

Aus der Augenklinik und Poliklinik
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Prävalenz von Kurzsichtigkeit und deren Brillenversorgung
bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Clara Laura Kuchenbäcker
aus Frankfurt am Main

Mainz, 2022

Tag der Promotion: 06.12.2022

Inhaltsverzeichnis

Titelblatt.....	1
Terminblatt	2
Widmung	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis	7
1. Einleitung	14
2. Literaturdiskussion.....	15
2.1 Aufbau des Auges	15
2.2 Refraktionsfehler.....	16
2.3 Hyperopie.....	17
2.3.1 Epidemiologie	19
2.3.2 Assoziierte Faktoren und Risikofaktoren für Hyperopie	20
2.4 Myopie (Kurzsichtigkeit)	22
2.4.1 Epidemiologie	25
2.4.2 Assoziierte Faktoren, Risikofaktoren und Vorbeugung der Myopie.....	28
2.5 Astigmatismus.....	35
2.5.1 Epidemiologie	37
2.6 Anisometropie	37
2.6.1 Epidemiologie und Behandlung	38
2.7 Untersuchungsmethoden	39
2.8 Korrektur der Refraktionsfehler	44
2.8.1 Korrektur der Hypermetropie.....	45
2.8.2 Korrektur der Myopie	46
2.8.3 Korrektur des Astigmatismus	47
2.8.4 Epidemiologie zur Verwendung von Hilfsmitteln	48

2.9 Brechkraftfehler als Risikofaktor	49
2.9.1 Hypermetropie und akuter Winkelblock	49
2.9.2 Myopie und Glaukom.....	51
2.9.3 Myopie und Netzhautablösung.....	52
2.9.4 Myopie und myope Makulopathie	53
2.10 Gesundheitsökonomische Bedeutung von Brechkraftfehlern	54
2.10.1 Myopie.....	57
3. Material und Methode	58
3.1 Die Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS).....	58
3.1.1 Studiendesign	58
3.1.2 Definition Myopie	64
3.1.3 Statistische Analysen	64
3.2 Die ikidS („ich komme in die Schule“) Studie.....	66
3.2.1 Studiendesign	66
3.2.2 Definition Myopie	70
3.2.3 Statistische Analysen	71
4. Ergebnisse	75
4.1 Die Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS).....	75
4.2 Die ikidS („ich komme in die Schule“) Studie.....	84
5. Diskussion.....	114
5.1 Die Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS).....	115
5.2 Die ikidS („ich komme in die Schule“) Studie.....	119
6. Zusammenfassung	127
7. Literaturverzeichnis.....	130
Danksagung	146
Lebenslauf.....	147

Abkürzungsverzeichnis

mCNV	myope choroidale Neovaskularisation
KI	Konfidenzintervall
RKI	Robert-Koch-Institut
KiGGS	Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland
ikidS	„ich komme in die Schule“-Studie
AL	Achslänge
ICD-11	International Classification of Diseases-11
IQ	Intelligenzquotient
DIMS	(„Defocus Incorporated Multiple Segments“) Multiple eingebaute defokussierende Segmente
PACS	(„Primary Angle-closure Suspect“) Verdacht auf eine primäre Engwinkelsituation
PAC	(„Primary Angle Closure“) Primäre Engwinkel-Situation
PACG	(„Primary Angle-closure Glaucoma“) Primäres Engwinkelglaukom
OR	Odds Ratio
MMD	myope Makuladegeneration
GHS	Gutenberggesundheitsstudie
I\$	internationale Dollar
NKRF	nicht korrigierte Refraktionsfehler
SES	sozioökonomischer Status
SEU	Schuleingangsuntersuchung
NHANES	(„National Health and Nutrition Examination Survey“) Umfrage zur nationalen Gesundheit und Ernährung in den USA

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1, Seite 75

„Elternangaben der Analysestichproben der beiden KiGGS-Erhebungen jeweils näher beschrieben (kurzsichtige und nichtkurzsichtige Kinder und Jugendliche im Alter von 0–17 Jahren)“

Tabelle 2, Seite 76

„Stichprobenbeschreibung der beiden KiGGS-Erhebungen jeweils näher beschrieben (kurzsichtige und nichtkurzsichtige Kinder und Jugendliche im Alter von 0–17 Jahren)“

Tabelle 3, Seite 78

„Nähere Beschreibung der Myopieprävalenz der Analysestichproben der jeweiligen KiGGS-Erhebungen“

Tabelle 4, Seite 79

„Sensitivitätsanalysen (S1–S4) zum zeitlichen Trend der Myopieveränderung in der KiGGS-Studie anhand verschiedener Definitionen“

Tabelle 5, Seite 82

„Zusammenhang zwischen Mediennutzung und Myopie bei 3- bis 17-jährigen Kindern und Jugendlichen in Deutschland (n = 10.060). Ergebnisse multivariabler binär logistischer Regressionen (Odds Ratios (OR)). KiGGS Welle 2 (2014–2017)“

Tabelle 6, Seite 85

„Häufigkeitsverteilung der Merkmale Geschlecht, Sehhilfe, Klassenstufe, Einschränkungen und amtlich anerkannter Behinderungen in der ikidS II-Kohorte“

Tabelle 7, Seite 86

Verteilung der Refraktionsfehler als Anteil der 301 refraktionsgemessenen Kinder.

Tabelle 8, Seite 89

„Häufigkeitsverteilung der myopen Brechkraftfehler unter den refraktionsgemessenen Kindern der ikidS II-Kohorte“

Tabelle 9, Seite 90

„Die Häufigkeitsverteilung zur Sehhilfenangaben bei Kindern mit und ohne Refraktionsmessung der ikidS II-Kohorte“

Tabelle 10, Seite 94

„Häufigkeitsverteilung myoper Brechkraftfehler und Vorhandensein einer Sehhilfe (Myopie definiert als sphärisches Äquivalent $\leq -0,5$ dpt).“

Tabelle 11, Seite 95

„Die Häufigkeitsverteilung der gering myopen Brechkraftfehler und der Sehhilfenangaben unter den refraktionsgemessenen Kindern der ikidS II-Kohorte“

Tabelle 12, Seite 97

„Die Häufigkeitsverteilungen der Bewegungshäufigkeit im Freien jeweils näher betrachtet in der gesamten ikidS II-Kohorte, sowie bei Kinder ohne und mit vorliegender Refraktionsmessung“

Tabelle 13, Seite 101

„Die Häufigkeitsverteilungen der Beschäftigungszeit mit elektronischen Endgeräten, Tätigkeiten, die unter Naharbeit fallen und zumeist während des Aufenthalts in Innenräumen (nicht im Freien) betrieben werden, jeweils näher betrachtet in der gesamten ikidS II-Kohorte, sowie bei Kinder ohne und mit vorliegender Refraktionsmessung“

Tabelle 14, Seite 104

„Die Häufigkeitsverteilung der Nutzungszeiten der Mediennutzungsparameter Fernsehen/Videos, Computer/Spielekonsole, Smartphone und Sonstige als Nutzungszeit insgesamt zusammengefasst bei den Kindern der ikidS II-Kohorte“

Tabelle 15, Seite 106

„Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse der Mediennutzungsparameter Fernsehen/Videos, Computer/Spielekonsole und Smartphone/Sonstiges bei den Kindern der ikidS II-Kohorte“

Tabelle 16, Seite 107

„Häufigkeitsverteilung der insgesamt mit Aktivitäten verbrachten Zeit, die am ehesten in geschlossenen Räumen stattfinden (nicht im Freien) bei den Kindern der ikidS II-Kohorte. Hierunter fielen Mediennutzungsparameter, Malen/Basteln, Bücher lesen, Vorgelesen bekommen und Hörspiele hören.“

Tabelle 17, Seite 109

„Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse der Aktivitäten, die am ehesten in geschlossenen Räumen stattfinden, bei den Kindern der ikidS II-Kohorte (abhängige Variable Myopie). Hierunter fielen Mediennutzungsparameter, Malen/Basteln, Bücher lesen, Vorgelesen bekommen und Hörspiele hören.“

Tabelle 18, Seite 110

„Häufigkeitsverteilung der insgesamt mit Aktivitäten verbrachten Zeit, die im Freien stattfinden, bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung. Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz und im Wald.“

Tabelle 19, Seite 111

„Häufigkeitsverteilung der insgesamt mit Aktivitäten verbrachten Zeit, die im Freien stattfinden, bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung und weiterer Zusammenfassung der Angaben. Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz und im Wald.“

Tabelle 20, Seite 112

„Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse der Aktivitäten, die im Freien stattfinden, bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung (abhängige Variable Myopie). Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz und im Wald.“

Tabelle 21, Seite 113

„Häufigkeitsverteilung aller mit Bewegung verbundenen Aktivitäten bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung und weiterer Zusammenfassung der Angaben. Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz, im Wald, Sport im Verein und Sport außerhalb des Vereins.“

Tabelle 22, Seite 114

„Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse aller mit Bewegung verbundenen Aktivitäten bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung und weiterer Zusammenfassung der Angaben (abhängige Variable Myopie). Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz, im Wald, Sport im Verein und Sport außerhalb des Vereins.“

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1, Seite 17

Schematische Darstellung eines emmetropen Auges.

Abbildung 2, Seite 18

Schematische Darstellung eines hyperopen Auges.

Abbildung 3, Seite 22

Schematische Darstellung eines myopen Auges.

Abbildung 4, Seite 60

Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs der KiGGS-Datenerhebungen.

Abbildung 5, Seite 68

Vorgehen bei Datenerhebung von ikidS I und II.

Abbildung 6, Seite 70

Die eingeschlossenen Kinder der untersuchten ikidS II Kohorte.

Abbildung 7, Seite 78

Myopieprävalenzen der KiGGS-Basiserhebung und KiGGS Welle 2.

Abbildung 8, Seite 80

Balkendiagramm der Myopieprävalenz der KiGGS-Basiserhebung (2003-2006, N=17 640) und KiGGS Welle 2 (2014-2017, N=15 023).

Abbildung 9, Seite 81

Balkendiagramm der Myopieprävalenz der KiGGS-Basiserhebung (2003-2006, N=17 640) und KiGGS Welle 2 (2014-2017, N=15 023) im Zeitverlauf geschlechtsstratifiziert für Mädchen, Myopie definiert anhand von Elternfragebogen und Vorhandensein einer Sehhilfe/Brille.

Abbildung 10, Seite 87

Balkendiagramm der Verteilung der gemessenen Refraktionsfehler als Anteil in Prozent der 301 refraktionsgemessenen Kinder.

Abbildung 11, Seite 88

Histogramm zur Verteilung der Messwerte des sphärischen Äquivalents am rechten und linken Auge.

Abbildung 12, Seite 98

Verteilung der Häufigkeit myoper Brechkraftfehler bei refraktionsgemessenen Kindern als Kreisdiagramm.

Abbildung 13, Seite 91

Verteilung der Häufigkeit des Vorhandenseins einer Sehhilfe bei Kindern mit und ohne Refraktionsmessung.

Abbildung 14, Seite 93

Histogramm zur Verteilung der Brechkraftfehler bei Brille ja/nein.

Abbildung 15, Seite 93

Histogramm zur Verteilung der Brechkraftfehler am rechten und linken Auge bei Kindern ohne Sehhilfe.

Abbildung 16, Seite 94

Histogramm zur Verteilung der Brechkraftfehler am rechten und linken Auge bei Brillentragenden.

Abbildung 17, Seite 96

Verteilung der Anzahl der refraktionsgemessenen, gering myopen Kinder mit Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe als Kreisdiagramm, im Verhältnis zu anderen Brechkraftfehlern.

Abbildung 18, Seite 98

Verteilung der Elternangaben zur Häufigkeit von Spielen im Garten pro Woche.

Abbildung 19, Seite 99

Verteilung der Elternangaben zur Häufigkeit von Spielen im auf der Straße pro Woche.

Abbildung 20, Seite 99

Verteilung der Elternangaben zur Häufigkeit von Spielen auf dem Spielplatz pro Woche.

Abbildung 21, Seite 100

Verteilung der Elternangaben zur Häufigkeit von Spielen in naturnahem Raum/Wald pro Woche.

Abbildung 22, Seite 105

Häufigkeitsverteilung der Mediennutzungsparameter (Fernsehen/Videos, Computer/Spielekonsole, Smartphone/Sonstige Internetnutzung).

Abbildung 23, Seite 108

Häufigkeitsverteilung der Aktivitäten, die am ehesten in geschlossenen Räumen stattfinden (Mediennutzungsparameter, Malen/Basteln, Bücher lesen, Vorgelesen bekommen, Hörspiele hören).

Abbildung 24, Seite 111

Häufigkeitsverteilung der Aktivitäten im Freien (Zusammenfassung von Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz, im Wald).

Abbildung 25, Seite 113

Häufigkeitsverteilung der Bewegung (Häufigkeitsverteilung Zusammenfassung Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz, im Wald, Sport im Verein, Sport außerhalb Verein).

1. Einleitung

Kurzsichtigkeit oder Myopie ist ein Brechkraftfehler des Auges, der eine erhebliche Seheinschränkung mit sich bringen kann und einen Risikofaktor für eine Reihe anderer schwerer Augenerkrankungen darstellt.

In Industrieländern ist Myopie der häufigste Grund für eine Seheinschränkung ohne Verwendung einer Sehhilfe. In den letzten Jahrzehnten sind die Myopie und die damit verbundenen Komplikationen zu einem bedeutenden Problem der globalen Gesundheit geworden, denn die Prävalenz nimmt weltweit aus noch nicht vollständig verstandenen Gründen zu, wenn auch regional stark unterschiedlich. Beispielsweise sind in Indien und Nepal bis zu 14 % myop, in Hong Kong bis zu 80 %. (1, 2)

Es wurde prognostiziert, dass bis Ende des Jahrzehntes ein Drittel der Weltbevölkerung kurzsichtig sein wird und bis 2050 fast 50 %, das entspräche 5 Milliarden Menschen weltweit. Damit wurde auch prognostiziert, dass die Folgen der Myopie weltweit zu einer der Hauptursachen für Sehbehinderung und Blindheit werden wird.

(3)

Dies macht die Dringlichkeit der weiteren Erforschung der Kurzsichtigkeit deutlich. Nicht nur um Risikofaktoren und Entstehungsgründe zu identifizieren und Prävention zu betreiben, sondern auch um kontinuierlich, regionsbezogenen Daten zu erheben, damit aktuelle Trends und Entwicklungen der Myopieprävalenz erfasst werden.

Im Rahmen dieser Doktorarbeit soll mit Hilfe der Analyse von zwei Studien dazu beigetragen werden die aktuelle Situation bezüglich der Myopieprävalenz und der Versorgung von Brechkraftfehlern bei Kindern in Deutschland zu erfassen und mögliche Risikofaktoren zu analysieren.

So sollen neben einer möglichst genauen Erfassung der aktuellen Situation, auch Informationen zur Situation bezüglich nicht korrigierter Refraktionsfehler bei Kindern in Deutschland und der Frage, ob ein Verbesserungspotential besteht, gewonnen werden.

2. Literaturdiskussion

2.1 Aufbau des Auges

Bei normalsichtigen Erwachsenen ist der Augapfel in axialer Richtung 23,5 mm lang und nahezu kugelförmig. Den Augapfelinhalt umgibt eine dreischichtige Wand aus der Lederhaut (Sklera), der Aderhaut (Chorioidea) und der Netzhaut (Retina). (4) Die durchsichtige Hornhaut ist wie ein Uhrglas in die derbe bindegewebige, weiße Lederhaut eingelassen, zusammen bilden sie die Hülle des Auges. Die Aderhaut bildet mit dem Ziliarkörper und der Regenbogenhaut die Gefäßhaut (Uvea). Den innen gelegenen Teil der Wand des Auges bildet die Netzhaut, bestehend aus dem sensorischen Teil mit Stütz- und Sinneszellen, sowie dem retinalen Pigmentepithel und der Bruch-Membran. (4)

Im Augapfelinneren befindet sich die Linse (Lens cristallina), der Glaskörper (Corpus vitreum), der Ziliarkörper (Corpus ciliare) und die Regenbogenhaut (Iris).

Das optische System bilden in erster Linie Linse und Hornhaut, wobei die Brechkraft der Linse circa 20 dpt und die der Hornhaut circa 43 dpt ausmacht. In der Jugend kann die Linse mit ihrer Eigenelastizität und ihrer Aufhängung an den Zonulafasern des Ziliarkörpers ihre Brechkraft verändern und so nahe sowie ferne Gegenstände scharf auf der Netzhaut abbilden (Akkommodation). Im Laufe des Lebens nimmt jene Eigenelastizität der Linse ab.

Als Augenanhangsgebilde werden die Tränenorgane, die Lider (Palpebrae) und die Bindehaut (Konjunktiva) bezeichnet, die allesamt dem Schutz und der Befeuchtung des Auges dienen. (4)

Der Augapfel ist in der Orbita gelagert und wird seitlich durch Schädelknochen, nach vorne von den Lidern und das von ihnen zum Orbitarand ziehende Septum orbitale begrenzt. Gebettet in das orbitale Fett- und Fasziengewebe wird der Augapfel von sechs Augenmuskeln in drei Hauptachsen bewegt.

Am hinteren Augenpol tritt etwas nasal verlagert der Sehnerv mit seinen 1,1 Millionen Nervenfasern aus und leitet die Sehinformationen an das Gehirn weiter. (4)

Morphologisch lässt sich das Auge in zwei Abschnitte gliedern: Den vorderen Augenabschnitt, dieser umfasst Lederhaut, Bindehaut, Hornhaut, Iris, Ziliarkörper, Linse, das Kammerwasser der Vorderkammer und den hinteren Augenabschnitt,

hierzu zählen die Netzhaut, die Papille, der Glaskörper und die Aderhaut. (4)

2.2 Refraktionsfehler

Der Begriff Refraktion beschreibt in der Optometrie und der Augenheilkunde den Brechwert einer optischen Anordnung, mit der ein Punkt in unendlicher Entfernung auf der Netzhaut scharf abgebildet werden kann. Ist dieser Brechwert 0,00 dpt (Einheit: Dioptrie), wird der Zustand als Emmetropie bezeichnet, ist er nicht gleich 0, als Ametropie. Emmetropie bedeutet demnach, dass ein in der Ferne liegendes Objekt, ohne die Korrektur einer Brille scharf auf der Netzhaut abgebildet wird (siehe Abbildung 1). (4) Im allgemeinen Sprachgebrauch der Begriff Refraktionsanomalie als anderen Begriff für Ametropie verwendet und mit einer optischen Fehlsichtigkeit gleichgesetzt. Hierunter fallen die Hyperopie (auch: Hypermetropie oder Übersichtigkeit), die Myopie (Kurzichtigkeit) und der Astigmatismus (Stabsichtigkeit). Die Presbyopie (altersbedingte Weitsichtigkeit) gehört nicht in diese Gruppe. (5)

All die genannten Zustände werden in eine Gruppe normabweichender Zustände eingeordnet, die als Fehlsichtigkeiten bezeichnet werden. (6, 7) Es gibt davon abgesehen eine Reihe weiterer Fehlsichtigkeiten, beziehungsweise Erkrankungen, zum Beispiel die Presbyopie (Alterssichtigkeit, die physiologische Abnahme der Akkommodationsfähigkeit mit dem Lebensalter), die Heterophorie (verstecktes (latentes) Schielen), Strabismus (Schielen), Amblyopie (funktionelle Schwachsichtigkeit), Asthenopie (nicht genau umrissener Beschwerdekomples z. B. durch unkorrigierte Ametropien), die Hemeralopie (Nachtblindheit) und die Farbenfehlsichtigkeiten (angeborene oder erworbene Formen der Abweichungen von der normalen Farbwahrnehmung).

An den Begrifflichkeiten der Fehl- und Normalsichtigkeit wird jedoch kritisiert, dass eine Fehlerhaftigkeit suggeriert wird, die zum Beispiel bei der Presbyopie tatsächlich nicht gegeben ist, da es sich um einen physiologischen Prozess handeln.

Um den Begriff Refraktion des Auges etwas genauer zu betrachten, versteht man hierunter das Verhältnis zwischen der Achsenlänge des Bulbus zu den brechenden Medien, also Linse und Hornhaut. (8)

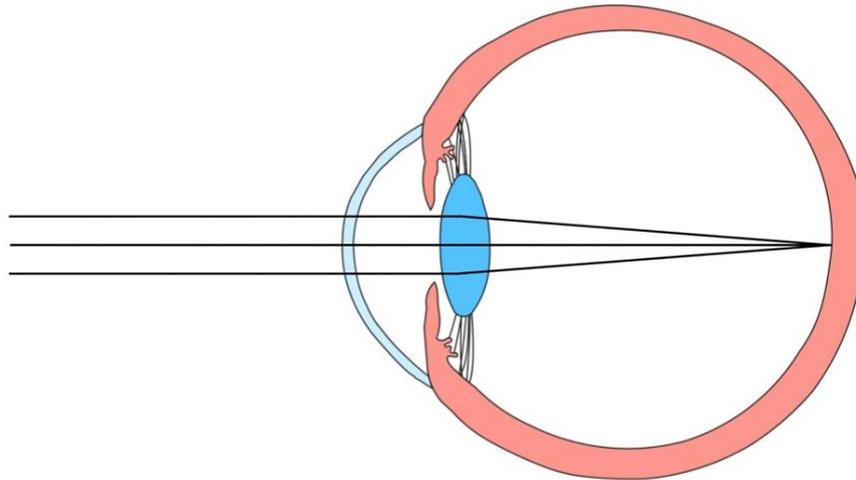


Abbildung 1:

Schematische Darstellung eines emmetropen Auges. Parallel einfallende Lichtstrahlen (schwarze Linien) vereinigen sich bei Emmetropie in einem Brennpunkt auf der Netzhaut.

Im Gegensatz dazu vereinigen sich parallel eintretende Lichtstrahlen nicht auf der Netzhaut, wenn ein Missverhältnis zwischen der Achsenlänge des Auges und der Brechkraft von Hornhaut und Linse vorliegt, wie es bei der Ametropie der Fall ist. Man unterscheidet zum einen in die häufigere Achsenametropie, bei der durch einen zu kurzen oder zu langen Bulbus keine scharfe Abbildung auf der Netzhaut entsteht. Zum anderen gibt es die seltenere Brechungsametropie, bei der die Fehlsichtigkeit durch eine zu starke oder zu schwache Lichtbrechung der Hornhaut oder Linse zustande kommt. (4, 8)

Neben Kurz- und Weitsichtigkeit, zählt der Astigmatismus (Stabsichtigkeit) zu den häufigsten Ametropien, hierbei kommt es zu unterschiedlichen Refraktionsfehlern in zwei Brechungsebenen. (8)

2.3 Hyperopie

Bei der Hyperopie (Weitsichtigkeit, Synonym: Hypermetropie) vereinigen sich parallel einfallende Lichtstrahlen virtuell erst hinter der Netzhaut in ihrem Brennpunkt (siehe

Abbildung 2). Dies liegt am häufigsten an einem zu kurzen Bulbus bei normaler Brechkraft (Achsenhypertropie), seltener an einer zu geringen Brechkraft bei normaler Bulbuslänge (Brechungshypertropie). (8)

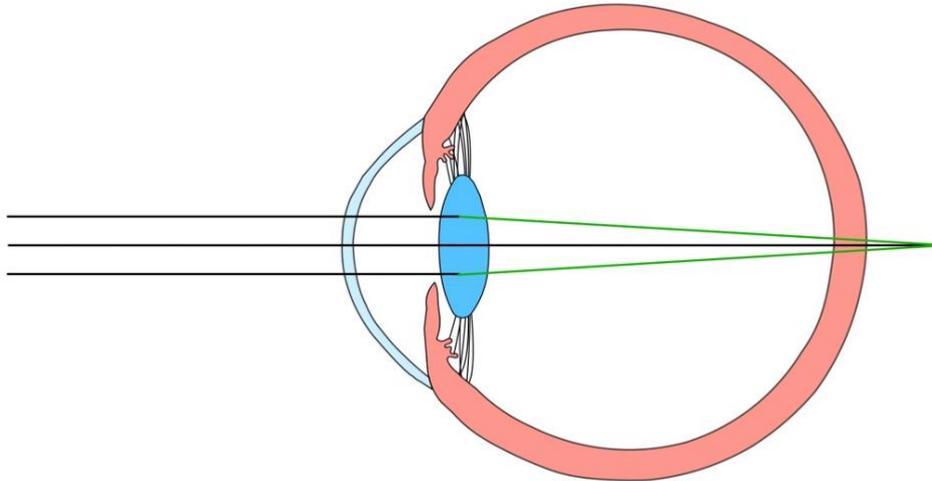


Abbildung 2:

Schematische Darstellung eines hyperopen Auges. Parallel einfallende Lichtstrahlen (schwarze Linien) vereinigen sich bei Hyperopie in einem Brennpunkt hinter der Netzhaut (grüne Linien).

Bei einem linsenhaltigen Auge beträgt die Hyperopie nur selten mehr als 4 bis 5 dpt, in einzelnen Fällen jedoch bis zu +20 dpt. (4) Sonderformen der Brechungshypermetropie sind die Linsenlosigkeit durch Linsenluxation oder bei Zustand nach Staroperation ohne Implantation einer intraokularen Kunstlinse. Bei der Achsenhypermetropie kann ein flache Vorderkammer mit einer dicken Sklera und starkem Ziliarmuskel entstehen, was eine Disposition zu einem akuten Winkelblockglaukom darstellt. (8)

Junge Menschen können eine gering- bis mittelgradige Hyperopie durch Akkommodation ausgleichen, in dem sie bereits beim Blick in die Ferne akkommodieren, so dass beim Blick in die Nähe noch weiter akkommodiert werden muss, um in der Nähe liegende Objekte scharf zu sehen. Dadurch ist jedoch der Ziliarmuskel dauerhaft beansprucht, was zu Beschwerden führen kann

(akkommodative Asthenopie) oder ein Einwärtsschielen (Strabismus convergens accommodativus) hervorrufen kann, da die Akkommodation mit der Konvergenzbewegung gekoppelt ist. (4, 8)

Bei der Funduskopie zeigt sich beim Hyperopen manchmal eine prominente, verwaschen erscheinende Papille (Pseudoneuritis hyperoptica) ohne Exkavation, diese geht jedoch nicht mit Funktionsausfällen einher. Zudem finden sich manchmal geschlängelte retinale Gefäße (Tortuositas vasorum), da die Netzhaut beim zumeist kurz gebauten hyperopen Auge groß erscheint. Die Übergänge zu pathologischen Formen des Kurzbaus des Auges, wie beim Mikrophthalmus, sind fließend. (8)

2.3.1 Epidemiologie

In der Gutenberg-Gesundheitsstudie (n = 15 010 Personen) zeigte sich bei der Erhebung im Jahr 2007-2012 in Deutschland eine Hyperopieprävalenz von 31,8% bei den 35-74-Jährigen. Wobei als Hypermetropie jeder Refraktionswert über +0.5 dpt definiert war. Es zeigte sich eine zunehmende Prävalenz von Hyperopie, Astigmatismus und Anisometropie mit zunehmendem Alter, wobei die Myopie Prävalenz mit zunehmendem Alter abnahm. Hierbei ist die Einschränkung zu beachten, dass die Datenerhebung nicht in Zykloplegie erfolgt ist, daher ist die Prävalenz der Hyperopen gegebenenfalls noch höher, vor allem bei den jüngeren Probanden, die noch in der Lage sind den hyperopen Refraktionsfehlern durch Akkommodation auszugleichen. (9)

Die 2019 veröffentlichte Metaanalyse von Sheeladevi et al., die 15 indische Studien miteinschloss, zeigte eine Hyperopieprävalenz bei über 30-Jährigen von 22.9 %. (10)

Hashemi et al. durchsuchten im Rahmen einer Metaanalyse zur Prävalenz von Refraktionsfehlern internationale Datenbanken von 1990 bis 2016. Die Ergebnisse der abgerufenen Studien wurden mit einem zusammengeführt und zeigten, dass die Hyperopie unter Erwachsenen von 23,1 % in Europa bis 38,6 % in Afrika und 37,2 % in den USA reichte. (11)

Die Prävalenz der Hyperopie ist altersabhängig. Die meisten Neugeborenen sind leicht hyperop (ca. +2,00 dpt) (12), während Frühgeborene und solche mit niedrigem Geburtsgewicht entweder weniger hyperop oder myop (ca. +0,24 dpt) sind. (13) Eine

ältere Datenerhebung von 1990 zeigte, dass ungefähr 6-9 % der Säuglinge im Alter von 6 bis 8 Monaten eine Hyperopie von mehr als +3,25 dpt haben. (14)

Die Metaanalyse von Castagno et al. (15) zeigte sich, dass es weltweit mehrere Studien zur Hyperopie-Prävalenz im Kindesalter gibt, im Vergleich der Studien zeigte sich jedoch eine große Variabilität in der Prävalenz von Hyperopie bei Kindern. Dies liegt zum Teil an den methodischen Merkmalen der einzelnen Studien. Hinsichtlich des Dioptrienwertes besteht kein Konsens über den Cut-Off-Punkt für die Hyperopie-Diagnose von Kindern und auch nicht über das am besten geeignete Maß: ein größerer oder kleinerer hyperoper Hornhautmeridian oder der Wert des sphärischen Äquivalents. (16) Diese Übersichtsarbeit umfasste 40 Querschnittsstudien, die Prävalenz der Hyperopie lag im Bereich von 8,4 % im Alter von sechs Jahren, von 2-3 % zwischen 9 und 14 Jahren und von etwa 1 % im Alter von 15 Jahren. (15)

In einer amerikanischen Studie (17) von 2019 bei 6 bis 72 Monate alten Kindern betrug die Gesamtprävalenz von mäßiger bis hoher Hyperopie ($\geq 4,0$ dpt) auf dem schlechteren Auge 3,2 % (95 %-Konfidenzintervall: 2,9 % – 3,5 %), was 15,6 % aller Hyperopen ($\geq 2,0$ dpt) entspricht. Bei Kindern mit mäßiger bis hoher Hyperopie waren bei 64,4 % beide Augen betroffen, 28,9 % zeigten eine sphärische Anisometropie von 1,0 dpt oder mehr und 19,5 % einen Astigmatismus von 1,5 dpt oder mehr. Von den 36 bis 72 Monate alten Kindern mit mäßiger bis hoher Weitsichtigkeit trugen 17,6 % eine Brille. Die Prävalenz mäßiger bis starker Hyperopie war bei 12- bis 23-monatigen Kindern etwas geringer und bei Kindern ab 24 Monaten relativ stabil. Die Autoren schlussfolgerten, dass bei 6 bis 72 Monate alten Kindern mäßige bis starke Hyperopie nicht ungewöhnlich ist und ihre Prävalenz nicht abnimmt mit dem Alter. (18)

2.3.2 Assoziierte Faktoren und Risikofaktoren für Hyperopie

Aktuell sind die Mechanismen, die die abgestimmte Entwicklung von Bulbus und Brechkraft der optischen Medien koordinieren, nicht vollständig geklärt.

Eine amerikanische Studie führt Zusammenhänge zwischen Hypermetropie bei Kindern im Alter von 6 bis 72 Monaten und dem Rauchen der Mutter während der Schwangerschaft an. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass sowohl Myopie als auch Hypermetropie Risikofaktoren für die Entwicklung einer Amblyopie und Strabismus

sind. Es handelt sich hierbei um die 2019 publizierten Ergebnisse der bereits erwähnten, populationsbasierten Studie in den USA zu pädiatrischen Augenerkrankungen der Autoren Jiang et al. (17), bei der Elternbefragungen und Augenuntersuchungen einschließlich zykloplegischer Refraktion bei 15 051 Kindern durchgeführt wurden. Es zeigte sich in dieser Studie, dass die Risikofaktoren für mäßige bis starke Hyperopie sich von denen für geringe bis mäßige Hyperopie (2,0–<4,0 D) bei Vorschulkindern unterscheiden, wobei Strabismus in der Familienanamnese und mütterliches Rauchen während der Schwangerschaft, insbesondere das mütterliche Rauchen, das bis ins dritte Trimester andauerte, stärker mit mäßiger bis hoher Hyperopie assoziiert sind als mit geringe bis mäßige Hyperopie. Die Autoren beschrieben zudem, dass selbst mäßiges Rauchen der Mutter (< 5 Zigaretten/Tag) während der Schwangerschaft ein höheres Risiko für mittelschwere bis hohe Hyperopie mit sich brachte. (17) Die Wirkung des mütterlichen Rauchens während der Schwangerschaft auf das Hyperopierisiko scheint nicht durch ein höheres Risiko für Frühgeburten, ein niedriges Geburtsgewicht oder beides vermittelt zu sein, beides wurde in dieser Studie nicht mit Hyperopie in Verbindung gebracht. Die biometrische Analyse ergab, dass das Rauchen der Mutter während der Schwangerschaft mit einer reduzierten axialen Länge assoziiert war. Dies steht im Einklang mit Erkenntnissen, dass Nikotin das Augenwachstum in Tiermodellen hemmen konnte und dass das Rauchen der Mutter mit einem erhöhten Risiko für Anophthalmie und Mikrophthalmie verbunden ist. (17, 19)

Um noch einmal auf die Ergebnisse der Metanalyse von Castagno et al. zurückzugreifen: hier zeigte sich in Bezug auf assoziierte Faktoren, dass das Alter eine umgekehrte Assoziation mit Hyperopie aufwies. Die Häufigkeit von Hyperopie war bei weißen Kindern und denen, die in ländlichen Gebieten lebten, höher. In den verglichenen Studien bestand kein Konsens über den Zusammenhang zwischen Weitsichtigkeit und Geschlecht, Familieneinkommen und elterlicher Schulbildung. (15)

Rose et al. (20) stellten fest, dass Kinder im Alter von 6 und 12 Jahren in Australien, die mehr Zeit pro Woche mit Outdoor-Aktivitäten (Outdoor-Sportarten, Picknicks und Spaziergänge) verbrachten, hyperoper waren als diejenigen, die weniger Zeit mit diesen Aktivitäten verbrachten. Die Autoren stellten auch fest, dass es einen

statistisch signifikanten Trend zu einem größeren hyperopen sphärischen Äquivalent gab, wenn die Dauer der Außenaktivitäten zunahm und die der Nahaktivitäten abnahmen. (20) Rose et al. kamen zu dem Schluss, dass eine hyperopes sphärisches Äquivalent häufiger bei Kindern vorkommt, die weniger Zeit für Aktivitäten in der Nähe und mehr Zeit für Aktivitäten im Freien aufwenden. (15, 20)

2.4 Myopie (Kurzichtigkeit)

Ein myopes Auge ist zu lang im Verhältnis zur Brechkraft, dabei entspricht eine Verlängerung um 1 mm in etwa 3 dpt Myopie bei einem normal gebauten Auge. Häufiger ist eine Achsenmyopie zu finden, seltener eine zu große Brechkraft von Hornhaut oder Linse. (4)

Liegt eine Myopie vor, vereinigen sich die parallel einfallenden Lichtstrahlen vor der Netzhaut. Es ergibt sich ein unscharfes Bild auf der Netzhaut, durch die danach divergierenden Strahlen. Da sich der Fernpunkt eines myopen Auges in endlichen Abstand befindet, wird die Myopie auch „Kurzichtigkeit“ genannt. (4)

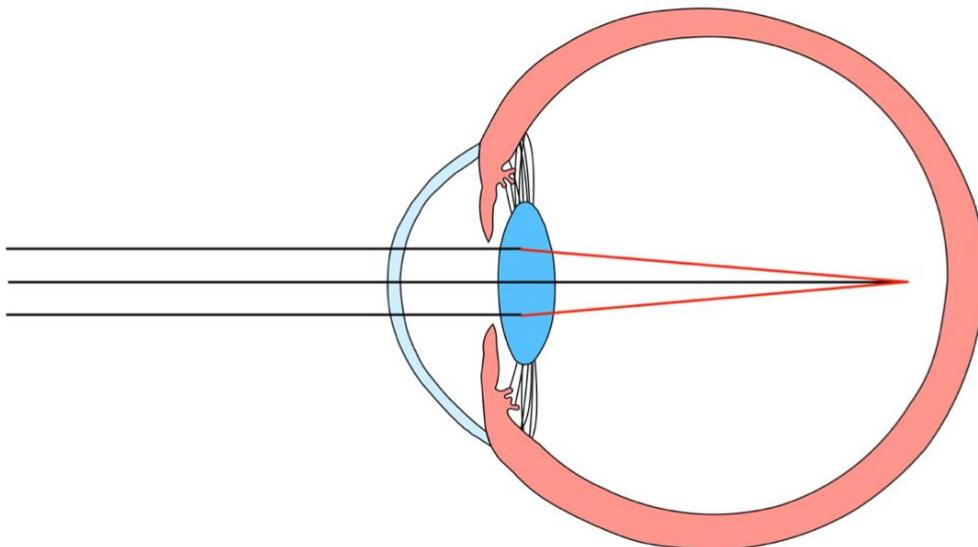


Abbildung 3:

Schematische Darstellung eines myopen Auges. Parallel einfallende Lichtstrahlen (schwarze Linien) vereinigen sich bei Myopie in einem Brennpunkt vor der Netzhaut (rote Linien).

Alles was sich ferner dieses Fernpunktes befindet, wird folglich auf der Netzhaut unscharf abgebildet. (4)

Die Myopie lässt sich unterteilen in verschiedene Formen, unterschieden werden die einfache Myopie (Myopia simplex, „Schulmyopie“) und die hohe Myopie (Myopia magna, „maligne“ Myopie, progressive Myopie).

Eine Myopia simplex beginnt mit etwa 10-12 Jahren und nimmt nach dem 25. bis 30. Lebensjahr meist nicht mehr zu. In der Regel überschreitet die einfache Myopie -8 dpt. nicht. (4, 8)

Myopie ist seit dem Werk von Johannes Kepler im Jahr 1604 Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen und seit der Zeit Aristoteles Gegenstand philosophischer Diskussionen. Im Laufe der Jahrhunderte wurde Myopie auf vielfältige Weise definiert: vermutete Ätiologie, Erkrankungsalter, Progressionsmuster, Ausmaß der Myopie (in Dioptrien) und strukturelle Komplikationen. Dies hat zu einer Bandbreite von Begriffen geführt. (21)

Im Zeitalter der evidenzbasierten Medizin ist die Anhäufung unterschiedlicher Begriffe und Klassifikationen ein erhebliches Hindernis. Es gibt erhebliche Unterschiede bei der Definition von Myopie in Bezug auf dioptrische Fehler, dies führt zu Herausforderungen beim Vergleich epidemiologischer Studien. Standardisierte, internationale Klassifikationen sind ein wesentliches Merkmal des evidenzbasierten Ansatzes. Bis vor kurzem fehlten im Myopiebereich international vereinbarte Standards. Von den Autoren Filtcroft et al. wurden in einer 2019 veröffentlichten Arbeit eine Reihe von Definitionen für Myopie vorgeschlagen, die evidenzbasiert, statistisch fundiert und klinisch relevant sind. In ihrer Zusammenfassung für vorgeschlagene Definitionen der Myopie nennen die Autoren an qualitativen Definitionen neben der erwähnten Achsenmyopie und Brechungsmyopie noch die sekundäre Myopie, ein kurzsichtiger refraktiver Zustand, für den eine einzelne, spezifische Ursache (z. B. ein Medikament, eine Hornhauterkrankung oder ein systemisches klinisches Syndrom) identifiziert werden kann, die kein anerkannter Risikofaktor für die Entwicklung von Myopie in der Bevölkerung ist. (21)

Die Autoren empfehlen als quantitatives Merkmal, Myopie in Myopie (d. h. alle Myopen), geringe Myopie und hohe Myopie zu unterteilen, dabei ist der Konsens-Schwellenwert für Myopie ist ein sphärisches Äquivalent von $\leq -0,50$ dpt. Der aktuelle Konsens-Schwellenwert für hohe Myopie liegt bei einem sphärischen

Äquivalent von $\leq -6,00$ dpt. Alle Werte $\leq -0,50$ dpt und $> -6,00$ dpt werden als geringe Myopie klassifiziert.

Für Werte $> -0,50$ dpt und $\leq +0,75$ dpt schlagen Flitcroft et al. eine weitere Kategorie vor, die als „Prä-Myopie“ definiert wird. (21)

Normalerweise gelten Refraktionsfehler gemeinhin als wenig pathologisch und sind durch Kontaktlinsen oder eine Brille ausgleichbar. Bei höheren Fehlsichtigkeiten besteht jedoch das Risiko für schwere organische Veränderungen. Dabei birgt eine hohe Myopie deutlich größere Risiken als eine hohe Hyperopie. (22) Bei einer hohen Myopie ist das Auge durch den verlängerten Bulbus axial elongiert und kann zusätzlich auch horizontal und vertikal deformiert sein. (23) Die pathologische Myopie ist eine Erkrankung, die unabhängig von äußeren Einflüssen voranschreitet und ein erhöhtes Risiko für mehrere Pathologien am Auge darstellt. Durch die große Länge des Bulbus zeigt insbesondere der Augenhintergrund Veränderungen auf, wie eine Atrophie und Dehnung von Aderhaut und Pigmentepithel, besonders am hinteren Augenabschnitt. (4) Schon bei mittlerer Myopie rückt die Aderhaut von der Papille ab, was einen Conus (eine weiße Sichel) entstehen lassen kann. Jener Conus, entstehend durch die Aderhautatrophie, umgreift bei hoher Myopie die gesamte Papille ringförmig (Conus circumpapillaris). Zudem zeigt die Papille des myopen Auges, möglicherweise aufgrund der Sehnervenstauchung in der Orbita, einen schräg eintretenden Sehnerven („tilted disc“). (4, 23) Zudem finden sich teilweise Lacksprünge, dies sind Rupturen innerhalb der Bruch-Membran. (23)

Die beschriebenen Atrophiezonen können auch an anderen Stellen des hinteren Augenpols entstehen, zusätzlich können zwischen Makula und Papille Defekte der Aderhaut hinzukommen. Es können Fuchs-Flecke entstehen, verbliebene pigmentierte Läsionen nach Blutungen, sowie myope chorioidale Neovaskularisationen (mCNV). (23) Weitere degenerative Prozesse sind chorioretinale Atrophien, Dehnungsherde, sowie Makulaatrophien.

