpopulation darstellt.
Das Konfidenzintervall wird durch seine Untergrenze t_u und seine Obergrenze t_o beschrieben.

Die Berechnung der Grenzen erfolgt unter Zuhilfenahme der t-Verteilung nach den Formeln:

$$t_u = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{n-1;1-\alpha/2} \quad ,$$

$$t_o = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{n-1;1-\alpha/2} \quad .$$

n steht für den Stichprobenumfang, $\bar{x}$ für den Mittelwerte und s für die empirische Standardabweichung. $t_{n-1;1-\alpha/2}$ steht für den Wert der t-Verteilung des Freiheitsgrades f (für einen gemessenen Parameter = n-1) und der angestrebten Wahrscheinlichkeit 1-α (z.B. 0,95 = 95%). Der t-Wert lässt sich aus statistischen Tabellen entnehmen.

3.7.4 Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben

Zum Vergleich der Visuswerte innerhalb der einzelnen Gruppen haben wir den Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben angewendet. Er überprüft, ob sich zwei verbundene Stichproben signifikant in ihrer zentralen Tendenz unterscheiden. Als verbundene Stichprobe ist hierbei ein Wertepaar gemeint, das in Abhängigkeit voneinander erhoben wird, z.B. der Visus des rechten und des linken Auges bei derselben Person.

Der Test geht von einer Gleichverteilung aus, die Nullhypothese H_0 lautet in unserem Beispiel: der Visus des rechten und des linken Auges ist gleich.

Es werden die Differenzen der Wertepaare gebildet, nach ihrer Größe aufsteigend sortiert und mit Rangnummern versehen. Die Rangzahlen der positiven Differenzen werden addiert, ebenso die Rangzahlen der negativen Differenzen.

Die Testgröße R ist die kleinere der beiden Rangsummen, sie wird mit dem kritischen Wert der Wilcoxon-Testtabelle verglichen. Ist R kleiner oder gleich dem kritischen Wert, wird die Nullhypothese verworfen, andernfalls beibehalten. Statistische Tabellen ermöglichen das Ablesen der Signifikanz p bei gegebenem Wert für R und der Gesamtzahl der Wertepaare.

3.7.5 U-Test von Mann und Whitney

Zum Vergleich der Visuswerte zwischen den verschiedenen Altersgruppen haben wir den U-Test durchgeführt. Er dient dem Vergleich der zentralen Tendenzen von unabhängigen Stichproben.

Sämtliche Werte werden entsprechend ihrer Größe aufsteigend sortiert und mit Rangnummern versehen.

Die Rangnummern der beiden Stichproben werden gesondert addiert, man erhält so die Rangsummen R_1 und R_2. Man berechnet nun U_1 und U_2.

$$U_1 = n_1 . n_2 + n_1 (n_1 + 1)/2 - R_1$$
$$U_2 = n_1 . n_2 + n_2 (n_2 + 1)/2 - R_2 .$$

Die Testgröße U ist der kleinere der beiden Werte, man vergleicht sie mit dem kritischen Wert, der einer Testtabelle zu entnehmen ist. Ist U kleiner oder gleich dem kritischen Wert, wird die Nullhypothese abgelehnt, ansonsten beibehalten. Ähnlich dem Wilcoxon-Test kann man auch hier die Signifikanz p bei bekanntem U-Wert und Gruppengröße bestimmen.

4 Ergebnisse

4.1 Ablauf der Untersuchung

4.1.1 Mitarbeit der Kinder

Bei den Untersuchungen haben die Kinder zu einem großen Anteil sehr gut mitgearbeitet, keines der Kinder hat seine Mitarbeit vollständig verweigert. Insbesondere die Stereo-Tests wurden von den Kindern gut angenommen. Die meisten Kinder fanden es spannend, die „versteckten Bilder" zu entdecken und waren von der Plastizität besonders der Titmus-Fliege beeindruckt, wobei einige Kinder die sehr große Fliege auch abstoßend fanden.

Die Visusprüfungen haben den Kindern besonders anfangs ebenfalls Freude bereitet, da sie gespannt waren, wie gut sie im „Adleraugentest" abschneiden würden. Durch ständiges Loben und Ermutigen, war die überwiegende Anzahl der Kinder bereit, bis zum Ende der Prüfung mitzumachen. Es fiel jedoch auf, dass manche Kinder gerade bei den kleinen Optotypen zunehmend unmotivierter wurden und forderten, dass wieder größere Optotypen abgefragt werden. Die Reihenfolge der Prüfung ermöglichte eine Pause zwischen den beiden Optotypenprüfungen, so dass auch bei den Reihenoptotypen die meisten Kinder gut mitgearbeitet haben. Die Motivation der Kinder hat bei dieser Prüfung etwas schneller nachgelassen. Meist konnten wir die Kinder jedoch überreden, sich noch ein letztes Mal richtig anzustrengen und mitzuarbeiten, da der Test danach vorbei war.

Bei der Visusbestimmung mit den Einzeloptotypen haben alle Kinder bei der binokularen Prüfung mitgearbeitet, bei drei Kindern konnten wir aufgrund mangelnder Mitarbeit keine monokularen Werte ermitteln. Bei den Reihenoptotypen haben drei Kinder gar nicht mitgearbeitet, bei zwei Kindern konnten wir nur den binokularen Visus bestimmen, bei zwei weiteren nur den monokularen Visus.

Alle Kinder haben beim Lang-Test und beim Bagolini-Streifenglastest mitgearbeitet. Beim Titmus-Test haben zwei Kinder bei den Tierbildern die Mitarbeit verweigert und insgesamt fünf Kinder bei den Kreissymbolen. Ein Kind hat beim Cover- und Uncovertest nicht ordnungsgemäß mitgemacht. Tab. 4.1 gibt eine Übersicht der Mitarbeitshäufigkeiten.

Tab. 4.1: Übersicht der Mitarbeitshäufigkeiten bei den verschiedenen Testverfahren.

Testart	Einzel-optotypen	Reihen-optotypen	Bagolini-Test	Lang-Test	Titmus-Fliege	Titmus-Tiere	Titmus-Ringe	Cover-/ Uncover
Mitarbeit (%)	98,7-100	97,8	100	100	100	99,1	97,8	99,6

4.1.2 Untersuchungsdauer

Die Untersuchungsdauer lag pro Kind zwischen 15 und 30 Minuten, je nachdem wie viele Pausen das Kind brauchte und wie gut es mitgearbeitet hat. So konnten wir an einem durchschnittlichen Vormittag von vier Stunden Untersuchungsdauer etwa 12-14 Kinder untersuchen. Wir haben uns bei den einzelnen Untersuchungen jedoch die Zeit gelassen, die notwendig war, um ausreichend auf die Kinder einzugehen. Die einzelnen Tests wurden ohne Zeitlimit durchgeführt und wenn notwendig wiederholt.

4.1.3 Gruppenzuordnung

Während der Erstuntersuchung in Phase I der Gruppenzuordnung wurden alle 226 Kinder untersucht. 157 der Kinder konnten der Gruppe der Normalsichtigen zugeordnet werden. 69 Kinder wurden zunächst als auffällig beurteilt aufgrund von auffälligen Testergebnissen oder weil sie zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits eine Brille trugen.

Während der Nachuntersuchung in Phase II der Gruppenzuordnung wurden diese Kinder erneut untersucht und die Brillen ausgemessen. Bei 41 Kindern wurden in der Nachuntersuchung keine zum Ausschluss führenden Befunde erhoben, sie wurden ebenfalls der normalsichtigen Gruppe zugeordnet. Sechs Kinder wurden schon in dieser Phase der Ausschlussgruppe zugeordnet. In drei Fällen konnten auffällige Befunde der Voruntersuchung wegen Abwesenheit des Kindes nicht überprüft werden (ein Kind mit einer ungeklärten Visusminderung, eins mit Verdacht auf Exotropie und ein Kind dessen Brillenwerte nicht bekannt waren). Die übrigen drei Fälle benötigten keine weitere Abklärung, da die Diagnose die zum Ausschluss führte bereits bekannt und die Kinder in augenärztlicher Behandlung waren (ein Kind mit einem hohen Astigmatismus und zwei Kinder mit Mikrostrabismus, bei einem in Kombination mit einer Amblyopie).

Bei 22 Kindern konnte vor Ort kein endgültiger Befund erhoben werden oder sie zeigten von organischer Seite her Auffälligkeiten. Diese Kinder wurden zum Augenarzt geschickt mit der Bitte auf weiterführende Diagnostik. Hierfür haben wir die von uns erhobenen Befunde und die Verdachtsdiagnosen notiert und den Eltern mit der Bitte mitgegeben, uns ihr Einverständnis zu geben, die Befunde mit dem jeweiligen Augenarzt besprechen zu dürfen.
Bei 10 Kindern wurde vom Augenarzt kein zum Ausschluss führender Befund erhoben, auch diese Kinder wurden der Gruppe der Normalsichtigen zugeordnet. Vier Kinder mussten aufgrund des augenärztlichen Befundes der Ausschlussgruppe zugeordnet werden. Bei den verbleibenden acht Kindern konnten wir leider keinen Befund vom Augenarzt in

Erfahrung bringen, da entweder die Eltern ihr Einverständnis hierfür nicht gaben oder sie mit dem Kind keinen Augenarzt aufsuchten.

Tab. 4.2 zeigt eine Übersicht über die einzelnen Phasen der Gruppenzuordnung.

Tab. 4.2: Übersicht über die Phasen der Gruppenzuordnung. *) Kinder deren augenärztliche Befunde nicht ermittelt werden konnten oder durften, wurden neben den in dieser Phase als auffällig diagnostizierten Kindern ebenfalls der Ausschlussgruppe zugeordnet. Bei den Fünfjährigen betraf dies 6 Kinder, bei den Sechsjährigen 2 Kinder.

Einteilungsphase	Alter	Gesamt	Unauffällig	Auffällig	Ausschlussgruppe
Phase I (Erstuntersuchung)	Fünfjährige	150	101	49	-
	Sechsjährige	76	56	20	-
	Gesamt	226	157	69	-
Phase II (Nachuntersuchung)	Fünfjährige	49	33	12	4
	Sechsjährige	20	8	10	2
	Gesamt	69	41	22	6
Phase III (Augenarzt-Kontrolle)	Fünfjährige	12	4	2	8*+ 4 (Phase II)=**12**
	Sechsjährige	10	6	2	4*+ 2 (Phase II)=**6**
	Gesamt	22	10	4	12*+ 6 (Phase II)=**18**

4.1.3.1 Normalsichtige Kinder

Der Gruppe normalsichtiger Kinder konnten insgesamt 208 Kinder zugeordnet werden, 138 der Fünfjährigen und 70 Sechsjährige.

Insgesamt 14 (6,7%) der normalsichtigen Kinder trugen zum Zeitpunkt der Untersuchung eine Brille .

- Zwei Kinder hatten nur eine geringe Hyperopie von maximal 0,75 D ohne zusätzlichen Astigmatismus.
- Vier Kinder hatten Hyperopien von 1-1,5 D alle in Kombination mit einem Astigmatismus von 0,25-0,5 D.
- Sechs Kinder hatten höhergradige Hyperopien zwischen 2 D und 4,5 D, drei davon in Kombination mit einem Astigmatismus von 1-1,5 D.
- Zwei Kinder zeigten ausschließlich einen geringen Astigmatismus bis 1 D.

Bei einem Kind stellten wir eine noch unentdeckte Myopie von 1,25 D fest, bei einem weiteren Kind stellten wir eine noch unbekannte Hyperopie mit Astigmatismus von 2 D sph. und 0,5 /0,75 cyl. fest. Fünf Kinder zeigten außerdem eine Exophorie und zwei Kinder eine Esophorie.

4.1.3.2 Ausschlussgruppe

Der Ausschlussgruppe wurden insgesamt 18 Kinder zugeordnet, 12 Fünfjährige und 6 Sechsjährige. Die Gründe für den Ausschluss sind in Tab. 4.3 aufgeführt.

Sieben der Kinder trugen zum Zeitpunkt der Untersuchung eine Brille (38,8%). Die Brillenwerte waren in dieser Gruppe deutlich höher als in der Gruppe Normalsichtiger und hatten bei drei Kindern zum Ausschluss geführt.

- Fünf der sieben Kinder zeigten Werte zwischen 3,0 - 8,0 D sph. und 0,5-2,5 D cyl.
- Ein Kind hatte eine nur gering ausgeprägte Hyperopie von 0,5-1 D, war jedoch auf dem linken Auge amblyop und zeigte einen Mikrostrabismus.
- Ein Kind erschien nicht zur Nachuntersuchung, so dass wir die Fehlsichtigkeit nicht beurteilen konnten.

Bei einem der Kinder stellten wir eine noch nicht entdeckte Hyperopie von mehr als 5 D sph. fest, die zum Ausschluss führte.

Zwei Kinder zeigte außerdem eine Esophorie, ein weiteres eine Exophorie. Diese Befunde wurden zwar zur Kenntnis genommen, haben jedoch nicht zum Ausschluss geführt.

Tab. 4.3:Gründe für die Zuordnung zur Ausschlussgruppe. *) Zwei Kinder zeigten im Kindergarten eine Exotropie, die nicht weiter abgeklärt werden konnte, weil eines nicht zur Nachuntersuchung kam, das andere nicht beim Augenarzt war. **) Ein Kind zeigte einen Mikrostrabismus und eine Amblyopie

Grund des Ausschlusses	**Fünfjährige**	**Sechsjährige**
Exotropie	2*	0
Esotropie	1	0
Mikrostrabismus	0	2**
Amblyopie	0	1**
Hyperopie > 5 D	1	1
Astigmatismus > 2 D	1	1
Kind war bei der Nachuntersuchung nicht anwesend	3*	0
Kind war nicht beim Augenarzt	2*	0
Eltern gaben kein Einverständnis für die Befundbesprechung mit dem Augenarzt	4	2
Gesamt	12	6

Insgesamt 11 Kinder mussten in die Ausschlussgruppe aufgenommen werden, da aufgrund mangelnder Kooperation von Seiten der Eltern keine endgültige Diagnose gestellt werden konnte.

