

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde

Prof. Dr. med. Gisbert Richard

Bestimmung der physiologisch möglichen Sehschärfe von augengesunden Kindern im Alter von sechs bis sieben Jahren in sozialschwachen Wohngebieten

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
Der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Miriam Vogt
aus Hamburg

Hamburg, 2010

Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 17.08.2010

Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, die/der Vorsitzende/r: Prof. Dr. W. Haase

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: PD Dr. A. Hassenstein

Prüfungsausschuss, dritte/r Gutachter/in: Prof. Dr. O. von dem Knesebeck

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
1 Fragestellung und Arbeitshypothese.....	6
2 Einleitung.....	7
2.1 Der Begriff der Sehschärfe.....	8
2.1.1 Minimum visibile.....	8
2.1.2 Minimum discriminabile.....	8
2.1.3 Minimum separabile (Trennsehschärfe).....	9
2.1.4 Minimum legibile.....	10
2.2 Entwicklung der Sehschärfe.....	11
3 Probanden und Methoden.....	16
3.1 Probanden.....	16
3.1.1 Probandenkollektiv der ersten Klassen.....	17
3.1.2 Auswahl- bzw. Ausschlusskriterien.....	18
3.2 Durchführung der Untersuchungen.....	21
3.2.1 Versuchsdurchführung.....	21
3.2.2 Versuchsaufbau und Untersuchungsraum.....	22
3.2.3 Mitarbeit der Kinder.....	22
3.3 Methoden.....	23
3.3.1 Prüfung der Sehschärfe.....	23
3.3.2 Untersuchung der Sehschärfe bei Kindern.....	24
3.3.3 C-Test.....	25
3.3.4 Prüfungsbedingungen der Sehschärfeuntersuchung.....	27
3.3.5 Prüfung der Binokularfunktion.....	35
3.3.6 Prüfung von Fehlstellungen der Augen.....	40
3.4 Statistische Auswertung.....	42
3.4.1 Berechnung des Mittelwerts.....	42
3.4.2 Wilcoxon-Test.....	42
3.4.3 Mann-Whitney-U-Test.....	43
3.4.4 Random-Effects-Metaanalyse.....	43
4 Ergebnisse.....	44
4.1 Visuswerte der augengesunden Kinder.....	44
4.2 Ergebnisse des Stereosehens der augengesunden Kinder.....	50

4.2.1	Titmus-Stereotest	50
4.2.2	Lang-Stereotest.....	51
4.2.3	Bagolini-Streifenglastest.....	51
4.3	Untersuchung der Augenstellung der augengesunden Kinder	52
4.4	Ergebnisse der Gruppe 2	53
4.4.1	Visuswerte.....	53
4.4.2	Titmus-Stereotest	53
4.4.3	Lang-Stereotest.....	55
4.4.4	Bagolini-Streifenglastest.....	55
4.4.5	Augenmotorik	55
4.5	Vergleiche innerhalb der Gruppe 1.....	57
4.5.1	Vergleich der Sehschärfe des rechten und des linken Auges	57
4.5.2	Vergleich der Sehschärfe des rechten Auges mit der binokularen Sehschärfe	59
4.5.3	Vergleich der Sehschärfe für Einzeloptotypen mit der Sehschärfe für Reihenoptotypen	61
4.5.4	Vergleich zwischen den sechs- und siebenjährigen Kindern der Gruppe 1	63
4.6	Vergleich unserer Visuswerte mit denen anderer Untersuchungen. 64	
4.6.1	Für Einzeloptotypen	64
4.6.2	Für Reihenoptotypen.....	66
5	Diskussion.....	68
5.1	Durchführung der Studie und Mitarbeit der Kinder	68
5.2	Zuverlässigkeit der Untersuchungsergebnisse.....	69
5.3	Visuswerte.....	72
5.4	Vergleiche innerhalb der eigenen Gruppe.....	75
5.5	Prävalenz von häufigen Augenerkrankungen.....	79
5.6	Vergleich mit anderen Kinder-Visusstudien.....	82
6	Zusammenfassung.....	86
7	Anhang.....	88
7.1	Abkürzungsverzeichnis	88
7.2	Tabellenverzeichnis.....	89
7.3	Abbildungsverzeichnis.....	90
8	Literaturverzeichnis	92

9	Danksagung.....	102
10	Lebenslauf.....	103
11	Eidesstattliche Erklärung.....	104

1 Fragestellung und Arbeitshypothese

Im Rahmen dieser Dissertation wurden an 204 Kindern der ersten Grundschulklassen in Hamburg Augenfunktionsprüfungen durchgeführt. Die Arbeit enthält Prüfungen der Sehschärfe für Einzel- und Reihenoptotypen sowohl für das monokulare als auch für das binokulare Sehen. Zusätzlich wurden das räumliche Sehen (Stereopsis) der Kinder und die Augenstellungen untersucht.

Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, wie gut der durchschnittliche monokulare bzw. binokulare Fernvisus augengesunder Kinder der Altersstufe von sechs bis sieben Jahren ist.

Weiterhin wurde untersucht, ob es signifikante Unterschiede gibt zwischen dem Visus des rechten und dem des linken Auges und zwischen dem monokularen und dem binokularen Visus. Eine weitere Frage war, ob es in diesem Alter noch Trennschwierigkeiten gibt. Es wurde auch untersucht, ob sich sechs- und siebenjährige Kinder signifikant in ihrer Sehschärfe unterscheiden.

Die untersuchten Kinder stammten aus Stadtteilen mit einem hohen Ausländer- bzw. Migranten-Anteil. Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden mit den Ergebnissen anderer Arbeiten verglichen. Dabei war als Ziel festzustellen, ob es einen signifikanten Unterschied in der Entwicklung der Sehschärfe bei diesen Kindern im Vergleich zu gleichaltrigen Kindern aus sozial besser gestellten Familien gibt. Sind die sozial schwächeren Kinder signifikant schlechter in den Untersuchungen?

Außerdem wurden die Ergebnisse der Untersuchungen des räumlichen Sehens dargestellt und die Prävalenzen der häufigsten Augenerkrankungen als Nebeneffekt ermittelt und mit den Resultaten von Untersuchungen in anderen Stadtteilen verglichen.

2 Einleitung

Diese Dissertation befasst sich hauptsächlich mit der Sehschärfe und deren Untersuchungen. Zum besseren Verständnis werden der Begriff der Sehschärfe und die dazugehörigen Untersuchungen weiter unten näher erläutert.

Ziel dieser Arbeit ist es den physiologischen Mittelwert der Sehschärfe des entsprechenden Alters, hier sechs- bis siebenjähriger Kinder, herauszufinden. Allerdings kann es sich hierbei nicht um einen Wert, sondern vielmehr um einen Bereich handeln, innerhalb dessen die Sehschärfe als „normal“ betrachtet wird. Die Sehschärfeuntersuchung stellt innerhalb der Augenheilkunde eine wichtige Prüfung der Funktion des visuellen Systems dar und sollte Bestandteil jeder augenärztlichen Untersuchung sein [68, 89]. Durch diese Untersuchung können häufig bereits Refraktionsfehler, wie Myopie, Hyperopie oder Astigmatismus diagnostiziert oder auch andere pathologische Befunde, wie z.B. die Amblyopie erhoben werden. Außerdem kann durch einfache Untersuchungen, wie dem Ab- und Aufdecktest (Cover- und Uncovertest), ein Schielen schon früh diagnostiziert werden. Einem pathologischen Untersuchungsergebnis können viele therapeutische Konsequenzen folgen. So kann z.B. das Tragen einer Brille verordnet oder andere therapeutische oder operative Eingriffe vorgenommen werden. Untersuchungen zur Bestimmung des Visus sind auch berufsmedizinisch von großer Bedeutung. Für einige Berufe ist ein guter Visus Voraussetzung zur Ausübung dieses Berufs, z.B. bei Kraftfahrern, Polizisten, Piloten, Chirurgen etc. [7, 37]. Besonders bei Kindern ist die Bestimmung eines Referenzvisus von Bedeutung um eventuelle, angeborene oder erworbene, Störungen frühzeitig zu entdecken und therapieren zu können. Eine volle Sehschärfe im Erwachsenenalter kann nur erreicht werden, wenn das Sehorgan des Kindes gesund ist und sich normal entwickeln kann. Wird ein Augendefekt erst spät erkannt, so sind die Heilungschancen geringer und damit die Sehschärfe im Schul- und Erwachsenenalter schlechter [7]. Schon früh gab es Überlegungen diese Untersuchungen nach einheitlichen Kriterien durchzuführen, damit sie reproduzierbar und vergleichbar würden. Dieser Forderung wurde in Deutschland durch die Einführung der DIN 58220 nachgekommen [68].

2.1 Der Begriff der Sehschärfe

Im Wesentlichen werden drei Arten der Sehschärfe unterschieden: Minimum visibile, Minimum discriminabile und Minimum separabile. Außerdem gibt es noch das Minimum legibile. Zudem unterscheidet man noch den Nah- von dem Fernvisus. Der Nahvisus ist die Sehschärfe in einer Entfernung von 30-40cm und der Fernvisus die Sehschärfe ab einer Entfernung von mindestens einem Meter. Der Nahvisus wird zum Lesen verwendet und der Fernvisus z.B. beim Auto fahren oder Fernsehen. Bei augengesunden Menschen sind der Nah- und Fernvisus identisch [32]. Bei Sehschärfeuntersuchungen wird routinemäßig der Fernvisus bestimmt. In der Praxis der augenärztlichen Untersuchungen wird unter „Sehschärfe“ das anguläre Auflösungsvermögen (das Minimum separabile) verstanden [89]. Der Visus hängt nicht nur vom Gesamtzustand des Auges, sondern auch von dem der Sehbahn und der kortikalen Zentren ab. Durch Trübungen der optischen Medien, wie z.B. beim Katarakt oder bei Retinaveränderungen, wird der Visus herabgesetzt. Der häufigste Grund für einen herabgesetzten oder verminderten Visus sind Refraktionsanomalien [16, 36]. Zu ihnen zählen u.a. die Kurzsichtigkeit (Myopie), die Weitsichtigkeit (Hyperopie) und die Hornhautverkrümmung (Astigmatismus).

2.1.1 Minimum visibile

Hierbei handelt es sich um die Grenze der Sichtbarkeit eines Objekts. Eine Linie mit einer Dicke von ca. einer Winkelsekunde und einer Länge von einem halben Winkelgrad entspricht der Sichtbarkeitsgrenze. Das visuelle System besitzt die Fähigkeit Helligkeitsunterschiede wahrzunehmen, wodurch Außenobjekte erst erkennbar werden [32, 36].

2.1.2 Minimum discriminabile

Das Minimum discriminabile ist die Erkennbarkeitsschwelle von kleinsten Unterschieden zweier Objekte. Sie wird auch als Hyperacuity (Übersehschärfe) bezeichnet. Ein Beispiel hierfür ist die Noniussehschärfe.

Noniussehschärfe (Vernier acuity)

Die Noniussehschärfe ist die Fähigkeit zu erkennen, ob zwei gleichgerichtete Linien etwas gegeneinander verschoben sind. Ihr Auflösungsvermögen ist höher als das der Trennsehschärfe und beträgt bis zu 3-5 Winkelsekunden.

Weitere Beispiele für die Übersehschärfe sind die minimale erkennbare Ortsänderung (Schwelle ca. 10 Winkelsekunden) und die minimale erkennbare Orientierungsänderung (Schwelle ca. 20 Winkelsekunden). Die Elementareinheiten für diese Signalverarbeitung sind die rezeptiven Felder der Netzhaut und der Sehrinde [32, 76]. Die binokulare Wahrnehmung der minimalen Querdisparation=Tiefensehschärfe ist ebenfalls eine Übersehschärfe mit einer Auflösung von bis zu einer Winkelsekunde herab [Persönliche Mitteilung Prof. Haase].

2.1.3 Minimum separabile (Trennsehschärfe)

Als Trennsehschärfe oder anguläre Sehschärfe wird der minimale Winkel zwischen zwei Punkten oder Objekten bezeichnet, der (bei optimaler Korrektur von Refraktionsfehlern) noch getrennt wahrgenommen werden kann. Dies wird durch die Zahl der rezeptiven Felder, der speziellen Struktur der Fovea centralis und ihres cerebralen Verarbeitungsgebiets ermöglicht. Die höchstmögliche Trennsehschärfe liegt bei etwa 30 Winkelsekunden und entspricht damit einer Sehschärfe von 2,0 [32, 76]. Bisher galt die Annahme: Damit das Auge zwei Objekte als getrennt wahrnehmen kann, muss auf der Netzhaut zwischen zwei gereizten Zapfen mindestens ein nicht gereizter Zapfen liegen. Der Abstand der Zapfen auf der Netzhaut, die Empfindlichkeit der Photorezeptoren auf Belichtung, sowie Streuung und optische Abbildungsfehler würden demnach die Trennsehschärfe auf ca. eine Winkelminute limitieren. Diese Annahme kann so nicht stimmen, denn wie oben beschrieben sind auch Trennsehschärfen unter einer Winkelminute möglich. Wahrscheinlich ist ein in seiner Arbeitsweise noch nicht voll durchschauter kortikaler Rechner, der aus vielen Einzelsignalen der foveolaren rezeptiven Felder ein Muster errechnet, für die hohe Auflösung verantwortlich [21, 54].

2.1.4 Minimum legibile

Das Minimum legibile ist der beim Lesen kleinste erkennbare Schriftgrad. Dabei wird ein Areal von 4° um die Stelle des schärfsten Sehens (Foveola) beansprucht. Dieser Bereich der Netzhaut entspricht ungefähr der Größe der Papille [76].

2.2 Entwicklung der Sehschärfe

Mit dem Zeitpunkt der Geburt ist der menschliche Sehapparat zwar vollständig angelegt, jedoch bei Weitem noch nicht voll ausgereift und funktionstüchtig. Über mehrere Jahre kommt es zur Ausdifferenzierung der Fovea centralis und zur Markscheidenreifung der Sehnervenfasern, sowie zur Myelinisation und Zytodendrogenese in der weißen Substanz der Sehrinde [66].

Der Normwert des Visus von 1,0 wird fälschlicherweise als 100% bezeichnet, was eine normale, gesunde Sehschärfe suggeriert. Diese Gleichsetzung sollte unbedingt vermieden werden, denn bei jungen Leuten sind Visuswerte über 1,0 und bis zu 2,0 durchaus möglich und nicht selten. Snellen lag mit seiner Annahme ein Visus von 6/6 sei normal also nicht ganz richtig. Eine deutliche Herabsetzung des Visus im Verlauf kann auch bei Werten über 1,0 ein Hinweis auf eine Erkrankung sein [19, 26, 35, 37, 76, 83, 98].

Nach der Untersuchung von Frisén und Frisén zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg der Sehschärfe bis zum Alter von 26 Jahren. Bei einem sechs Monate alten Säugling beträgt der Visus erst ca. 0,3. Im Alter von 24 Monaten beträgt der Visus dann ca. 0,5, mit vier Jahren bereits ca. 0,8 und im Alter von 26 Jahren bis zu 1,8. Nach dem 27. Lebensjahr fällt die Sehschärfe wieder ab. Ab dem 60. Lebensjahr ist der Abfall am stärksten und der Visus beträgt dann durchschnittlich unter 1,0 und kann mit 0,5 durchaus physiologisch sein [19, 26, 49, 57, 83]. Weitere Studienergebnisse über die Entwicklung der Sehschärfe sind in der Tabelle unten dargestellt.

Entwicklung der Sehschärfe bei Kindern und Jugendlichen				
Untersucher	Probanden	Alter	Verwendete Tests	Visuswerte
Neu/Sireteanu	34	2 Jahre	TAC-Test	0,45
Neu/Sireteanu	35	3 Jahre	TAC-Test	0,77
Neu/Sireteanu	21	3 Jahre	C-Test, EOP, Nahvisus	0,69
Slataper	59	3 Jahre	E-Haken	0,48
Barbazetto	?	4 Jahre	H-Test	0,63
Haase	423	4 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	0,92
Neu/Sireteanu	54	4 Jahre	TAC-Test	0,92
Neu/Sireteanu	49	4 Jahre	C-Test, EOP, Nahvisus	0,71
Slataper	92	4 Jahre	E-Haken	0,51
Anderssohn	138	5 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	0,97
Carl	175	5 Jahre	C-Test, EOP, Nahvisus	0,92
Haase	760	5 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1
Neu/Sireteanu	59	5 Jahre	TAC-Test	0,93
Neu/Sireteanu	59	5 Jahre	C-Test, EOP, Nahvisus	0,88
Slataper	115	5 Jahre	E-Haken	0,61
Stukenbrock	14	5-6 Jahre	Streifenmuster 1°	1,29
Stukenbrock	14	5-6 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,39
Anderssohn	70	6 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,05
Carl	118	6 Jahre	C-Test, EOP, Nahvisus	0,96
Haase	434	6 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1
Neu/Sireteanu	12	6 Jahre	TAC-Test	1,1
Neu/Sireteanu	12	6 Jahre	C-Test, EOP, Nahvisus	0,99
Slataper	207	6 Jahre	E-Haken	0,75
Heins	164	6-7 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,43
Staiger	53	6-7 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,31
Weber	147	6-7 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,47
Carl	36	7 Jahre	C-Test, EOP, Nahvisus	0,94
Slataper	261	7 Jahre	E-Haken	0,78
Stukenbrock	9	7-8 Jahre	Streifenmuster 1°	1,44
Stukenbrock	9	7-8 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,38
Slataper	318	9 Jahre	E-Haken	0,86
Haase	674	9-10 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,25
Staiger	60	9-11 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,52
Frisén	?	11 Jahre	Buchstaben, Fernvisus	1,2
Stukenbrock	10	9-12 Jahre	Streifenmuster 1°	1,54
Stukenbrock	10	9-12 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,54
Slataper	205	12 Jahre	E-Haken	1
Eggert	91	12-14 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,56
Slataper	255	14 Jahre	E-Haken	1,06
Haase	72	15-19 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,25-1,6
Slataper	319	20 Jahre	E-Haken	1,11
Haase	63	20-30 Jahre	C-Test, EOP, Fernvisus, monokular	1,6
Frisén	?	26-27 Jahre	Buchstaben, Fernvisus	1,8
Slataper	386	30 Jahre	E-Haken	1,09

Tabelle 1: Entwicklung der Sehschärfe bei Kindern und Jugendlichen

Quellen: [3, 6, 8, 18, 26, 32, 39, 82, 83, 85, 91, 100]

Legende: TAC-Test=Teller-Acuity-Cards-Test; EOP=Einzeloptotypen

Für die normale Entwicklung der Sehschärfe ist eine adäquate optische Stimulation notwendig, damit sich Netzhaut und Sehrinde ausdifferenzieren können. Findet diese Stimulation in den ersten sechs Lebensjahren nicht oder nur unzureichend statt, kann es zu Sehstörungen kommen [76]. Die häufigste periphere Sehstörung von Kindern ist die Amblyopie. Eine Amblyopie ist eine Visuserabsetzung ohne erkennbare organische Ursache. Sie macht sich besonders bei der Visusprüfung mit Reihenoptotypen bemerkbar. Bei der Prüfung mit Einzeloptotypen ist die Sehschärfe manchmal uneingeschränkt. Sie kann durch Refraktionsfehler, Strabismus, Ptosis, abnorme Hornhautkrümmungen, Linsentrübung und retinale Störungen entstehen. Refraktionsfehler und Strabismus machen dabei ca. 95% der Ursachen aus. Als Folge kommt es zu einer Deprivation im Corpus geniculatum laterale und des striären Kortex. Es kommt zur Verhinderung oder Beeinträchtigung des Binokularsehens und zu einem schwachen Visus [35, 104, 105]. Diese Kinder fallen manchmal ohne fachärztliche Untersuchung bei Einseitigkeit des Befundes nicht auf. In extremen Fällen fallen sie jedoch dadurch auf, dass sie Schwierigkeiten beim Treppensteigen haben, gegen Türen laufen oder nicht perspektivisch zeichnen können.

Eine Minderentwicklung der Sehschärfe kann durch die Deprivation des visuellen Kortex auch zur Beeinträchtigung der Lernleistung führen. Durch die Deprivation nimmt die Zahl der funktionstüchtigen Nervenzellen ab und die rezeptiven Felder verlieren ihre antagonistische Struktur. Diese Entwicklungsstörungen im zentralen Nervensystem können Teilleistungsschwächen hervorrufen, wenn die eingehenden Informationen nicht ausreichend ausgewertet werden können, wie z.B. das Erkennen und Benennen von Objekten [105]. Deshalb kommt dem Visus spätestens zu Beginn der Schulzeit eine wichtige Bedeutung zu. Können die Kinder aufgrund einer schwachen Sehschärfe die Objekte im Klassenraum nicht richtig wahrnehmen oder das Tafelbild nicht scharf erkennen, haben sie einen starken Nachteil gegenüber augengesunden Kindern im Erlernen des Lesens und Schreibens und dadurch meistens schlechtere schulische Leistungen als augengesunde Kinder [72]. Somit ist es besonders wichtig, dass bereits früh im Kindesalter und erneut vor Eintritt in die Schule Sehschärfeuntersuchungen stattfinden, um diesen Problemen entgegen zu wirken. Auch Schielstellungen der Augen sind oft mit anderen Entwicklungsstörungen verbunden, z.B. mit schwerer Myopie, Hyperopie, Astigmatismus, Amblyopie,

Augenanlagestörungen oder Hirnstammfunktionsstörungen [88]. Kinder mit einem ausgeprägten Schielleiden haben Probleme in der räumlichen Orientierung. Bei einem frühen Behandlungsbeginn sind ein binokulares Sehen und eine gute Sehschärfe jedoch noch erreichbar. Ideal ist ein Behandlungsbeginn noch vor dem sechsten Lebensmonat. Meist erstreckt sich die Behandlung bis zum 12. Lebensjahr. Dabei sind die häufigsten Methoden eine Okklusionstherapie um das schielende oder amblyope Auge visuell und motorisch zu fördern oder eine Brillenkorrektur. Auch eine operative Therapie ist manchmal indiziert [35]. Die motorische Entwicklung ist von der visuellen Entwicklung abhängig und umgekehrt, z.B. im Rahmen der visuomotorischen Koordination. Diese beinhaltet die Blick- und Greifmotorik und auch Körperhaltung und Fortbewegung [70, 105]. Somit kann jede Fehlfunktion des visuellen Wahrnehmungssystems zu Verzögerungen oder Verhinderungen in der kindlichen Entwicklung führen. Deshalb ist es sehr wichtig, dass Eltern die Augen ihrer Kinder regelmäßig untersuchen lassen, um Fehlfunktionen frühzeitig zu entdecken und sie so früh wie möglich zu therapieren [80, 83].

In sozial benachteiligten Gegenden, wie in den von uns untersuchten Stadtteilen, findet sich ein überproportional hoher Anteil an Ausländern und Migranten [27]. Bei Kindern von Ausländern und Migranten führt die mangelnde Kenntnis der Eltern über das deutsche Gesundheitswesen dazu, dass die frühzeitige Erkennung von behandlungsbedürftigen Gesundheitsproblemen oft nicht erfolgt und die Versorgung insgesamt defizitärer als bei Einheimischen ist [1]. Dabei ist das Sprachproblem oftmals die erste Hürde bei der Informationsvermittlung und der Inanspruchnahme von Gesundheitsleistungen [27]. Zudem ist die Art und Weise, wie mit Gesundheit und Krankheit bzw. Vorsorge umgegangen wird, kulturspezifisch und kann sich sehr stark von einander unterscheiden. Die Vorsorgeuntersuchungen für Kinder (U1-U9) werden von ausländischen Kindern, bzw. deren Eltern schlechter genutzt als von Deutschen [106]. Dennoch wurde mehrfach festgestellt, dass keine auffälligen Zusammenhänge zwischen Nationalität und der Prävalenz von Strabismus, Amblyopie und Refraktionsanomalien bestehen. Käsmann-Kellner konnte keine Unterschiede in der Prävalenz pathologischer Befunde zwischen deutschen und ausländischen Kindern feststellen [48]. Weitere Untersucher stellten ebenfalls fest, dass demographische Faktoren wie Geschlecht, Rasse, Nationsangehörigkeit, Alter oder Bildung der Eltern,

sowie Einkommen der Eltern keine signifikanten Unterschiede in der Sehschärfe bewirken [60, 77].

3 Probanden und Methoden

3.1 Probanden

Untersucht wurden Schulkinder der ersten Klasse aus Grundschulen in verschiedenen Stadtteilen Hamburgs. Diese waren Jenfeld, Steilshoop, Horn, Barmbek-Nord und Langenhorn. Es gab einen hohen Anteil ausländischer Kinder bzw. Kinder mit Migrationshintergrund von insgesamt 48,5%. Zudem ist der Anteil Arbeitsloser in diesen Stadtteilen mit z.T. über 11% (Horn, Steilshoop, Jenfeld), im Vergleich zum Gesamtdurchschnitt in Hamburg von 7,3%, überdurchschnittlich hoch [86]. Die Untersuchungen wurden in den Schulen während der Unterrichtszeiten durchgeführt. Dadurch waren nicht nur die Zustimmungen der Eltern, sondern auch die der Lehrer/Innen und Schulleiter/Innen erforderlich. Zusätzlich mussten wir uns noch eine Genehmigung der Schulbehörde einholen. Die Zustimmung der Lehrkräfte war groß. Da einige der Eltern sehr wenig bis gar kein Deutsch sprachen und somit die Elternbriefe nicht bzw. nur teilweise verstanden, war es sehr schwierig und nur mit guter Unterstützung der Lehrkräfte möglich, diesen Eltern unser Vorhaben zu erklären. In Zusammenarbeit gelang es dann aber eine große Beteiligung der Kinder zu erreichen. Untersucht wurden alle Kinder, deren Eltern ihr Einverständnis zu den Untersuchungen gaben. Damit der Unterricht möglichst wenig beeinträchtigt wurde, haben wir das Vorgehen vorher mit den Lehrern abgesprochen. Die Lehrer haben in dieser Zeit z.B. so genannte Wochenarbeitspläne bearbeiten lassen, die die Kinder ohne Probleme unterbrechen und dann wieder aufnehmen konnten. Insgesamt wurden 204 Kinder untersucht. Mädchen und Jungen waren dabei etwa gleich verteilt.

3.1.1 Probandenkollektiv der ersten Klassen

In den folgenden Tabellen und Grafiken sind die Strukturen der Schüler zusammengefasst.

Geschlechterverteilung

Geschlecht	männlich	weiblich	Gesamt
Anzahl	100	104	204
% von der Gruppe	49,0%	51,0%	100,0%

Tabelle 2: Geschlechterverteilung

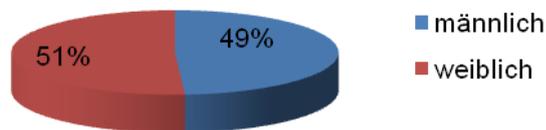


Abbildung 1: Geschlechterverteilung

Altersverteilung

Alter in Jahren	6	7	Gesamt
Anzahl (absolut)	70	134	204
% von der Gruppe	34,3%	65,7%	100,0%

Tabelle 3: Altersverteilung

Mittelwert des Alters: \bar{x} 6,68 Jahre.