Entwickeln sich diese Netzhaut- und Aderhautläsionen speziell am hinteren Pol des Auges, werden sie als „myopische Makulopathie“ oder „myopische Retinopathie“ oder „myopische Makuladegeneration“ bezeichnet. (24)

Diese im Rahmen einer myopen Makulopathie auftretenden Pathologien können unter anderem das Entstehen einer Netzhautablösung begünstigen und zur

Erblindung führen. (4)

In asiatischen Bevölkerungen konnte gezeigt werden, dass bei Menschen mit hoher Myopie bei über 80 % eine peripapilläre Atrophiezone und bei 30 bis 50% Staphylome und periphere Netzhautveränderungen zu finden waren. (25, 26) Unter den Hochmyopen wiesen zwischen 1,5 bis 4,3 % Lacksprünge (Rupturen innerhalb der Bruch-Membran) auf. (26, 27)

Einer Publikation von Wong et al. ist zu entnehmen, dass 5 bis 11% aller Hochmyopen mit bestehenden pathologischen Netzhautveränderungen eine Progression zu mCNV entwickelten (28, 29) und bei Vorliegen von Lacksprüngen sogar über die Hälfte. (27) Lacksprünge können dabei die Vorstufen einer mCNV sein. Eine mCNV ist klinisch dabei nicht immer sicher von einer altersbedingten Makuladegeneration zu unterscheiden. Wenn es zu einer Blutung bei einer mCNV kommt, ist diese klassischerweise jedoch eher kleinflächig. Oft ist eine mCNV mit einem Makulaödem vergesellschaftet. (23) Wenn eine mCNV an einem Auge besteht, entwickeln 30% der Patienten eine mCNV auch am Partnerauge. (30) Das Risiko für eine Sehbehinderung ist bei Vorliegen einer mCNV grundsätzlich erhöht. (23, 31)

2.4.1 Epidemiologie

Die weltweit zunehmende Myopie wird in den Industrieländern als der häufigste Grund für eine Einschränkung des Sehens ohne optisch Korrektur diskutiert. (32) Das menschliche Auge ist bei Geburt weitsichtig, (33) bis ins Schulalter emmetropisiert es typischerweise. (34)

Im Vorschulalter tritt die Myopie noch selten auf, mit der Anzahl an Bildungsjahren steigt die Prävalenz, wie sich beispielsweise in einer deutschen bevölkerungsbasierten Studie unter 35- bis 74-jährigen Erwachsenen zeigte. (35) Hierbei besteht der Zusammenhang zwischen Myopie und Bildung unabhängig von der Genetik. (36) Die Entwicklung der in der Schulzeit erworbenen Kurzsichtigkeit beginnt typischerweise zwischen dem 5. und 10. Lebensjahr. (37)

Betrachtet man die Verbreitung von Myopie näher, berichtet eine systemische Übersichtsarbeit bei 5-jährigen, publiziert im Jahr 2016, eine deutliche Streubreite in

der Myopieprävalenz: zwischen 1,6 % bei Kindern kaukasischer Herkunft und 11,3 % bei Ureinwohnern Nordamerikas. (1) Bei Erwachsenen findet sich eine deutlich höhere Prävalenz von Myopie. Hervorzuheben sind besonders ostasiatische Länder, in denen über Myopieprävalenzen von bis zu 80 % berichtet wird, wobei in ländlichen Regionen ohne formelle Bildung unter lediglich 10 % eine Myopie haben. (34, 38) In Australien wurde im Gegensatz hierzu in einer 2005 veröffentlichten Studie bei 8% der Kinder im Alter zwischen 4 und 12 Jahren eine Myopie von mehr als $-0,50$ dpt festgestellt. (39)

Zur Prävalenz von Myopie bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland machten Jobke et al. in einer Publikation aus dem Jahr 2008 (40) folgende Angaben: Es fand sich eine Prävalenz von 0 % unter den 2-6-Jährigen, von 5,5 % unter den 7-11-jährigen und von 21,0 % unter den 12-17-jährigen. Dies wies auf deutlich niedrigeren Myopieprävalenzen als in anderen Studien in Europa hin. (40) Auf Grundlage der Basiserhebung der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS) des Robert-Koch-Instituts (RKI) kam eine frühere Publikation auf eine Myopieprävalenz von 13,3 % bei 3-17-Jährigen, hierzu wurden Daten aus den Jahren 2003 bis 2006 ausgewertet. (2)

In einer Erhebung von Kaymak et al. (41) wurden Daten zu Refraktionsfehlern und deren Versorgung mit Sehhilfen bei Kindern der 5. bis 7. Klasse an einem staatlichen Gymnasium im Raum Düsseldorf in Deutschland untersucht. Dabei nahmen im Herbst 2019 insgesamt 274 Schülerinnen und Schüler ($11,2 \pm 1,2$ Jahre) an optometrischen Messungen teil. Insgesamt wiesen 22% der 274 Kinder eine Myopie (sphärisches Äquivalent $\leq -0,50$ dpt) auf, davon waren 11% unkorrigiert. (41) Einer Sekundärdatenanalyse über den Zeitraum von 2000 bis 2015 von Wesemann kam zu folgendem Schluss (37): bei Personen im Alter von 5 bis 30 Jahren ist keine Zunahme der Myopie über den betrachteten Zeitraum zu verzeichnen. Hierzu untersuchte Wesemann einen Datensatz, der aus Refraktionswerten ($n = 1\,223\,410$) für angepasste Brillen von mittelständigen Augenoptikerbetrieben in Deutschland bestand. (37)

Die Autoren Truckenbrod et al. (42) veröffentlichten 2021 eine Erstellung kontinuierlicher Wachstumskurven für die Achslänge bei deutschen Kindern und nahmen dabei an, dass Perzentilkurven von Achslänge als prädiktives Maß für Kurzsichtigkeit verwendet werden können. In der Kohorten-LIFE Child Study wurden

nicht-zykloplegische Refraktionsdaten von Kindern mit dem Zeiss i.Profiler plus gesammelt, während Achslänge mit dem Haag-Streit Lenstar gemessen wurde. Referenzwachstumskurven wurden als kontinuierliche nichtparametrische Funktion des Alters geschätzt und Daten von von 1965 Teilnehmern (1021 Jungen und 944 Mädchen) zwischen 3 und 18 Jahren wurden hierfür analysiert. Für alle Altersgruppen und Perzentile war die geschätzte Achslänge bei Jungen höher als die von Mädchen. Achslängenunterschiede zwischen Jungen und Mädchen waren im 98. Perzentil im Alter von 3 Jahren am ausgeprägtesten, wobei die Augen bei Jungen um 0,93 mm länger waren. Dieser Unterschied verringerte sich im Alter von 18 Jahren auf 0,21 mm. Während die unteren Perzentile der Achslänge ihren Endwert um das 13. Lebensjahr erreichen, nahm das 50. Perzentil bis zum Ende des Beobachtungszeitraums noch um 0,05 mm pro Jahr zu. Während Kinder mit längeren Augen im Allgemeinen eher Kurzsichtigkeit entwickeln, ist dieser Zusammenhang zwischen dem 5. und 8. Lebensjahr schwächer. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Daten der LIFE Child Study europäischen Normkurven entsprechen. Sowohl in Deutschland als auch in China weist die Achslänge vergleichbare Wachstumsraten auf, wenn die Baseline-Achslängen als Perzentile verglichen werden. Laut den Autoren können somit Perzentilkurven von Achslänge als prädiktives Maß für die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung sowie das Fortschreiten einer Kurzsichtigkeit verwendet werden. (42)

Bezüglich der Prävalenz der Myopie bei 19-jährigen, männlichen, österreichischen Wehrpflichtigen zeigt sich zwischen 1983 und 2017 eine Zunahme von 13,8 % über einen Zeitraum von 35 Jahren auf 24,4 %. (43)

In einer Metaanalyse von populationsbasierten Querschnittsstudien des European Eye Epidemiology (E3) Konsortiums von Williams et al. wurde die Myopieprävalenz in ganz Europa über einen Zeitraum von 1990 bis 2013 bei 44- bis 78-Jährigen untersucht. (44) Bei allen Teilnehmern wurden die Refraktion (nicht in Zykloplegie), Geburtsjahr und der höchste erreichte Bildungsstand ermittelt. Myopie wurde als mittleres sphärisches Äquivalent von $\leq -0,75$ Dioptrien definiert. Bei 25,8 % der insgesamt 61 946 eingeschlossenen Teilnehmer lag nach dieser Definition eine Myopie vor. (44)

Es zeigte sich ein signifikanter Kohorteneffekt für die Erhöhung der Myopie-Prävalenz über die letzten Geburtsjahrzehnte hinweg, dabei stieg die

altersstandardisierte Myopie-Prävalenz von 17,8% (95%-Konfidenzintervall: 17,6%-18,1%) auf 23,5% (95%-Konfidenzintervall: 23,2%-23,7%) bei den zwischen 1910 und 1939 Geborenen im Vergleich zu den Jahrgängen 1940 und 1979 ($P = 0,03$).

Bildung war signifikant mit Myopie verbunden. Obwohl jüngere Geburtsjahrgänge gebildeter waren, erklärte dies den Kohorteneffekt nicht vollständig. (44)

In Brasilien schätzte eine Studie aus dem Jahr 2005, dass 6% der Brasilianer im Alter zwischen 12 und 59 Jahren eine Myopie von $-1,00$ dpt oder mehr hatten, verglichen mit 3% der indigenen Bevölkerung im Nordwesten Brasiliens. (45)

Aus einer Metaanalyse von Kempen et al. aus dem Jahr 2004 ergab sich, dass 16% der Australier im Alter von 40 Jahre oder älter mindestens $-1,00$ dpt Myopie und 3% mindestens $-5,00$ dpt aufweisen. (46)

Aus derselben Erhebung von Kempen et al. geht hervor, dass 25 % der Amerikaner im Alter von 40 oder älter mindestens $-1,00$ dpt myop sind und 5 % einen Refraktionsfehler von mindestens $-5,00$ dpt haben. (46)

In den Vereinigten Staaten ist die Myopieprävalenz von 1971 bis 2004 gestiegen. 1971–1972 lieferte der „National Health and Nutrition Examination Survey“ (NHANES) die frühesten national repräsentativen Schätzungen zur Myopie-Prävalenz in den USA und stellte fest, dass die Prävalenz bei Personen im Alter von 12 bis 54 Jahren bei 25 % lag. Mit der gleichen Methode wurde die Myopie-Prävalenz von 1999 bis 2004 auf 42 % geschätzt, was bedeutet, dass sie sich in den drei Jahrzehnten fast verdoppelt hat. (47)

2.4.2 Assoziierte Faktoren, Risikofaktoren und Vorbeugung der Myopie

Derzeit wird ein Zusammenspiel aus genetischen und umweltbedingten Faktoren als Ursache für die Entstehung von Kurzsichtigkeit angenommen. (20) Die genetischen Auswirkungen wurden von Mutti et al. (48) näher untersucht. Es wurde gezeigt, dass 6,3% der Kinder kurzsichtig waren, wenn bei keinem Elternteil eine Kurzsichtigkeit vorlag. Wenn eine/r der Eltern kurzsichtig war, hatten 18,2 %, waren beide Elternteile kurzsichtig zeigten 32,9 % der Kinder eine Kurzsichtigkeit.

Dies kann zum Einen hierdurch erklärt werden, dass Eltern mit Kurzsichtigkeit genetische Varianten weitergeben, die ihre Kinder für Kurzsichtigkeit prädisponieren. Es ist jedoch auch wahrscheinlich, dass Eltern mit Kurzsichtigkeit im Durchschnitt

besser ausgebildet sind und dadurch einen Lebensstil weitergeben, der mehr Risikofaktoren für Myopie beinhaltet. (49)

In modernen Gesellschaften tritt Kurzsichtigkeit meistens während der Zeit auf, in der Kinder die Schule besuchen, wohingegen Kinder, die nicht zur Schule gehen, seltener kurzsichtig werden. (38) Der Zusammenhang zwischen Anzahl der absolvierten Schuljahre und Prävalenz der Myopie bei Schulkindern ist zudem bekannt. (50) Als protektiv wird die Lichtexposition im Freien betrachtet. Im Gegensatz dazu werden Tätigkeiten wie Fernsehen, Computernutzung und Lesen als mögliche Risikofaktoren angesehen. (51-53)

Die deutsche Gesellschaft durchläuft derzeit eine Transformation von einer Industriegesellschaft hin zu einer digitalen Wissensgesellschaft. Die Schulbildung verändert sich in Verbindung damit ebenso, hin zu mehr Naharbeit und damit mehr Arbeit in Innenräumen und seltener im Freien verbrachte Zeit.

Obwohl gute historische Daten spärlich sind, scheint es in Gesellschaften, in denen Kinder nicht zur Schule gehen, sehr wenig Kurzsichtigkeit zu geben (54). Die Prävalenz von Kurzsichtigkeit nimmt in Gesellschaften zu, wenn sich die nationalen Bildungssysteme entwickeln, hierdurch mehr Kinder die Schule besuchen und mehr Schulbildungsjahre absolvieren. (38, 49)

Auch innerhalb eines bestimmten Ortes oder Schulsystems nimmt die Myopie zu, wenn die Schulbildung steigt. In einem bestimmten Alter sind Kinder, die in stärker akademisch orientierte Klassen oder Schulen eingeschrieben sind oder höhere Noten erreichen, tendenziell kurzsichtiger. (55, 56) Erwachsene, die mehr Schuljahre abgeschlossen haben oder höhere Bildungsabschlüsse haben, neigen ebenfalls dazu, kurzsichtiger zu sein. (35, 49)

Einige Studien zeigen, dass die Länder, die derzeit eine Myopie-Epidemie haben, in internationalen Vergleichen der Bildungsergebnisse hervorstechen. Sie neigen dazu, ein Muster von früh einsetzendem Bildungsdruck zu haben, mit Hausaufgaben, die in den Vorschuljahren beginnen, und umfassender Nutzung von Nachhilfeunterricht außerhalb der Schulzeit. (49, 57)

Neben der Bildung spielt die erwähnte Aufenthaltszeit im Freien eine wichtige Rolle. Untersuchungen darüber, dass Zeit im Freien ein wichtiger Faktor bei der Entstehung von Fehlsichtigkeiten ist, gibt es erst in den letzten 20 Jahren. Davor gab es oft sehr

schwache Evidenz dafür, dass Zeit im Freien in gewisser Weise vor Myopie schützt, im Allgemeinen beruhend auf der geringeren Prävalenz von Myopie in ländlichen Gebieten und bei Arbeitern, die im Freien tätig sind. (58)

In jüngerer Zeit wurde sehr viel mehr Untersuchungen und Studien dazu durchgeführt, beginnend mit zwei wegweisenden Arbeiten, (55, 59) gefolgt von Querschnitts- (20), ökologischen (60) und Längsschnittstudien (61). Seitdem wurde eine große Menge epidemiologischer Untersuchungen zu der protektiven Wirkungen von Zeit im Freien gesammelt und eine kürzlich durchgeführte systematische Übersichtsarbeit mit Metaanalyse hat den Zusammenhang bestätigt. (62) Wichtig ist, dass mehr Zeit im Freien die Auswirkungen der elterlichen Kurzsichtigkeit (61) und höherer Grade von Kurzsichtigkeit verringern kann. (20) Die Kausalität wurde in schulbasierten Interventionsstudien demonstriert, die gezeigt haben, dass eine Verlängerung der Zeit im Freien um 40 bis 80 Minuten pro Tag zu einer signifikanten Verringerung der Kurzsichtigkeit führte, im Einklang mit den Erwartungen aus den epidemiologischen Daten. (49, 63)

Rose et al. (20) postulierten, dass helleres Licht im Freien bei Tageslicht zu mehr Dopaminfreisetzung in der Netzhaut führte, was wiederum die axiale Dehnung hemmte. Diese Hypothese wurde durch Tierversuche gestützt, die zeigten, dass helles Licht die Entwicklung von Formenzugsmyopie unter Laborbedingungen hemmt und dass die Schutzwirkung D2-Dopamin-Rezeptoren bei Hühnern, Affen und Spitzmäusen betrifft. (49, 64)

In den letzten zwei Jahrzehnten ist die Nutzung von Computern und Smartphones zu einem alltäglichen Bestandteil des täglichen Lebens geworden, wobei digitale Geräte in vielen Ländern in den Schulunterricht integriert wurden. (49) Inwiefern ein Einfluss auf die Entstehung einer Myopie durch die insbesondere Nutzung eines Smartphones besteht, wird kontrovers diskutiert. (2, 65, 66)

Die Myopie-Epidemie trat lange vor der allgemeinen Nutzung elektronischer Geräte auf, da die Prävalenz von Myopie in Taiwan und Singapur bei Kindern, die in den frühen 1960er Jahren geboren wurden, bereits hoch war, (67, 68) während das Internet der breiten Öffentlichkeit erst seit 1993 zur Verfügung stand. Es ist durchaus möglich, dass digitale Geräte inzwischen zu einer bedeutenden Form der Naharbeit geworden sind und ihre Nutzung eng mit Bildung und Kurzsichtigkeit korreliert. (49) In einer 2020 veröffentlichten systematischen Analyse von den Autoren Lanca und Saw (69), mit 15 eingeschlossenen Studien (neun Querschnitts- und sechs

Kohortenstudien) mit insgesamt 49 789 Kindern im Alter zwischen 3 und 19 Jahren, zeigten sich gemischte Ergebnisse bezüglich des Zusammenhangs zwischen Bildschirmzeit und Myopie. Demnach war die Bildschirmzeit in fünf der Studien nicht mit vermehrt auftretender Myopie assoziiert, sieben Studien fanden einen Zusammenhang zwischen Bildschirmzeit und Kurzsichtigkeit. (69)

Derzeit finden sich in der Literatur keine Hinweise darauf, dass die Zeit mit der Nutzung digitaler Geräte gefährlicher ist als eine vergleichbare Zeit mit Lesen. (49)

Daten aus Taiwan deuten darauf hin, dass die Prävalenz von Kurzsichtigkeit in den letzten Jahren stetig zugenommen hat, (70) insbesondere bei jüngeren Kindern, was auf die zunehmende Bildschirmzeit zurückgeführt werden könnte. Im Gegensatz dazu deuten Daten aus Hongkong darauf hin, dass die Prävalenz von Kurzsichtigkeit bei 6- bis 8-jährigen Kindern in den USA eher zurückgegangen ist in den letzten 20 Jahren, trotz einer unbestrittenen Zunahme der Nutzung digitaler Geräte. (71) Vor kurzem hat die Weltgesundheitsorganisation „Gaming Disorders“ als eine Krankheit in der 11. Revision der International Classification of Diseases-11 (ICD-11) anerkannt, da die Auswirkungen von extremer täglicher Bildschirmzeit auf die Entwicklung von Myopie im schulpflichtigen Alter, möglicherweise kombiniert mit ausgeprägt wenig Aufenthalt im Freien, schwerwiegend sein können. (49)

Viele Studien haben die Prävalenz von Kurzsichtigkeit bei Männern und Frauen verglichen in Bezug auf einen direkten biologischen Zusammenhang zwischen Geschlecht und Kurzsichtigkeit. In älteren Studien ist die Prävalenz bei männlichen Probanden tendenziell höher, während neuere Studien häufiger von höheren Prävalenzen bei weiblichen Probanden berichten. (49)

Der extrem große Unterschied in der Prävalenz von Kurzsichtigkeit bei Mädchen und Jungen in orthodoxen jüdischen Gemeinden in Israel, wo die Jungen von klein auf eine sehr intensive Bildung erhalten, zeigt diesen Trend in umgekehrter Richtung, und steht im Gegensatz zu der Ähnlichkeit der Myopieprävalenz von Jungen und Mädchen, die eine ähnliche Bildung erhalten. (72, 73)

Diese Variabilität deutet nicht auf einen direkten biologischen Zusammenhang zwischen Geschlecht und Kurzsichtigkeit hin, sondern eher darauf, dass die Assoziationen durch soziale Faktoren vermittelt werden könnten, wie zum Beispiel der Zugang zu Bildung für Mädchen, der von Ort zu Ort stark variiert. Die Beziehung ist stark verzerrt und kann durch das unterschiedliche Engagement der Geschlechter

bei Outdoor- und Naharbeits-Aktivitäten beeinflusst werden, unabhängig davon, ob sie biologisch oder sozial bedingt sind. (49)

Zudem wird Ethnizität oft als Risikofaktor für Myopie vorgeschlagen. Es ist wichtig anzumerken, dass der Begriff „Ethnie“ sowohl genetische Unterschiede umfasst, die im Vergleich zu den genetischen Gemeinsamkeiten in allen menschlichen Populationen zwar gering sind, aber sehr genau messbar, als auch kulturelle Unterschiede, die groß sein können, aber schwerer zu quantifizieren. (49)

Epidemiologische Studien zeigen große Unterschiede zwischen ethnischen Gruppen in der Prävalenz von Kurzsichtigkeit, aber eine detailliertere Analyse zeigt, dass diese Unterschiede durch Umweltbelastungen vermittelt werden können. Zum Beispiel ist die Prävalenz von Myopie in den drei großen ethnischen Gruppen in Singapur, China, Indien und Malaysia, (74, 75) hoch, aber in Indien und Malaysia ist die Bevölkerungsprävalenz viel geringer. (10, 76) Dies deutet darauf hin, dass es an der Umwelt von Singapur liegen könnte, wahrscheinlich am Bildungssystem und der begrenzten Zeit, die im Freien verbracht wird, die für die höhere Prävalenz verantwortlich sind. (49)

In mehreren Kohortenstudien wurde über Assoziationen zwischen Myopie und Geburtsreihenfolge berichtet, wobei Erstgeborene tendenziell kurzsichtiger waren. (77) In Bildungsstudien ist gut dokumentiert, dass Erstgeborene im Allgemeinen mehr Bildung erhalten, was tendenziell zu mehr Myopie führen würde. (78) Eine spätere Studie zum Datensatz der UK Biobank zeigte, dass der Zusammenhang zwischen Myopie und Geburtsreihenfolge nach Berücksichtigung der Bildungsjahre reduziert, aber nicht eliminiert wurde. (79) Außerdem waren in China Kinder aus Familien mit nur einem Kind kurzsichtiger als Familien mit mehr als einem Kind, was die Autoren der größeren elterlichen Unterstützung für die Bildung ihres Einzelkindes zuschreiben. (80) Die Soziologie dieser Unterschiede ist jedoch sehr komplex, und es bedarf weiterer Arbeit, um festzustellen, ob die Geburtsreihenfolge ein unabhängiger Risikofaktor ist. (49)

In der Singapur-Kohortenstudie der Risikofaktoren für Kurzsichtigkeit wurde berichtet, dass sowohl akademische Noten als auch Intelligenzquotient-Werte (IQ-Werte) unabhängig voneinander mit Myopie assoziiert sind. (56) Das gleiche Ergebnis wurde in einer sehr großen Studie über israelische Wehrpflichtige erzielt. (81)

Sowohl die kognitive Leistungsfähigkeit als auch die Bildungsjahre wurden in der Gutenberg-Gesundheitsstudie mit Kurzsichtigkeit in Verbindung gebracht, aber die Assoziation mit den Bildungsjahren war stärker und erklärte die Assoziation mit der kognitiven Leitungsfähigkeit. (35)

In einer Untersuchung von Stingl et al. (82) im Rahmen der Gutenberg-Gesundheitsstudie in Mainz, konnte zudem aufgezeigt werden, dass im Alter von 35 bis 74 Jahren der Beruf sowie das Bildungsniveau keine Auswirkung auf eine Refraktionsveränderung in den kommenden 5 Jahren zeigen.

Williams et al. berichteten, dass die phänotypische Korrelation zwischen Kurzsichtigkeit und IQ gering, aber signifikant war und dass das meiste davon durch genetische Unterschiede erklärt werden konnte, obwohl der Anteil, der durch genetische Faktoren erklärten Varianz, für beide Phänotypen gering war. (83)

Seit James Ware der Royal Society im Jahr 1813 über die größere Notwendigkeit und Verwendung von Korrekturen für Kurzsichtigkeit bei „Personen der höheren Ränge im Leben“ im Vergleich zu „Personen in den unteren Lebensstufen“ berichtete, wird der sozioökonomischen Status als potenzieller Risikofaktor für Myopie untersucht. Ziel von Ware war es zu zeigen, dass das Familieneinkommen sowie die Bildung der Eltern, wie auch die Myopie der Eltern mit einer erhöhten Prävalenz von Myopie bei Kindern assoziiert war. (84) Andere Untersuchungen haben durchweg gezeigt, dass junge Erwachsene, die sich weiterbilden oder Berufe ausüben, die Naharbeit in Innenräumen beinhalten, eine höhere Prävalenz von Kurzsichtigkeit aufweisen. (58) Diese Assoziationen wurden in einer Vielzahl von Populationen beobachtet. (85, 86) Ausnahmen von dieser Beobachtung sind selten und können möglicherweise mit neuen Gruppen von Migranten mit niedrigem Einkommen in Verbindung gebracht werden, die eine intensive Bildung für ihre Kinder anstreben. (87)

Die Möglichkeit eines Zusammenhangs zwischen Einkommen und Kurzsichtigkeit wurde auch durch die jüngste Myopie-Epidemie in Teilen Ost- und Südasiens nahegelegt, die einen deutlichen Anstieg des Pro-Kopf-Einkommens verzeichneten und einige der wohlhabendsten Länder der Welt hervorgebracht haben. (49)

Jan et al. zeigten, dass auf dem chinesischen Festland die Zunahme der Prävalenz von Sehbehinderungen, ein Schätzungs-Maß für Kurzsichtigkeit, zwischen den Provinzen mit einer Zunahme des Bruttoinlandsprodukts pro Kopf auf Provinzebene korreliert. (88) Dennoch ist es schwer zu verstehen, wie steigendes Einkommen

direkt zu biologischen Veränderungen des Augenwachstums führen könnte. Das Einkommen könnte eine mögliche Surrogatparameter darstellen, der sowohl von Bildung als auch von Naharbeitstätigkeiten stark beeinflusst wird und hierdurch dies widerspiegelt. Obwohl der Zusammenhang zwischen dem sozioökonomischen Status und Kurzsichtigkeit innerhalb einer Gesellschaft zu einem bestimmten Zeitpunkt im Allgemeinen stark ist, wurden in vielen westlichen Gesellschaften hohe Pro-Kopf-Einkommen mit nur bescheidener Prävalenz von Kurzsichtigkeit erzielt, lange bevor ostasiatische Gesellschaften ein ähnliches Einkommensniveau erreichten, aber mit viel höheren Prävalenzen von Myopie. (38, 49)

Weitere mögliche Risikofaktoren sind Umweltfaktoren, wie zum Beispiel Unterschiede im Leben in der Stadt und am Land. Über die Stadt-Land-Unterschiede in der Prävalenz von Kurzsichtigkeit wird häufig berichtet, wobei große Unterschiede auftreten, wenn das Niveau der wirtschaftlichen Entwicklung an den verschiedenen Orten deutlich unterschiedlich ist. Studien aus China (89-91), Taiwan (92) und Indien (93) haben deutliche Unterschiede in der Prävalenz von Kurzsichtigkeit gezeigt, wobei die Prävalenz in städtischen Gebieten höher ist als in ländlichen Gebieten. Es wurde geschlossen, dass diese Unterschiede durch Unterschiede in der Bildung und der im Freien verbrachten Zeit erklärt werden könnten. Auch innerhalb von Städten wurden regionale Unterschiede in der Myopieprävalenz berichtet. Die Sydney Myopia Study berichtete, dass die Prävalenz von Kurzsichtigkeit in den Innenstädten am höchsten war. (49, 94)

Zur Vorbeugung der Entwicklung einer hohen Myopie, zeigten sich verschiedene Methoden in Untersuchungen als wirksam: Brillengläser (95, 96), multifokale Kontaktlinsen (97) und die pharmakologische Therapie mit Atropin (98). Zudem konnte gezeigt werden, dass die Entwicklung einer Myopie bei Kindern durch regelmäßigen Aufenthalt im Freien bei Tageslicht gehemmt wird. (20, 41) Alle Maßnahmen können allerdings nur helfen, wenn Kinder und Jugendliche mit dem Risiko einer starken Myopieprogression bereits frühzeitig identifiziert werden. Eine Metaanalyse im Wirksamkeitsvergleich verschiedener Interventionen zur Myopiekontrolle berichtet, dass pharmakologische Behandlung effektiver als optische Verfahren mit Kontaktlinsen oder Brillen ist. (99) Hochdosierte Atropin-Augentropfen (1 %) zeigten sich als hochwirksam, aber die damit verbundenen Nebenwirkungen wie Photophobie und verschwommenes Sehen sind stark einschränkend. Eine niedrigere Dosis (0,01 % bis 0,1 %) Atropin führt zu ähnlichen Behandlungseffekten

mit weniger Nebenwirkungen. Idealerweise sollte ein Eingriff zur Myopiekontrolle so minimalinvasiv wie möglich erfolgen, weshalb Brillengläser eine Alternative darstellen.

Lam et al. (95) untersuchten spezielle „Defocus Incorporated Multiple Segments“ (DIMS)-Brillengläser, ob diese das Fortschreiten der Myopie im Kindesalter verlangsamen und schlussfolgerten, dass tägliches Tragen der DIMS-Brille das Fortschreiten der Myopie und die axiale Elongation bei kurzsichtigen Kindern signifikant verzögerte. Die DIMS-Technologie arbeitet nach dem Konzept der gleichzeitigen Defokussierung sowohl während der Fern- als auch der Nahsicht. (95) In Tierversuchen konnte gezeigt werden, dass eine myopische Defokussierung das Augenlängenwachstum hemmt, während eine hyperope Defokussierung das Augenlängenwachstum fördert. (100)

2.5 Astigmatismus

Ein Astigmatismus entsteht, wenn die brechenden Medien nicht rotationssymmetrisch angelegt sind. (4) Es besteht eine Krümmungsanomalie der brechenden Medien, was zur Folge hat, dass parallel einfallende Lichtstrahlen nicht in einem Punkt (griechisch: Stigma), sondern in einer Linie vereinigt werden. (8) Es gibt also keinen Brennpunkt („Brennpunktlosigkeit“, A-stigma-tismus), wovon der Name seinen Ursprung hat. (4)

Da es verschiedene brechende Medien gibt, können auch unterschiedliche Medien an der Entstehung eines Astigmatismus beteiligt sein.

Die Hornhaut ist am häufigsten ursächlich (kornealer Astigmatismus) für einen Astigmatismus. Die Hornhaut ist in diesem Fall nicht, wie beim emmetropen Auge kugelförmig, mit gleichen, regelmäßigen Krümmungsradien angelegt, sondern mit zwei unterschiedlichen Krümmungsradien. (4) Daher rührt die umgangssprachliche Bezeichnung „Hornhautverkrümmung“.

Ist die Linse beteiligt entsteht der seltenere Linsenastigmatismus. Dieser kann, sowohl durch eine nicht rein sphärische Linsenoberfläche bedingt sein, als auch durch ungleichmäßige Akkommodation entstehen, also durch unterschiedliche Kontraktion des Ziliarmuskels und somit Verformung der Linse in eine nicht rein

sphärische Form. Zudem kann ein Linsenastigmatismus durch unterschiedliche optische Dichten innerhalb der Linsenschichten entstehen. (101)

Darüber hinaus gibt es einen seltenen Astigmatismus des Augenhintergrunds, der zum Beispiel durch hohe Myopie entstehen kann.

Der Gesamtastigmatismus eines Auges setzt sich aus all den beschriebenen Einzelastigmatismen zusammen. Aufgrund der hohen Brechkraft der Hornhaut, hat der Hornhautastigmatismus den größten Einfluss auf den Gesamtastigmatismus. Bei ihm liegen also zwei zueinander rechtwinklig stehende Meridiane vor mit unterschiedlicher Brechkraft.

Deutlich häufiger bricht der vertikale Median stärker, wobei die Verformung des vertikalen Krümmungsradius wahrscheinlich durch den kontinuierlichen Druck des Oberlides auf die Hornhaut verursacht wird. Diese Form des Astigmatismus wird daher als Astigmatismus nach der Regel (Astigmatismus rectus) bezeichnet. Ist der horizontale Meridian abweichend, wird es als den selteneren Astigmatismus gegen die Regel (Astigmatismus inversus) bezeichnet. (4) Eine weitere Form stellt der Astigmatismus obliquus dar, hier liegt der stärker brechende Median schräg, zwischen 20 und 70 oder 110 und 180 Grad. (8)

Durch die beiden unterschiedlichen Meridiane, mit zwei unterschiedlichen Brennweiten, wird bei allen Formen des Astigmatismus ein Punkt linienförmig in beiden Brennweiten auf der Netzhaut abgebildet oder als unscharfer Zerstreungskreis dazwischen. Aufgrund der linienförmigen Abbildung wird der Astigmatismus auch „Stabsichtigkeit“ genannt. (4)

Bei allen bisher genannten Formen des Astigmatismus stehen die unterschiedlich brechenden Meridiane senkrecht aufeinander, was einen regelmäßigen Astigmatismus ausmacht. Davon ist jedoch der unregelmäßige Astigmatismus (Astigmatismus irregularis) abzugrenzen. Bei diesem können verschiedene Hornhautstellen eine unterschiedliche Brechkraft aufweisen. Dies ist zum Beispiel bei einem Keratokonus (Erkrankung, die zu kegelförmiger Verformung der Hornhaut führt) oder bei unregelmäßigen Hornhautnarben der Fall. (4) Die Ursache des Astigmatismus ist unklar, es wird jedoch angenommen, dass er teilweise mit genetischen Faktoren zusammenhängt. (102)

2.5.1 Epidemiologie

Die bereits erwähnte Veröffentlichung aus dem Jahr 2014 zeigte in Deutschland eine Astigmatismus-Prävalenz von 32,3 % bei den 35-74-Jährigen, dies wurde anhand der Gutenberg-Gesundheitsstudie ermittelt. Bei bei war Astigmatismus als ein Refraktionswert über 0,5 Dioptrien Zylinder definiert. Es zeigte sich eine zunehmende Prävalenz des Astigmatismus mit zunehmendem Alter. (9)

Laut einer amerikanischen Studie haben fast drei von zehn Kindern (28,4%) im Alter zwischen fünf und 17 Jahren einen Astigmatismus. (48) Eine 2005 veröffentlichte brasilianische Studie ergab, dass bei 34 % der einbezogenen Studenten ein Astigmatismus vorlag. (103) In Bezug auf die Prävalenz bei Erwachsenen ergab eine 2004 veröffentlichte Untersuchung in Bangladesch, dass fast jeder Dritte (32,4%) der über 30-Jährigen einen Astigmatismus aufwies. (104) . Eine Reihe von Studien hat gezeigt, dass die Prävalenz von Astigmatismus mit dem Alter zunimmt. (105) Eine 2005 veröffentlichte polnische Studie (106) ergab, dass "Astigmatismus nach der Regel" zum Auftreten von Kurzsichtigkeit prädestiniert. Bei dieser Studie wurden insgesamt 167 Personen mit Myopie (117 Frauen und 50 Männer) im Alter zwischen 12 und 51 Jahren untersucht, wobei das Durchschnittsalter insgesamt 24 Jahre betrug. Es wurde eine Autorefraktometrie durchgeführt und festgestellt, dass die Myopie mit dem Anstieg des regelkonformen Astigmatismus zunimmt. Für den Astigmatismus gegen die Regel, sowie den schrägen Astigmatismus konnte kein Einfluss auf die Entstehung von Myopie nachgewiesen werden. (106)

2.6 Anisometropie

Anisometropie bedeutet, dass die beiden Augen eine unterschiedliche Brechkraft haben. Im Allgemeinen ist ein Unterschied in der Stärke von zwei Dioptrien oder mehr der Schwellenwert, um den Zustand als Anisometropie zu bezeichnen. Der Name setzt sich aus griechischen Komponenten zusammen: an- „nicht“, iso- „gleich“, metr- „Maß“, ops „Auge“. Bei bestimmten Arten von Anisometropie verwendet der visuelle Kortex des Gehirns nicht beide Augen zusammen (binokulares Sehen) und unterdrückt stattdessen das zentrale Sehen eines der Augen, meist das des schwächer brechenden Auges. Wenn dies in den ersten 10 Lebensjahren während der Entwicklung der Sehrinde über einen längeren

Zeitraum auftritt, kann es zu einer Amblyopie kommen. (107) Als Amblyopie (Schwachsichtigkeit) wird die funktionale Sehschwäche eines oder seltener beider Augen bezeichnet. Diese beruht auf einer unzureichenden Entwicklung des Sehsystems während der frühen Kindheit. Folge ist eine Beeinträchtigung des räumlichen Sehens und eine Verminderung der Sehschärfe, die nicht durch organische Fehler des Auges oder strukturelle Anomalien der hinteren Sehbahnen erklärt werden kann, und die auch bei optimaler optischer Korrektur mit Brille oder Kontaktlinsen bestehen bleibt. Oft stört die Amblyopie nur eines Auges subjektiv nur wenig und wird häufig gar nicht wahrgenommen, während eine Schwachsichtigkeit beider Augen eher als behandlungsbedürftige Behinderung empfunden wird. Amblyopien entstehen meist während der frühkindlichen Entwicklungsphasen, insbesondere in der sensitiven Sehentwicklungsphase der ersten 3–4 Lebensmonate. Je früher eine Amblyopie auftritt, desto massiver werden sich die Defizite entwickeln. (108) Eine Amblyopie spricht in den ersten Lebensjahren am besten auf die Behandlung an. (109) Wenn sie in den ersten Lebensjahren unerkannt oder unbehandelt bleibt, kann sie oft nicht erfolgreich behandelt werden und das Sehvermögen des amblyopen Auges kann nicht vollständig wiederhergestellt werden. Obwohl es Ausnahmen gibt, wird das Alter der Sehreife auf 8 bis 9 Jahre geschätzt. Jenseits der Sehreife sprechen die meisten Fälle von Amblyopie schlecht auf jede Form der Behandlung an. Es ist bekannt, dass eine Amblyopie in den ersten Lebensjahren am besten auf die Behandlung anspricht, weshalb eine Früherkennung so wichtig ist. (109)

2.6.1 Epidemiologie und Behandlung

Barett et al. beschreiben in einer 2013 publizierten Übersichtarbeit (110) zu den beiden Fehlsichtigkeiten, dass die Prävalenz der Anisometropie etwa 20 % für eine interokulare Differenz von 0,5 dpt beträgt, und etwas höher ausfällt, wenn die Refraktionswerte als sphärisches Äquivalent angegeben werden. Die Autoren beschrieben eine Prävalenz von 2 bis 3 % für eine interokulare Differenz von 3 dpt oder mehr. Zudem wurde betont, dass die Prävalenz der Anisometropie in stark ametropen Gruppen höher ist, was darauf hindeutet, dass Abweichungen vom emmetropen Zustand, der Ametropie zugrunde liegen, und es sich mit Anisometropie ähnlich verhalten könnte.

Die Mehrzahl der menschlichen Ametropen kann als iso-ametrop charakterisiert werden, da der Brechungsstatus ihrer beiden Augen sehr ähnlich ist. In der groß angelegten Studie von

Qin et al. wiesen mindestens 85% der bis 70-Jährigen Augenrefraktionen am rechten und linken Auge auf, die bis auf 1 dpt angepasst waren. Eine Minderheit der Menschen wies jedoch signifikante interokulare Fehlsichtigkeitsunterschiede (Anisometropie) auf, die mit einer zumindest anfänglich optisch nicht korrigierbaren interokularen Sehschärfe (Amblyopie) einhergehen können. Das gleichzeitige Auftreten dieser beiden Anomalien ohne zusätzliche Anomalie wird als „anisometrope Amblyopie“ bezeichnet. Obwohl Anisometropie und Amblyopie oft gleichzeitig entdeckt werden, beispielsweise bei einem Sehscreeing in der Schule, wird allgemein angenommen, dass die Anisometropie eine Vorstufe und sogar die Ursache der Amblyopie ist. (110, 111)

Anisometrope Amblyopie wurde klinisch 1743 erstmals beschrieben und behandelt von Georges-Louis Leclerc De Buffon (*1707, †1788). Diese Behandlung ist heute noch so aktuell wie bei ihrer Einführung: refraktive Korrektur und Okklusion des besseren Auges. Anisometrope Amblyopie wird weiterhin durch refraktive Korrektur allein oder in Kombination mit Patching oder anderen Therapien behandelt, die die beiden Augen unterschiedlich stimulieren. (110, 112-114)

Die Sehschärfe bessert sich aus den genannten Gründen bei Amblyopien auch nach Beseitigung organischer Störungen oder Versorgung mit einer optimalen Brillenkorrektur nur bedingt. Der nächste Schritt sind daher Maßnahmen, mit denen das betroffene Auge gezielt zur Benutzung angeregt oder sogar gezwungen wird. Um Amblyopien symptomatisch zu behandeln, haben sich dabei verschiedene Methoden, z. B. Okklusions- oder Pflasterbehandlung, Penalisation (spezielle Behandlung unter Einsatz von bestimmten Augentropfen und Brillengläsern) oder in manchen Fällen pleoptische Übungsbehandlungen bewährt. Die Behandlung ist abhängig von vielen verschiedenen Faktoren. Eine erfolgversprechende Therapie dauert jedoch nicht selten bis zum 13. oder 14. Lebensjahr und sollte zur Vermeidung von möglichen Rezidiven nicht zu früh beendet werden. Auch bei Spät-Amblyopien im Schulalter und bei relativen Amblyopien sollte der Versuch einer entsprechenden Therapie unbedingt erfolgen. (108)

2.7 Untersuchungsmethoden

Verschiedenen Untersuchungsmethoden zur Refraktionsbestimmung sind vorhanden um den Refraktionsfehler zu bestimmen. Hierzu können objektive Untersuchungsmethoden mit subjektiven Refraktionsmessungen kombiniert werden.

(115)

Eine Methode zur objektiven Refraktionsbestimmung stellt die Skiaskopie dar. Die Skiaskopie ist eine apparativ wenig aufwendige Methode, um die Refraktionswerte des Auges objektiv zu messen. Für das Verfahren benötigt man lediglich eine Lichtquelle und eine Skiaskopieleiste mit sphärischen Linsen von circa - 20 bis plus 20 dpt. (115) Der Untersucher lässt ein Lichtband über das Auge des Patienten oszillieren. Von der Netzhaut werden Lichtreflexe, die in der Pupille des Patienten deutlich zu beobachten sind, in seiner Bewegungsrichtung und in seiner Geschwindigkeit in Relation gesetzt zum Lichtband, das auf dem äußeren Auge erscheint. Indem man das Lichtband dreht und verschiedene Linsen vorschaltet, lässt sich ein gut erkennbares optisches Phänomen, der Flackerpunkt, hervorrufen. Sieht der Untersucher den Flackerpunkt, so weiß er, dass der Fernpunkt des Patienten sich in der Pupillenöffnung des Untersuchers befindet. Entsprechend einem Skiaskopieabstand von 50 cm, ist der Patient dann 2 dpt myop mit den vorgeschalteten Korrektionsgläsern. (115)

Ein Vorteil der Skiaskopie liegt in dem sehr geringen apparativen Aufwand und darin, dass sie einen ausgezeichneten Überblick über die Güte der optischen Medien des zu untersuchenden Auges gibt. Sollten Änderungen im Brechungsindex der Linse oder des Glaskörpers bestehen, können diese bemerkt werden. Nachteile der Skiaskopie ist, dass es einiger Übung bedarf skiaskopieren zu erlernen. Die mit dem Skiaskop ermittelten Refraktionswerte haben jedoch eine mindestens so gute Messgenauigkeit, wie mit viel aufwendigeren Apparaturen ermittelte Werte, sind jedoch von der Fähigkeit des Untersuchers abhängig. (115)

Das Refraktometer bietet eine weitere Möglichkeit zur objektiven Refraktionsbestimmung. Mit diesem Gerät wird eine Testmarke über einen Beleuchtungsstrahlengang auf die Netzhaut projiziert. Die Güte dieses Netzhautbildes lässt sich über einen davon getrennten Beobachtungsstrahlengang vom Untersucher begutachten. Durch das Drehen und Scharfstellen einzelner Bereiche dieses Netzhautbildes, können Rückschlüsse auf den Refraktionszustand des Auges gezogen werden. Dieses Verfahren erfordert etwas weniger Übung vom Untersucher als das Skiaskopieren und erzielt Refraktionsmesswerte mit ausreichender Genauigkeit, liefert zudem gleichzeitig Informationen über die Güte der optischen Augenmedien. (115)

Automatische Refraktometer stellen eine modernere Form der objektiven

Bestimmung der Refraktion dar. In der Regel wird das Patientenaug zentriert, mithilfe einer Steuereinheit und eines Bildschirms auf dem das Patientenaug abgebildet wird. Durch einen Knopfdruck wird die Messung ausgelöst. Die physikalische Messung läuft selbstständig ab, ohne dass Untersucher oder Patient die Möglichkeit hätten, in den Vorgang korrigierend einzugreifen.

Der Vorteil ist, dass die Messung in einigen Sekunden durchgeführt werden kann und sich fast beliebig oft wiederholen lässt. Zur Messung wird um Blend- und Akkommodationseffekte zu vermeiden, Licht aus dem infraroten Bereich des Spektrums eingesetzt. (115) Bei dem automatisch arbeitenden Refraktometer wird die Rolle des Untersuchers durch Photodioden als empfangene Elemente und durch eine nachgeschaltete Rechneinheit ersetzt. Das Prinzip eines Refraktometers ist immer der Vergleich von Soll- und Istwert, genau wie bei den anderen objektiven Messverfahren. Dies ist Grundlage einer jeden Messmethode, die eine Veränderung von Testmarkenbildern durch das Messobjekt ausnutzt. Auf elektronischem Weg wird dieser Vergleich durchgeführt. Dafür nutzen automatische Refraktometer unterschiedliche Bild-Mess-Verfahren. (115)

Zudem ist die Messgenauigkeit des Verfahrens sehr gut und bietet einen ausgezeichneten Ausgangspunkt für den anschließenden subjektiven Feinabgleich. Einen Nachteil der automatischen Refraktometer stellen Trübungen der brechenden Medien des Auges dar oder irregulär geformte brechende Medien. (115)

Davon abzugrenzen sind Verfahren zur subjektiven Refraktionsmessung. Dieser erfordert die aktive Mitarbeit des Patienten. Zunächst wird der sphärische Anteil der Fehlsichtigkeit abgeglichen. Anschließend wird der astigmatistische Anteil ausgeglichen. (115)

Als subjektive Refraktionsmethode lässt sich die Kreuzzylindermethode nutzen, Die von Jackson um die Jahrhundertwende entwickelt wurde und heute allgemein als Methode der Wahl gilt. Ist der Astigmatismus vollständig korrigiert, wird ein sphärischer Abgleich durchgeführt, um sicher zu sein, dass nicht ein zu starkes Minusglas gefunden wurde. Nach dem diese Prozedur monokular für jedes Auge durchgeführt wurde, wird zum Schluss der Binokularabgleich gemacht. (115)

Auch kann der subjektive Abgleich mit einer Probierbrille und einsetzbaren Probiergläsern aus einem Gläserkasten durchgeführt werden. Handlicher ist es jedoch mit einem Phoropter, einem kleinen handlichen Gerät, in dem sich die

verschiedenen Probierröhren von einem Steuerpult kombinieren lassen, um die vielen tausend Röhrenkombinationen, wie sie der Röhrenkasten bietet, nachzuvollziehen. Der Nachteil eines Phoropters ist, dass das Gesicht des Patienten von der Einheit fast vollständig verdeckt wird und es dadurch dem Untersucher nicht mehr möglich ist das Verhalten des Patienten zu beurteilen. (115)

Eine Besonderheit stellt die Refraktionsmessung bei Kindern da. Dies wird im Folgenden zur Veranschaulichung an einem Beispiel erläutert:

Ein Kind im Alter von 10 Jahren mit einer Hypermetropie von 4 dpt kann diese vollständig durch Akkommodation ausgleichen und hat für die Ferne volle Sehschärfe. Führt man keine medikamentöse Akkommodationshemmung durch, kann man lediglich die manifeste Hypermetropie bestimmen, die latente bleibt unbekannt. Erst wenn die Akkommodation vollständig ausgeschaltet wird, durch Atropin- oder Cyclopentolatropfen, kann das Kind die totale Hypermetropie angeben. Würde man beim nicht akkommodationsgelähmten Auge fälschlich ein Glas mit -1 dpt vorsetzen, könnte das Kind eine weitere Dioptrie akkommodieren und würde angeben, mit dem Glas gut zu sehen. Setzt man ein Glas mit +1 dpt vor, würde auf die Frage, ob es so besser sieht, mit Nein geantwortet werden, denn das Kind sieht bereits ohne das Glas voll.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass man bei Kindern und Jugendlichen zur Refraktionsbestimmung die Akkommodation ausgeschaltet werden sollte um eine korrekte Bestimmung durchzuführen.