Bei diesen Kindern wurden die folgenden Verdachtsdiagnosen und Auffälligkeiten geäußert:

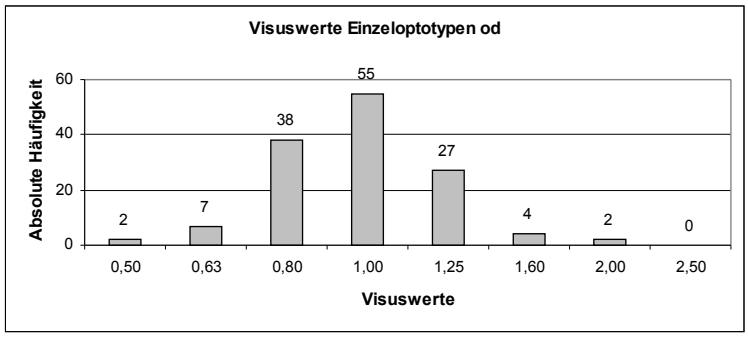
- Bei insgesamt sieben Kindern bestand der Verdacht auf eine Ametropie.
    - Vier dieser Kinder zeigten in der Skiaskopie einen relevanten Astigmatismus.
    - Bei zwei Kindern bestand der Verdacht auf eine Myopie, bei einem in

Kombination mit einem Astigmatismus.

    - Bei einem Kind konnten wir die Höhe der Ametropie wegen Nichterscheinens bei der Nachuntersuchung nicht einschätzen.
- Eines der Kinder zeigte auffällige Ergebnisse bei den Stereo-Tests.
- Bei zwei Kindern stellten wir im Cover-Test eine Exotropie fest.
- Ein Kind zeigte eine Visusminderung unklarer Genese.
- Ein Kind fiel durch eine sehr starke Blendempfindlichkeit auf.

4.2 Visuswerte der normalsichtigen Fünfjährigen

4.2.1 Einzeloptotypen rechtes Auge



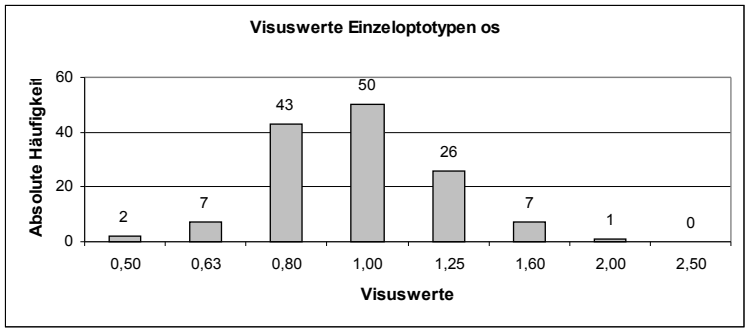
Median	1,0
Geometrisches Mittel	0,97
Standardabweichung in Visusstufen	1,03
Konfidenzintervall	[0,93;1,01]
5-er Perzentile	0,63
95-er Perzentile	1,34

Abb. 4.1: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Tab. 4.4: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Visuswert	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**1,25**	**1,6**	**2,0**	**2,5**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	2	7	38	55	27	4	2	0	3
Prozentuale Häufigkeit	1,4	5,1	27,5	39,9	19,6	2,9	1,4	0	2,2

4.2.2 Einzeloptotypen linkes Auge



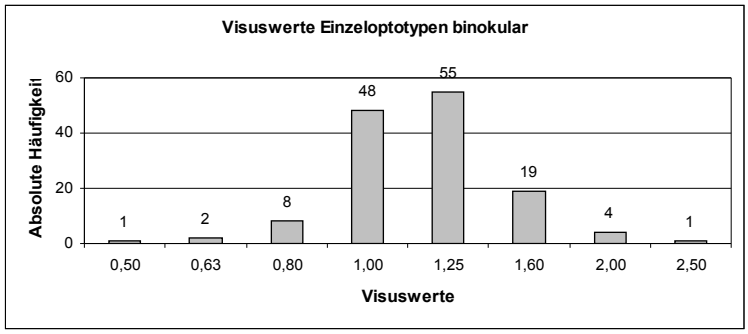
Median	1,0
Geometrisches Mittel	0,97
Standardabweichung in Visusstufen	1,05
Konfidenzintervall	[0,93;1,01]
5-er Perzentile	0,63
95-er Perzentile	1,6

Abb. 4.2: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Tab. 4.5: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Visuswert	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**1,25**	**1,6**	**2,0**	**2,5**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	2	7	43	50	26	7	1	0	2
Prozentuale Häufigkeit	1,4	5,1	31,2	36,2	18,8	5,1	0,7	0	1,4

4.2.3 Einzeloptotypen binokular



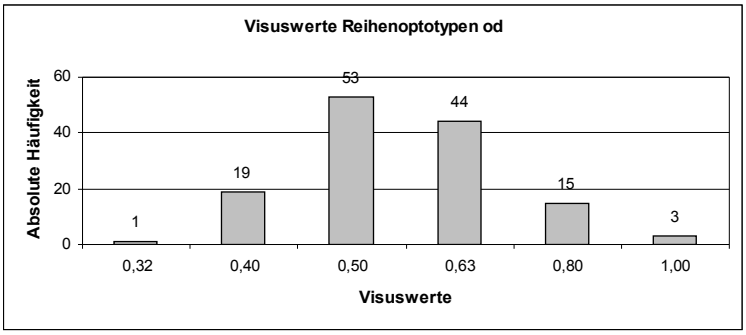
Median	1,25
Geometrisches Mittel	1,17
Standardabweichung in Visusstufen	1,03
Konfidenzintervall	[1,13;1,22]
5-er Perzentile	0,8
95-er Perzentile	1,6

Abb. 4.3: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Tab. 4.6 :Verteilung der Visuswerte – Einzeloptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Visuswert	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**1,25**	**1,6**	**2,0**	**2,5**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	1	2	8	48	55	19	4	1	0
Prozentuale Häufigkeit	0,7	1,4	5,8	34,8	39,9	13,8	2,9	0,7	0

4.2.4 Reihenoptotypen rechtes Auge



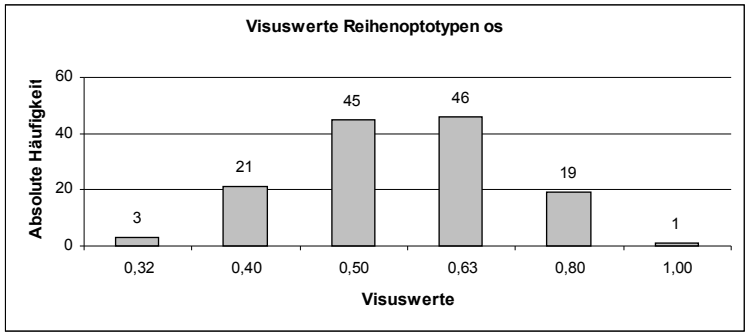
Median	0,5
Geometrisches Mittel	0,56
Standardabweichung in Visusstufen	0,97
Konfidenzintervall	[0,54;0,58]
5er Perzentile	0,4
95er Perzentile	0,8

Abb. 4.4: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Tab. 4.7: Verteilung der Visuswerte – Reihenoptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Visuswert	**0,32**	**0,4**	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	1	19	53	44	15	3	3
Prozentuale Häufigkeit	0,7	13,8	38,4	31,9	10,9	2,2	2,2

4.2.5 Reihenoptotypen linkes Auge



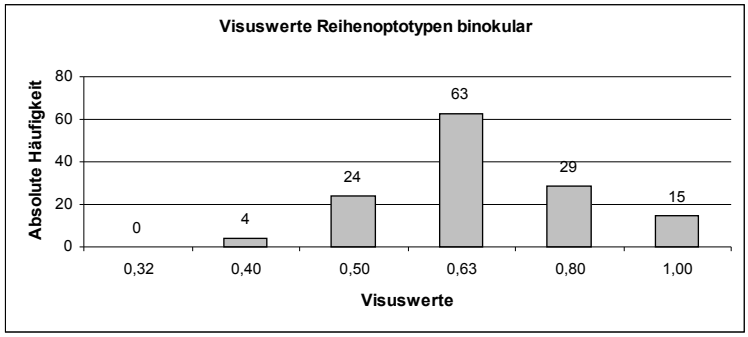
Median	0,5
Geometrisches Mittel	0,56
Standardabweichung in Visusstufen	1,01
Konfidenzintervall	[0,53;0,58]
5er Perzentile	0,4
95er Perzentile	0,8

Abb. 4.5: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Tab. 4.8: Verteilung der Visuswerte – Reihenoptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Visuswert	**0,32**	**0,4**	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	3	21	45	46	19	1	3
Prozentuale Häufigkeit	2,2	15,2	32,6	33,3	13,8	0,7	2,2

4.2.6 Reihenoptotypen binokular



Median	0,63
Geometrisches Mittel	0,66
Standardabweichung in Visusstufen	0,96
Konfidenzintervall	[0,64;0,69]
5-er Perzentile	0,5
95-er Perzentile	1,0

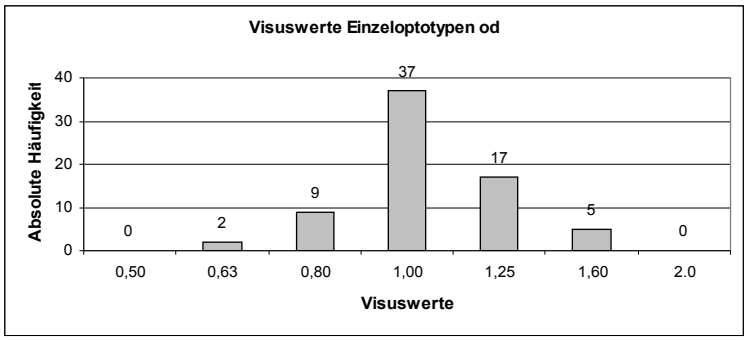
Abb. 4.6: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Tab. 4.9: Verteilung der Visuswerte – Reihenoptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen

Visuswert	**0,32**	**0,4**	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	0	4	24	63	29	15	3
Prozentuale Häufigkeit	0	2,9	17,4	45,7	21	10,9	2,2

4.3 Visuswerte der normalsichtigen Sechsjährigen

4.3.1 Einzeloptotypen rechtes Auge



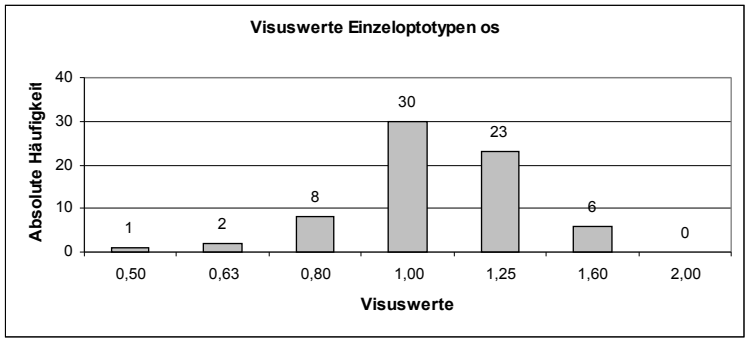
Median	1,0
Geometrisches Mittel	1,05
Standardabweichung in Visusstufen	0,86
Konfidenzintervall	[1,00;1,10]
5-er Perzentile	0,8
95-er Perzentile	1,6

Abb. 4.7: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Tab. 4.10: Verteilung der Visuswerte – Einzeloptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Visuswert	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**1,25**	**1,6**	**2,0**	**2,5**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	0	2	9	37	17	5	0	0	0
Prozentuale Häufigkeit	0	2,9	12,9	52,9	24,3	7,1	0	0	0

4.3.2 Einzeloptotypen linkes Auge



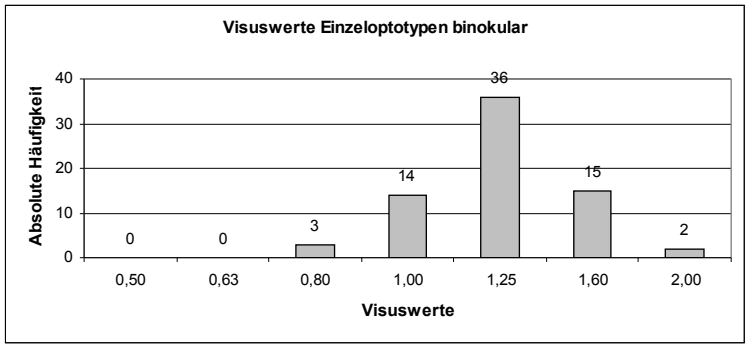
Median	1,0
Geometrisches Mittel	1,07
Standardabweichung in Visusstufen	0,98
Konfidenzintervall	[1,01;1,13]
5-er Perzentile	0,72
95-er Perzentile	1,6

Abb. 4.8: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Tab. 4.11: Verteilung der Visuswerte- Einzeloptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Visuswert	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**1,25**	**1,6**	**2,0**	**2,5**
Absolute Häufigkeit	1	2	8	30	23	6	0	0
Prozentuale Häufigkeit	1,4	2,9	11,4	42,9	32,9	8,6	0	0

4.3.3 Einzeloptotypen binokular



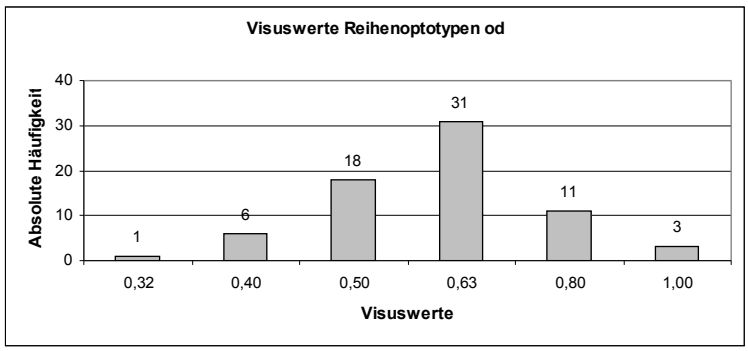
Median	1,25
Geometrisches Mittel	1,25
Standardabweichung in Visusstufen	0,84
Konfidenzintervall	[1,20;1,31]
5-er Perzentile	0,91
95-er Perzentile	1,6

Abb. 4.9: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Tab. 4.12: Verteilung der Visuswerte – Einzeloptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Visuswert	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**1,25**	**1,6**	**2,0**	**2,5**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	0	0	3	14	36	15	2	0	0
Prozentuale Häufigkeit	0	0	4,3	20,0	51,4	21,4	2,9	0	0