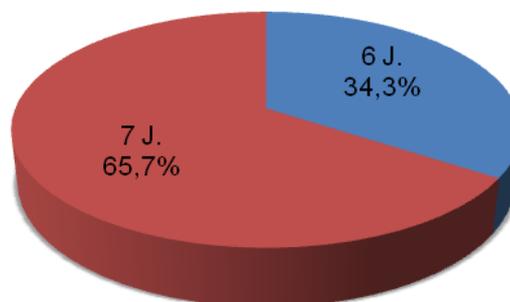


Abbildung 2: Altersverteilung

3.1.2 Auswahl- bzw. Ausschlusskriterien

Die Eltern bekamen vor den Untersuchungen einen Anamnesebogen, den sie ausfüllen sollten. In dem Anamnesebogen wurde neben persönlichen Daten auch nach bekannten Augenerkrankungen der Kinder und deren Familienangehörigen gefragt, sowie nach anderen organischen Krankheiten. Leider wurden diese oft nicht ausgefüllt, da die Eltern kein Interesse daran hatten oder zu wenig Deutsch sprachen um den Bogen zu verstehen.

Die Auswahlkriterien wurden durch die Arbeit von Friséen und Friséen festgelegt. Kinder mit einer Fehlsichtigkeit (Ametropie) über 5dpt sphärisch oder über 2dpt zylindrisch wurden der Ausschlussgruppe (Gruppe 2) zugeordnet. Ebenso Kinder mit akuten Augenerkrankungen, z.B. Lidentzündungen, da diese das Untersuchungsergebnis verfälschen könnten. Kinder mit Schwächen der Augenmotorik und Schielleiden fallen ebenfalls heraus, genauso wie Kinder mit organischen Augenerkrankungen oder Amblyopie [26]. Die Auswahl wurde zum Einem durch die Anamnesebögen und zum Anderem durch die Untersuchungen getroffen. Als „augengesund“ wurden alle Kinder eingestuft, auf welche die genannten Ausschlusskriterien nicht zutrafen. Diese Gruppe wurde auch als Gruppe 1 bezeichnet. Alle Kinder, die aufgrund dieser Kriterien ausgeschlossen wurden, wurden nicht mit in die Studie einbezogen. Sie wurden gesondert in der Ausschlussgruppe (Gruppe 2) behandelt.

Alle Kinder, die bei der Erstuntersuchung einen EinzeLOPTOTYPEN-Visus von weniger als 1,0 oder einen ReihenOPTOTYPEN-Visus von weniger als 0,63 erreicht hatten oder monokular mehr als eine Visusstufe vom anderen Auge abwichen, wurden zur Nachuntersuchung aufgefordert. Außerdem wurden die Kinder, die kein vollständiges Stereosehen hatten bzw. bei denen ein Schielen festgestellt wurde, zur Nachuntersuchung und die Kinder, die bereits eine Brille hatten, zusätzlich zur Vermessung der Brille einbestellt. Die Nachuntersuchungen wurden von Prof. Haase durchgeführt. Nach diesen Untersuchungen wurde festgelegt, ob die Kinder endgültig der Ausschlussgruppe zuzuordnen waren, oder doch in die Gruppe 1 aufgenommen werden konnten. Von den 204 Kindern wurden 49 Kinder nachuntersucht. 29 Kinder konnten anschließend der Gruppe 1 zugeordnet werden und 20 Kinder wurden danach der Gruppe 2 zugeordnet. Ein Kind erschien nicht zur Nachuntersuchung und wurde aufgrund der Erstunter-

suchung der Gruppe 2 zugeordnet. Von den 204 untersuchten Kindern wurden somit 183 Kinder als „augengesund“ eingestuft.

29 (14,2%) der 204 Kinder trugen zum Zeitpunkt der Untersuchungen bereits eine Brille. Davon waren 14 Mädchen und 15 Jungen. Elf der Kinder waren sechs Jahre alt und 18 Kinder sieben Jahre alt.

Die Gruppe der augengesunden Kinder (Gruppe 1)

- Aus dieser Gruppe trugen 18 (9,8%) Kinder zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits eine Brille
 - Davon hatten sieben Kinder eine Myopie und elf Kinder eine Hyperopie
- Bei drei Kindern wurde eine Myopie (1-2dpt) und bei zwei Kindern eine Hyperopie (2dpt) neu festgestellt
- Von den myopen Kindern hatten sechs Kinder außerdem einen Astigmatismus und bei den hyperopen Kindern waren es sieben Kinder
- Bei einem Kind wurde ein reiner Astigmatismus neu festgestellt
- Drei Kinder hatten einen latenten Strabismus
 - Davon ein Kind eine Exophorie und zwei Kinder eine Esophorie
- Zwei Kinder hatten einen Pseudostrabismus

Die Ausschlussgruppe (Gruppe 2)

- Aus dieser Gruppe trugen zum Zeitpunkt der Untersuchung elf (52,4%) Kinder eine Brille
 - Davon hatten vier Kinder eine Myopie und sechs Kinder eine Hyperopie, ein Kind hatte sowohl eine Myopie, als auch eine Hyperopie
- Bei fünf Kindern wurde eine Myopie und bei einem Kind eine Hyperopie neu festgestellt
- Vier Kinder mit Myopie und acht Kinder mit Hyperopie hatten auch einen Astigmatismus
- Bei zwei Kindern wurde ein reiner Astigmatismus neu festgestellt
- Fünf Kinder hatten eine Amblyopie

- Zwölf Kinder hatten einen Strabismus
 - Davon zwei Kinder einen latenten Strabismus
 - Davon je eine Esophorie und eine Exophorie
 - Zehn Kinder hatten ein manifestes Schielleiden
 - Davon hatten sechs Kinder eine Esotropie (eines davon alternierend), drei Kinder eine Exotropie und ein Kind Höhenschielen

Ein Kind wurde aufgrund einer Lidrandentzündung in die Gruppe 2 eingeordnet.

3.2 Durchführung der Untersuchungen

3.2.1 Versuchsdurchführung

Die gesamten Untersuchungen wurden in Räumlichkeiten der verschiedenen Schulen durchgeführt. Es wurde mit den Visusprüfungen begonnen und dann mit den Prüfungen zum binokularen Sehen fortgefahren. Zur Prüfung der Sehschärfe wurde der C-Test nach Hohmann und Haase verwendet. Nach einer kurzen Einweisung, wie der Test funktioniert, wurde zunächst der Sehtest mit den Einzeloptypen durchgeführt und dann der Test mit den Reihenoptotypen. Dabei wurde jeweils binokular begonnen und dann nacheinander das rechte und das linke Auge einzeln geprüft. Bei der monokularen Untersuchung bekamen die Kinder eine Augenklappe umgebunden, damit sie nicht durch ihre Hände hindurch schielen konnten. Wenn ein Kind eine Sehhilfe besaß, wurde diese benutzt. Da die Kinder in dieser Altersstufe noch nicht alle in der Lage waren, die Richtungen der Öffnungen richtig zu benennen, wurden sie gebeten zusätzlich in die Richtung der Öffnung zu zeigen. Waren die Kinder unsicher, wurde ihnen geraten einmal mit den Augen zu blinzeln und dann erneut hinzuschauen. Eine Reihe wurde als erkannt gewertet, wenn vier von sechs Ringen richtig erkannt wurden. Nach der Untersuchung der Sehschärfe wurde mithilfe des Titmus-Stereotests und des Lang-Stereotests das räumliche Sehen getestet. Anschließend wurde noch mithilfe des Ab- und Aufdecktests geprüft, ob ein Schielleiden vorlag. Unterstützt wurde dies durch den Bagolini-Streifenglastest. Außerdem wurden die Augen inspiziert um Entzündungen oder andere morphologische Auffälligkeiten zu erkennen. Es gab keine Zeitbeschränkung für die Untersuchungen. Die Kinder wurden erst nach vollständig abgeschlossenen Untersuchungen über ihre Ergebnisse informiert, damit diese den weiteren Untersuchungsablauf nicht beeinflussen konnten. Die Untersuchungen dauerten pro Kind ca. 35-55 Minuten, je nachdem wie schnell das Kind die Tests verstanden und wie gut es mitgearbeitet hatte. Davon entfielen ca. 20-30 Minuten auf die Untersuchung der Sehschärfe und 15-25 Minuten auf die Tests des Stereosehens (Lang, Titmus), den Bagolini-Streifenglastest und den Ab- und Aufdecktest. Wenn die Limits nicht erreicht wurden, wurde wie oben bereits erwähnt das entsprechende Kind zur Nachuntersuchung aufgefordert.

3.2.2 Versuchsaufbau und Untersuchungsraum

Die Räume waren ausreichend groß, so dass wir die Tafeln mit den Landoltringen in einem Abstand von fünf Metern zu den Kindern aufstellen konnten. In dieser Entfernung wurde ein Stuhl aufgestellt, auf den sich die Kinder während der Untersuchung setzen sollten. Die Fenster des Raumes befanden sich stets im Rücken des Kindes, so dass das Tageslicht nicht blenden und die Untersuchungen negativ beeinflussen konnte. Zur Beleuchtung der Optotypentafeln wurden jeweils zwei Lampen verwendet, die in allen Schulen identisch waren und von uns mitgebracht wurden. So konnte gewährleistet werden, dass die Bedingungen für alle Schüler vergleichbar waren. Die Leuchtdichte wurde mit einem Candelameter LS-100 von Minolta gemessen. Die Leuchtdichte des Prüffeldes betrug 164 cd/m^2 . Die Umgebungsleuchtdichte betrug ca. 7 cd/m^2 . Damit ist gewährleistet, dass die Sehschärfe unter Tageslichtbedingungen geprüft wurde. Der Kontrast betrug $>95\%$. $\text{Kontrast} = (164 - 7) / 164 = 0,9573 \cdot 100 = 95,73\%$. Es konnte sichergestellt werden, dass die Leuchtdichte innerhalb einer Untersuchung keinen großen Schwankungen unterlag. Allerdings konnten Schwankungen durch das Tageslicht nicht vollständig ausgeschlossen werden.

3.2.3 Mitarbeit der Kinder

Die Kinder haben zum größten Teil sehr gut mitgearbeitet. Besonders der Titmus- und der Lang-Stereotest haben den Kindern viel Spaß gemacht. Viel Freude hatten die Kinder daran zu versuchen die Flügel der Fliege im Titmus-Stereotest anzufassen, da diese erhaben erschienen, aber sie immer wieder ins „Leere“ griffen. Den Effekt fanden sie sehr lustig. Kinder, die keinen Stereoeindruck hatten, haben nicht in die Luft über dem Bild gegriffen, sondern direkt mit dem Finger aufs Bild gezeigt. Daran war leicht zu erkennen, ob ein Kind die Fliege räumlich wahrnehmen konnte oder nicht. Bei dem C-Test fiel es manchen Kindern schwer sich die ganze Zeit zu konzentrieren. Bei Kindern ist der Einfluss des Untersuchers dabei sehr groß [17]. Durch loben und ermutigen gelang es meistens die Kinder zur weiteren Mitarbeit zu bewegen. Wenn es gar nicht mehr ging, durften sie kurz spielen oder wir haben die Stereotests vorgezogen und dann erneut den C-Test durchgeführt.

3.3 Methoden

3.3.1 Prüfung der Sehschärfe

Die Prüfung des Visus erfolgt meist subjektiv. Es gibt jedoch auch objektive Untersuchungsmethoden für die Sehschärfe, wie z.B. mittels visuell evozierter Potentiale (VEP). Diese Verfahren weisen jedoch bedeutende Unsicherheitsfaktoren auf. Bei der subjektiven Visusprüfung werden den Probanden standardisierte Sehzeichen (Optotypen) auf kontrastreichem Grund (schwarze Sehzeichen auf weißem Hintergrund) dargestellt. Diese soll der Proband erkennen und benennen. Die meisten Optotypen basieren auf dem Snellen-Prinzip. Dabei werden die Sehzeichen auf 25 quadratische Felder mit einer Seitenlänge von einer Winkelminute oder einem Vielfachen davon aufgetragen. Die Öffnungen der Landoltringe und die Haken der Pflüger-Haken betragen ebenfalls je eine Winkelminute. Ausgenommen von dem Snellen-Prinzip sind die bildhaften Optotypen und die Lesetexte, da hier die Gleichheit der Strichstärke und Lückengröße nicht oder nur zum Teil gewährleistet werden kann [28, 76, 84]. Begonnen wird mit den großen Sehzeichen und fortgefahren mit immer kleiner werdenden Sehzeichen bis der Proband sie nicht mehr erkennen kann. Jedes Sehzeichen repräsentiert eine bestimmte Stufe auf der Visusskala. Je kleiner das erkannte Sehzeichen ist, desto höher ist der erreichte Visuswert. Die Sehschärfe wird jeweils mit dem rechten und linken Auge einzeln und binokular geprüft. Die Beleuchtung sollte so sein, dass die Sehproben nicht blenden oder spiegeln. Es ist wichtig, dass die Prüfungsbedingungen standardisiert und reproduzierbar sind. Neben jeder Optotypenreihe der Landolttafeln ist der entsprechende Visuswert aufgeführt. Die Prüfung der Sehschärfe in der Ferne erfolgt in einer Entfernung von fünf Metern. Die Sehschärfe in der Nähe wird mit Lesetexten unterschiedlicher Größe geprüft oder mit kleinen Optotypen in 30-40 cm Entfernung [14, 28, 31, 43, 76].

3.3.2 Untersuchung der Sehschärfe bei Kindern

3.3.2.1 Teller-Acuity-Cards

Bereits im ersten Lebensjahr bevorzugen Kinder strukturierte optische Reize, z.B. Streifenmuster, gegenüber homogenen, unstrukturierten Flächen gleicher Helligkeit. Die Kinder wenden sich dem Muster zu. Das Hinwenden zum Muster nennt man auch Methode der bevorzugten Blickzuwendung oder Preferential-Looking und kann zur Sehschärfeprüfung verwendet werden [15, 32, 93]. Um dieses Phänomen praktisch anwendbar zu machen wurden die Teller-Acuity-Cards entworfen. Auf grauen Pappkarten befindet sich auf einer Seite ein Feld mit Schwarz-Weißen-Streifen. Auf der anderen Seite der Karte ist ein Bereich mit einer homogenen grauen Fläche. Der mittlere Grauwert der Streifen entspricht dem Grauwert der homogenen Fläche. Begonnen wird mit einem groben Muster. Das Muster wird dann immer feiner, solange bis der Säugling das Muster nicht mehr erkennt. Der Untersucher steht dabei hinter den Testkarten und kann durch ein kleines Loch sehen, ob das Kind sich nach rechts oder links wendet. Nach dem 18. Lebensmonat nimmt die Mitarbeit der Kinder stark ab, da sie schnell gelangweilt sind und sich anderen Sachen zuwenden [75, 89, 96]. Ab diesem Alter ist eine direkte Bestimmung der Sehschärfe für Formen möglich [105]. Bei behinderten Kindern ist die Visusbestimmung besonders schwierig. Hier kann der Preferential-Looking-Test auch noch im höheren Alter angewendet werden [57, 88].

3.3.2.2 O-Test

Ab einem Alter von 18 Monaten kann der O-Test verwendet werden, bei dem die Kinder zwischen anderen Buchstaben das O herausfinden müssen [57].

3.3.2.3 Lithander's Kolt-Test

Ab dem dritten bis vierten Lebensjahr kann die Sehschärfe mit Optotypen geprüft werden. Allerdings hat sich die Prüfung der Sehschärfe mit abstrakten Optotypen, wie dem Landoltring oder dem E-Haken, in dieser Altersgruppe noch

als schwierig erwiesen [67]. Deshalb werden als Optotypen beim Kolt-Test ein Kreis, ein Kreuz, ein Dreieck und ein Quadrat verwendet. Die Testdistanz beträgt drei Meter. Ein Verfahren, welches vom Kolt-Test abgeleitet wurde, ist der H-Test von Hohmann und Haase. Hierbei haben die Sehzeichen aller Visusstufen einen konstanten Abstand [31, 32]. Beide Tests funktionieren nach dem Matching-Prinzip. Hierbei müssen die Optotypen erkannt und dann auf einer Musik-Box dem gleichen Symbol zugeordnet werden. Als Belohnung ertönt bei einer richtigen Antwort Musik [35, 57, 65].

Ab dem fünften Lebensjahr kann der E-Haken- oder Pflüger-Haken-Test oder der C-Test mit vier Richtungen angewendet werden [35, 41, 43, 67].

3.3.3 C-Test

Wir haben für unsere Untersuchungen den C-Test für die Ferne für Einzel- und Reihenoptotypen nach Haase und Hohmann verwendet. Der hierfür verwendete Optotyp ist der Landoltring. Es gibt die Möglichkeit den Landoltring in acht verschiedenen Richtungen darzustellen, nämlich horizontal, vertikal und diagonal ausgerichtet. Diese Richtungen müssen vom Prüfling benannt werden, wodurch man auf dessen Mitarbeit angewiesen ist. Für Kinder gibt es den C-Test mit Landoltringen in horizontaler und vertikaler Ausrichtung der Ringöffnung, also in vier Positionen. Diese werden verwendet, da Kinder mit der Benennung der diagonalen Richtungen bis ins Schulalter hinein meist noch überfordert sind [32, 35]. Nicht nur die Größe der Landoltringe, sondern auch der Abstand der Ringe spielt eine entscheidende Rolle für die Sehschärfeprüfung. Deshalb müssen die Abstände immer konstant sein [33, 42]. Es gibt einen C-Test für die Nähe und einen für die Ferne.

C-Test zur Prüfung der Trennschwierigkeiten (Crowding)

Unter Trennschwierigkeit versteht man die Schwierigkeit benachbarte Optotypen klar voneinander getrennt wahrzunehmen, da unregelmäßige Schwankungen der Sehzeichen gegeneinander wahrgenommen werden. Ein Optotyp kann nur dann klar erkannt werden, wenn er intensiv fixiert wird. Das Crowding-Phänomen tritt universal bei allen Personen auf. Kinder haben physiologischer-

weise eine größere Differenz zwischen der Sehschärfe für Einzel- und Reihenoptotypen als Erwachsene [22, 32, 80]. Personen mit einer Amblyopie haben ebenfalls größere Trennschwierigkeiten [10]. Bei Verdacht auf Amblyopie sollte man eine Prüfung auf Trennschwierigkeit machen, da in einem solchen Fall die Reihenoptotypen-Sehschärfe oft wesentlich schlechter als die Sehschärfe für Einzeloptotypen ist [4, 33].

Zur Prüfung der Trennschwierigkeiten werden die Landoltringe einmal einzeln, d.h. mit einem Mindestabstand von 35 Winkelminuten und zum anderen als sogenannte Reihenoptotypen mit einem Abstand von 2,6 Winkelminuten in horizontaler Reihe angeboten. Diese Distanz zwischen zwei Sehzeichen führt physiologischerweise zur größten Kontureninteraktion und wurde deswegen zur Prüfung von Reihensehzeichen gewählt [24, 33]. Die Abstände zwischen den Ringen sind sowohl bei den Einzel- als auch bei den Reihenoptotypen immer konstant. Die Ergebnisse für die Reihenoptotypen sind eine bestimmte Anzahl von Visusstufen schlechter als die Ergebnisse der Einzeloptotypen. Aufgrund der Homogenität der Sehzeichen ist eine Fixationshilfe notwendig. Dafür sollte z.B. mit einem Zeigestab auf das zu erkennende Sehzeichen gezeigt werden [32, 33].



Abbildung 3: Ausschnitt Sehtafeln (C-Test); links: Einzeloptotypen, rechts: Reihenoptotypen

Quelle: eigene Darstellung

3.3.4 Prüfungsbedingungen der Sehschärfenuntersuchung

Die Sehschärfe ist nach der Norm DIN 58220 (EN ISO 8596) zu bestimmen. Die EN ISO 8596 regelt das Verfahren zur Feststellung der Sehschärfe für die Ferne unter Tageslichtbedingungen. Sie besteht aus mehreren Teilen. Diese definieren das Normsehzeichen, die Prüfbedingungen, den Ablauf der Sehschärfenprüfung, gutachterliche Fragen, die Prüfung für den Straßenverkehr und vieles Weitere. Somit wird der Rahmen der Sehschärfenprüfung durch die DIN 58220 bzw. EN ISO 8596 bestimmt. Der Teil 5 der DIN 58220 beinhaltet den allgemeinen Sehtest [14]. Diese Norm sollte bei allen klinischen Prüfungen befolgt werden. Besonders zwingend ist ihre Beachtung bei gutachterlichen Sehschärfenprüfungen und bei Zulassungsverfahren.

3.3.4.1 Das Normsehzeichen

Bereits 1909 wurde in Neapel der Landoltring als Standardsehzeichen festgelegt. Als 1968 die erste DIN Norm für Sehschärfenprüfung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft erarbeitet wurde, wurde auch hier der Landoltring als Normsehzeichen festgelegt [14, 32, 84, 89].

Der Landoltring hat die Form eines C. Der Visus 1,0 entspricht einer Auflösung von einer Winkelminute (d). In fünf Metern Entfernung entspricht eine Winkelminute ungefähr einer Strecke von 1,5mm, welches der Lückenbreite des Landoltrings und auch dessen Balkenbreite entspricht. Die Größe des Landoltrings beträgt das Fünffache dieser Breite [28, 32, 84].

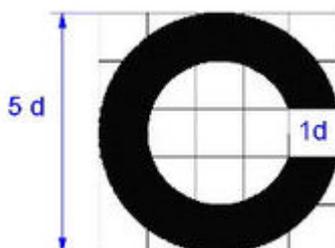


Abbildung 4: Landoltring

Quelle: in Anlehnung an E. Hartmann, Klin. Mbl. Augenheilkunde 191 (1987) 62-68

Legende: d =Winkelminute

Der Landoltring wird den Prüflingen in unterschiedlichen Orientierungen angeboten. Es gibt acht mögliche Orientierungen: horizontal, vertikal und diagonal. Als Orientierungen bezeichnet man die unterschiedlichen Öffnungsrichtungen des C. Die Richtungen, in die die Öffnungen zeigen, sind in zufälliger Abfolge dargestellt. Die bevorzugte Anzahl der angebotenen Positionen beträgt fünf, sechs, acht oder zehn Ringe pro Visusstufe, von denen drei, vier, fünf oder sechs korrekt benannt werden müssen um die Prüfung zu bestehen, also ca. 60% [14, 42].

In unserer Studie hatten wir sechs Darbietungen pro Reihe, von denen vier erkannt werden mussten. Die Prüflinge müssen die Richtung der Öffnung benennen. Somit ist man auf die Mitarbeit der Probanden angewiesen. Die Vorteile des Landoltrings sind, dass seine geometrische Struktur sehr einfach ist und keine Lesefähigkeit voraussetzt und er in acht Orientierungen angeboten werden kann. Die Nachteile sind, dass Probanden in der Prüfungssituation evtl. aufgeregt sind und deshalb die Richtungen falsch benennen. Besonders häufig werden links und rechts verwechselt [31, 33, 89]. Wir haben versucht dieses Problem dadurch zu umgehen, dass wir die Kinder gebeten haben zusätzlich in die Richtung der Öffnung zu zeigen.

3.3.4.2 Andere Sehzeichen

Außer den Landoltringen werden noch einige andere Sehzeichen und sogar Texte zur Sehschärfeprüfung verwendet. Es gibt z.B. die E-Haken nach Pflüger und Snellen und Buchstaben. Für Kinder und Analphabeten werden zusätzlich noch Bilder angeboten. Bei all diesen Sehzeichen muss versucht werden in ihrer Größe, Strichstärke und Form diese an den Landoltring anzugleichen, damit sie mit ausreichender Genauigkeit die gleichen Ergebnisse wie die Landoltringe liefern und möglichst vergleichbar sind. Bei den Buchstaben ist das insofern schwierig, da sie in ihrer Lesbarkeit nicht gleichwertig sind. So wurde eine Rangfolge der Lesbarkeit erstellt: A W M L I P C V E F T Z N Y U O D K R H G X S Q B. Der Buchstabe B wird z.B. unter bestimmten Bedingungen dreimal so häufig falsch gelesen, wie der Buchstabe A [37, 81, 84]. In der DIN Norm 58220 wurden Bedingungen festgelegt, unter denen andere Sehzeichen an den Landoltring angeschlossen werden können. Nach diesen Bedingungen sind z.B. die

Buchstaben C, D, E, K, N, P, U, Z und die Kindersehzeichen nach Lithander (Kolt-Test) angeschlossen worden, damit diese standardisiert verwendet werden können [31, 32, 89].

Für Kinder im Vorschulalter werden gern die Pflüger-Haken (E-Haken) verwendet. Ein Nachteil des E-Hakens ist, dass er nur in vier Richtungen angeboten werden kann, nämlich horizontal und vertikal. Und nicht in schräger Richtung, da durch Orientierungsänderung der Balken des E mit Hyperacuity (Übersehschärfe) wahrgenommen werden kann. Außerdem ist der E-Haken bei genauerer Betrachtung ein kompliziertes Sehzeichen, da er einerseits ein Einzeloptotyp und andererseits aber auch bereits ein Gittermuster von drei Perioden ist. Diese Periodik führt zu einer gewissen Summation bei einer Amblyopie und damit zu einem besseren Visus als für Einzelsehzeichen, wie dem Landoltring [31, 32, 37, 67, 89].

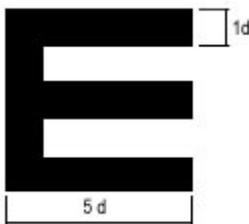


Abbildung 5: Snellenhaken

Quelle: in Anlehnung an E. Hartmann, Klin. Mbl. Augenheilkunde 191 (1987) 62-68

3.3.4.3 Angabe des Visus

Die Angabe des Visus erfolgt in Form eines Dezimalbruchs als Kehrwert der in Winkelminuten gemessenen Lückenbreite [14]. Somit ist der Visus (V)= $1/\alpha$, wobei α die Winkelminuten darstellt [50, 96]. Der Kehrwert des Seh winkels in Winkelminuten, der gerade noch erkannt wird, wird Grenzwinkel genannt und das Ergebnis stellt den erreichten Visuswert dar.

Beispiel:

Ein Proband, der die Öffnung eines Landoltrings mit einem Sehwinkel von zwei Winkelminuten noch zuverlässig erkennen kann, verfügt über einen Visus von $\frac{1}{2} = 0,5$. Bei einer Auflösungs fähigkeit von vier Winkelminuten beträgt der Visus $\frac{1}{4} = 0,25$ [30].

Die Sehschärfe wird in verschiedenen Ländern auf unterschiedliche Weise dargestellt. In Deutschland wird die Dezimalschreibweise verwendet. In angelsächsischen Ländern ist die Snellen-Schreibweise verbreitet, bei der die Sehschärfe als Quotient aus Prüferentfernung und Sollentfernung dargestellt wird [4, 23, 101]. Die Darstellung in Visusstufen dient der einfachen Berechnung des geometrischen Mittelwertes [32].