Es gibt eine weitere Reihe von Untersuchungsmethoden um einen Astigmatismus festzustellen.

Einen starken kornealen Astigmatismus kann man qualitativ mit der Placido-Scheibe erkennen, diese stellt eine weiße Scheibe mit mehreren aufgemalten schwarzen Kreisen dar. Dabei blickt der Untersucher durch ein kleines Loch in der Mitte der Scheibe und nähert sich dicht dem Patientenauge, bis er das Spiegelbild der Scheibe und damit der Kreise in der Hornhaut des Patienten erkennen und beurteilen kann. Bei unregelmäßigem Astigmatismus spiegeln sich die Kreise unregelmäßig, bei regelmäßigem oval und bei normal geformter, sphärischer Hornhaut kreisrund. Ein kornealer Astigmatismus kann darüber hinaus mit Reflexmethoden (Ophthalmometer nach Helmholtz, oder nach Javal) gemessen werden. Mit Hilfe dieser Instrumente können die Hornhautoberflächenradien in den verschiedenen Meridianen gemessen werden, um so deren Brechkraft zu bestimmen. Dazu werden

durch ein Okular die Spiegelbildchen zweier Leuchtfiguren beobachtet. An einem Handgriff lässt sich der Abstand der Leuchtfiguren so ändern, dass sie sich in einer bestimmten Achse gerade Überlagern. Dies erfolgt für beide Meridiane. Über den an dem Gerät bekannten Abstand der beiden Leuchtfiguren lässt sich der Krümmungsradius der Hornhaut bestimmen und ablesen. Zudem lässt sich so die Achse des Astigmatismus bestimmen.

Automatisierte Geräte zur kornealen Astigmatismusmessung (Keratometer, Topografiegeräte) funktionieren über eine Bildanalyse eines Placido-Reflexbildes auf der Hornhaut oder durch die Messung der Aberration höherer Ordnung durch Analyse des Strahlengangs. Es können hiermit sowohl Hornhautradien als auch Dioptrien-Zahl an individuellen Hornhautorten angegeben werden.

Um sowohl Vorderflächenradien als auch Rückflächenradien der Hornhaut zu messen, ist das Scheimpflug-Prinzip sehr aussagekräftig. Hier wird ein entzerrtes Schnittbild der Hornhaut in zahlreichen zirkulären radiären Medianen angefertigt und vermessen.

Mit den erwähnten automatisierten Refraktometern kann ebenfalls ein Astigmatismus (sowohl kornealer als auch Gesamtastigmatismus) gemessen werden.

Die Wellenfront-Messung mit Hilfe von Aberrometern (Wellenfront-analysegeräte) stellt eine weitere Messmethode dar. (116) Mit dieser Methode wird die Brechkraftverteilung des Auges über die gesamte Öffnung der geöffneten Pupille ermittelt, wobei mit dem Autorefraktometer nur zentral gemessen wird. Hierbei können neben den Brechkraftfehlern niedrigerer Ordnung (Astigmatismus, Hypermetropie, Myopie) auch Fehler höherer Ordnung, welche eine Art irregulären Astigmatismus darstellen, detektiert werden. Zu den Fehlern höherer Ordnung (Wellenfrontfehler) gehören unter anderem die Koma (Schweif-Fehler), eine innerhalb der Pupille entstehende Brechwertverteilung, sowie die sphärische Aberration abgegrenzt werden, hierbei tritt eine rotationssymmetrische Abweichung der durch die Linse im Randgebiet der Pupille durchtretenden Strahlen gegenüber den zentral durchtretenden Strahlen auf. Die Verwendung des Hartmann-Shack-Sensors zur Wellenfront-Messung ist dabei am verbreitetsten. Diese, relativ moderne Untersuchungsmethode wird vor allem im Rahmen der wellenfrontgeführten Augenlaserbehandlung zur Korrektur von Sehfehlern und von aberrationskorrigierenden Intraokularlinsen genutzt. (116, 117)

2.8 Korrektur der Refraktionsfehler

Die Korrektur der beschriebenen Refraktionsfehler kann durch verschiedene Verfahren erfolgen. Zum einen mit Hilfe von Brillengläsern und Kontaktlinsen, was im Folgenden näher erläutert wird. Zum anderen kann die Korrektur durch refraktive Chirurgie erfolgen, hierbei handelt es sich vorwiegend um operative Verfahren an der Hornhaut oder Linse einschließlich „Add-on Linsen“, die durch Veränderung der Brechkraft den Refraktionsfehler ausgleichen. (4)

Brillengläser werden unterschieden in Einstärkengläser, Mehrstärkengläser und Spezialgläser. Einstärkengläser gibt es wiederum als sphärische, die in allen Achsen gleich brechen, und torische Gläser (Zylindergläser), die nur in einer Achse brechen. Diese können wenn erforderlich, miteinander kombiniert werden, da man mit ihnen unterschiedliche Brechungsfehler korrigiert. (4, 8)

Zylindergläser erzeugen keinen Brennpunkt sondern eine Brennlinie, da der Schliff so ausgelegt ist, dass sich nur in einer Achsrichtung eine maximale Brechung zeigt. Konkav geformte Gläser sammeln Lichtstrahlen, die parallel einfallen, im Brennpunkt hinter der Linse, werden daher auch Sammellinsen genannt. Sammellinsen werden zudem als Plusgläser bezeichnet, da man beim Zeichnen alle Strecken in Lichtrichtung mit Pluszeichen und entgegen der Lichtrichtung mit Minuszeichen angibt. (4) Konkave Linsen werden dementsprechend als Minusgläser bezeichnet. Sie zerstreuen die Lichtstrahlen entgegen der Lichtrichtung, so als läge der Brennpunkt vor der Linse. (4) Brillengläser werden heute meist so hergestellt, dass in allen Durchblickrichtungen eine gleichgute Abbildung erfolgt. (4)

Eine andere Möglichkeit zur Korrektur stellen Kontaktlinsen da. Diese haften durch Adhäsion auf der Hornhaut und schwimmen auf dem Tränenfilm. Kontaktlinsen unterscheiden sich nach ihrem Material (weich oder formstabil), ihrem Durchmesser, Krümmungsradius, optischen Stärke und Geometrie (sphärisch, asphärisch, torisch). (4) Häufig sind kosmetische Gründe Ursache für den Wunsch nach Kontaktlinsen. Es gibt jedoch auch einige Vorzüge, was unter den nachfolgenden Punkten näher erläutert wird. Allgemein ist zudem zu sagen, dass bei Korrektur durch Kontaktlinsen kein Beschlagen bei Regen oder Dunst entsteht, was für einige Berufsgruppen oder Tätigkeiten ausschlaggebend ist. Darüber hinaus gibt es keine Gesichtsfeld-Einengung durch eine Brillenfassung oder bei höheren hyperopen Brechkraftfehlern. (4)

Als Nachteile von Kontaktlinsen ist zu erwähnen, dass ein gewisses feinmotorisches Geschick Grundvoraussetzung zum Einsetzen der Kontaktlinsen ist. Zum Beispiel der Tremor der Hände bei älteren Menschen kann eine Nutzung unmöglich machen. Bei fehlerhaftem Wechsel können Verletzungen des Hornhautepithels verursacht werden und Ulzera können entstehen. Weiche Linsen fördern am oberen Limbus das Einwachsen von Blutgefäßen. (4)

Unsachgemäße Reinigung kann durch hochvirulente Keime in der Reinigungslösung bei weichen Linsen zu Hornhautgeschwüren führen. Besonders problematisch sind staubige oder trockene Luft. Staubpartikel können unter die Kontaktlinsen gelangen und Reizungen hervorrufen. (4)

2.8.1 Korrektur der Hypermetropie

Grundsätzlich lässt sich die fehlende Brechkraft bei der Hypermetropie mit dem Vorsetzen von Sammellinsen (konvexen Linsen, Plusgläsern) korrigieren, bei der Korrektur der Hypermetropie sind jedoch einige Faktoren zu beachten. Die bereits erläuterte dauernde Akkommodation zum Ausgleich der Hypermetropie, sorgt dafür, dass der junge Hypermetrope seine Akkommodation auch mit vorgesetzten Plusgläsern (zum Ausgleich der manifesten Hyperopie) nicht völlig entspannen kann. (4) Die verbleibende Restakkommodation wird als latente Hyperopie bezeichnet und kann übersehen werden, wenn eine Refraktionsmessung ohne Zykloplegie durchgeführt wird. Erst wenn die manifeste mit der latenten Hypermetropie zusammengenommen wird, kann das gesamte Ausmaß der Hypermetropie erfasst werden. (8)

Bei Menschen im Jugendalter kann meist bei geringer Hypermetropie zunächst abgewartet werden. Früher wurden plankonvexe oder bikonvexe Gläser verwendet, die mit einigen optischen Nachteilen behaftet sind. Heutzutage werden meniskusförmige, punktuell abbildende, durchgebogene Gläser verwendet, welche die Abbildungsfehler deutlich reduzieren. (8)

Liegt eine Aphakie vor die zur Hypermetropie führt, sind ebenso Plusgläser nötig zum Ausgleich der fehlenden Brechkraft. Je näher die Sammellinse an der Netzhaut ist, desto stärker muss ihre Brechkraft sein, damit der Brennpunkt auf der Netzhaut liegt. Zudem vergrößern weiter entfernte Sammellinsen das Netzhautbild. Ein Starglas hat

deshalb circa 12 dpt, eine Kontaktlinse circa 14 dpt, eine Vorderkammerlinse circa 20 dpt und eine Hinterkammerlinse circa 23 dpt im Modellauge. (8)

2.8.2 Korrektur der Myopie

Die Korrektur einer Myopie erfolgt durch Zerstreuungsgläser (Minusgläser, Konkavgläser). Die Gläser brechen parallel einfallende Lichtstrahlen divergierend, sodass die Strahlen sich auf der Netzhaut und nicht mehr vor der Netzhaut vereinigen. So entsteht ein scharfes Abbild auf der Netzhaut, die Myopie ist korrigiert. (4)

Um eine Myopie zu korrigieren, nutzt man das schwächste Minusglas, das eine in der Ferne optimale Sehschärfe bietet. Handelt es sich um einen jugendlichen Myopen werden meist stärkere Minusgläser als benötigt angenommen, da ein Ausgleich durch Akkommodation für das junge Auge möglich ist. Die ständige Akkommodation durch die Überkorrektur kann zu Kopfschmerzen führen (akkommodative Asthenopie). (4)

Bei Werten von über 10 bis 15 dpt erreicht man meist keine volle Sehschärfe durch Korrektur mehr. Dies liegt zum einen an der starken Verkleinerung des Netzhautbildes durch die starken Brillengläser, zum anderen an mit der hohen Myopie assoziierten morphologischen Veränderungen des Augenhintergrundes. Zerstreuungsgläser in einer solchen Stärke sind schwer und führen zu Farbsäumen bei Blick durch die Peripherie der Brillengläser durch prismatische Dispersion. (4) Kontaktlinsen sind bei besonders starker Myopie zu empfehlen, da sie diese Nachteile vermeiden. Kontaktlinsen bilden in natürlicher Größe ab, das Netzhautbild ist mit Kontaktlinsen also größer als mit Brillenkorrektur bei myopem Brechkraftfehler, dadurch ist auch die Sehschärfe besser. Zudem folgt die Kontaktlinse den Augenbewegungen, so entstehen keine der genannten Abbildungsfehler beim Blick zur Seite. (4)

2.8.3 Korrektur des Astigmatismus

Bei Kindern sollte eine Korrektur des Astigmatismus möglichst früh erfolgen, denn sonst besteht die Gefahr, dass Kinder eine Refraktionsamblyopie entwickeln. (8)

Besteht ein regulärer, einfach myoper oder hypermetroper Astigmatismus (ein Hauptschnitt ist emmetrop, der dazu senkrechte zweite myop oder hypermetrop) erfolgt der Ausgleich durch ein Zylinderglas, welches nur in einer Richtung bricht, wobei die nicht brechende Richtung als Zylinderachse bezeichnet wird. (4)

Bei einem zusammengesetzten myopen oder hypermetropen Astigmatismus sind beide Achsen verschieden myop oder verschieden hypermetrop. Zum Ausgleich hierfür kombiniert man sphärische mit zylindrischen Gläsern, die in der Brillenanfertigung als ein Glas hergestellt werden. (4)

Das arithmetische Mittel der Refraktion der beiden senkrecht zueinander stehenden Hauptschnitte wird als sphärisches Äquivalent bezeichnet (118) und nach der folgenden Formel berechnet:

Sphärisches Äquivalent = Sphäre + $\frac{1}{2}$ × Zylinder. (7)

Zur Korrektur sowohl regulärer als auch irregulärer Hornhautastigmatismen eignen sich bis zu einem gewissen Grad auch einfache sphärische formstabile Kontaktlinsen. Zwischen ihnen und der Hornhautoberfläche bildet sich ein torisch geformter Tränenfilm, der den Astigmatismus ausgleicht. Eine Korrektur kann auch mit formstabilen oder weichen torischen Kontaktlinsen erfolgen, die ihre Ausrichtung auf der Hornhaut beibehalten durch eine asymmetrische Gewichtsverteilung. (119)

Als weitere Möglichkeit der Korrektur aller Astigmatismusformen können auch Verfahren der refraktiven Chirurgie dienen. Ein Astigmatismus kann mit Hilfe des Excimer-Lasers korrigiert werden, wenn die Korrektur mit Gläsern oder Kontaktlinsen nicht in Frage kommt. Wenn eine Kataraktoperation bei Astigmatismus erfolgt, kann eine torische Intraokularlinse implantiert werden zum Ausgleich. Bei starkem Astigmatismus nach Keratoplastik besteht die Möglichkeit durch Einschnitte in die periphere Hornhaut Besserung zu verschaffen. (4)

Der bereits beschriebene unregelmäßige Astigmatismus, der durch Hornhautstellen mit unterschiedlicher Brechkraft entsteht, kann nicht durch Brillengläser korrigiert werden, sondern durch Kontaktlinsen aus formstabilem Material oder mit Hilfe refraktiver Chirurgie. (4)

2.8.4 Epidemiologie zur Verwendung von Hilfsmitteln

Es werden in Deutschland regelmäßig im Abstand von wenigen Jahren vom Institut für Demoskopie Allensbach im Auftrag des Kuratoriums für gutes Sehen Brillenstudien durchgeführt. (120) Aus der Brillenstudie 2019 ging hervor, dass in Deutschland 41,1 Millionen Erwachsene (ab 16 Jahren) eine Brille tragen. Davon tragen 23,4 Millionen ständig eine Brille und weitere 17,7 Millionen gelegentlich eine Brille. Der Brillenträgeranteil hat in Deutschland langfristig gesehen deutlich zugenommen, 1952 lag der Wert bei 43% in Westdeutschland. Im Jahr 2014 lag der Anteil von Brillenträgern bei 63,5%, über die vergangenen Jahre hält sich der Anteil annähernd stabil. Aus der Brillenstudie ging zudem hervor, dass Frauen mit einem Anteil von 70% deutlich häufiger eine Brille tragen als Männer. Auch mit zunehmendem Alter besteht ein immer größerer Anteil an Brillenträgern. Die Altersgruppe ab 60 Jahren trägt zu über 90% eine Brille. (120)

Im Rahmen der Studie wurde auch der Anteil an Kontaktlinsenträgern erhoben. (120) Von den Bundesbürgern ab 16 Jahren bezeichnen sich aktuell circa 5,5% als Kontaktlinsenträger, in Zahlen sind dies 3,4 Millionen Bundesbürger. Regelmäßig tragen 2,5% ihre Kontaktlinsen, weitere 3% nur gelegentlich, zum Beispiel im Wechsel mit der Brille. In den letzten Jahren blieb der Kontaktlinsenträgeranteil stabil. (120)

Die Mehrheit der Brillenträger besitzt mehr als nur eine Brille. Nach wie vor ist schlechtes Sehen der Hauptgrund, um sich eine Brille zu kaufen. (120)

Wolfram et al. beschreibt in seiner Publikation zur Gutenberg-Gesundheitsstudie im Jahr 2014, dass 3,5 % der Studienteilnehmer mit beidseitigen Refraktionsfehlern keine Korrektur hatten, sei es durch ein Brillenglas oder Kontaktlinsen. Von diesen Unkorrigierten waren 85,1 % myopische Refraktionsfehler. Die Refraktion wurde mittels Autorefraktor (Humphrey HARK 599) bestimmt. Zykloplegische Medikamente wurden dabei nicht verwendet. Brechungsfehler wurden in sphärischen und zylindrischen Dioptrien gemessen, wobei für die zylindrische Brechkraft ein negatives Vorzeichen verwendet wurde. (9)

Die Definitionen für Refraktionsfehler waren Myopie $<-0,5$ sphärisch dpt, Hyperopie $>+0,5$ sphärisch dpt, Anisometropie $>1,0$ sphärisch dpt Differenz zwischen Augen und Astigmatismus $>0,5$ Zylinder dpt. (9)

In einem von den Autoren Schuster und Finger publizierten Leserbrief (121) als Antwort auf einen publizierten Artikel von Wesemann et al. (37) zur Analyse der Brillenstärke in Deutschland und zu deren zeitlichem Verlauf, werden jedoch weiter bestehende Unklarheiten bezüglich der erhobenen Brillenprävalenzwerte dargestellt. Demnach ist in Deutschland unklar, ob und wie weit sich die Brillenprävalenz in den letzten 15 Jahren bei Kindern und Jugendlichen verändert hat, da es lediglich wenig Querschnittsdaten hierzu gibt. (122) Daten der Allensbach-Umfrage (37) zeigten in den Jahren 1980 bis 2014 eine etwa gleichbleibende Brillenhäufigkeit um 30 % bei jungen Erwachsenen mit deutlichen Schwankungen, die untypisch für ausreichend große bevölkerungsrepräsentative Stichproben sind und methodisch hinterfragt werden sollten.

In Untersuchung wie der von Wesemann et al. sind die Verteilungen der Brillenkorrektur und deren zeitliche Veränderung genau betrachtet worden, die Grundgesamtheit der Brillenversorgten im jeweiligen Zeitintervall bleibt jedoch unklar. Bislang ist zudem unklar, wie die Grundgesamtheit der Brillenversorgten mit der Grundgesamtheit der Personen mit Brechfehlern korreliert. Es ist davon auszugehen, dass nicht jede Person mit einem Brechfehler auch eine Brille erhält. Auch ist unklar, wann im zeitlichen Verlauf des Entstehens eines Brechfehlers eine Brille vom Optiker abgegeben wird. (121)

2.9 Brechkraftfehler als Risikofaktor

2.9.1 Hypermetropie und akuter Winkelblock

Wie bereits erläutert ist die Hypermetropie am häufigsten auf einen zu kurzen Bulbus bei normaler Brechkraft zurückzuführen. Der Kurzbau des Bulbus führt auch zum Kurzbau des vorderen Augenabschnitts, was dazu führen kann, dass häufiger als bei Emmetropen oder Myopen ein enger Kammerwinkel vorbesteht. Dies prädisponiert zum akuten Winkelblock. (4)

Der akute primäre Winkelblock gehört zum Formenkreis der Engwinkel-erkrankungen. Hierbei wird der Kammerwasserabfluss im Trabekelmaschenwerk des Kammerwinkels in der Vorderkammer des Auges durch die Iris vollständig blockiert, wodurch es zu einem schnellen Anstieg des Augeninnendrucks kommt.

Umgangssprachlich wird dies oft auch als Glaukomanfall oder akutes Winkelblockglaukom bezeichnet, wobei die Kriterien eines Glaukoms nicht erfüllt sein müssen. Für ein Glaukom ist der Untergang von retinalen Ganglienzellen beziehungsweise deren Nervenfasern charakteristisch. (123) Die akute Druckerhöhung muss nicht zwingend mit einem solchen Glaukomschaden einhergehen, es besteht allerdings die Gefahr hierfür bei dauerhafter Druckerhöhung im Auge. Die Klassifikation der American Academy of Ophthalmology definiert den Verdacht auf einen primären Winkelblock („primary angle closure suspect“, PACS) als enger Kammerwinkel mit $\geq 180^\circ$ iridotrabekulärem Kontakt. Gibt es Ausbildungen von Kammerwinkelverwachsungen oder zusätzlich resultierende erhöhte Augeninnendruckmesswerte, werden diese Stadien als primärer Winkelblock („primary angle-closure“, PAC) und bei zusätzlich glaukomatöser Optikusneuropathie als primäres Winkelblockglaukom („primary angle-closure glaucoma“, PACG) bezeichnet. (124) Die Bezeichnungen der Engwinkelerkrankungen sind in der deutschsprachigen Literatur nicht eindeutig festgelegt und werden inkonsistent verwendet. (123)

Der akute Winkelblock stellt einen ophthalmologischen Notfall dar, der ohne sofortige Therapie zur irreversiblen Erblindung führen kann. Neben den ophthalmologischen Symptomen wie Augenrötung, Sehverschlechterung und Schmerzen können Symptome wie Kopfschmerzen, Übelkeit, Erbrechen und Pupillenstarre, auftreten. Bei Kaukasiern ist der akute primäre Winkelblock ein eher seltenes Ereignis. Für Europa wird die jährliche Inzidenz mit 2,2 bis 4,1 Fällen pro 100 000 Einwohner angegeben. (125-127) In Singapur liegt sie mit 12,2 Fällen pro Jahr je 100 000 Einwohner im Alter von über 30 Jahren höher. (128)

Es sind zahlreiche Risikofaktoren eines engen Kammerwinkels beschrieben, trotzdem sind die Risikofaktoren eines akuten primären Winkelblocks nicht gänzlich geklärt. Es konnte gezeigt werden, dass zu den Risikofaktoren von Engwinkel-Erkrankungen biometrische Faktoren, wie die erwähnte kurze Bulbuslänge bei der Hypermetropie, zählen. Zudem erhöhen eine flache Vorderkammer und eine dicke Augenlinse das Risiko für Engwinkelerkrankungen. Frauen haben ein höheres Risiko als Männer, einen akuten Winkelblock zu erleiden. (128) Diese Risikofaktoren erklären allerdings nur einen Teil des Auftretens eines akuten primären Winkelblocks. (129)

In Studien wird die Inzidenzzunahme mit steigendem Alter auf die zunehmende

Dicke der eigenen Linse und die damit abnehmende Vorderkammertiefe zurückgeführt. (130) Mit Operationen bei denen die eigene Linse durch eine künstliche Linse ersetzt wird, wird diese Risikokonstellation aufgehoben, da die verwendeten Kunstlinsen deutlich dünner sind. (123)

2.9.2 Myopie und Glaukom

Myopie ist seit langem als Risikofaktor für das Offenwinkelglaukom bekannt. (131, 132)

Das Glaukom stellt eine Gruppe von chronisch fortschreitenden Erkrankungen des Sehnervs dar. Die verschiedenen Glaukomarten werden nach den jeweiligen strukturellen Veränderungen im vorderen Augenabschnitt unterteilt (133), also ein offener Kammerwinkel (Offenwinkelglaukom) oder ein verlegter Kammerwinkel (Winkelblockglaukom), sowie in primär (spontan auftretend) und sekundär (in der Folge anderer Augenerkrankungen).

Die wichtigsten Risikofaktoren für ein Glaukom sind hohes Lebensalter, erhöhter Augeninnendruck (134-136), Myopie (137) und eine positive Familienanamnese bezüglich Glaukomerkrankungen (135, 136).

Bei stark myopen Augen sind Papillenveränderung schwerer zu beurteilen als bei emmetropen Augen, die Papillenexkavation ist unter anderem aufgrund des schrägen Sehnerveneintritts besonders schwer zu beurteilen. (133)

Es wird davon ausgegangen, dass eine Vergrößerung der Papille durch Myopie und einer daraus resultierenden Verdünnung der Lamina cribrosa für ein Glaukom prädisponieren. (138) Als weiterer möglicher Faktor werden in einer Untersuchung von Wang et al. erhöhte Scherkräfte in der Lamina cribrosa durch Augenbewegungen bei Personen mit stark kurzsichtigen (langen) Augen genannt. (133, 139)

Allerdings sind glaukomatöse Veränderungen in einem kurzsichtigen Auge oft schwer zu erkennen. Klassische strukturelle und funktionelle Untersuchungen zur Diagnose eines Glaukoms können durch Kurzsichtigkeit verfälscht werden. In einem Review, dessen Ziel es war einen Überblick über die Diagnostik des Glaukoms bei myopen Augen zu geben, sprechen die Autoren Nicholas et al. von einem diagnostischen

Dilemma mit zahlreichen möglichen Fehlerquellen. Sie schlussfolgern, dass die Bewertung des Glaukoms bei Myopie einen multimodalen Ansatz erfordert, um eine Korrelation zwischen strukturellen und funktionellen Bewertungen zu ermöglichen. (140)

2.9.3 Myopie und Netzhautablösung

Myopie ist ein bekannter Risikofaktor für eine Netzhautablösung. Der Zusammenhang von Myopie und Netzhautablösungen wurde in einer im Jahr 2020 publizierten Arbeit von Gerstenberger et al. untersucht. (141) Ziel war es hierbei die Häufigkeit der Netzhautablösung in der deutschen Bevölkerung und mögliche Risikofaktoren zu untersuchen, als Teil der Gutenberg-Gesundheitsstudie, eine bevölkerungsbezogene Kohortenstudie in Mainz, die Probanden (n=15.010) in einem Altersbereich von 35 bis 74 Jahren bei Studienbeginn umfasst. Die Autoren fanden heraus, dass ein männliches Geschlecht (OR (Odds Ratio) = 4,16, p = 0,004), Pseudophakie (OR = 3,93, p = 0,045) und Myopie (OR = 1,31 pro Dioptrie Myopie, p < 0,0001) Risikofaktoren für eine Netzhautablösung darstellen. (141)

Fariolis schwedische Studiengruppe konnte bei emmetropen Probanden eine langsam steigende Inzidenz einer rhegmatogenen Netzhautablösung mit zunehmendem Alter feststellen. (142) Je höher die Myopie, desto früher stieg die Inzidenz der rhegmatogenen Netzhautablösung an. Bei Personen mit Myopie von -3,00 bis -5,75 dpt erreichte die Inzidenz im Alter von 35 bis 39 Jahren einen Spitzenwert von etwa 25/100.000 Personenjahren. Patienten mit hoher Myopie (-6,0 dpt oder mehr) zeigten einen frühen Inzidenzgipfel der rhegmatogenen Netzhautablösung im Alter von 25 bis 29 Jahren von 60/100.000 Personenjahren, sowie eine Inzidenz von über 300/100.000 im Alter von 45-49 Jahren. (142)

Zu rhegmatogenen Netzhautablösungen lag in einer chinesischen Studie bei etwa einem Drittel aller Fälle eine hohe Myopie vor, bei bilateralem Geschehen sogar bei 57 %. (143) Insgesamt geht man von einem 10-fach erhöhten Risiko bei Netzhautablösungen für Hochmyope gegenüber Emmetropen aus. (23, 144)

2.9.4 Myopie und myope Makulopathie

Am myopen Augenhintergrund kann es zu pathologischen, degenerativen Veränderungen der Makula, dem Bereich des schärfsten Sehens, kommen, was zu starken Visuseinschränkungen bis hin zur Blindheit führen kann. Bezeichnet wird diese Erkrankung als myope Makulopathie oder myope Makuladegeneration (MMD). Aus einer Metaanalyse von 2000 bis 2015, sowie einer Extrapolation der Daten bis ins Jahr 2050 von Fricke et al. (145) geht hervor, dass für das Jahr 2050, ohne eine Verbesserung der aktuellen Therapiemöglichkeiten, circa 55,7 Millionen Menschen weltweit von einer MMD betroffen sein werden, 18,5 Millionen davon vollständig erblindet. 2015 waren nach der Analyse von Fricke et al. weltweit 10,0 Millionen Menschen von einer MMD betroffen, 3,3 Millionen davon blind. (145)

In einer Untersuchung von Hopf et al. (24) wurden die Prävalenz myopischer Makulopathie in der Allgemeinbevölkerung in Deutschland und mögliche Zusammenhänge mit okulären und systemischen Faktoren im Rahmen der Gutenberg-Gesundheitsstudie (GHS) analysiert.

Die myopische Makulopathie wurde bei phaken Augen mit einem sphärischen Äquivalent von ≤ -6 dpt durch Beurteilung von Fundusfotos gemäß einem neueren internationalen fotografischen Klassifikationssystem (META-PM) eingestuft. 801 Augen von 519 Teilnehmern (Durchschnittsalter $51,0 \pm 0,77$ Jahre) erfüllten die Bedingungen und hatten bewertbare Fundusaufnahmen.

Eine myopische Makulopathie lag bei 10,3 % (95 %-Konfidenzintervall: 7,9 % bis 13,3 %) der Studienteilnehmer vor. Die Prävalenz betrug 8,6 % (95 %-Konfidenzintervall: 6,1 % bis 11,9 %) bei den 397 rechten Augen und 8,7 % (95 %-Konfidenzintervall: 6,2 % bis 12,0 %) bei den 404 linken Augen. Die häufigste Art der Pathologie war die diffuse chorioretinale Atrophie (8,1 %), gefolgt von Dehnungsherden (1,3 %) und Makulaatrophie (0,5 %), Plus-Zeichen (Fuchs-Fleck, Lack-Sprung, mCNV) waren bei 3% vorhanden. Alter (OR = 1,07 pro Jahr, 95 %-Konfidenzintervall: 1,03 bis 1,11, $p < 0,001$), höhere myopische Refraktionsfehler ($p < 0,001$) und männliches Geschlecht ($p = 0,02$) waren mit myopischer Makulopathie assoziiert, während kardiovaskuläre Risikofaktoren und sozioökonomische Faktoren keine Assoziation zeigten.

Die Prävalenz myopischer Makulopathie in der deutschen Bevölkerung betrug 0,5 % bzw. 10 % bei hochmyopischen Teilnehmern im Alter von 35 bis 74 Jahren. Diese

bevölkerungsbezogenen Daten waren die ersten in Europa. Die myopische Makulopathie hing mit der Schwere des myopischen Brechungsfehlers und dem Alter zusammen. (24)

In einer anderen Publikation von Hopf et al. (146) aus dem Jahr 2021 wurde die kumulative Inzidenz über fünf Jahre und Progression der myopischen Makulopathie in der deutschen Allgemeinbevölkerung im Alter von 35 bis 74, ebenfalls im Rahmen der GHS, untersucht. 494 Augen von 323 Teilnehmern ohne myopische Makulopathie zu Studienbeginn und 34 Augen von 27 Probanden mit myopischer Makulopathie wurden eingeschlossen und deren Fundusfotos zu Studienbeginn und nach fünf Jahren ausgewertet.

Hierbei wurden Inzidenz und Progression myopischer Makulopathie durch Einstufung von Fundusfotos nach einem neueren internationalen fotografischen Klassifikationssystem (META-PM) bewertet. Es wurde gezeigt, dass das Auftreten einer myopischen Makulopathie bei hoch myopen Augen in der deutschen Allgemeinbevölkerung im Alter von 35 bis 74 Jahren selten ist. Die kumulative Inzidenz der myopischen Makulopathie über 5 Jahre betrug 0,3 % (95 %-Konfidenzintervall: 0,02 % bis 1,99 %; n = 1). Progression trat bei 50 % mit myopischer Makulopathie über 5 Jahre auf. (146)

2.10 Gesundheitsökonomische Bedeutung von Brechkraftfehlern

Um die gesundheitsökonomische Bedeutung von Brechkraftfehlern genauer zu betrachten, sind zahlreiche Untersuchungen veröffentlicht worden.

Smith et al. publizierten im Jahr 2009 eine Untersuchung zur Abschätzung des potenziellen globalen wirtschaftlichen Produktivitätsverlusts im Zusammenhang mit Sehbehinderungen durch unkorrigierte Refraktionsfehler. (147)

Die Autoren verwendeten nationale Bevölkerungs-, epidemiologische und wirtschaftliche Daten, um den Bruttoinlandsproduktverlust für alle Personen mit Sehbehinderung und Blindheit, sowie für Personen mit normaler Sehkraft, die informelle Pflege für Sehbehinderte oder Blinde leisten, zu schätzen. Im Jahr 2007 wurden schätzungsweise 158,1 Millionen Fälle von Sehbehinderungen durch unkorrigierte oder unterkorrigierte Refraktionsfehler verursacht; davon waren 8,7

Millionen blind. Den mit dieser Belastung verbundenen weltweiten wirtschaftlichen Produktivitätsverlust in internationalen Dollar (I\$) schätzen die Autoren auf 427,7 Milliarden I\$ vor und 268,8 Milliarden I\$ danach, bereinigt um die länderspezifische Erwerbsbeteiligung und Beschäftigungsquote. Mit der gleichen Anpassung, aber unter der Annahme, dass für Personen im Alter von über 50 Jahren keine wirtschaftliche Produktivität vorliegt, schätzten sie den potenziellen Produktivitätsverlust auf 121,4 Milliarden I\$. Selbst unter den konservativsten Annahmen ist der geschätzte Gesamtproduktivitätsverlust in I\$, der mit einer Sehbehinderung durch unkorrigierte oder unterkorrigierte Brechkraftfehler verbunden ist, ungefähr tausendmal höher als die Gesamtzahl der Fälle. Die Kosten, um eine Versorgung mit refraktiven Korrekturmöglichkeiten zu ermöglichen, sind nicht bekannt. Aber wenn jede betroffene Person für weniger als 1000 I\$ eine geeignete Brille erhält, kann ein wirtschaftlicher Nettogewinn erzielt werden. (147)

Brillen sind eine kostengünstige Intervention. Ginge man laut den Autoren davon aus, dass die Brille alle 3 Jahre von einem neuen Paar ersetzt werden, würden jährlich zusätzlich 53 Millionen Brillen benötigt, um die aktuelle Belastung durch nicht korrigierte Refraktionsfehler zu bewältigen. Die direkten Kosten für einen Sehtest und eine Brille in den Vereinigten Staaten wurden im Jahr 2000 auf 139 US-Dollar (US\$) geschätzt. (148) Die Autoren sahen keinen Grund anzunehmen, dass die direkten Kosten anderswo so hoch wären wie in den Vereinigten Staaten, jedoch fehlt es in vielen wirtschaftlich weniger entwickelten Ländern an grundlegender Infrastruktur für den Vertrieb, sowie an entsprechender Schulung von Personal und Ausrüstung, um Brillen für Bedürftige bereitzustellen. Smith et al. schlussfolgerten daher, dass Kostenschätzungen wahrscheinlich die tatsächlichen Kosten erheblich unterschätzen, wenn nur die direkten Kosten der Bereitstellung von Diensten unabhängig von der bestehenden Infrastruktur beachtet werden. (147)

Nicht korrigierte Refraktionsfehler (NKRF) können die schulischen Leistungen beeinträchtigen, die Beschäftigungsfähigkeit und Produktivität verringern und die Lebensqualität allgemein beeinträchtigen.

Betrachtet man die weltweite Häufigkeitsverteilung der Ursachen für Erblindung, so sind NKRF die zweithäufigste Ursache, nach dem Grauen Star. Betrachtet man die Ursachen der Sehbehinderungen sind NKRF die häufigste Ursache. (149)

Resnikoff et al. analysierten in einer Publikation aus dem Jahr 2008 Studien von 1995 bis 2006 aus 31 Ländern systematisch bezüglich des globalen Ausmaßes von Sehbehinderung durch unkorrigierte Refraktionsfehler. Sie fanden heraus, dass der Abdeckungsgrad der aus den Studien ermittelten refraktiven Korrekturen in den meisten Regionen der Welt weniger als oder etwa 50 % beträgt; städtische Gebiete haben eine bessere Versorgungsabdeckung als ländliche Gebiete. (149) Resnikoff et al. beschreiben mehrere Gründe, warum Refraktionsfehler unkorrigiert bleiben. In der Altersgruppe 5 bis 15 Jahre ist die Nichtkorrektur von Refraktionsfehlern auf mehrere Faktoren zurückzuführen: Das Fehlen von Screenings, sowie die Verfügbarkeit und Erschwinglichkeit von Refraktionskorrekturen sind am wichtigsten. Die Autoren kamen allerdings zu dem Fazit, dass auch kulturelle Fehlanreize eine Rolle spielen, wie Umfragen aus Ländern zeigen, in denen routinemäßige Screenings und Korrekturen kostenlos oder leicht zugänglich sind, die Einhaltung jedoch gering bleibt. (149-151)

Resnikoff et al. zeigen in ihrer Publikation auf, dass selbst in wirtschaftlich begünstigten Gesellschaften Refraktionsfehler unentdeckt und unkorrigiert bleiben können. (149)

In einer Untersuchung von Fricke et al. aus dem Jahr 2012 wurden Schätzungen publiziert über die Höhe der globalen Kosten für die Einrichtung und den Betrieb von Fortbildungs- und refraktiven Versorgungseinrichtungen, die erforderlich wären, um alle Personen zu versorgen, die derzeit eine Sehbehinderung aufgrund eines nicht korrigierten refraktiven Fehlers (NKRF) haben. (152)

Die globalen Kosten für die Korrektur von NKRF wurden anhand von Daten zur Bevölkerung aus 228 Ländern, der Prävalenz von NKRF und der Anzahl an Ärzten, die NKRF korrigieren können, in den einzelnen Ländern, den Kosten für die Einrichtung und Durchführung von Schulungsprogrammen für Ärzte und den Kosten für die Einrichtung und den Betrieb von refraktiven Versorgungseinrichtungen geschätzt. (152)

Im Jahr 2007 gab es weltweit schätzungsweise 158 Millionen Fälle von Sehstörungen in der Ferne und 544 Millionen Fälle von Sehstörungen in der Nähe, die durch NKRF verursacht wurden. Ungefähr 47.000 Ärzte, die NKRF korrigieren können, und 18 000 Optiker wären erforderlich, um eine Versorgung mit refraktiver Korrektur zu gewährleisten. Die Gesamtkosten für die Ausbildung des zusätzlichen Personals sowie für die Einrichtung, Wartung und den Betrieb der benötigten

refraktiven Versorgungseinrichtungen wurden auf rund 20 000 Millionen US-Dollar (US\$) geschätzt, und die Kostenobergrenze belief sich auf 28 000 Millionen US-Dollar. Der geschätzte Verlust des weltweiten Bruttoinlandsprodukts, aufgrund der durch NKRF verursachten Fernsichtbeeinträchtigung, betrug jährlich 202 000 Millionen US-Dollar. Die Kosten für die Einrichtung und den Betrieb der Fortbildungs- und Versorgungseinrichtungen, die für den Umgang mit Sehbehinderungen infolge von NKRF erforderlich sind, machten einen kleinen Teil des mit dieser Sehbehinderung verbundenen globalen Produktivitätsverlusts aus. (152)

Die Zusammenschau der Literatur zeigt, dass von der Verbesserung der Brechkraftfehler ein immenses Potential zur weltweiten Produktivitätssteigerung ausgeht, die gesundheitsökonomische Bedeutung ist also beträchtlich.

2.10.1 Myopie

Das Verständnis der wirtschaftlichen Belastung durch Sehbehinderung im Zusammenhang mit Myopie ist entscheidend, um Myopie als ein immer häufiger auftretendes Problem der öffentlichen Gesundheit anzugehen. Um genau dieses Problem differenziert für Myopie näher zu betrachten, führten Fricke et al. ihre Untersuchungen in einer Publikation im Jahr 2018 weiter aus. (153)

Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass Menschen mit Kurzsichtigkeit seltener eine ausreichende optische Korrektur haben, wenn sie älter sind und in einer ländlichen Gegend eines weniger entwickelten Landes leben. Der weltweite potenzielle Produktivitätsverlust im Zusammenhang mit Sehbehinderungen im Jahr 2015 wurde auf 244 Milliarden US-Dollar durch nicht korrigierte Myopie und auf 6 Milliarden US-Dollar durch myope Makuladegeneration geschätzt. Die Schätzungen der Autoren deuten darauf hin, dass die Regionen Südostasien, Südasien und Ostasien im Verhältnis zu ihrer Wirtschaftstätigkeit das größte potenzielle Belastungspotenzial tragen, während in absoluten Zahlen Ostasien das größte potenzielle Belastungspotenzial trägt.

Zusammenfassend zeigte sich auch hier bei der Untersuchung, dass der potenzielle Produktivitätsverlust im Zusammenhang mit Sehbehinderungen und Blindheit durch unkorrigierte Myopie deutlich höher ist als die Kosten für die Myopiekorrektur. (153)

3. Material und Methode

Diese Dissertation beruht auf zwei verschiedenen Studienansätzen und teilt sich daher in allen folgenden Kapiteln jeweils in zwei Unterpunkte zu den beiden Studien auf.

3.1 Die Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS)

Anfang der 1990er Jahre gab es nur wenige bundesweit repräsentative Daten zur Gesundheit der minderjährigen Bevölkerung in Deutschland. Das Robert-Koch-Institut (RKI) begann daher als erste bundesweite Gesundheitsbefragung in dieser Bevölkerungsgruppe mit dem „Deutschen Gesundheits- und Untersuchungssurvey für Kinder und Jugendliche“ (KiGGS), gefördert durch das Bundesministerium für Gesundheit. (154)

3.1.1 Studiendesign

Die Erhebung umfasst repräsentative Daten zum körperlichen und psychischen Gesundheitszustand, zum Gesundheitsverhalten und anderen Gesundheitsdeterminanten auf Basis von Gesundheitsuntersuchungen und Elternfragebögen. Teilnehmer der KiGGS-Basisstudie, die alle um die Jahrtausendwende in Deutschland aufgewachsen sind, werden bis ins Erwachsenenalter verfolgt, mit regelmäßigen Follow-Ups, innerhalb der KiGGS-Kohorte. (155)

Die Hauptziele der KiGGS-Kohorten-Studie sind die Identifizierung typischer Gesundheits- und Gesundheitsverhaltensverläufe im Lebensverlauf, das Beschreiben der Variation der Trajektorien in verschiedenen Populationen, die Analyse von langfristigen gesundheitlichen Entwicklungen in Abhängigkeit von Risiko- und Schutzfaktoren und die Beobachtung gesundheitlicher Auswirkungen von Umstellungsphasen. (155) Die Daten der KiGGS-Studie werden zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes genutzt, um epidemiologische Analysen

durchzuführen sowie für die Public-Health-Forschung. Für Akteure aus den Bereichen Gesundheitspolitik, Versorgung und Prävention stellen die gewonnenen Erkenntnisse eine wichtige Informationsgrundlage dar. (156-158)

Zunächst erfolgte die KiGGS-Basiserhebung in den Jahren 2003 bis 2006, daraufhin die KiGGS Welle 1, in den Jahren 2009-2012. Mit der KiGGS Welle 2 (2014-2017) erfolgte zum dritten Mal eine Erhebung von aktuellen Querschnittsdaten zur gesundheitlichen Lage der Kinder und Jugendlichen in Deutschland, wie auch ein Fortführen der Basiskohorte im Längsschnitt. Anhand dieser Daten lassen sich viele verschiedene Prävalenzschätzungen erheben, sowie Indikatoren und Entwicklungstendenzen. (157)

Zudem hat die KiGGS-Studie durch die Beobachtung der Teilnehmenden der Basiserhebung (2003–2006) eine Komponente (KiGGS-Kohorte), mit deren Hilfe längsschnittliche Zusammenhänge untersucht werden können. (157, 159)

Die Basiserhebung der KiGGS-Kohorte (Baseline-Studie) umfasste 17.641 Kinder und Jugendlichen (Alter: 0 bis 17 Jahre). Die Baseline-Studie wurde zwischen 2003 und 2006 als Untersuchungs- und Interviewerhebung an 167 Stichprobenpunkten durchgeführt. (154) Die Datenerhebung erfolgte in zu diesem Zweck eingerichteten Behelfsprüfungszentren. Im Rahmen der Untersuchungen wurden medizinische Messungen und Tests durchgeführt sowie Blut- und Urinproben entnommen. (154) Im Nachhinein bat einer von 17.641 Teilnehmern um Löschung seiner Kontakt- und Studiendaten. Die inhaltsbezogene Analyse basierte daher auf den Daten von 17.640 Teilnehmern. (siehe Abbildung 4) (158)

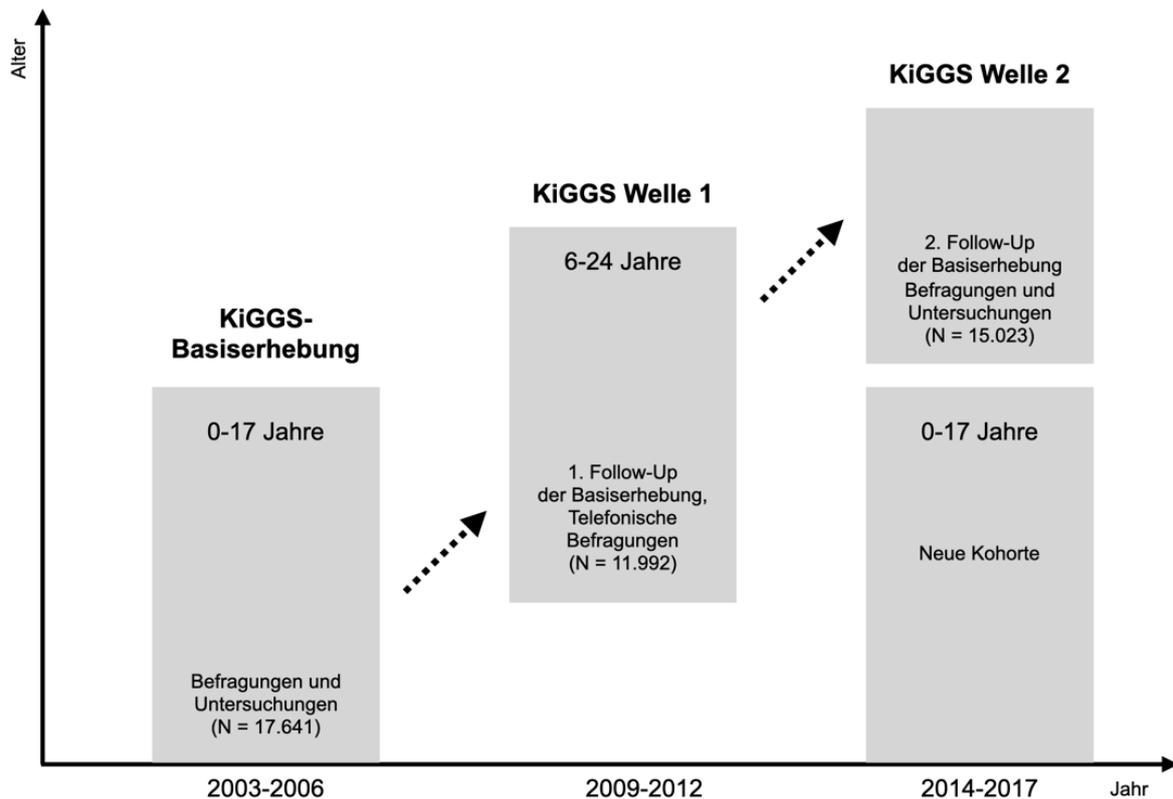


Abbildung 4:

Schematische Darstellung des zeitlichen Ablaufs der KiGGS-Datenerhebungen.