4.3.4 Reihenoptotypen rechtes Auge



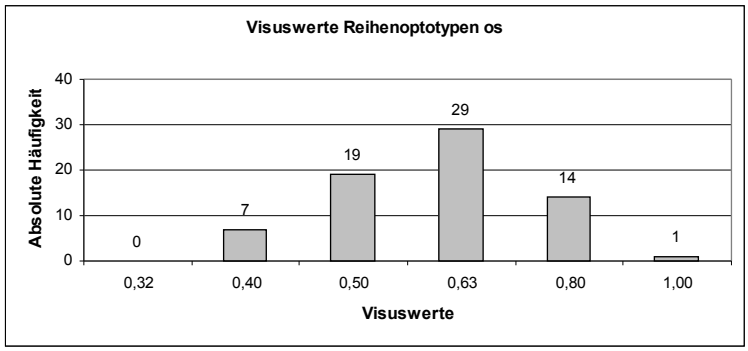
Median	0,63
Geometrisches Mittel	0,60
Standardabweichung in Visusstufen	1,02
Konfidenzintervall	[0,57;0,64]
5-er Perzentile	0,4
95-er Perzentile	0,89

Abb. 4.10: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Tab. 4.13: Verteilung der Visuswerte – Reihenoptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Visuswert	**0,32**	**0,4**	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	1	6	18	31	11	3	0
Prozentuale Häufigkeit	1,4	8,6	25,7	44,3	15,7	4,3	0

4.3.5 Reihenoptotypen linkes Auge



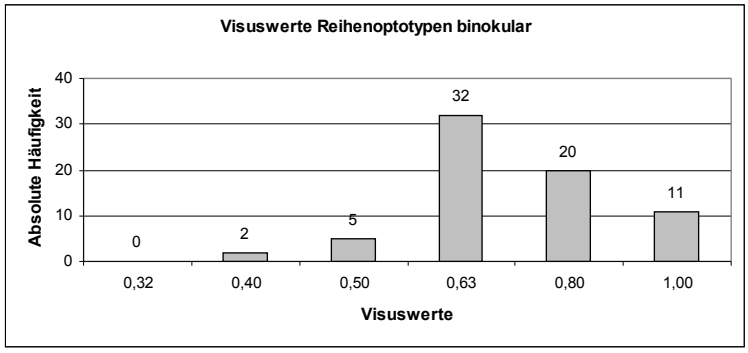
Median	0,63
Geometrisches Mittel	0,60
Standardabweichung in Visusstufen	0,94
Konfidenzintervall	[0,57;0,63]
5-er Perzentile	0,4
95-er Perzentile	0,8

Abb. 4.11: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Tab. 4.14: Verteilung der Visuswerte – Reihenoptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Visuswert	**0,32**	**0,4**	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	0	7	19	29	14	1	0
Prozentuale Häufigkeit	0	10,0	27,1	41,4	20,0	1,4	0

4.3.6 Reihenoptotypen binokular



Median	0,63
Geometrisches Mittel	0,70
Standardabweichung in Visusstufen	0,96
Konfidenzintervall	[0,66;0,74]
5-er Perzentile	0,5
95-er Perzentile	1,0

Abb. 4.12: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Tab. 4.15: Verteilung der Visuswerte – Reihenoptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen

Visuswert	**0,32**	**0,4**	**0,5**	**0,63**	**0,8**	**1,0**	**Fehlend**
Absolute Häufigkeit	0	2	5	32	20	11	0
Prozentuale Häufigkeit	0	2,9	7,1	45,7	28,6	15,7	0

4.4 Ergebnisse des Binokularsehens bei den Normalsichtigen

4.4.1 Bagolini-Streifenglastest

Alle Kinder beider Altersgruppen haben mitgearbeitet und jedes von ihnen konnte die im Mittelpunkt des Lichtes kreuzenden Strahlen sehen.

4.4.2 Lang-Stereotest II

Alle Kinder beider Altersgruppen haben mitgearbeitet und mit Ausnahme eines Kindes konnten alle Kinder die dargestellten Figuren erkennen. Das Kind, welches ein pathologisches (=positives) Testergebnis hatte, zeigte auch im Titmus-Test schlechtere Ergebnisse als die übrigen Kinder und es war zweifelhaft, ob es die Aufgabe verstanden hatte.

4.4.3 Titmus-Test

Titmus-Fliege: alle 208 Kinder haben die Fliege räumlich gesehen.

Titmus-Tiere: Zwei Kinder haben nicht mitgearbeitet. 203 Kinder waren in der Lage, in allen drei Reihen das richtige Tier zu erkennen, drei Kinder konnten dies nur bis zur zweiten Reihe.

Titmus-Ringe: Tab. 4.16 und die Abb. 4.13 und 4.14 zeigen eine Übersicht der Ergebnisse. In beiden Altersgruppen haben jeweils zwei Kinder nicht mitgearbeitet. Zwei der drei Kinder, die nur zwei Reihen der Tiere gesehen haben, konnten auch hier nur wenige Ringe (2 bzw. 4) richtig erkennen, das dritte Kind erkannte in diesem Test alle 9 Ringe.

Tab. 4.16: Titmus-Test Ringe: Übersicht der Ergebnisse in beiden Altersgruppen, normalsichtige Kinder. Dargestellt ist, wie viele Kinder den jeweiligen Ring erkannt haben.

Titmus-Ringe	**Fünfjährige**		**Sechsjährige**	
Ringe	Absolute Häufigkeit	Prozent	Absolute Häufigkeit	Prozent
Nr. 1	136	98,6	68	97,1
Nr. 2	136	98,6	68	97,1
Nr. 3	134	97,1	68	97,1
Nr. 4	134	97,1	68	97,1
Nr. 5	131	94,9	67	95,7
Nr. 6	127	92,0	64	91,4
Nr. 7	106	76,8	60	85,7
Nr. 8	92	66,6	55	78,6
Nr. 9	77	55,8	43	61,4
Fehlend	2	1,4	2	2,9
Gesamt	138	100	70	100

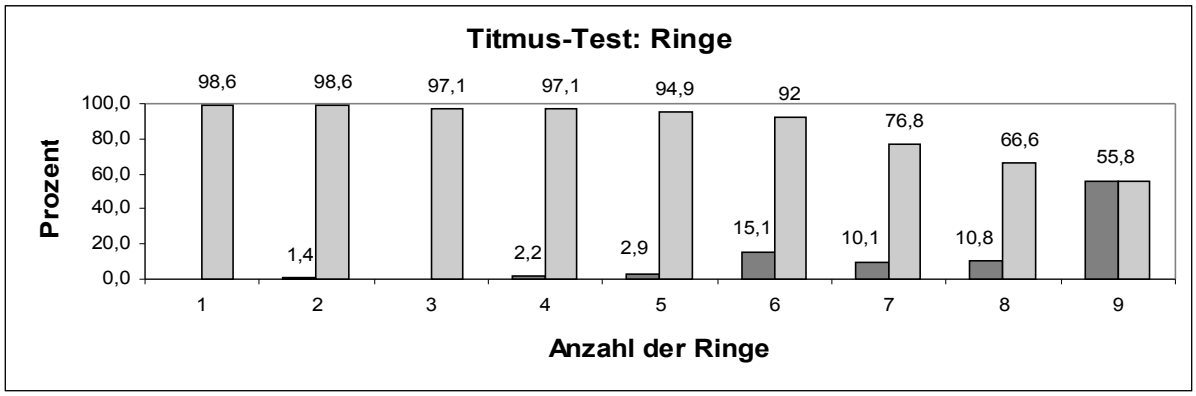


Abb. 4.13: Titmus-Test Ringe, Ergebnisse der normalsichtigen Fünfjährigen.

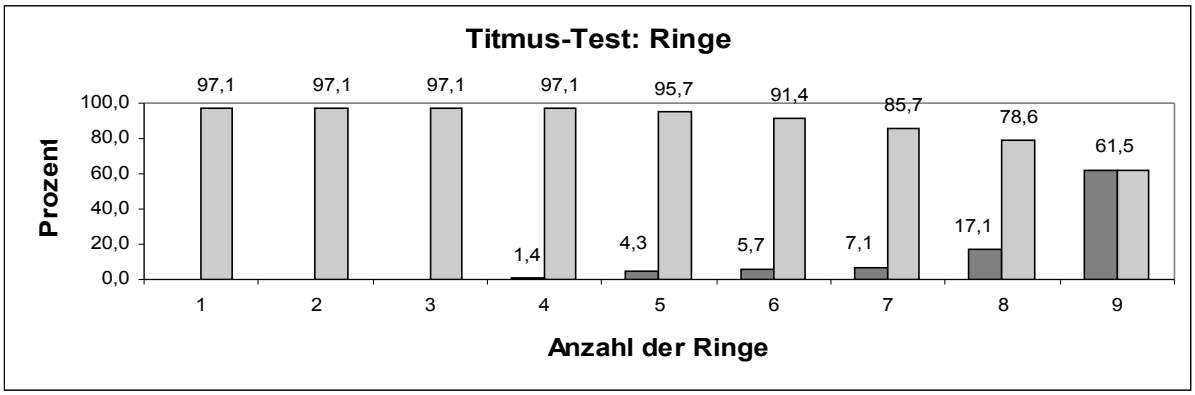


Abb. 4.14: Titmus-Ringe-Test, Ergebnisse der normalsichtigen Sechsjährigen.

Abb. 4.13. und 4.14: Die dunklen Säulen auf der linken Seite stellen den prozentualen Anteil der Kinder dar, die bei dem jeweiligen Ring ihr Limit erreicht haben. Die helleren Säulen auf der rechten Seite stellen dar, wieviel Prozent der Kinder insgesamt den jeweiligen Ring sehen konnten. Zwei Kinder haben pro Gruppe nicht mitgearbeitet, was die Abweichung von 100% erklärt.

Es zeigte sich, dass etwa 92% der fünf- und sechsjährigen Kinder die Ringe 1-6 plastisch erkennen konnten. Ab dem siebten Ring nahm die Erkennungshäufigkeit in beiden Altersgruppen ab, alle neun Ringe konnten 55,8% der Fünfjährigen und 61,5 % der Sechsjährigen erkennen. Den größten Sprung in der Erkennungshäufigkeit zeigten die Fünfjährigen zwischen dem sechsten und siebten Ring und die Sechsjährigen zwischen dem achten und dem neunten Ring.

4.5 Untersuchung der Augenstellung der Normalsichtigen

Der Covertest zeigte bei allen 208 Kindern ein unauffälliges Ergebnis, dies war eines der Kriterien für die Zuordnung zur Gruppe der Normalsichtigen.

Der Uncovertest zeigte bei fünf Kindern eine Exophorie und bei zwei Kindern eine Esophorie. Bei allen übrigen Kindern stellten wir eine Orthophorie und damit ein unauffälliges Ergebnis fest.

4.6 Ergebnisse der Ausschlussgruppe

4.6.1 Visuswerte

Die Kinder haben insgesamt gut mitgearbeitet, jedoch war es nicht immer möglich, Werte für alle Visusbestimmungen zu erhalten. Jeweils zwei Kinder haben in den Bestimmungen des Reihenoptotypenvisus recht/links und binokular die Mitarbeit verweigert. Die Ergebnisse der Visusprüfungen und der anderen Untersuchungen sind in Tabelle 4.17 zusammen mit den Brillenwerten und den Diagnosen dargestellt. Auf eine Ermittlung des Medians und des geometrischen Mittels sowie auf die Darstellung der Visuswerte in Form von Säulendiagrammen haben wir aufgrund der kleinen Gruppengröße verzichtet.

4.6.2 Untersuchung des Binokularsehens

4.6.2.1 Bagolini-Streifenglastest

Insgesamt 17 der 18 Kinder beider Altersgruppen haben gut mitgearbeitet und konnten die sich im Mittelpunkt des Lichtes überkreuzenden Strahlen sehen. Bei einem der jüngeren Kinder (4 Jahre, 9 Monate) war die Testdurchführung schwierig und es war nicht klar, ob es die Aufgabe richtig verstanden hatte.

4.6.3.2 Lang-Stereotest II

Alle 18 Kinder haben bei diesem Test mitgearbeitet. Vier Kinder waren nicht in der Lage, die Figuren zu erkennen und hatten somit ein positives Testergebnis. Zwei dieser Kinder hatten einen Mikrostrabismus ein weiteres hatte eine Esotropie. Das vierte Kind, welches schon im Bagolini-Versuch Verständnisproblemen zeigte, hatte auch hier ein (fraglich) positives Testergebnis.

4.6.2.3 Titmus-Test

Auch bei diesem Test haben alle 18 Kinder mitgearbeitet. Titmus-Fliege: Zwei Kinder haben die Fliege nicht dreidimensional sehen können, dabei handelte es sich um das bereits erwähnte Kind mit fraglichen Verständnisproblemen und das Kind mit der Esotropie.
Titmus-Tiere: Das Kind mit der Esotropie und ein Kind mit Mikrostrabismus konnten auch hier in keiner Reihe das richtige Tier erkennen. Die übrigen 16 Kinder konnten in allen drei Reihen auf das korrekte Tier zeigen.
Titmus-Ringe: Tab. 4.17 stellt die Ergebnisse dar. Ein Kind hat bei diesem Anteil des Titmus-Tests nicht mitgearbeitet. Zwei Kinder konnten keinen der Kreise richtig erkennen, drei weitere waren nur in der Lage, die ersten drei Kreise zu erkennen. Dazu gehörten die bereits im Lang-Test auffälligen Kinder sowie ein Kind mit einem hohen Astigmatismus.

Tabelle 17:Übersicht über die Ergebnisse der Kinder der Ausschlussgruppe (n=18). Leere Einträge bedeuten, das Kind hat nicht mitgearbeitet. Iner Spalte „Foveolare Fixation“ bedeutet ein leerer Eintrag, dass das Kind zu dieser Untersuchung nicht anwesend war.