Sehschärfen-Vergleichstabelle

Dezimal-Darstellung	Snellen-Schreibweise	Visusstufen
0,020	20/1000	0
0,025	20/800	1
0,032	20/630	2
0,040	20/500	3
0,050	20/400	4
0,063	20/320	5
0,080	20/250	6
0,100	20/200	7
0,125	20/160	8
0,160	20/125	9
0,200	20/100	10
0,250	20/80	11
0,320	20/63	12
0,400	20/50	13
0,500	20/40	14
0,630	20/32	15
0,800	20/25	16
1,000	20/20	17
1,250	20/16	18
1,600	20/12,5	19
2,000	20/10	20
2,500	20/8	21

Tabelle 4: Sehschärfen-Vergleichstabelle

Quelle: eigene Darstellung

Die Abstufung der Sehzeichen erfolgt in logarithmischen Abständen [4, 13, 14, 38, 46].

3.3.4.4 Erkennungsrate/Schwellenwertbestimmung

Die Sehschärfe eines Auges ist kein fester Wert, sondern unterliegt aufgrund physiologischer Schwankungen einer gewissen Streuung [32]. Das Ziel der subjektiven Visusprüfung ist das bestmögliche Ergebnis eines Probanden zu bestimmen. Der Proband wird dafür bis an seine Leistungsgrenze getestet. Die Sehzeichen werden ihm in immer kleinerer Größe dargestellt, bis er sie definitiv nicht mehr erkennen kann. Dabei wird der Proband auch explizit zum Raten aufgefordert. Er wird gebeten die Orientierung jedes Sehzeichens der entsprechenden Reihe anzugeben, auch wenn er meint dieses nicht mehr richtig zu erkennen. Durch diese Forced-Choice-Strategie können bestmögliche Ergebnisse erzielt werden. Denn häufig neigen Probanden dazu keine Angaben mehr zu machen, sobald sie unsicher werden [28]. Das Nichterkennen ist ein Prozess, der sich über mehrere Visusstufen erstreckt bis die Sehzeichen gar nicht mehr erkannt werden. Die Erkennungsrate geht also immer weiter in eine Ratewahrscheinlichkeit über. Die Erkennungsrate ist das Verhältnis der Anzahl richtig erkannter Sehzeichen einer Visusstufe zu der Gesamtzahl der in dieser Stufe angebotenen Sehzeichen. Wenn der Proband die Sehzeichen nicht mehr erkennt, kann er die Öffnungsposition nur mit einer Ratewahrscheinlichkeit $p=1/n$ richtig benennen. Bei den Snellen-Haken mit vier möglichen Orientierungen ist die Ratewahrscheinlichkeit also $p=1/4=25\%$. Bei den Landoltringen mit acht möglichen Orientierungen ist die Ratewahrscheinlichkeit entsprechend nur $p=1/8=12,5\%$. Bei Ziffern und Buchstaben wird die Ratequote umso kleiner, je mehr verschiedene Zeichen verwendet werden. Um eine vergleichbare Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu erhalten muss die Zahl der Darbietungen umso höher sein, je höher die Ratewahrscheinlichkeit ist [37, 68, 89]. Die Ergebnisse der Visusprüfungen unterliegen intraindividuellen Schwankungen. Das liegt unter anderem an Schwankungen der Aufmerksamkeit und Ermüdung, sowie psychologischen Einflüssen. Tests, die von solchen Faktoren abhängig sind bezeichnet man als psycho-physikalische Prüfverfahren. Die Schwelle, ab der eine Prüfung, in diesem Fall eine Visusstufe, als erkannt bzw. bestanden gilt ist vereinbarungsgemäß die sogenannte 50%-Erkennungsrate. Tatsächlich wird man die Prüfung so einrichten, dass die Zahl der geprüften und die der erkannten Sehzeichen eine Schwelle von knapp über 50% bedeuten. Es ergibt sich bei

der Prüfung einer ausreichenden Zahl von Sehzeichen meistens eine Häufigkeitsverteilung in Form einer S-Kurve, die sogenannte psychometrische Funktion. Sie gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der der Proband die Optotypen richtig benennt [68, 89]. Im überschwelligen Bereich der großen Optotypen werden alle Sehzeichen eindeutig erkannt. Bei den kleinen Sehzeichen kommt es dann zu einer reinen Ratewahrscheinlichkeit. Der Übergang zwischen dem überschwelligen Bereich und der Ratewahrscheinlichkeit wird Transitionszone oder Schwellenbereich genannt. Der Schwellenwert ist der Visuswert, der noch ausreichend erkannt wird. Bei 50% hat die Kurve ihre stärkste Steigung, den Wendepunkt. Hier ist die Reproduzierbarkeit am höchsten und die Auswirkung von Schwankungen am geringsten, weshalb sich dieser Wert als Schwellenwert für das Auflösungsvermögen am besten eignet [28, 32]. Betrachtet man bei der psychometrischen Funktion die Rohwerte, fällt auf, dass diese auch bei sehr kleinen Visuswerten nicht auf Null abfallen. Das beruht auf der Ratewahrscheinlichkeit p . Das bedeutet, dass die Antworten noch einen Anteil nur geratener Treffer enthalten. Um eine korrigierte Erkennungsrate (KER) der richtigen Antworten ohne Rateanteil zu erhalten kann die Hartmann-Formel verwendet werden. Hiermit kann errechnet werden, wie viele Landoltringe geprüft werden müssen und wie viele Fehler erlaubt sind, damit man etwas über 50% richtige Antworten erhält.

Die Hartmann-Formel: $KER = \frac{N \cdot (n-1) - F \cdot n}{N \cdot (n-1)}$

N =Gesamtzahl der Zeichen pro Visusstufe, n =Zahl der unterschiedlichen Zeichen (oder Positionen), F =Zahl der zulässigen Fehler

In unserem Beispiel mit vier Orientierungen der Landoltringe ergibt sich daraus folgende Rechnung: $KER = \frac{6 \cdot (4-1) - 2 \cdot 4}{6 \cdot (4-1)} = \frac{10}{18} = 0,555$.

Somit entspricht dies ca. 56% richtigen Antworten. Das heißt bei vier Orientierungen müssen vier von sechs Landoltringen richtig erkannt werden. So wurde es auch in der DIN Norm festgelegt [14, 32, 37, 89].

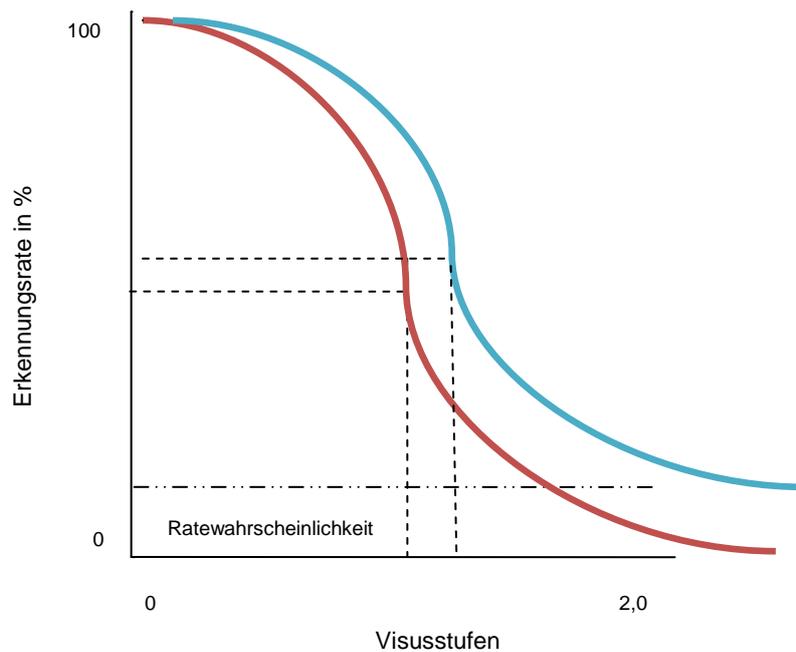


Abbildung 6: psychometrische Funktion, blau: Rohwerte, rot: KER

Quelle: eigene Darstellung

3.3.4.5 Rahmenbedingungen

Die Sehschärfenprüfung unterliegt vielen Störfaktoren. Zu ihnen werden u.a. die Leuchtdichte der Sehzeichen und des Umfeldes, der Kontrast, der verwendete Optotyp, die Abstufung der Sehzeichen, die Lichtfarbe, die Darbietungszeit, die Adaptationsbedingungen, der Beobachtungsabstand, die Bewegung der Testzeichen, die Teststrategie, sowie der Einfluss des Untersuchers gezählt. Zudem gibt es noch sogenannte innere Störfaktoren. Darunter versteht man die intrapersonellen Schwankungen, die trotz gleicher Versuchsbedingungen zu unterschiedlichen Testergebnissen führen[17, 37].

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte ist die von einer flächenhaften Lichtquelle pro Flächeneinheit abgestrahlte Lichtstärke. Sie wird angegeben in Candela (cd) pro m^2 [71]. Mit zunehmender Intensität der Beleuchtung steigt die Sehschärfe an. Bei etwa $1000 \text{ cd}/m^2$ ist eine Sättigung erreicht, so dass eine weitere Erhöhung der Beleuchtung keinen weiteren Anstieg der Sehschärfe mehr bringt [32, 99]. Im Gegenteil bewirken sehr hohe Leuchtdichten sogar eine Verminderung der Seh-

schärfe, aufgrund von Überstrahlung und Blendung [36, 79, 99]. Die Leuchtdichte des Prüffeldes muss laut DIN EN ISO 8596 zwischen 80 und 320 cd/m² liegen. Blendung sollte ausgeschlossen sein [14, 29, 32]. In dem von der Norm angegebenen Bereich der Leuchtdichte sind die zuverlässigsten Ergebnisse zu erwarten, da sich hier Änderungen der Leuchtdichte nur sehr gering auswirken [99].

Kontrast

Als Kontrast bezeichnet man den Leuchtdichteunterschied von einem Bildteil zum anderen. Die Norm legt fest, dass das Sehzeichen maximal 15% der Leuchtdichte des Prüffeldes haben darf. Daraus folgt ein Mindestkontrast von 85% [14, 89]. Ein geringerer Kontrast ergibt eine Verminderung der Auflösung der Sehschärfe [36, 78].

Pupillenweite

Die Aufgabe der Pupille ist die Regulierung des auf die Netzhaut einfallenden Lichts und die Verbesserung der Abbildungsschärfe durch eine optimal angepasste Verengung der Pupillenweite. Die Pupillengröße sollte für die Untersuchung zwischen 2,5 und 6mm betragen, da die Sehschärfe hier relativ konstant bleibt [36].

Prüfdistanz

Physikalisch spielt die Prüferentfernung bei der Sehschärfeprüfung keine Rolle, da der Visus über den entfernungsunabhängigen Sehwinkel definiert ist. Allerdings verringern Luftunruhe und Staubteilchen den Kontrast weit entfernter Objekte, so dass eine geringere Auflösung als für Objekte in der Nähe erreicht wird. In der Praxis hat sich eine Entfernung von fünf Metern für den Fernvisus (20 Fuß oder sechs Meter im angelsächsischen Bereich) und eine Distanz von 40cm für den Nahvisus durchgesetzt. Die Entfernung von fünf Metern bietet sich an, weil bei dieser Distanz fast ohne Akkommodation untersucht werden kann [32]. Nach der Norm wird eine Prüferentfernung von über vier Metern für

den Fernvisus und eine Entfernung von 25-40cm für den Nahvisus festgelegt [14, 32].

3.3.5 Prüfung der Binokularfunktion

Eine besondere Qualität des Binokularsehens stellt die Stereopsis dar. Diese ist abhängig von der monokularen Sehschärfe, von der Helligkeit, von der Stimulusdauer und von der Größe des visuellen Feldes [41]. Die Tiefen- oder Stereosehschärfe ist die geringste Querdisparation, die bei optimalen Abbildungsbedingungen noch stereoskopisch aufgelöst wird. Sie beträgt bei Personen mit normalem beidäugigen Sehen drei bis fünf Bogensekunden im zentralen Gesichtsfeld und entspricht der Noniussehschärfe. In der Peripherie des binokularen Gesichtsfeldes nimmt die Tiefensehschärfe ab [32]. Bei Personen mit manifestem Strabismus ist das räumliche Sehen herabgesetzt bis ganz aufgehoben.

3.3.5.1 Titmus-Stereotest

Der Titmus-Stereotest beruht auf dem haploskopischen Verfahren. Hierbei werden nach Trennung der Seheindrücke beider Augen sich geringfügig unterscheidende, horizontal verschobene Bilddetails dargeboten. Aufgrund der geringen Detailverschiebung werden diese nicht auf korrespondierenden, sondern auf querdisparaten Netzhautstellen abgebildet und dann fusioniert [76].

Für den Titmus-Stereotest müssen die Probanden eine Brille mit Polarisationsfiltern aufsetzen, die nur Licht einer bestimmten Schwingungsebene, der sogenannten Polarisationssebene, durchlassen. Die Polarisationsfilter führen zu einer Trennung beider Augen [32, 55]. Der Test wird in einer Entfernung von etwa 40cm durchgeführt. Durch die Brille betrachtet der Proband Bilder mit gekreuzt querdisparaten Lichtschwingungen. Die kortikale Verarbeitung dieser Bilder lässt sie räumlich erscheinen. Einige Bilddetails erscheinen dann näher als der Hintergrund. So erhält man z.B. den Eindruck, dass die Flügel der Fliege in der Luft schweben und man sie anfassen kann. Die Querdisparation der Fliege beträgt 3000 Bogensekunden und stellt damit einen groben Stereoeindruck dar [89].

Bei dem Titmus-Stereotest gilt es außer der Fliege auch Ringe und Tiere zu erkennen. Der Test beinhaltet neun Sets à vier Ringen. In jedem Set ist ein Ring querdisparat abgebildet, d.h. er erscheint näher als die anderen drei Ringe. Diesen gilt es herauszufinden und richtig zu benennen. Die Ringsets 1 bis 3 sind monokular leicht erkennbar, deshalb können positive Ergebnisse hier noch nicht als Stereosehvermögen interpretiert werden. Sie haben hohe Querdisparitäten von 800-200 Bogensekunden. Bei Ringset 4 sind es nur noch 140 und bei Ringset 9 nur noch 40 Bogensekunden [41, 97]. Die Ringe werden dadurch immer schwerer räumlich zu erkennen.

Bei den Tieren ist das Prinzip ähnlich. Ein Tier aus jeder Reihe ist querdisparat abgebildet. In jeder Reihe werden fünf Tiere angeboten. Auch hier soll das Tier benannt oder gezeigt werden, welches scheinbar hervortritt. Das Tier der Reihe A hat eine Querdisparität von 400 Bogensekunden, das Tier der Reihe B von 200 Bogensekunden und das Tier der Reihe C nur noch von 100 Bogensekunden. Kinder erreichen erst ab dem sechsten Lebensjahr die volle Disparitätsstufe [4, 41].



Abbildung 7: Titmus-Stereotest

Quelle: eigenes Foto

Kinder, die weniger als sechs Ringe richtig erkannt haben, wurden nachuntersucht. Ebenso diejenigen, die die Fliege nicht räumlich sehen konnten oder nicht alle Tierreihen richtig erkannt haben.

3.3.5.2 Der Lang-Stereotest

Der Lang-Stereotest dient der Prüfung des räumlichen Sehens. Er wurde entwickelt für die Untersuchung von Kindern, da die Tafeln mit dem bloßen Auge betrachtet werden können. Dies ist ein großer Vorteil gegenüber anderen Stereotests, wie z.B. dem Titmus-Stereotest, bei denen spezielle Brillen benötigt werden. Da bei Kindern das Aufsetzen einer Brille nicht immer die Mitarbeit fördert, ist die Beteiligung beim Lang-Stereotest oftmals, besonders bei kleinen Kindern, besser. Der Lang-Stereotest basiert auf einer Kombination des Prinzips der Zufallspunktmuster (Random-Dot Pattern) nach Julesz und des Zylinderrasterverfahrens nach Hess [32, 45, 55, 59]. Die Testkarten bieten beiden Augen zwei verschiedene Bilder durch ein System feiner, vertikal parallel angeordneter Halbzyylinder an. Die Bildvorlagen bestehen aus vielen zufallsverteilten schwarzen Punkten auf hellem Grund. Teilmengen dieser Punkte stellen Figuren dar, die in horizontaler Richtung eine systematische Abweichung (Disparation) aufweisen. Die Testtafel wird in ca. 40cm Entfernung vor das zu prüfende Kind gehalten. Dabei muss darauf geachtet werden, dass die Testtafel nicht hin- und her bewegt wird, um falsch positive Ergebnisse zu vermeiden. Durch Bewegungen kann es sonst möglich werden die Figuren auch monokular zu erkennen [32, 55].

Wir haben den Lang-Stereotest II verwendet, auf dem sich ein monokular sichtbarer Stern befindet und drei binokular sichtbare Motive (Elefant, Auto und Mond). Der Lang-Stereotest I hat kein monokular sichtbares Motiv, so dass Kinder ohne Binokularsehen kein Bild erkennen. Der Vorteil von der Tafel II ist, dass die Kinder ohne Stereosehvermögen hier nicht enttäuscht sind, da auch sie ein Motiv erkennen. Der Test eignet sich als Screening-Methode. Kinder, die einen manifesten Strabismus oder Mikrostrabismus haben bestehen den Test meist nicht [32]. Hingegen bestehen Personen mit nicht allzu ausgeprägter Amblyopia ex anisometropia den Test häufig trotzdem. Er ersetzt somit nicht die exakte Visusprüfung [55]. Bei der Amblyopia ex anisometropia zeigen rechtes und linkes Auges unterschiedliche Refraktionswerte. Zur Unterscheidung dieser Amblyopieform und eines Mikrostrabismus eignet sich der Lang-Stereotest sehr gut [56].

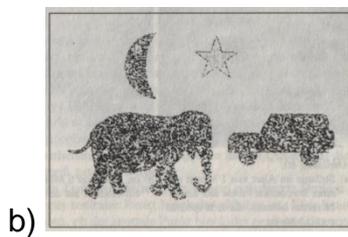


Abbildung 8: Lang-Stereotest II, a: Testtafel, b: stereoskopisch zu erkennenden Motive
 Quelle: a: eigenes Foto, b: Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Hans Huber Verlages

Querdisparitäten des Lang-Stereotests II

Figur	Stern	Elefant	Auto	Mond
Querdisparität in Bogensekunden	200	600	400	200

Tabelle 5: Querdisparitäten des Lang-Stereotests II

3.3.5.3 Bagolini-Streifenglastest

Die Streifengläser sind Plangläser mit einer feinen, dauerhaften, in eine Richtung laufenden Parallelstreifung. Die Streifung entsteht durch sehr feine Rillen in den Plangläsern [32]. Betrachtet man durch sie eine punktförmige Lichtquelle, so sieht man von dieser einen schmalen Lichtschweif ausgehen, der senkrecht zur Streifenrichtung des Glases verläuft. Es werden für den Test Streifengläser in Form eines Brillenvorhalters verwendet. Die Streifenrichtung der Gläser ist nach dem TABO-Schema ausgerichtet. Das rechte Glas 135° und das linke Glas 45° , also in 90° zueinander [2, 32].



Abbildung 9: Bagolini-Streifengläser

Quelle: eigenes Foto

Die Streifengläser beeinträchtigen Raumwahrnehmung und Sehschärfe kaum. Die Fusion ist nicht unterbrochen. Man erhält dadurch einen monokularen Seheindruck unter nahezu natürlichen Sehbedingungen. Deshalb kann mithilfe des Bagolini-Streifenglastests zwischen Fusion, Diplopie und Suppression unterschieden werden [32, 89]. Der Proband wird aufgefordert ein Licht durch die Plangläser zu fixieren und dann anzugeben wie die Lichtschweif zueinander stehen. Jedes Auge sieht durch diese Gläser einen Lichtschweif verschiedener Richtung. Der Lichtschweif des rechten Auges verläuft von rechts oben nach links unten und der des linken Auges von links oben nach rechts unten. Diese beiden Eindrücke vereinen sich, so dass ein Kreuz entsteht. Im Normalfall sollte sich die Lichtquelle im Zentrum des Kreuzes befinden und dieses symmetrisch sein. Ist dies der Fall, kann ein Parallelstand der Augen und eine normale Netzhautkorrespondenz vorliegen. Allerdings sehen auch Personen mit einem Strabismus mit harmonischer, anomaler Netzhautkorrespondenz ein symmetrisches ununterbrochenes Kreuz [32, 56, 89]. Wird nur ein Lichtschweif gesehen, besteht eine Suppression des anderen Auges. Werden beide Lichtschweif gesehen, aber ein Streifen in der Nähe des Lichtes unterbrochen, so besteht ein Skotom. Sind die Lichtschweif zueinander verschoben, liegt ein Strabismus vor [56].

Eine Schwierigkeit dieses Tests ist es vom Prüfling eine ausreichend genaue Antwort zu erhalten. Es ist hierfür hilfreich den Prüfling seinen Seheindruck zeichnen zu lassen. Auch die Verwendung von Bildvorlagen, bei denen der Prüfling zeigen soll, welches Schweifkrenz er gesehen hat, kann helfen. Der Test kann ab dem fünften Lebensjahr angewandt werden [30].

3.3.6 Prüfung von Fehlstellungen der Augen

Heterophorien (latentes Schielen) und -tropien (manifestes Schielen) können mit dem Ab- und Aufdecktest (Cover- und Uncovertest) nachgewiesen werden.

3.3.6.1 Ab- und Aufdecktest (Cover- and Uncovertest)

Beim **Abdecktest (Covertest)** bittet man den Probanden ein Objekt zu fixieren, z.B. eines in der Nähe. Dann verdeckt man ein Auge, welches man als das Fixierende empfindet, mit einer Abdeckscheibe und beobachtet, ob das andere Auge eine Einstellbewegung macht. Das gleiche macht man wenn der Proband ein Objekt in der Ferne fixiert. Ist eine Einstellbewegung festzustellen liegt ein manifestes Schielen (Heterotropie) vor. Das zuvor schielende Auge hat nun die Fixation übernommen. Wird bei diesem Test das schielende Auge abgedeckt, kommt es zu keiner Einstellbewegung, da das offene Auge von vorneherein fixiert. Ebenso kommt es zu keiner Einstellbewegung, wenn kein Schielen vorliegt [30, 32, 35]. Der Test wird immer für beide Augen in der Nähe und in der Ferne durchgeführt. Bei Säuglingen kommt es häufig zu einer Abwehrbewegung, wenn das bessere Auge abgedeckt wird [102]. Durch den einseitigen Abdecktest kann ein manifestes Schielen herausgefunden werden und durch den alternierenden Abdecktest ein latentes Schielen. Dafür deckt man beim alternierenden Abdecktest das rechte und linke Auge abwechselnd ab [30]. Eine Einstellbewegung erfolgt von jeweils dem Auge, welches die Fixation aufnimmt. Tritt auch hier keine Einstellbewegung auf, handelt es sich um eine Orthophorie, also ein Parallelstand beider Augachsen [35].

Durch den **Aufdecktest (Uncovertest)** lässt sich latentes Schielen (Heterophorie) nachweisen. Hierbei wird ebenfalls jeweils ein Auge abgedeckt. Beim Wiederaufdecken wird beobachtet, ob es zu Nachstellbewegungen kommt. Besteht eine Heterophorie kommt es beim abgedeckten Auge zu einer Abweichung der Augachse, da die Fusion nun aufgehoben ist. Beim Aufdecken kommt es dann durch die Wiederherstellung der Fixation zu einer Korrektur der Sehlinie in die Parallelstellung. Eine Bewegung nach nasal würde dann für eine Exophorie und eine temporale Bewegung für eine Esophorie sprechen. Liegt eine Orthophorie

vor, so kommt es zu keiner Bewegung [35, 102]. Auch dieser Test wird für beide Augen in der Nähe und in der Ferne durchgeführt.

3.4 Statistische Auswertung

Die Darstellung der Ergebnisse wurde mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel, Version 2003 durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS[®], Version 15.0.

3.4.1 Berechnung des Mittelwerts

Zur Berechnung des Mittelwerts stehen einem zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Die Berechnung des arithmetischen oder des geometrischen Mittels. Für unsere Berechnungen ist der geometrische Mittelwert besser geeignet, da es sich bei unseren Daten um logarithmisch skalierte Werte handelt. Nach Holladay und Prager müssen hierfür die Visuswerte logarithmiert, dann arithmetisch gemittelt und anschließend entlogarithmiert werden. Als Ergebnis erhält man den geometrischen Mittelwert [46]. Anhand eines Beispiels lässt sich am besten verdeutlichen, warum das geometrische Mittel besser geeignet ist, als das arithmetische Mittel. Wenn ein Proband einen Visuswert von 1,0 erreicht und ein anderer einen Visuswert von 0,1, so würde das arithmetische Mittel 0,55 betragen. Dieser Wert liegt ca. 3 Visusstufen von 1,0 entfernt, aber ca. 7 Visusstufen von 0,1, da die Visusstufen logarithmiert skaliert sind. Der geometrische Mittelwert berücksichtigt diese Skalierung. Werden die Werte 1,0 und 0,1 zuerst logarithmiert, dann arithmetisch gemittelt und anschließend entlogarithmiert, so erhält man einen Mittelwert von 0,32. Dieser Wert liegt nun jeweils 5 Visusstufen von 1,0 und 0,1 entfernt.

3.4.2 Wilcoxon-Test

Der Wilcoxon-Test eignet sich für die Berechnung signifikanter Unterschiede zweier abhängiger (verbundener) Stichproben. Er basiert auf der Vergabe von Rangplätzen. Man geht bei diesem Test von der Nullhypothese aus, dass es zwischen zwei Werten keinen signifikanten Unterschied gibt [20, 95].

3.4.3 Mann-Whitney-U-Test

Den Mann-Whitney-U-Test nennt man auch Wilcoxon-Test für unverbundene Stichproben. Dieser Test basiert ebenfalls auf der Vergabe von Rangplätzen und stellt einen Lagevergleich zweier unabhängiger Stichproben dar. Er setzt keine Normalverteilung voraus und gehört zu den verteilungsunabhängigen Verfahren. So führt eine logarithmische Transformation von Daten (mit positiven Vorzeichen) nicht zu einer Veränderung der Ränge [20, 94, 95].

3.4.4 Random-Effects-Metaanalyse

Die Random-Effects-Metaanalyse dient dem Vergleich mehrerer Studien miteinander [73, 74].

4 Ergebnisse

Hier werden die Ergebnisse der Arbeit mithilfe von Tabellen und Diagrammen, sowie die statistische Auswertung dieser Daten dargestellt.

Von den 204 untersuchten Kindern wurden 183 als augengesund eingestuft. 21 Kinder haben die Tests nicht bzw. nicht mit den altersgemäßen Leistungen erfüllt. Sie wurden daraufhin der Ausschlussgruppe (Gruppe 2) zugeordnet.

Zuerst werden die Ergebnisse der augengesunden Kinder (Gruppe 1) aufgeführt. Die der Gruppe 2 werden später getrennt aufgeführt.

4.1 Visuswerte der augengesunden Kinder

Bei 18 Kindern fand die Untersuchung der Sehschärfe unter Korrektur des Refraktionsfehlers statt. Die Untersuchungen ergaben folgende Visuswerte.