Zu den Follow-ups (KiGGS Welle 1 und KiGGS Welle 2) wurden eingeschlossene Kinder erneut eingeladen. Um gesundheitliche Entwicklungen im Lebensverlauf und die damit verbundenen Einflussfaktoren zuverlässig erkennen zu können, ist es wichtig, dass möglichst viele Teilnehmer aus der Basisuntersuchung an nachfolgenden Studienwellen teilnehmen. Darüber hinaus ist es wichtig, systematische Verzerrungen im Hinblick auf die Wiederholungsteilnahme weitestgehend zu vermeiden, um valide Ergebnisse zu liefern. (158)

Die erste Folgebefragung (KiGGS Welle 1) wurde als computergestützte Telefoninterviewerhebung mit reduziertem Themenspektrum durchgeführt. Insgesamt nahmen 11.992 (6.078 Frauen, 5.914 Männer) der Personen, die an der KiGGS-Basiserhebung teilgenommen hatten, wiederholt teil. Bei den volljährigen Mitgliedern der Kohorte zeigte sich eine leicht reduzierte Teilnahmebereitschaft an KiGGS Welle 1. (158)

Bei KiGGS Welle 2 umfasste das Erhebungsspektrum erneut Informationen zur körperlichen und psychischen Gesundheit, zur Gesundheitsversorgung, zum Gesundheitsverhalten und Prävention sowie soziale, familiäre und umweltbezogene Merkmale. (157) Bei allen Teilnehmenden wurden diese Befragungsdaten gesammelt. Nur bei einer zufällig ausgewählten Teilgruppe wurden weitere körperliche Untersuchungen, Tests und Laboranalysen von Blut- und Urinproben durchgeführt. (160)

Die Fallzahl wurde mit insgesamt 15.023 Befragungsteilnehmenden in der erneuten Querschnittskohorte erreicht. 3.567 Befragte aus einer zufällig ausgewählten Untergruppe wurden zusätzlich untersucht. Die Responsequote betrug in KiGGS Welle 2 (2014–2017) insgesamt 40,1 %. (157) Es zeigten sich hinsichtlich soziodemografischer Merkmale Unterschiede in den Responsequoten. Die Teilnahmequote in der KiGGS-Basisuntersuchung (2003–2006) betrug 66,6 %. (161) Die Unterschiede in der Teilnahmebereitschaft werden durch Gewichtung nach Geschlecht, Alter, Regionalität, Staatsangehörigkeit und Bildung weitgehend ausgeglichen. Durch diese Gewichtung ermöglichen die Daten bevölkerungsrepräsentative Aussagen zur gesundheitlichen Lage der Kinder und Jugendlichen in Deutschland. Zudem erlauben sie aktuelle Prävalenzschätzungen und Trendanalysen durch den Vergleich mit den Ergebnissen vorheriger Erhebungswellen.

Die Einzuladenden wurden in 167 für die Bundesrepublik repräsentativen Gemeinden und Städten zufällig aus den Melderegistern gezogen, welche bereits für die KiGGS-Basiserhebung in Kooperation mit dem heutigen GESIS – Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften ausgewählt wurden.

Um die Teilnahme an der Studie sowohl zahlenmäßig als auch in der Zusammensetzung der Teilnehmer zu verbessern, wurden verschiedene Maßnahmen umgesetzt. Einige der Maßnahmen betrafen das Informationsmanagement, die Bereitstellung von Anreizen (z. B. Zulagen) oder den Abbau von Teilnahmebarrieren und die Verwaltung von Terminen im Prüfungsteil. (158)

Die Eltern erhielten in einem Einladungsschreiben eine umfassende Informationsbroschüre zur Studie und eine Antwortkarte mit Telefonnummer um einen Termin zu vereinbaren. Im Anschluss, etwa drei Tage später, bekamen Kinder und Jugendliche ab elf Jahren ein an sie gerichtetes Einladungsschreiben mit

altersgerechtem Informationsblatt. Weitere Stufen der Teilnehmendengewinnung schlossen sich dieser Rekrutierung an. Nach etwa zehn Tagen bekamen die Eltern ein Erinnerungsschreiben, weitere 14 Tage später wurde begonnen, die Eltern telefonisch zu kontaktieren um für eine Teilnahme zu werben. (162)

Familien, die auf Einladungen und Erinnerungsschreiben nicht reagierten, wurden zunächst telefonisch und ggf. zu Hause kontaktiert. In einem persönlichen Gespräch informierten die Befragungsmitarbeiter diese Familien über Ziele und Inhalte der Befragung und beantworteten allfällige Fragen. Durch diese Ansprache von Familien mit Migrationshintergrund sollte deren Bereitschaft zur Teilnahme an der Befragung erhöht werden. In Fällen, in denen Familien nicht zur Teilnahme motiviert werden konnten, versuchten die Mitarbeiter der Umfrage, die Gründe für die Nichtteilnahme zu ermitteln. War die Kontaktaufnahme mit einer Person zur Klärung von Zielen und Inhalten der Befragung aufgrund von Sprachbarrieren nicht möglich, wurden diese Kinder und Jugendlichen als qualitätsneutraler Verlust gewertet. (163)

Um die geringe Teilnahmebereitschaft von Personen mit Migrationshintergrund zu kompensieren, wurde bei der Stichprobenerhebung ein Oversampling-Faktor von 1,5 angewendet. Der Anteil der Kinder und Jugendlichen ohne deutsche Staatsangehörigkeit an der unbereinigten Bruttostichprobe war damit höher als ihr Anteil an der Bevölkerung. Einladungen zur Umfrage und Fragebögen wurden in vier Sprachen übersetzt (Türkisch, Russisch, Serbokroatisch und Englisch). Die Auswahl dieser Sprachen basierte auf der Größe der Sprachgruppe, dem Ausmaß der beobachteten Sprachschwierigkeiten sowie den Erfahrungen aus der KiGGS-Basisstudie und der KiGGS Welle 1. Eingesetzt wurde ein von der Humpert und Schneiderheinze GbR entwickeltes computergestütztes Namensvergabesystem (onomastisches Verfahren), das es erlaubt, Vor- und Nachnamen von Kindern und Jugendlichen bestimmten Sprachen zuzuordnen und diese einem möglichen Migrationshintergrund zuzuordnen. Den Eltern oder Erziehungsberechtigten wurde dann eine Einladung in deutscher Sprache sowie in der durch das onomastische Verfahren ermittelten Sprache zugesandt. (163)

Die Untersuchungen waren kultursensibel und Mädchen wurden beispielsweise nur von weiblichen Erhebungsmitarbeitern untersucht. Um die Teilnahme von Personen mit nur rudimentären Deutschkenntnissen sicherzustellen, wurden Befragungsmaterialien und Einverständniserklärungen in vier Sprachen zur

Verfügung gestellt. Einige Außendienstmitarbeiter waren mehrsprachig, um Sprachbarrieren in den Prüfungszentren abzubauen. (163)

Darüber hinaus wurden Response- und Non-Response-Analysen durchgeführt, die speziell den Migrationshintergrund berücksichtigten und die Rücklaufquote der nichtdeutschen Staatsangehörigen laufend beobachtete. Bei Bedarf konnten die Anstrengungen zur Erhöhung der Teilnahmebereitschaft dieser Gruppen gezielt verstärkt werden. So erhielten Außendienstmitarbeiter und Prüfungsteams zur Qualitätssicherung kulturelle Sensibilisierungsschulungen. Um die sprachlichen oder kulturellen Schwierigkeiten von Menschen mit Migrationshintergrund systematisch zu erfassen, wurde ein Fragebogen für Mitarbeiter, die an Feldbesuchen im Vorfeld der Befragung beteiligt waren, und die Teams, die anschließend die eigentliche Befragung durchführten, entwickelt.

Darüber hinaus wurden Öffentlichkeitsarbeit betrieben und als potenzielle Multiplikatoren zur Gewinnung von Teilnehmenden Migrant*innenorganisationen, Ausländerbeauftragte und Beratungsstellen an den 167 Stichprobenpunkten über die Befragung und ihre Ziele informiert. All diese Maßnahmen waren wichtig, um eine migrationsspezifische Datenanalyse zu gewährleisten. (163)

Wenn die Einladungen als unzustellbar zurückgesendet wurden, wurde zusätzlich recherchiert, wo die Personen wohnten. Einladungen wurden erneut versandt, wenn die Deutsche Post eine neue Adresse für Personen angab, deren Einladungen als unzustellbar zurückgesendet wurden. Liegt die neue Adresse außerhalb der ursprünglichen Stichprobenstelle, wurde die Person nur zu einem Vorstellungsgespräch eingeladen. Wurde hingegen eine Einladung ohne neue Adresse retourniert, wurden vorhandene Telefonnummern genutzt, um mit den Studienteilnehmern in Kontakt zu treten und nach einer gültigen Adresse zu fragen. Konnten die Eltern von Studienteilnehmern im Erwachsenenalter nur erreicht werden, wurden die Eltern gebeten, ihre Kinder über die Studie zu informieren und sie zu bitten, sich an das RKI zu wenden. Wenn keine oder keine gültige Telefonnummer vorhanden war, wurde die gleiche Anfrage schriftlich an Eltern verschickt, deren Adressen (bekannt aus der Basisstudie oder aus KiGGS Welle 1) von denen ihres Kindes abwichen. (158) Wenn niemand erreicht werden konnte oder keine

Telefonnummer hinterlegt war, wurden die Eltern durch einen Hausbesuch kontaktiert. (162)

3.1.2 Definition Myopie

Um den Anteil der myopen Kinder zu bestimmen, wurden Informationen aus dem Elternfragebogen herangezogen. Um die Diagnose einer Myopie abzusichern, wurden im Rahmen der Primäranalyse nur jene Kinder als kurzsichtig definiert, dessen Eltern sowohl eine Kurzsichtigkeit als auch das Vorhandensein einer Sehhilfe angegeben hatten.

Wurde die Frage nach der Fehlsichtigkeit von den Eltern mit „Kurzsichtigkeit: Nein“ beantworteten, erfolgte die Definition der jeweiligen Kinder und Jugendlichen als nicht kurzsichtig. Ausgeschlossen von den Analysen wurden Kinder, die nach Elternangabe keine Sehhilfe trugen, obwohl eine Kurzsichtigkeit bejaht wurde. Eine Refraktionsmessung fand im Rahmen der KiGGS-Studie nicht statt.

3.1.3 Statistische Analysen

Um die Stichprobe möglichst repräsentativ für die deutsche Bevölkerung zu machen, wurden die Studienteilnehmer so gewichtet, dass unterschiedliche Teilnehmerraten zwischen Alter, Geschlecht und so weiter ausgeglichen wurden.

Hierzu erfolgte die Berechnung der Prävalenzschätzer und ihre 95%-Konfidenzintervalle für beide Erhebungen getrennt voneinander. Dabei wurden alle Prävalenzschätzer und ihre 95%-Konfidenzintervalle unter Verwendung der Gewichtung für komplexe Stichproben berechnet. (162, 164)

Zudem wurden Prävalenzschätzer für 2-Jahres-Altersgruppen bei Mädchen und Jungen berechnet. Anschließend wurde die Schätzer der beiden Erhebungen miteinander verglichen. Zusätzlich wurde eine Sensitivitätsanalyse mit einer alternativen Definition der Myopie (Myopie-Angabe unabhängig von der Sehhilfen-Angabe) gemacht. Eine multivariable binär logistische Regression wurde

angewendet, um mögliche Risikofaktoren von Myopie zu untersuchen. Hierbei wurden Risikofaktoren der Myopie auf Basis der Daten aus KiGGS Welle 2 univariabel, teiladjustiert und volladjustiert untersucht. Unter Risikofaktoren fielen Geschlecht, Alter, sozioökonomischem Status (SES, gebildet aus Beruf, Bildung und Einkommen jeweils in Bezug auf die Eltern), Migrationshintergrund, Mediennutzung, Leseverhalten und der Besitz eines Smartphones. Angaben zu Alter, Geschlecht, SES und Migrationshintergrund wurden dem Elternfragebogen entnommen. (165, 166) Zur Erhebung der Mediennutzung dienten bei den 3- bis 10-Jährigen Elternangaben und bei den 11- bis 17-Jährigen Selbstangaben berücksichtigt. Die Erhebung erfragte, wie viele Stunden pro Tag die Kinder und Jugendlichen Fernsehen/Video, Spielkonsole, Computer/Internet und Bücher nutzen und ob das Kind oder der Jugendliche ein eigenes Smartphone besitzt. Nutzungszeiten über 2 Stunden wurden zusammengefasst. Da der Umfang der Smartphone-Nutzung nicht erhoben wurde, galt der Besitz eines Smartphones als Proxy für dessen Nutzung.

Zur Untersuchung der Zusammenhänge wurden Odds Ratios und deren 95%-Konfidenzintervalle berechnet, wobei ein p-Wert von $< 0,05$ als statistisch signifikant angesehen wurde. Unter Nutzung eines Bildschirmindex basierend auf den Nutzungszeiten von Fernsehen, Spielkonsole und Computer/Internet wurde eine weitere Sensitivitätsanalyse analog zu Lampert et al. durchgeführt. (161)

Die Trendanalyse der Myopieprävalenz sowie die Regressionsanalyse waren als primäre Analysen definiert. Alle weiteren Analysen stellen Sensitivitätsanalysen dar. Um eine Anpassung an die amtliche Bevölkerungsstruktur des jeweiligen Erhebungszeitraums vorzunehmen, wurden für die Trendanalysen modifizierte Querschnittsgewichte der KiGGS-Basiserhebung und der KiGGS Welle 2 verwendet. Mittels Chi-Quadrat-Statistik wurden Unterschiede ermittelt.

Zur statistischen Auswertung wurde das Statistikanalyseprogramms IBM SPSS Statistics (IBM Corp. Released 2016. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 24.0. Armonk, NY: IBM Corp.).

3.2 Die ikidS („ich komme in die Schule“) Studie

Der zweite Teil dieser Dissertation befasste sich mit der ikidS-Studie. Das Projekt entstand unter der Schirmherrschaft der rheinland-pfälzischen Bildungsministerin Doris Ahnen und Gesundheitsminister Alexander Schweitzer in Kooperation mit dem schulärztlichen Dienst der Abteilung Gesundheitswesen der Kreisverwaltung Mainz-Bingen gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). (167)

3.2.1 Studiendesign

Die Studie entstand ursprünglich, um Informationen über den Schulanfang zu generieren, da dies ein bedeutsamer Schritt ist. Besonders der Einfluss auf die Gesundheit von Kindern und wiederum der Einfluss des Gesundheitszustands bei Einschulung auf Bildungschancen sollte durch die ikidS-Datenerhebung genauer untersucht werden. (167) Das Projekt beschäftigt sich mit der Erfassung von schulrelevanten gesundheitlichen Beeinträchtigungen und des Zusammenhangs zwischen chronischen Erkrankungen und dem frühen schulischen Erfolg. Es wurde zudem die Rolle der Schuleingangsuntersuchung (SEU) und der daraus resultierenden pädagogischen Förder- und medizinischen Versorgungsmaßnahmen untersucht. (167, 168)

Zunächst wurde der erste Teil der Datenerhebung ikidS I von 2013 bis 2017 durchgeführt. Innerhalb dieser Projektphase wurden verschiedene Fragebögen entwickelt und rund 2.500 Eltern zu je drei Zeitpunkten befragt, bezogen auf den Einschulungsjahrgang 2015/2016. Mit den Informationen aus den Angaben der Eltern wurden vielfältige Analysen gemacht. (168, 169)

Im Jahr 2015 befanden sich in diesem Gebiet 79 öffentliche und private Grund- und Sonderschulen, an denen 3.683 Kinder offiziell für ihr erstes Schuljahr angemeldet wurden. (169) Die Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz, der Landesschulaufsichtsbehörde und der Landesbeauftragten für den Datenschutz Rheinland-Pfalz genehmigten diese Studie. (169)

Um eine repräsentative und aussagekräftige Stichprobe zu erhalten, wurde eine flächendeckende Ansprache von in der Stadt Mainz und dem Landkreis Mainz-

Bingen lebenden Familien über die Schuleingangsuntersuchung angestrebt. (168)
Die gesammelten Daten wurden über eine Fläche von 704 Quadratkilometern mit einer Bevölkerung von 418.528 Einwohnern erhoben. (169)

Die Studienpopulation bestand aus Kindern, die zwischen dem 01.09.2014 und dem 31.08.2015 innerhalb der Studienregion ihre vorschulische Gesundheitsuntersuchung (SEU) bei Ärztinnen und Ärzten des Landesgesundheitsamtes des Kreises Mainz-Bingen wahrnahmen. Es wurde am Tag der SEU die schriftliche Einwilligung der Eltern eingeholt. (169) In ikidS I (Klasse 1) erklärten 2.003 Familien bei der SEU ihre Teilnahme, 70 Schulen mit 173 Lehrkräften nahmen am Projekt teil.

Die Datenerhebung erfolgte zu vier Zeitpunkten: zum Zeitpunkt der SEU im letzten Vorschuljahr (T0), sechs Wochen vor dem Schuleintritt (T1), drei Monate nach dem Schuleintritt (T2) und am Ende der 1. Klasse (T3). Die SEU umfasste einen gesetzlich vorgeschriebenen Elternfragebogen (inklusive Angaben zur elterlichen Bildung und Migrationshintergrund), eine gründliche Anamnese und körperliche Untersuchung sowie die Durchführung von Früherkennungs- und Vorbildungstests. (169) Zu den Zeitpunkten T1 bis T3 wurden der allgemeine und psychische Gesundheitszustand, das Vorliegen von chronischen Erkrankungen, der Bedarf und die Inanspruchnahme einer besonderen Gesundheitsversorgung, die Familienstruktur, familiäre Belastungen, die Freizeitaktivitäten, die Ernährungsgewohnheiten, die Umweltbedingungen und der sozioökonomische Status erhoben. (169)

Am Ende des ikidS I-Projekts zeigten die vorgestellten Ergebnisse deutlich, welche chronisch kranken Kinder hinsichtlich ihrer Schulleistungen benachteiligt sind. Es folgte die 2. Projektphase ikidS II, welche im Februar 2017 startete, diese wurde unter dem Bestreben initiiert, diesen Nachteil auszugleichen. (168) Es sollten nun die Auswirkungen von chronischen Erkrankungen zum Zeitpunkt der Einschulung auf Schulerfolg, Partizipation und Lebensqualität in der 3. und 4. Klasse untersucht werden. (167) In ikidS II (Klasse 3 bis 6) unterstützen 848 Familien das Projekt. 52 Schulen mit 121 Lehrkräften waren am Projekt beteiligt.

ikidS II wurde in drei Teilprojekte aufgeteilt, sogenannte Säulen (S1-S3). Es wurden Auswirkungen und Aspekte von chronischen Erkrankungen am Ende der 3. Bis zur 6. Klasse untersucht und evaluierte Interventionen zur Förderung und Versorgung von chronisch kranken Kindern in Machbarkeitsstudien eingesetzt.

Hier zu fand am Ende des 3. Schuljahres eine Elternbefragung mittels ausführlichem Fragebogen (Elternfragebogen Nr. 4) statt. Diese wurde in der 4. Klasse mit etwas abgeändertem Fragebogen (Elternfragebogen Nr. 5) erneut durchgeführt, sowie eine Lehrkraftbefragung (Lehrkraftbefragung Nr. 2) und eine Kinderbefragung (Kinderbefragung Nr. 2). Im 6. Schuljahr erfolgte eine erneute Elternbefragung (Elternfragebogen Nr. 6). (siehe Abbilung 5)

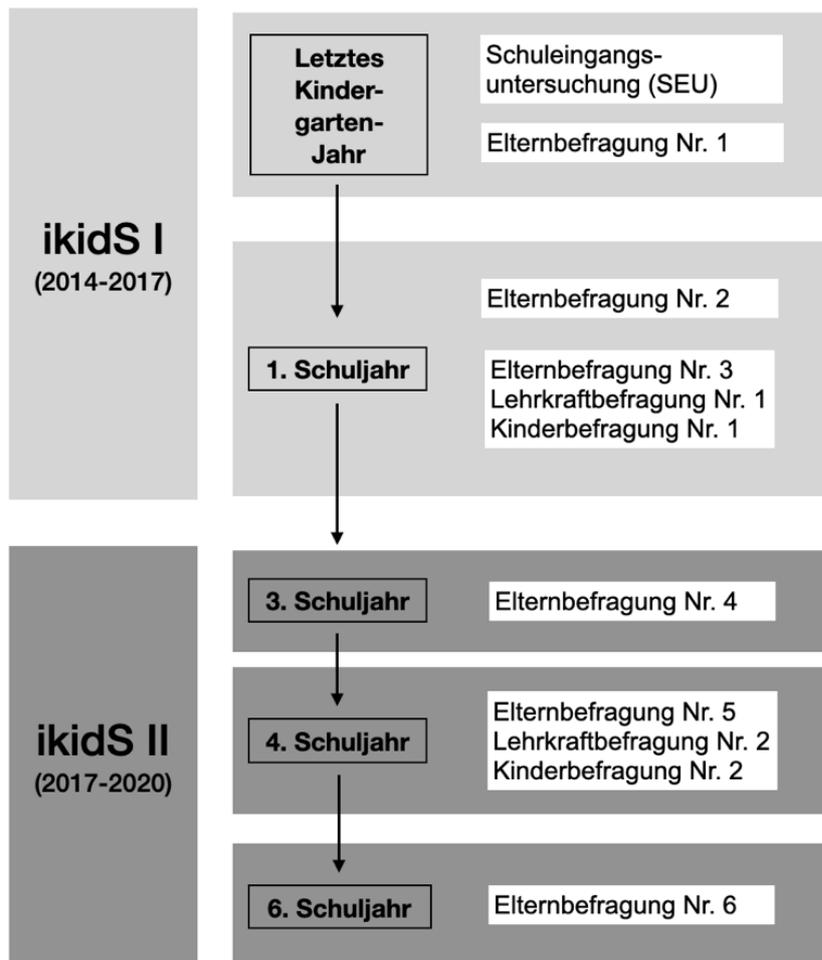


Abbildung 5:

Vorgehen bei Datenerhebung von ikidS I und II.

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Daten wurden in einem Ausschnitt von ikidS II erhoben. Die untersuchten Variablen wurden aus dem Elternfragebogen Nr. 5 bezogen, welcher bei der Elternbefragung Nr. 5 in der 4. Klasse von den Eltern beantwortet wurde. Von den insgesamt 848 vorliegenden Elternfragebögen wurden

mehrere Variablen für die Analyse ausgewählt.

Zusätzlich zu den Elternfragebögen wurde bei insgesamt 303 Kindern der Kohorte eine Refraktionsmessung ohne Zykloplegie von Mitarbeitern des Gesundheitsamts Mainz durchgeführt. (siehe Abbildung 6)

Für die Refraktionsmessungen wurden dem Gesundheitsamt von Herr Prof. Dr. Schuster nach einer Schulung zwei Geräte (PlusOptix) zur Verfügung gestellt. Die Plusoptix-Messung beruht auf dem Messprinzip des Durchleuchtungstests, das heißt es wird ein Lichtstrahl ins Auge projiziert und von der Netzhaut reflektiert. Der zentrale Teil der Hornhaut, die Linse, der Glaskörpers und die Netzhaut werden vom Lichtstrahl durchleuchtet beziehungsweise beleuchtet.

Das Gerät analysiert das reflektierende Bild und liefert automatisch Refraktionsmesswerte für Sphäre, Zylinder, Achse, Pupillengröße, Blickasymmetrie und Pupillenabstand.

Plusoptix-Geräte verwenden für die Messung Infrarotlicht und verursachen dadurch im Gegensatz zu anderen Durchleuchtungstests keine Blendung des Patienten, weshalb die Pupillenweite durch die Messung nicht beeinflusst wird. Zusätzlich zeichnet das Gerät Kamerabilder der durchleuchteten Pupillen auf, die zur genaueren Analyse und Dokumentation gespeichert bzw. ausgedruckt werden können.

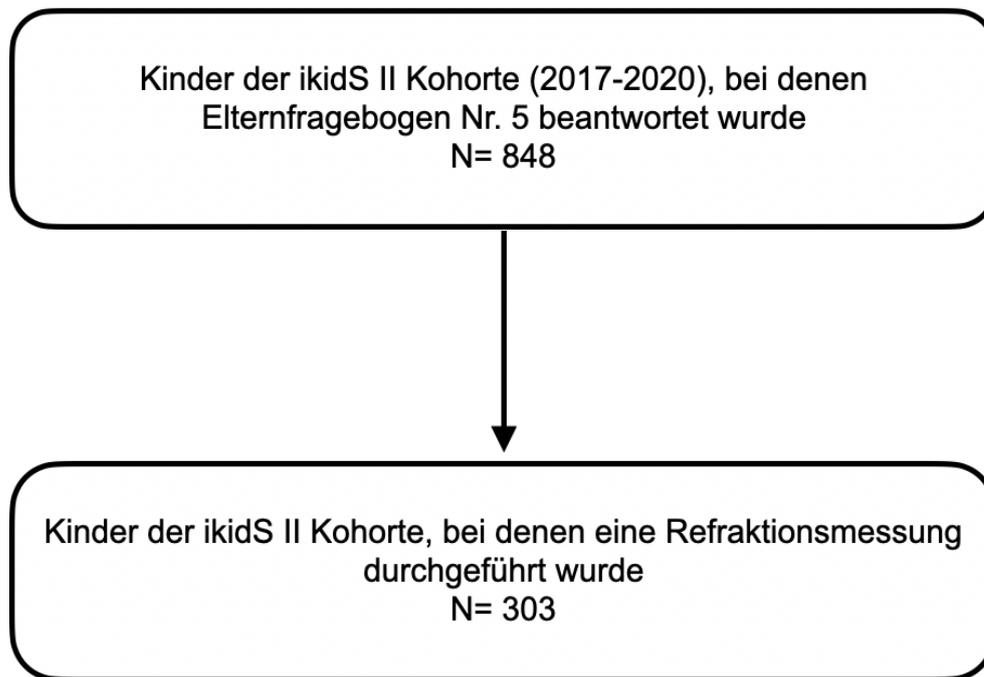


Abbildung 6:

Die eingeschlossenen Kinder der untersuchten ikidS II Kohorte.

3.2.2 Definition Myopie

Bei den Analysen wurde die Myopie nach den 2019 publizierten Klassifizierungen von den Autoren Flitcroft et al. definiert. Demnach ist die Definition der Myopie ein sphärisches Äquivalent von $\leq -0,50$ dpt. (21)

Des Weiteren wurde betrachtet, ob die Myopie einseitig oder beidseitig vorlag. Kriterium für eine beidseitige Myopie war, dass sowohl am rechten als auch am linken Auge ein sphärisches Äquivalent von $\leq -0,5$ dpt gemessen wurde. Bei der einseitigen Myopie lag entsprechend entweder am rechten oder am linken Auge ein sphärisches Äquivalent von $\leq -0,5$ dpt vor.

Der Brechkraftfehler wurde weiter differenziert und die „geringe Myopie“ mit Messwerten von $\leq -0,5$ dpt bis ≥ -1 dpt definiert. Analog zur Myopie oben galt die Definition für einseitig oder beidseitig.

Ein sphärisches Äquivalent von $\leq -6,00$ dpt wird als hohe Myopie definiert.

3.2.3 Statistische Analysen

Es wurde aus den sphärischen und zylindrischen Messwerten für jeweils das rechte und das linke Auge der Kinder das sphärische Äquivalent ermittelt und hierfür eine neue Variable codiert. Dies erfolgte über die folgende Formel:

$$\text{Sphärisches Äquivalent} = \text{Sphäre} + \frac{1}{2} \times \text{Zylinder}$$

Die Variablen, die für die Analysen verwendet wurden, stammen aus dem Elternfragebogen Nr. 5. Neben Informationen zu Geschlecht, gab es im Elternfragebogen die Frage: „Trägt ihr Kind eine Sehhilfe/Brille?“ mit den Antwortmöglichkeiten Ja und Nein. (170) Zudem waren Elternangaben zur genauen wöchentlichen Häufigkeit der Bewegung im Freien (Garten, Straße, Spielplatz, Wald), sowie im Sportverein von Interesse.

Darüber hinaus mussten die Eltern Angaben machen zur wöchentlichen Dauer der Mediennutzung und zu meist in geschlossenen Räumen durchgeführten Aktivitäten (Fernsehen/Video, Malen Basteln, Spielkonsole/Computerspiele, Bücher lesen, sonstige Nutzung des Internets, Hörspiele, vorgelesene Geschichten). Des Weiteren wurde die Freude auf den Unterricht in verschiedenen Hauptfächern abgefragt, sowie die Zeugnisnoten in der 4. Klasse in den Hauptfächern. Letztlich wurden noch die Elternangaben zum beruflichen Abschluss, sowie zum Hochschulabschluss von jeweils Mutter und Vater der Kinder, betrachtet.

Eine Dummy-Variable der Refraktionsgemessenen für das Vorliegen oder nicht Vorliegen einer Myopie wurde nach der beschriebenen Definition von Myopie erstellt. Anschließend wurde über die Codierung einer neuen Variable ermittelt, wie viele der nach Elternangaben brillentragenden Kinder, tatsächlich einen entsprechenden Brechkraftfehler in der Refraktionsmessung zeigten. Ebenso wurde untersucht, wie viele Kinder geringe und hohe myope Brechkraftfehler in der objektiven Refraktionsmessung zeigten und nach Elternangaben keine Brille/Sehhilfe hatten, also eine nicht korrigierte Myopie aufwiesen.

Es wurde ein Score für die Unterkategorien der Mediennutzungszeit gebildet, in Anlehnung an die KiGGS-Analysen. Die Eltern konnten die verschiedenen

Mediennutzungszeiten in Angaben in Stunden am Elternfragebogen ankreuzen. Um die Angaben zur Bewegungszeit im Freien und zur Nutzungszeit von elektronischen Medien, sowie Naharbeit näher zu untersuchen, wurden diese Variablen zusammengefasst und Punkte-Scores erstellt.

Mediennutzungsparameter wurden in einen Score zusammengefasst. Dieser beinhaltet die tägliche Nutzungszeit von Fernsehen und Videos, die tägliche Nutzungszeit (in Stunden) von Computern und/oder Spielekonsolen, sowie die tägliche Nutzungszeit von sonstigen mobilen Endgeräten zur Internetnutzung (hierzu zählen auch Smartphones). Für die Score-Bildung wurde pro angegebene Stunde ein Punkt vergeben. Die Ausprägungen der drei Kategorien wurden addiert. In den drei Kategorien konnten jeweils bis zu 5 Stunden täglich angegeben werden, was eine maximal erreichbaren täglichen Nutzungszeit der drei Kategorien von 15 Stunden entspricht.

Ein weiterer Score wurde für die Tätigkeiten, die am ehesten in geschlossenen Räumen (nicht im Freien) stattfinden, gebildet. Hierfür wurde aus den Aktivitäten eine neue Kategorie zusammengefasst, welche folgende Variablen beinhaltet: die genannten Mediennutzungsparameter (die tägliche Nutzungszeit von Fernsehen und Videos, die tägliche Nutzungszeit von Computern und/oder Spielekonsolen, die tägliche Nutzungszeit von sonstigen mobilen Endgeräten zur Internetnutzung, zum Beispiel Smartphones), die täglich verbrachte Zeit mit Malen und Basteln, die täglich verbrachte Zeit mit dem Lesen von Büchern, die täglich verbrachte Zeit in der dem Kind Bücher vorgelesen werden und die täglich verbrachte Zeit mit dem Hören von Hörspielen.

Es wurde auf dieselbe Weise ein kumulativer Score gebildet, bei dem für jede verbrachte Stunde mit einer der Variablen ein Punkt vergeben wurde.

Eine weitere Score-Bildung erfolgte für die im Freien verbrachte Zeit. Zunächst wurden die Aktivitäten, die im Freien stattfinden zusammengefasst. Hierzu zählen die Häufigkeit der Bewegung im Garten, auf der Straße, am Spielplatz und im naturnahen Raum oder Wald pro Woche. Es wurden im Elternfragebogen keine genauen wöchentlichen Zeitangaben zu den einzelnen Aktivitäten erfragt, sondern lediglich wie viele „Male“ pro Woche das Kind der jeweiligen Aktivität nachgeht. Zur Auswahl waren nie, selten, ein- bis zweimal pro Woche, 3- bis 5-mal pro Woche und fast jeden Tag. Den Antwortmöglichkeiten wurden in der genannten Reihenfolge 0, 1, 2, 3 und 4 Punkte verliehen. Dann wurden die vier Aktivitäten und die jeweiligen

Punkte jedes Kindes aufaddiert. Es ergab sich eine Punkteverteilung von 1 bis 16 Punkte.

Um die Punkteverteilung etwas zu veranschaulichen, wurde weiter unterteilt. Hat ein Kind 0 bis 4 Punkte erreicht, so ist die Elternangabe für alle vier Aktivitäten maximal in „selten“ (4 mal 1 Punkt erreicht). Liegt die Punktzahl höher sind viele verschiedene Kombinationen möglich, zur Veranschaulichung wurde jedoch eine Punktzahl zwischen 5 und 8 als durchschnittlich alle vier Aktivitäten „ein- bis zweimal pro Woche“, eine Punktzahl zwischen 9 und 12 als durchschnittlich alle vier Aktivitäten „3- bis 5-mal pro Woche“ und eine Punktzahl zwischen 13 und 16 als durchschnittlich alle vier Aktivitäten „fast jeden Tag“ definiert und untersucht.

Deskriptive Statistiken wie absolute und relative Häufigkeiten, Mittelwerte und Standardfehler wurden für demografische und klinische Merkmale verwendet. Es wurden für die erhobenen Variablen aus dem Elternfragebogen die Häufigkeitsverteilungen ermittelt und differenziert betrachtet, in zwei separierten Gruppen. Einerseits in der Gruppe der Refraktionsgemessenen, andererseits in der Gruppe an Teilnehmern, bei denen keine Refraktionswerte vorlagen.

Alle fehlenden Werte (wenn die Antwortmöglichkeit „keine Angabe“ angegeben wurde) wurden ausgeschlossen.

Elternangaben zu „Einschränkung jeglicher Art“ bezogen sich auf die genaue Fragestellung: „Ist Ihr Kind in irgendeiner Art und Weise eingeschränkt oder daran gehindert, Dinge zu tun, die die meisten gleichaltrigen Kinder tun können?“ (170) und war mit Ja, Nein oder keine Angabe zu beantworten. Darunter wurde noch genauer differenziert, ob dies aufgrund von Krankheit, Verhaltensstörung oder eines anderen gesundheitlichen Problems geschieht und ob das Problem bereits seit 12 Monaten besteht oder ob eine Dauer von mindestens 12 Monaten zu erwarten ist.

Um die zuvor genannten Elternangaben bezüglich Zusammenhänge mit dem Vorliegen einer Myopie zu untersuchen, wurden unadjustierte und adjustierte Effektschätzer, p-Werte und 95%-Konfidenzintervalle mittels univariabler und multivariabler logistischer Regressionsanalysen berechnet. Ein p-Wert von $< 0,05$ wurde als statistisch signifikant angesehen. Die abhängige Variable beschrieb, ob eine Myopie nach objektiver Refraktionsmessung vorliegt oder nicht, das sphärische Äquivalent also als kleiner $-0,5$ dpt gemessen wurde. Für diese abhängige Variable

wurden zuerst univariabel, dann multivariabel Effektschätzer, p-Werte und 95%-Konfidenzintervalle mittel logistischer Regressionsanalysen berechnet.

Die statistischen Analysen und die Datenbearbeitung erfolgten mit Hilfe des Statistikanalyseprogramms IBM SPSS Statistics (IBM Corp. Released 2016. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 24.0. Armonk, NY: IBM Corp.).

4. Ergebnisse

4.1 Die Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS)

17 640 Kinder und Jugendliche im Alter von 0–17 Jahren wurden bei der KiGGS-Basiserhebung (2003–2006) in die Studie eingeschlossen. Bei 1 720 Kindern und Jugendlichen gaben deren Eltern an, dass eine Kurzsichtigkeit vorlag. Bei 13 547 wurde angegeben, dass keine Kurzsichtigkeit vorliegt, bei 1 321 lautete die Antwort „Weiß nicht“, und bei 1 052 Kindern und Jugendlichen fehlten diesbezügliche Angaben. Angaben der Eltern zufolge hatten 1 604 (93,3 %) dieser kurzsichtigen Kinder und Jugendlichen eine Sehhilfe.

15 023 Kinder und Jugendliche waren bei KiGGS Welle 2 (2014–2017) in die Studie eingeschlossen. Hier wurde von den Eltern bei 1 725 Kindern und Jugendlichen das Vorliegen von Kurzsichtigkeit angegeben. Bei 11 244 wurde keine Kurzsichtigkeit angegeben und bei 596 „Weiß nicht“. Bei 1 458 Kindern und Jugendlichen fehlten diesbezüglich Angaben. Den Elternangaben zufolge hatten 1582 (91,7 %) dieser kurzsichtigen Kinder und Jugendlichen eine Sehhilfe. (siehe Tabelle 1)

	KiGGS-Basiserhebung (2003-2006, N=17 640)	KiGGS Welle 2 (2014-2017, N=15 023)
Alter	8,53 ± 5,01 (0-17 Jahre)	9,20 ± 4,81 (0-17 Jahre)
Elternangabe Kurzsichtigkeit Ja	1 720	1 725
Elternangabe keine Kurzsichtigkeit vorliegend	13 547	11 244

Elternangabe Kurzsichtigkeit 'weiß nicht'	1 321	596
Elternangabe zur Kurzsichtigkeit fehlend	1 052	1 458
Elternangabe vorliegende Sehhilfe/Brille	1 604	1 582

Tabelle 1:

Elternangaben der Analytestichproben der beiden KiGGS-Erhebungen jeweils näher beschrieben (kurzsichtige und nichtkurzsichtige Kinder und Jugendliche im Alter von 0–17 Jahren).

In Tabelle 2 sind die Analytestichproben der beiden Erhebungen jeweils näher beschrieben (kurzsichtige und nichtkurzsichtige Kinder und Jugendliche im Alter von 0–17 Jahren).

	KiGGS-Basiserhebung (2003-2006, N=15151)	KiGGS Welle 2 (2014-2017, N=12826)
Geschlecht	49,0 % weiblich (7425)	49,6 % weiblich (6368)
Alter	8,53 ± 5,01 (0-17 Jahre)	9,20 ± 4,81 (0-17 Jahre)

Wohnort		
-ländlich	22,9 %	17,8 %
-kleinstädtisch	26,3 %	32,6 %
-mittelstädtisch	28,7 %	28,4 %
-großstädtisch	22,1 %	21,2 %
Migrationshintergrund (ja)	10,6 % (1604)	10,0% (1287)
Sozioökonomischer Status		
-niedrig	14,8 % (2243)	11,6 % (1484)
-mittel	59,8 % (9054)	61,5 % (7892)
-hoch	24,5 % (3713)	26,6 % (3411)
-fehlend	0,9 % (141)	0,3 % (39)

Tabelle 2:

Stichprobenbeschreibung der beiden KiGGS-Erhebungen jeweils näher beschrieben (kurzsichtige und nichtkurzsichtige Kinder und Jugendliche im Alter von 0–17 Jahren). Der sozioökonomische Status wurde ermittelt auf Grundlage der Elternangaben zu Beruf, Bildung und Einkommen der Eltern. Kinder und Jugendliche ohne Kurzsichtigkeit bzw. mit Brille als Korrektur sind in dieser Stichprobe eingeschlossen.

Die Prävalenz der Myopie lag im Alter von 0–17 Jahren in Deutschland in den Jahren 2003–2006 bei 11,6 % (95%-Konfidenzintervall (95%-KI): 11,0; 12,2). Die geschlechtsstratifizierte Analyse zeigte, dass die Prävalenz bei Jungen bei 9,6 % [8,9; 10,4] lag, bei Mädchen bei 13,7 % [12,8; 14,6].

Die Prävalenz der Myopie lag in den Jahren 2014–2017 in Deutschland im Alter von 0–17 Jahren bei 11,4 % [10,7; 12,2], dabei lag die Prävalenz bei Jungen bei 9,6 % [8,6; 10,5] und bei Mädchen bei 13,5 % [12,4; 14,6]. (34) (siehe Tabelle 3 und Abbildung 7)

KiGGS-Basiserhebung (2003-2006, N=17 640)			KiGGS Welle 2 (2014-2017, N=15 023)	
	Myopie- prävalenz	95%-KI	Myopie- prävalenz	95%-KI
0-17 Jahre	11,60%	11,0; 12,2	11,40%	10,7; 12,2
geschlechts- stratifiziert für Jungen	9,60%	8,9; 10,4	9,60%	8,6; 10,5
geschlechts- stratifiziert für Mädchen	13,70%	12,8; 14,6	13,50%	12,4; 14,6

Tabelle 3:

Nähere Beschreibung der Myopieprävalenz der Analytestichproben der jeweiligen KiGGS-Erhebungen.