Diagnose der einzelnen Kinder	Altersgruppe	Visuswert Einzel-optotypen rechts	Visuswert Einzel-optotypen links	Visuswert Einzel-optotypen binokular	Visuswert Reihen-optotypen rechts	Visuswert Reihen-optotypen links	Visuswert Reihen-optotypen binokular	Titmus-Fly gesehen	Anzahl gesehener Titmus-Tierreihen	Anzahl gesehener Titmus-Ringe	Lang-Test	Bagolini-Streifenglastest	Abdeck-Versuch	Aufdeck-Versuch	Foveolare Fixation	Brille	Brillenwert rechtes Auge sphärisch	Brillenwert rechtes Auge cylindrisch	Brillenwert linkes Auge sphärisch	Brillenwert linkes Auge cylindrisch
unklar, kein Einverständnis der Eltern, V.a. hyperopen Astigmatismus	5	0,63	0,63	0,63				ja	3	8	positiv	positiv	normal	normal	ja	nein				
unklar, keine augenärztliche Nachuntersuchung, Nahexophorie, V.a. Astigmatismus	5	0,80	0,50	0,80	0,40	0,20	0,40	nein	3	3	negativ	negativ	normal	Exophorie	ja	nein				
unklar, keine Nachuntersuchung, daher keine gesicherten Brillenwerte	5	0,80	0,80	0,80			0,40	ja	3	7	positiv	positiv	normal	normal		ja		1,00		1,00
unklar, keine augenärztliche Nachuntersuchung, Astigmatismus	5	0,63	0,63	0,80	0,32	0,32	0,32	ja	3	6	positiv	positiv	normal	normal	ja	nein				
unklar, keine Nachuntersuchung, ungeklärte Visusminderung	5	0,40	0,50	0,80	0,20	0,20	0,25	ja	3	9	positiv	positiv	normal	normal		nein				
unklar, kein Einverständnis der Eltern, V.a. Astigmatismus	5	0,80	0,80	0,80	0,50	0,40	0,50	ja	3	5	positiv	positiv	normal	normal	ja	nein				
Exotropie	5	1,00	0,80	1,25	0,40	0,40	0,63	ja	3	9	positiv	positiv	Exotropie	normal		nein				
unklar, kein Einverständnis der Eltern, V.a. Exotropie	5	1,00	1,00	1,00	0,63	0,63	0,80	ja	3	8	positiv	positiv	Exotropi	normal	ja	nein				
Deutlicher Astigmatismus bds.	5	0,50	0,63	0,80	0,40	0,40		ja	3	3	positiv	positiv	normal	Esophorie	ja	ja	3,75	-2,50	4,25	-2,50
Esotropie	5	0,80	0,50	0,80	0,40	0,50	0,25	nein	0	0	positiv	positiv	Esotropie	normal	ja	ja	3,00	-1,00	3,00	-1,00
Deutliche Hyperopie unklar, keine augenärztliche Nachuntersuchung, V.a. Myopie, Astigmatismus	5	1,25	1,25	1,25	0,40	0,50	0,50	ja	3		positiv	positiv	normal	normal	ja	ja	4,50	-0,50	5,50	-0,50
unklar, kein Einverständnis der Eltern, unklar gesteigerte Blendempfindlichkeit	5	1,00	0,80	1,00	0,50	0,50	0,63	ja	3	8	positiv	positiv	normal	normal	ja	nein				
Amblyopie links, V.a. Mikrostrabismus	6	0,80	0,80	1,00	0,63	0,50	0,63	ja	3	9	positiv	positiv	normal	normal	ja	nein				
Ausgeprägter Astigmatismus	6	1,25	0,50	1,25	0,50	0,32	0,63	ja	3	3	positiv	positiv	normal	normal		ja	0,50		1,00	
Ausgeprägte Hyperopie	6	0,50	0,50	0,80	0,50	0,40	0,50	ja	3	9	positiv	positiv	normal	normal	ja	ja	3,50	-2,50	3,50	-2,25
unklar, kein Einverständnis der Eltern, V.a. Myopie	6	0,80	1,00	1,00	0,50	0,40	0,63	ja	3	9	positiv	positiv	normal	normal	ja	ja	7,50	-1,50	8,00	-2,25
Mikrostrabismus	6	1,00	1,00	1,25	0,50	0,40	0,63	ja	3	8	positiv	positiv	normal	normal	ja	nein				-1,25
	6	0,50	0,50	1,25	0,32	0,32	0,32	ja	0	0	positiv	positiv	normal	Esophorie	ja	ja	4,00	-1,25	4,25	-1,00

4.7 Vergleich der Visuswerte innerhalb der Gruppen

4.7.1 Vergleich rechtes Auge – linkes Auge, Normalsichtige

Bei den Fünfjährigen konnten wir 135 Wertepaare vergleichen, bei den Sechsjährigen 70 Wertepaare. Abb. 4.15 - 4.18 liefern eine Übersicht der Ergebnisse.

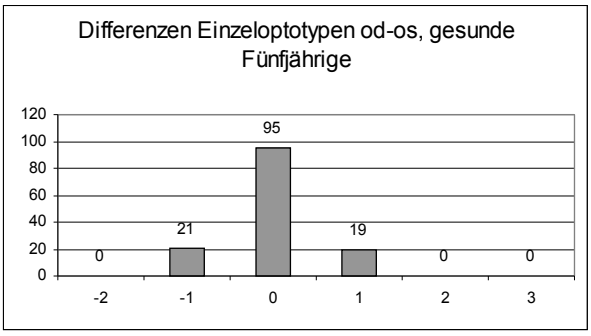


Abb. 4.14: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem des linken Auges (os) bei der Bestimmung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Fünfjährige n=135.

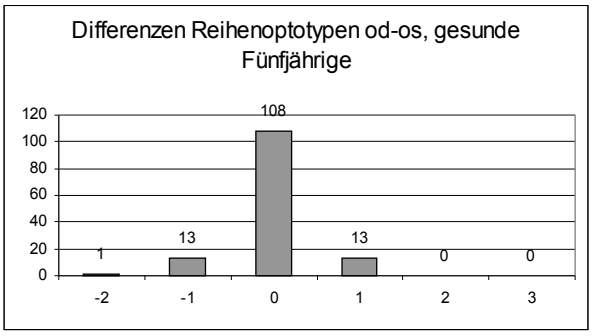


Abb. 4.15: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem des linken Auges (os) bei der Bestimmung mit Reihenoptotypen. Augengesunde Fünfjährige n=135.

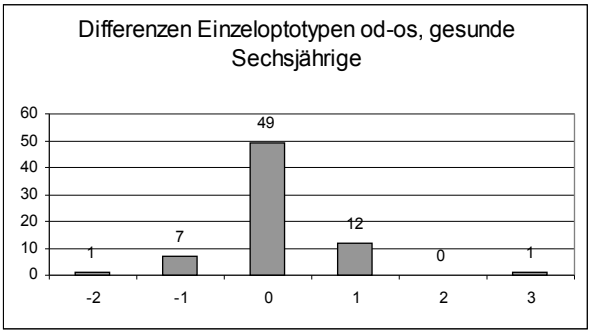


Abb. 4.16: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem des linken Auges (os) bei der Bestimmung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Sechsjährige n=70.

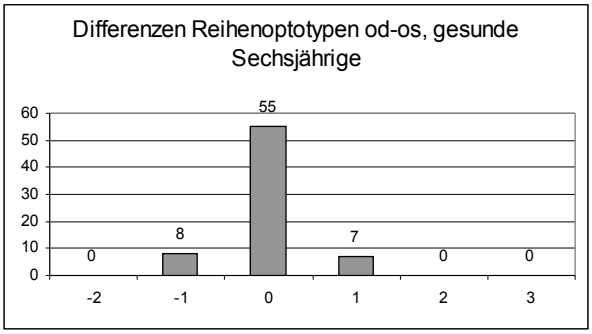


Abb. 4.17: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem des linken Auges (os) bei der Bestimmung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Sechsjährige n=70.

Der Wilcoxon-Test ergab bei den Fünfjährigen eine Signifikanz der Unterschiede von p=0,317 bei den Einzeloptotypen und p=0,7 bei den Reihenoptotypen, womit die Nullhypothese, dass es keinen Unterschied zwischen dem rechten und linken Auge gibt, beibehalten werden muss.

Auch bei den Sechsjährigen ergab der Wilcoxon-Test mit p=0,198 für die Einzeloptotypen und p=0,510 für die Reihenoptotypen keinen signifikanten Unterschied zwischen rechtem und linkem Auge.

4.7.2 Vergleich rechtes Auge – binokular, Normalsichtige

In der Gruppe der Fünfjährigen konnten wir 135 Wertepaare der Einzeloptotypen und 134 Wertepaare der Reihenoptotypen vergleichen. In der Gruppe der Sechsjährigen konnten wir 70 Wertepaare vergleichen. Abb. 4.19-4.22 liefern einen Überblick der Vergleiche.

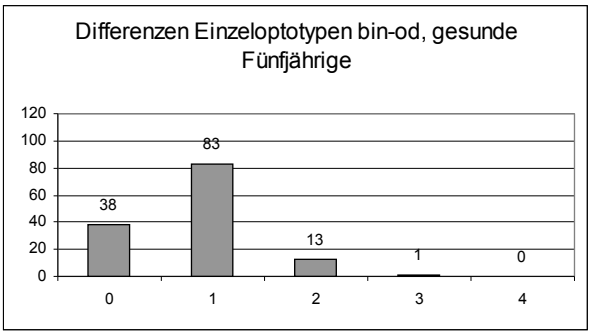


Abb. 4.18: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem binokularen Visus (bin) bei der Prüfung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Fünfjährige n=135.

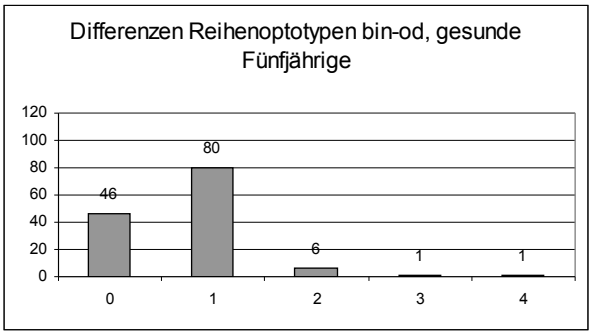


Abb. 4.19: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem binokularen Visus (bin) bei der Prüfung mit Reihenoptotypen. Augengesunde Fünfjährige n=134.

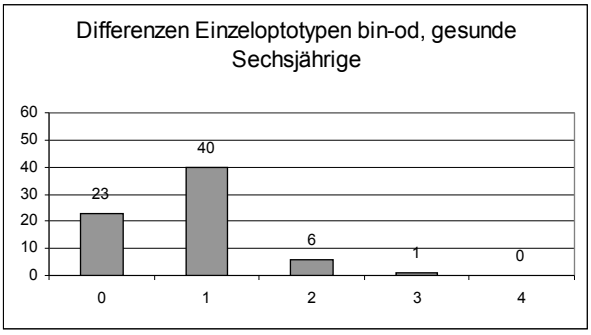


Abb. 4.20: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem binokularen Visus (bin) bei der Prüfung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Sechsjährige n=70.

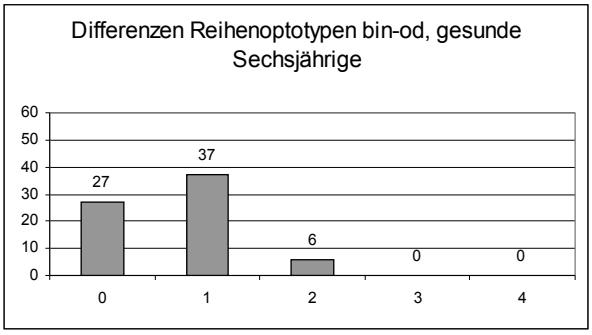


Abb. 4.21: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem binokularen Visus (bin) bei der Prüfung mit Reihenoptotypen. Augengesunde Sechsjährige n=70.

Wir haben die durchschnittliche Differenz der Visuswerte in Visusstufen berechnet. Für die Fünfjährigen ergab sich ein durchschnittlicher Unterschied zwischen dem monokularen und dem binokularen Visus von 1,2 Visusstufen für die Einzeloptotypen und 0,7 für die Reihenoptotypen. Die Sechsjährigen zeigten einen durchschnittlichen Unterschied bei der Einzeloptotypenprüfung von 0,8 und 0,6 bei den Reihenoptotypenprüfung.

Der Wilcoxon-Test ergab für beiden Altersgruppen mit einer Signifikanz von $p<0,001$, dass sowohl der Visus der Einzeloptotypen als auch der Reihenoptotypen binokular besser ist als monokular rechts und damit die Nullhypothese der Gleichheit verworfen werden muss.

4.7.3 Vergleich Einzeloptotypen und Reihenoptotypen

Wir konnten bei 135 Wertepaaren der Fünfjährigen und 70 Wertepaaren der Sechsjährigen den Vergleich zwischen den Einzel- und den Reihenoptotypen vornehmen. Wir haben sowohl die monokularen Ergebnisse des rechten Auges als auch die binokularen Ergebnisse mit Hilfe des Wilcoxon-Tests verglichen.

In beiden Altersgruppen zeigte jeweils ein Kind keinen Unterschied zwischen den Einzel- und den Reihenoptotypen. Die übrigen 134 bzw. 69 Kinder zeigten bei den Einzeloptotypen bessere Ergebnisse. Die Überlegenheit des Einzeloptotypenvisus konnte mit einer Signifikanz von $p<0{,}001$ für beide Altersgruppen sowohl bei der monokularen als auch bei der binokularen Visusprüfung nachgewiesen werden.

Der Einzeloptotypenvisus ist damit deutlich besser als der Reihenoptotypenvisus.

Uns interessierte darüberhinaus, um wie viele Visusstufen die Ergebnisse auseinander wichen. Hierzu haben wir die Differenzen der Visuswerte in Visusstufen gebildet und deren arithmetischen Mittelwert gebildet. Die Visuswerte der Einzeloptotypen lagen in beiden Altersgruppen durchschnittlich 2,4 Visusstufen (monokular rechts) bzw. 2,5 Visusstufen (binokular) über denen der Reihenoptotypen. Die Differenzen sind in Abb. 4.23-4.26 dargestellt.

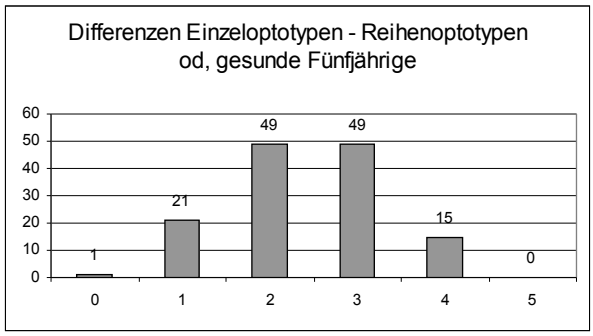


Abb. 4.22: Differenzen in Visusstufen zwischen dem Einzeloptotypenvisus des rechten Auges und dem Reihenoptotypenvisus des rechten Auges. Augengesunde Fünfjährige n=135.