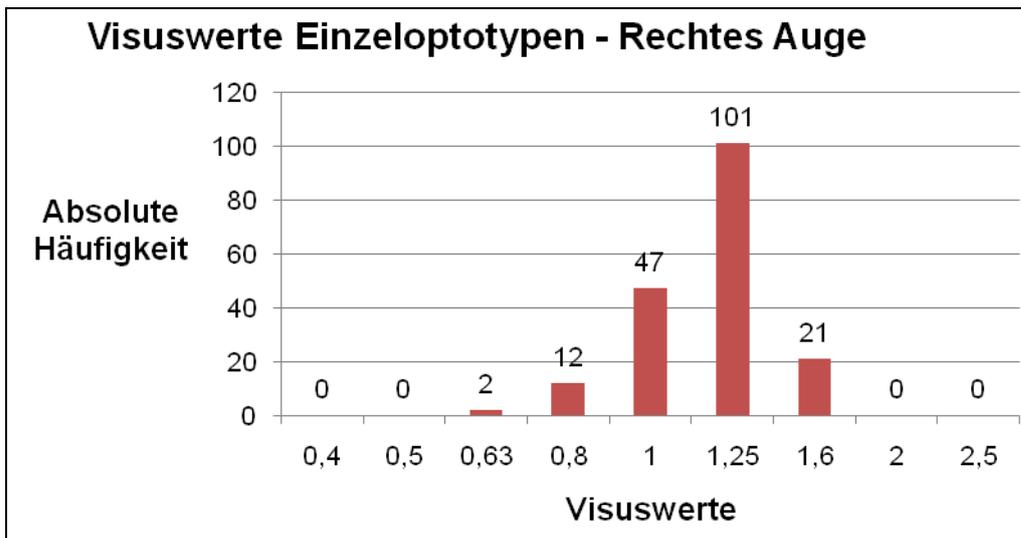


Abbildung 10: Visuswerte Einzeloptotypen - Rechtes Auge

Geometrisches Mittel: 1,17

Standardabweichung: 0,21

Standardabweichung in Visusstufen: 0,79

95%-Konfidenzintervall des geometrischen Mittels: [1,13;1,21]

Median: 1,25

95%-Konfidenzintervall des Medians: [1,25;1,25]

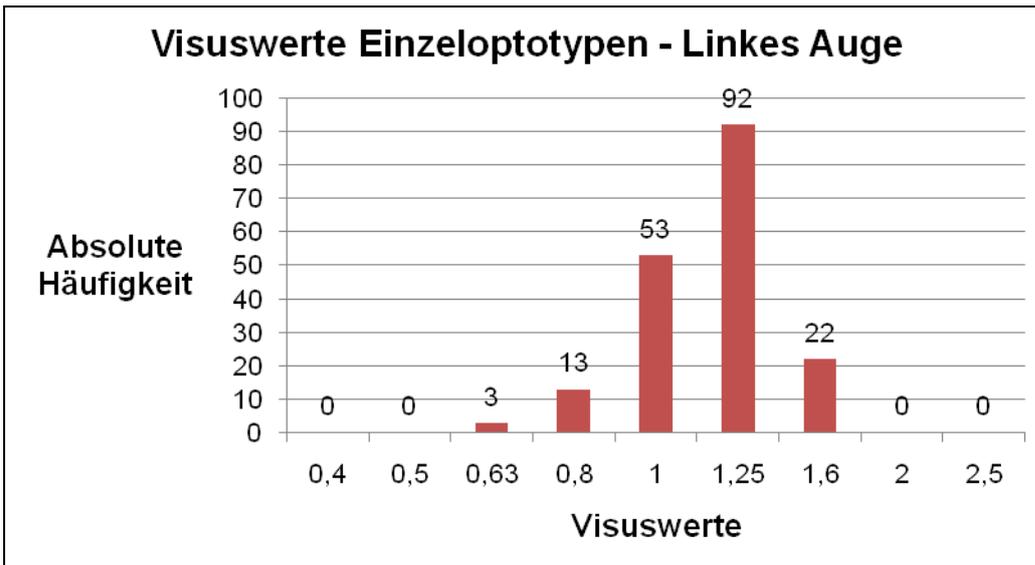


Abbildung 11: Visuswerte Einzeloptypen - Linkes Auge

Geometrisches Mittel: 1,16

Standardabweichung: 0,22

Standardabweichung in Visusstufen: 0,79

95%-Konfidenzintervall des geometrischen Mittels: [1,12;1,19]

Median: 1,25

95%-Konfidenzintervall des Medians: [1,25;1,25]

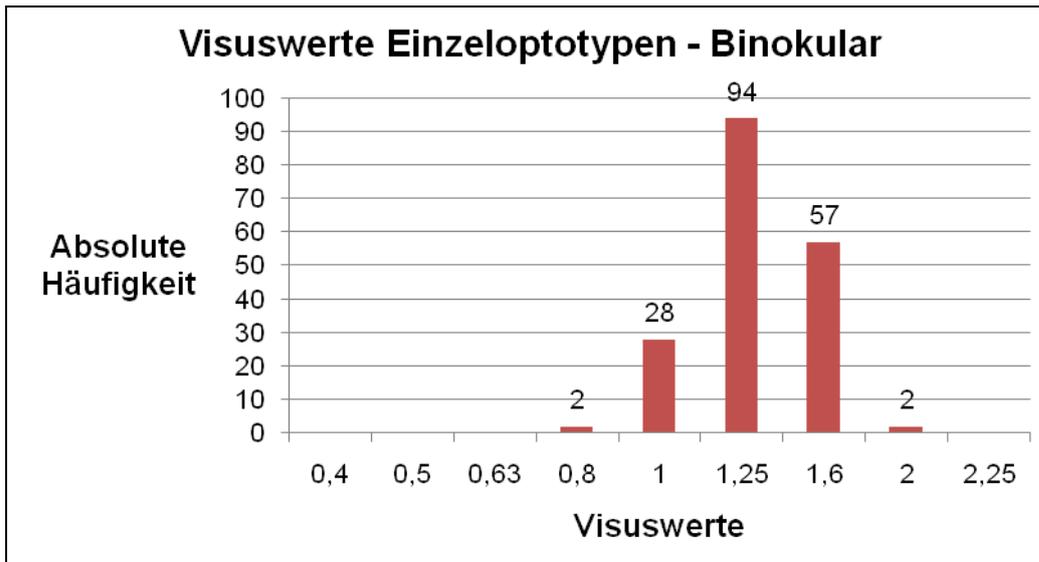


Abbildung 12: Visuswerte Einzeloptypen - Binokular

Geometrisches Mittel: 1,30

Standardabweichung: 0,23

Standardabweichung in Visusstufen: 0,76

95%-Konfidenzintervall des geometrischen Mittels: [1,26;1,34]

Median: 1,25

95%-Konfidenzintervall des Medians: [1,25;1,25]

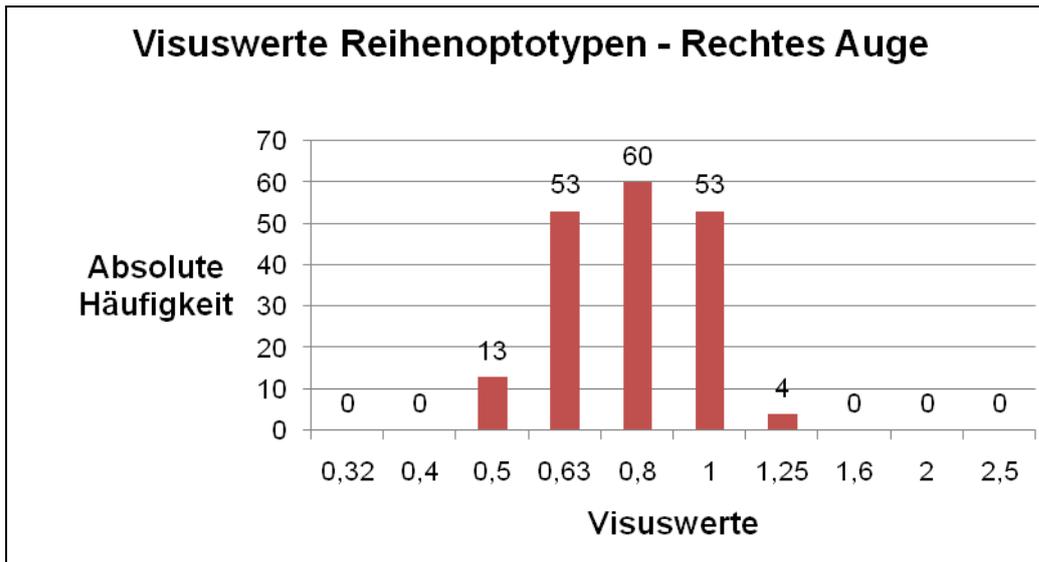


Abbildung 13: Visuswerte Reihenoptotypen - Rechtes Auge

Geometrisches Mittel: 0,78

Standardabweichung: 0,18

Standardabweichung in Visusstufen: 1,01

95%-Konfidenzintervall des geometrischen Mittels: [0,76;0,8]

Median: 0,8

95%-Konfidenzintervall des Medians: [0,8;0,8]

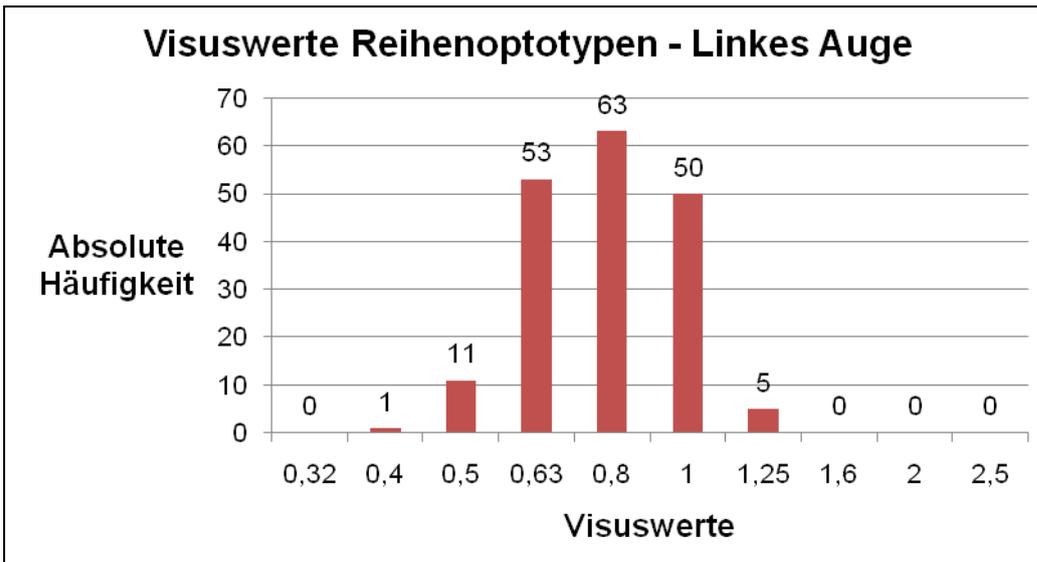


Abbildung 14: Visuswerte Reihenoptotypen - Linkes Auge

Geometrisches Mittel: 0,78

Standardabweichung: 0,18

Standardabweichung in Visusstufen: 1,01

95%-Konfidenzintervall des geometrischen Mittels: [0,75;0,8]

Median: 0,8

95%-Konfidenzintervall des Medians: [0,8;0,8]

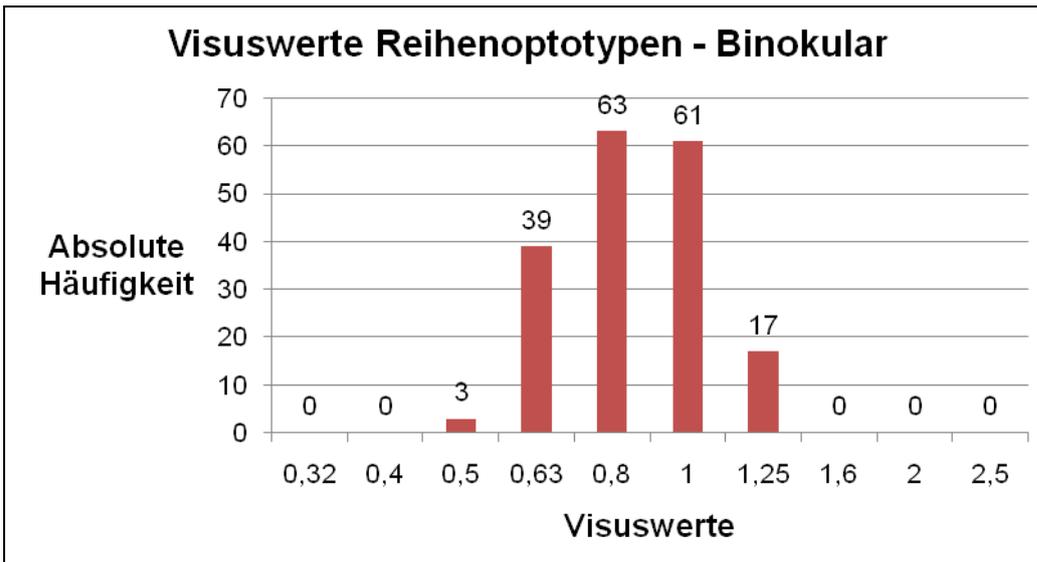


Abbildung 15: Visuswerte Reihenoptotypen - Binokular

Geometrisches Mittel: 0,85

Standardabweichung: 0,19

Standardabweichung in Visusstufen: 0,99

95%-Konfidenzintervall des geometrischen Mittels: [0,83;0,87]

Median: 0,8

95%-Konfidenzintervall des Medians: [0,8;1,0]

4.2 Ergebnisse des Stereosehens der augengesunden Kinder

4.2.1 Titmus-Stereotest

Um den Titmus-Test durchführen zu können mussten die Kinder eine Brille mit polarisierenden Gläsern aufsetzen. Die Ringe 1 bis 3 sind leicht zu erkennen, da sie eine hohe Querdisparität haben. Bei ausreichender Aufmerksamkeit kann hier bereits monokular der querdisperate Ring erkannt werden.

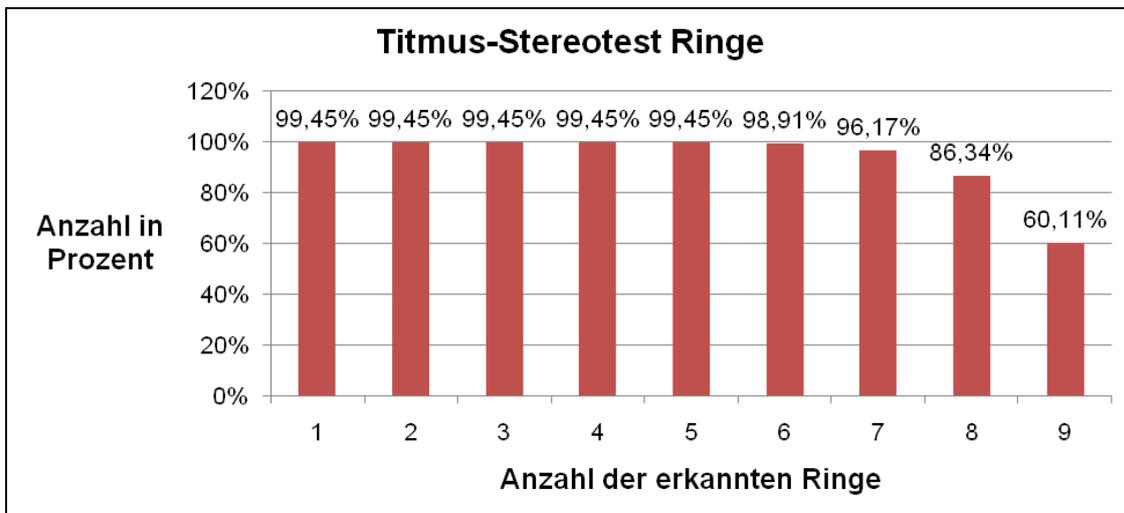


Abbildung 16: Titmus-Stereotest Ringe

Titmus-Stereotest Ringe

Anzahl der erkannten Ringe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anzahl der Kinder	182	182	182	182	182	181	176	158	110

Tabelle 6: Anzahl der erkannten Titmus-Stereotest Ringe

Aus der Abbildung und der Tabelle ist zu entnehmen, dass 110 (60,11%) der Kinder alle Ringe plastisch erkannt haben. 158 (86,34%) der Kinder haben die Ringsets 1 bis 8 richtig erkannt. Den größten Sprung in der Erkennung der Ringe gab es zwischen dem achten und dem neunten Ringset. Ein Kind hatte den Test nicht verstanden (0,55%). Daher die Abweichung von einhundert Prozent.

Bei dem Titmus-Stereotest gab es außerdem drei Reihen von Tieren zu erkennen. Die Reihe A ist am leichtesten zu erkennen und die Reihe C am schwersten. Bei diesem Teil des Tests haben 181 (98,9%) Kinder alle Tiere richtig er-

kannt. Zwei Kinder haben nur die Reihe B (1,1%) richtig erkannt. Bei diesen Kindern war es allerdings fraglich, ob sie die Tiere nicht erkannt haben, oder ob es sprachliche Schwierigkeiten bzw. Verständnisschwierigkeiten gab, die zu diesem Ergebnis geführt haben.

Außerdem ist beim Titmus-Stereotest eine Fliege bzw. deren Flügel räumlich (dreidimensional) zu erkennen. Die Kinder wurden hierbei aufgefordert die Flügel der Fliege anzufassen. Wenn sie in die Luft oberhalb der Testtafel griffen, war der Test als positiv zu werten. Alle augengesunden Kinder haben die Flügel räumlich erkannt.

4.2.2 Lang-Stereotest

Wir haben den Lang-Stereotest II verwendet. Der Stern ist bei dem Lang-Stereotest II immer zu sehen, das heißt auch wenn ein Kind kein räumliches Auflösungsvermögen hat. Alle 183 augengesunden Kinder haben den Stern und den Mond erkannt. Das Auto haben 182 (99,5%) Kinder richtig erkannt und ein (0,5%) Kind nicht. Den Elefanten haben 179 (97,8%) Kinder richtig erkannt und vier (2,2%) Kinder nicht. Bei dem Elefanten war es zum Teil fragwürdig, ob die Kinder den Elefanten nicht erkannt haben oder den Namen des Tieres nicht kannten und ihn deshalb nicht richtig benennen konnten.

4.2.3 Bagolini-Streifenglastest

Alle Kinder dieser Gruppe haben das Schweifkreuz normal gesehen, sowohl für die Ferne, als auch für die Nähe.

4.3 Untersuchung der Augenstellung der augengesunden Kinder

Der Abdecktest zeigte bei allen 183 Kindern dieser Gruppe keine Auffälligkeiten, welches auch eine Voraussetzung für die Zuteilung zu dieser Gruppe war. Der Aufdecktest zeigte bei drei Kindern einen latenten Strabismus, wovon zwei eine Esophorie und eines eine Exophorie hatten. Alle anderen Kinder hatten somit eine Orthophorie.

4.4 Ergebnisse der Gruppe 2

Diese Gruppe besteht aus 21 Kindern. Es handelt sich hierbei um die sogenannte Ausschlussgruppe.

Ein Kind hatte eine Lidrandentzündung und eine dadurch bedingte, verschlechterte visuelle Funktion. Somit konnte es zum Zeitpunkt der Untersuchungen nicht in die Gruppe der augengesunden Kinder aufgenommen werden.

4.4.1 Visuswerte

Bei zehn Kindern fand die Untersuchung der Sehschärfe unter Korrektur des Refraktionsfehlers statt. Bei einem Kind war das Ergebnis mit und ohne Korrektur des Refraktionsfehlers identisch (EOP: 1,0 binokular, ROP: 0,63 binokular). Da die Größe dieser Gruppe sehr klein war, haben wir auf die Darstellung der Visuswerte in Form von Säulendiagrammen verzichtet. Eine Übersicht über die Ergebnisse, sowie über die Diagnosen und die eventuell vorhandenen Brillenstärken, ist in einer Tabelle am Ende dieses Kapitels dargestellt.

4.4.2 Titmus-Stereotest

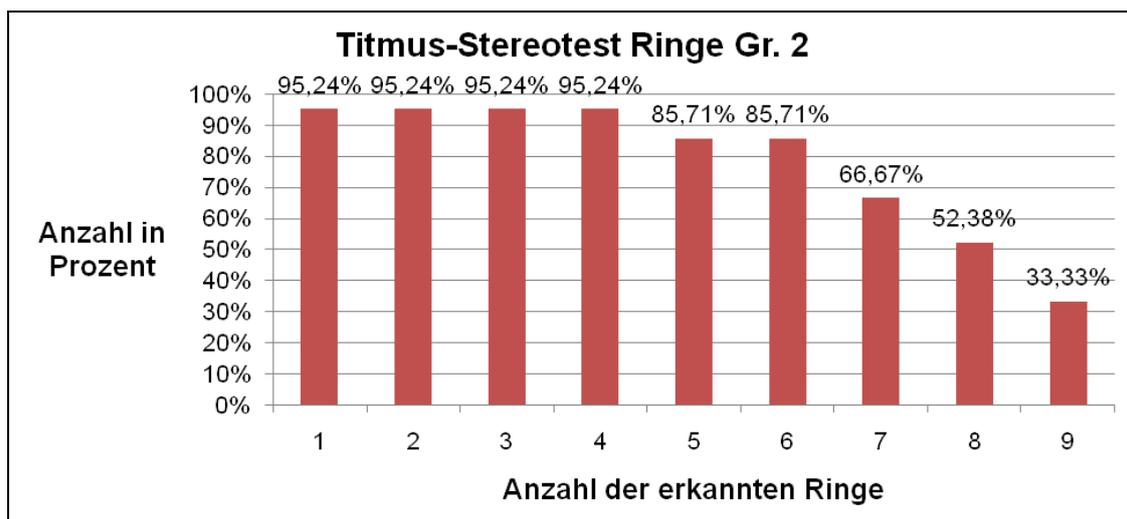


Abbildung 17: Titmus-Stereotest Ringe Gr. 2

Titmus-Stereotest Ringe Gr. 2

Anzahl der erkannten Ringe	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Anzahl der Kinder	20	20	20	20	18	18	14	11	7

Tabelle 7: Anzahl der erkannten Titmus-Stereotest Ringe Gr. 2

Der Abbildung und der Tabelle ist zu entnehmen, dass sieben (33,33%) Kinder alle neun Ringe erkannt haben. Elf (52,38%) Kinder haben die Ringsets 1 bis 8 richtig erkannt. Die größten Sprünge bei der Erkennung der Ringe war zwischen Ringset 8 und 9 und zwischen Ringset 6 und 7. Bei einem Kind (4,8%) ist es fraglich, ob es die Ringe erkannt hatte. Deshalb die Abweichung von einhundert Prozent.

Bei dem Titmus-Stereotest mussten außerdem drei Reihen von Tieren erkannt werden, wobei Reihe A am einfachsten und Reihe C am schwierigsten zu erkennen ist. 16 (76,2%) Kinder haben alle Tiere richtig erkannt. Bei einem (4,8%) Kind ist es fraglich, ob es die Tiere erkannt hat (s.u. in Tabelle Übersicht Gr. 2, Nr. 207). Und ein (4,8%) Kind hat nur die Reihe C erkannt. Dieses Kind schielt abwechselnd mit beiden Augen und hat auch andere, z.B. motorische, Beeinträchtigungen. Ein (4,8%) Kind hat die Tiere nicht erkannt. Ein (4,8%) Kind hat nur die Reihe A erkannt und ein (4,8%) Kind hat nur die Reihen A und B erkannt. Die Kinder, die die Tiere nicht oder nur zum Teil erkannt haben, haben visuelle Schwächen, wie z.B. starke Hyperopie und/oder Strabismus.

Weiterhin mussten beim Titmus-Stereotest die Flügel einer Fliege räumlich (dreidimensional) erfasst werden. 17 (81,0%) Kinder haben die Flügel räumlich sehen können. Bei einem (4,8%) Kind war es fraglich (s.u. Nr. 207), ob es die Flügel räumlich gesehen hat. Drei (14,3%) Kinder haben die Fliege nicht erkannt. Diese Kinder haben visuelle Schwächen, wie z.B. Strabismus oder nicht korrigierte Refraktionsfehler. Eines der Kinder hatte trotz Aufforderung seine Brille auch zur Nachuntersuchung nicht dabei.

4.4.3 Lang-Stereotest

Der Stern wurde von 20 (95,2%) Kindern richtig erkannt. Nur bei einem Kind war es auch hier fraglich, ob der Stern erkannt wurde. 18 (85,7%) Kinder haben den Mond sicher erkannt. Bei einem (4,8%) Kind war es fraglich, ob der Mond wirklich erkannt wurde. Zwei (9,5%) Kinder haben ihn nicht erkannt. Das Auto haben 16 (76,2%) Kinder richtig erkannt. Bei einem (4,8%) Kind war es fraglich und vier (19,0%) haben das Auto nicht erkannt. Den Elefanten haben 14 (66,7%) Kinder erkannt. Bei einem (4,8%) Kind war es fraglich und sechs (28,6%) Kinder haben ihn nicht erkannt. Bei einem Kind war es nicht eindeutig herauszufinden, ob es die Tiere von den anderen Kindern auswendig gelernt hatte oder sie wirklich erkannt hatte (s.u. Nr. 207).

4.4.4 Bagolini-Streifenglastest

Beim Bagolini-Streifenglastest haben acht Kinder das Schweifkreuz disharmonisch gesehen. Davon hatte ein Kind eine Suppression links, die anderen Kinder haben ein verschobenes Schweifkreuz gesehen.

4.4.5 Augenmotorik

Es fanden sich zwölf Kinder mit einem Strabismus. Davon hatten zwei Kinder einen latenten Strabismus mit je einer Esophorie und einer Exophorie. Zehn Kinder hatten ein manifestes Schielleiden. Davon hatten sechs Kinder eine Esotropie (eines davon alternierend), drei Kinder eine Exotropie und ein Kind Höhenschielen.

Drei der Kinder mit Schielleiden waren bereits in Behandlung. Zwei hatten Okklusionspflaster und ein Kind hatte bereits eine Augenmuskel-Operation. Leider war es uns nicht möglich herauszufinden, was bei der Operation genau gemacht wurde. Von den Schielkindern waren außerdem fünf Kinder amblyop.