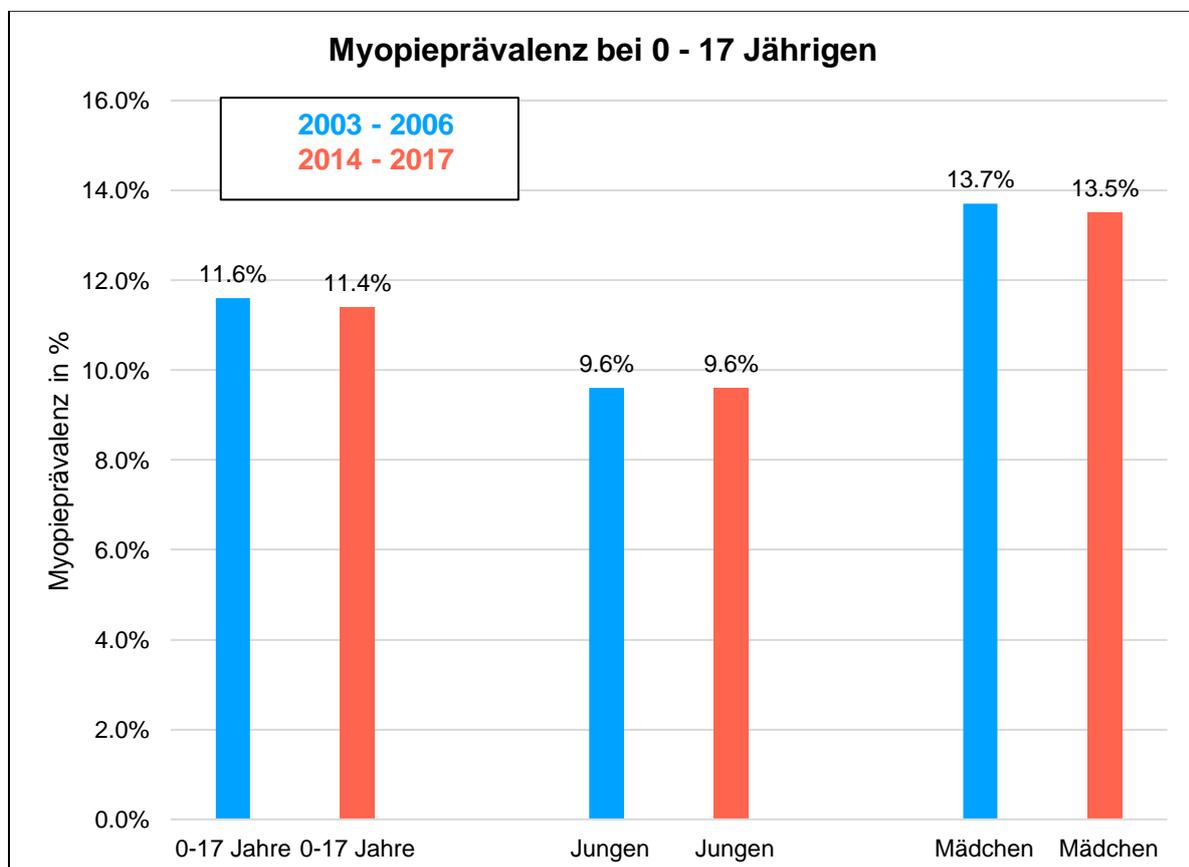


Abbildung 7:

Myopieprävalenzen der KiGGS-Basiserhebung (2003-2006, N=17 640) und KiGGS Welle 2 (2014-2017, N=15 023), Myopie definiert anhand von Elternfragebogen und Vorhandensein einer Sehhilfe/Brille.

Es zeigte sich keine statistisch signifikante Veränderung der Myopie zwischen den beiden Erhebungszeiträumen in der Trendanalyse, was für die gesamte Studienpopulation zutrifft ($p = 0,45$), sowie für die Subgruppen der Jungen ($p = 0,54$) und der Mädchen ($p = 0,62$). (34)

(In Tabelle 4 sind die Sensitivitätsanalysen dargestellt.)

	Myopie	Keine Myopie	Ausschluss	Trend (p-Wert)
Haupt-analyse	Elternangabe 'kurzsichtig' UND Brillenangabe	Elternangabe 'nicht kurzsichtig'	Elternangabe 'weiß nicht', fehlende Angabe, Elternangabe 'kurzsichtig' ohne Brillenangabe	0,45
S1	Elternangabe 'kurzsichtig'	Elternangabe 'nicht kurzsichtig'	Elternangabe 'weiß nicht', fehlende Angabe	0,16
S2	Elternangabe 'kurzsichtig'	Elternangabe 'nicht kurzsichtig', 'weiß nicht'	fehlende Angabe	0,03
S4	Elternangabe 'kurzsichtig' UND Brillenangabe	Elternangabe 'nicht kurzsichtig', 'weiß nicht'	fehlende Angabe, Elternangabe 'kurzsichtig' ohne Brillenangabe	0,15

Tabelle 4:

Sensitivitätsanalysen (S1–S4) zum zeitlichen Trend der Myopieveränderung in der KiGGS-Studie anhand verschiedener Definitionen.

Es zeigte sich eine vergleichbare Zunahme der Prävalenz der Myopie mit dem Alter zu beiden Untersuchungszeitpunkten; Mädchen hatten ab dem Alter von 8–9 Jahren häufiger eine Myopie als Jungen (Abbildungen 8 und 9).

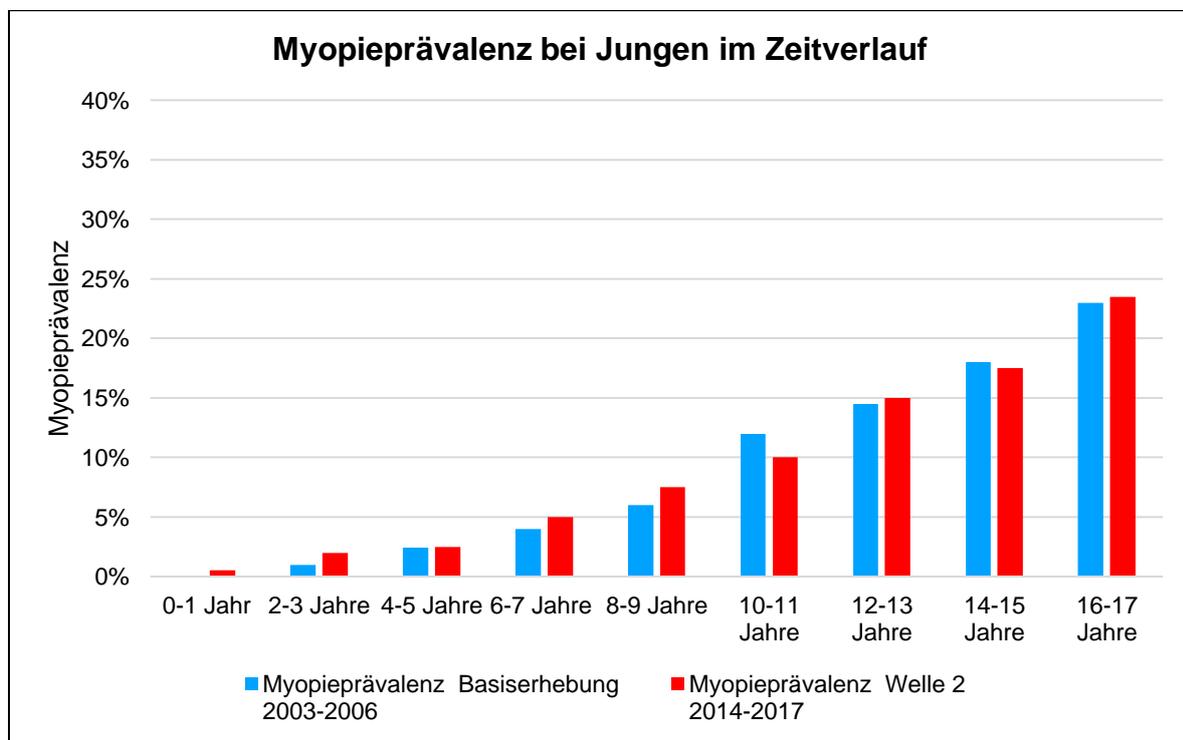


Abbildung 8:

Balkendiagramm der Myopieprävalenz der KiGGS-Basiserhebung (2003-2006, N=17 640) und KiGGS Welle 2 (2014-2017, N=15 023) im Zeitverlauf geschlechtsstratifiziert für Jungen, Myopie definiert anhand von Elternfragebogen und Vorhandensein einer Sehhilfe/Brille.

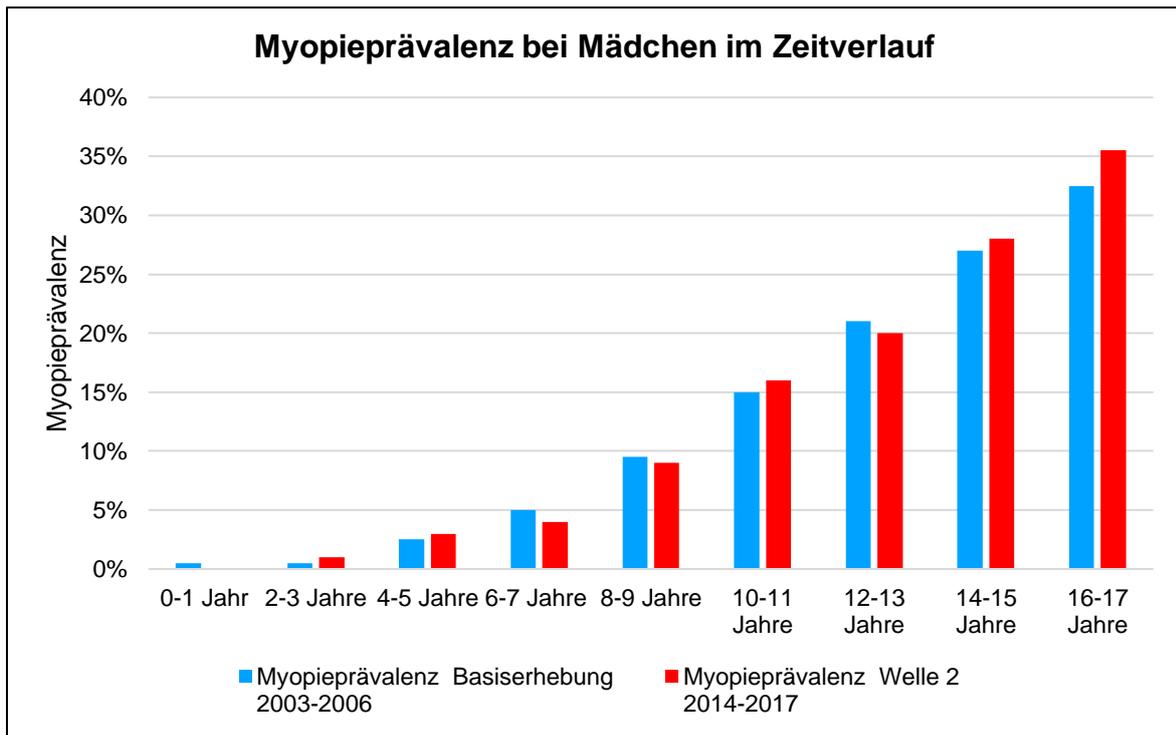


Abbildung 9:

Balkendiagramm der Myopieprävalenz der KiGGS-Basiserhebung (2003-2006, N=17 640) und KiGGS Welle 2 (2014-2017, N=15 023) im Zeitverlauf geschlechtsstratifiziert für Mädchen, Myopie definiert anhand von Elternfragebogen und Vorhandensein einer Sehhilfe/Brille.

Bei der Analyse von KiGGS Welle 2 (2014–2017) zeigte sich, dass ein höheres Alter und weibliches Geschlecht mit einer höheren Myopieprävalenz assoziiert waren. Migrationshintergrund und Sozioökonomischer Status (SES) waren nicht mit einer höheren Myopieprävalenz assoziiert. Weder der Besitz eines Smartphones noch die untersuchten Mediennutzungsparameter (Fernsehen/Video, Spielkonsole, Computer/Internet) zeigten im multivariablen Modell einen Zusammenhang zur Myopie. Allerdings war längeres Bücherlesen mit dem Auftreten von Myopie assoziiert, wie in Tabelle 5 dargestellt.

In der unadjustierten Analyse zeigte sich ein Dosis-Wirkungseffekt bei Fernsehen/Video, Computer/Internet und Lesen; im teiladjustierten Modell war dieser Effekt nur beim Lesen vorhanden. Teiladjustierte Analysen sind für Alter, Geschlecht, sozioökonomischem Status (Beruf, Bildung und Einkommen, jeweils in Bezug auf die Eltern) und Migrationshintergrund für jede Medien-Nutzung einzeln adjustiert.

Volladjustierte Analysen beinhalteten dieselben Parameter inklusive aller Medien-Nutzungsparameter.

	unadjustiert			teiladjustiert			volladjustiert		
	OR	95%-KI	p-Wert	OR	95%-KI	p-Wert	OR	95%-KI	p-Wert
Alter [Jahr]	1,24	1,21 – 1,27	<0,001	1,24 #	1,21 – 1,28	<0,001	1,2	1,19 – 1,29	<0,001
Geschlecht [männlich]	0,68	0,58 – 0,81	<0,001	0,71 #	0,58 – 0,85	<0,001	0,7	0,56 – 0,85	<0,001
Sozio-ökonomischer Status	0,99	0,97 – 1,01	0,15	1,00 #	0,98 – 1,02	0,94	1	0,98 – 1,02	0,88
Migrationshintergrund [ja]	1,04	0,82 – 1,31	0,75	0,93 #	0,73 – 1,19	0,56	0,9	0,74 – 1,21	0,65
Fernsehen									
gar nicht	Ref.	.	<0,001	Ref.	.	0,35	Ref.	.	0,34
bis zu 1 Stunde pro Tag	0,99	0,68 – 1,44		1,3	0,89 – 1,89		1,3	0,88 – 1,87	
1 bis zu unter 2 Stunden pro Tag	1,47	1,01 – 2,16		1,42	0,97 – 2,07		1,4	0,96 – 2,06	
mehr als 2 Stunden pro Tag	1,9	1,33 – 2,73		1,28	0,88 – 1,86		1,3	0,86 – 1,83	
Spielekonsole									
gar nicht	Ref.	.	<0,001	Ref.	.	0,29	Ref.	.	0,39
bis zu 1 Stunde pro Tag	1,25	1,04 – 1,50		1,2	1,00 – 1,44		1,2	0,98 – 1,40	
1 bis zu unter 2 Stunden pro Tag	1,55	1,22 – 1,98		1,1	0,84 – 1,43		1,1	0,82 – 1,38	
mehr als 2 Stunden pro Tag	1,9	1,46 – 2,47		1,09	0,81 – 1,48		1,1	0,79 – 1,45	
Computer									

gar nicht	Ref.	.	<0,001	Ref.	.	0,92	Ref.	.	0,91
bis zu 1 Stunde pro Tag	2,59	2,13 – 3,14		1,04	0,81 – 1,35		1	0,77 – 1,29	
1 bis zu unter 2 Stunden pro Tag	3,63	2,86 – 4,61		0,99	0,72 – 1,35		1	0,71 – 1,32	
mehr als 2 Stunden pro Tag	4,72	3,81 – 5,84		1,06	0,79 – 1,42		1,1	0,78 – 1,43	
Lesen									
gar nicht	Ref.	.	<0,001	Ref.	.	0,001	Ref.	.	0,001
bis zu 1 Stunde pro Tag	0,61	0,52 – 0,72		1,1	0,90 – 1,34		1,1	0,89 – 1,33	
1 bis zu unter 2 Stunden pro Tag	0,89	0,69 – 1,14		1,29	0,98 – 1,70		1,3	0,99 – 1,71	
mehr als 2 Stunden pro Tag	1,5	1,17 – 1,91		1,69	1,30 – 2,20		1,7	1,30 – 2,20	
Besitz eines Smartphones									
ja	4,28	3,60 – 5,08	<0,001	1,04	0,80 – 1,34	0,77	1	0,79 – 1,31	0,89

Tabelle 5:

Zusammenhang zwischen Mediennutzung und Myopie bei 3- bis 17-jährigen Kindern und Jugendlichen in Deutschland (n = 10.060). Ergebnisse multivariabler binär logistischer Regressionen (Odds Ratios (OR)). KiGGS Welle 2 (2014–2017).

Diese Schätzer unterscheiden sich geringfügig zwischen den teiladjustierten Modellen und werden für das Model mit „Buch lesen“ angegeben.

Die Ergebnisse der primären Auswertung wurden durch die erste Sensitivitätsanalyse mit der Myopie-Definition unabhängig von einer Sehhilfe bestätigt. In der zweiten Sensitivitätsanalyse war in der unadjustierten Analyse der Bildschirmindex mit Myopie assoziiert (Odds Ratio (OR): 1,21 pro Stunde Bildschirmnutzung (95%-Konfidenzintervall: 1,18; 1,25); p < 0,001). Der Zusammenhang war jedoch nicht mehr nachweisbar nach Adjustierung für Alter, Geschlecht, SES,

Migrationshintergrund, Bücherlesen und Besitz eines Smartphones (OR: 1,00 pro Stunde (95%-Konfidenzintervall: 0,96; 1,04); $p = 0,94$), ebenso nicht in der multivariablen Analyse ohne Berücksichtigung des Besitzes eines Smartphones (OR: 1,00 (95%-Konfidenzintervall: 0,96; 1,05); $p = 0,90$).

Die Ergebnisse der Analysen der KiGGS Welle 2 (2014–2017) wurden vor Fertigstellung dieser Doktorarbeit im Deutschen Ärzteblatt (34) veröffentlicht.

4.2 Die ikidS („ich komme in die Schule“) Studie

Von den 848 Teilnehmern lagen bei 303 (35,7 %) Refraktionsmesswerte vor, bei 545 (64,3 %) wurde keine Refraktionsmessung durchgeführt.

In der untersuchten Kohorte gab es insgesamt unter allen eingeschlossenen Kindern mehr männliche Kinder als weibliche. 421 (49,6%) der Kohorte waren weiblich, 427 (50,4%) männlich.

Von den 848 Kindern trugen laut Eltern 138 (15,7%) eine Brille, bzw. Sehhilfe, bei 614 (72,4%) Kindern wurde die Frage nach einer Brille verneint.

Unter den Kindern, bei denen eine Refraktionsmessung vorliegt, hatten 49 (16,3%) Kinder eine Brille/Sehhilfe und 238 (79,1%) keine.

Bei 25 (2,9%) Kindern gaben die Eltern an, dass eine Einschränkung jeglicher Art vorliegt (Kinder, die gehindert sind, Dinge zu tun, die die meisten gleichaltrigen Kinder tun können), von 7 dieser Kinder liegen Refraktionsmessungen vor, bei 718 Kindern (84,7 %) wurde diese Frage verneint. Die genauere Differenzierung darunter, ob dies aufgrund von Krankheit, Verhaltensstörung oder eines anderen gesundheitlichen Problems geschieht, wurde bei 25 Kindern bejaht, und ob das Problem bereits seit 12 Monaten besteht oder ob eine Dauer von mindestens 12 Monaten zu erwarten ist, wurde bei 24 Kindern bejaht.

Eine amtlich anerkannte Behinderung hatten laut Elternangaben 9 (1,1%) Kinder, bei 5 der Kinder liegen Refraktionsmessungen vor. (siehe Tabelle 6)

Variable/Merkmal	ikidS-Kohorte insgesamt (N=848)	Kinder mit vorliegender Refraktions- messung (N=301)	Kinder ohne vorliegende Refraktionsmessung (N=547)
Geschlecht			
Weiblich	421 (49,6%)	155 (51,5%)	266 (48,6%)
Männlich	427 (50,4%)	146 (48,5%)	281 (51,4%)
Brille/Sehhilfe			
Ja	138 (15,7%)	49 (16,3%)	84 (15,4%)
Nein	614 (72,4%)	238 (79,1%)	376 (68,7%)
Aktuell in der 4. Klasse			
Ja	721 (84,0%)	287 (95,3%)	425 (77,7%)
Nein	30 (3,5%)	0	30 (5,5%)
Klasse wiederholt			
Ja	24 (2,8%)	0	24 (4,4%)
Nein	720 (84,9%)	288 (95,7%)	432 (78,0%)
Klasse übersprungen			
Ja	4 (0,5%)	0	4 (0,7%)
Nein	739 (87,1%)	288 (95,7%)	451 (82,4%)
Einschränkungen jeglicher Art			
Ja	25 (2,9%)	7 (2,3%)	18 (3,3%)
Nein	718 (84,7 %)	280 (93,0%)	438 (80,1%)
Amtlich anerkannt Behinderung			
Ja	9 (1,1%)	4 (1,3%)	5 (0,9%)
Nein	741 (87,4%)	286 (95,0%)	455 (83,2%)

Tabelle 6:

Häufigkeitsverteilung der Merkmale Geschlecht, Sehhilfe, Klassenstufe, Einschränkungen und amtlich anerkannter Behinderungen in der ikidS II-Kohorte.

Es ergab sich, dass bei 171 Kindern (57%, 95%-KI: 50,8 - 62,5) am rechten und linken Auge (beidseits) eine Emmetropie vorlag, welche als sphärisches Äquivalent kleiner +0,5 dpt und größer -0,5 dpt definiert war. Auch die Kinder, die nur auf einem der beiden Augen einen Brechkraftfehler aufwiesen, gehören nach der vorher genannten Definition zu den Emmetropen, werden hier aber zur Veranschaulichung der Ergebnisse als eigene Gruppen aufgeführt.

Auf beiden Augen hyperop (sphärisches Äquivalent größer oder gleich +0,5 dpt) waren 18 Kinder (6%, 95%-KI: 3,3 - 8,6), hiervon waren 2 Kinder korrigiert mittels Sehhilfe (0,7% der refraktionsgemessenen 287 Kinder, 95%-KI: 0 - 1,7), zu zwei lagen keine Sehhilfeangaben vor und 15 dieser Kinder (5,2%, 95%-KI: 2,8 - 8,0) trugen nach Elternangaben keine Brille. Auf die Ergebnisse der genauen Verteilung der myopen Brechkraftfehler wird an anderer Stelle eingegangen.

Zudem lag bei 3 Kindern (3%, 95%-KI: 0 - 2,3) eine Anisometropie vor, es wurde also jeweils eine myope Refraktion an einem Auge und eine hyperope Refraktion am anderen Auge gemessen. (siehe Tabelle 7 und Abbildung 10)

Brechkraftfehler	Anzahl Kinder	Anteil in %	95%-KI
Emmetropie beidseits	171	57	50,8-62,5
Hyperopie beidseits	18	6	3,3-8,6
Myopie beidseits	52	17	13,3-21,9
Hyperopie auf einem Auge	19	6	4,0-9,0
Myopie auf einem Auge	38	13	9,0-16,3
Anisometropie	3	1	0-2,3
Gesamt refraktionsgemessene	301	100	

Tabelle 7

Verteilung der gemessenen Refraktionsfehler als Anteil in Prozent der 301 refraktionsgemessenen Kinder.

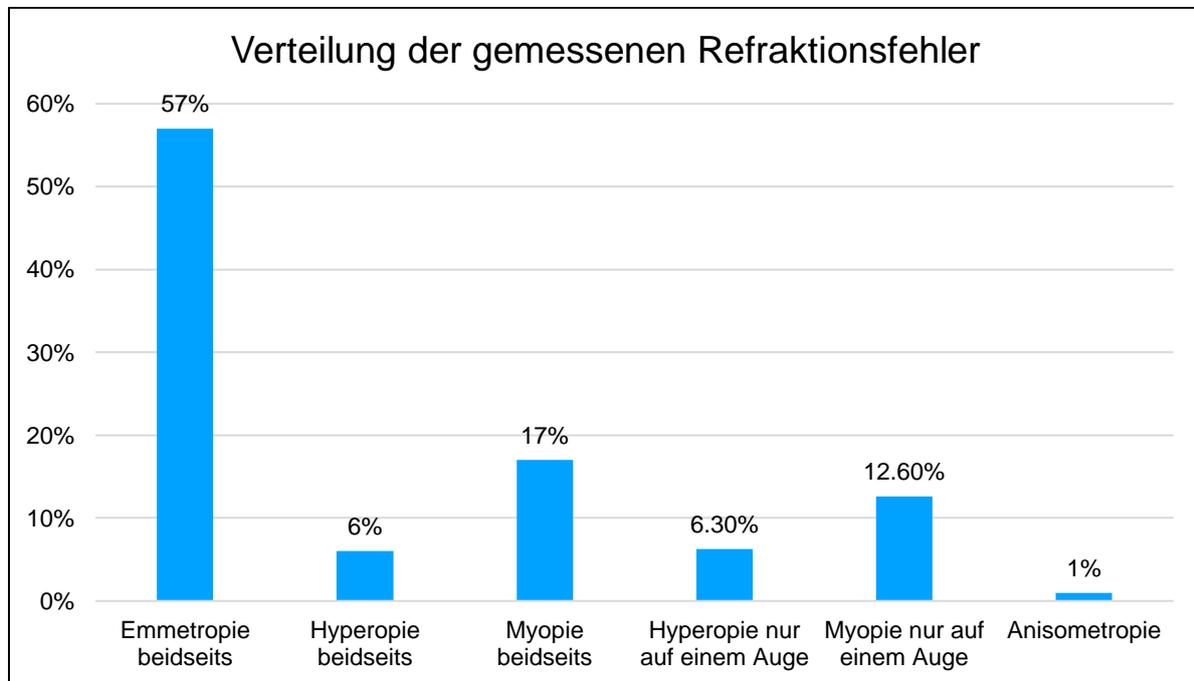


Abbildung 10

Balkendiagramm der Verteilung der gemessenen Refraktionsfehler als Anteil in Prozent der 301 refraktionsgemessenen Kinder.

Von den insgesamt 303 Kindern mit vorliegenden Refraktionsmessungen wurden zwei Ausreißermessungen mit extrem hohen, unrealistischen Brechkraftfehlern ausgeschlossen (Ausreißermessungen: -100 dpt).

Im Elternfragebogen Nr. 5, der für die Analysen herangezogen wurde, mussten die Eltern angeben, ob ihr Kind aktuell die 4. Klasse besucht. Dies wurde für 271 (84%) Kinder mit ja beantwortet.

Für das sich aus den sphärischen und zylindrischen Messwerten ergebende sphärische Äquivalent zeigten sich für das rechte und linke Auge die in Abbildung 11 dargestellten Ergebnisse.

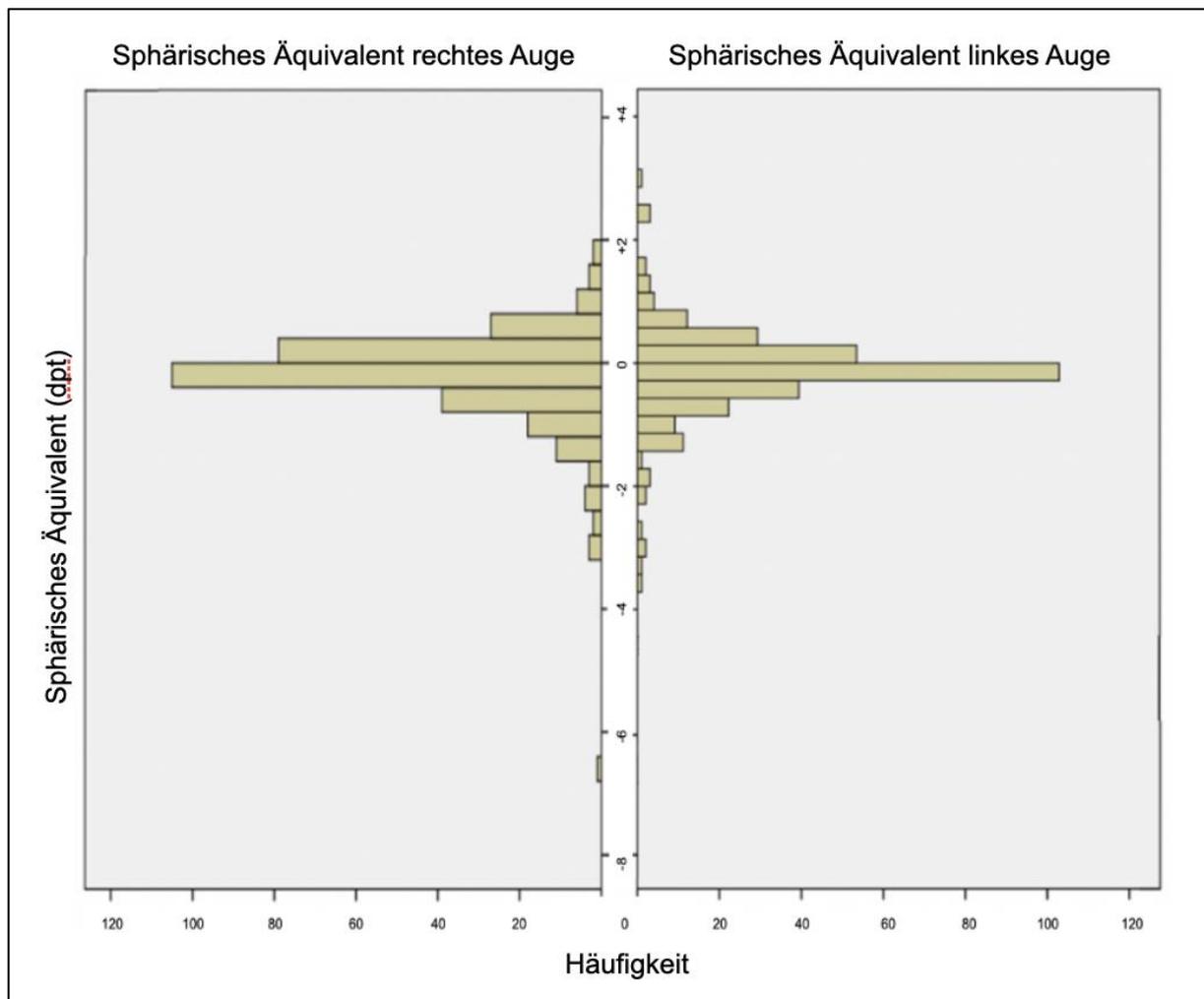


Abbildung 11:

Histogramm zur Verteilung der Messwerte des sphärischen Äquivalents am rechten und linken Auge.

Das sphärische Äquivalent am rechten und linken Auge betrachtend ergab sich, dass eine Myopieprävalenz in beiden Augen (geringe und hochgradige Myopie miteinschließend, $< -0,5$ dpt) von 17,3% (52 Kinder) (95%-Konfidenzintervall: 13%; 21,3%) der 301 eingeschlossenen, refraktionsgemessenen Kinder vorlag. Bei 69,1 % (208 Kinder) (95%-Konfidenzintervall: 63,8%; 74,7%) lag nach dieser Definition keine Myopie vor. Bei den restlichen 13,6% (41 Kinder) (95%-Konfidenzintervall: 10%; 17,6%) wurde lediglich auf einem der beiden Augen ein sphärisches Äquivalent $< -0,5$ dpt gemessen (einseitige Myopie), wie in Tabelle 8 und Abbildung 12 dargestellt.

Merkmal Myopie (Myopie definiert als alle Werte <-0,5 dpt)	Prävalenz	Anzahl der Kinder (n)	95%-KI
keine Myopie	69,1%	208	63,8%; 74,7%
einseitige Myopie	13,6%	41	10%; 17,6%
beidseits Myopie	17,3%	52	13%; 21,3%

Tabelle 8:

Häufigkeitsverteilung der myopen Brechkraftfehler unter den refraktionsgemessenen Kindern der ikidS II-Kohorte.

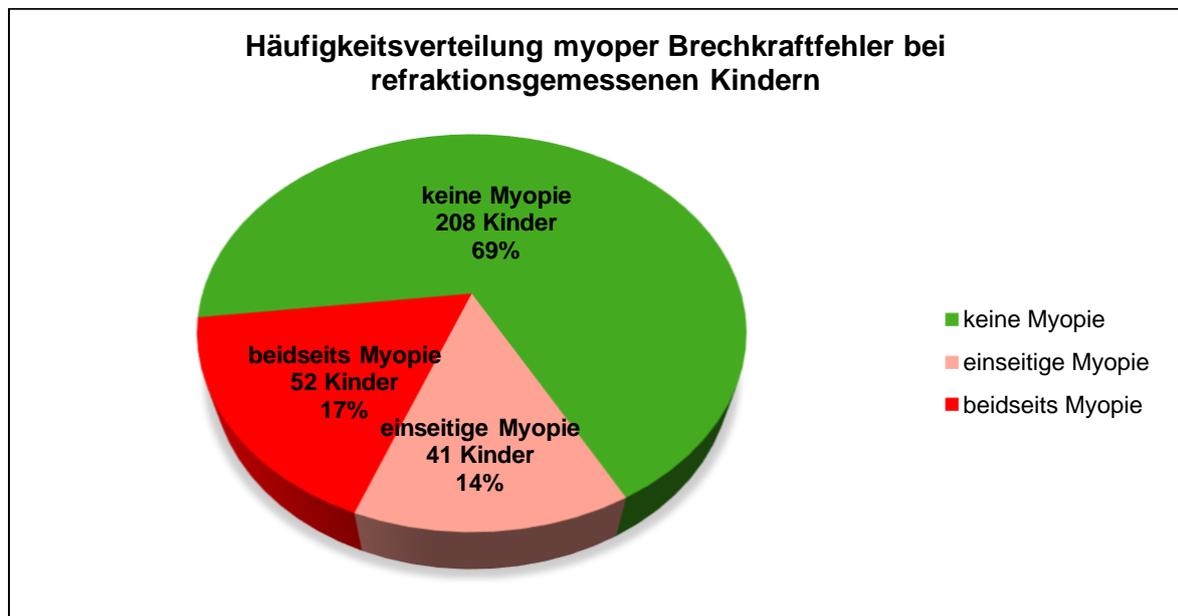


Abbildung 12:

Verteilung der Häufigkeit myoper Brechkraftfehler bei den refraktionsgemessenen Kindern als Kreisdiagramm.

Wie in Tabelle 9 und Abbildung 13 dargestellt, zeigte sich, dass von den 301 refraktionsgemessenen Kindern nur bei 287 Kindern eine Angabe im Fragebogen zur Sehhilfe vorlag. Von diesen 287 Kindern trugen nach Elternangabe 49 Kinder (17,1% der refraktionsgemessenen Kinder) (95%-Konfidenzintervall: 12,9%; 21,3%) eine Sehhilfe. 238 (82,9% der refraktionsgemessenen Kinder) (95%-Konfidenzintervall: 78,7%; 87,1%).

Zusätzlich dazu lagen Angaben, ob eine Sehhilfe getragen wird, bei 460 nicht refraktionsgemessenen Kindern vor. Von diesen trugen 84 Kinder laut Fragebogenangabe eine Sehhilfe (18,3% der nicht refraktionsgemessenen Kinder) (95%-Konfidenzintervall: 15%; 22,2%). Wiederum 376 Kinder (81,7% der nicht refraktionsgemessenen Kinder) (95%-Konfidenzintervall: 77,8%; 85%) trugen laut Fragebogenangabe keine Sehhilfe.

Refraktion wurde ermittelt Ja/Nein	Sehhilfe Ja/Nein	Häufigkeit (Anzahl Kinder)	Anteil (in %)	95%-KI
Ja	Nein	238	82,9	78,7; 87,1
	Ja	49	17,1	12,9; 21,3
Gesamt		287	100	
Nein	Nein	376	81,7	77,8; 85
	Ja	84	18,3	15; 22,2
Gesamt		460	100	

Tabelle 9:

Die Häufigkeitsverteilung zur Sehhilfenangaben bei Kindern mit und ohne Refraktionsmessung der ikidS II-Kohorte.

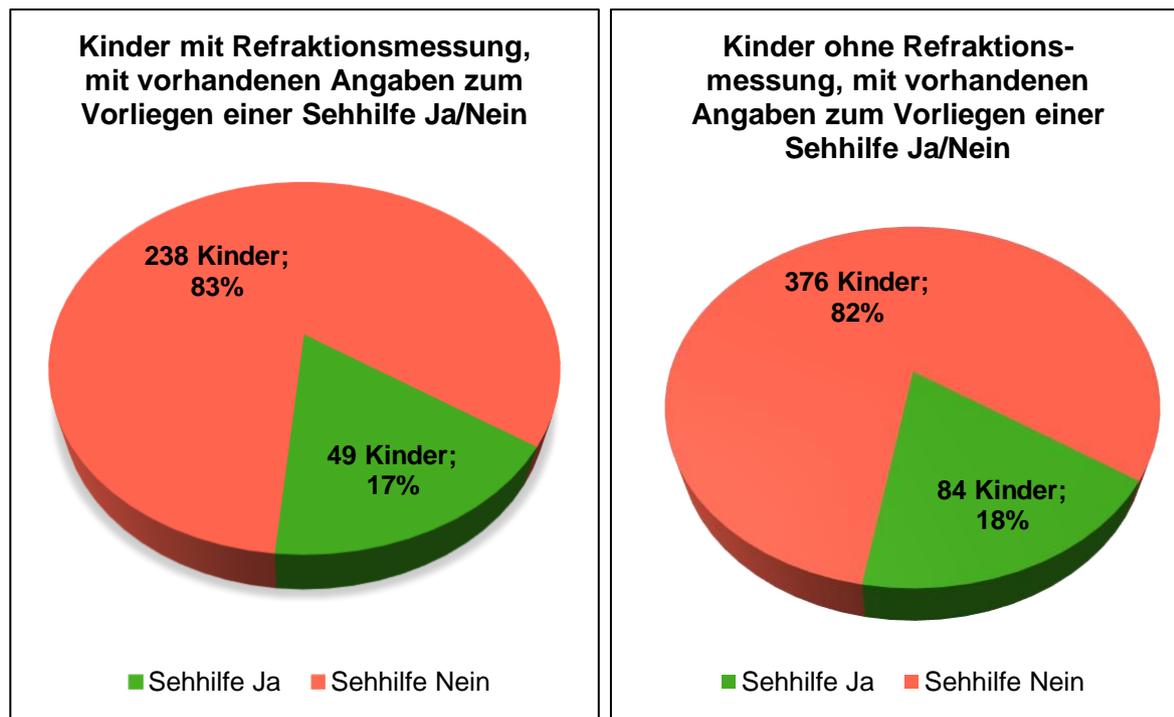


Abbildung 13:

Verteilung der Häufigkeit des Vorhandenseins einer Sehhilfe bei Kindern mit Refraktionsmessung und ohne Refraktionsmessung.

Die zuvor beschriebene Definition von hoher Myopie (hohe Myopie bei einem sphärischen Äquivalent von $\leq -6,00$ dpt) traf unter den 301 eingeschlossenen Messungen nur für das sphärische Äquivalent eines rechten Auges eines einzigen Kindes zu. Es erfüllt demnach keine Messung die Einschlusskriterien einer beidseitig hohen Myopie.

Die Häufigkeitsverteilung der myopen Brechkraftfehler und das Vorhandensein einer Sehhilfe zeigte sich wie folgt: Es wurden nur Kinder eingeschlossen, bei denen sowohl Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe vorlagen, wie auch eine Refraktionsmessung durchgeführt wurde, dies waren insgesamt 287 Kinder.

Insgesamt lag bei 47 Kindern beidseits eine Myopie vor, definiert als sphärisches Äquivalent $\leq -0,5$ dpt am rechten und linken Auge. Es trugen 19 der beidseits myop gemessenen Kinder eine Sehhilfe. Ein Anteil von 40,4% der beidseits myop gemessenen Kinder war demnach korrigiert.

Ein Anteil von 59,6% (28 Kinder) der beidseits Myopen war unkorrigiert, dies entspricht einem Anteil von 9,8% der 287 Kinder (95%-Konfidenzintervall: 6,3 - 13,6).

Des Weiteren zeigte sich bei der Analyse, dass bei zusätzlichen 38 Kindern ein sphärisches Äquivalent von $\leq -0,5$ dpt auf nur einem der beiden Augen gemessen wurde (einseitige Myopie). Von diesen 38 einseitig myopen Kindern trugen nach Elternangabe 8 Kinder eine Brille (21,1% der einseitig myopen Kinder). Insgesamt 30 dieser Kinder trugen nach Elternangabe keine Brille (78,9% der einseitig myopen Kinder).

Bei 85 Kindern ließ sich ein sphärisches Äquivalent von $\leq -0,5$ dpt auf mindestens einem Augen messen, hierrunter zeigte sich bei 58 Kindern (20,1% von 287 Kinder, 95%-KI: 15,6 - 25,0) ein myoper Brechkraftfehler $\leq -0,5$ dpt in mindestens einem Auge, der nicht durch eine Sehhilfe korrigiert war. Die restlichen 27 Kinder waren mit einer Sehhilfe korrigiert. Von der gesamten Kohorte hatten also 9,4% (27 Kinder) eine bekannte Myopie, also eine mit Brille korrigierte Myopie in mindestens einem der beiden Augen.

Bei einem Brechkraftfehler von $\leq -1,0$ dpt in mindestens einem Auge waren es 17 Kinder ohne Korrektur (5,9% von 287 Kinder; 95%-KI: 3,5 - 8,7).

Bei einem Brechkraftfehler von $\leq -1,0$ dpt in beiden Augen waren es 7 Kinder ohne Korrektur (2,4%; 95%-KI: 0,7 - 4,5). Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 und Abbildungen 14 bis 16 dargestellt.

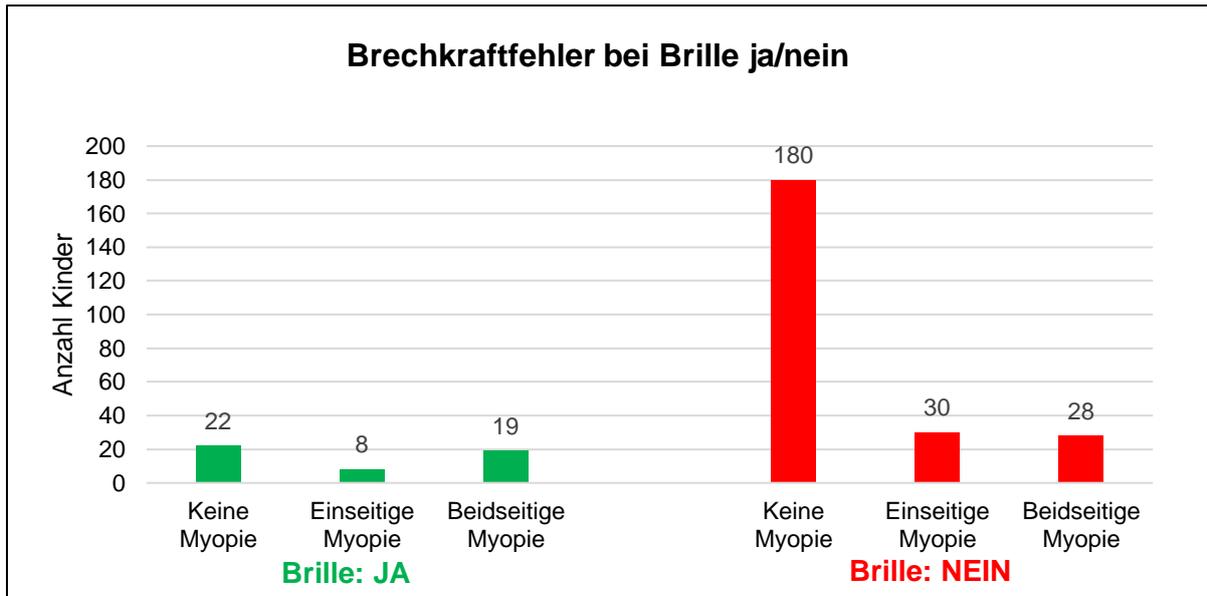


Abbildung 14:

Balkendiagramm zur Verteilung der Brechkraftfehler bei Brille ja/nein.

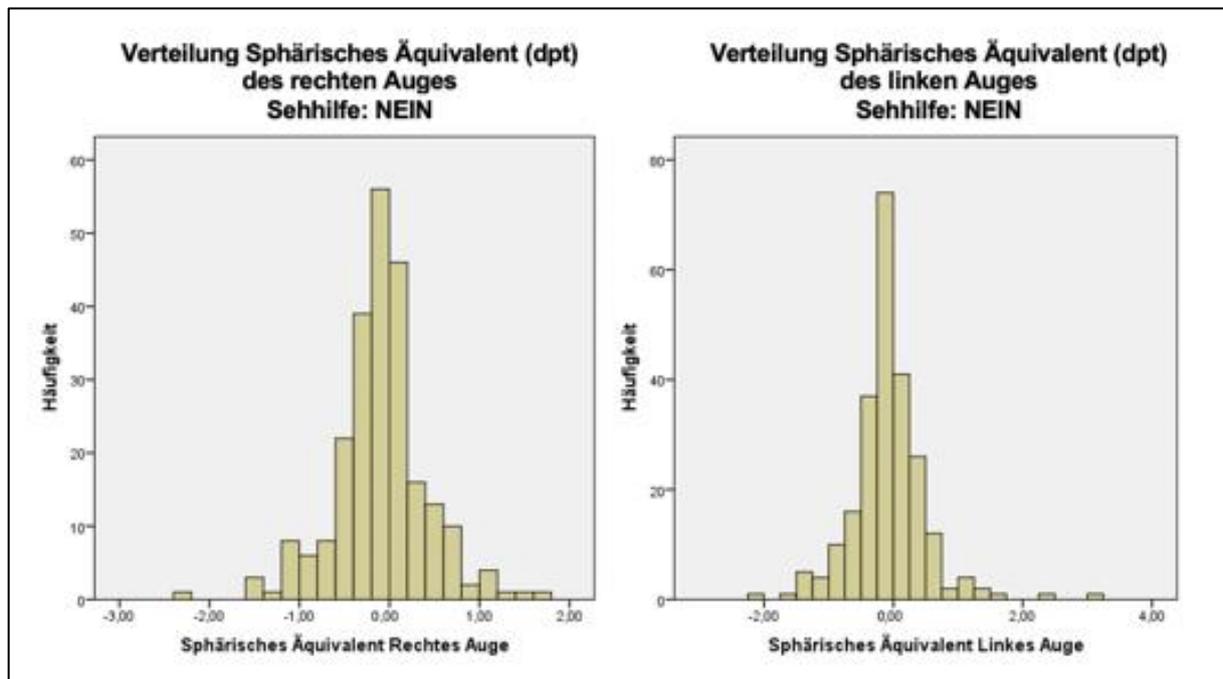


Abbildung 15

Histogramm zur Verteilung der Brechkraftfehler am rechten und linken Auge bei Kindern ohne Sehhilfe.