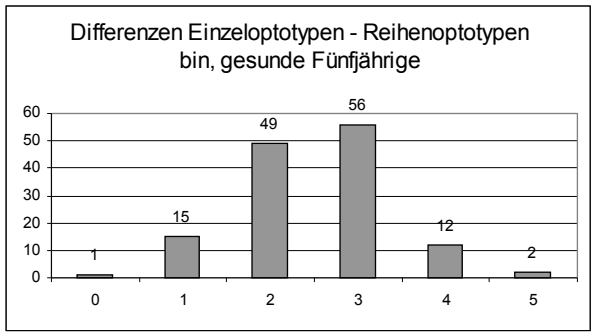


Abb. 4.23: Differenzen in Visusstufen zwischen dem binokularen Einzeloptotypenvisus und dem binokularen Reihenoptotypenvisus. Augengesunde Fünfjährige n=134.

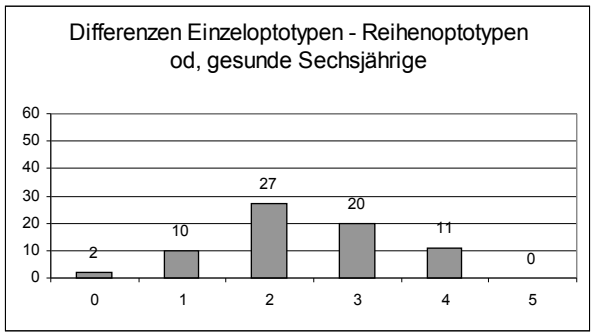


Abb. 4.24: Differenzen in Visusstufen zwischen dem Einzeloptotypenvisus des rechten Auges und dem Reihenoptotypenvisus des rechten Auges. Augengesunde Sechsjährige n=70.

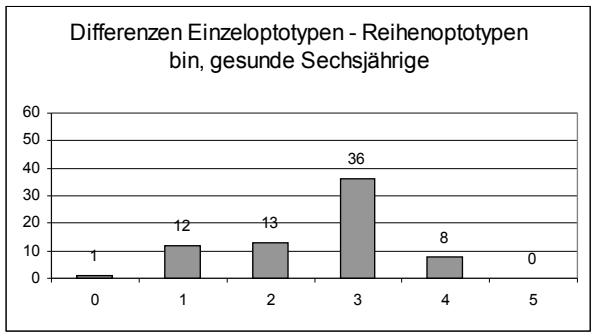


Abb. 4.25: Differenzen in Visusstufen zwischen dem binokularen Einzeloptotypevisus und dem binokularen Reihenoptotypenvisus. Augengesunde Sechsjährige n=70.

4.7.4 Vergleich der Visuswerte bei Berücksichtigung der Stereopsis

Zur Beurteilung, inwiefern die Ergebnisse des Titmus-Ringe-Test mit dem Visus korrelieren, haben wir die Kinder in vier Gruppen eingeteilt.

Zur Gruppe eins fassten wir alle Kinder zusammen, die weniger als die geforderten sieben Ringe korrekt erkennen konnten. Gruppe zwei umfasste alle Kinder die genau sieben Ringe erkannten, Gruppe drei die Kinder, die acht Ringe erkannten und in Gruppe vier wurden alle Kinder zusammengefasst, die alle neun Ringe erkennen konnten (s. Tab. 4.18).

Tab. 4.18: Übersicht der Gruppeneinteilung nach der Anzahl der erkannten Titmus-Ringe.

Anzahl erkannter Ringe	Fünfjährige	Sechsjährige	Gesamt
< 7 Ringe erkannt (Gruppe 1)	30	8	38
Ringe 1-7 erkannt (Gruppe 2)	14	5	19
Ringe 1-8 erkannt (Gruppe 3)	15	12	27
Ringe 1-9 erkannt (Gruppe 4)	77	43	120
Gesamt	136	68	204

Wir verwendeten hier den U-Test nach Mann und Whitney, um zu Prüfen, ob signifikante Unterschiede im Visus zwischen den einzelnen Gruppen nachgewiesen werden können. Da der Titmus-Test das binokulare Sehen prüft, haben wir auch die binokulare Visuswerte verglichen.

Die Signifikanzen der Vergleiche sind in Tab. 4.19 wiedergegeben.

Es zeigte sich, dass der einzige signifikante Unterschied zwischen den fünfjährigen Kindern besteht, die weniger als sieben Ringe gesehen haben (Gruppe 1) und denen, die alle neun Ringe gesehen haben (Gruppe 4).

Für alle übrigen Vergleiche beider Altersgruppen muss die Nullhypothese „es besteht kein Unterschied im Visus zwischen den verschiedenen Gruppen“ beibehalten werden.

Tab. 4.19: Signifikanz p beim Vergleich der Visuswerte zwischen den Gruppen 1-4. Gruppen siehe Tabelle 4.18.

Verglichene Gruppen	Einzeloptotypen binokular		Reihenoptotypen binokular	
	Fünfjährige	Sechsjährige	Fünfjährige	Sechsjährige
Gruppe 1 – Gruppe 2	0,314	0,422	0,357	0,266
Gruppe 1 – Gruppe 3	0,070	0,792	0,236	0,238
Gruppe 1 – Gruppe 4	0,013	0,403	0,195	0,542
Gruppe 2 – Gruppe 3	0,400	0,506	0,621	0,959
Gruppe 2 – Gruppe 4	0,358	0,732	0,811	0,439
Gruppe 3 – Gruppe 4	0,849	0,496	0,909	0,328

4.8 Vergleich der Visuswerte unterschiedlicher Altersgruppen

4.8.1 Vergleich Fünfjährige und Sechsjährigen

Um festzustellen, ob Sechsjährige bereits einen signifikant besseren Visus erreichen, als die Fünfjährigen, haben wir die Nullhypothese „der durchschnittliche Visus in beiden Gruppen ist gleich“ mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests für die monokularen und binokularen Visuswerte überprüft.

Für die Einzeloptotypen können wir auf einem Signifikanzniveau von p=0,016 (monokularer Visus) und p=0,017 (binokularer Visus) die Nullhypothese verwerfen. Die Ergebnisse der Sechsjährigen sind signifikant höher, als die der Fünfjährigen.

Für die Reihenoptotypen ergab sich mit p=0,02 (monokularer Visus) und p=0,04 (binokularer Visus) ebenfalls ein signifikant besserer Visus der Sechsjährigen.

4.8.2 Vergleich sechsjähriger Kindergartenkinder und Kinder der 1. Schulklasse

Wir haben unsere Werte der sechsjährigen Kindergartenkinder mit den Werten der Erstklässler, die Staiger und Heins erhoben haben, verglichen.

Der Mann-Whitney-U-Test zeigte für den Vergleich unserer Werte mit denen, die Staiger bei den sechs- und siebenjährigen Erstklässlern erhoben hatte, hoch signifikante Unterschiede mit jeweils p<0,001 für die monokularen und binokularen Visuswerte bei Einzel- und Reihenoptotypen.

Auch beim Vergleich mit den Werten, die Heins in der ersten Klasse erhoben hatte, zeigten die Grundschulkinder ein signifikant besseres Ergebnis mit p<0,001 für alle vier Vergleiche.

Der Visus der von Staiger und Heins untersuchten Grundschulkinder ist demnach besser als der Visus der von uns untersuchten sechsjährigen Kindergartenkinder.

Tab. 4.20 und 4.21 zeigen eine Übersicht der Mittelwerte in den untersuchten Altersgruppen.

Tab. 4.20:Vergleich Median und geometrisches Mittel des Einzeloptotypenvisus zwischen den verschiedenen Altersgruppen

Visus	Fünfjährige		Sechsjährige		1. Klasse (Staiger)		1. Klasse (Heins)	
Einzeloptotypen	od	bin.	od	bin.	od	bin.	od	bin.
Median	1,0	1,25	1,0	1,25	1,25	1,6	1,6	1,6
Geometrisches Mittel	0,97	1,17	1,05	1,25	1,31	1,59	1,43	1,66

Tab. 4.21: Vergleich Median und geometrisches Mittel des Reihenoptotypenvisus zwischen den verschiedenen Altersgruppen

Visus	Fünfjährige		Sechsjährige		1. Klasse (Staiger)		1. Klasse (Heins)	
Reihenoptotypen	od	bin.	od	bin.	od	bin.	od	bin.
Median	0,5	0,63	0,63	0,63	0,8	1,0	1,0	1,0
Geometrisches Mittel	0,56	0,66	0,61	0,70	0,89	1,03	0,95	1,07

5 Diskussion

Repräsentativität der Studie

Bei der Erhebung altersabhängiger Sehschärfenwerte stellt sich die Frage, ob man von den gefundenen Werten auf die Allgemeinbevölkerung schließen kann, die Studie also repräsentativ ist. Anders als es in normativen Studien üblich ist, haben wir keine Auswahl bezüglich Geschlecht, Abstammung und sozialem Status vorgenommen, sondern alle Kinder untersucht bei denen eine Einwilligungserklärung vorlag. Insofern sind die Daten der Studie nicht repräsentativ für die deutsche Gesamtbevölkerung. Die von uns besuchten Kindergärten lagen in Stadtteilen und Vororten Hamburgs, die sich vom Einkommensniveau und sozialem Status zum Teil unterschieden. Sowohl Gebiete, in denen Familien mit eher niedrigem Einkommen wohnten (Barmbek, Hoheluft) waren vertreten, als auch Gebiete mit eher höherem Familieneinkommen (Sasel, Ahrensburg). Der überwiegende Teil der Kinder entstammte jedoch Gebieten in denen Familien der mittleren Einkommensklasse wohnen. Beide Geschlechter waren etwa gleich verteilt, den Ausländeranteil haben wir nicht ermittelt.

Der Vergleich der Studien von Salomao und Ventura [57] und Mayer *et al.* [47] die Kinder sehr unterschiedlicher Abstammung und sozialem Status untersucht haben, zeigt keinen nennenswerten Unterschied der Ergebnisse, so dass der Einfluss dieser Faktoren, wenn überhaupt vorhanden, nur gering sein kann. Dies wird von Käsmann-Kellner *et al.* [39] bestätigt, die Screeninguntersuchungen in Kindergärten der Stadt, in Vororten und in ländlicher Umgebung mit jeweils unterschiedlichem Ausländeranteil durchführten. Die Ergebnisse unterschieden sich weder in Hinblick auf den Wohnort noch in Hinblick auf die Nationalität.

Wir gehen insofern davon aus, dass die von uns in der Gruppe der normalsichtigen Kinder erhobenen Daten eine Einschätzung der normalen Visusentwicklung dieser Altersgruppen zulassen.

Prävalenz von häufigen Augenerkrankungen bei den untersuchten Kindern

Die Prävalenz von Strabismus, Amblyopien und Refraktionsanomalien werden zum Teil sehr unterschiedlich in der Literatur wiedergegeben. Ältere Reihenuntersuchungen fanden eine Strabismushäufigkeit bei Vorschulkindern von 3,5-4,3% und in 10,4-11,8% einen herabgesetzten Visus von weniger als 0,7-0,8 [20, 59]. Hohmann *et al.* [37] geben die Prävalenz für Strabismus mit 6-7% und für Refraktionsanomalien mit 10% an. In Schleswig-Holstein fanden de Decker und Tessmer [8] und in Hamburg Haase und Mühlig [28] eine

Strabismushäufigkeit bei Sechsjährigen von 5-6%, ebenso hoch war die Häufigkeit von Amblyopien. Käsmann-Kellner [39] fand in einer Screeninguntersuchung im Kindergarten bei 3,7% der Kinder einen Strabismus und in 25% Refraktionsanomalien. Lennerstrand [42] wertete verschiedene Studien aus und gab die dort gefundenen Prävalenzen für die Altersgruppe der Vorschüler mit 2-4,3% für Amblyopie und 1,5-6,3% für Strabismus an.

Von den 226 untersuchten Kindern dieser Studie zeigten fünf Kinder (2,2%) einen Strabismus und eines eine manifeste Amblyopie (0,4%). 4 Kinder (1,8%) zeigten einen herabgesetzten Visus von 0,5 oder weniger auf mindestens einem Auge bei der monokularen Prüfung mit Einzeloptotypen, ohne dass bei diesen Kindern jedoch in der augenärztlichen Nachuntersuchung eine Pathologie oder Refraktionsanomalie des Auges gefunden wurde. Da auch die Stereotests gute Ergebnisse zeigten (drei Kinder konnten 9 Ringe, eines 6 Ringe sehen), beurteilten wir die Wahrscheinlichkeit einer Amblyopie als Ursache der Visusminderung bei diesen Kindern jedoch als gering und stuften sie als augengesund ein. 24 (10,6%) der Kinder trugen bereits eine Brille oder zeigten korrekturbedürftige Refraktionsanomalien, bei weiteren sieben (3,1%) bestand der Verdacht auf eine relevante Ametropie.

Die von uns gefundenen Prävalenzen von Amblyopien und Strabismen liegen deutlich unter den Werten der zitierten Studien. Die Häufigkeit von Refraktionsanomalien stimmt zwar gut mit der von Hohmann angegebenen Prävalenz überein, liegt hingegen deutlich unter der der Studie von Käsmann-Kellner. Insgesamt muss also festgestellt werden, dass die von uns untersuchte Gruppe nicht repräsentativ ist in Bezug auf die Prävalenz häufiger Augenerkrankungen. Eine mögliche Ursache sehen wir darin, dass das durchgeführte Sehscreening beim Kinderarzt schon früh diese Zielerkrankungen entdeckt und somit bis zum Alter von fünf bis sechs Jahren eine eingeleitete Therapie bereits erfolgreich war. Diese These kann durch den Rückgang in der Amblyopie- und Strabismushäufigkeit in Skandinavien nach Einführung von Sehscreenings gestützt werden [42]. Analysen zur Effektivität der hierzulande durchgeführten Screening-Untersuchungen lassen jedoch daran zweifeln, da noch ein großer Verbesserungsbedarf besteht und nach wie vor viele auffällige Kinder unentdeckt bleiben [37]. Uns erscheint vielmehr der sog. „healthy volunteer effect“ als wahrscheinlich [4]. Dieser besagt, dass vermehrt gesunde Freiwillige bereit sind, bei solchen Studien mitzuarbeiten, während dies auf Personen mit einem erhöhten Erkrankungsrisiko nicht zutrifft. Letztlich ist es ebenfalls gut möglich, dass trotz unserer Bitte, alle Kinder an der Untersuchung teilnehmen zu lassen, Eltern, deren Kinder sich bereits in augenärztlicher Behandlung befanden, gerade deswegen keine Notwendigkeit gesehen haben, ihr Kind teilnehmen zu lassen.