Übersicht Daten Gruppe 2

Fall-Nr.	Visuswerte-Einzeloptotypen		Visuswerte-Reihenoptotypen		Brillenwerte [dpt]			Weitere Befunde und Diagnosen			
	rechts	links	binokular	rechts	links	binokular	Auge		sph	cyl	Achse
5	0,50	0,63	0,63 (cc)	0,32	0,32	0,5 (cc)	rechtes linkes	0,75	-1,75 -2,5	30° 150°	Esophorie, Amblyopie, Astigmatismus, Hyperopie
13	1,0	1,6	1,0	0,8	1,0	0,63	rechtes linkes				Lang & Titmus negativ, Motorik & Bagolini disharmonisch, alternierender Strabismus konvergens
22	1,0	0,8	1,25	0,63	0,63	0,63	rechtes linkes				Astigmatismus
25	0,50	0,63	0,8	0,4	0,4	0,4	rechtes linkes				Starke, nicht korrigierte Myopie, dadurch Stereosehen vermindert
37	0,13	0,13	0,2	0,16	0,16	0,2	rechtes linkes				sehr starke, bisher nicht korrigierte Myopie
44	1,0	1,0	1,0	0,63	0,63	0,8	rechtes linkes				Bagolini disharmonisch, Lang negativ, Hyperopie, Astigmatismus bds., Strabismus divergens
50	1,0	0,8	1,0 (cc)	0,63	0,5	0,63 (cc)	rechtes linkes	1 2,5	-1 -3,5	30° 155°	Exophorie, Hyperopie, Astigmatismus
54	0,63	0,63	0,8 (cc)	0,32	0,32	0,5	rechtes linkes	bei Vermessung Brille nicht dabei			Stereotests negativ, Strabismus konvergens bds., Astigmatismus mixus bds., Myopie, Hyperopie
60	0,80	1,25	1,0	0,63	0,5	0,63	rechtes linkes	bei Vermessung Brille nicht dabei			Astigmatismus, Myopie, Strabismus konvergens
67	1,0	1,25	1,0	0,63	0,63	0,63	rechtes linkes				Lidrandentzündung, Astigmatismus bds.
72	1,0	1,0	1,25 (cc)	0,63	0,63	0,63 (cc)	rechtes linkes	3,5 3,5	-2,5 -1,25	175° 0°	Stereotests negativ, Strabismus konvergens, wird okkludiert, Astigmatismus, Hyperopie
73	1,0	0,63	0,8	0,5	0,5	0,5	rechtes linkes				Myopie
74	0,50	0,5	0,5 (cc)	0,32	0,32	0,32	rechtes linkes	bei Vermessung Brille nicht dabei			Myopie
84	1,0	1,0	1,25 (cc)	0,63	0,63	0,63 (cc)	rechtes linkes	4 3	1	10°	Strabismus konvergens, Okklusionspflaster, stark Hyperop, Astigmatismus
90	0,80	0,8	1,0 (cc)	0,5	0,63	0,63 (cc)	rechtes linkes	2,75 2	-0,75 -0,75	105° 25°	Z.n. Augenmuskel-OP rechts, Strabismus divergens und Amblyopie rechts, Hyperopie, Astigmatismus
91	0,50	0,63	0,63 (cc)	0,32	0,32	0,4 (cc)	rechtes linkes	nicht messbar nicht messbar			Stereotests negativ, starke Myopie, Astigmatismus, Nystagmus, Amblyopie bds., Strabismus konvergens
120	1,60	1,0	1,6	0,63	0,5	0,63	rechtes linkes				Höhenschielen, Dysfunktion des M. obliquus inf. links, Amblyopie links
125	0,50	1,0	0,63 (cc)	0,4	0,5	0,5	rechtes linkes	-0,5 -0,75	-0,5	65°	stärkere Brille notwendig, Myopie, Astigmatismus
133	0,63	0,5	0,63	0,5	0,4	0,5	rechtes linkes				Myopie
205	0,80	0,8	1,0 (cc)	0,63	0,63	0,63 (cc)	rechtes linkes	1,75 1,5	-3,75 -3	10° 175°	Hyperopie, Astigmatismus mixus
207	0,32	1,25	1,6	0,32	0,63	0,8	rechtes linkes				Stereotests negativ, Strabismus divergens, Amblyopie rechts, Myopie rechts

Tabelle 8: Übersicht Daten Gruppe 2

4.5 Vergleiche innerhalb der Gruppe 1

4.5.1 Vergleich der Sehschärfe des rechten und des linken Auges

Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen der Sehschärfe des rechten und des linken Auges? Dies wurde mithilfe des Wilcoxon-Tests geprüft. Der Wilcoxon-Test ist deshalb geeignet, da es sich hier um einen Vergleich zweier verbundener Stichproben handelt. Das Signifikanzniveau α wurde auf 5% festgelegt, d.h. $\alpha=0,05$. Die Nullhypothese H_0 lautet, dass zwischen der Sehschärfe des rechten und der des linken Auges kein Unterschied besteht. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für das rechte Auge eine bessere Sehschärfe zu erreichen gleich der Wahrscheinlichkeit ist für das linke Auge eine bessere Sehschärfe zu erreichen. Die Visusstufendifferenz stellt die Abweichung des Visus des rechten Auges zum Visus des linken Auges dar. Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass der Visus des rechten Auges um die entsprechende Visusstufe kleiner ist, als der Visus des linken Auges. Ein positives Vorzeichen bedeutet, dass der Visus des rechten Auges um die entsprechende Visusstufe größer ist, als der Visus des linken Auges.

4.5.1.1 Für Einzeloptypen

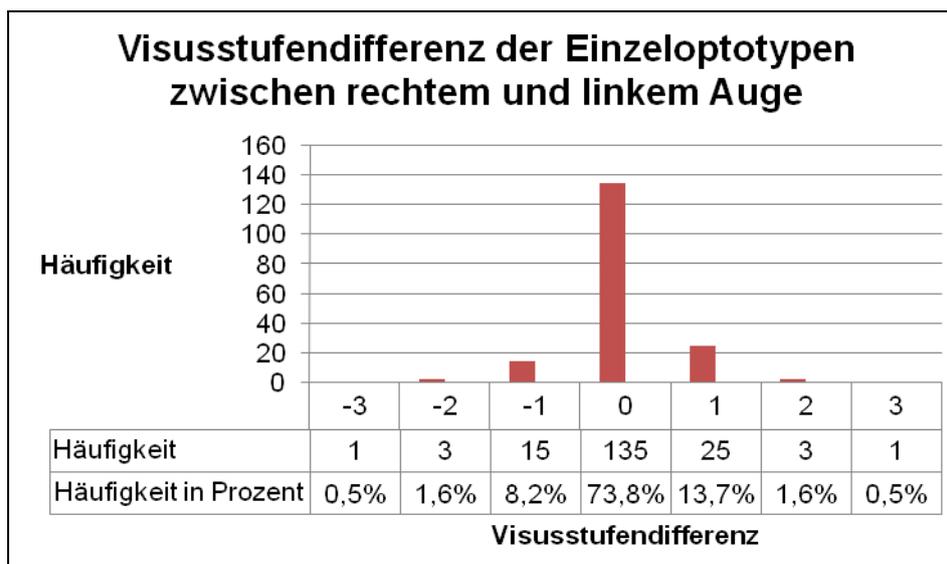


Abbildung 18: Visusstufendifferenz der Einzeloptypen zwischen rechtem und linkem Auge

Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass 10,3% der Kinder rechts einen schlechteren Visus hatten als links und 15,8% rechts einen besseren Visus hatten als links. Bei 73,8% besteht kein Unterschied zwischen dem Visus des rechten und des linken Auges. Die Visusstufendifferenz zwischen dem rechten und linken Auge beträgt im Mittel 0,32.

Die Prüfung ergab $p=0,319$. Die Nullhypothese ist somit anzunehmen. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen dem rechten und linken Auge.

4.5.1.2 Für Reihenoptotypen

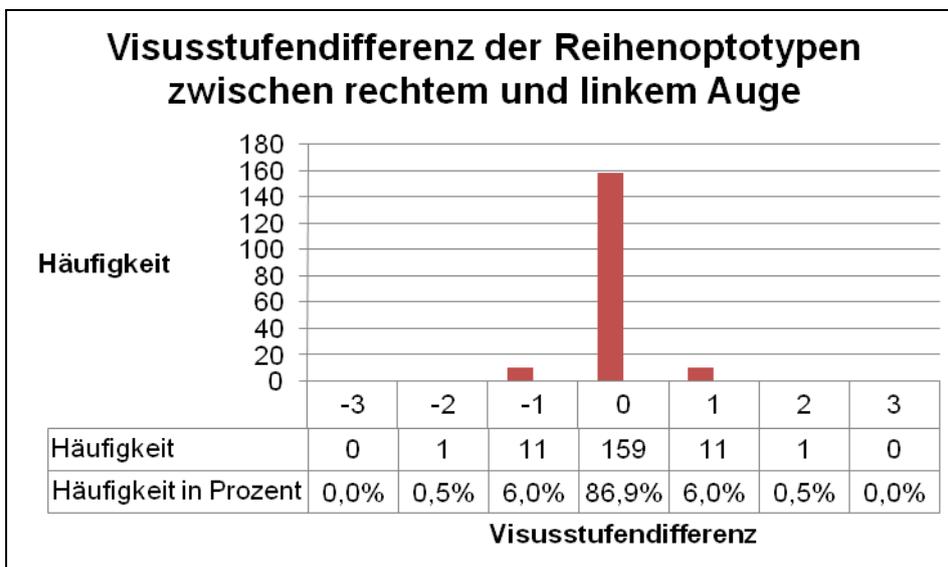


Abbildung 19: Visusstufendifferenz der Reihenoptotypen zwischen rechtem und linkem Auge

Aus dieser Abbildung ist zu erkennen, dass sowohl 6,5% rechts einen schlechteren als auch einen besseren Visus erzielten als links. Bei 86,9% der Kinder bestand kein Unterschied zwischen dem Visus des rechten und des linken Auges. Die Visusstufendifferenz beträgt im Mittel 0,14.

Die Prüfung ergab $p=0,852$. Die Nullhypothese ist somit anzunehmen. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen dem rechten und linken Auge.

Es ist willkürlich das rechte Auge gewählt worden um die folgenden Vergleiche zwischen dem monokularen und binokularen Sehen durchzuführen.

4.5.2 Vergleich der Sehschärfe des rechten Auges mit der binokularen Sehschärfe

Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen der Sehschärfe des monokularen zu der des binokularen Sehens? Für diese Fragestellung haben wir ebenfalls den Wilcoxon-Test verwendet. Die Nullhypothese H_0 lautet, dass zwischen der monokularen und der binokularen Sehschärfe kein Unterschied besteht. Das heißt, dass die Wahrscheinlichkeit eine bessere monokulare Sehschärfe zu erreichen gleich der Wahrscheinlichkeit eine bessere binokulare Sehschärfe zu erreichen ist. Ein negatives Vorzeichen bedeutet hierbei, dass die Sehschärfe des rechten Auges um die entsprechenden Visusstufen geringer ist als die des binokularen Sehens. Ein positives Vorzeichen besagt, dass die monokulare Sehschärfe besser als die binokulare Sehschärfe ist.

4.5.2.1 Für Einzeloptypen

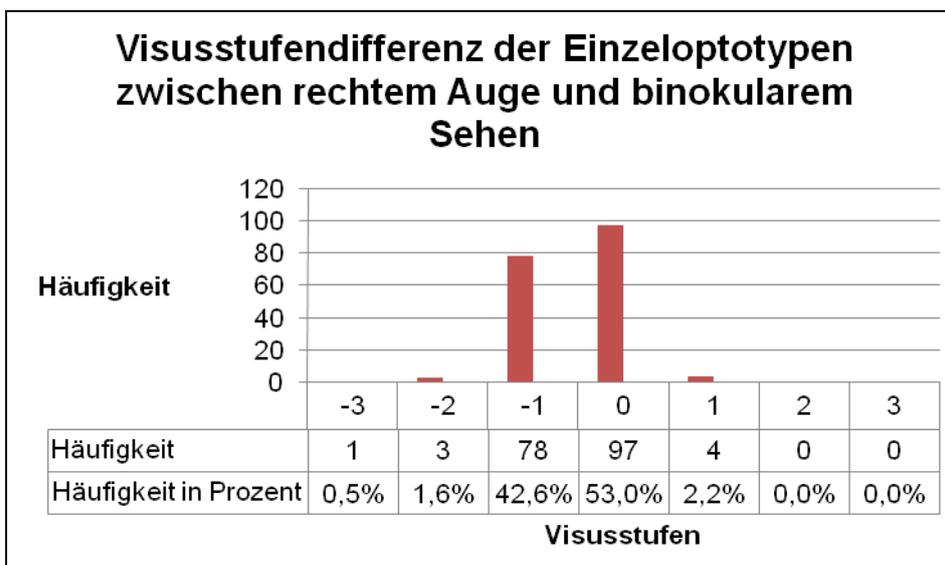


Abbildung 20: Visusstufendifferenz der Einzeloptypen zwischen rechtem Auge und binokularem Sehen

Die Abbildung zeigt, dass 44,7% der Kinder einen um mindestens eine Visusstufe schlechteren Visus für das rechte Auge erreichten als für das binokulare Sehen. Bei 53% der Kinder bestand kein Unterschied zwischen dem Visus des monokularen und des binokularen Sehens für Einzeloptypen. Nur 2,2% erreichten monokular einen besseren Visus als binokular. Die Visusstufendiffe-

renz zwischen dem monokularen und binokularen Sehen beträgt im Mittel 0,5. Die Prüfung ergab $p < 0,001$. Die Nullhypothese ist somit abzulehnen. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der monokularen und binokularen Sehschärfe der Einzeloptotypen zugunsten der binokularen Sehschärfe.

4.5.2.2 Für Reihenoptotypen

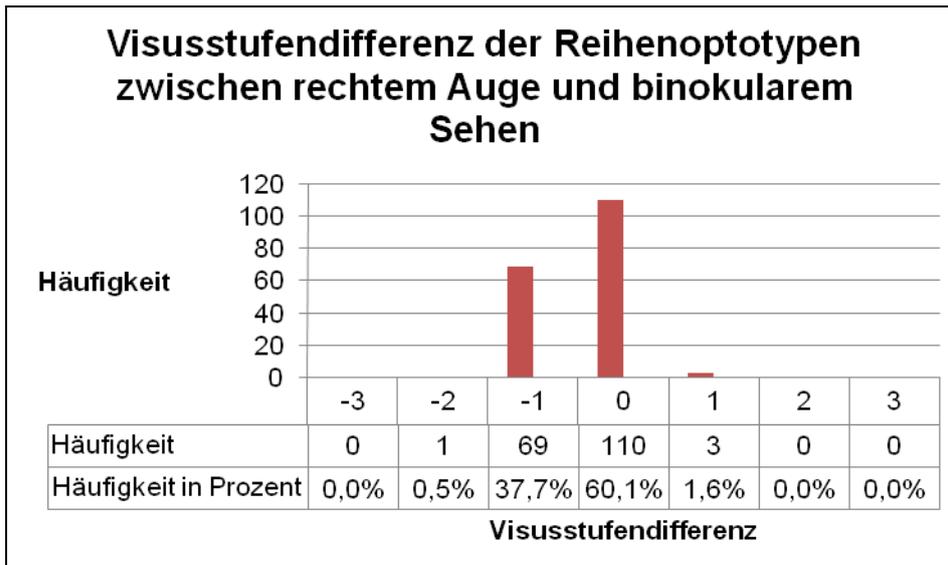


Abbildung 21: Visusstufendifferenz der Reihenoptotypen zwischen rechtem Auge und binokularem Sehen

Dieser Abbildung ist zu entnehmen, dass 38,2% der Kinder für das rechte Auge einen schlechteren Visus erreicht haben als für das binokulare Sehen. Bei 60,1% der Kinder bestand kein Unterschied zwischen dem monokularem und dem binokularem Sehen. Lediglich 1,6% der Kinder haben einen besseren Visus für das rechte Auge erreicht als für das binokulare Sehen. Die Visusstufendifferenz beträgt im Mittel 0,4.

Die Prüfung ergab $p < 0,001$. Die Nullhypothese ist somit abzulehnen. Es gibt einen signifikanten Unterschied zwischen der Sehschärfe des monokularen und binokularen Sehens bei Reihenoptotypen, zugunsten der binokularen Sehschärfe.

4.5.3 Vergleich der Sehschärfe für EinzeLOPTOTYPEN mit der Sehschärfe für ReihenOPTOTYPEN

Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen der Sehschärfe der EinzeLOPTOTYPEN und der Sehschärfe der ReihenOPTOTYPEN? Auch für diese Frage wurde der Wilcoxon-Test verwendet. Die Ergebnisse für die weit auseinander stehenden EinzeLOPTOTYPEN wurden mit den Ergebnissen für die eng beieinander stehenden ReihenOPTOTYPEN verglichen. Ein negatives Vorzeichen in den Diagrammen besagt, dass die Sehschärfe der ReihenOPTOTYPEN geringer als die Sehschärfe der EinzeLOPTOTYPEN ist. Ein positives Vorzeichen besagt hingegen, dass die Sehschärfe der ReihenOPTOTYPEN größer als die Sehschärfe der EinzeLOPTOTYPEN ist. Die Differenzen sind in Visusstufen dargestellt. Die Nullhypothese H_0 lautet, dass zwischen der Sehschärfe der EinzeLOPTOTYPEN und der Sehschärfe der ReihenOPTOTYPEN kein Unterschied besteht. Das heißt, die Wahrscheinlichkeit einen höheren Einzelvisuswert zu erreichen ist gleich der Wahrscheinlichkeit einen höheren Reihenvisuswert zu erreichen.

4.5.3.1 Für das rechte Auge

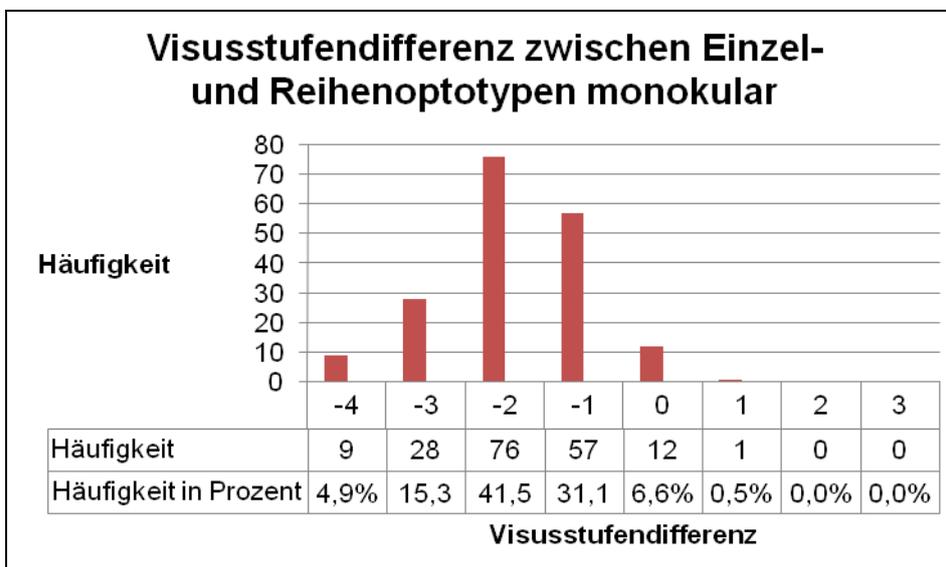


Abbildung 22: Visusstufendifferenz zwischen Einzel- und ReihenOPTOTYPEN monokular

Aus der Abbildung lässt sich erkennen, dass bei 92,8% der Kinder ein um mindestens eine Visusstufe schlechterer Visuswert für die ReihenOPTOTYPEN erreicht wurde, als für die EinzeLOPTOTYPEN. Bei 6,6% bestand kein Unterschied des Vi-

zus zwischen den Einzel- und den Reihenoptotypen. Und nur 0,5% hatten einen besseren Visus für die Reihenoptotypen. Die Visusstufendifferenz zwischen den Einzel- und Reihenoptotypen beträgt im Mittel 1,8.

Die Prüfung mithilfe des Wilcoxon-Tests ergab $p < 0,001$. Die Nullhypothese ist somit abzulehnen. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der monokularen Sehschärfe für Einzel- und Reihenoptotypen, zugunsten der Sehschärfe für EinzeLOPTYPEN.

4.5.3.2 Für beide Augen

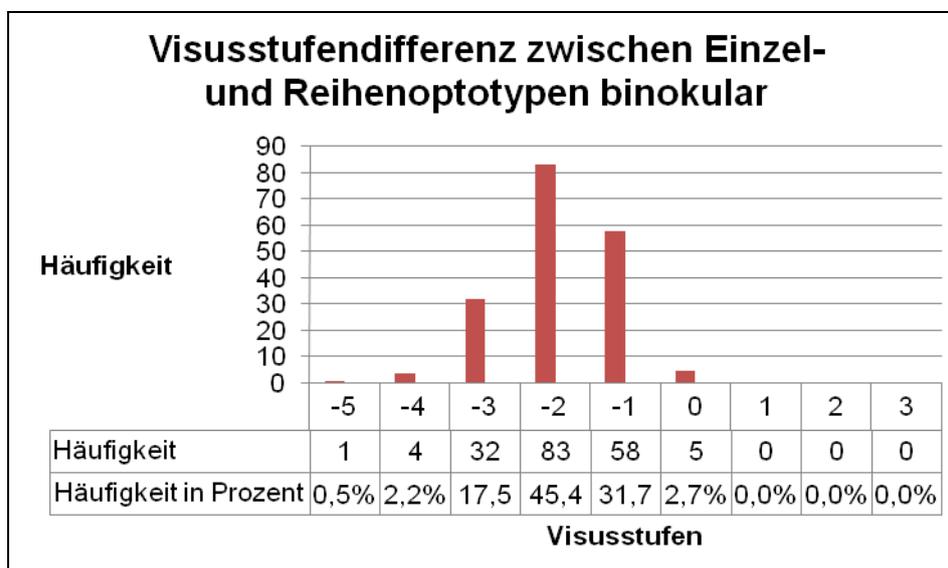


Abbildung 23: Visusstufendifferenz zwischen Einzel- und Reihenoptotypen binokular

Der Abbildung ist zu entnehmen, dass 97,3% der Kinder binokular einen um mindestens eine Visusstufe schlechteren Visuswert für die Reihenoptotypen erreichten, als für die EinzeLOPTYPEN. Bei 2,7% bestand kein Unterschied zwischen den Einzel- und Reihenoptotypen. Niemand erzielte einen besseren Visuswert für die Reihenoptotypen. Die Visusstufendifferenz zwischen den Einzel- und Reihenoptotypen beträgt im Mittel 1,84.

In der Prüfung ist $p < 0,001$. Die Nullhypothese ist somit abzulehnen. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen der Sehschärfe der EinzeLOPTYPEN und der der Reihenoptotypen binokular. Alle Kinder erzielten gleiche oder bessere Visuswerte in der Prüfung der EinzeLOPTYPEN.

4.5.4 Vergleich zwischen den sechs- und siebenjährigen Kindern der Gruppe 1

Bei dem Vergleich zwischen den sechs- und siebenjährigen Kindern geht es darum festzustellen, ob die siebenjährigen Kinder signifikant bessere Visuswerte erreichten als die sechsjährigen Kinder. Die Nullhypothese H_0 lautet, dass die Wahrscheinlichkeit der sechsjährigen Kinder, durchschnittlich bessere Visuswerte zu erreichen, gleich der Wahrscheinlichkeit der siebenjährigen Kinder, durchschnittlich bessere Visuswerte zu erreichen, ist.

Vergleich zwischen den sechs- und siebenjährigen Kindern der Gruppe 1

Alter	Einzel rechts		Einzel binokular		Reihe rechts		Reihe binokular	
	Median	GeoMittel	Median	GeoMittel	Median	GeoMittel	Median	GeoMittel
6 Jahre	1,25	1,13	1,25	1,29	0,8	0,73	0,8	0,82
7 Jahre	1,25	1,19	1,25	1,31	0,8	0,8	0,8	0,86

Tabelle 9: Vergleich der Daten der sechs- und siebenjährigen Kinder der Gr. 1

Legende: GeoMittel=geometrischer Mittelwert

Zwischen den Medianwerten der sechs- und siebenjährigen Kinder bestand in keiner der Untersuchungen ein Unterschied. Jedoch zeigt sich anhand des geometrischen Mittelwerts, dass die siebenjährigen Kinder bei jeder Untersuchung etwas bessere Visuswerte erreicht haben. Vergleicht man die Werte der Sechs- und Siebenjährigen mithilfe des Mann-Whitney-U-Tests, erhält man für die Einzeloptypen binokular gesehen $p=0,768$ und für die Reihenoptotypen binokular gesehen $p=0,157$. Das heißt binokular gibt es weder für die Einzeloptypen noch für die Reihenoptotypen einen signifikanten Unterschied. Die Nullhypothese muss also angenommen werden. Monokular erhält man für die Einzeloptypen $p=0,049$ und für die Reihenoptotypen $p=0,005$. Das bedeutet, dass monokular für die Einzeloptypen der Unterschied zwischen den Sechs- und Siebenjährigen gerade eben signifikant und bei den Reihenoptotypen der Unterschied signifikant ist. Die Nullhypothese muss also in beiden Fällen abgelehnt werden. Monokular sind die siebenjährigen Kinder signifikant besser als die sechsjährigen Kinder.

4.6 Vergleich unserer Visuswerte mit denen anderer Untersuchungen

Unsere Visuswerte haben wir mit den Visuswerten der Sechs- bis Siebenjährigen bzw. Erstklässlern aus den Arbeiten von Staiger, Heins und Weber verglichen. Es sollte festgestellt werden, ob es signifikante Unterschiede gibt zwischen unseren Ergebnissen und den Ergebnissen der anderen Untersuchungen. Die Nullhypothese H_0 lautet, dass jeweils die Wahrscheinlichkeit für unsere Untersuchungen, bessere durchschnittliche Visuswerte zu erhalten, gleich der Wahrscheinlichkeit der anderen Untersuchungen, bessere durchschnittliche Visuswerte zu erhalten, ist.

4.6.1 Für EinzeLOPTOTYPEN

Vergleich der Visuswerte für EinzeLOPTOTYPEN mit anderen Untersuchungen

Name	EinzeLOPTOTYPEN rechtes Auge		EinzeLOPTOTYPEN binokular	
	Median	geom. Mittelwert	Median	geom. Mittelwert
Staiger (1.Kl.) [85]	1,25	1,31	1,60	1,59
Heins (1.Kl.) [39]	1,60	1,43	1,60	1,66
Weber (6-7J) [100]	1,60	1,47	1,60	1,66
Vogt (1.Kl.)	1,25	1,17	1,25	1,30

Tabelle 10: Vergleich der Visuswerte für EinzeLOPTOTYPEN mit anderen Untersuchungen

Legende: J=Jahre, Kl.=Klasse, geom. Mittelwert=geometrischer Mittelwert

Mit der Random-Effects-Metaanalyse haben wir die Studien verglichen. Die Abbildungen unten zeigen, wie die einzelnen Studien zueinander stehen. Für den p-Wert ergab sich hierbei für das monokulare Sehen $p=0,035$ und für das binokulare Sehen $p=<0,001$. Die Nullhypothese muss somit in beiden Fällen abgelehnt werden. Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen unserer Arbeit und der anderen Studien bezüglich der monokularen und binokularen Sehschärfe für EinzeLOPTOTYPEN, zugunsten der anderen Studien.