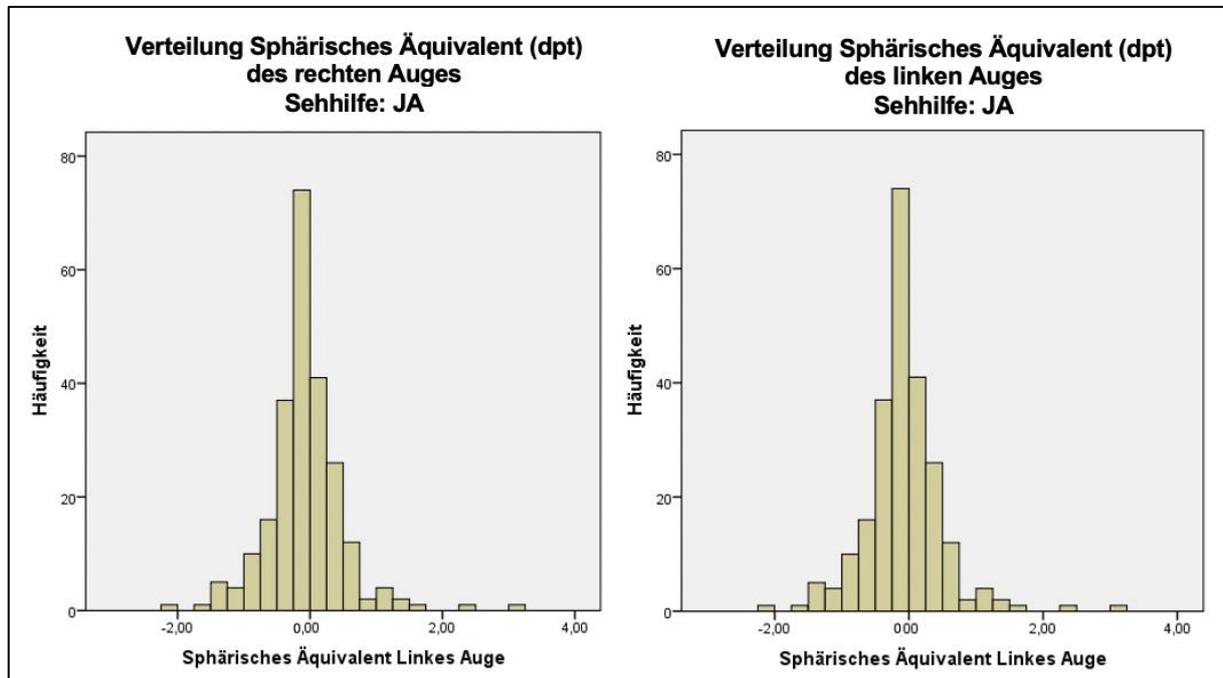


Abbildung 16

Histogramm zur Verteilung der Brechkraftfehler am rechten und linken Auge bei Brillentragenden.

Myopie	Brille	n	Prävalenz	95%-KI
Keine Myopie	Ja	22	7,7%	4,9%; 10,8%
	Nein	180	62,7%	57,1%; 68,6%
Einseitige Myopie	Ja	8	2,8%	1%; 5,2%
	Nein	30	10,5%	7%; 13,9 %
Beidseitige Myopie	Ja	19	6,6%	3,8%; 9,8%
	Nein	28	9,8%	6,3%; 13,6 %
Gesamt		287	100%	

Tabelle 10:

Häufigkeitsverteilung myoper Brechkraftfehler und Vorhandensein einer Sehhilfe (Myopie definiert als sphärisches Äquivalent $\leq -0,5$ dpt). Es wurden nur Kinder eingeschlossen, bei denen sowohl Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe vorlagen, wie auch eine Refraktionsmessung durchgeführt wurde.

Bei der Berechnung der Myopieprävalenzen für die Myopiedefinition geringe Myopie, also Werte $\leq -0,5$ dpt (sphärisches Äquivalent) und > -1 dpt ergab, dass 16 Kinder (5,6% der refraktions-gemessenen Kinder mit Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe) (95%-Konfidenzintervall: 3,1%; 14,3%) auf beiden Augen schwach myop gemessen wurden und keine Sehhilfe trugen, also unkorrigiert schwach myop waren.

Bei 30 einseitig gering myop gemessenen Kindern (10,5% der refraktions-gemessenen Kinder mit Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe) (95%-Konfidenzintervall: 7%; 14,3%) lag nach Elternangabe keine Sehhilfe vor.

Von den beidseits schwach myop gemessenen Kindern waren 2 (0,7% der refraktionsgemessenen Kinder mit Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe) (95%-Konfidenzintervall: 0%; 1,7%) korrigiert (trugen laut Elternangabe eine Sehhilfe). Von insgesamt 18 beidseitig gering myop gemessenen Kinder trugen 2 eine Sehhilfe, was einen Anteil von 11.1% ausmacht, 88,9% waren unkorrigiert. (siehe Tabelle 11 und Abbildung 17) Von 39 einseitig gering myop gemessenen Kindern trug ein Anteil von 23,1% (9 Kinder) eine Sehhilfe.

Myopie	Brille	n	Prävalenz	95%-KI
Einseitige geringe Myopie	Ja	9	3,1%	1%; 5,2%
	Nein	30	10,5%	7%; 14,3%
Beidseitige geringe Myopie	Ja	2	0,7%	0%; 1,7%
	Nein	16	5,6%	3,1%; 8,4%
Andere		230		
Gesamt		287	100%	

Tabelle 11:

Die Häufigkeitsverteilung der gering myopen Brechkraftfehler und der Sehhilfenangaben unter den refraktionsgemessenen Kindern der ikidS II-Kohorte (schwache Myopie definiert als sphärisches Äquivalent $\leq -0,5$ dpt und > -1 dpt). Es wurden nur Kinder eingeschlossen, bei denen sowohl Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe vorlagen, wie auch eine Refraktionsmessung durchgeführt wurde.

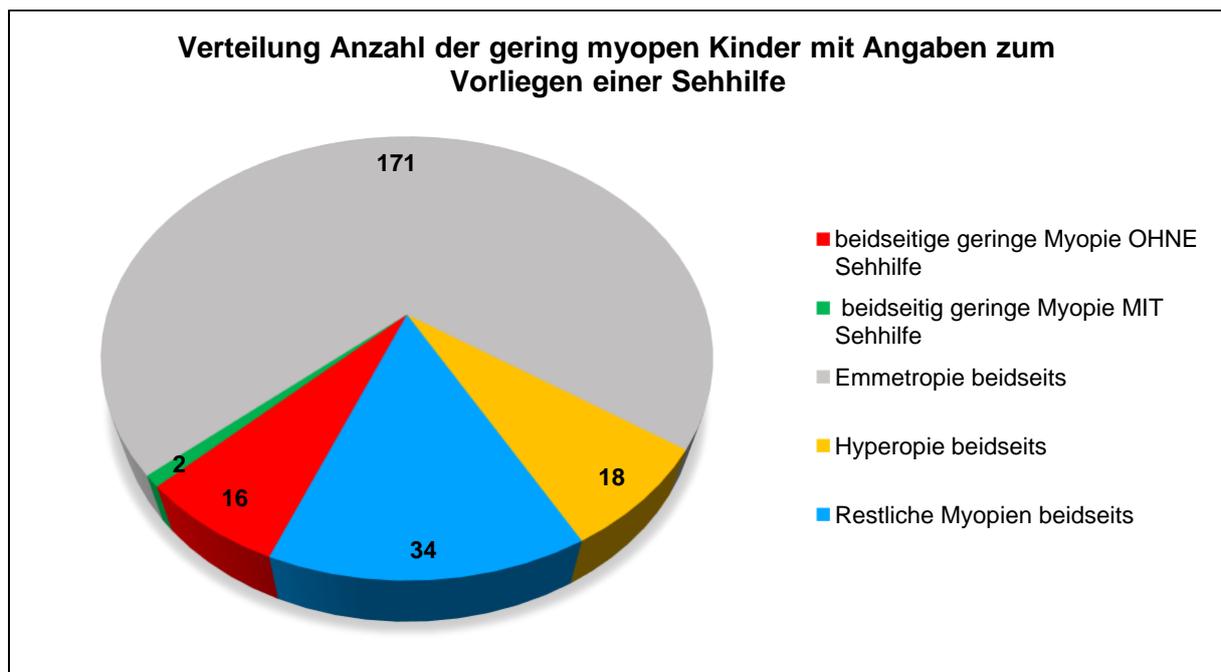


Abbildung 17:

Verteilung der Anzahl der refraktionsgemessenen, gering myopen Kinder mit Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe als Kreisdiagramm, im Verhältnis zu anderen Brechkraftfehlern.

Die Untersuchung der Häufigkeitsverteilung der Elternangaben zur wöchentlichen Häufigkeit von Bewegung wurde zunächst für die einzelnen Variablen durchgeführt. (siehe Tabelle 12) Zunächst wurde nach Bewegung im Freien gefragt. Nach Elternangaben spielte die Mehrheit, 45,2% der Kinder, fast jeden Tag im Garten, 17,0% 3- bis 5-mal pro Woche. Die Elternangaben zur Häufigkeit des Spielens auf der Straße verteilten sich etwas gleichmäßiger, 19,5% spielten fast jeden Tag auf der Straße, 13,4% 3- bis 5-mal pro Woche, 20,2% ein bis zweimal pro Woche, 17,7% selten und 8,5% der Kinder nie. 33,6% der Kinder spielten nach Elternangabe selten auf dem Spielplatz, 22,2% ein

bis zweimal pro Woche, 10,6% 3- bis 5-mal pro Woche. Bei der Frage nach Bewegung oder Spielen in naturnahem Raum/Wald gab die Mehrheit (38,6%) der Eltern „selten“ an und 22,2% ein bis zweimal pro Woche. (siehe Abbildungen 18 bis 21)

Häufigkeit Bewegung (im Freien)	ikidS II-Kohorte insgesamt	Kinder <u>ohne</u> vorliegende Refraktionsmessung	Kinder <u>mit</u> vorliegender Refraktionsmessung
Spielen...	(N=848)	(N=301)	(N=547)
...im Garten			
Nie	44 (5,2%)	29 (5,3%)	15 (5,0%)
Selten	41 (4,8%)	28 (5,1%)	13 (4,3%)
1-2x/Woche	98 (11,6%)	56 (10,2%)	42 (14,0%)
3-5x/Woche	144 (17,0%)	86 (15,7%)	58 (19,3%)
Fast jeden Tag	383 (45,2%)	233 (42,6%)	150 (49,8%)
...auf der Straße			
Nie	72 (8,5%)	42 (7,7%)	30 (10%)
Selten	150 (17,7%)	91 (16,6%)	59 (19,6%)
1-2x/Woche	171 (20,2%)	105 (19,2%)	66 (21,9%)
3-5x/Woche	114 (13,4%)	64 (11,7%)	50 (16,6%)
Fast jeden Tag	165 (19,5%)	114 (20,8%)	51 (16,9%)
...auf dem Spielplatz			
Nie	36 (4,2%)	20 (3,7%)	16 (5,3%)
Selten	285 (33,6%)	173 (31,6%)	112 (37,2%)
1-2x/Woche	188 (22,2%)	120 (21,9%)	68 (22,6%)
3-5x/Woche	90 (10,6%)	55 (10,1%)	35 (11,6%)
Fast jeden Tag	72 (8,5%)	50 (9,1%)	22 (7,3%)
...in naturnahem Raum/Wald			
Nie	78 (9,2%)	47 (8,6%)	31 (10,3%)
Selten	327 (38,6%)	197 (36,0%)	130 (43,2%)
1-2x/Woche	123 (14,5%)	78 (14,3%)	45 (15,0%)
3-5x/Woche	48 (5,7%)	32 (5,9%)	16 (5,3%)

Fast jeden Tag	50 (5,9%)	28 (5,1%)	22 (7,3%)
Sport im Verein			
Nie	84 (9,9%)	54 (9,9%)	30 (10%)
Selten	20 (2,4%)	12 (2,2%)	8 (2,7%)
1-2x/Woche	408 (48,1%)	242 (44,2%)	166 (55,1%)
3-5x/Woche	190 (22,4%)	116 (21,2%)	74 (24,6%)
Fast jeden Tag	23 (2,7%)	18 (3,3%)	5 (1,7%)
Sport außerhalb Vereins			
Nie	82 (9,6%)	46 (8,4%)	36 (12,0%)
Selten	216 (25,5%)	132 (24,1%)	84 (27,9%)
1-2x/Woche	261 (30,8%)	160 (29,3%)	101 (33,6%)
3-5x/Woche	81 (9,5%)	56 (10,2%)	25 (8,3%)
Fast jeden Tag	63 (7,4%)	39 (7,1%)	24 (8,0%)

Tabelle 12:

Die Häufigkeitsverteilungen der Bewegungshäufigkeit im Freien jeweils näher betrachtet in der gesamten ikidS II-Kohorte, sowie bei Kinder ohne und mit vorliegender Refraktionsmessung.

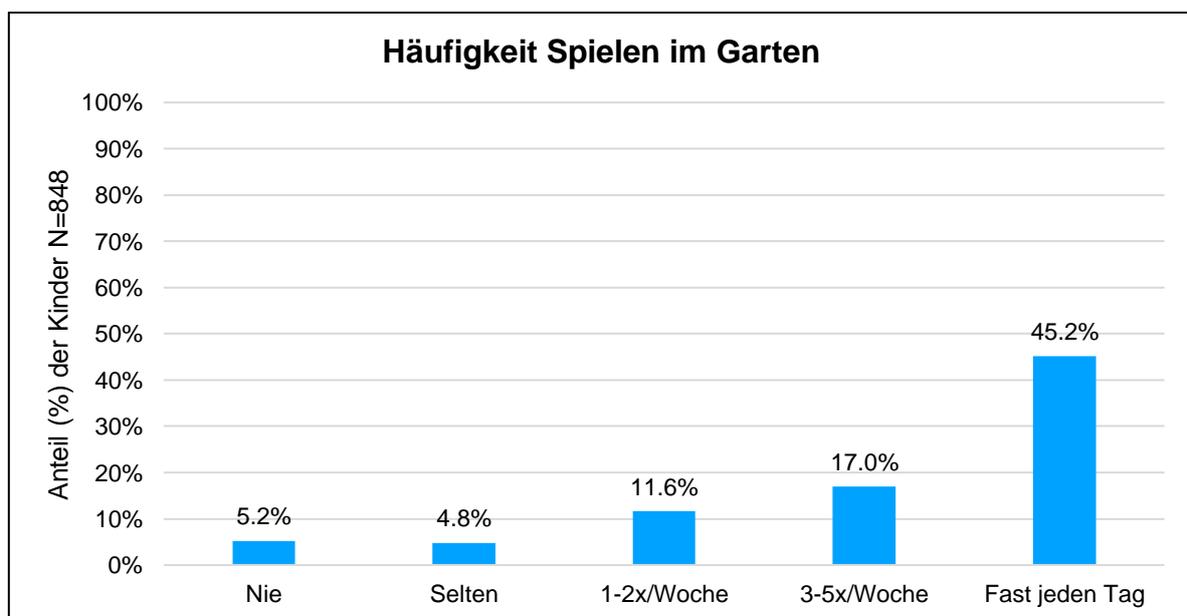


Abbildung 18:

Verteilung der Elternangaben zur Häufigkeit von Spielen im Garten pro Woche.

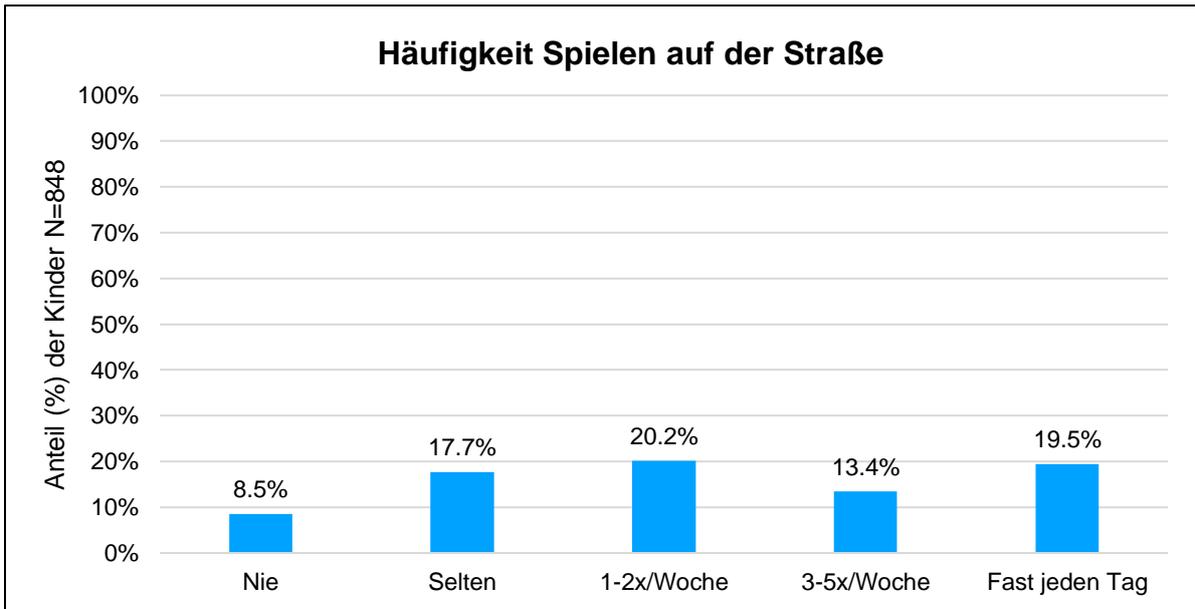


Abbildung 19:

Verteilung der Elternangaben zur Häufigkeit von Spielen im auf der Straße pro Woche.

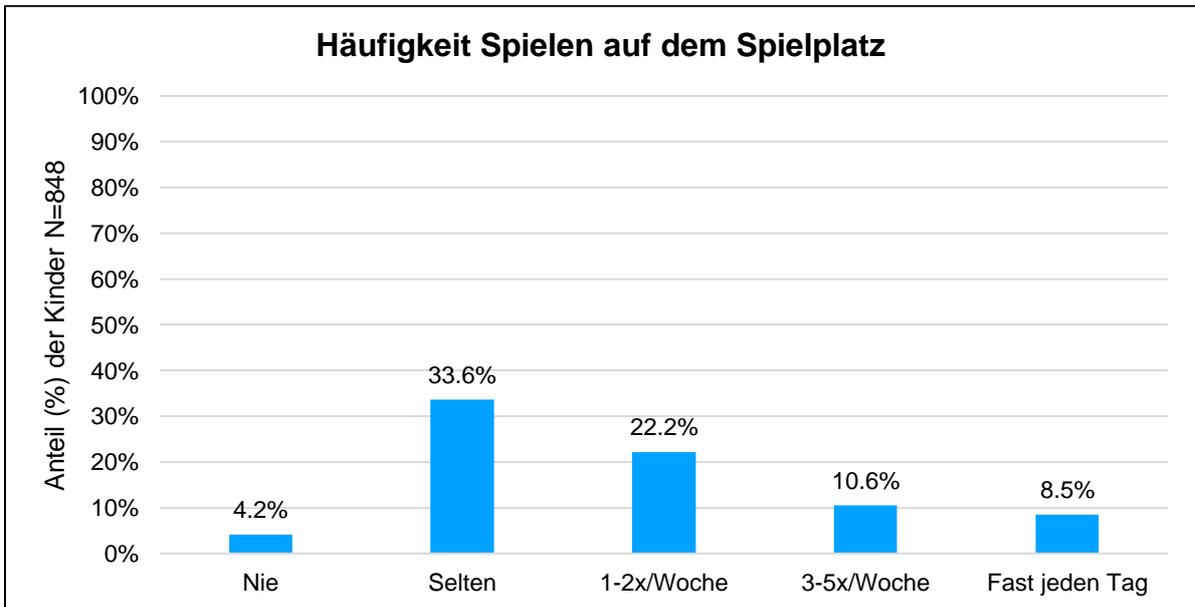


Abbildung 20:

Verteilung der Elternangaben zur Häufigkeit von Spielen auf dem Spielplatz pro Woche.

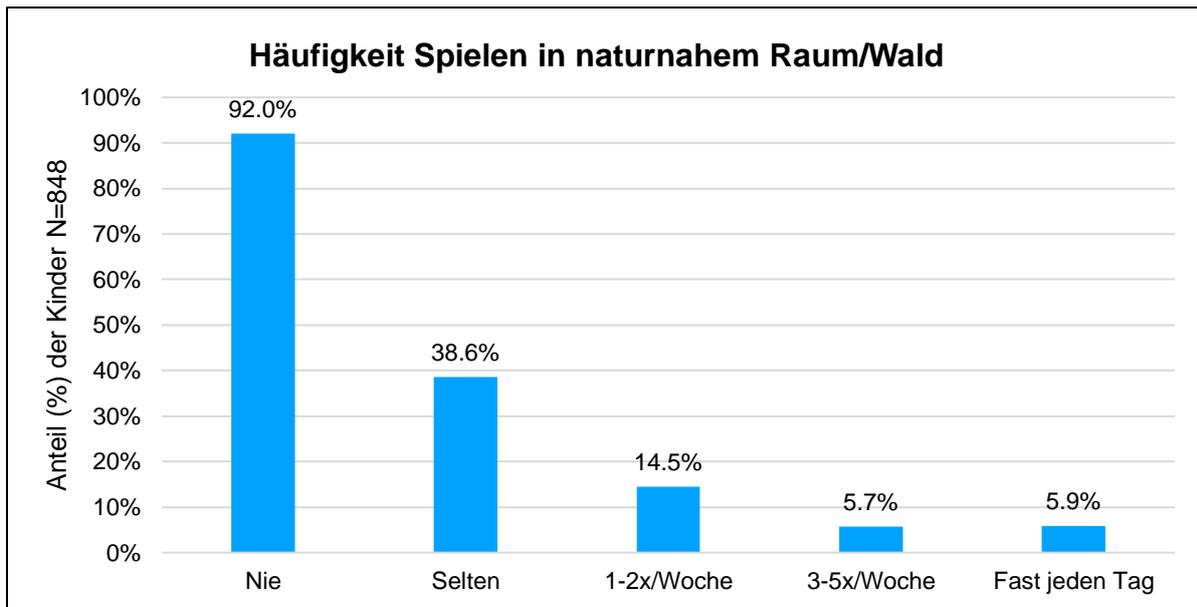


Abbildung 21:

Verteilung der Elternangaben zur Häufigkeit von Spielen in naturnahem Raum/Wald pro Woche.

Auch die Verteilung der Beschäftigungszeit mit verschiedenen elektronischen Endgeräten, sowie verschiedene Naharbeitstätigkeiten, die für gewöhnlich drinnen stattfinden, wurden näher betrachtet und zur Veranschaulichung in Tabelle 13 aufgetragen. 48,7% der Kinder verbrachten laut Elternangaben zur täglichen bis zu einer Stunde mit dem Fernseher oder dem Anschauen jeglicher Videos, weitere 23,8% Kinder verbrachten damit eine bis unter zwei Stunden täglich.

Mit der Spielekonsole oder mit Computerspielen jeglicher Art verbrachten laut Eltern 27,2% der Kinder gar keine Zeit, 41,6% der Kinder täglich bis zu einer Stunde und 7,5% der Kinder verbrachten damit eine bis unter zwei Stunden täglich. Eine weiter abgefragte Kategorie ist die Frage nach jeglicher Nutzung weiterer Internetfähiger Endgeräte, wie etwa Smartphones. Die Eltern gaben bei 44,8% der Kinder in dieser Kategorie gar keine Nutzung an, 34,1% der Kinder täglich bis zu einer Stunde und 3,4% der Kinder verbrachten damit eine bis unter zwei Stunden täglich.

Naharbeiten, wie Malen und Basten, wurde laut Elternangabe von 21,6% der Kinder gar nicht betrieben, von 41,6% täglich bis zu einer Stunde und von 17% eine bis unter zwei Stunden täglich. Bücher las in der Freizeit laut den Eltern etwas mehr als die Hälfte der Kinder (53,1%) bis zu einer Stunde täglich. 17,6% lasen täglich eine bis unter zwei Stunden Bücher nach Elternangaben.

Weitere Tätigkeiten, die drinnen durchgeführt werden, wie das Vorlesen von Büchern, Hörspiele hören oder das Spielen eines Instruments, zeigten ähnliche Häufigkeitsverteilungen.

Die meisten Kinder (36%) hörten bis zu einer Stunde täglich Hörspiele, vorgelesen bekommen 40,3% der Kinder gar nicht und 41,6% bis zu eine Stunde am Tag. Von den Kindern spielten laut Eltern 49,5% ein Instrument. (siehe Tabelle 13)

Beschäftigungszeit (Stunden pro Tag = h/d)	ikidS II-Kohorte insgesamt (N=848)	Kinder ohne vorliegende Refraktionsmessung (N=301)	Kinder mit vorliegender Refraktionsmessung (N=547)
Fernsehn/Video (über jegliche Geräte)			
Gar nicht	51 (6,0%)	20 (6,6%)	31 (5,7%)
Bis zu 1 h/d	413 (48,7%)	155 (51,5%)	258 (47,2%)
1 bis unter 2 h/d	202 (23,8%)	81 (26,9%)	121 (22,1%)
2 bis unter 3 h/d	51 (6,0%)	21 (7,0%)	30 (5,5%)
3 bis unter 4 h/d	14 (1,7%)	4 (1,3%)	10 (1,8%)
4 h/d und mehr	2 (0,2%)	1 (0,3%)	1 (0,2%)
Malen oder Basteln			
Gar nicht	183 (21,6%)	78 (25,9%)	105 (19,2%)
Bis zu 1 h/d	353 (41,6%)	131 (43,5%)	222 (40,6%)
1 bis unter 2 h/d	144 (17,0%)	48 (15,9%)	96 (17,6%)
2 bis unter 3 h/d	44 (5,2 %)	20 (6,6%)	24 (4,4%)
3 bis unter 4 h/d	4 (0,5%)	2 (0,7%)	2 (0,4%)
4 h/d und mehr	1 (0,1%)	0	1 (0,2%)
Spielkonsole oder Computerspiele			
Gar nicht	231 (27,2%)	88 (29,2%)	143 (26,1%)
Bis zu 1 h/d	394 (46,5%)	148 (49,2%)	246 (45,0%)
1 bis unter 2 h/d	64 (7,5%)	30 (10,0%)	34 (6,2%)
2 bis unter 3 h/d	28 (3,3%)	12 (4,0%)	16 (2,9%)
3 bis unter 4 h/d	8 (0,9%)	3 (1,0%)	5 (0,9%)
4 h/d und mehr	3 (0,3%)	0	3 (0,5%)
Bücher lesen			

Gar nicht	68 (8,0%)	24 (8,0%)	44 (8,0%)
Bis zu 1 h/d	450 (53,1%)	173 (57,5%)	277 (50,6%)
1 bis unter 2 h/d	149 (17,6%)	54 (17,9%)	95 (17,4%)
2 bis unter 3 h/d	59 (7,0%)	28 (9,3%)	31 (5,7%)
3 bis unter 4 h/d	6 (0,7%)	1 (0,3%)	5 (0,9%)
4 h/d und mehr	4 (0,5%)	2 (0,7%)	2 (0,4%)
Sonstige Nutzung Internet über jegliche Geräte			
Gar nicht	380 (44,8%)	136 (45,2%)	244 (44,6%)
Bis zu 1 h/d	289 (34,1%)	119 (39,5%)	170 (31,1%)
1 bis unter 2 h/d	29 (3,4%)	11 (3,7%)	18 (3,3%)
2 bis unter 3 h/d	9 (1,1%)	6 (2,0%)	3 (0,5%)
3 bis unter 4 h/d	3 (0,3%)	2 (0,7%)	1 (0,2%)
4 h/d und mehr	1 (0,1%)	0	1 (0,2%)
Hörspiele anhören			
Gar nicht	211 (25,0%)	84 (27,9%)	127 (23,2%)
Bis zu 1 h/d	305 (36,0%)	115 (38,2%)	190 (34,7%)
1 bis unter 2 h/d	153 (18,0%)	56 (18,6%)	97 (17,7%)
2 bis unter 3 h/d	50 (5,9%)	23 (7,6%)	27 (4,9%)
3 bis unter 4 h/d	9 (1,1%)	2 (0,7%)	7 (1,3%)
4 h/d und mehr	1 (0,1%)	1 (0,3%)	0
Vorgelesene Geschichten			
Gar nicht	342 (40,3%)	136 (45,2%)	206 (37,7%)
Bis zu 1 h/d	353 (41,6%)	130 (43,2%)	223 (40,8%)
1 bis unter 2 h/d	28 (3,3%)	13 (4,3%)	15 (2,7%)
2 bis unter 3 h/d	1 (0,1%)	0	1 (0,2%)
3 bis unter 4 h/d	1 (0,1%)	1 (0,3%)	0
4 h/d und mehr	0	0	0
Kind lernt Instrument			
Ja	420 (49,5%)	169 (56,1%)	251 (45,9%)
Nein	323 (38,1%)	119 (39,5%)	204 (37,3%)

Tabelle 13:

Die Häufigkeitsverteilungen der Beschäftigungszeit mit elektronischen Endgeräten, Tätigkeiten, die unter Naharbeit fallen und zumeist während des Aufenthalts in Innenräumen

(nicht im Freien) betrieben werden, jeweils näher betrachtet in der gesamten ikidS II-Kohorte, sowie bei Kinder ohne und mit vorliegender Refraktionsmessung.

Im Anschluss wurden mögliche Zusammenhänge zwischen dem Bestehen einer Myopie (nach Refraktionsmesswerten) und den verschiedenen Variablen untersucht. Hierzu wurde als abhängige Variable das Vorliegen einer beidseitigen Myopie, das heißt ein gemessenes sphärische Äquivalent kleiner oder gleich $-0,5$ dpt auf beiden Augen, genommen. Hiermit wurden univariabel binär logistische Regressionsanalysen durchgeführt, für alle zuvor genannten Variablen. Hierbei fand sich univariabel für keine der Variablen ein statistisch signifikanter Zusammenhang. Bei der Analyse zeigte sich, dass weder das Geschlecht (OR: 1,49; 95%-Konfidenzintervall: 0,81 - 2,73; $p = 0,20$) mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer Myopie assoziiert waren, noch das Vorliegen einer amtlichen anerkannten Behinderung (OR: 1,7; 95%-Konfidenzintervall: 0,17 - 16,65; $p = 0,65$) oder andere Einschränkungen jeglicher Art (OR: 4,02; 95%-Konfidenzintervall: 0,87 - 18,6; $p = 0,08$).

Für die einzelnen Variablen zur Bewegungshäufigkeit zeigte sich ebenso kein signifikanter statistischer Zusammenhang mit dem Vorliegen einer Myopie.

Bei der Analyse zeigte sich zudem, dass weder der höchste Abschluss des Vaters (OR: 1,74; 95%-Konfidenzintervall: 0,90 - 3,36; $p = 0,10$) mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer Myopie assoziiert waren, noch der der Mutter (OR: 1,13; 95%-Konfidenzintervall: 0,59 - 2,18; $p = 0,71$). Auch wenn beide Eltern einen Universitätsabschluss oder Fachhochschulabschluss haben, ist dies nicht mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer Myopie assoziiert gewesen.

Auch multivariabel zeigte sich kein statistischer Zusammenhang.

Die Häufigkeitsverteilung der Score-Bildung für die Mediennutzungsparameter zeigte sich wie in Tabelle 14 dargestellt. Die meisten Kinder verbrachten nach Elternangaben zwischen einer und vier Stunden täglich mit den genannten elektronischen Endgeräten. (siehe Abbildung 22)

Nutzungszeit insgesamt (mind. Stunden pro Tag)	Anzahl Kinder	Anteil (in %)	95%-KI
gar nicht	18	2,6%	1,6%; 4,1%
1 Std/d	109	15,8%	13%; 18,6%
2 Std/d	201	29,1%	25,8%; 32,6%
3 Std/d	177	25,7%	22,2%; 29,1%
4 Std/d	104	15,1%	12,3%; 17,8%
5 Std/d	41	5,9%	4,2%; 7,8%
6 Std/d	15	2,2%	1,2%; 3,5%
7 Std/d	10	1,4%	0,6%; 2,5%
8 Std/d	5	0,7%	0,1%; 1,4%
9 Std/d	5	0,7%	0,1%; 1,4%
10 Std/d	1	0,1%	0%; 0,4%
11 Std/d	2	0,3%	0%; 0,7%
12 Std/d	1	0,1%	0%; 0,6%
13 Std/d	1	0,1%	0%; 0,4%

Tabelle 14:

Die Häufigkeitsverteilung der Nutzungszeiten der Mediennutzungsparameter Fernsehen/Videos, Computer/Spielekonsole, Smartphone und Sonstige als Nutzungszeit insgesamt zusammengefasst bei den Kindern der ikidS II-Kohorte.

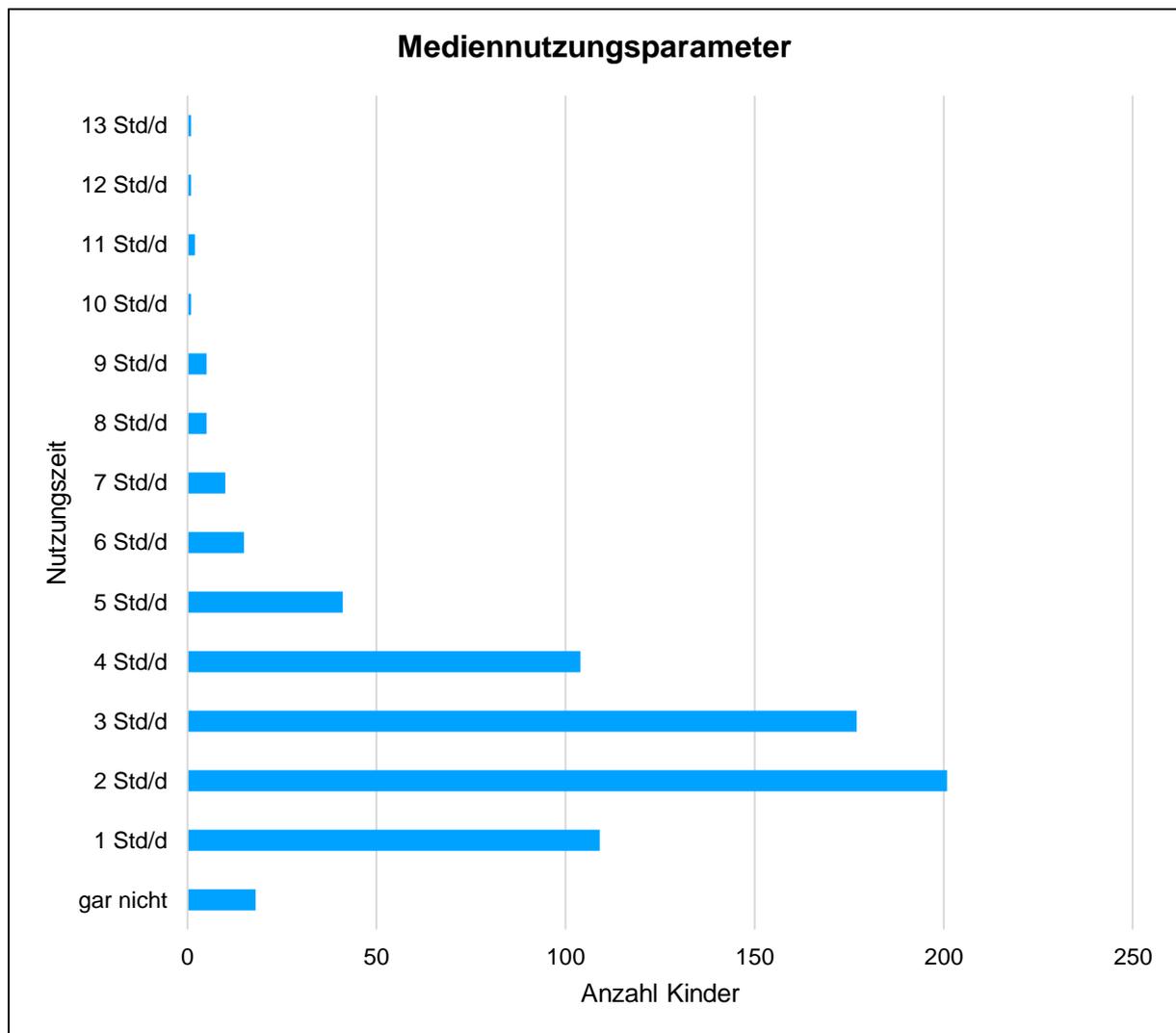


Abbildung 22:

Häufigkeitsverteilung der Mediennutzungsparameter (Fernsehen/Videos, Computer/Spielekonsole, Smartphone/Sonstige Internetnutzung).

Bei der logistischen Regressionsanalyse der Mediennutzungsparameter zeigte sich lediglich für die Kinder, die nach Elternangabe insgesamt circa 4 Stunden täglich die genannten Medien nutzten, ein statistisch signifikanter Zusammenhang zum Vorliegen einer Myopie (OR = 2,82; 95%-Konfidenzintervall: 1,03% - 7,73%; $p = 0,04$). Für alle anderen Ausprägungen der täglichen Nutzungszeit zeigten sich keine statistisch signifikanten Zusammenhänge, die restlichen Ergebnisse sind in Tabelle 15 dargestellt.

Nutzungszeit insgesamt (mind. Stunden pro Tag)	P-Wert	OR	95%-KI
gar nicht	0,23	2,93	0,49; 17,42
1 Std/Tag	0,65	1,29	0,43; 3,94
2 Std/Tag	Referenz		
3 Std/Tag	0,87	0,92	0,33; 2,52
4 Std/Tag	0,04	2,82	1,03; 7,73
5 Std/Tag	0,73	1,33	0,25; 7,01
6 Std/Tag	0,65	1,47	0,28; 7,8
7 Std/Tag	0,61	1,83	0,18; 18,27
8 Std/Tag	0,31	3,67	0,30; 44,64
9 Std/Tag u. mehr	0,31	3,67	0,30; 44,64

Tabelle 15:

Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse der Mediennutzungsparameter Fernsehen/Videos, Computer/Spielekonsole und Smartphone/Sonstiges bei den Kindern der ikidSII-Kohorte.

Bei der Auswertung der täglichen Dauer der Naharbeit, beziehungsweise der Beschäftigungen, die am ehesten in geschlossenen Räumen stattfinden, also nicht im Freien, zeigte sich die in Tabelle 16 und Abbildung 23 dargestellte Häufigkeitsverteilung.

Verbrachte Zeit insgesamt (mind. Stunden pro Tag)	Anzahl Kinder	Anteil (in %)	95%-KI
2 Std/d	6	0,9%	0,3%; 1,7%
3 Std/d	18	2,7%	1,5%; 4,1%
4 Std/d	56	8,5%	6,4%; 10,7%
5 Std/d	113	17,1%	14,2%; 20%
6 Std/d	130	19,7%	16,8%; 22,7%
7 Std/d	120	18,2%	15,4%; 21%
8 Std/d	73	11%	8,9%; 13,5%
9 Std/d	66	10%	7,7%; 12,3%
10 Std/d	27	4,1%	2,7%; 5,7%
11 Std/d	28	4,2%	2,9%; 5,7%
12 Std/d	10	1,5%	0,6%; 2,4%
13 Std/d	4	0,6%	0,2%; 1,4%
14 Std/d	4	0,6%	0,2%; 1,2%
15 Std/d	1	0,2%	0%; 0,5%

Tabelle 16:

Häufigkeitsverteilung der insgesamt mit Aktivitäten verbrachten Zeit, die am ehesten in geschlossenen Räumen stattfinden (nicht im Freien) bei den Kindern der ikidS II-Kohorte. Hierunter fielen Mediennutzungsparameter, Malen/Basteln, Bücher lesen, Vorgelesen bekommen und Hörspiele hören.

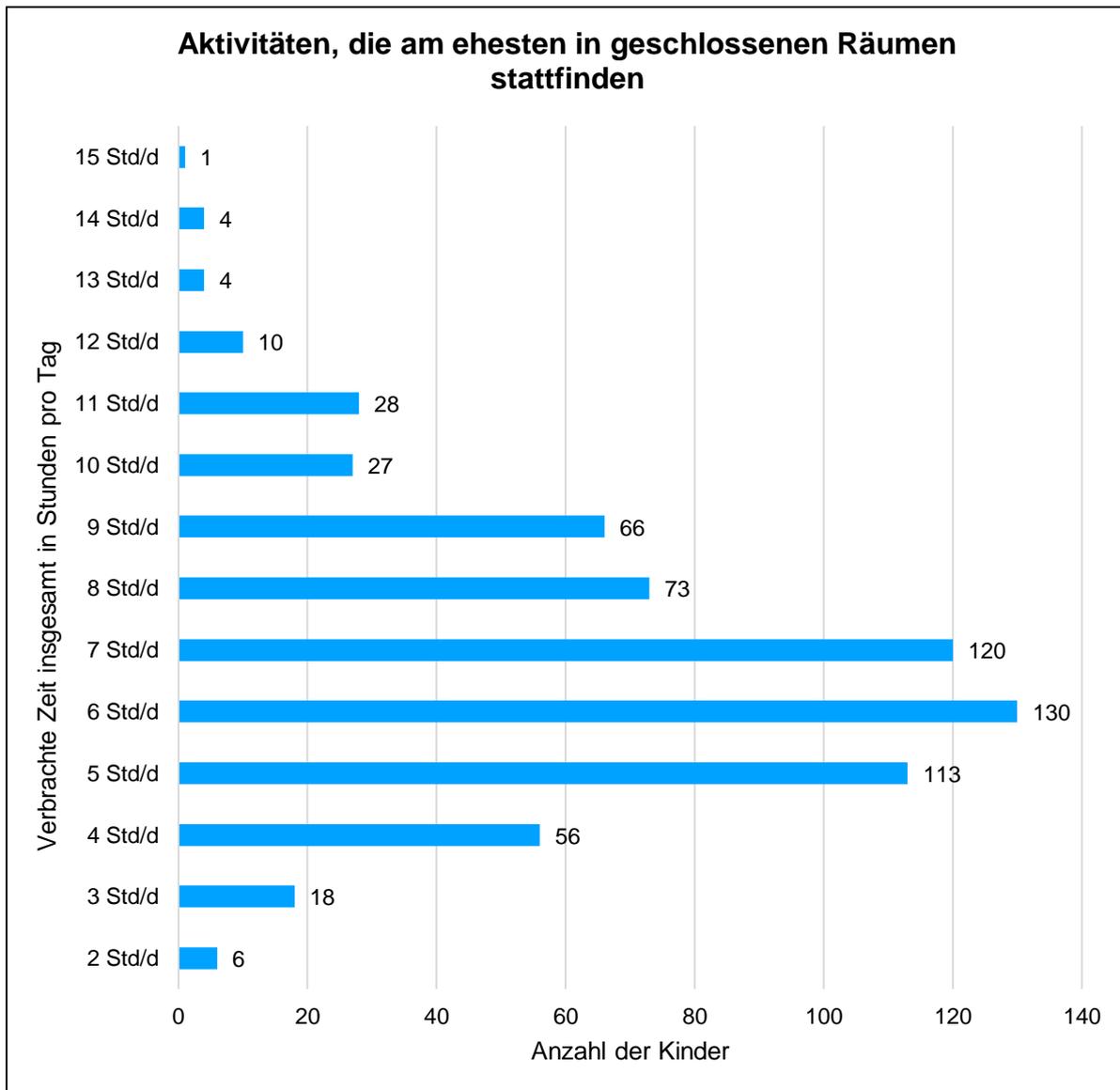


Abbildung 23:

Häufigkeitsverteilung der Aktivitäten, die am ehesten in geschlossenen Räumen stattfinden (Mediennutzungsparameter, Malen/Basteln, Bücher lesen, Vorgelesen bekommen, Hörspiele hören).

Bei der logistischen Regressionsanalyse dieser Aktivitäten zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zum Vorliegen einer Myopie, die Ergebnisse sind in Tabelle 17 dargestellt.