Durchführung der Studie und Mitarbeit der Kinder

Die Mitarbeit der Kinder war bei der Sehschärfenprüfung nach den DIN-Kriterien außerordentlich gut und lag in den einzelnen Test bei 97,8-100%. Die Verwendung anderer, kindgerechterer Testverfahren, wie zum Beispiel dem H-Test, war bei den Kindern somit nicht notwendig. Wir konnten damit sicherstellen, dass die Ergebnisse sowohl untereinander vergleichbar sind, als auch mit denen anderer Studien, die sich nach den gleichen Kriterien gerichtet haben [7, 11, 13, 33, 62]. Die einzige Abweichung von den DIN-Kriterien stellten die angebotenen Richtungen des Landoltringes dar, bei denen wir auf die diagonalen Orientierungen verzichtet haben. Dies war unseres Erachtens nach wichtig, da man in diesem Alter bei den Kindern schlecht zwischen wirklichem „nicht erkennen" und „falsch benennen" differenzieren kann. Die Erkennungsrate wurde dementsprechend angepasst, so dass wir nach wie vor zuverlässige Ergebnis erzielen konnten. Da die angebotenen Orientierungen jedoch den Oblique-Effekt nicht berücksichtigen, kann es sein, dass der ermittelte Visus etwas höher liegt, als man bei der Testung mit schrägen Orientierungen des Landoltringes zu erwarten hätte [1, 31]. Dies muss man beim Vergleich der Sehschärfenwerte stets berücksichtigen.

Sehschärfe bei der Prüfung mit Einzeloptotypen

Wir konnten zeigen, dass bereits im Alter von fünf Jahren 65% der normalsichtigen Kinder monokular und 92% binokular einen Visus von mindestens 1,0 erreichen. 17,4% der Kinder erreichen binokular sogar Werte von 1,6 oder besser und liegen damit im Bereich des durchschnittlichen Visus der jungen Erwachsenen [7, 24]. Im Bereich einer Standardabweichung nach unten (Visus 0,8), welche in etwa auch der intraindividuellen Schwankungsbreite entspricht, lagen 92%, im Bereich von zwei Standardabweichungen nach unten (Visus 0,63) lagen 98% der augengesunden Fünfjährigen.

Bei den Sechsjährigen erreichten 84% monokular und 96% binokular Visuswerte von 1,0 oder besser, knapp ein Viertel (24%) hat einen binokularen Visus von mindestens 1,6. 94% lagen im Bereich einer Standardabweichung nach unten (Visus 0,8) und 99% im Bereich von zwei Standardabweichungen nach unten (Visus 0,63).

Ein direkter Vergleich unserer Mittelwerte mit denen anderer Studien ist wegen der unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen und -methoden problematisch. Dennoch findet man eine erstaunlich gute Übereinstimmung. Die bisherigen Angaben zum Visus Fünfjähriger liegen im Bereich von etwa 0,9-1,25 [5, 30, 36, 49, 63, 64] . Unser geometrisches Mittel und auch der Median liegen mit 0,97 bzw. 1,0 in diesem Bereich. Lediglich der von Stukenbrock [63] gemessene Mittelwert von 1,39 ist deutlich höher. Eine mögliche Erklärung

hierfür ist die Tatsache, dass sie die Fünf- und Sechsjährigen zu einer Gruppe von insgesamt nur 18 Kindern zusammengefasst hat. Eine andere Erklärung ist, dass sich ihre Angaben auf den arithmetischen Mittelwert beziehen, welches höhere Ergebnisse liefert, wobei man dies auch für die anderen Untersuchungen nicht ausschließen kann.
Bei den Sechsjährigen wurden bisher durchschnittliche Visuswerte von 0,96-1,2 gefunden [5, 36, 49, 63, 64]. Auch diese Werte stimmen mit unseren Ergebnissen gut überein. Das von uns gefundene geometrische Mittel betrug für die monokulare Messung 1,05, für die binokulare Messung 1,25 und auch der Median lag mit 1,0 bzw. 1,25 in diesem Bereich.
Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass der früher für Erwachsene als normal bezeichnete Visus 1,0 auch bei einer Sehtestung entsprechend der DIN-Norm von der überwiegenden Anzahl der Vorschulkinder der Altersgruppen fünf und sechs Jahre erreicht wird. Viele Kinder erzielen sogar deutlich bessere Ergebnisse. Eine Visusprüfung, welche den Visus nur bis 1,0 bestimmt, wird diesen Kindern nicht gerecht und sollte auch aus medizinischen Gründen als Fehler bewertet werden. Eine drastische Visusverschlechterung von z.B. 2,0 auf 1,0 kann hiermit nicht erkannt werden. Als Konsequenz sollten schon in diesem Alter nur Testverfahren zum Einsatz kommen, die eine Sehschärfenprüfung bis den zu sehr hohen Visuswerten von 2,0-2,5 zulassen und der Prüfer sollte die Prüfung erst beenden, wenn der bestmögliche Visus bestimmt ist. Wir konnten zudem zeigen, dass die von der DIN-Norm geforderte Testung mit Landoltringen bereits im Vorschulalter ein hierfür geeignetes Verfahren darstellt und andere Testverfahren nur im Ausnahmefall bei Nichtverstehen Anwendung finden sollten.

Erreicht ein Kind im Vorschulalter jedoch nicht einen Visus von 1,0, so muss dies nicht zwangsläufig eine Pathologie des Sehens als Ursache haben. Auch ein Teil der von uns untersuchten augengesunden Kinder zeigten Werte im Bereich von mehr als ein bis zwei Standardabweichungen nach unten obwohl wir per augenärztlicher Untersuchung eine Refraktionsanomalie oder eine Pathologie des Auges ausgeschlossen hatten. Diese Ergebnisse kann man als natürliche Schwankungsbreite auffassen, aber auch eine mangelnde Konzentrationsfähigkeit erscheint uns als weitere Ursachen möglich. Da jedoch nur ein kleiner Anteil an Kindern entsprechend niedrigere Visuswerte erreichte, halten wir es für sinnvoll, solche Befunde einer Sehschärfenuntersuchung durch eine sorgfältige fachärztliche Untersuchung kontrollieren zu lassen. So gelingt die endgültige Unterscheidung zwischen physiologischer Schwankungsbreite und einer möglichen pathologischen Ursache. Dies gilt auf jeden Fall, wenn der Mittelwert des Alters um mehr als zwei Visusstufen unterschritten wird.

Visus bei der Prüfung mit Reihenoptotypen, Einfluss der Trennschwierigkeit (crowding)

Die Ergebnisse, die wir bei der Visusprüfung mit Reihenoptotypen gefunden haben, unterschieden sich signifikant von denen mit Einzeloptotypen, sowohl für die binokulare Prüfung als auch für die monokulare. Zum besseren Vergleich stellen wir die Visusergebnisse für die beiden Tests nebeneinander in Tab. 5.1 dar.

Tab. 5.1: Gegenüberstellung der geometrischen Mittel für den Einzel- und Reihenoptotypenvisus beider Altersgruppen.

Geometrisches Mittel der Optotypen	Fünfjährige		Sechsjährige	
	monokular	binokular	monokular	binokular
Einzeloptotypen	0,97	1,17	1,05	1,25
Reihenoptotypen	0,56	0,66	0,60	0,70

Entsprechend der Untersuchung von Haase und Hohmann [27], war dies zu erwarten gewesen. Sie wiesen nach, dass Kinder bis zu einem Alter von 10 Jahren bei der Prüfung mit Reihenoptotypen Trennschwierigkeiten zeigen, die sich in einem geringeren Reihenoptotypenvisus bemerkbar machen.

Carl [5] und Hohmann *et al.* [36] haben mit Hilfe des C-Tests sowohl den Einzel- als auch den Reihenoptotypenvisus bei Vorschulkindern untersucht. Carl fand für die Reihenoptotypen bei den Fünfjährigen einen Mittelwert der monokularen Sehschärfe von 0,49, Hohmann *et al.* einen Mittelwert von 0,6. Unser Ergebnis von 0,56 stimmt damit gut überein. Auch für die Sechsjährigen fanden wir ähnliche Ergebnisse. Unser Mittelwert dieser Altersgruppe liegt mit 0,6 zwischen den von Carl und Hohmann gefundenen Mittelwerten von 0,49 und 0,7. Die von Staiger [62] und Heins [33] untersuchten sechsjährigen Schulkinder zeigten mit 0,89 und 0,95 monokular bzw. 1,03 und 1,07 hingegen deutlich höhere Visuswerte bei der Prüfung des Reihenoptotypenvisus.

Die von uns gefundene mittlere Differenz zwischen dem Einzeloptotypen- und Reihenoptotypenvisus beträgt 2,4 Visusstufen für die monokulare und 2,5 Visusstufen für die binokulare Prüfung. Eine maximale Differenz von fünf Visusstufen fanden wir bei zwei Fünfjährigen bei der binokularen Visusprüfung. Das Ausmaß der Differenz war für beide Altersgruppen gleich, unterschied sich jedoch gering in Bezug auf die monokulare und binokulare Prüfung, wobei die Differenz bei der binokularen Prüfung größer war.

Hohmann und Haase [35] fanden bei visuell ungestörten sieben- bis zehnjährigen Kindern Differenzen bis zu drei Visusstufen bei der Prüfung des Fernvisus und in Einzelfällen von bis zu sechs Visusstufen bei der Prüfung des Nahvisus. Staiger [62] und Heins [33] fanden beide in guter Übereinstimmung bei den sechs- bis siebenjährigen Schulkindern Visusunterschiede zwischen den Einzel- und den Reihenoptotypen von durchschnittlich 1,7 Visusstufen bei monokularer Prüfung und 1,9 Visusstufen bei binokularer Prüfung. Ihre

Werte liegen somit unter den von uns gefundenen Differenzen. Betrachtet man nur die Unterschiede in der Fernvisusprüfung, zeigen die von uns getesteten Kinder größere Unterschiede zwischen Einzel- und Reihenoptotypenvisus bei insgesamt schlechteren Visuswerten in der Prüfung des Reihenoptotypenvisus. Dies mag methodische Ursachen haben. Die Erhebung des Reihenoptotypenvisus fand bei unserer Untersuchung als letztes statt. Es ist möglich, dass die Kinder zu diesem Zeitpunkt bereits für uns nicht offensichtliche Ermüdungserscheinungen zeigten und sich nicht mehr auf die Aufgabe konzentrierten. Obwohl wir versucht haben, dem dadurch vorzubeugen, dass wir die Visusprüfungen nicht alle am Stück durchgeführt haben, die Kinder Pausen machen durften und die Gesamtdauer der Untersuchung mit durchschnittlich etwa 15-20 Minuten relativ kurz war, lässt sich dies nicht vollständig ausschließen. Man sollte jedoch auch berücksichtigen, dass die Kinder jünger waren als die von Hohmann und Haase, Staiger und Heins getesteten und noch nicht die Schule besuchten. Die Untersuchung von Hohmann und Haase zeigte eine Abnahme der Trennschwierigkeit mit zunehmendem Alter, was eine mögliche Erklärung für die größere Differenz zwischen den Optotypenarten im Vorschulalter sein kann. Außerdem halten wir einen Übungseffekt beim Erkennen von eng beieinander stehenden Zeichen durch Leseübungen in der Schule, welcher bei Kindergartenkindern noch nicht zu erwarten ist, für wahrscheinlich. Dies könnte ebenfalls die Ursache für den besseren Reihenoptotypenvisus bei den Schulkindern sein.
Da die von uns gefundenen Differenzen bei beiden Altersgruppen gleich sind, bleibt es trotzdem wahrscheinlich, dass auch die Reihenfolge der Prüfung zur größeren Differenz als bei den anderen Untersuchungen beigetragen hat.

Vergleich des monokularen und binokularen Visus

Verschiedene Untersuchungen haben bisher zeigen können, dass bei den meisten Menschen der binokulare Visus besser ist als der monokulare [7, 11, 13, 33, 62]. Dies konnten wir ebenfalls bestätigen. Keines der Kinder zeigte eine bessere monokulare Sehschärfe. Die durchschnittliche Differenz zwischen monokularem und binokularem Visus betrug bei den Fünfjährigen 1,2 Visusstufen für die Einzeloptotypen und 0,7 Visusstufen für die Reihenoptotypen. Bei den Sechsjährigen betrug sie 0,8 für die Einzeloptotypen und 0,6 für die Reihenoptotypen.
In der Literatur wird der Unterschied meist in Prozent angegeben, so dass wir es aus Gründen der Vergleichbarkeit den Unterschied auch in Prozent, bezogen auf das geometrische Mittel, berechnet haben. Diese Angaben beziehen sich in diesem Rahmen ausschließlich auf den Vergleich der beiden Visuswerte, ausgehend vom niedrigeren Wert.

Durchschnittlich liegt der binokulare Visus bei den vergleichbaren Untersuchungen zwischen 11,7% und 21,4% über dem monokularen Visus, wobei die deutlicheren Differenzen bei jüngeren Kindern gefunden wurden. Die von Staiger [62] untersuchten Erstklässler zeigten hierbei den größten Unterschied von 21,4%.

Der von uns gefundene Visusunterschied betrug bei den Fünfjährigen 20,6% für die Einzeloptotypen und 17,9% für die Reihenoptotypen. Bei den Sechsjährigen war der binokulare Visus dem monokularen durchschnittlich 19,0% bei den Einzeloptotypen und 16,7% bei der Prüfung mit Reihenoptotypen überlegen. Diese Ergebnisse stimmten besonders gut mit denen von Staiger überein, was vermutlich durch die ähnlichen Altersgruppe bedingt ist.