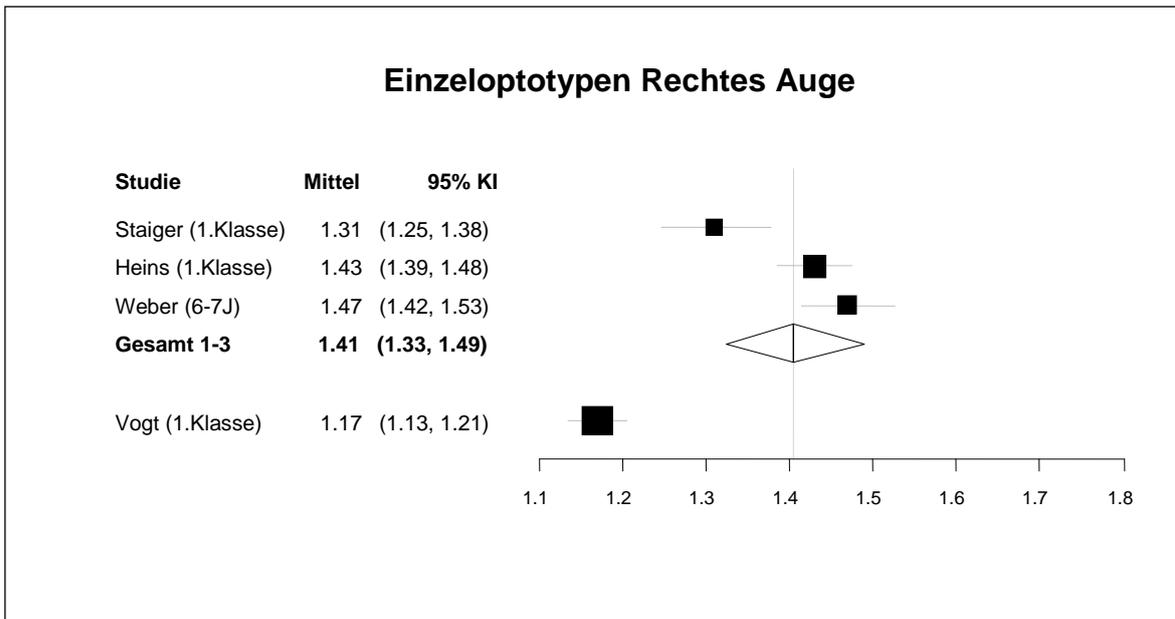


Abbildung 24: Vergleich der Visuswerte für Einzeloptotypen monokular

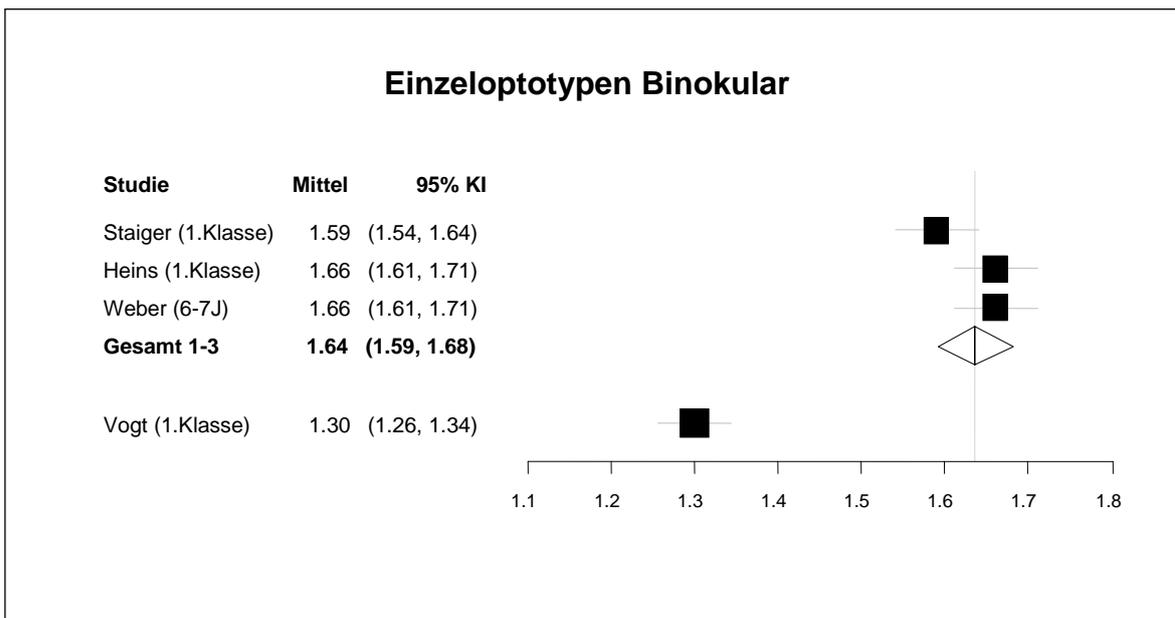


Abbildung 25: Vergleich der Visuswerte für Einzeloptotypen binokular

4.6.2 Für Reihenoptotypen

Vergleich der Visuswerte für Reihenoptotypen mit anderen Untersuchungen

Name	Reihenoptotypen rechtes Auge		Reihenoptotypen binokular	
	Median	geom. Mittelwert	Median	geom. Mittelwert
Staiger (1.Kl.) [85]	0,80	0,89	1,00	1,03
Heins (1.Kl.) [39]	1,00	0,95	1,00	1,07
Weber (6-7J) [100]	1,00	0,92	1,00	0,96
Vogt (1.Kl.)	0,80	0,78	0,80	0,85

Tabelle 11: Vergleich der Visuswerte für Reihenoptotypen mit anderen Untersuchungen

Legende: J=Jahre, Kl.=Klasse, geom. Mittelwert=geometrischer Mittelwert

Auch für die Reihenoptotypen haben wir die Studien mit der Random-Effects-Metaanalyse verglichen. Für das monokulare Sehen erhielten wir dabei $p < 0,001$ und für das binokulare Sehen $p < 0,001$. Für das monokulare und binokulare Sehen der Reihenoptotypen muss die Nullhypothese abgelehnt werden. In beiden Fällen sind die Ergebnisse unserer Studie signifikant schlechter als die der anderen Studien.

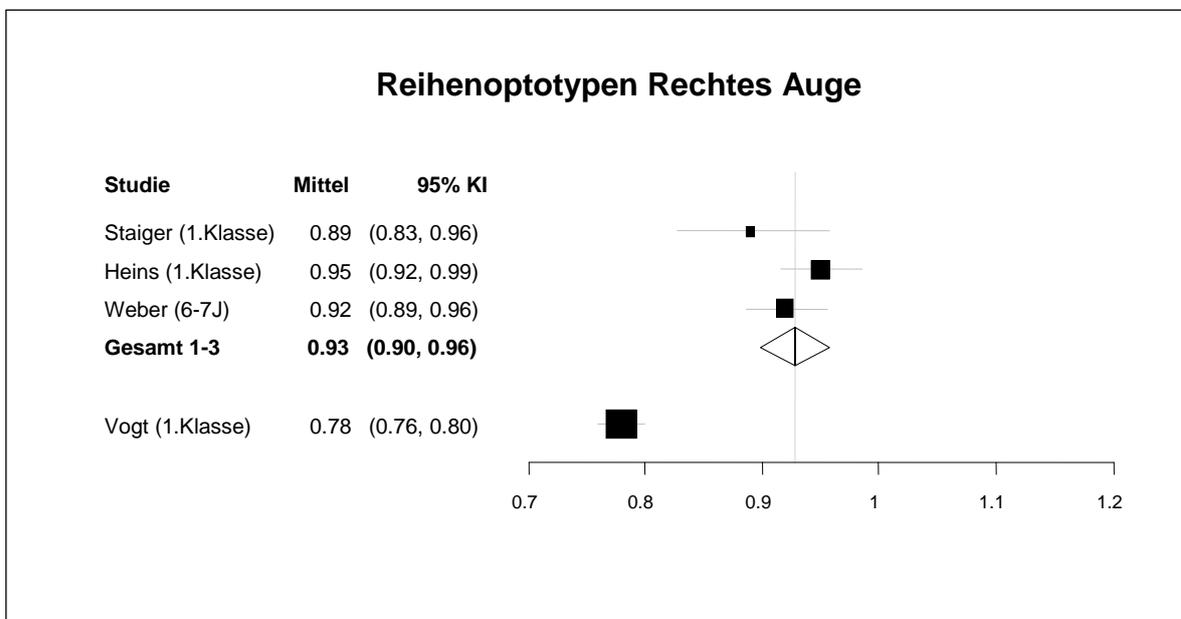


Abbildung 26: Vergleich der Visuswerte für Reihenoptotypen monokular

Reihenoptotypen Binokular

Studie	Mittel	95% KI
Staiger (1.Klasse)	1.03	(0.96, 1.10)
Heins (1.Klasse)	1.07	(1.03, 1.11)
Weber (6-7J)	0.96	(0.93, 0.99)
Gesamt 1-3	1.02	(0.94, 1.10)
Vogt (1.Klasse)	0.85	(0.83, 0.87)

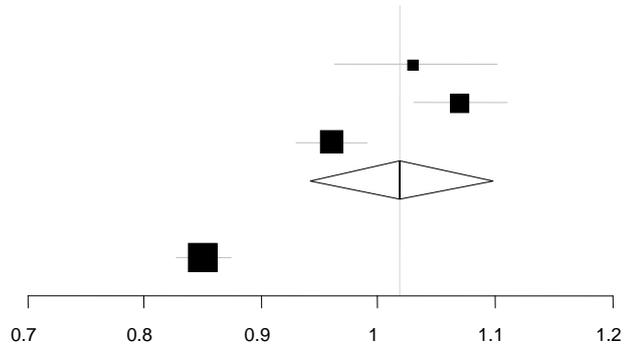


Abbildung 27: Vergleich der Visuswerte für Reihenoptotypen binokular

5 Diskussion

5.1 Durchführung der Studie und Mitarbeit der Kinder

Die Mitarbeit der Kinder war sehr gut. Keines der Kinder, deren Eltern eine Einwilligung gaben, hat die Mitarbeit verweigert. Einige Kinder brauchten mehr Motivation um sich zu konzentrieren und die Untersuchungen bis zum Ende durchzuführen, als andere. Es gab Kinder, denen es schwer fiel die Richtung der Öffnung der Landoltringe korrekt zu benennen. Diese Kinder mussten davon überzeugt werden, dass sie stattdessen in die Richtung der Öffnung zeigen sollten. Diese Möglichkeit haben wir allen Kindern vorgeschlagen und viele haben dann sowohl verbal, als auch durchs Zeigen geantwortet.

Die Sehschärfeprüfung mit dem C-Test konnte bei allen Kindern durchgeführt werden. Dadurch konnten wir sicherstellen, dass wir die Ergebnisse sowohl untereinander als auch mit den Ergebnissen ähnlicher Studien vergleichen konnten.

5.2 Zuverlässigkeit der Untersuchungsergebnisse

Testbedingungen

Die 183 Kinder, die in die Ermittlung des Referenzvisus eingegangen sind, wurden in Anlehnung an die DIN 58220/EN ISO 8596 Norm optimal untersucht. Es gelangten nur die Kinder in die Referenzgruppe, bei denen pathologische Funktionsbeeinträchtigungen ausgeschlossen werden konnten. Bei Kindern mit Refraktionsfehlern wurde diese ausreichend korrigiert.

Lichtverhältnisse

Aufgrund verschiedener Untersuchungsräume und unterschiedlicher Witterungsbedingungen unterlag die Umgebungsleuchtdichte einer gewissen Schwankung. Es wurden stichprobenartig Leuchtdichtemessungen in unseren Untersuchungsräumen durchgeführt. Dabei lag die Leuchtdichte des Prüffeldes stets innerhalb des von der Norm geforderten Bereichs von 80-320 cd/m² [14]. Die mittlere Leuchtdichte des Prüffeldes betrug bei uns 164 cd/m². Frühere Studien konnten zeigen, dass sich der Visus bei Leuchtdichteunterschieden zwischen 100 und 1000 cd/m² nur sehr geringfügig ändert. Der Unterschied beträgt maximal eine Visusstufe [32, 36, 79, 99]. Zudem konnte die von der Norm geforderte Bedingung erfüllt werden, dass sich keine blendenden Lichtquellen im Gesichtsfeld der Probanden befanden.

Lediglich in einem Bereich konnten die von der Norm geforderten Testbedingungen nicht eingehalten werden:

Erkennungsrate

Die Norm fordert, dass die Landoltringe in acht verschiedenen Orientierungen darzubieten sind [14]. Wir haben in unseren Untersuchungen jedoch nur vier Orientierungen verwendet, da Kinder bis ins Schulalter hinein noch damit überfordert sind die diagonalen Richtungen richtig zu benennen [32]. Die DIN Norm beinhaltet keine speziellen Aussagen darüber, wie Visusprüfungen bei Kindern durchzuführen sind.

Bei einer Prüfung mit acht Orientierungen beträgt die Ratewahrscheinlichkeit 12,5%. Durch die Verwendung von nur vier Orientierungen erhöht sich die Ra-

tewahrscheinlichkeit auf 25%. Um den Anforderungen der Norm gerecht zu werden, müssen mehr Zeichen pro Visusstufe richtig erkannt werden als bei Verwendung von acht verschiedenen Richtungen der Landoltringlücke. In diesem Fall müssen vier von sechs Landoltringen richtig erkannt werden, damit eine Visusstufe als erkannt gelten kann [32, 37]. Diesen Anforderungen sind wir in unseren Untersuchungen nachgekommen.

Reproduzierbarkeit der Testergebnisse

Die Visusprüfung basiert auf einer subjektiven Prüfung. Dadurch ist die Bestimmung des Visus von verschiedenen veränderlichen Faktoren abhängig. Ein Beispiel hierfür ist die Konzentrationsfähigkeit eines Probanden, die zwischen zwei Prüfungen schwanken kann. Auch die Rahmenbedingungen lassen sich nicht immer genau gleich wiederherstellen. Wie oben bereits erwähnt, unterliegt z.B. die Leuchtdichte gewissen Schwankungen. Zudem kann der Untersucher an verschiedenen Tagen unterschiedlich gut motivierenden Einfluss auf den Probanden haben. Durch diese Faktoren garantiert auch eine korrekte Durchführung der Sehschärfeprüfung unter Einhaltung der DIN 58220 keine exakt reproduzierbaren Visuswerte. Sie unterliegen vielmehr einer gewissen Schwankungsbreite. Studien von Petersen ergaben, dass es bei Einhaltung der DIN 58220 nur in 1/3 der Fälle zu gleichen Ergebnissen kommt. Bei der Hälfte der Untersuchten kommt es zu Differenzen von einer Visusstufe. Differenzen von zwei Visusstufen sind noch in 1/6 der Fälle zu erwarten [68].

Die Problematik der Reproduzierbarkeit verstärkt sich, wenn zur normalen Schwankungsbreite noch Verständnisprobleme hinzukommen. Gerade jüngere Kinder oder ausländische Kinder, die noch nicht lange bzw. unzureichend deutsch sprechen, können Probleme haben die Aufgaben zu verstehen. Hat man den Verdacht, ein Kind hat die zu erfüllende Aufgabe nicht verstanden, muss man sich mit der Einführung in den Test mehr Zeit nehmen, um auf die entsprechenden Bedürfnisse einzugehen. Da bei unseren Kindern ein hoher Anteil ausländischer Kinder bestand ist dieses Verständnisproblem aufgrund mangelnder Sprachkenntnisse einige Male aufgetreten. Mithilfe von Beispielen haben wir deshalb versucht den Kindern das Prozedere verständlich zu machen. Dadurch wollten wir sicherstellen, dass die Ergebnisse nicht aufgrund von Verständnisschwierigkeiten zu schlecht ausfielen.

Hinzu kommt, dass Kinder bis zum fünften Lebensjahr häufig noch Schwierigkeiten haben sich ausreichend auf eine Aufgabe zu konzentrieren. Außerdem reagieren manche Kinder ängstlich auf den für sie fremden Untersucher. Das hat zur Folge, dass kleine Kinder bei den Untersuchungen nicht immer ihre volle Sehschärfe erreichen. Ab dem Vorschulalter werden diese Probleme dann geringer [67]. Bei den von uns untersuchten Kindern zeigte Keines eine Scheu vor dem Untersucher bzw. vor der Teilnahme an den Tests. Einige hatten jedoch noch Konzentrationsprobleme. Diesen wurde erfolgreich versucht entgegen zu wirken, indem die Kinder immer wieder gelobt und motiviert wurden.

Aussagekraft der Mittelwerte

In dieser Studie haben wir die Ergebnisse der Visusprüfungen mittels des geometrischen Mittelwerts und des Medians angegeben.

Der **geometrische Mittelwert** entspricht der n-ten Wurzel aus dem Produkt aller Werte. Er eignet sich vor allem für Größen, die in sinnvoller Weise multiplikativ verknüpft werden können. Seine Schwäche ist die Empfindlichkeit gegen Ausreißer [94]. Der Mittelwert berücksichtigt alle Werte gleichermaßen. So kommt es, dass der Mittelwert z.B. einen Wert von 1,30 hat, obwohl keines der Kinder einen solchen Wert erzielt hat. Welches schon deshalb nicht möglich ist, da dieser Wert nicht in der Dezibelabstufung der Sehschärfentafeln erscheint. Dabei befindet sich die Mehrheit der Visuswerte zwischen 1,0 und 1,60.

Für den **Median** erhielten wir in dem gleichen Fall einen Wert von 1,25, welcher einer realen Visusstufe entspricht. Der Median ist der mittlere Wert aller in einer Reihenfolge geordneten Zahlenwerte. Alle Messwerte werden hierfür nach der Größe sortiert (Rangfolge). Der Wert, der die entstandene Reihe halbiert, ist der Median. Man kann ihn auch als Zentralwert oder 50%-Perzentil bezeichnen. Er ist weniger anfällig gegen Verzerrungen durch Ausreißer als der Mittelwert [94, 95].

5.3 Visuswerte

Methodisch ist unsere Arbeit mit denen von Heins, Anderssohn, Weber, Eggert, Staiger und Hautzinger vergleichbar. Alle diese Untersucher haben die Sehschärfeprüfung anhand des C-Tests durchgeführt. Eggert und Staiger verwendeten hierfür einen computergestützten Sehtest [18, 85]. Heins, Anderssohn und Weber verwendeten wie wir das konventionelle Verfahren mit Sehtafeln [3, 39, 100]. Hautzinger hat die Visusbestimmung durch ein computergesteuertes Verfahren mit der konventionellen Methode der Sehtafeln verglichen und konnte feststellen, dass beide Verfahren äquivalent geeignet sind [38]. Ein Vergleich mit diesen Untersuchungen ist gestattet, da alle die gleichen Auswahlkriterien verwendeten und sich alle Untersucher an die DIN-Kriterien gehalten haben.

Sehschärfeprüfung mit Einzeloptotypen

Die sechs- und siebenjährigen Kinder erreichten durchschnittlich einen binokularen Visuswert von 1,30. 98,9% der augengesunden Kinder erzielten einen Visuswert von 1,0 oder besser. Und 32,2% erreichten sogar einen Visuswert von mindestens 1,6, womit diese Kinder im Bereich der durchschnittlichen Sehschärfe von jungen Erwachsenen liegen [26]. Monokular erhielten wir einen durchschnittlichen Visuswert von 1,17 für die Einzeloptotypen.

Die bisherigen Studien haben Mittelwerte für die monokulare Sehschärfe bei sechs- bis siebenjährigen Kindern erhalten, die im Bereich zwischen 0,94 und 1,47 lagen [3, 8, 32, 39, 82, 85, 91, 100]. Für die binokulare Sehschärfe ergaben sich Visuswerte, die zwischen 1,25 und 1,66 lagen [3, 39, 85, 100]. Somit liegen die Ergebnisse unserer Arbeit in diesem Bereich, jedoch in der unteren Hälfte der Spanne. Es ist festzustellen, dass die bisherigen Studien eine nicht unerhebliche Streuung der Werte aufweisen. Dies lässt sich v.a. dadurch begründen, dass die Rahmenbedingungen der einzelnen Studien z.T. sehr unterschiedlich waren, bzw. teilweise wenig darüber zu finden ist, wie die Rahmenbedingungen waren. Dadurch lassen sich die Ergebnisse nur schlecht miteinander vergleichen. Um einen besseren Vergleich zu erhalten, haben wir unsere Ergebnisse nur mit denen anderer Studien verglichen, deren Rahmenbedingungen bekannt sind. Wie unsere Ergebnisse im Vergleich mit diesen Studien

abschneiden und zu bewerten sind, darauf gehen wir weiter unten im Abschnitt 5.6 genauer ein.

Insgesamt zeigt das Ergebnis, dass der von Snellen als normal angenommene Visus von 1,0 bereits bei den Kindern der ersten Klassen erreicht und zu einem großen Teil überschritten wird. Eine Visusprüfung sollte demzufolge immer über den Visuswert von 1,0 hinaus stattfinden. Verschlechterungen in einem Bereich über 1,0 würden sonst nicht entdeckt werden. So kann z.B. eine drastische Verschlechterung von 2,0 auf 1,0 vorliegen als Zeichen einer bedeutenden Erkrankung. Dieses würde nicht erkannt werden, wenn die Visusprüfung lediglich bis zu einem Visuswert von 1,0 durchgeführt werden würde. Ein Visuswert von 1,0 bedeutet aber nicht automatisch, dass der Wert für ein Kind der ersten Klasse pathologisch ist. Auch einige der augengesunden Kinder der ersten Klassen haben nur diesen Visuswert erzielt. Dieses Ergebnis liegt im Rahmen der physiologischen Schwankungsbreite. Man sollte diese Kinder regelmäßig augenärztlich kontrollieren, um eine eventuelle Verschlechterung rechtzeitig festzustellen. Eine Visusprüfung sollte immer erst abgeschlossen werden, wenn der bestmögliche Visuswert bestimmt wurde.

Sehschärfenprüfung mit Reihenoptotypen

Wir haben für die Untersuchung mit Reihenoptotypen einen mittleren Visuswert von 0,78 für die monokulare und 0,85 für die binokulare Prüfung erhalten. Anderssohn [3] und Carl [8] haben in der Untersuchung von sechs- bis siebenjährigen Vorschulkindern für das monokulare Sehen Visuswerte von 0,6 bzw. 0,56 ermittelt und für das binokulare Sehen Visuswerte von 0,7 bzw. 0,54. Die von uns erzielten Werte liegen hier sowohl monokular als auch binokular darüber. Betrachtet man allerdings die Ergebnisse von Heins, Staiger und Weber, die sechs- bis siebenjährige Schulkinder untersucht haben, liegen unsere Werte z.T. deutlich darunter. Heins, Staiger und Weber haben für die monokularen Reihenoptotypen Visuswerte von 0,95 [39], 0,89 [85] und 0,92 [100] erhalten und für das binokulare Sehen 1,07 [39], 1,03 [85] und 0,96 [100]. Somit liegen unsere Werte unter der Leistung anderer Schulkinder der gleichen Altersgruppe.

Der Unterschied zwischen Vorschulkindern und Schulkindern fast gleichen Alters liegt v.a. an den unterschiedlichen Konzentrationsfähigkeiten. Die Kinder der ersten Klasse sind bereits stärker daran gewöhnt sich über einen gewissen Zeitraum auf eine Aufgabe zu konzentrieren. Dies spielt besonders bei der Prüfung der Sehschärfe mit Reihenoptypen eine Rolle. Auf die Probleme der Trennsehschärfe, sowie das schlechtere Abschneiden der von uns untersuchten Kinder im Vergleich zu anderen Schulkindern gehen wir weiter unten noch genauer ein.

5.4 Vergleiche innerhalb der eigenen Gruppe

Vergleich des rechten und linken Auges

Bei den sechs- und siebenjährigen Kindern bestand kein signifikanter Unterschied zwischen der Sehschärfe des rechten und der des linken Auges. Für den weiteren Verlauf bedeutet dies, dass für den monokularen Visus lediglich der Wert eines Auges angegeben werden muss. Üblicherweise wird hierfür der Visus des rechten Auges verwendet. Im Vergleich zwischen der monokularen und binokularen Sehschärfe haben wir deshalb für das monokulare Sehen lediglich den Visus des rechten Auges angegeben. Auch die Autoren anderer Untersuchungen erhielten keinen signifikanten Unterschied zwischen dem rechten und linken Auge [3, 18, 39, 85, 100].

Vergleich des monokularen und des binokularen Visus

Es ist lange bekannt, dass der binokulare Visus dem monokularen Visus überlegen ist [5]. Mehrere Untersuchungen haben dies zeigen können [3, 39, 40, 100]. Auch unsere Untersuchungen konnten dies bestätigen. Nur vier Kinder haben in der Prüfung mit Einzeloptotypen monokular einen um eine Visusstufe besseren Visus erzielt als beim binokularem Sehen und drei Kinder bei der Prüfung mit Reihenoptotypen. Die durchschnittliche Differenz betrug bei den Einzeloptotypen 0,5 und bei den Reihenoptotypen 0,4 Visusstufen.

In der Literatur wird die Differenz zwischen dem monokularen und binokularen Sehen vorwiegend in Prozent angegeben. Um unsere Ergebnisse mit der Literatur vergleichen zu können haben wir den Unterschied ebenfalls in Prozent berechnet. Hierfür haben wir die Mittelwerte miteinander verglichen. Daraus ergibt sich, dass das binokulare Sehen für Einzeloptotypen ca. 10% besser ist als das monokulare Sehen. Bei den Reihenoptotypen beträgt der Unterschied 8,2%. Das entspricht den Angaben von Haase und Rassow, die besagen, dass die binokulare Sehschärfe um 5-10% besser ist als die monokulare Sehschärfe [32]. Viele Studien haben aber noch größere Unterschiede erhalten. So gab es bei den sechsjährigen Kindern von Anderssohn einen Unterschied von 19,0% bei den Einzeloptotypen und 16,7% bei den Reihenoptotypen [3]. Bei Staiger betrug der Unterschied bei den Erstklässlern sogar 21,4% [85].

Die vorliegenden Studien lassen erkennen, dass die Überlegenheit des binokularen Visus gegenüber der monokularen Sehschärfe bei kleinen Kindern besonders hoch ist. Allerdings kann man anhand der folgenden Tabelle sehen, dass es auch innerhalb einer Altersstufe enorme Schwankungen gibt.

Darstellung der binokularen Überlegenheit gegenüber der monokularen Sehschärfe verschiedener Altersstufen am Beispiel der EinzeLOPTOTYPEN

Untersucher	Alter der Probanden	Überlegenheit des binokularen Visus [%]
Anderssohn [3]	5 Jahre	20,6
Anderssohn [3]	6 Jahre	19,0
Staiger [85]	6-7 Jahre	21,4
Heins [39]	6-7 Jahre	16,1
Weber [100]	6-7 Jahre	12,9
Vogt	6-7 Jahre	10,0
Staiger [85]	9-11 Jahre	17,1
Eggert [18]	12-14 Jahre	15,8

Tabelle 12: Darstellung der binokularen Überlegenheit gegenüber der monokularen Sehschärfe verschiedener Altersstufen am Beispiel der EinzeLOPTOTYPEN

Eine Ursache für die bessere Sehschärfe beim binokularen Sehen ist, dass sich die monokularen Informationen beider Augen beim Sehen auf ein System konvergieren und es zur Summation der neuronalen Reize kommt [32]. Durch eine ständige Reizung beider Augen beim normalen binokularen Sehen bei alltäglichen Tätigkeiten und Bewegungen kommt es zu einem Lernprozess, der bereits mit der Geburt beginnt. Durch besondere Tätigkeiten, wie z.B. Lesen und Puzzeln kommt es zu einer zusätzlichen Förderung der Entstehung neuronaler Verbindungen und zu einer Verbesserung des binokularen Sehens. Bei Kindern, die wenig lesen und sich insgesamt wenig fordernden visuellen Reizen aussetzen, kommt es zu einem geringeren Lerneffekt mit weniger neuronalen Verbindungen [9, 50]. Gerade in sozial schwachen Familien werden Kinder oft weniger diesbezüglich gefördert, da die Eltern selber wenig lesen und somit auch kein Vorbild hierfür darstellen. Somit lässt sich erklären, warum bei unseren Kindern der Unterschied der monokularen und binokularen Sehschärfe ge-

ringer ist, als bei den anderen Untersuchern gleichaltriger Kinder, da sie weniger geübt sind im binokularen Sehen [47, 51, 69].