Verbrachte Zeit insgesamt (mind. Stunden pro Tag)	P-Wert	OR	95%-KI
2 Std/Tag	0,99	0	0; 0
3 Std/Tag	0,81	1,33	0,13; 13,35
4 Std/Tag	0,81	0,84	0,21; 3,45
5 Std/Tag	0,95	1,04	0,35; 3,05
6 Std/Tag	Referenz		
7 Std/Tag	0,06	0,13	0,02; 1,07
8 Std/Tag	0,93	0,94	0,23; 3,89
9 Std/Tag	0,24	1,97	0,64; 6,03
10 Std/Tag	0,17	2,67	0,66; 10,77
11 Std/Tag	0,72	0,67	0,07; 6,0
12 Std/Tag u. mehr	0,63	1,52	0,27; 8,55

Tabelle 17:

Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse der Aktivitäten, die am ehesten in geschlossenen Räumen stattfinden, bei den Kindern der ikidS II-Kohorte (abhängige Variable Myopie). Hierunter fielen Mediennutzungsparameter, Malen/Basteln, Bücher lesen, Vorgelesen bekommen und Hörspiele hören.

Die Ergebnisse der Häufigkeitsverteilung der 16 erreichbaren Punkte für die erläuterte Score-Bildung für die Aktivitäten im Freien, sowie die Bewegung generell sind in Tabelle 18 und 19, sowie Abbildung 24 dargestellt.

Häufigkeits-Score pro Woche	Anzahl Kinder	Anteil	95%-KI
1	1	0,2%	0%; 0,7%
2	7	1,2%	0,3%; 2%
3	19	3,2%	1,9%; 4,8%
4	36	6,1%	4,2%; 8,1%
5	47	8%	5,8%; 10,2%
6	56	9,5%	7%; 12,1%
7	84	14,3%	11,5%; 17,3%
8	81	13,8%	11%; 16,6%
9	71	12,1%	9,3%; 14,8%
10	58	9,8%	7,3%; 12,2%
11	51	8,7%	6,5%; 11%
12	28	4,8%	3,1%; 6,6%
13	21	3,6%	2,2%; 5,1%
14	8	1,4%	0,5%; 2,4%
15	2	0,3%	0%; 0,8%
16	19	3,2%	1,9%; 4,8%

Tabelle 18:

Häufigkeitsverteilung der insgesamt mit Aktivitäten verbrachten Zeit, die im Freien stattfinden, bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung. Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz und im Wald.

Alle 4 Outdoor-Aktivitäten...	Anzahl Kinder	95%-KI
...nie bis selten	63	8,3; 13,6
...1-2x/Woche	268	41,3; 49,6
...3-5x/Woche	208	31,6; 39,2
...fast jeden Tag	50	6,3; 10,7

Tabelle 19:

Häufigkeitsverteilung der insgesamt mit Aktivitäten verbrachten Zeit, die im Freien stattfinden, bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung und weiterer Zusammenfassung der Angaben. Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz und im Wald.

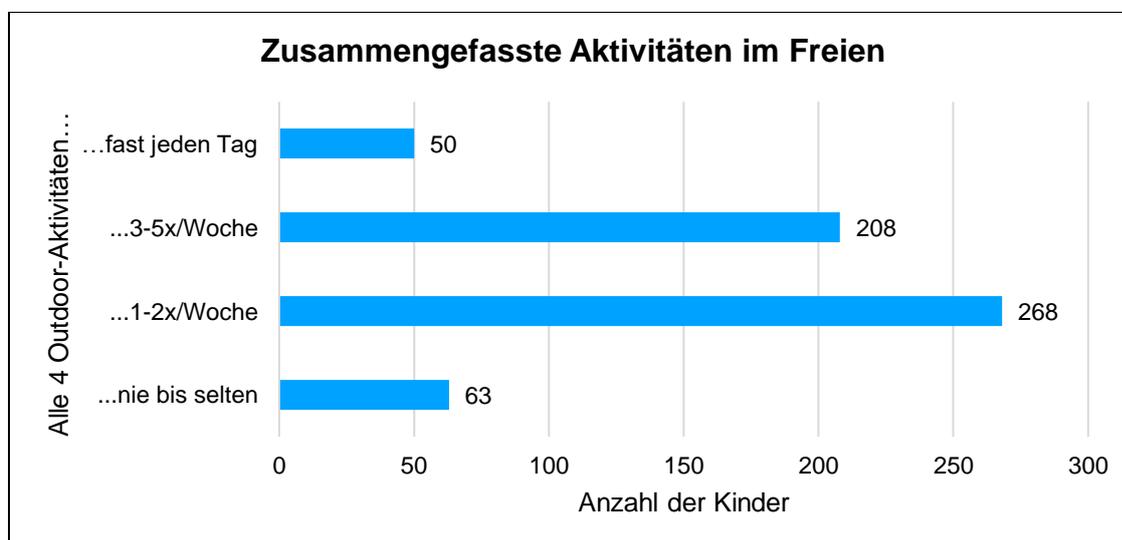


Abbildung 24:

Häufigkeitsverteilung der Aktivitäten im Freien (Zusammenfassung von Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz, im Wald).

Bei der logistischen Regressionsanalyse der zusammengefassten Aktivitäten im Freien zeigte sich für keine der Ausprägungen ein statistisch signifikanter Zusammenhang zum Vorliegen einer Myopie. Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 dargestellt.

Alle 4 Outdoor-Aktivitäten...	p-Wert	OR	95%-KI
...nie bis selten	0,223	1,962	0,66; 5,79
...1-2x/Woche	Referenz		
...3-5x/Woche	0,165	0,559	0,25; 1,27
...fast jeden Tag	0,159	2,361	0,71; 7,81

Tabelle 20:

Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse der Aktivitäten, die im Freien stattfinden, bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung (abhängige Variable Myopie). Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz und im Wald.

Zusätzlich zu den Aktivitäten im Freien kann eine weitere Kategorie betrachtet werden, die der Angaben zur Bewegung insgesamt. Zusätzlich zu den Aktivitäten im Freien, wurden die Elternangaben zur Häufigkeit von „Sport im Verein“ und „Sport außerhalb des Vereins“ mit der gleichen Punkteverteilung hinzugefügt. Um die Punkteverteilung etwas zu veranschaulichen, wurde auch hier nach dem gleichen Prinzip wie bei den Aktivitäten im Freien weiter unterteilt. Die Ergebnisse der Häufigkeitsverteilung der Zusammenfassung der Variablen zu den Elternangaben zu Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz, im Wald, Sport im Verein und Sport außerhalb des Vereins, sind in Tabelle 21 und Abbildung 25 veranschaulicht.

Alle 6 Aktivitäten...	Anzahl Kinder	Anteil	95%-KI
...nie bis selten	32	5,6%	3,7%; 7,5%
...1-2x/Woche	297	51,9%	47,9%; 55,9%
...3-5x/Woche	211	36,9%	33%; 40,9%
...fast jeden Tag	32	5,6%	3,8%; 7,5%

Tabelle 21:

Häufigkeitsverteilung aller mit Bewegung verbundenen Aktivitäten bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung und weiterer Zusammenfassung der Angaben. Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz, im Wald, Sport im Verein und Sport außerhalb des Vereins.

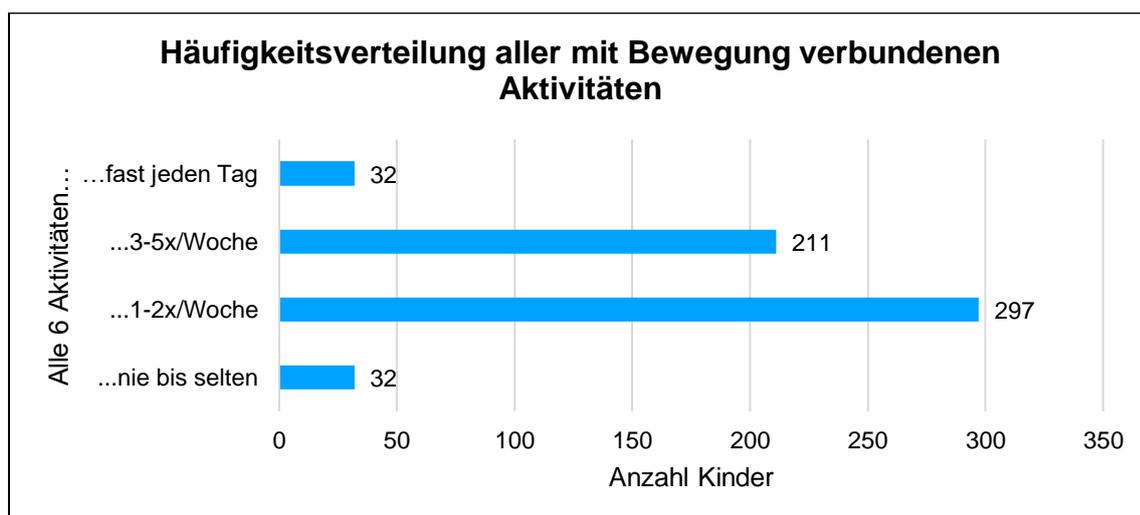


Abbildung 25:

Häufigkeitsverteilung der Bewegung (Häufigkeitsverteilung Zusammenfassung Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz, im Wald, Sport im Verein, Sport außerhalb Verein).

Bei der logistischen Regressionsanalyse der zusammengefassten Aktivitäten der Kategorie Bewegung, zeigte sich für keine der Ausprägungen ein statistisch signifikanter Zusammenhang zum Vorliegen einer Myopie. Die Ergebnisse sind in Tabelle 22 dargestellt.

Alle 4 Outdoor-Aktivitäten...	P-Wert	OR	95%-KI
...nie bis selten	0,12	2,57	0,78; 8,55
...1-2x/Woche	Referenz		=
...3-5x/Woche	0,46	0,74	0,34; 1,63
...fast jeden Tag	0,35	1,99	0,47; 8,38

Tabelle 22:

Ergebnisse der logistischen Regressionsanalyse aller mit Bewegung verbundenen Aktivitäten bei den Kindern der ikidS II-Kohorte mittels Scorebildung und weiterer Zusammenfassung der Angaben (abhängige Variable Myopie). Hierunter fielen Spielen im Garten, auf der Straße, am Spielplatz, im Wald, Sport im Verein und Sport außerhalb des Vereins.

5. Diskussion

Da diese Dissertation auf zwei unterschiedlichen Studienansätzen beruht, teilt sich auch die Diskussion in zwei Unterpunkte auf. Beide Studienansätze werden zunächst einzeln diskutiert und dann vergleichend betrachtet.

5.1 Die Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS)

Die Prävalenz von Myopie bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland und deren Entwicklung seit der Einführung von mobilen Endgeräten ist nach wie vor unklar. Ebenso unklar ist, ob die Nutzung von neuen digitalen Medien wie Smartphones und Tablets einen Einfluss auf die Entstehung der Myopie hat.

Die Analyse der KiGGS-Daten konnte zeigen, dass sich die Myopieprävalenz bei Kindern und Jugendlichen zwischen 2003–2006 und 2014–2017 nicht relevant verändert hat. In den beiden Zeiträumen zwischen 2003–2006 und 2014–2017 ist die jeweilige Datenerhebung mittels gleicher Methodik erfolgt, was zu einer guten Vergleichbarkeit der Ergebnisse führt.

Es ist davon auszugehen, dass auch wenn die Nutzung von Smartphones nach der KiGGS-Basiserhebung 2003–2006 stetig zugenommen hat, bislang kein Einfluss auf die Myopieprävalenz bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland nachweisbar ist. Bei der Analyse der KiGGS-Daten konnte zudem kein Zusammenhang zwischen Myopie und der Nutzung anderer Medien, wie Fernsehen, Spielkonsole oder Computer nachgewiesen werden. Der Zusammenhang zwischen dem Lesen von Büchern und Kurzsichtigkeit, der wie weiter oben bereits beschrieben bereits bekannt ist, konnte anhand der KiGGS-Daten allerdings erneut bestätigt werden.

Nach Holden et al. ist anhand von Hochrechnungen davon auszugehen, dass im Jahr 2020 36,7 % der Bevölkerung Westeuropas kurzsichtig sein wird, mit einer voraussichtlichen Erhöhung auf 51,0 % bis zum Jahr 2040. (34, 171) Die untersuchten KiGGS-Daten zeigten bei den 14 bis 17-jährigen in Deutschland eine Kurzsichtigkeit bei 23 % der Jungen und 35 % der Mädchen, die Prävalenz nahm nur gering bei Mädchen im Alter ab 14 Jahren zu.

Da bei den KiGGS-Erhebungen Kinder und Jugendliche nur bis zum Alter von 17 Jahren betrachtet wurden und keine älteren, kann zur Altersgruppe der jungen Erwachsenen keine Schätzung abgegeben werden. Der Bildungsweg ist mit dem 17 Lebensjahr nicht zwingend abgeschlossen. Es ist auch bei jungen Erwachsenen in Deutschland eine höhere Myopieprävalenz zu erwarten, da auch im Verlauf des Studiums die Kurzsichtigkeit zuzunehmen scheint. (36)

Beim Vergleich der „National Health and Nutrition Examination Surveys“ (NHANES) der Jahre 2001 und 2007 wurde von den Autoren Chiang et al. über gleichbleibende Myopieprävalenzen bei den 12- bis 19-jährigen US-Amerikaner berichtet, speziell in der nichtspanisch-stämmigen weißen Bevölkerung. (172) Darüber hinaus konnte von Chiang et al. gezeigt werden, dass Computer- und Fernsehnutzung einen statistischen Zusammenhang zum Vorliegen von Myopie aufwies, was im Gegensatz zu den Ergebnissen aus KiGGS Welle 2 steht. Bei den Analysen der KiGGS-Erhebungen fand sich ein Dosis-Wirkungs-Effekt von Fernseh- und Computernutzung auf Myopie in der unadjustierten Analyse, dieser war allerdings bei Berücksichtigung von Alter und Geschlecht nicht mehr vorhanden. Alter und Geschlecht sind Parameter, die mit der Mediennutzungszeit in Zusammenhang stehen. (34)

Eine 2016 publizierte Übersichtsarbeit (1) von Rudnicka et al. analysierte systematische Veränderungen der Myopieprävalenz in Studien von 1958 bis 2015, sowohl innerhalb verschiedener Ethnizitäten, als auch über den Zeitverlauf. Besonders in Asien, insbesondere in Ostasien zeigte sich eine Zunahme der Myopieprävalenz, während für weiße Kinder und Jugendliche europäischer Abstammung von einer grenzwertigen Abnahme berichtet wurde, allerdings mit breitem Konfidenzintervall, sodass es ebenso möglich ist, dass eine gleichbleibende Myopieprävalenz über die Zeit vorliegt. (1)

Eine 2017 publizierte Metaanalyse von Xiong et al. zeigte, dass es zwischen der Aufenthaltszeit im Freien und dem Risiko für das Auftreten einer Myopie einen inversen nichtlinearen Zusammenhang gibt. (62) Da die Aufenthaltsdauer im Freien bei der KiGGS-Studie nicht erhoben wurde, konnte dieser Faktor in der Auswertung der KiGGS-Daten nicht berücksichtigt werden. Rose et al. berichten, dass das zusätzliche Myopie-Risiko durch Naharbeit in einer Studie mit australischen Schülern durch zwei Stunden Aufenthalt im Freien pro Tag eliminiert werden konnte. (20)

Zudem ist hinzuzufügen, dass zwischen den ostasiatischen und westlichen Bildungssystemen deutliche Unterschiede bestehen, die sich auch in den Myopieprävalenzen zeigen (38), sicherlich gibt es auch entsprechende Unterschiede bei der Freizeitgestaltung. Ein Zusammenhang von Smartphone-Besitz mit Kurzsichtigkeit fand sich in in der KiGGS-Studie nicht.

In einer aktuellen Metaanalyse aus insgesamt fünf Studien zeigte sich kein Zusammenhang zwischen Bildschirmzeit und Myopie. (69) Dies steht im Gegensatz zu den KiGGS-Auswertungen der Welle 2, hier war vermehrtes Lesen mit Myopie assoziiert. Es gibt jedoch andere Studien, die ein hiermit übereinstimmende Ergebnisse zeigten und Naharbeitszeit als einen Risikofaktor für Myopie nennen. (173)

Zudem bestehen in Bezug auf Myopie Gen-Umwelt-Interaktionen. So ist je nach genetischer Prädisposition der Einfluss von Lesegewohnheiten (174), Bildung (175) und Naharbeit (176) unterschiedlich groß. Es konnte gezeigt werden, dass das Risiko einer Myopie reduziert werden kann durch die Exposition zu hellem Licht. (177) Zudem konnte gezeigt werden, dass im Freien unterrichtete Kinder seltener eine Myopie entwickelten und die Myopieprogression geringer war. (178)

Einige Aspekte In Bezug auf die KiGGS-Studie sollten als Limitationen berücksichtigt werden. Es ist zu berücksichtigen, dass Refraktionsmessungen bei Kindern in Zykloplegie, also unter Ausschaltung der Akkommodation, erfolgen sollten, um korrekte Messwerte zu erhalten. Myopie wird bei der KiGGS-Erhebung mittels Elternangaben definiert und nicht mittels Refraktionsmessungen.

In Deutschland erfolgt eine Refraktionsmessung in Zykloplegie im Rahmen von augenärztlichen Verordnungen einer Sehhilfe bei Kindern. Daher wurde die Sehhilfenangabe als Absicherung der Diagnose Myopie genutzt. 13,5 % beziehungsweise 13,7 % der Eltern haben jedoch keine Angaben zur Kurzsichtigkeit gemacht oder wussten nicht, ob eine solche bestand. Dennoch spricht die hohe Anzahl an Sehhilfen unter den myopen Studienteilnehmenden zusätzlich für valide Elternangaben.

Die Erhebung der Daten bezüglich des Umfangs der Mediennutzung wurde anhand von Eltern- und Selbstangaben aus Fragebögen durchgeführt, hierbei könnte soziale Erwünschtheit einen Einfluss auf die Angaben gehabt haben, und die tatsächlichen Nutzungszeiten könnten weitaus höher liegen als die angegebenen Zeiten.

Was ebenfalls Limitationen mit sich bringt, ist dass die Smartphone-Nutzungszeit selbst nicht erhoben wurde, sondern mittels Smartphone-Besitzes operationalisiert wurde. Ein indirekter möglicher negativer Effekt der Nutzung von mobilen Endgeräten könnte gegebenenfalls in dieser Studie nicht erfasst worden sein, es ist anzunehmen, dass Aktivitäten im Freien in der Freizeitgestaltung mit der Medien-Nutzung oder auch mit dem Lesen konkurrieren.

Zudem könnte es sein, dass sich das Leseverhalten sowie das Verhalten bezüglich der Nutzung digitaler Medien weiter verändert haben. Möglicherweise könnte die zunehmende Digitalisierung mit steigendem Medienkonsum und vermehrter Smartphone-Nutzung verbunden sein, insbesondere bei kleinen Kindern, bei den unter 7-Jährigen der KiGGS-Erhebung verfügten demnach nur 2 % der Kinder über ein Smartphone. Im Vergleich hierzu besaßen im Alter von 12 bis 13 Jahren 89 % und 98 % der 16- bis 17-Jährigen ein eigenes Smartphone.

Es lässt sich nicht sagen, in wie weit und ob es einen Zuwachs an Smartphone-Besitz und Nutzung im Kleinkindalter gegeben hat. Ebenso wenig lässt sich sagen, in welchem Ausmaß eine Exposition gegenüber dem Smartphone bestand und ob die Nachbeobachtungszeit ausreichend lang war, um einen möglichen Effekt durch die Smartphone-Nutzung zu detektieren, vor allem da Myopie erst ab dem Grundschulalter auftritt.

Angesichts der Tatsache, dass die ersten Myopie-Epidemien vor der weit verbreiteten Nutzung digitaler Geräte auftraten, könnten Kinder einfach zu traditionellen Formen der Naharbeit zurückkehren, wie zum Beispiel dem Lesen von gedrucktem Material, wenn ihrer Smartphone-Nutzung jetzt Grenzen gesetzt werden. Wenn digitale Geräte noch mehr Zeit in Innenräumen fördern, müssen möglicherweise aktive Schritte unternommen werden, um Kinder dazu zu bringen, mit kürzlich etablierten Verhaltensmustern zu brechen und mehr Zeit im Freien zu verbringen. Eine Überbetonung der digitalen Bildschirmzeit kann negative Folgen haben, wenn andere wichtige Faktoren vernachlässigt werden. Derzeit gibt es keine Hinweise darauf, dass die Zeit mit der Nutzung digitaler Geräte gefährlicher ist als eine vergleichbare Zeit mit Lesen, aber in diesem Bereich sind weitere Untersuchungen erforderlich. (49)

Zusammenfassend ist die Prävalenz der Myopie bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland über einen Zeitraum von etwa zehn Jahren im Wesentlichen konstant

geblieben ist. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass Veränderungen im Lebensstil, wie die vermehrte Nutzung von Smartphones, zumindest bislang keinen starken Einfluss auf die Entstehung von Myopie hatte.

5.2 Die ikidS („ich komme in die Schule“) Studie

Die errechnete Myopieprävalenz lag in der ikidSII-Studie bei 17,3% bei Grundschulern in der 4. Klasse, im Alter von 9 bis 10 Jahren.

In einer vergleichbaren Erhebung von Kaymak et al. (41) wurden Daten zu Refraktionsfehlern und deren Versorgung mit Sehhilfen bei Kindern der 5. bis 7. Klasse an einem staatlichen Gymnasium im Raum Düsseldorf in Deutschland untersucht. Dabei nahmen im Herbst 2019 insgesamt 274 Schülerinnen und Schüler ($11,2 \pm 1,2$ Jahre) an optometrischen Messungen teil. Insgesamt wiesen 22 % (61 Kinder) der 274 Kinder eine Myopie (sphärisches Äquivalent $\leq -0,50$ dpt) auf, davon waren 11 % (7 Kinder) unkorrigiert. (41) Zum Vergleich unter den 287 refraktionsgemessenen Kindern der ikidSII-Kohorte wiesen 47 Kinder (17,3%) eine Myopie auf (sphärisches Äquivalent $\leq -0,50$ dpt), davon waren nach Elternangaben 59,6 % (28 Kinder) unkorrigiert. Unter den 38 Kindern der ikidS II-Studie, die nur auf einem der beiden Augen ein sphärisches Äquivalent von $\leq -0,5$ dpt aufwiesen, war der Anteil der Unkorrigierten mit 78,9 % (30 Kinder) noch höher. Der Anteil der Unkorrigierten war also in der ikidSII-Studie deutlich höher als in der vergleichbaren Untersuchung von Kaymak et al. Es zeigte sich demnach in der ikidSII-Studie eine etwas niedrigere Myopieprävalenz, wobei zu beachten ist, dass die Kinder der ikidSII-Studie im Durchschnitt etwas jünger (9-10 Jahre) waren als in der Untersuchung von Kaymak et al. ($11,2 \pm 1,2$ Jahre).

In anderer vergleichbarer Literatur liegt teilweise eine deutlich niedrigere Myopieprävalenz für die besagte Altersgruppe in Deutschland vor.

In einer etwas älteren Untersuchung der Prävalenz von Myopie in Deutschland von Jobke et al. aus dem Jahr 2008 (40) wurden zur gleichen Altersgruppe folgende Angaben gemacht: Es fand sich eine Prävalenz von 5,5 % unter den 7 bis 11-jährigen. Bei der Erhebung wurden die Eltern (im Alter von 24 bis 65 Jahren) und ihre Kinder (516 Probanden im Alter von 2 bis 35 Jahren) gebeten, einen Fragebogen zu ihrer Fehlsichtigkeit und Brillennutzung auszufüllen. Kurzsichtigkeit wurde als

sphärisches Äquivalent kleiner $-0,5$ dpt und Weitsichtigkeit als sphärisches Äquivalent größer $+0,5$ dpt definiert. Alle Angaben zur Fehlsichtigkeit wurden durch Befragung eines Optikers kontrolliert. Die Autoren schlussfolgerten, dass in Deutschland die Myopieprävalenz etwas geringer zu sein scheint als in Asien und Europa. (40)

Beide genannten Studien sind mit der ikidSII-Studie angesichts der Klassifikation der Myopie, der Altersgruppe und der Methodik annähernd vergleichbar.

Vergleicht man damit die entsprechenden Ergebnisse der KiGGS Welle 2 (2014-2017), wo allerdings das Vorliegen von Myopie mittels Elternfragebogen erhoben und durch das Vorhandensein einer Sehhilfe validiert wurde, ist die Myopieprävalenz mit 9,0% für die Altersgruppe der 7 bis 10-jährigen deutlich niedriger als die bei der ikidSII-Studie erhobene Prävalenz von 17,3%.

Vergleicht man nur die 9,4% (27 Kinder) mit bekannter Myopie (also Myopie in mindestens einem Auge mit Brille korrigiert) der ikidSII-Kohorte, ist die Prävalenz nahezu gleich. Eine Erklärung hierfür ist, dass mit der gewählten Methodik der ikidSII-Studie die tatsächliche Myopieprävalenz inklusive aller unkorrigierten Kinder erhoben wurde, was in der KiGGS-Studie wie bereits erläutert nicht der Fall war, da die Prävalenzerhebung allein über die Elternangabe und das Prüfen des Vorhandenseins einer Sehhilfe erfolgt ist.

Eine Meta-Analyse von Rudnicka et al. (1) zur weltweiten Myopieprävalenz zeigte für Kinder mit heller Hautfarbe und europäischer Abstammung eine Myopieprävalenz von 6,7% (95%-Konfidenzintervall: 4,1%–10,3%) für 10-Jährige. Für ostasiatische Kinder in derselben Altersgruppe wird eine Myopieprävalenz von 34,5% genannt, für dunkelhäutige Kinder 1,8%. (1, 2)

Eine Untersuchung von südkoreanischen Kindern im Alter von 7 bis 11 Jahren (N=7486, Myopie definiert als sphärisches Äquivalent $< -0,5$ dpt) aus dem Jahr 2008 ergab eine Myopieprävalenz von 48,2% (95%-Konfidenzintervall: 45,9%–50,6%). (179)

Hrynychak et al. veröffentlichten 2013 eine Untersuchung von 10 bis 15-jährigen Kindern in den USA (N=370, Myopie definiert als sphärisches Äquivalent $< -0,5$ dpt) bei der sich eine Myopieprävalenz von 42,2% zeigte. (180) Dies sind verglichen mit der in der ikidSII-Studie erhobenen Myopieprävalenz deutlich höhere Prävalenzen, allerdings auch nicht exakt die gleiche Altersgruppe.

Bei einer anderen Untersuchung von French et al. aus dem Jahr 2013 von 12-

jährigen Kindern in Australien (N=1196, Myopie definiert als sphärisches Äquivalent < -0,5 dpt, in Zykloplegie gemessen) ergab sich eine Myopieprävalenz von 17,3%.

(181)

Weltweit betrachtet nimmt die Myopieprävalenz zu. Es wurde prognostiziert, dass bis Ende des Jahrzehntes ein Drittel der Weltbevölkerung kurzsichtig sein werden. (3)

Die Prävalenzen unterscheiden sich weltweit jedoch sehr stark und schwanken über alle Altersgruppen beispielsweise zwischen 14 % in Indien und Nepal und 80 % in Hong Kong. (1)

Die Prävalenz der Hyperopie ist altersabhängig, weshalb auch hier beim Vergleich der Prävalenzen die gleiche Altersgruppe betrachtet werden muss. Die meisten Neugeborenen sind leicht hyperop (12), während Frühgeborene entweder weniger hyperop oder myop sind. (13) Castagno et al. (15) zeigte in einer Metaanalyse, dass es weltweit mehrere Studien zur Hyperopie-Prävalenz im Kindesalter gibt, im Vergleich der Studien zeigte sich jedoch eine große Variabilität in der Prävalenz von Hyperopie bei Kindern. Dies liegt zum Teil an den methodischen Merkmalen der einzelnen Studien. Hinsichtlich des Dioptrienwertes besteht kein Konsens über den Cut-Off-Punkt für die Hyperopie-Diagnose von Kindern und auch nicht über das am besten geeignete Maß: ein größerer oder kleinerer hyperoper Hornhautmeridian oder der Wert des sphärischen Äquivalents. (16) In der ikidsII-Studie wurde mithilfe des sphärischen Äquivalents eine Hyperopieprävalenz berechnet, es ergab sich für die Grundschüler in der 4. Klasse, im Alter von 9 bis 10 Jahren, eine Hyperopieprävalenz von 6% (18 Kinder, 95%-KI: 3,3 - 8,6). Eine 40 Querschnittsstudien umfassende Metaanalyse zeigte, dass die Prävalenz der Hyperopie im Bereich von 8,4% im Alter von sechs Jahren, von 2-3% zwischen 9 und 14 Jahren und von etwa 1% im Alter von 15 Jahren lag. (15) Der Anteil der Hyperopen lag also in der besagten Altersgruppe verglichen mit diesen Studien in der ikidSII-Studie etwas höher.

In einer vergleichbaren Erhebung von Kaymak et al. (41) waren von den insgesamt 274 untersuchten Schulkindern der Altersgruppe 9 bis 16 Jahre ($11,2 \pm 1,1$ Jahre) 60 % (163 Kinder) emmetrop und 18 % (50 Kinder) hyperop (Hyperopie: sphärischen Äquivalent > +0,50 dpt, Emmetropie: $-0,50 < \text{sphärischen Äquivalent} \leq +0,5$ dpt, Myopie: sphärischen Äquivalent $\leq -0,50$ dpt).

Bei der ikidSII-Studie ergab sich, dass bei 171 Kindern (57%, 95%-KI: 50,8 - 62,5) am rechten und linken Auge (beidseits) eine Emmetropie vorlag, welche genau wie in der Untersuchung von Kaymak et al. als sphärisches Äquivalent kleiner +0,5 dpt und

größer $-0,5$ dpt definiert war. Der Anteil der Emmetropen in den beiden Studien ist demnach vergleichbar.

Im Gegensatz dazu ist der Anteil der hyperopen Kinder in der ikidSII-Studie mit 6% (18 Kinder) deutlich niedriger als in der Kohorte von Kaymak et al. (41) mit 18 % (50 Kinder). Da wie bereits erläutert die Hyperopieprävalenz mit dem Alter zunehmend ist, wäre das etwas jüngere Durchschnittsalter der ikidSII-Kohorte eine mögliche Erklärung hierfür.

Es zeigte sich, dass nach Elternangaben 15,7% der Kinder der ikidSII-Kohorte eine Brille, bzw. Sehhilfe trugen. Vergleicht man dies mit der ikidSI Datenerhebung von 2014-2017, also als die Kinder in der ersten Grundschulklasse waren, so trugen 6,7% (246) der untersuchten Kinder eine Brille, bzw. Sehhilfe nach Elternangaben. (169) Demzufolge ist der Anteil der brillentragenden Kinder im Zeitraum von der ersten bis zur vierten Klasse um 9% gestiegen. In Bezug auf die Zunahme der Fehlsichtigkeit ist zumindest für die myopen Brechkraftfehler eine Übereinstimmung mit der Literatur zu finden. Das menschliche Auge ist bei Geburt weitsichtig (33) und bis ins Schulalter emmetropisiert es typischerweise. (34) Im Vorschulalter tritt die Myopie noch selten auf, mit der Anzahl an Bildungsjahren kommt sie jedoch immer häufiger vor. (35) Hierbei besteht der Zusammenhang zwischen Myopie und Bildung unabhängig von der Genetik. (36)

In der ikidSII-Studie lag bei 28 Kindern eine unkorrigierte beidseitige Myopie vor, bei weiteren 30 Kindern eine unkorrigierte einseitige Myopie.

Von 47 myop gemessenen Kindern (sphärisches Äquivalent beidseits $< -0,5$ dpt), bei denen Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe vorhanden waren, trugen 19 Kinder eine Sehhilfe, 28 trugen nach Elternangabe keine Sehhilfe oder Brille. Ein Anteil von 40% der beidseits myopen Kinder war demnach korrigiert und 60% der myopen Kinder waren unkorrigiert.

Dieser Anteil an unkorrigierten ist relativ hoch, verglichen mit den Ergebnissen der Publikation von Kaymak et al., hier waren von 61 myop gemessenen Kindern 7 Kinder unkorrigiert. (41) Wobei unkorrigiert in dieser Untersuchung einen Fernvisus $< 0,8$ ohne Sehhilfe bedeutet.

In der ikidSII wurde unkorrigiert definiert als die Elternangabe „Sehhilfe/Brille – nein“ am Elternfragebogen, ob der jeweilige Brillenwert den myopen Refraktionsfehler bestmöglich korrigiert, wurde nicht untersucht.

Der Anteil an nicht korrigierten myopen Refraktionsfehlern in der ikidSII-Studie, zeigt dass in Deutschland ein deutliches Potential zur Verbesserung der Korrektur von Brechkraftfehlern besteht.

Visuelle Aufgaben sind für den Lernerfolg von großer Bedeutung, denn der Großteil des Lernens in der Schule findet durch Lesen und Schreiben statt. Sehprobleme sind mit geringeren Leseleistungen verbunden (182), und die Lösung von Sehproblemen könnte zur Verbesserung von schulischen Leistungen führen (169), sowie zur generellen Lebensqualitätssteigerung beitragen. Brechkraftfehler und Auffälligkeiten im Binokularsehen können beispielsweise dazu führen, dass Aufgaben nur mangelhaft bearbeitet werden können. Ein Problem ist, dass Kinder ihren Seheinschränkung oft nicht selbst erkennen oder stark unterschätzen und diese von Lehrkräften und Eltern oft unbemerkt bleibt und daher nicht behandelt wird. (41)

Die Entwicklung der in der Schulzeit erworbenen Kurzsichtigkeit beginnt zwischen dem 5. und 10. Lebensjahr. (37) Um der Entwicklung einer hohen Myopie vorzubeugen, gibt es inzwischen spezielle Brillengläser (95, 96), multifokale Kontaktlinsen (97) und die pharmakologische Therapie mit Atropin (98). Zudem kann die Entwicklung einer Myopie bei Kindern durch regelmäßigen Aufenthalt im Freien bei Tageslicht gehemmt werden. (20, 41)

Alle Maßnahmen können allerdings nur helfen, wenn Kinder und Jugendliche mit dem Risiko einer starken Myopieprogression bereits frühzeitig identifiziert werden. Von den Autoren Kaymak et al. wurde ein möglicher Ansatz hierfür vorgeschlagen: Reihenuntersuchungen in Schulen, was in einem Pilotprojekt hinsichtlich logistischer Machbarkeit untersucht wurde. Es wird von den Autoren die Installation einer Gruppenprophylaxe für Myopie entsprechend der an Schulen und Kindergärten gut etablierten zahnmedizinischen Gruppenprophylaxe vorgeschlagen. Es soll aus dabei erhobenen Daten insbesondere das individuelle Risiko einer leichten, mittelgradigen oder hohen Myopie abgeschätzt werden und mit der Information Kinder und deren Eltern frühzeitig befähigen, myopiehemmende Maßnahmen zu ergreifen. (41)

In den vom Gemeinsamen Bundesausschuss festgelegten Richtlinien über die Früherkennung von Krankheiten bei Kindern ist das Erkennen von Sehstörungen in den Untersuchungen U7 bis U9 festgelegt. (183) Mit 5,5 Jahren endet der vorgesehene Untersuchungszeitraum für die U9-Untersuchung jedoch. In der Literatur ist beschrieben, dass sich eine Schulmyopie zwischen dem 5. und 10.

Lebensjahr entwickelt. (37)

Die späteren Jugendgesundheitsuntersuchungen J1 und J2 sollen zur Früherkennung von Erkrankungen, die die Entwicklung des Kindes gefährden, dienen und finden zwischen dem 12. und 17. Lebensjahr statt. (183)

Kaymak et al. schlagen als zweiten möglichen Ansatz vor, dass bei diesen Untersuchungen, das Erheben des Visus helfen kann, eine unentdeckte Myopie oder eine Myopieprogression aufzudecken, welche dann genauer durch einen Augenarzt oder Optometristen untersucht wird. Dieser Ansatz wäre mit weniger Personalaufwand verbunden als Gruppenprophylaxen in den Schulen. (41)

Der hohe Anteil der unkorrigierten myopen Kinder (28 Kinder von 47 myop gemessenen Kindern) der ikidSII-Studie zeigt, dass erhebliches Potential zur Verbesserung der Versorgung von Kurzsichtigkeit besteht. Die Ergebnisse der ikidSII-Studie werfen die Frage auf, ob weitere Sehscreenings im Verlaufe der Kindheit von Nöten sind, um eine frühe Erkennung und Korrektur von Fehlsichtigkeiten zu gewährleisten. Die in der ikidSII untersuchte Altersgruppe von 9 bis 10 Jahren fällt in den Zeitraum zwischen der U9 und der J1, zusätzlich in das Entwicklungsalter einer in der Schulzeit beginnenden Kurzsichtigkeit. Der von Kaymak et al. vorgeschlagene Ansatz, eine Visuserhebung im Rahmen der J1 durchzuführen, wäre eine Möglichkeit eine Verbesserung der Versorgung und Erkennung von Kurzsichtigkeit zu erzielen.

Fraglich ist, ob eine Vorziehung des Zeitpunktes dieser zusätzlichen Visuserhebung sinnvoll wäre, um unentdeckte Myopien und Myopieprogression früher aufzudecken, früher zu behandeln und früher die oben genannten Maßnahmen einzusetzen.

Ein Ansatz könnte eine zusätzliche Jugendgesundheitsuntersuchung zur Visuserhebung beim niedergelassenen Kinderarzt sein, beispielsweise im 9. Lebensjahr. Dieser Ansatz wäre wahrscheinlich mit weniger Personalaufwand verbunden als Gruppenprophylaxen in den Schulen.

Die Ergebnisse der ikidSII-Studie legen nahe, dass um unentdeckte Myopien und Myopieprogression früh aufzudecken die Rolle der Schulen und insbesondere der Lehrkräfte genauer betrachtet werden könnte. In einer 2022 von Tille (184) veröffentlichten Untersuchung zur Sensibilität von Lehrkräften in Bezug auf Kurzsichtigkeit zeigte sich, dass der Grundsatz „Prävention vor Intervention“ von den Lehrkräften bisher nicht im Zusammenhang mit Kurzsichtigkeit beachtet wird. Da Lehrende jedoch einen großen Anteil an der Prävention von Kurzsichtigkeit haben

können, sei es besonders wichtig, deren Einfluss auf Myopieprävention von Kindern und Jugendlichen zu verdeutlichen. Mit mehr Aufklärungsarbeit und Sensibilisierung zu Myopie und Myopieprogression könnte das Lehrpersonal mehr Verantwortung übernehmen. Die Autorin schlägt unter anderem vor, dass für die Umsetzung dieses Präventionsauftrags Schulen verstärkt mit Krankenkassen zusammenarbeiten könnten, beispielsweise in Form von Pflichtmodulen für Lehramtsstudierende, zur Erarbeitung von Präventionskonzepten.

In der Untersuchung wird das Fazit gezogen, dass sich die Kurzsichtigkeitsprävalenz bei Kindern und Jugendlichen nur senken lässt, wenn verschiedene Akteure zusammenwirken, damit sind alle Personen oder Institutionen gemeint, die viel Zeit mit Kindern und Jugendlichen verbringen und Einfluss auf die im Freien verbrachte Zeit haben. Obwohl das Auge eines der wichtigsten Sinnesorgane des Menschen ist, scheint der Thematik bisher noch nicht ausreichend Aufmerksamkeit in Schulen gewidmet zu werden. (184)

Betrachtet man die weltweite Häufigkeitsverteilung der Ursachen für Erblindung, so sind unkorrigierte Refraktionsfehler die zweithäufigste Ursache, nach dem Grauen Star. Betrachtet man die Ursachen der Sehbehinderungen sind unkorrigierte Refraktionsfehler die häufigste Ursache. (149)

Ein weiteres hervorzuhebendes Ergebnis der Analysen ist, dass vor allem die nur auf einem Auge fehlsichtigen Kinder einen hohen Anteil an nicht korrigierten Myopien aufwiesen. Es ist anzunehmen, dass wenn ein Auge in der Lage ist den Refraktionsfehler des anderen auszugleichen, es erschwert wird den einseitigen Refraktionsfehler zu erkennen. Das Risiko der Entstehung einer Amblyopie ist in dem Alter der Kinder der untersuchten Kohorte deutlich geringer als in früheren Lebensjahren, jedoch besteht auch in dem Alter noch ein geringes Risiko hierfür. Wenn sich eine Amblyopie ausgebildet haben sollte, dauert eine erfolgversprechende Therapie nicht selten bis zum 13. oder 14. Lebensjahr und sollte zur Vermeidung von möglichen Rezidiven nicht zu früh beendet werden. Auch bei Spät-Amblyopien im Schulalter und bei relativen Amblyopien sollte der Versuch einer entsprechenden Therapie unbedingt erfolgen. (108) Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Optimierung der Refraktionsfehler durch die Korrektur mittels Sehhilfe und damit auch die Möglichkeit der Optimierung verschiedener Folgen der nicht korrigierten Refraktionsfehler.

In einer aktuellen Metaanalyse aus insgesamt fünf Studien zeigte sich kein Zusammenhang zwischen Bildschirmzeit und Myopie. (69) Dies stimmt mit den ikidS II Ergebnissen überein, hier konnten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zu den von Eltern angegebenen Bildschirmzeiten, beziehungsweise Nutzungszeiten von elektronischen Endgeräten, nachgewiesen werden.

Auch generell vermehrte Naharbeit, wie zum Beispiel Lesen, war in der ikidS-Studie nicht nachweisbar mit Myopie assoziiert. Dies stimmt nicht mit anderen Studien überein, die zeigten, dass für das Entstehen von Myopie Naharbeitszeit ein Risikofaktor ist. (173)

In Bezug auf die ikidS-Studie sollten einige Limitationen berücksichtigt werden. Die Definition der Myopie beruht in dieser Datenerhebung zwar auf Refraktionsmessungen und nicht wie in der KiGGS-Studie nur auf Elternangaben. Eine solche Refraktionsmessung sollte jedoch wie beschrieben, bei Kindern in Zykloplegie (unter Ausschaltung der Akkommodation) erfolgen. Dies ist im Rahmen der ikidS Studie nicht erfolgt. Dafür wurde auf ein Messverfahren mit Plusoptix-Geräten zurückgegriffen, bei dem durch die Verwendung von Infrarotlicht eine Blendung des Patienten vermieden wird, die Pupillen bleiben auch ohne Weittropfen groß.

Die Angaben zum Umfang der Mediennutzung wurden anhand von Elternangaben aus Fragebögen erhoben, hierbei könnte soziale Erwünschtheit einen Einfluss auf die Angaben gehabt haben. Die tatsächlichen Nutzungszeiten könnten weitaus höher liegen als die angegebenen Zeiten. Zudem ist es fraglich, wie valide die Elternangaben zur Bildschirmzeit oder zum Umfang der Mediennutzung generell sind, selbst wenn soziale Erwünschtheit keine Rolle spielen würde, kann es schwierig sein, vor allem bei der Nutzung verschiedener Medien, die tägliche Nutzungszeit korrekt einzuschätzen. Ein weiterer möglicher Faktor, der eine Rolle spielen könnte, ist, da es sich um Kinder der 4. Klasse handelt, dass viele Kinder in diesem Alter in Einrichtungen wie einer Nachmittagsbetreuung sind oder bereits ein eigenes Smartphone besitzen. Diese Faktoren können das exakte Nachvollziehen der genauen Nutzungszeit für die Eltern erschweren.

Eine weitere Limitation ist zu erwähnen, die die Untersuchung verschiedener Tätigkeiten, die am ehesten in geschlossenen Räumen (nicht im Freien) stattfinden, mittels Scorebildung zusammengefasst wurde. Hier wurde wie beschrieben zur

Auswertung der Daten eine neue Variable aus den Mediennutzungsparameter (die tägliche Nutzungszeit von Fernsehen und Videos, die tägliche Nutzungszeit von Computern und/oder Spielekonsolen, die tägliche Nutzungszeit von sonstigen mobilen Endgeräten zur Internetnutzung, zum Beispiel Smartphones) gebildet, einschließlich der täglich verbrachten Zeit mit Malen und Basteln, dem Lesen von Büchern, in der dem Kind Bücher vorgelesen werden und dem Hören von Hörspielen. Hierfür wurden die jeweils verbrachten Stunden aufaddiert um einen Score zu bilden und die insgesamt verbrachte Zeit einzuschätzen und vergleichen zu können. Es ist hierbei jedoch zu bedenken, dass ein Kind die ermittelte Dauer der genannten Aktivitäten (bis zu 15 Stunden am Tag) nicht unbedingt nachgehen kann, sondern es sich um ein Schätzungsmaß der insgesamt mit solchen Aktivitäten verbrachten Zeit handelt.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass eine der Einschränkungen dieser Dissertationsarbeit darin besteht, dass Naharbeit und Aufenthaltszeit im Freien hauptsächlich mittels Fragebögen geschätzt wurde. Diese sind unweigerlich Gegenstand von Erinnerungsproblemen und sekundärer Berichterstattung durch Eltern oder Lehrkräfte. Darüber hinaus ist die Menge an Details, die abgefragt werden kann, begrenzt. (49)

Auch in der ikidS-Studie könnte die Nutzung von neuen Medien indirekt einen negativen Effekt haben, der nicht näher analysiert werden konnte: Die mit Aktivitäten im Freien verbrachte Zeit konkurriert in der Freizeitgestaltung mit der Medien-Nutzung oder auch mit dem Lesen. Zudem könnte es sein, dass obwohl die Datenerhebung aus 2017 bis 2020 stammt, sich das Verhalten in Bezug auf die Nutzung neuer Medien im Rahmen der immer weiter fortschreitenden Digitalisierung nach wie vor ändert. Die Auswirkungen der Covid-19-Pandemie und die damit verbundene Digitalisierung im Bildungssektor ist in den erhobenen Daten nicht abgebildet. Es ist davon auszugehen, dass die Bildschirmzeit, also die Nutzungszeit neuer Medien, hierdurch weiter zugenommen hat. In welchem Ausmaß diese weiter steigende Expositionszeit gegenüber neuen Medien einen möglichen Effekt auf die Myopieprävalenz hat, und wie lange die Nachbeobachtungszeit zum Detektieren eines solchen Effekts sein muss, ist fraglich.