Neben der sensorischen Summation sind sowohl Schwankungen in der Konzentration als auch mögliche Ablenkung durch das Tragen der Augenklappe die wahrscheinlichsten Ursachen für die deutlichen Unterschiede zwischen dem binokularen und dem monokularen Visus. Mit zunehmendem Alter können sich die Kinder besser auf die Landoltringe konzentrieren, werden weniger von äußeren Umständen abgelenkt und haben außerdem eine bessere Ausdauer und größeren Ehrgeiz bei der Ihnen gestellten Aufgabe.

Vergleich der Visuswerte unterschiedlicher Altersgruppen

Beim Vergleich der Sehschärfenwerte zwischen den Altersgruppen zeigte sich ein signifikanter Unterschied sowohl zwischen den Fünf- und Sechsjährigen unserer Gruppe, als auch zwischen den sechsjährigen Kindergartenkindern und den sechs- bis siebenjährigen Erstklässlern.

Wie erwartet, ist demnach die Visusentwicklung bei den fünf und sechsjährigen Kindern noch nicht abgeschlossen und dauert auch im Vorschulalter an. Ein weiterhin signifikanter Anstieg des Visus wurde bereits für die älteren Kinder nachgewiesen, so dass diese Tatsache bestätigt wurde [33, 62].

Bewertung der Ergebnisse der Stereotests

Stereotests werden in Reihenuntersuchungen als Screening-Tests verwendet. Franceschetti *et al.* [21] empfehlen, den Lang-Test einzusetzen, da er einfach in der Anwendung ist. Sie zeigten, dass er alleine zwar eine recht geringe Sensitivität von nur 58% besitzt, jedoch zu wenigen falsch-positiven Ergebnissen führt. In Kombination mit der Visusprüfung, wie es auch schon von Lang [41] empfohlen worden war, könne er jedoch helfen, die Sensitivität zu verbessern und das Ausmaß falsch-positiver Befunde zu verringern. Besonders bei der Entdeckung von Mikrostrabismen sei der Lang-Test hilfreich, was wir ebenfalls bestätigen

konnten. Wir fanden in fünf Fällen ein positives Ergebnis (Fehlen oder Nichterkennen der Testfiguren) bei der Prüfung mit dem Lang-Stereotest II. Vier der Kinder gehörten zur Ausschlussgruppe. Bei zwei dieser Kinder fanden wir einen Mikrostrabismus, der bei einem Kind in Kombination mit einer Amblyopie des linken Auges vorlag, bei einem weitern Kind fanden wir eine Esotropie. Zwei Kinder zeigten trotz eines positiven Ergebnisses im Lang-Test keinen Strabismus, eines jedoch eine Esophorie. Das fünfte dieser Kinder zeigte insgesamt eine schlechte Compliance und es war nicht klar, ob es die Aufgabe korrekt verstanden hatte. Vier der fünf Kinder konnten die von uns geforderten Mindestwerte des Visus nicht erreichen und keines der Kinder konnte im Titmus-Ringe-Test mehr als drei Ringe erkennen.

Beim Titmus-Test hatten die Ringe die größte Aussagekraft. Die Titmus-Fliege wurde nur von zwei Kindern nicht erkannt, beide gehörten jedoch zur Ausschlussgruppe, so dass diese Ergebnisse als richtig-positiv gewertet wurden. Bei den Titmus-Tieren zeigten fünf Kinder auffällige Ergebnisse. Zwei Kinder konnten keine der drei Reihen erkennen, sie gehörten der Ausschlussgruppe an und zeigten ebenfalls ein positives Ergebnis im Lang-Test. Drei Kinder konnten die Tiere nur bis zur zweiten Reihe erkennen, keines der Kinder wurde jedoch letztlich der Ausschlussgruppe zugeordnet, während zwei Kinder mit positivem Ergebnis im Lang-Test, die der Ausschlussgruppe zugeordnet wurden, in diesem Test alle drei Tierreihen sehen konnten. Demnach scheint der Lang-Test auffällige Kinder zuverlässiger zu entdecken, als der Titmus-Tiere-Test.

Der Titmus-Ringe-Test ermöglichte uns eine genauere Beurteilung der Disparationsgrenze bei den Kindern. Vaupel und Hohmann [66] zeigten, dass ab einem Alter von sechs Jahren die meisten Kinder in der Lage sind, alle neun Ringe im Titmus-Test zu erkennen. Jüngere Kinder zeigen hierbei eine größere Streuung, was er zum Teil auf die noch nicht abgeschlossene Entwicklung der binokularen Funktion zurückführt, zum Teil aber auch auf mangelnde Aufmerksamkeit und Motivation. Die von ihnen untersuchten normalsichtigen vier- bis sechsjährigen Kinder erkannten zwischen vier und neun Ringen, wobei die älteren Kinder häufig bessere Ergebnisse zeigten.

Der überwiegende Anteil der von uns untersuchten Kinder konnten mindestens sechs Ringe sehen. Zwei Kinder konnten jedoch nur die ersten beiden Ringe erkennen, weitere vier erreichten beim vierten Ring ihr Limit und sieben Kinder beim fünften Ring. So wie bei Vaupel erreichten die älteren Kinder bessere Ergebnisse. Insgesamt 61,4 % der Sechsjährigen konnten alle neun Ringe korrekt erkennen, was bei den Fünfjährigen nur in 55,8% der Fall war. Ähnlich verhält es sich für die Ringe sieben und acht, wo jeweils die Erkennungshäufigkeit bei den Sechsjährigen 9-12% höher lag. Interessanterweise konnten in

beiden Gruppen etwa gleich viele Kinder (92%) den sechsten Ring erkennen. Keiner der getesteten Sechsjährigen konnte jedoch weniger als vier Ringe erkennen.
Die Entwicklung der statischen Stereopsis scheint demnach im Vorschulalter noch nicht abgeschlossen zu sein, was mit den Ergebnissen von Vaupel und Hohmann [66] gut übereinstimmt. Insbesondere die Tatsache, dass die jüngeren Kinder eher Schwierigkeiten beim Erkennen der Ringe hatten, unterstützt diese Vermutung. Eine geringere Motivation oder Aufmerksamkeit bei den Fünfjährigen können wir nicht ausschließen, halten sie jedoch aufgrund der Freude mit der die Kinder die Aufgaben angenommen haben, für unwahrscheinlich.

Zusammenhang Disparationsgrenze und Visus

Der Vergleich der Visuswerte zwischen den Kindern, die eine hohe Disparationsgrenze von 60 oder weniger Sekunden erreichen (7-9 Ringe) und denen, die geringere Werte erzielen, ergab für die meisten Gruppen keinen signifikanten Unterschied. Lediglich beim Vergleich des Einzeloptotypenvisus zwischen den Fünfjährigen, die weniger als sieben Ringe sehen konnten und denen, die alle neun Ringe sehen konnten, haben wir ein signifikantes Ergebnis erhalten. Da wir beim Vergleich des Reihenoptotypenvisus zwischen denselben Gruppen jedoch kein signifikantes Ergebnis finden konnten, bleibt die Bedeutung dieses Ergebnisses unklar, wahrscheinlich zufällig.
Insgesamt konnten wir keinen Zusammenhang zwischen geringem Visus und niedriger Disparationsgrenze nachweisen. Letztlich war dies jedoch auch nicht das Hauptziel unserer Untersuchung mit den Stereotests, sie sollten vor allem eine weitere Möglichkeit bieten, auffällige Kinder zu identifizieren.

Fazit

Wir haben festgestellt, dass sich eine Sehschärfenprüfung gemäß der DIN EN ISO 8596 im Vorschulalter gut durchführen lässt und andere nicht normierte Verfahren wie die Testung mit Kinderbildern somit obsolet sein sollten. Zudem zeigt sich, dass Kinder häufig bereits Ergebnisse erreichen, die bisher als „normale“ Erwachsenensehschärfe bewertet wurden. Ein Visus von 1,0 wird von der Mehrzahl der Fünf- und Sechsjährigen erreicht, häufig sogar noch höhere Werte. Man sollte die Sehtestung dementsprechend bis zum maximal erreichbaren Visus durchführen, um mögliche Pathologien des Auges aufzudecken, die mit einer möglicherweise nur geringeren Visusminderung einhergehen. Zudem hat es sich bewährt, zusätzliche Testungen der Stereopsis durchzuführen. Diese sind schnell und einfach durchführbar, werden von den Kindern gut angenommen und helfen, insbesondere Kinder mit möglichen Schielfehlern zu erkennen.

6 Zusammenfassung

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine prospektive Studie, die die Erhebung der altersabhängigen Visuswerte und der statischen Stereopsis bei normalsichtigen Kindern im Alter von fünf und sechs Jahren zum Ziel hat. Untersucht wurden insgesamt 226 Kinder der entsprechenden Altersgruppen in 10 Kindergärten in und um Hamburg. Die Untersuchung wurde nach den in der DIN EN ISO 8596 festgelegten Kriterien durchgeführt und die Kinder wurden anhand vorher festgelegter Ausschlusskriterien zwei Gruppen zugeordnet. Kinder, die weder Erkrankungen noch Auffälligkeiten der Augen oder des Nervensystems aufwiesen und deren Refraktion 5 D sph. oder 2 D. cyl. nicht überschritt, wurden der Gruppe der normalsichtigen Kinder zugeordnet, die übrigen Kinder der Ausschlussgruppe. Die Ergebnisse beider Gruppen wurden getrennt voneinander ausgewertet und in Abhängigkeit vom Alter dargestellt. Wir untersuchten den monokularen und binokularen Visus sowohl mit Einzel- als auch mit Reihenoptotypen. Für die Gruppe der normalsichtigen Kinder berechneten wir das geometrische Mittel, den Median, die Standardabweichung in Visusstufen, das Konfidenzintervall des Mittelwerts und die Perzentilen.

Bei den normalsichtigen Fünfjährigen fanden wir ein geometrisches Mittel der Einzeloptotypen von 0,97 monokular und 1,17 binokular. Für die Reihenoptotypen lag das geometrische Mittel bei 0,56 monokular bzw. 0,66 binokular. Bei den normalsichtigen Sechsjährigen fanden wir ein geometrisches Mittel der Einzeloptotypen von 1,05 monokular und 1,25 binokular, bei den Reihenoptotypen von 0,6 monokular und 0,7 binokular.

Wir fanden keinen signifikanten Unterschied zwischen den Visuswerten der beiden Einzelaugen, jedoch war bei beiden Optotypenarten der binokulare Visus dem monokularen signifikant überlegen. Wir konnten zeigen, dass bei den Kindern der Visus bei der Prüfung mit Einzeloptotypen signifikant besser ist, als bei der Prüfung mit Reihenoptotypen, was wir als Nachweis einer vorhandenen Konturinteraktion im Vorschulalter werteten.

Der Visus der Fünfjährigen unterschied sich signifikant von dem der sechsjährigen Kindergartenkinder, welcher sich wiederum signifikant von dem der sechs- bis siebenjährigen Erstklässler unterschied, die Staiger [62] und Heins [33] untersucht hatten.

Die Prüfung der statischen Stereopsis wurde mit dem Lang-Stereotest II und dem Titmus-Test durchgeführt. Die Kinder mit auffälligem Befund im Lang-Test zeigten auch auffällige Befunde im Titmus-Test und erreichten zumeist niedrigere Visuswerte als der Durchschnitt der Kinder.

Literaturverzeichnis

1. Apelle S (1972) Perception and discrimination as a function of stimulus orientation. Psycholog. Bull. 78: 266-278

2. Barbazetto IA (1999) Der H-Test in der poliklinischen Anwendung. Ein Vergleich H-Test / C-Test. Med. Diss. Universität Hamburg

3. Benda H von (1971) Verfahren zur Sehschärfenbestimmung. Bücherei des Augenarztes. Beihefte der Klin. Mbl. Augenheilkd. 58

4. Bode CP et al. (1994) Welchen Beitrag zur Auffindung von Sehstörungen leistet die Früherkennungsuntersuchung U7. Monatsschr. Kinderheilkd. 142: 901-904

5. Carl H (1994) Vergleichende ophthalmologische Untersuchungen von Vorschulkindern in Hinblick auf Reihenuntersuchungen mit dem C-Test (nach Hohmann und Haase). Med. Diss. Universität Hamburg

6. Cavazos H et al. (1990) Vergleich des Kindersehschärfentests nach Lithander (Kolt-Test) mit dem standardisierten Landoltring. Klin. Mbl. Augenheilk. 197: 324-328

7. Chang KM (1999) Bestimmung des physiologischen Fernvisus augengesunder Jugendlicher im Alter zwischen 15 und 19 Jahren nach EN ISO 8596. Med. Diss. Universität Hamburg

8. DeDecker W, Tessmer J (1973) Zur Schielhäufigkeit und Behandlungseffizienz in Schleswig-Holstein. Klin. Mbl. Augenheilk. 162:34

9. DIN EN ISO 8596 (1996) Sehschärfenprüfung. Das Normsehzeichen und seine Darbietung. Berlin, Köln: Beuth Verlag 1996

10. DOG (2000) Empfehlungen der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft zur Qualitätssicherung bei sinnesphysiologischen Untersuchungen und Geräten. Ophthalmologe 97: 923-964

11. Donner A (2005) Bestimmung des physiologischen Fernvisus augengesunder Jugendlicher im Alter zwischen 12 und 17 Jahren unter Einhaltung der EN ISO 8596. Med. Diss. Universität Hamburg

12. Effert R et al. (1991) Visusprüfung bei Kindern. Klin. Mbl. Augenheilkd. 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. Elliott DB et al. (1995) Visual acuity changes throughout adulthood in normal, healthy eyes: Seeing beyond 6/6. Optom. Vis. Sci. 72 (3): 186-191

15. Fantz RL (1958) Pattern visison in young infants. Psychol. Rec. 8: 43-47

16. Fern KD et al. (1986) Contour interaction in the preschool child. Am. J. Optom. Physiol.l Opt. 63 (5): 313-318

17. Fern KD, Manny RE. (1986) Visual acuity of the preschool child: a review. Am. J. Optom. Physiol. Opt. 63 (5): 319-345

18. Fielder AR, Moseley MJ (1988) Do we need to measure the vision of children? J. R. Soc. Med. 81: 380-383

19. Flohm MC et al. (1963) Visual resolution ond contour interaction. J. Optical Soc. Amer. 53: 1026

20. Franceschetti A et al. (1966) Erfassung von Augenstörungen durch Reihenuntersuchungen im Vorschulalter. Mbl. Augenheilkd. 149: 657-662