Auf der anderen Seite lassen sich jüngere Kinder noch leicht ablenken und von ungewohnten Bedingungen irritieren, z.B. vom Abdecken eines Auges. Deshalb ist bei ihnen der Unterschied zwischen dem monokularen und binokularen Sehen besonders groß. Weil ältere Kinder sich trotz solcher Umstände besser auf eine Aufgabe konzentrieren können, erreichen sie auch monokular bessere Visuswerte, so dass der Unterschied zwischen dem monokularen und binokularen Sehen mit steigendem Alter wieder geringer wird.

Vergleich der Sehschärfe für Einzel- und Reihenoptotypen (Trennschwierigkeit)

Das Phänomen der Trennschwierigkeit besteht physiologisch bei augengesunden Menschen. Bei Personen mit Amblyopie ist die Trennschwierigkeit jedoch wesentlich stärker ausgeprägt [10, 90]. Auch bei Kindern mit Refraktionsfehlern ist die Sehschärfe für Reihenoptotypen schlechter, als bei gleichaltrigen Kindern, die normalsichtig sind [44].

Die Ergebnisse, die wir bei der Sehschärfeprüfung mit Reihenoptotypen erzielt haben, unterschieden sich signifikant von den Ergebnissen der Prüfung mit Einzeloptotypen. Dies gilt sowohl für das monokulare als auch das binokulare Sehen. Das war zu erwarten, da bereits Haase und Hohmann herausgefunden hatten, dass normalsichtige Kinder bis zum zehnten Lebensjahr für Reihenoptotypen eine geringere Sehschärfe erreichen, als für Einzeloptotypen [33]. Die von uns durchgeführten Untersuchungen ergaben eine mittlere Visusstufendifferenz von monokular 1,8 und binokular 1,84 Visusstufen. In einigen Fällen kamen auch Differenzen von vier Visusstufen sowohl monokular als auch binokular vor. Und ein Kind zeigte einen Unterschied von fünf Visusstufen zwischen den Einzel- und Reihenoptotypen beim binokularen Sehen.

Nach Hohmann und Haase beträgt die durchschnittliche Differenz bei Kindern im Vorschulalter drei bis vier Visusstufen [89]. Bei augengesunden Kindern über zwölf Jahren und Erwachsenen beträgt die Differenz zwischen Einzel- und Reihenoptotypen nur noch maximal eine Visusstufe [32].

Staiger und Eggert haben in ihren Untersuchungen mit Kindern über zehn Jahren Visusstufen-Differenzen von 0,96 bzw. 0,9 festgestellt. Sie konnten damit die Aussage bestärken, dass Kinder über zehn Jahren nur noch maximal eine Visusstufe Differenz haben zwischen Einzel- und Reihenoptotypen [18, 85]. Staiger und Heins erhielten beide bei ihren Untersuchungen mit Erstklässlern eine Differenz von 1,7 Visusstufen monokular und 1,9 Visusstufen binokular [39, 85]. Bei Weber waren es 2,0 Visusstufen Differenz monokular und 2,4 Visusstufen binokular [100]. Somit lagen unsere Visusstufen-Differenzen in dem Bereich bisheriger Studien. Folglich erreichen die Kinder der ersten Grundschulklassen bereits geringere Visusstufen-Differenzen als Vorschulkinder und nähern sich damit den Werten für Erwachsene an. Man kann hieran erkennen, dass die Entwicklung des visuellen Systems zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen ist. Nach diesen Untersuchungen kann man eine Visusstufen-Differenz von ca. zwei Visusstufen bei der Altersstufe der sechs- bis siebenjährigen Kinder als physiologisch ansehen. Wir können also feststellen, dass die Unterschiede zwischen der Sehschärfe der Einzeloptotypen und der Reihenoptotypen bei unseren Schulkindern der Altersstufe entsprechend sind.

Vergleich der sechs- und siebenjährigen Kinder

Beim Vergleich der Visuswerte der zwei Altersgruppen zeigte sich, dass sich sechs- und siebenjährige Kinder bei der binokularen Visusprüfung nicht signifikant unterscheiden. Bei der monokularen Visusprüfung waren die siebenjährigen den sechsjährigen Kindern jedoch signifikant überlegen. Besonders zeigte sich dies in der Prüfung mit den Reihenoptotypen. Dieses Ergebnis ist nicht erstaunlich, da die Sehschärfenentwicklung in diesem Alter noch nicht abgeschlossen ist und wie oben bereits erwähnt auch die Trennschwierigkeiten noch weiter abnehmen [26, 33]. Stukenbrock sieht einen wesentlichen Grund für die Zunahme der Sehschärfe mit dem Alter der Kinder in der Reifung der kognitiven Fähigkeiten und damit steigenden Konzentrationsfähigkeit [91]. Da monokular das Sehen anstrengender ist und mehr Konzentration erfordert, zeigen sich die Unterschiede der Sechs- und Siebenjährigen besonders beim monokularen Sehen und zwar besonders bei den Reihenoptotypen. So kommen geringe Altersunterschiede hier stärker zum Tragen als beim binokularen Sehen.

5.5 Prävalenz von häufigen Augenerkrankungen

Die Prävalenzen von Refraktionsfehlern, Strabismus und Amblyopien werden in der Literatur zum Teil sehr unterschiedlich angegeben.

Von den 204 von uns untersuchten Kindern hatten 29 (14,2%) bereits eine Brille. Insgesamt wurden elf Refraktionsfehler neu festgestellt, so dass es 40 Refraktionsfehler gab. Das entspricht 19,6%. Bei den **Refraktionsfehlern** beider Gruppen gab es:

- 19 Mal eine Myopie (47,5%)
- 20 Mal eine Hyperopie (50%)
- einmal sowohl Myopie als auch Hyperopie (2,5%)

Diese Prozentangaben beziehen sich dabei auf die 40 Refraktionsfehler, nicht auf die Anzahl der untersuchten Kinder. Dreimal kam ein reiner **Astigmatismus** vor. Ältere Untersuchungen ergaben Prävalenzen für Refraktionsfehler von:

- Franceschetti (1966): 11,8% Refraktionsfehler bei vier- bis sechsjährigen Kindern [25]
- Haase und Mühlig (1979): 13,7% Refraktionsanomalien bei nicht-schielenden Kindern in der Untersuchung von sechs- bis achtjährigen Schulanfängern [34]

Studien, die in den letzten zwölf Jahren gemacht wurden erhielten Refraktionsprävalenzen von:

- Käsmann-Kellner (1998): 24,1% Refraktionsfehler bei drei- bis siebenjährigen Kindergartenkindern [48]
- Staiger (2000): 9,7% mit einem sicher korrektur- oder behandlungsbedürftigen Befund und ebenfalls 9,7% mit einem V.a. korrektur- oder behandlungsbedürftigen Befund, der wegen nicht Erscheinens nach empfohlener Augenarztuntersuchung nicht bestätigt werden konnte, bei Kindern von sechs bis elf Jahren [85]
- Anderssohn (2007): 13,7% korrekturbedürftige Refraktionsanomalien bei fünf- bis sechsjährigen Kindern [3]
- Weber (2007): 15,4% Refraktionsfehler bei sechs- bis siebenjährigen Kindern [100]
- Heins (2007): 14,6% Refraktionsfehler bei sechs- bis siebenjährigen Kindern [39]

- Mirzakhania (2008): 11,6% Refraktionsfehler bei drei- bis vierjährigen Kindern [61]

Von den von uns insgesamt 204 untersuchten Kindern hatten:

- Zehn Kinder einen **manifesten Strabismus**. Das entspricht 4,9%.
- Fünf Kinder ein **latentes Schielen**. Das entspricht 2,5%.

Von den fünf Kindern mit latentem Strabismus wurden drei der Gruppe 1 (augengesunde Kinder) und zwei der Gruppe 2 (Ausschlussgruppe) zugeordnet. Alle Kinder mit manifestem Strabismus wurden der Gruppe 2 zugeteilt, da dieses ein Ausschlusskriterium war. Ältere Studien erhielten **Strabismusprävalenzen** von 5,2-9,6%:

- Franceschetti (1966): 9,6% Strabismus und latentes Schielen (Heterophorie), leider ohne Angabe der jeweiligen Anteile, bei vier- bis sechsjährigen Kindern [25]
- De Decker und Tessmer (1973): 5,3% manifester Strabismus bei Kindern im ersten und zweiten Schuljahr [12]
- Haase und Mühlig (1979): 5,2% Strabismus und 1,1% Heterophorie in der Untersuchung von sechs- bis achtjährigen Schulanfängern [34]

Neuere Studien, die in den letzten zwölf Jahren erfolgt waren erhielten Strabismusprävalenzen zwischen 0,9% und 3,5%:

- Käsmann-Kellner (1998): 3% Strabismus und 0,7% Heterophorie bei drei- bis siebenjährigen Kinderkartenkindern [48]
- Staiger (2000): 3,5% Strabismus und 9,7% Heterophorien bei Kindern von sechs bis elf Jahren [85]
- Anderssohn (2007): 0,9% Strabismus und 4,4% Heterophorien bei fünf- bis sechsjährigen Kindern [3]
- Weber (2007): 2,6% Strabismus und 7,7% Heterophorien bei sechs- bis siebenjährigen Kindern [100]
- Mirzakhania (2008): 1,7% Strabismus und 2,5% Heterophorien bei drei- bis vierjährigen Kindern [61]

Frandsen (1979) fand in ihrer Arbeit mit mental retardierten Kindern eine wesentlich höhere Schiefrequenz von 15% bzw. bei schweren geistigen oder seelischen Erkrankungen sogar bis zu 30% [34].

Amblyopien kamen fünfmal vor. Das entspricht 2,5%. Diese Kinder wurden der Gruppe 2 zugeordnet. Die Angaben in der Literatur über Amblyopie-Häufigkeit variieren erheblich. Ältere Studien erhielten folgende Amblyopie-Prävalenzen:

- Franceschetti (1966): 11,8% Amblyopien (8,3% ein- und 3,5% beidseitig) bei vier- bis sechsjährigen Kindern [25]
- Haase und Mühlig (1979): 1,9% Amblyopien bei Kindern ohne Strabismus und rund 50% bei Kindern mit Strabismus, das entspricht insgesamt 4,5% Amblyopien bei sechs- bis achtjährigen Schulanfängern [34]

Untersuchungen der letzten 15 Jahre erhielten Prävalenzen von 0,4%-5%:

- Williamson (1995): 5% Amblyopien bei Kindern im Kindergartenalter [104]
- Newman (1996): 1,3% Amblyopien bei Kindergartenkindern [63]
- Staiger (2000): 1,8% Amblyopien bei Sechs- bis Elfjährigen [85]
- Anderssohn (2007): 0,4% Amblyopien bei fünf- bis sechsjährigen Kindern [3]
- Weber (2007): 2,6% Amblyopien bei sechs- bis siebenjährigen Kindern [100]
- Mirzakhonian (2008): 0,8% Amblyopien bei drei- bis vierjährigen Kindern [61]

Somit ist der Anteil an Refraktionsfehlern und Strabismus bei uns im Vergleich zu den anderen Untersuchern erhöht, wohin gegen die Ergebnisse für Amblyopien im Bereich der Prävalenzen anderer Untersuchungen liegen. Was mag hierfür die Ursache sein? Ginge man davon aus, dass es an der geringeren Teilnahme an Vorsorgeuntersuchungen liege, würde man erwarten, dass die Prävalenzen in allen Bereichen erhöht wären. Dies ist jedoch nicht der Fall. Liegt es somit an der zu geringen Stimulation, daran dass unsere Kinder wenig geübt sind, z.B. durch zu wenig Lesen? Dies wäre denkbar, da für eine normale Entwicklung des Sehapparats eine ausreichende Stimulation notwendig ist.

5.6 Vergleich mit anderen Kinder-Visusstudien

Die Sehschärfe von Kindern und Jugendlichen wurde bereits in mehreren Arbeiten thematisiert. Siehe hierfür auch die Tabelle der Sehschärfenentwicklung in Kapitel 2. Die verschiedenen Untersucher haben dabei eine Reihe unterschiedlicher Testverfahren (TAC-Test, Landoltringe, E-Haken u.a.) angewandt und unter unterschiedlichen Bedingungen (z.B. teils nur monokulare, teils nur binokulare und teils monokulare und binokulare Prüfung) gearbeitet, wobei über die Untersuchungs- und Rahmenbedingungen z.T. nur wenig beschrieben ist. Die Anzahl der jeweiligen Probanden variiert sehr stark von 9 bis 760 Probanden. Bei den Visusangaben werden häufig Mittelwerte angegeben, ohne dass erwähnt wird, ob es sich dabei um geometrische oder arithmetische Mittelwerte handelt. Ein Vergleich der Studien untereinander ist deshalb nur bedingt möglich. Die Studien, mit denen wir unsere Daten in Kapitel 4.6 verglichen haben, wurden jedoch nach dem gleichen Prinzip wie unsere durchgeführt und die Untersucher hatten sich alle an die DIN 58220 Norm gehalten.

Unsere Studie kommt bei den Einzeloptypen monokular zu einem geometrischen Mittelwert des Visus von 1,17 und binokular zu einem geometrischen Mittelwert von 1,30. Je nachdem, mit welchen Studien man unsere Ergebnisse vergleicht, liegen sie sowohl deutlich unter (z.B. im Vergleich mit Staiger, Heins und Weber) als auch deutlich über (z.B. im Vergleich mit Carl, Neu/Sireteanu und Slataper) anderen erhobenen Daten. Wobei Carl zwar ebenso den Test mit Landoltringen durchgeführt hat, jedoch bei Vorschulkindern des gleichen Alters. Neu/Sireteanu haben zum Einen den Teller-Acuity-Cards-Test gemacht und zum Anderen die Sehschärfe mit Landoltringen, allerdings nur für die Nähe, untersucht. Slataper kommt bei seinen Untersuchungen lediglich auf einen Visuswert von 0,75 bei den sechsjährigen Kindern und 0,78 bei den siebenjährigen Kindern. Hier liegen die von uns ermittelten Werte deutlich darüber. Seine Untersuchungen liegen allerdings über ein halbes Jahrhundert zurück, und er benutzte Kinder seiner Augenarztpraxis, bei denen er, bevor er mit der Visusprüfung begann, eine 1%ige Atropinsulfat-Lösung als Augentropfen appliziert hatte, wodurch es zu einer Akkommodationslähmung kommt. Zudem verwendete Slataper E-Haken als Optotypen [83]. Somit lassen sich diese Daten kaum mit unseren Daten vergleichen.

Ebenso wie Slataper haben auch andere Autoren die Sehschärfe bei Kindern mit E-Haken geprüft. Ooppel hat bei seinen Untersuchungen von Vorschulkindern festgestellt, dass diese bei der Prüfung mit E-Haken (mittlerer Visus 1,0) schlechter abschnitten, als mit Kinderbildern (mittlerer Visus 1,1) [67].

Anderssohn erhielt bei Ihren Untersuchungen von fünfjährigen Kindern einen mittleren binokularen Visuswert von 1,17 und bei den sechsjährigen Kindern von 1,25 [3]. Sie hat jedoch Vorschulkinder und keine Schulkinder untersucht. Stukenbrock ermittelte mit den Landoltringen bei den Fünf- bis Sechsjährigen einen Visuswert von 1,39 und bei den Sieben- bis Achtjährigen von 1,38 [91]. Allerdings hatte sich Stukenbrock sehr intensiv mit den Kindern beschäftigt und verschiedene Sehschärfeverfahren mit ihnen ausprobiert, wie z.B. den C-Test und Streifenmuster.

Der in Kapitel 4.6 vorgenommene Vergleich mit Untersuchungen anderer Erstklässler ergibt, dass unsere Ergebnisse sowohl in der Prüfung mit den Einzeloptypen, als auch in der Prüfung mit den Reihenoptotypen für das monokulare und binokulare Sehen signifikant unter denen der verglichenen Studien liegen.

Es ist zu überlegen, woher diese Unterschiede stammen können. Liegt es an den unterschiedlichen Untersuchungsräumen und -bedingungen oder dem Untersucher? Da wir die Untersuchungen, ebenso wie Staiger, Heins und Weber nach der DIN 58220 (EN ISO 8596) Norm durchgeführt haben, sollten die Untersuchungsbedingungen nicht zu den unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben. Einzig die Problematik des Sprachverständnisses spielte in der Durchführung unserer Untersuchungen eine größere Rolle als bei Staiger, Heins und Weber. Damit dieses jedoch nicht zum schlechteren Abschneiden der Kinder führte haben wir, wenn nötig, viel Zeit in die Erklärung der Untersuchungen auch mit Übungsbeispielen verwendet.

Spielt Intelligenz eine Rolle? Ooppel sieht die Ursache für das bessere Abschneiden von intelligenten Kindern bei Sehschärfebestimmungen in ihrem stärkeren Konzentrations- und Auffassungsvermögen. Auch reifere Kinder erreichen bessere Visuswerte als gleichaltrige Kinder, die weniger weit entwickelt sind [67]. Einige unserer Kinder hatten noch deutliche Konzentrationsschwierigkeiten und mussten immer wieder motiviert werden um weiter mitzumachen. Dies könnte ein Grund für das schlechtere Abschneiden unserer Kinder sein,

auch wenn versucht wurde durch die Motivationen diesem entgegen zu wirken. Die früher angenommene Entstehung einer Myopie aufgrund intensiven Lesens in der Nähe und bei schlechter Beleuchtung ist heute höchst umstritten [76]. Jedoch sind bei Kindern mit hohem IQ Myopien häufiger vertreten, als bei Kindern mit niedrigem IQ. Bei diesen Kindern fanden sich dagegen häufiger Hyperopien [92, 103]. Insgesamt finden sich bei Kindern mit geringer Intelligenz häufiger Sehfehler als bei Kindern mit normaler Intelligenz. Auch bei Kindern mit körperlichen Behinderungen sind Sehfehler häufiger vertreten [11, 62, 64, 70]. Kulp und Schmidt fanden heraus, dass eine gute Sehschärfe für die Nähe, sowie ein gutes Stereosehen signifikant mit guten schulischen Leistungen korreliert [52, 53]. Weder Staiger, Heins oder Weber noch wir haben Intelligenztests durchgeführt. Es ist somit nicht zu klären, ob die Kinder, die wir untersuchten weniger intelligent sind als die der anderen Untersucher. Wir wissen also nicht, ob unterschiedliche Intelligenz ein Grund für die signifikant schlechteren Visuswerte unserer Kinder ist.

Für die Entwicklung der Sehschärfe ist eine adäquate optische Stimulation notwendig, damit sich der Sehapparat und dadurch die Sehschärfe und das Stereosehen ausdifferenzieren und ausreichend entwickeln können [76]. Dafür ist z.B. das Lesen eine wichtige Stimulation. Findet dieses nicht statt, kommt es zu einer Deprivation des visuellen Kortex. Es kommt zu Sehfehlern und als Folge zur Beeinträchtigung von Lernleistungen [35, 103, 104]. Gerade in sozial schwachen Gegenden werden die Kinder häufig weniger gefordert und gefördert, da deren Eltern aufgrund geringer Bildung selbst wenig Lesen und dadurch auch schlechtere Vorbilder sind, als Eltern in sozial besser gestellten Familien. Somit sind diese Kinder häufig weniger geübt im Lesen und haben auch im Vergleich zu anderen gleichaltrigen Kindern noch nicht so gut gelernt sich auf eine Aufgabe zu konzentrieren. Eine frühe Erkennung von Sehfehlern ist wichtig, damit es nicht aufgrund von z.B. Strabismus zu einer Deprivation des schlechteren Auges und damit zu schlechteren Sehleistungen und damit schlechteren Chancen in der schulischen Ausbildung kommt.

Spielt der höhere Anteil ausländischer Kinder in den von uns untersuchten Schulen eine Rolle? Der Anteil ausländischer Kinder bzw. Kinder mit Migrationshintergrund betrug bei den von uns untersuchten Kindern insgesamt 48,5%. Der hohe Anteil ausländischer Kinder spielt nicht in der direkten Entwicklung

der Sehschärfe eine Rolle [48]. Jedoch kommt ihm eine Bedeutung zu, weil Kinder, bzw. deren Eltern, aus sozial schwachen Familien seltener die Vorsorgeuntersuchungen wahrnehmen und deshalb Kinder aus diesen Familien häufiger erst bei der Einschuluntersuchung ein Sehscreening erhalten als Kinder aus sozial besser gestellten Familien [1, 27, 58, 105]. Und es ist festzustellen, dass in sozial schwachen Gegenden mit hoher Arbeitslosigkeit ein höherer Ausländer- oder Migranten-Anteil besteht, als in sozial besser gestellten Gegenden [27, 87]. Die Gründe für die geringere Teilnahme an den Vorsorgeuntersuchungen sind z.B. die mangelnde Kenntnis der Eltern über das deutsche Gesundheitssystem, aber auch v.a. die mangelnden Sprachkenntnisse, die eine große Hürde für die Inanspruchnahme der Gesundheitsleistungen darstellen [1, 27]. Hinzu kommt, dass der Umgang mit Gesundheit und Krankheit auch kulturellen Unterschieden unterliegt und dadurch das Empfinden, wann etwas getan werden muss und nicht „normal“ ist, bei den verschiedenen Nationalitäten sehr unterschiedlich sein kann [105]. Somit spielt der hohe Anteil ausländischer Kinder durchaus eine Rolle.

Unsere Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die durchschnittliche Sehschärfe bei augengesunden Kindern aus sozial schwachen Gegenden signifikant schlechter ist als bei gleichaltrigen Kindern aus sozial besser gestellten Gegenden. Dies widerspricht den Aussagen anderer Untersucher, die feststellten, dass demographische Faktoren wie Nationsangehörigkeit, Alter, Bildung oder Einkommen der Eltern keine signifikanten Unterschiede in der Sehschärfe bewirken [48, 60, 77].

6 Zusammenfassung

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine prospektive Studie. Ziel dieser Studie war es, einen physiologischen Referenzvisus von Kindern im Alter von sechs bis sieben Jahren in sozialschwachen Wohngebieten zu ermitteln. Hierzu wurden 204 Kinder der ersten Klasse in fünf Grundschulen verschiedener Stadtteile Hamburgs untersucht. Die Untersuchungen wurden nach den Kriterien der DIN EN ISO 8596 Norm durchgeführt. Wir konnten feststellen, dass eine Visusprüfung nach der DIN EN ISO 8596 Norm bei Kindern der ersten Klasse gut durchführbar ist. Eine nicht-normierte Prüfung z.B. mit Kinderbildern sollte in diesem Alter also nicht mehr vorgenommen werden.

183 Kinder wurden als augengesund eingestuft. Das entspricht 89,7%. Anhand der Daten der augengesunden Kinder wurde der physiologisch erreichbare Fernvisus der sechs- bis siebenjährigen Schulkinder errechnet und in Form des geometrischen Mittelwerts und des Medians dargestellt. Für das monokulare Sehen der Einzeloptotypen ist der geometrische Mittelwert 1,17 und der Median 1,25. Für das binokulare Sehen der Einzeloptotypen ist der geometrische Mittelwert 1,30 und der Median 1,25. Für das monokulare Sehen der Reihenoptotypen ist der geometrische Mittelwert 0,78 und der Median 0,8. Für das binokulare Sehen der Reihenoptotypen ist der geometrische Mittelwert 0,85 und der Median 0,8.

Die Visuswerte unterliegen einer individuellen Schwankung, im Durchschnitt eine Visusstufe. Für die Praxis bedeutet dies, dass die Sehschärfe eines Kindes im Alter von sechs bis sieben Jahren nicht richtig entwickelt sein kann, wenn:

- Der Visuswert für Einzeloptotypen monokular und binokular unter 1,0 liegt
- Der Visuswert für Reihenoptotypen monokular und binokular unter 0,63 liegt

Die Prüfung der Sehschärfe sollte deshalb immer über einen Visus von 1,0 hinausgehen und erst beendet werden, wenn die bestmögliche Sehschärfe erreicht wurde.

Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen dem rechten und dem linken Auge.

Der binokulare Visus ist dem monokularen Visus signifikant überlegen. Im Mittel beträgt die Differenz 0,5 Visusstufen für die Einzeloptotypen und 0,4 Visusstufen für die Reihenoptotypen. Das entspricht einer Überlegenheit des binokularen Visus von 10% für Einzeloptotypen und 8,2% für Reihenoptotypen.

Zur Beurteilung der Trennschwierigkeit wurden die Visuswerte für Einzeloptotypen mit denen für Reihenoptotypen verglichen. Es bestand durchschnittlich ein Unterschied beim monokularen Sehen von 1,8 Visusstufen und beim binokularen Sehen von 1,84 Visusstufen. Das sind signifikante Unterschiede. Somit sind Trennschwierigkeiten mit Differenzen von ca. zwei Visusstufen in dieser Altersstufe als physiologisch anzusehen.

Der durchschnittliche Visus der von uns untersuchten Kinder ist signifikant schlechter als der durchschnittliche Visuswert von Erstklässlern in anderen Stadtteilen. Somit besteht ein signifikanter Unterschied der Sehschärfe von sozial schwachen zu sozial besser gestellten Kindern. Die Ursachen hierfür sind nicht bekannt. Zur Klärung der Ursachen bedarf es weiterer Studien.