6. Zusammenfassung

Ziel dieser Doktorarbeit ist es die aktuelle Situation sowie Veränderungen der Myopieprävalenz und der Versorgung von Brechkraftfehlern bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland zu erfassen und mögliche Risikofaktoren zu analysieren. Hierzu wurden zwei verschiedene Studienansätze untersucht.

Der erste Teil der in dieser Dissertation ausgewerteten Daten befasst sich mit der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen (0-17 Jahren) in Deutschland (KiGGS-Basiserhebung, 2003–2006, N = 17 640 und KiGGS Welle 2, 2014–2017, N = 15 023). Ziel dieser Studie war es, Veränderungen der Myopieprävalenz in Deutschland zu beschreiben. Das Vorliegen von Myopie wurde mittels Elternfragebogen erhoben und durch das Vorhandensein einer Sehhilfe validiert, sowie die Myopieprävalenz berechnet. Mittels logistischer Regression wurden auf Basis der Daten aus KiGGS Welle 2 mögliche Risikofaktoren für das Vorliegen von Myopie untersucht.

Zusammenfassend zeigte sich in keiner der Altersgruppen beider Geschlechter eine relevante und statistisch signifikante Veränderung in der Myopieprävalenz. Im Alter von 0–17 Jahren betrug die Myopieprävalenz in Deutschland in den Jahren 2003–2006 11,6 % (95%-Konfidenzintervall: 11,0; 12,2) und in den Jahren 2014–2017 11,4 %.

Es zeigte sich im adjustierten Modell (adjustiert für Geschlecht, Alter, sozioökonomischen Status der Familie, Migrationshintergrund) kein Zusammenhang der Myopie mit digitaler Mediennutzung. Längeres Lesen von Büchern war mit Myopie assoziiert, für mehr als zwei Stunden Lesen pro Tag ergab sich eine Odds Ratio von 1,69 (95%-Konfidenzintervall: 1,3; 2,2).

Zudem befasst sich diese Dissertation mit einer Primärdatenerhebung der Refraktionsfehler der Studienteilnehmer der zweiten Welle der „ich komme in die Schule“-Studie (ikidSII, 2017-2020, N= 848). Die ikidSII-Studie ist eine bevölkerungsbezogene prospektive Kohortenstudie und wurde im Raum Mainz-Bingen (Rheinland-Pfalz, Deutschland) durchgeführt. Einerseits wurden mittels Elternfragebogen Daten zum Vorhandensein einer Sehhilfe erhoben. Zusätzlich dazu wurden bei 303 Kindern der Kohorte Refraktionsmessungen mittels Autorefraktor durchgeführt und die Myopieprävalenz berechnet. Auf Basis der Daten aus ikidS wurden mittels logistischer Regression mögliche Risikofaktoren für Myopie betrachtet.

Die Myopieprävalenz (in beiden Augen) lag bei 17,3% (52 Kinder) für die Grundschul Kinder der 4. Klasse. Bei weiteren 13,6% (41 Kindern) der refraktionsgemessenen Kinder lag eine Myopie auf einem der beiden Augen vor. Von 47 beidseits myop gemessenen Kindern, bei denen Angaben zum Vorliegen einer Sehhilfe vorhanden waren, trugen lediglich 40% der Kinder eine Brille, 60% waren unkorrigiert.

In der Datenerhebung der ikidSII-Studie konnten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zu digitalen Mediennutzungszeiten nachgewiesen werden. Auch generell vermehrte Naharbeit, wie zum Beispiel Lesen, war in der ikidSII-Studie nicht nachweisbar mit Myopie assoziiert. Dies stimmt nicht mit anderen Studien überein, die zeigten, dass für das Entstehen von Myopie Naharbeitszeit ein Risikofaktor ist.

Es lässt sich zusammenfassen, dass über einen Zeitraum von 10 Jahren sich die Myopieprävalenz bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland demnach nahezu unverändert zeigt, daher scheint zumindest bislang kein nachweisbarer Einfluss von Veränderungen in der Mediennutzung auf die Myopie-Entstehung zu bestehen. Dennoch sollten zukünftige Studien den Einfluss eventuell weiter steigender Mediennutzung sowie Langzeiteffekte untersuchen. Hervorzuheben ist, dass die untersuchten Daten vor Beginn der Pandemie erhoben wurden. Insbesondere der hohe Anteil an unkorrigierten myopen Kindern in der 4. Klasse zeigt auf, dass in dieser Altersspanne eine Vorsorgeuntersuchung zur Früherkennung eines myopen Brechkraftfehlers derzeit zu fehlen scheint.

7. Literaturverzeichnis

1. Rudnicka AR, Kapetanakis VV, Wathern AK, Logan NS, Gilmartin B, Whincup PH, et al. Global variations and time trends in the prevalence of childhood myopia, a systematic review and quantitative meta-analysis: implications for aetiology and early prevention. *British Journal of Ophthalmology*. 2016;100(7):882-90.
2. Schuster A, Elflein H, Pokora R, Urschitz M. Prävalenz und Risikofaktoren der Kurzsichtigkeit bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse der KiGGS-Studie. *Klinische Pädiatrie*. 2017;229(04):234-40.
3. Dolgin E. The myopia boom. *Nature*. 2015;519(7543):276-8.
4. Grehn F. *Augenheilkunde*. 32., erweiterte Auflage ed. Berlin: Springer-Verlag GmbH; 2019.
5. H. De Groot, Claudioverfuerth. Fehlsichtigkeit 2021 [Available from: https://de.wikipedia.org/wiki/Fehlsichtigkeit#cite_note-2].
6. Zink WdVudLvC. *Pschyrembel klinisches Wörterbuch, Mit klinischen Syndromen und Nomina Anatomica*. . 256 ed. Berlin: De Gruyter; 1990.
7. Augustin AJ. *Augenheilkunde*. 3. Berlin: Springer; 2007.
8. Gerhard K. Lang JE, Oskar Gareis, Gabriele E. Lang, Stefan J. Lang, Doris Recker, Christop W. Spraul, Peter Wagner. *Augenheilkunde*. 6. Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2019.
9. Wolfram C, Hohn R, Kottler U, Wild P, Blettner M, Bühren J, et al. Prevalence of refractive errors in the European adult population: the Gutenberg Health Study (GHS). *Br J Ophthalmol*. 2014;98(7):857-61.
10. Sheeladevi S, Seelam B, Nukella PB, Borah RR, Ali R, Keay L. Prevalence of refractive errors, uncorrected refractive error, and presbyopia in adults in India: A systematic review. *Indian J Ophthalmol*. 2019;67(5):583-92.
11. Hashemi H, Fotouhi A, Yekta A, Pakzad R, Ostadimoghaddam H, Khabazkhoob M. Global and regional estimates of prevalence of refractive errors: Systematic review and meta-analysis. *J Curr Ophthalmol*. 2018;30(1):3-22.
12. Goldschmidt E. Refraction in the newborn. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 1969;47(3):570-8.
13. Banks MS. Infant refraction and accommodation. *Int Ophthalmol Clin*. 1980;20(1):205-32.

14. Ingram RM, Arnold PE, Dally S, Lucas J. Results of a randomised trial of treating abnormal hypermetropia from the age of 6 months. *Br J Ophthalmol.* 1990;74(3):158-9.
15. Castagno VD, Fassa AG, Carret ML, Vilela MA, Meucci RD. Hyperopia: a meta-analysis of prevalence and a review of associated factors among school-aged children. *BMC Ophthalmol.* 2014;14:163.
16. Tarczy-Hornoch K. The epidemiology of early childhood hyperopia. *Optom Vis Sci.* 2007;84(2):115-23.
17. Jiang X, Tarczy-Hornoch K, Stram D, Katz J, Friedman DS, Tielsch JM, et al. Prevalence, Characteristics, and Risk Factors of Moderate or High Hyperopia among Multiethnic Children 6 to 72 Months of Age. *Ophthalmology.* 2019;126(7):989-99.
18. Borchert MS, Varma R, Cotter SA, Tarczy-Hornoch K, McKean-Cowdin R, Lin JH, et al. Risk factors for hyperopia and myopia in preschool children the multi-ethnic pediatric eye disease and Baltimore pediatric eye disease studies. *Ophthalmology.* 2011;118(10):1966-73.
19. Parker B, Connaughton VP. Effects of Nicotine on Growth And Development in Larval Zebrafish. *Zebrafish.* 2007;4(1):59-68.
20. Rose KA, Morgan IG, Ip J, Kifley A, Huynh S, Smith W, et al. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology.* 2008;115(8):1279-85.
21. Flitcroft DI, He M, Jonas JB, Jong M, Naidoo K, Ohno-Matsui K, et al. IMI - Defining and Classifying Myopia: A Proposed Set of Standards for Clinical and Epidemiologic Studies. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2019;60(3):M20-M30.
22. Ziemssen F, Lagreze W, Voykov B. [Secondary diseases in high myopia]. *Ophthalmologie.* 2017;114(1):30-43.
23. Wolfram C. Epidemiologie von Refraktionsfehlern. *Der Ophthalmologe.* 2017;114(7):673-82.
24. Hopf S, Korb C, Nickels S, Schulz A, Munzel T, Wild PS, et al. Prevalence of myopic maculopathy in the German population: results from the Gutenberg health study. *Br J Ophthalmol.* 2020;104(9):1254-9.
25. Ohno-Matsui K. Proposed classification of posterior staphylomas based on analyses of eye shape by three-dimensional magnetic resonance imaging and wide-field fundus imaging. *Ophthalmology.* 2014;121(9):1798-809.

26. Chang L, Pan CW, Ohno-Matsui K, Lin X, Cheung GC, Gazzard G, et al. Myopia-related fundus changes in Singapore adults with high myopia. *Am J Ophthalmol.* 2013;155(6):991-9 e1.
27. Ohno-Matsui K, Tokoro T. The progression of lacquer cracks in pathologic myopia. *Retina.* 1996;16(1):29-37.
28. Ohno-Matsui K, Yoshida T, Futagami S, Yasuzumi K, Shimada N, Kojima A, et al. Patchy atrophy and lacquer cracks predispose to the development of choroidal neovascularisation in pathological myopia. *Br J Ophthalmol.* 2003;87(5):570-3.
29. Wong TY, Ferreira A, Hughes R, Carter G, Mitchell P. Epidemiology and disease burden of pathologic myopia and myopic choroidal neovascularization: an evidence-based systematic review. *Am J Ophthalmol.* 2014;157(1):9-25 e12.
30. Morgan IG, Ohno-Matsui K, Saw S-M. Myopia. *The Lancet.* 2012;379(9827):1739-48.
31. Verhoeven VJ, Wong KT, Buitendijk GH, Hofman A, Vingerling JR, Klaver CC. Visual consequences of refractive errors in the general population. *Ophthalmology.* 2015;122(1):101-9.
32. Bourne RRA, Jonas JB, Flaxman SR, Keeffe J, Leasher J, Naidoo K, et al. Prevalence and causes of vision loss in high-income countries and in Eastern and Central Europe: 1990–2010. *British Journal of Ophthalmology.* 2014;98(5):629-38.
33. Herrheiser J. *Die Refraktionsentwicklung des menschlichen Auges.* Berlin: Verlag von Fischer's Medic; 1892.
34. Alexander K, Schuster, Laura Krause, Clara Kuchenbäcker, Franziska Prütz, Heike M. Elflein, Norbert Pfeiffer, et al. Prävalenz von Kurzsichtigkeit und deren Veränderung bei Kindern und Jugendlichen, Ergebnisse der deutschen KiGGS-Studie. *Deutsches Ärzteblatt.* 2020.
35. Mirshahi A, Ponto KA, Hoehn R, Zwiener I, Zeller T, Lackner K, et al. Myopia and Level of Education. *Ophthalmology.* 2014;121(10):2047-52.
36. Mountjoy E, Davies NM, Plotnikov D, Smith GD, Rodriguez S, Williams CE, et al. Education and myopia: assessing the direction of causality by mendelian randomisation. *BMJ.* 2018;361:k2022.
37. Wesemann W. [Analysis of spectacle lens prescriptions shows no increase of myopia in Germany from 2000 to 2015]. *Ophthalmologie.* 2018;115(5):409-17.

38. Morgan IG, French AN, Ashby RS, Guo X, Ding X, He M, et al. The epidemics of myopia: Aetiology and prevention. *Progress in Retinal and Eye Research*. 2018;62:134-49.
39. Keresztes A, Schroth A. Light and electron microscopic investigation of in vitro starch synthesis in chromoplasts. *Cytobios*. 1979;26(103-104):185-91.
40. Jobke S, Kasten E, Vorwerk C. The prevalence rates of refractive errors among children, adolescents, and adults in Germany. *Clin Ophthalmol*. 2008;2(3):601-7.
41. Kaymak H, Neller K, Funk S, Langenbacher A, Seitz B, Schwahn H. [Optometric eye screening in schools : First results of a pilot project on logistical feasibility]. *Ophthalmologe*. 2022;119(Suppl 1):25-32.
42. Truckenbrod C, Meigen C, Brandt M, Vogel M, Sanz Diez P, Wahl S, et al. Longitudinal analysis of axial length growth in a German cohort of healthy children and adolescents. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2021;41(3):532-40.
43. Yang L, Vass C, Smith L, Juan A, Waldhor T. Thirty-five-year trend in the prevalence of refractive error in Austrian conscripts based on 1.5 million participants. *Br J Ophthalmol*. 2020;104(10):1338-44.
44. Williams KM, Bertelsen G, Cumberland P, Wolfram C, Verhoeven VJM, Anastasopoulos E, et al. Increasing Prevalence of Myopia in Europe and the Impact of Education. *Ophthalmology*. 2015;122(7):1489-97.
45. Thorn F, Cruz AA, Machado AJ, Carvalho RA. Refractive status of indigenous people in the northwestern Amazon region of Brazil. *Optom Vis Sci*. 2005;82(4):267-72.
46. Kempen JH, Mitchell P, Lee KE, Tielsch JM, Broman AT, Taylor HR, et al. The prevalence of refractive errors among adults in the United States, Western Europe, and Australia. *Arch Ophthalmol*. 2004;122(4):495-505.
47. Vitale S, Sperduto RD, Ferris FL, 3rd. Increased prevalence of myopia in the United States between 1971-1972 and 1999-2004. *Arch Ophthalmol*. 2009;127(12):1632-9.
48. Kleinstejn RN, Jones LA, Hullett S, Kwon S, Lee RJ, Friedman NE, et al. Refractive error and ethnicity in children. *Arch Ophthalmol*. 2003;121(8):1141-7.
49. Morgan IG, Wu PC, Ostrin LA, Tideman JWL, Yam JC, Lan W, et al. IMI Risk Factors for Myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2021;62(5):3.

50. Nickels S, Hopf S, Pfeiffer N, Schuster AK. Myopia is associated with education: Results from NHANES 1999-2008. *PLoS One*. 2019;14(1):e0211196.
51. Guo Y, Liu LJ, Xu L, Lv YY, Tang P, Feng Y, et al. Outdoor activity and myopia among primary students in rural and urban regions of Beijing. *Ophthalmology*. 2013;120(2):277-83.
52. Li SM, Li SY, Kang MT, Zhou Y, Liu LR, Li H, et al. Near Work Related Parameters and Myopia in Chinese Children: the Anyang Childhood Eye Study. *PLoS One*. 2015;10(8):e0134514.
53. Saxena R, Vashist P, Tandon R, Pandey RM, Bhardawaj A, Menon V, et al. Prevalence of myopia and its risk factors in urban school children in Delhi: the North India Myopia Study (NIM Study). *PLoS One*. 2015;10(2):e0117349.
54. Skeller E. Anthropological and ophthalmological studies on the Angmagssalik Eskimos. København,: C.A. Reitzel; 1954. 211 p. p.
55. Mutti DO, Mitchell GL, Moeschberger ML, Jones LA, Zadnik K. Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002;43(12):3633-40.
56. Saw SM, Cheng A, Fong A, Gazzard G, Tan DT, Morgan I. School grades and myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2007;27(2):126-9.
57. Morgan IG, Rose KA. Myopia and international educational performance. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2013;33(3):329-38.
58. Goldschmidt E. The mystery of myopia. *Acta Ophthalmol Scand*. 2003;81(5):431-6.
59. Parssinen O, Lyyra AL. Myopia and myopic progression among schoolchildren: a three-year follow-up study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1993;34(9):2794-802.
60. Rose KA, Morgan IG, Smith W, Burlutsky G, Mitchell P, Saw SM. Myopia, lifestyle, and schooling in students of Chinese ethnicity in Singapore and Sydney. *Arch Ophthalmol*. 2008;126(4):527-30.
61. Jones LA, Sinnott LT, Mutti DO, Mitchell GL, Moeschberger ML, Zadnik K. Parental history of myopia, sports and outdoor activities, and future myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007;48(8):3524-32.
62. Xiong S, Sankaridurg P, Naduvilath T, Zang J, Zou H, Zhu J, et al. Time spent in outdoor activities in relation to myopia prevention and control: a meta-analysis and systematic review. *Acta Ophthalmol*. 2017;95(6):551-66.

63. He M, Xiang F, Zeng Y, Mai J, Chen Q, Zhang J, et al. Effect of Time Spent Outdoors at School on the Development of Myopia Among Children in China: A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2015;314(11):1142-8.
64. Ashby RS, Schaefel F. The effect of bright light on lens compensation in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010;51(10):5247-53.
65. Liu S, Ye S, Xi W, Zhang X. Electronic devices and myopic refraction among children aged 6-14 years in urban areas of Tianjin, China. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2019;39(4):282-93.
66. Hansen MH, Laigaard PP, Olsen EM, Skovgaard AM, Larsen M, Kessel L, et al. Low physical activity and higher use of screen devices are associated with myopia at the age of 16-17 years in the CCC2000 Eye Study. *Acta Ophthalmol*. 2020;98(3):315-21.
67. Lin LL, Shih YF, Hsiao CK, Chen CJ. Prevalence of myopia in Taiwanese schoolchildren: 1983 to 2000. *Ann Acad Med Singap*. 2004;33(1):27-33.
68. Sensaki S, Sabanayagam C, Verkicharla PK, Awodele A, Tan KH, Chia A, et al. An Ecologic Study of Trends in the Prevalence of Myopia in Chinese Adults in Singapore Born from the 1920s to 1980s. *Ann Acad Med Singap*. 2017;46(6):229-36.
69. Lanca C, Saw SM. The association between digital screen time and myopia: A systematic review. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2020;40(2):216-29.
70. Tsai TH, Liu YL, Ma IH, Su CC, Lin CW, Lin LL, et al. Evolution of the Prevalence of Myopia among Taiwanese Schoolchildren: A Review of Survey Data from 1983 through 2017. *Ophthalmology*. 2021;128(2):290-301.
71. Yam JC, Tang SM, Kam KW, Chen LJ, Yu M, Law AK, et al. High prevalence of myopia in children and their parents in Hong Kong Chinese Population: the Hong Kong Children Eye Study. *Acta Ophthalmol*. 2020.
72. Bez D, Megreli J, Bez M, Avramovich E, Barak A, Levine H. Association Between Type of Educational System and Prevalence and Severity of Myopia Among Male Adolescents in Israel. *JAMA Ophthalmology*. 2019;137(8).
73. Zylbermann R, Landau D, Berson D. The Influence of Study Habits on Myopia in Jewish Teenagers. *Journal of Pediatric Ophthalmology & Strabismus*. 1993;30(5):319-22.
74. Koh V, Yang A, Saw SM, Chan YH, Lin ST, Tan MMH, et al. Differences in Prevalence of Refractive Errors in Young Asian Males in Singapore between 1996–1997 and 2009–2010. *Ophthalmic Epidemiology*. 2014;21(4):247-55.

75. Au Eong KG, Tay TH, Lim MK. Race, culture and Myopia in 110,236 young Singaporean males. *Singapore Med J.* 1993;34(1):29-32.
76. Saw SM, Goh PP, Cheng A, Shankar A, Tan DT, Ellwein LB. Ethnicity-specific prevalences of refractive errors vary in Asian children in neighbouring Malaysia and Singapore. *Br J Ophthalmol.* 2006;90(10):1230-5.
77. Guggenheim JA, McMahon G, Northstone K, Mandel Y, Kaiserman I, Stone RA, et al. Birth order and myopia. *Ophthalmic Epidemiol.* 2013;20(6):375-84.
78. Molitoris J, Barclay K, Kolk M. When and Where Birth Spacing Matters for Child Survival: An International Comparison Using the DHS. *Demography.* 2019;56(4):1349-70.
79. Guggenheim JA, Williams C. Role of Educational Exposure in the Association Between Myopia and Birth Order. *JAMA Ophthalmology.* 2015;133(12).
80. Zhao L, Zhou M. Do only children have poor vision? Evidence from China's One-Child Policy. *Health Economics.* 2018;27(7):1131-46.
81. Rosner M, Belkin M. Intelligence, Education, and Myopia in Males. *Archives of Ophthalmology.* 1987;105(11):1508-11.
82. Stingl JV, Ban SA, Nagler M, Schmidtmann I, Wild PS, Lackner KJ, et al. Five-year change in refractive error and its risk factors: results from the Gutenberg Health Study. *British Journal of Ophthalmology.* 2021.
83. Williams KM, Hysi PG, Yonova-Doing E, Mahroo OA, Snieder H, Hammond CJ. Phenotypic and genotypic correlation between myopia and intelligence. *Scientific Reports.* 2017;7(1).
84. IV. Observations relative to the near and distant sight of different persons. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London.* 1997;103:31-50.
85. Lim HT, Yoon JS, Hwang S-S, Lee SY. Prevalence and associated sociodemographic factors of myopia in Korean children: the 2005 third Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES III). *Japanese Journal of Ophthalmology.* 2011;56(1):76-81.
86. Varma R, Kim JS, Burkemper BS, Wen G, Torres M, Hsu C, et al. Prevalence and Causes of Visual Impairment and Blindness in Chinese American Adults. *JAMA Ophthalmology.* 2016;134(7).
87. Theophanous C, Modjtahedi B, Batech M, Marlin D, Luong T, Fong D. Myopia prevalence and risk factors in children. *Clinical Ophthalmology.* 2018;Volume 12:1581-7.

88. Jan C, Xu R, Luo D, Xiong X, Song Y, Ma J, et al. Association of Visual Impairment With Economic Development Among Chinese Schoolchildren. *JAMA Pediatrics*. 2019;173(7).
89. Barnes S, Wu JF, Bi HS, Wang SM, Hu YY, Wu H, et al. Refractive Error, Visual Acuity and Causes of Vision Loss in Children in Shandong, China. The Shandong Children Eye Study. *PLoS ONE*. 2013;8(12).
90. He M, Zeng J, Liu Y, Xu J, Pokharel GP, Ellwein LB. Refractive Error and Visual Impairment in Urban Children in Southern China. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2004;45(3).
91. He M, Huang W, Zheng Y, Huang L, Ellwein LB. Refractive Error and Visual Impairment in School Children in Rural Southern China. *Ophthalmology*. 2007;114(2):374-82.e1.
92. Lin LL, Shih YF, Hsiao CK, Chen CJ, Lee LA, Hung PT. Epidemiologic study of the prevalence and severity of myopia among schoolchildren in Taiwan in 2000. *J Formos Med Assoc*. 2001;100(10):684-91.
93. Dandona R, Dandona L, Srinivas M, Sahare P, Narsaiah S, Munoz SR, et al. Refractive error in children in a rural population in India. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002;43(3):615-22.
94. Ip JM, Rose KA, Morgan IG, Burlutsky G, Mitchell P. Myopia and the urban environment: findings in a sample of 12-year-old Australian school children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2008;49(9):3858-63.
95. Lam CSY, Tang WC, Tse DY, Lee RPK, Chun RKM, Hasegawa K, et al. Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: a 2-year randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol*. 2020;104(3):363-8.
96. Schilling T, Ohlendorf A, Varnas SR, Wahl S. Peripheral Design of Progressive Addition Lenses and the Lag of Accommodation in Myopes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2017;58(9):3319-24.
97. Walline JJ, Walker MK, Mutti DO, Jones-Jordan LA, Sinnott LT, Giannoni AG, et al. Effect of High Add Power, Medium Add Power, or Single-Vision Contact Lenses on Myopia Progression in Children: The BLINK Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2020;324(6):571-80.
98. Chia A, Lu QS, Tan D. Five-Year Clinical Trial on Atropine for the Treatment of Myopia 2: Myopia Control with Atropine 0.01% Eyedrops. *Ophthalmology*. 2016;123(2):391-9.

99. Huang J, Wen D, Wang Q, McAlinden C, Flitcroft I, Chen H, et al. Efficacy Comparison of 16 Interventions for Myopia Control in Children: A Network Meta-analysis. *Ophthalmology*. 2016;123(4):697-708.
100. Wallman J, Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron*. 2004;43(4):447-68.
101. Theodor Axenfeld, Pau H. *Lehrbuch und Atlas der Augenheilkunde*. Stuttgart: Gustav Fischer; 1980.
102. Read SA, Collins MJ, Carney LG. A review of astigmatism and its possible genesis. *Clinical and Experimental Optometry*. 2021;90(1):5-19.
103. Garcia CA, Orefice F, Nobre GF, Souza Dde B, Rocha ML, Vianna RN. [Prevalence of refractive errors in students in Northeastern Brazil]. *Arq Bras Oftalmol*. 2005;68(3):321-5.
104. Bourne RR, Dineen BP, Ali SM, Noorul Huq DM, Johnson GJ. Prevalence of refractive error in Bangladeshi adults: results of the National Blindness and Low Vision Survey of Bangladesh. *Ophthalmology*. 2004;111(6):1150-60.
105. Asano K, Nomura H, Iwano M, Ando F, Niino N, Shimokata H, et al. Relationship between astigmatism and aging in middle-aged and elderly Japanese. *Jpn J Ophthalmol*. 2005;49(2):127-33.
106. Czepita D, Filipiak D. [The effect of the type of astigmatism on the incidence of myopia]. *Klin Oczna*. 2005;107(1-3):73-4.
107. Anisometropia 2021 [Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Anisometropia#cite_note-2].
108. Claudioverfuerth. Amblyopie 2021 [Available from: <https://de.wikipedia.org/wiki/Amblyopie>].
109. DeSantis D. Amblyopia. *Pediatr Clin North Am*. 2014;61(3):505-18.
110. Barrett BT, Bradley A, Candy TR. The relationship between anisometropia and amblyopia. *Progress in Retinal and Eye Research*. 2013;36:120-58.
111. Almeder LM, Peck LB, Howland HC. Prevalence of anisometropia in volunteer laboratory and school screening populations. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1990;31(11):2448-55.
112. Shotton K, Elliott S. Interventions for strabismic amblyopia. *Cochrane Database Syst Rev*. 2008(2):CD006461.

113. Gramatikov I, Simons K, Guyton D, Gramatikov B. A PC-based shutter glasses controller for visual stimulation using multithreading in LabWindows/CVI. *Comput Methods Programs Biomed.* 2017;143:151-8.
114. Taylor K, Powell C, Hatt SR, Stewart C. Interventions for unilateral and bilateral refractive amblyopia. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012(4):CD005137.
115. Krause K. [Principles of modern determination of refraction]. *Klin Monbl Augenheilkd.* 1989;194(5):301-6.
116. Bühren J, Kohnen T. [Application of wavefront analysis in clinical and scientific settings. From irregular astigmatism to aberrations of a higher order--Part I: Basic principles]. *Ophthalmologe.* 2007;104(10):909-23; quiz 24-5.
117. Admartinator. Wellenfrontanalyse am menschlichen Auge 2019 [cited 2021 20. Aug]. Available from: https://de.wikipedia.org/wiki/Wellenfrontanalyse_am_menschlichen_Auge.
118. Kaufmann H. Strabismus. Stuttgart: Georg Thieme; 2003.
119. Claudioverfuether, H. de Groot, Dr. Wolfgang PFÄFFL ea. Astigmatismus 2015 [cited 2021 04. Sep.]. Available from: [https://de.wikipedia.org/wiki/Astigmatismus_\(Medizin\)#cite_note-10](https://de.wikipedia.org/wiki/Astigmatismus_(Medizin)#cite_note-10).
120. ZVA. Brillenstudie 2019 [<https://www.zva.de/brillenstudie>].
121. Finger RP, Schuster AK. [Myopia in Germany-changes in the prevalence remain unclear]. *Ophthalmologe.* 2019;116(7):682-3.
122. Wesemann W. [Prevalence of spectacle wearers in Germany : Clear increase from 1952-2014]. *Ophthalmologe.* 2018;115(5):421-3.
123. Nüßle S, Reinhard T, Lübke J. Acute closed-angle glaucoma. *Deutsches Ärzteblatt international.* 2021.
124. Prum BE, Herndon LW, Moroi SE, Mansberger SL, Stein JD, Lim MC, et al. Primary Angle Closure Preferred Practice Pattern® Guidelines. *Ophthalmology.* 2016;123(1):P1-P40.
125. Ramesh S, Maw C, Sutton CJ, Gandhewar JR, Kelly SP. Ethnic aspects of acute primary angle closure in a UK multicultural conurbation. *Eye.* 2004;19(12):1271-5.
126. Chua PY, Day AC, Lai KL, Hall N, Tan LL, Khan K, et al. The incidence of acute angle closure in Scotland: a prospective surveillance study. *British Journal of Ophthalmology.* 2018;102(4):539-43.

127. David R, Tessler Z, Yassur Y. Epidemiology of Acute Angle-Closure Glaucoma: Incidence and Seasonal Variations. *Ophthalmologica*. 1985;191(1):4-7.
128. Seah SKL. Incidence of Acute Primary Angle-closure Glaucoma in Singapore. *Archives of Ophthalmology*. 1997;115(11).
129. Zhang X, Liu Y, Wang W, Chen S, Li F, Huang W, et al. Why does acute primary angle closure happen? Potential risk factors for acute primary angle closure. *Survey of Ophthalmology*. 2017;62(5):635-47.
130. Jonas JB, Iribarren R, Nangia V, Sinha A, Pardhi P, Shukla R, et al. Lens Position and Age: The Central India Eye and Medical Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2015;56(9).
131. Knapp A. Glaucoma in Myopic Eyes. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1925;23:61-70.
132. Perkins ES, Phelps CD. Open angle glaucoma, ocular hypertension, low-tension glaucoma, and refraction. *Arch Ophthalmol*. 1982;100(9):1464-7.
133. Schuster AK, Erb C, Hoffmann EM, Dietlein T, Pfeiffer N. The Diagnosis and Treatment of Glaucoma. *Dtsch Arztebl Int*. 2020;117(13):225-34.
134. Ramdas WD, Wolfs RCW, Hofman A, de Jong PTVM, Vingerling JR, Jansonius NM. Ocular Perfusion Pressure and the Incidence of Glaucoma: Real Effect or Artifact?: The Rotterdam Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2011;52(9).
135. Ekström C. Risk factors for incident open-angle glaucoma: a population-based 20-year follow-up study. *Acta Ophthalmologica*. 2012;90(4):316-21.
136. Le A, Mukesh BN, McCarty CA, Taylor HR. Risk Factors Associated with the Incidence of Open-Angle Glaucoma: The Visual Impairment Project. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2003;44(9).
137. Czudowska MA, Ramdas WD, Wolfs RCW, Hofman A, De Jong PTVM, Vingerling JR, et al. Incidence of Glaucomatous Visual Field Loss: A Ten-Year Follow-up from the Rotterdam Study. *Ophthalmology*. 2010;117(9):1705-12.
138. Nagaoka N, Jonas JB, Morohoshi K, Moriyama M, Shimada N, Yoshida T, et al. Glaucomatous-Type Optic Discs in High Myopia. *PLoS One*. 2015;10(10):e0138825.
139. Wang X, Rumpel H, Lim WE, Baskaran M, Perera SA, Nongpiur ME, et al. Finite Element Analysis Predicts Large Optic Nerve Head Strains During Horizontal Eye Movements. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2016;57(6):2452-62.

140. Tan NYQ, Sng CCA, Jonas JB, Wong TY, Jansonius NM, Ang M. Glaucoma in myopia: diagnostic dilemmas. *British Journal of Ophthalmology*. 2019;103(10):1347-55.
141. Gerstenberger E, Stoffelns B, Nickels S, Münzel T, Wild Philipp S, Beutel Manfred E, et al. Incidence of Retinal Detachment in Germany: Results from the Gutenberg Health Study. *Ophthalmologica*. 2021;244(2):133-40.
142. Farioli A, Hemmingsson T, Kriebel D. Vascular risk factors and rhegmatogenous retinal detachment: a follow-up of a national cohort of Swedish men. *Br J Ophthalmol*. 2016;100(7):907-13.
143. Li X. Incidence and epidemiological characteristics of rhegmatogenous retinal detachment in Beijing, China. *Ophthalmology*. 2003;110(12):2413-7.
144. Risk factors for idiopathic rhegmatogenous retinal detachment. The Eye Disease Case-Control Study Group. *Am J Epidemiol*. 1993;137(7):749-57.
145. Fricke TR, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, Naduvilath TJ, Ho SM, et al. Global prevalence of visual impairment associated with myopic macular degeneration and temporal trends from 2000 through 2050: systematic review, meta-analysis and modelling. *Br J Ophthalmol*. 2018;102(7):855-62.
146. Hopf S, Heidt F, Korb CA, Schulz A, Munzel T, Wild PS, et al. Five-Year cumulative Incidence and Progression of Myopic Maculopathy in a German population - results from the Gutenberg Health Study. *Ophthalmology*. 2021.
147. Smith TST. Potential lost productivity resulting from the global burden of uncorrected refractive error. *Bulletin of the World Health Organization*. 2009;87(6):431-7.
148. Vitale S, Cotch MF, Sperduto R, Ellwein L. Costs of refractive correction of distance vision impairment in the United States, 1999-2002. *Ophthalmology*. 2006;113(12):2163-70.
149. Resnikoff S, Pascolini D, Mariotti SP, Pokharel GP. Global magnitude of visual impairment caused by uncorrected refractive errors in 2004. *Bull World Health Organ*. 2008;86(1):63-70.
150. Preslan MW, Novak A. Baltimore Vision Screening Project. Phase 2. *Ophthalmology*. 1998;105(1):150-3.
151. Khandekar R, Mohammed AJ, Al Raisi A. Compliance of spectacle wear and its determinants among schoolchildren of Dhakhiliya region of Oman: A descriptive study. *J Sci Res Med Sci*. 2002;4(1-2):39-43.

152. Fricke TR, Holden BA, Wilson DA, Schlenther G, Naidoo KS, Resnikoff S, et al. Global cost of correcting vision impairment from uncorrected refractive error. *Bull World Health Organ.* 2012;90(10):728-38.
153. Naidoo KS, Fricke TR, Frick KD, Jong M, Naduvilath TJ, Resnikoff S, et al. Potential Lost Productivity Resulting from the Global Burden of Myopia. *Ophthalmology.* 2019;126(3):338-46.
154. Kurth B-M, Kamtsiuris P, Hölling H, Schlaud M, Dölle R, Ellert U, et al. The challenge of comprehensively mapping children's health in a nation-wide health survey: Design of the German KiGGS-Study. *BMC Public Health.* 2008;8(1).
155. Kurth B-M, Ziese T, von Schenck U, Rosario AS, Richter A, Poethko-Müller C, et al. Cohort profile: KiGGS cohort longitudinal study on the health of children, adolescents and young adults in Germany. *International Journal of Epidemiology.* 2020;49(2):375-k.
156. Kurth BM, Lange C, Kamtsiuris P, Holling H. [Health monitoring at the Robert Koch Institute. Status and perspectives]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz.* 2009;52(5):557-70.
157. Robert Hoffmann ML, Hans Butschalowsky RH, Patrick Schmich, Jennifer Allen,, Ronny Kuhnert ASR, Antje Gößwald. Querschnitterhebung von KiGGS Welle 2 – Teilnehmendengewinnung, Response und Repräsentativität . *Journal of Health Monitoring.* 2018.
158. Michael Lange RH, Elvira Mauz RH, Antje Gößwald, Angelika Schaffrath Rosario,, Kurth Br-M. KiGGS Wave 2 longitudinal component – data collection design and developments in the numbers of participants in the KiGGS cohort. *Journal of Health Monitoring.* 2018;3(1).
159. Kurth BM, Kamtsiuris P, Holling H, Schlaud M, Dolle R, Ellert U, et al. The challenge of comprehensively mapping children's health in a nation-wide health survey: design of the German KiGGS-Study. *BMC Public Health.* 2008;8:196.
160. Mauz E, Hölling H, Kamtsiuris P, Kurth BM. Strategien des Robert Koch-Instituts zum Monitoring der Gesundheit von in Deutschland lebenden Kindern und Jugendlichen. *Kinder- und Jugendmedizin.* 2018;16(03):176-83.
161. Lampert T, Sygusch R, Schlack R. Nutzung elektronischer Medien im Jugendalter. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz.* 2007;50(5-6):643-52.

162. Hoffmann R, Lange M, Butschalowsky H, Houben R, Schmich P, Allen J, et al. Querschnitterhebung von KiGGS Welle 2 – Teilnehmendengewinnung, Response und Repräsentativität. *Journal of Health Monitoring*. 2018;3(1):82-96.
163. Laura Frank RY-Jr, Sabine Born RH, Claudia Santos-Hövenner TL. Improving the inclusion and participation of children and adolescents with a migration background in KiGGS Wave 2. *Journal of Health Monitoring*. 2018; 3(1).
164. Kamtsiuris P, Lange M, Schaffrath Rosario A. [The German Health Interview and Examination Survey for Children and Adolescents (KiGGS): sample design, response and nonresponse analysis]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 2007;50(5-6):547-56.
165. Lampert T, Müters S, Stolzenberg H, Kroll LE. Messung des sozioökonomischen Status in der KiGGS-Studie. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*. 2014;57(7):762-70.
166. Frank L, Yesil-Jürgens R, Born S, Hoffmann R, Santos-Hövenner C, Lampert T. Maßnahmen zur verbesserten Einbindung und Beteiligung von Kindern und Jugendlichen mit Migrationshintergrund in KiGGS Welle 2. *Journal of Health Monitoring*. 2018.
167. Paediatrische Epidemiologie - ikidS 2013 - 2017 (Website zur Information über ikidS) [Available from: <https://www.unimedizin-mainz.de/pe/projekte/ikids-i-2013-2017/uebersicht.html>].
168. Projektteam i. Informationsbroschüre Nr. 1: "Fragestellungen, Methodik und Durchführung" - Erste Projektphase (2013-2017) Stand: 20. Dezember 2017. Mainz2017.
169. Schuster AK, Elflein HM, Diefenbach C, Graf C, König J, Schmidt MF, et al. Recommendation for ophthalmic care in German preschool health examination and its adherence: Results of the prospective cohort study ikidS. *PLoS One*. 2018;13(12):e0208164.
170. Singer U-PDS, Urschitz U-PDmMS. Einschulung und Gesundheit – Forschung für Kinder, Eltern-Fragebogen Nr. 5. 2019.
171. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, Jong M, Naidoo KS, Sankaridurg P, et al. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016;123(5):1036-42.

172. Chiang SY, Weng TH, Lin CM, Lin SM. Ethnic disparity in prevalence and associated risk factors of myopia in adolescents. *J Formos Med Assoc.* 2020;119(1 Pt 1):134-43.
173. Qi LS, Yao L, Wang XF, Shi JM, Liu Y, Wu TY, et al. Risk Factors for Incident Myopia among Teenaged Students of the Experimental Class of the Air Force in China. *J Ophthalmol.* 2019;2019:3096152.
174. Chen CJ, Cohen BH, Diamond EL. Genetic and environmental effects on the development of myopia in Chinese twin children. *Ophthalmic Paediatr Genet.* 1985;6(1-2):353-9.
175. Pozarickij A, Williams C, Hysi PG, Guggenheim JA, Eye UKB, Vision C. Quantile regression analysis reveals widespread evidence for gene-environment or gene-gene interactions in myopia development. *Commun Biol.* 2019;2:167.
176. Fan Q, Guo X, Tideman JW, Williams KM, Yazar S, Hosseini SM, et al. Childhood gene-environment interactions and age-dependent effects of genetic variants associated with refractive error and myopia: The CREAM Consortium. *Sci Rep.* 2016;6:25853.
177. Lingham G, Mackey DA, Lucas R, Yazar S. How does spending time outdoors protect against myopia? A review. *Br J Ophthalmol.* 2020;104(5):593-9.
178. Wu PC, Chen CT, Lin KK, Sun CC, Kuo CN, Huang HM, et al. Myopia Prevention and Outdoor Light Intensity in a School-Based Cluster Randomized Trial. *Ophthalmology.* 2018;125(8):1239-50.
179. Rim TH, Kim SH, Lim KH, Choi M, Kim HY, Baek SH, et al. Refractive Errors in Koreans: The Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2008-2012. *Korean J Ophthalmol.* 2016;30(3):214-24.
180. Hrynchak PK, Mittelstaedt A, Machan CM, Bunn C, Irving EL. Increase in myopia prevalence in clinic-based populations across a century. *Optom Vis Sci.* 2013;90(11):1331-41.
181. French AN, Morgan IG, Mitchell P, Rose KA. Risk factors for incident myopia in Australian schoolchildren: the Sydney adolescent vascular and eye study. *Ophthalmology.* 2013;120(10):2100-8.
182. Kulp MT, Schmidt PP. Visual predictors of reading performance in kindergarten and first grade children. *Optom Vis Sci.* 1996;73(4):255-62.
183. Bundesausschuss G. Richtlinie zur Jugendgesundheitsuntersuchung. 2021 [Available from: [https:// www.g-ba.de/richtlinien/14/](https://www.g-ba.de/richtlinien/14/)].

184. Tille A. Prävention von Kurzsichtigkeit in der Schule - eine Untersuchung zur Sensibilisierung von Lehrkräften RP Reha AUS FORSCHUNG UND PRAXIS. 2022.

Danksagung

Ohne die nachstehenden Personen wäre diese Promotionsschrift nicht zustande gekommen, an dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank aussprechen.

Zunächst möchte ich meinem Doktorvater für die Überlassung und die Möglichkeit der Erstellung dieser Arbeit danken. Ich danke Ihnen von Herzen für Ihre großartige Unterstützung, Ihre Erklärungen, die Chancen, die Sie mir gegeben haben, Ihr unermüdliches Engagement und Ihre Geduld, ohne die die Entstehung und Umsetzung dieser Promotionsschrift nicht möglich gewesen wäre. Ganz egal welches Anliegen, Sie hatten immer ein offenes Ohr für mich, eine bessere Betreuung hätte ich mir nicht wünschen können.

Mein unendlicher Dank gilt auch meiner ganzen Familie, insbesondere meinen Eltern und ihrer unermüdlichen Unterstützung und Liebe, die mir mein Studium und den Weg zu dieser Promotionsschrift erst ermöglicht haben. Mama, ich danke dir für all deinen Beistand und deine Kraft zu jeder erdenklichen Tageszeit. Papa, ich danke dir, dass du mir beigebracht hast, zu hinterfragen und nie die Ruhe und die Neugierde zu verlieren.

Von Herzen danke ich meinem Ehemann für all die erbrachten Opfer, um jeden Tag unterstützend, motivierend und inspirierend an meiner Seite zu stehen.

Meinen besonderen Dank möchte ich an die starken Frauen richten, die mein Leben und Werdegang so sehr geprägt haben, an meine Großmütter und ganz besonders an meine mich immer so liebevoll unterstützende und inspirierende Tante.

Zu guter Letzt möchte ich allen Beteiligten der ikidS-Studie und KiGGS-Studie danken, Kindern und Jugendlichen, sowie Eltern und Mitarbeitern, ohne die das Erstellen dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Zuname	Kuchenbäcker
Vorname	Clara Laura
Geburtsdatum	26.09.1996
Geburtsort	Frankfurt am Main
Staatsangehörigkeit	deutsch

Schulischer Werdegang/Universitärer Werdegang

12/2021	Approbation als Humanmedizinerin
10/2020	Zweites Staatsexamen Humanmedizin
04/2017	Erstes Staatsexamen Humanmedizin
04/2015-12/2021	Studium der Humanmedizin Johannes Gutenberg-Universität Mainz
07/2014	Abitur Gymnasiale Oberstufe Heinrich-Böll-Schule, Hattersheim am Main