21. Franceschetti A et al. (1994) Der Lang-Stereotest in Reihenuntersuchungen in Kindergärten. Klin. Mbl. Augenheilkd. 204: 363-365

22. Freigang M (1976) Frühdiagnose und Frühbehandlung von Sehstörungen im Kindesalter. Ther. d. Gegenw. 115: 225-240

23. Friedburg D, Klöppel KP (1996) Frühzeitige Korrektion von Hyperopie und Astigmatismus bei Kindern führt zu besserer Entwicklung der Sehschärfe. Klin. Mbl. Augenheilkd. 209: 21-24

24. Frisén L, Frisén M (1981) How good is normal visual acuity? Albrecht von Graefes Arch Klin Ophthalmol 1981; 215:149-157

25. Frisén L (1990) Clinical tests of vision. Raven Press, New York

26. Grimm W et al. (1994) Correlation of optotypes with the Landolt ring – a fresh look at the comparability of optotypes. Optom. Vis. Sci. 71 (1): 6-13

27. Haase W, Hohmann A (1982) Ein neuer Test (C-Test) zur quantitativen Prüfung der Trennschwierigkeiten („crowding“) - Ergebnisse bei Amblyopie und Ametropie. Klin. Mbl. Augenheilkd. 180: 210-215

28. Haase W, Mühlig HP (1979) Schielhäufigkeit bei Hamburger Schulanfängern. Klin. Mbl. Augenheilk. 174: 232

29. Haase W, Rassow B (2003) Sehschärfe. In: Kaufmann H, Hrsg. Strabismus, 3. überarb. Auflage. Stuttgart: Enke 2003: 75-96

30. Haase W, Rassow B (1995) Sehschärfe. In: Straub W, Kroll P, Küchle HJ Hrsg. Augenärztliche Untersuchungsmethoden. Stuttgart: Enke 1995: 342-373

31. Hartmann E (1987) Sehschärfebestimmung. Klin. Mbl. Augenheilkd. 191: 62-68

32. 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 Auflichttafeln (konventionelle Methode). Med. Diss. Universität Hamburg

33. Heins J Dissertation an der Universität Hamburg in Vorbereitung, bislang unveröffentliche Daten

34. Hof-van Duin, J van (1989) Development and study of visual acuity. Dev. Med. Child. Neurol. 31 (4): 547-552

35. Hohmann A, Haase W (1982) Development of visual line acuity in humans. Ophthalmic Res 1982; 14: 107-112

36. Hohmann A et al. (1990) Die Validierung eines neuen Sehschärfentests (H-Test) für Vorschulkinder. Spektr. Augenheilk. 4:240-244

37. Hohmann A et al. (1997) Qualität des Sehscreenings im Kindesalter. Klin. Mbl. Augenheilkd. 211: 41-47

38. Holladay JT, Prager TC (1991) Mean visual acuity. Am. J. Ophthalmol. 111(3): 372-374

39. Käsmann-Kellner B et al. (1998) Screening-Untersuchung auf Amblyopie, Strabismus und Refraktionsanomalie bei 1030 Kindergartenkindern. Klin. Mbl. Augenheilkd. 213: 166-173

40. König HH et al. (2000) Kosteneffektivität der orthoptischen Reihenuntersuchung im Kindergarten zur Früherkennung visueller Entwicklungsstörungen. Gesundheitswesen 62: 196-206

41. Lang J (1983) Ein neuer Stereotest. Klin. Mbl. Augenheilkd. 182: 373-375

42. Lennerstrand G et al. (1995) Screening for ocular dysfunction in children: Approaching a common program. Acta Ophtal. Scand.-Suppl. 214: 26-38

43. Leonhart R (2003) Lehrbuch Statistik. Bern: Huber 2003

44. Lithander J (1984) Kolt-Test. Prüfung der Sehschärfe bei 2jährigen. Z. prakt. Augenheilk. 4: 258

45. Lithander J (1997) Visual development in healthy eyes from 24 months to four years of age. Acta Ophthal. Scand. 75 (3): 275-276

46. Mayer DL et al. (1984) Grating and recognition acuity of pediatric patients. Ophthalmology 91: 947-953

47. Mayer DL et al. (1995) Monocular acuity norms for the Teller acuity cards between ages of one month and four years. Invest Ophthalmol Visual Sci. 36(3): 671-85

48. Mildenberger I et al. (2004) Sehschärfenprüfung bei Kindern im Vorschulalter: ein Vergleich zwischen Sheridan-Gardiner-Test und Räder-Test. Klin. Mbl. Augenheilkd. 221: 577-582

49. Neu B, Sireteanu R (1997) Monocular acuity in preschoool children: Assessment with the Teller and Keeler acuity cards in comparison to the C-test. Strabismus 5 (4): 185-201

50. Oppel O (1964) Über die Entwicklung der Sehschärfe bei Kindern im Vorschulalter. Klin. Mbl. Augenheilkd. 145: 358-371

51. Paliaga GP (1993) Die Bestimmung der Sehschärfe. München: Quintessenz 1993

52. Petersen J (1990) Zur Fehlerbreite der subjektiven Visusmessung. Fortschr. Ophthalmol. 87: 604-608

53. Petersen J (1993) Die Zuverlässigkeit der Sehschärfenbestimmung mit Landoltringen. Stuttgart: Enke 1993

54. Precht M (1987) Bio-Statistik. München: Oldenbourg 1987

55. Rüßmann W (1995) Untersuchung der Sensorik. In: Kaufmann H, Hrsg. Strabismus. Stuttgart: Enke 1995: 466-499

56. Rydberg A et al. (1999) Assessment of visual acuity in children aged 1 ½ – 6 years, with normal and subnormal vision. Strabismus 7 (1): 1-24

57. Salomão SR, Ventura DF (1995) Large sample population age norms for visual acuities obtained with Vistech-Teller acuity cards. Invest Ophthalmol Visual Sci. 36 (3): 657-670

58. Schober H, Munker H (1965) Die Bestimmung der Sehschärfe und ihre Reproduzierbarkeit. Kl. Mbl. Augenheilkd. 146: 210-216

59. Schütte E et al. (1976) Augenärztliche Reihenuntersuchungen im Kindergarten. Klin. Mbl. Augenheilkd. 168: 584-590

60. Sheridan MD (1974) What ist normal distance vision at five to seven years? Dev. Med. Child. Neurol. 16: 189-195

61. Simmers AJ et al. (1997) Screening for amblyopia: a comparison of paediatric letter tests. Brit. J. Opthal. 81: 465-469

62. 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 Sehtestes. Med. Diss. Universität Hamburg

63. Stukenbrock U (1988) Bestimmung des Fernvisus mit Streifenmustern unterschiedlicher Feldgröße bei 4- bis 12-jährigen Kindern. Med. Diss. Universität Hamburg

64. Steinhorst U et al. (1990) Prüfung eines Sehschärfe-Äquivalents in nonverbalen Kindesalter. ZPA 11: 87-90

65. Teller D et al. (1986) Assessment of visual acuity in infants and children: the acuity card procedure. Dev. Med. Child. Neurol. 28: 779-789

66. Vaupel R, Hohmann A (1982) Stereosehschärfe bei 4-11jährigen normalsichtigen Kindern (Titmus- und Randot-Stereotest). Klin. Mbl. Augenheilkd. 180: 178-179

67. Velasco e Cruz AA (1990) Historical roots of 20/20 as a (wrong) standard value of normal visual acuity. Optom. Vis. Sci. 67 (8): 661

68. Westheimer G (1981) Visual acuity. In: Moses RA, Hart WM Hrsg. Adler's physiology of the eye. Moseby, St. Louis: 530-544

69. Williamson TH et al. (1995) Assessment of an inner city visual screening programme for preschool children. Brit. J. Ophthal. 79: 1068-1073

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1: Der Landoltring als Standardsehzeichen aus [29] 11

Abb. 3.2: Graph der psychometrischen Funktion nach Haase und Rassow aus [29]..... 15

Abb. 3.3: Beispiele der Mittelwertbildung der Sehschärfenwerte zweier Patienten nach Haase und Rassow aus [29]..... 26

Abb. 4.1: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen..... 35

Abb. 4.2: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen..... 35

Abb. 4.3: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen..... 36

Abb. 4.4: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen..... 36

Abb. 4.5: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen..... 37

Abb. 4.6: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Fünfjährigen..... 37

Abb. 4.7: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen..... 38

Abb. 4.8: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen..... 38

Abb. 4.9: Verteilung der Visuswerte - Einzeloptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen..... 39

Abb. 4.10: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen rechtes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen..... 39

Abb. 4.11: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen linkes Auge in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen..... 40

Abb. 4.12: Verteilung der Visuswerte - Reihenoptotypen binokular in der Gruppe der normalsichtigen Sechsjährigen..... 40

Abb. 4.13: Titmus-Test Ringe, Ergebnisse der normalsichtigen Fünfjährigen..... 42

Abb. 4.14: Titmus-Ringe-Test, Ergebnisse der normalsichtigen Sechsjährigen..... 42

Abb. 4.15: Titmus-Ringe-Test, Ergebnisse der normalsichtigen Sechsjährigen..... 44

Abb. 4.15: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem des linken Auges (os) bei der Bestimmung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Fünfjährige n=135. 45

Abb. 4.16: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem des linken Auges (os) bei der Bestimmung mit Reihenoptotypen. Augengesunde Fünfjährige n=135. 45

Abb. 4.17: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem des linken Auges (os) bei der Bestimmung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Sechsjährige n=70..... 45

Abb. 4.18: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem des linken Auges (os) bei der Bestimmung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Sechsjährige n=70..... 45

Abb. 4.19: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem binokularen Visus (bin) bei der Prüfung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Fünfjährige n=135. 46

Abb. 4.20: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem binokularen Visus (bin) bei der Prüfung mit Reihenoptotypen. Augengesunde Fünfjährige n=134. 46

Abb. 4.21: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem binokularen Visus (bin) bei der Prüfung mit Einzeloptotypen. Augengesunde Sechsjährige n=70..... 46

Abb. 4.22: Differenzen in Visusstufen zwischen dem monokularen Visus des rechten Auges (od) und dem binokularen Visus (bin) bei der Prüfung mit Reihenoptotypen. Augengesunde Sechsjährige n=70..... 46

Abb. 4.23: Differenzen in Visusstufen zwischen dem Einzeloptotypenvisus des rechten Auges und dem Reihenoptotypenvisus des rechten Auges. Augengesunde Fünfjährige n=135..... 47

Abb. 4.24: Differenzen in Visusstufen zwischen dem binokularen Einzeloptotypenvisus und dem binokularen Reihenoptotypenvisus. Augengesunde Fünfjährige n=134..... 47

Abb. 4.25: Differenzen in Visusstufen zwischen dem Einzeloptotypenvisus des rechten Auges und dem Reihenoptotypenvisus des rechten Auges. Augengesunde Sechsjährige n=70..... 47

Abb. 4.26: Differenzen in Visusstufen zwischen dem binokularen Einzeloptotypevisus und dem binokularen Reihenoptotypenvisus. Augengesunde Sechsjährige n=70..... 47

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Haase danke ich für die freundliche Überlassung des Themas sowie die kompetente und stets engagierte Betreuung während der gesamten Untersuchungs- und Verfassungsphase meiner Dissertation.
Den Leitungen der kooperierenden Kindergärten danke ich sehr herzlich für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung der Untersuchungen.
Herrn M. Supplieth und Herrn Dr. M. Bubenheim vom Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie danke ich für Ihre Unterstützung bei der Planung meiner Statistik und der Einweisung in die statistische Software.
Frau Christine Mirzakhanian und Frau Janett Heins möchte ich danken für die gemeinsamen Stunden, die wir über Statistiken, Tabellen und Literatur verbracht haben. Gemeinsam fiel das Verstehen manches Mal leichter.
Herrn Tobias Kummer danke ich für das konstruktiv-kritische Durchlesen und Diskutieren der ersten Entwürfe meiner Dissertation sowie die stets wertvollen Hinweise zu Datenverarbeitung, Layout und Statistik.
Meinen Eltern Berit und Volker Anderssohn möchte ich danken, dass sie mir es ohne zu zögern ermöglicht haben, mein Medizinstudium so sorgenfrei durchzuführen. Außerdem möchte ich meiner gesamten Familie, insbesondere auch meiner Schwester Birthe und meinem guten Freund Markus Doose danken, dass sie immer ein Ohr für mich hatten und für mich da waren mit Verständnis und moralischer Unterstützung.

Lebenslauf

Persönliche Daten

- Maike Barbara Helene Anderssohn, geboren am 4. Januar 1977 in Hamburg
- Eltern: Berit Anderssohn, Physiotherapeutin und Volker Anderssohn, Industriekaufmann
- Schwester: Birthe Anderssohn, Zahnärztin

Ausbildungsdaten

- September 1983 – Juli 1987 Grundschule Niendorfer Straße, Norderstedt
- August 1987 – Mai 1997 Coppernicus-Gymnasium, Norderstedt, Abschluss Abitur
- August 1993 – Juni 1994 Besuch einer High-School im US-Bundesstaat Ohio
- Oktober 1997 – September 2000 Ausbildung zur Physiotherapeutin, Berufsfachschule für Physiotherapie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Abschluss Staatsexamen
- Seit April 2001 Medizinstudium an der Universität Hamburg, Physikum März 2003, Praktisches Jahr von Februar 2006 bis Januar 2007

Bisherige Tätigkeiten

- Oktober 2000 Tätigkeit als Physiotherapeutin im Allgemeinen Krankenhaus Altona
- November 2000 – März 2001 Tätigkeit als Physiotherapeutin in der Praxis für Physiotherapie M. Mangeleer-Eisfeld, Norderstedt
- Februar 2002 – Oktober 2002 Mehrmalige Aushilfstätigkeit als Physiotherapeutin in zwei Praxen für Physiotherapie
- Oktober 2002 bis Februar 2003 Tätigkeit als studentische Hilfskraft im Anatomischen Institut des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf
- Februar 2004 – Januar 2006 Tätigkeit als studentische Mitarbeiterin des Dekanats des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf im Themenblock 1 des Klinischen Curriculums nach neuer Approbationsordnung.

Seit Januar 2007 Vorbereitung auf das Staatsexamen sowie Abschluss der vorliegenden Dissertation.

Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig 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 Ausgabe (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.

Maike Anderssohn