7 Anhang

7.1 Abkürzungsverzeichnis

bds.:	beidseits
bzw.:	beziehungsweise
ca.:	circa
cd:	Candela
cm:	Zentimeter
d:	Winkelminute
d.h.:	das heißt
dpt:	Dioptrie
EOP:	Einzeloptotypen
evtl.:	eventuell
geom.:	geometrisch
GeoMittel:	Geometrischer Mittelwert
Gr.:	Gruppe
J.:	Jahre
Kl.:	Klasse
m:	Meter
m ² :	Quadratmeter
%:	Prozent
ROP:	Reihenoptotypen
sph.:	sphärisch
TAC-Test:	Teller-Acuity-Cards-Test
u.a.:	unter anderem
v.a.:	vor allem
V.a.:	Verdacht auf
VEP:	visuell evozierte Potenziale
\bar{x} :	Mittelwert
z.B.:	zum Beispiel
Z.n.:	Zustand nach
z.T.:	zum Teil
zyl.:	zylindrisch

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entwicklung der Sehschärfe bei Kindern und Jugendlichen	12
Tabelle 2: Geschlechterverteilung.....	17
Tabelle 3: Altersverteilung.....	17
Tabelle 4: Sehschärfen-Vergleichstabelle.....	30
Tabelle 5: Querdisparitäten des Lang-Stereotests II.....	38
Tabelle 6: Anzahl der erkannten Titmus-Stereotest Ringe.....	50
Tabelle 7: Anzahl der erkannten Titmus-Stereotest Ringe Gr. 2.....	54
Tabelle 8: Übersicht Daten Gruppe 2.....	56
Tabelle 9: Vergleich der Daten der sechs- und siebenjährigen Kinder der Gruppe 1	63
Tabelle 10: Vergleich der Visuswerte für Einzeloptotypen mit anderen Untersuchungen.....	64
Tabelle 11: Vergleich der Visuswerte für Reihenoptotypen mit anderen Untersuchungen.....	66
Tabelle 12: Darstellung der binokularen Überlegenheit gegenüber der monokularen Sehschärfe verschiedener Altersstufen am Beispiel der Einzeloptotypen.....	76

7.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geschlechterverteilung	17
Abbildung 2: Altersverteilung	17
Abbildung 3: Ausschnitt Sehtafeln (C-Test); links: Einzeloptotypen, rechts: Reihenoptotypen	26
Abbildung 4: Landoltring	27
Abbildung 5: Snellenhaken	29
Abbildung 6: psychometrische Funktion, blau: Rohwerte, rot: KER	33
Abbildung 7: Titmus-Stereotest.....	36
Abbildung 8: Lang-Stereotest II, a: Testtafel, b: stereoskopisch zu erkennenden Motive.....	38
Abbildung 9: Bagolini-Streifengläser	39
Abbildung 10: Visuswerte Einzeloptotypen - Rechtes Auge	44
Abbildung 11: Visuswerte Einzeloptotypen - Linkes Auge	45
Abbildung 12: Visuswerte Einzeloptotypen - Binokular	46
Abbildung 13: Visuswerte Reihenoptotypen - Rechtes Auge	47
Abbildung 14: Visuswerte Reihenoptotypen - Linkes Auge.....	48
Abbildung 15: Visuswerte Reihenoptotypen - Binokular	49
Abbildung 16: Titmus-Stereotest Ringe	50
Abbildung 17: Titmus-Stereotest Ringe Gr. 2.....	53
Abbildung 18: Visusstufendifferenz der Einzeloptotypen zwischen rechtem und linkem Auge	57
Abbildung 19: Visusstufendifferenz der Reihenoptotypen zwischen rechtem und linkem Auge	58
Abbildung 20: Visusstufendifferenz der Einzeloptotypen zwischen rechtem Auge und binokularem Sehen.....	59
Abbildung 21: Visusstufendifferenz der Reihenoptotypen zwischen rechtem Auge und binokularem Sehen.....	60
Abbildung 22: Visusstufendifferenz zwischen Einzel- und Reihenoptotypen monokular	61
Abbildung 23: Visusstufendifferenz zwischen Einzel- und Reihenoptotypen binokular	62
Abbildung 24: Vergleich der Visuswerte für Einzeloptotypen monokular	65

Abbildung 25: Vergleich der Visuswerte für Einzeloptypen binokular	65
Abbildung 26: Vergleich der Visuswerte für Reihenoptotypen monokular.....	66
Abbildung 27: Vergleich der Visuswerte für Reihenoptotypen binokular	67

8 Literaturverzeichnis

- [1] N.-J. Albrecht, Z. Mohammadzadeh, Interdisziplinäre Reihe Migration - Gesundheit - Kommunikation, Kapitel Verbesserung der Gesundheitsberatung und des Zugangs zur Gesundheitsversorgung für Flüchtlinge und AsylbewerberInnen, S. 104-109, Cuvillier, Göttingen, 2005
- [2] American Academy of Ophthalmology, Basic and clinical science course, Chapter Amblyopia p. 105-113, Vol. 6, American Academy of Ophthalmology, San Francisco, 2002, 13 vols
- [3] M. Anderssohn, Monokulare und binokulare Augenfunktionsprüfungen bei fünf- und sechsjährigen Kindergartenkindern. Med. Dissertation, Universität Hamburg, 2007
- [4] A.J. Augustin, L. Hesse, S. Blumenröder, J. Lutz, Titel: Augenheilkunde; Kapitel Strabismus S. 95-136; Kapitel Klinische Refraktion S. 579-597; Kapitel Physiologie und Biochemie S. 1171-1206, Springer-Verlag, 2007; 3. Auflage
- [5] E. Barany, A theory of binocular visual acuity and an analysis of the variability of visual acuity, Acta Ophthalmol (Copenh) 24 (1946) 63-92
- [6] I.A. Barbazetto, Der H-Test in der poliklinischen Anwendung. Ein Vergleich H-Test/C-Test., Med. Dissertation, Universität Hamburg, 1999
- [7] Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V. (BVA), Pressereferat, 60% der Sehschwächen bei Kindern werden zu spät erkannt, Düsseldorf, <http://www.augeninfo.de/presse/0302ki.htm>. 2003
- [8] H. Carl, Vergleichende ophthalmologische Untersuchungen von Vorschulkindern im Hinblick auf Reihenuntersuchungen mit dem C-Test (nach Hohmann und Haase). Med. Dissertation, Universität Hamburg, 1994
- [9] C. Chiesi, A.D. Sargentini, R. Bolzani, Binocular visual perception in strabismic studied by means of visual evoked responses, Doc Ophthalmol 58 (1984) 51-56
- [10] L. Cibis, J. Hurtt, A. Rasicovich, A clinical study of separation difficulty in organic and in functional amblyopia, Am Orthopt J 18 (1968) 66-72

- [11] R.W. Cooke, L. Foulder-Hughes, D. Newsham, D. Clarke, Ophthalmic impairment at 7 years of age in children born very preterm, Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed 89 (2004) F249-253
- [12] W. De Decker, J. Tessmer, [Occurrence of squint and efficiency of treatment in Schleswig-Holstein], Klin Monatsbl Augenheilkd 162 (1973) 34-42
- [13] Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft, Bericht über die Zusammenkunft der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft 1967, S. 582-584 Verlag von J. F. Bergmann, München
- [14] DIN Deutsches Institut für Normung, DIN 58220, EN ISO 8596, Sehschärfenbestimmung, Das Normsehzeichen und seine Darbietung, Beuth Verlag, Berlin, 1996
- [15] V. Dobson, D.Y. Teller, Visual acuity in human infants: a review and comparison of behavioral and electrophysiological studies, Vision Res 18 (1978) 1469-1483
- [16] S. Duke-Elder, D. Abrams, Duke-Elder's practice of refraction; Chapter 20 Visual acuity p.145-153, Churchill Livingstone, Edinburgh, 1993, 300 pp
- [17] R. Effert, W. Jansen, S. Broichhagen, G. Rau, M. Reim, [Testing vision in children], Klin Monatsbl Augenheilkd 199 (1991) 415-418
- [18] K. Eggert, Bestimmung des physiologischen Fernvisus augengesunder Jugendlicher im Alter zwischen 12 und 14 Jahren unter Verwendung eines computergestützten Sehtests. Med. Dissertation, Universität Hamburg, 2003
- [19] D.B. Elliott, K.C. Yang, D. Whitaker, Visual acuity changes throughout adulthood in normal, healthy eyes: seeing beyond 6/6, Optom Vis Sci 72 (1995) 186-191
- [20] H. Exner, Original-Prüfungsfragen mit Kommentar GK 2 Medizinische Biometrie; Kapitel Statistisches Testen S. 83-91 u. 124-131, G. Thieme, Stuttgart, 2002, 162 pp
- [21] M. Fahle, Sinnesphysiologie der "Überauflösung", Kapitel Sehschärfe und Lichtunterschiedsempfindlichkeit S. 9-21, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1991, 173 pp

- [22] K.D. Fern, R.E. Manny, J.R. Davis, R.R. Gibson, Contour interaction in the preschool child, *Am J Optom Physiol Opt* 63 (1986) 313-318
- [23] F.L. Ferris, 3rd, A. Kassoff, G.H. Bresnick, I. Bailey, New visual acuity charts for clinical research, *Am J Ophthalmol* 94 (1982) 91-96
- [24] M.C. Flom, F.W. Weymouth, D. Kahneman, Visual Resolution and Contour Interaction, *J Opt Soc Am* 53 (1963) 1026-1032
- [25] A. Franceschetti, A.T. Franceschetti, S. Hudson-Shaw, [Detection of eye disorders in children of pre-school age], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 149 (1966) 657-662
- [26] L. Frisen, M. Frisen, How good is normal visual acuity?. A study of letter acuity thresholds as a function of age, *Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol* 215 (1981) 149-157
- [27] J. Gardemann, E. Jordan, N.-Ö. H., Migration und Gesundheit Perspektiven für Gesundheitssysteme und öffentliches Gesundheitswesen Tagungsdokumentation und Handbuch, Statements S. 9-30 u. Infektionsschutz und STD S. 111-134, Akademie für Öffentliches Gesundheitswesen, Düsseldorf, 2000, 280 pp
- [28] M. Gräf, [Strategies of visual acuity assessment], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 221 (2004) 557-565
- [29] B. Gramberg-Danielsen, Medizinische Grundlagen der augenärztlichen Begutachtung, Untersuchungsmethodik, Beiheft *Klin Monatsbl Augenheilkd*, 126 (1991) 1-4
- [30] F. Grehn, *Augenheilkunde; Kapitel Prüfung der Sehschärfe und Refraktion* S. 34-40; *Kapitel Schielen* S. 396-413, Springer, Berlin, 2006; 29. Auflage, 552 pp
- [31] W. Grimm, B. Rassow, W. Wesemann, K. Saur, R. Hilz, Correlation of optotypes with the Landoltring - a fresh look at the comparability of optotypes, *Optom Vis Sci* 71 (1994) 6-13
- [32] W. Haase, B. Rassow in *Strabismus*; Kaufmann, H. (Hrsg.); *Kapitel Sehschärfe* S. 75-97; *Kapitel Untersuchung des Binokularsehens* S. 333-415, G. Thieme, Stuttgart, 2004, 594 pp
- [33] W. Haase, A. Hohmann, [A new test (C-test) for quantitative examination of crowding with test results in amblyopic and ametropic patients (author's transl)], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 180 (1982) 210-215

- [34] W. Haase, H.P. Muhlig, [The incidence of squinting in school beginners in Hamburg (author's transl)], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 174 (1979) 232-235
- [35] L.L. Hansen, J. Funk, J. Gerling, B. Lieb, *Augenheilkunde systematisch; Kapitel Untersuchungen des Augenarztes*, S. 74-123 u. Strabismus S. 296-304, UNI-MED, Bremen, 2007
- [36] A. Hart, W. M. Francis Heed, *Westheimer Adler's physiology of the eye clinical application; Chapter: Visual acuity* p. 531-547, Mosby Year Book, St. Louis, 1992, 888 pp
- [37] E. Hartmann, [Determining visual acuity], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 191 (1987) 62-68
- [38] S. Hautzinger, W. Haase, [Determination of far vision with DIN 58220 (criterion 6/10): computer vision test with high resolution monitor in comparison with vision charts], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 211 (1997) 380-386
- [39] J. Heins, *Bestimmung der physiologisch möglichen Sehschärfe bei augengesunden Kindern im Alter von sechs bis sieben Jahren.*, Med. Dissertation, Universität Hamburg, 2007
- [40] J.S. Heravian, T.C. Jenkins, W.A. Douthwaite, *Binocular summation in visually evoked responses and visual acuity*, *Ophthalmic Physiol Opt* 10 (1990) 257-261
- [41] A. Hohmann, *Früherkennung kindlicher Sehstörungen - Stand und Perspektiven; Subjektive Testverfahren für Strabismus, Amblyopie und Refraktionsfehler*, S. 60-72, Vol. 33, Deutscher Ärzte-Verlag Köln, 1987, 107 pp
- [42] A. Hohmann, W. Haase, *Development of visual line acuity in humans*, *Ophthalmic Res* 14 (1982) 107-112
- [43] A. Hohmann, W. Haase, [Effective vision screening can decrease the rate of amblyopia], *Ophthalmologie* 90 (1993) 2-5
- [44] A. Hohmann, W. Haase, *Ophthalmologische Untersuchung bei Kindern mit Lernschwierigkeiten*, *Z. prakt. Augenheilkd* 4 (1983) 234-238
- [45] A. Hohmann, W. Russmann, F.A. Kaszli, [Quality of vision screening in childhood], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 211 (1997) 41-47

- [46] J.T. Holladay, T.C. Prager, Mean visual acuity, *Am J Ophthalmol* 111 (1991) 372-374
- [47] A.D. Johnson, A. Martin, J. Brooks-Gunn, S.A. Petrill, Order in the House! Associations among Household Chaos, the Home Literacy Environment, Maternal Reading Ability, and Children's Early Reading, *Merrill Palmer Q (Wayne State Univ Press)* 54 (2008) 445-472
- [48] B. Kasmann-Kellner, M. Heine, B. Pfau, A. Singer, K.W. Ruprecht, [Screening for amblyopia, strabismus and refractive abnormalities in 1,030 kindergarten children], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 213 (1998) 166-173
- [49] B.E. Klein, R. Klein, M.D. Knudtson, K.E. Lee, Relationship of measures of frailty to visual function: the Beaver Dam Eye Study, *Trans Am Ophthalmol Soc* 101 (2003) 191-196; discussion 196-199
- [50] R. Klinke, Eysel, Pape, *Lehrbuch der Physiologie; Kapitel Sehsystem* S. 606-632, *Kapitel Rhythmen des Gehirns: Elektroencephalographische und neurale Korrelate des Verhaltens* S. 731-756, Thieme, Stuttgart, 2001; 3. Auflage, 800 pp
- [51] Y. Kovas, C.M. Haworth, P.S. Dale, R. Plomin, The genetic and environmental origins of learning abilities and disabilities in the early school years, *Monogr Soc Res Child Dev* 72 (2007), 1-144
- [52] M.T. Kulp, P.P. Schmidt, A pilot study. Depth perception and near stereoacuity: is it related to academic performance in young children?, *Binocul Vis Strabismus Q* 17 (2002) 129-134
- [53] M.T. Kulp, P.P. Schmidt, Visual predictors of reading performance in kindergarten and first grade children, *Optom Vis Sci* 73 (1996) 255-262
- [54] G.K. Lang, O. Gareis, C.W. Spraul, *Augenheilkunde verstehen, lernen, anwenden; Kapitel Optik und Refraktionsfehler* S. 457-494, G. Thieme, Stuttgart, 2004, 669 pp
- [55] J. Lang, [A new stereotest], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 182 (1983) 373-375
- [56] J. Lang, *Strabismus Diagnostik - Schielformen - Therapie; Kapitel Amblyopie* S. 40-55; *Kapitel Untersuchungen des Binokularsehens* S. 86-112, Huber, Bern, 1995, 240 pp

- [57] J. Lithander, Visual development in healthy eyes from 24 months to four years of age, *Acta Ophthalmol Scand* 75 (1997) 275-276
- [58] M. Majeed, C. Williams, K. Northstone, Y. Ben-Shlomo, Are there inequities in the utilisation of childhood eye-care services in relation to socioeconomic status? Evidence from the ALSPAC cohort, *Br J Ophthalmol* 92 (2008) 965-969
- [59] W.R. Marsh, S.C. Rawlings, J.V. Mumma, Evaluation of clinical stereoacuity tests, *Ophthalmology* 87 (1980) 1265-1272
- [60] D.L. Mayer, A.S. Beiser, A.F. Warner, E.M. Pratt, K.N. Raye, J.M. Lang, Monocular acuity norms for the Teller Acuity Cards between ages one month and four years, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 36 (1995) 671-685
- [61] C. Mirzakhanian, Funktionelle Augenuntersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der Sehschärfe bei drei- und vierjährigen Kindergartenkindern in Hamburg und Schleswig-Holstein. Med. Dissertation, Universität Hamburg, 2008
- [62] L.M. Nagtzaam, H.M. Evenhuis, [Practice guidelines for diagnosis of vision disorders in mentally handicapped persons. National Organization for Quality Assurance in Hospitals], *Ned Tijdschr Geneesk* 143 (1999) 938-941
- [63] D.K. Newman, A. Hitchcock, H. McCarthy, J. Keast-Butler, A.T. Moore, Preschool vision screening: outcome of children referred to the hospital eye service, *Br J Ophthalmol* 80 (1996) 1077-1082
- [64] L.S. Nielsen, L. Skov, H. Jensen, Visual dysfunctions and ocular disorders in children with developmental delay. I. prevalence, diagnoses and aetiology of visual impairment, *Acta Ophthalmol Scand* 85 (2007) 149-156
- [65] Oculus, H-Test; http://www.oculus.de/de/sites/detail_ger.php?page=332. Wetzlar, 2009
- [66] O. Oppel, [About some special aspects of the development of the human visual apparatus and its visual functions], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 148 (1966) 321-340
- [67] O. Oppel, [on the Development of Visual Acuity in Preschool Children.], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 145 (1964) 358-371

- [68] J. Petersen, [Erroneous vision determination and quantitative effects], *Ophthalmologie* 90 (1993) 533-538
- [69] R. Plomin, Genetic factors contributing to learning and language delays and disabilities, *Child Adolesc Psychiatr Clin N Am* 10 (2001) 259-277
- [70] A. Powls, N. Botting, R.W. Cooke, G. Stephenson, N. Marlow, Visual impairment in very low birthweight children, *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 76 (1997) F82-87
- [71] W. Pschyrembel, H. Hildebrandt, *Pschyrembel Klinisches Wörterbuch*, S. 914, de Gruyter, Berlin, 1998, 1745 pp
- [72] S. Resnikoff, D. Pascolini, S.P. Mariotti, G.P. Pokharel, Global magnitude of visual impairment caused by uncorrected refractive errors in 2004, *Bull World Health Organ* 86 (2008) 63-70
- [73] R.D. Riley, K.R. Abrams, A.J. Sutton, P.C. Lambert, J.R. Thompson, Bivariate random-effects meta-analysis and the estimation of between-study correlation, *BMC Med Res Methodol* 7 (2007) 3
- [74] R.D. Riley, J.R. Thompson, K.R. Abrams, An alternative model for bivariate random-effects meta-analysis when the within-study correlations are unknown, *Biostatistics* 9 (2008) 172-186
- [75] A. Rydberg, B. Ericson, G. Lennerstrand, L. Jacobson, E. Lindstedt, Assessment of visual acuity in children aged 1 1/2-6 years, with normal and subnormal vision, *Strabismus* 7 (1999) 1-24
- [76] M. Sachsenweger, *Augenheilkunde*, Kapitel: Das Sehvermögen und seine Störungen S. 356-374; Kapitel: Die Augenmotilität, das Binokularsehen und ihre Störungen S. 375-411, G. Thieme, Stuttgart, 2003, 443 pp
- [77] S.R. Salomao, D.F. Ventura, Large sample population age norms for visual acuities obtained with Vistech-Teller Acuity Cards, *Invest Ophthalmol Vis Sci* 36 (1995) 657-670
- [78] H. Schober, H. Munker, [the Determination of Visual Acuity and Factors in Its Reproduction.], *Klin Monatsbl Augenheilkd* 146 (1965) 210-216
- [79] J.E. Sheedy, I.L. Bailey, T.W. Raasch, Visual acuity and chart luminance, *Am J Optom Physiol Opt* 61 (1984) 595-600
- [80] M.D. Sheridan, What is normal distance vision at five to seven years?, *Dev Med Child Neurol* 16 (1974) 189-195

- [81] A.J. Simmers, L.S. Gray, K. Spowart, Screening for amblyopia: a comparison of paediatric letter tests, *Br J Ophthalmol* 81 (1997) 465-469
- [82] R.H. Sireteanu, B.H. Neu, Monocular acuity in preschool children: Assessment with the Teller and Keeler acuity cards in comparison to the C-Test, *Strabismus* 5 (1997) 185-201
- [83] F.J. Slataper, Age norms of refraction and vision, *Arch Ophthalmol* 43 (1950) 466-481
- [84] L.L. Sloan, Measurement of visual acuity; a critical review, *AMA Arch Ophthalmol* 45 (1951) 704-725
- [85] D. Staiger, Bestimmung der physiologisch möglichen Sehschärfe von augengesunden Kindern im Alter von 6 bis 7 Jahren und im Alter von 9 bis 11 Jahren unter Verwendung eines neuen, computergestützten Sehtests. Med. Dissertation, Universität Hamburg, 2000
- [86] Statistisches Amt, f. Hamburg u. Schleswig-Holstein, Arbeitslose in den Hamburger Stadtteilen im Dezember 2006, 2007, http://www.statistik-nord.de/uploads/tx_standdocuments/SI_S_II_070718_F_01.pdf
- [87] Statistisches Amt, f. Hamburg u. Schleswig-Holstein, Ausländische Bevölkerung in Hamburg, 2009, http://www.statistik-nord.de/uploads/tx_standdocuments/A_I_4_j08_H.pdf.
- [88] H.-M. Strassburg, W. Dacheneder, W. Kress, Entwicklungsstörungen bei Kindern Grundlagen der interdisziplinären Betreuung; Kapitel: Häufige Erkrankungen und Probleme im Zusammenhang mit Entwicklungsstörungen S. 137-154, Urban & Fischer, München, 2000, 344 pp
- [89] W. Straub, P. Kroll, H.J. Küchle, Augenärztliche Untersuchungsmethoden, Kapitel Sehschärfe von B. Rassow und W. Haase S. 342-373; Kapitel Augenbewegungsstörungen von W. Rüssmann und H. Kaufmann S. 567-643, Enke, Stuttgart, 1995, 736 S
- [90] J.A. Stuart, H.M. Burian, A study of separation difficulty. Its relationship to visual acuity in normal and amblyopic eyes, *Am J Ophthalmol* 53 (1962) 471-477
- [91] U. Stukenbrock, Bestimmung des Fernvisus mit Streifenmustern unterschiedlicher Feldgröße bei 4- bis 12-jährigen Kindern. Med. Dissertation, Universität Hamburg, 1988

- [92] T.W. Teasdale, J. Fuchs, E. Goldschmidt, Degree of myopia in relation to intelligence and educational level, *Lancet* 2 (1988) 1351-1354
- [93] D.Y. Teller, M.A. McDonald, K. Preston, S.L. Sebris, V. Dobson, Assessment of visual acuity in infants and children: the acuity card procedure, *Dev Med Child Neurol* 28 (1986) 779-789
- [94] H.J. Trampisch, *Medizinische Statistik; Kapitel Tests für den Lageparameter einer oder mehrerer Grundgesamtheiten*, S. 210-264, Springer, Berlin, 2000, 375 pp
- [95] H. Untersteiner, *Statistik - Datenauswertung mit Excel und SPSS für Naturwissenschaftler und Mediziner; Kapitel Schließende (induktive) Statistik = Interferenzstatistik* S. 128-202, facultas.wuv, Wien, 2005, 202 pp
- [96] J. van Hof-van Duin, The development and study of visual acuity, *Dev Med Child Neurol* 31 (1989) 547-552
- [97] R. Vaupel, A. Hohmann, Stereosehschärfe bei 4-11jährigen normalsichtigen Kindern (Titmus- und Randot-Stereotest), *Klin Monatsbl Augenheilkd* 180 (1982) 178-179
- [98] A.A. Velasco e Cruz, Historical roots of 20/20 as a (wrong) standard value of normal visual acuity, *Optom Vis Sci* 67 (1990) 661
- [99] H. von Benda, H. Munker, H. Schmidtke, H. Schober, [Procedure for visual acuity determination], *Bücherei des Augenarztes* 58 (1971) 1-65
- [100] N. Weber, *Augenfunktionsprüfungen bei sechs- und siebenjährigen Kindern in der Stadt Hamburg. Med. Dissertation, Universität Hamburg, 2007*
- [101] G. Westheimer, Scaling of visual acuity measurements, *Arch Ophthalmol* 97 (1979) 327-330
- [102] L.M. Wilcox Jr., S. Sokol, Changes in the binocular fixation patterns and the visually evoked potential in the treatment of esotropia with amblyopia, *Ophthalmology* 87 (1980) 1273-1281
- [103] S.M. Williams, G.F. Sanderson, D.L. Share, P.A. Silva, Refractive error, IQ and reading ability: a longitudinal study from age seven to 11, *Dev Med Child Neurol* 30 (1988) 735-742
- [104] T.H. Williamson, R. Andrews, G.N. Dutton, G. Murray, N. Graham, Assessment of an inner city visual screening programme for preschool children, *Br J Ophthalmol* 79 (1995) 1068-1073

- [105] J. Zihl, S. Priglinger, Sehstörungen bei Kindern Diagnostik und Frühförderung; Kapitel Sehstörungen S. 52-82, Springer, Wien, 2002, 183 pp
- [106] E. Zimmermann, Kulturelle Missverständnisse in der Medizin ausländische Patienten besser versorgen; Kapitel: Die unterschiedlichen Krankheitskonzepte S. 35-45 u. Ausländische Kinder im Krankenhaus S. 83-117, Huber, Bern, 2000, 160 pp

9 Danksagung

An erster Stelle danke ich Herrn Prof. Dr. med. W. Haase für die freundliche Überlassung des Themas, die hervorragende Betreuung und die fachliche Anleitung bei der Durchführung der Untersuchungen.

Ein großer Dank geht auch an Herrn H.-P. Brose und Herrn E. Vettorazzi vom Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie für die stets geduldige Beratung und Unterstützung bei der statistischen Auswertung meiner Daten.

Weiterhin möchte ich mich bei den Schulleitern/Innen und den Lehrer/Innen bedanken für die freundliche Teilnahme, für das zur Verfügung stellen der Räume und die unkomplizierte Unterstützung unserer Untersuchungen.

Besonders möchte ich mich bei allen teilnehmenden Kindern und deren Eltern bedanken.

Ich danke Herrn Dr. J. Poerschke von der Behörde für Bildung und Sport in Hamburg für die freundliche und schnelle Genehmigung der Untersuchungen in den Schulen.

Außerdem danke ich meinem Verlobten und meiner Familie für ihre Unterstützung in dieser Zeit.

10 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Miriam Vogt
Geburtsdatum	21.11.1979
Geburtsort	Hamburg

Schulbildung

1986-1999	Grundschule, Gesamtschule und Gymnasium in Hamburg, Abschluss: Abitur (Note 1,8)
-----------	--

Auslandsaufenthalt

1999-2000	Einjähriger Au Pair-Aufenthalt in Concord, New Hampshire (USA)
-----------	--

Hochschulausbildung

2000-2007	Studium der Humanmedizin an der Universität Hamburg
14.03.2003	Physikum (nach alter ÄAppO), Note befriedigend (3,3)
17.10.2007	2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (nach neuer ÄAppO), Note gut (2,5)
23.11.2007	Approbation als Ärztin

Praktisches Jahr

28.08.2006-17.12.2006	Klinikum Nord-Heidberg, Hamburg, Abteilung für Chirurgie
18.12.2006-08.04.2007	AK Barmbek, Hamburg, Abteilung für Neurologie
09.04.2007-29.07.2007	AK Altona, Hamburg, Abteilung für Innere Medizin (Kardiologie, Gastroenterologie)

Berufliche Tätigkeit

Seit 01.05.2008	Assistenzärztin in der Weiterbildung zur Fachärztin für Neurologie im Krankenhaus Buchholz, Niedersachsen
-----------------	---

11 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach 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.

Miriam Vogt