

Myopieprävention in der Grundschule*

Der Einfluss von Tageslicht auf die Myopisierung von Kindern der 1. - 5. Klasse

Eine systematische Literaturrecherche

Julia Schaal

Orthoptikzentrum Zürich

Zusammenfassung

Einleitung: Die Myopie gilt als eine der häufigsten altersunabhängigen Ursache für eine Sehminderung, deren Prävalenz in den letzten drei Jahrzehnten deutlich zunahm. Noch vor 20 Jahren nahm die Myopie eine Prävalenz in Europa und Nordamerika von 25% ein und wird bereits im Jahr 2050 auf 50% myoper Menschen geschätzt. Ursächlich konnte in den letzten Jahren eine Veränderung des Emmetropisierungsprozesses beobachtet werden, was mehr und mehr äußeren Einflussfaktoren zugesprochen wird. Durch die Digitalisierung konnte gesehen werden, dass Medienkonsum und Lifestyle eine viel größere Rolle für die frühzeitigere Emmetropisierung spielen. Da die Myopie bei jungen Kindern im Allgemeinen schnell ansteigt, sollte eine Behandlung bei noch jungen Kindern und geringen Myopien ansetzen. Ziel dieser Arbeit ist es, den Umweltfaktor Licht und dessen möglichen protektiven Effekt auf den vorzeitigen Emmetropisierungsprozess zu untersuchen.

Methode: Zur Klärung der Forschungsfrage erfolgte eine systematische Literaturrecherche über einen Zeitraum von 18 Tagen (28.05 – 15.06.2021), welche in elektronischer Form mittels PubMed, Medline, Google Scholar und Thieme eRef stattfand.

Ergebnisse: Die systematische Literaturrecherche ergab 11 relevante Artikel, die zur Klärung der Forschungsfrage hinzugezogen wurden. Eine höhere Beleuchtungsstärke korreliert mit einer geringeren myopen Refraktionsverschiebung sowie axialem Bulbuswachstum. Künstlich herbeigeführte Myopien (Deprivationsmyopien & linseninduzierte Myopien) konnten durch die Exposition von höheren Lichtintensitäten minimiert werden. Des Weiteren führte die Verbesserung der Beleuchtung von Klassenzimmern über Schreibtischen und Tafeln ein Jahr retrospektiv zu einer Verringerung der Inzidenz neuauftretender Myopien von 7% (4% vs. 11%). Ähnlich wie die Beleuchtungsstärke hat das Sonnenlicht ebenfalls einen protektiven Effekt auf die Myopieentstehung sowie deren Fortschreiten. Im Rahmen der Literaturrecherche konnte zudem der Effekt unterschiedlicher Wellenlängen des Lichtes nachgewiesen werden, sowie deren Einfluss auf den Dopamin-Spiegel unter kurzzeitiger und langzeitiger Exposition verschiedener spektraler Wellenlängen.

* Zusammenfassung der 2021 verfassten Bachelorarbeit (komplette Bachelorarbeit unter: www.orthoptik.de)

Diskussion: Es zeigte sich, dass die Myopieprogression multifaktoriell ist und eine Korrelation mit allen vier Faktoren des Lichtes besteht. Es konnte nachgewiesen werden, dass sowohl künstliche Beleuchtung als auch das natürliche Sonnenlicht eine wichtige Rolle für die Myopieentstehung nicht myoper Kinder spielt. Ob das natürliche Licht dem künstlichen Licht vorzuziehen ist, konnte nicht klar bestätigt werden.

Schlüsselwörter:

Myopieprophylaxe, Tageslicht, Lichtexposition, spektrale Zusammensetzung, Dopamin

Myopia prevention in primary school age

Summary

Introduction: Myopia is considered one of the most common age-independent causes of visual impairment, with a significant increase in prevalence over the last three decades. Only 20 years ago myopia had a prevalence of 25% in Europe and North America and is estimated to reach 50% of myopic people already in 2050. Causally, a change in the emmetropisation process could be observed in recent years, which is attributed more and more to external influencing factors. Due to digitalisation media consumption and lifestyle play a much bigger role in the earlier emmetropisation. Since myopia in young children generally increases rapidly, treatment should start with children who are still young and have low myopia. The aim of this work is to investigate the environmental factor light and its possible protective effect on the earlier emmetropisation process.

Methods: To clarify the research question, a systematic literature search was conducted over a period of 18 days (28.05 - 15.06.2021), using PubMed, Medline, Google Scholar and Thieme eRef.

Results: The systematic literature search yielded 11 relevant articles that were consulted to clarify the research question. Higher illuminance correlates with lower myopic refractive shift as well as axial length growth. Artificially induced myopia (deprivation myopia & lens-induced myopia) were minimized by exposure to higher light levels. Furthermore, improving classroom lighting over desks and blackboards one year retrospectively reduced the incidence of new-onset myopia by 7% (4% vs. 11%). Similar to light levels, sunlight also has a protective effect on myopia development as well as progression. The literature review also demonstrated the effect of different wavelengths of light, as well as their influence on dopamine levels under short-term and long-term exposure to different spectral wavelengths.

Discussion: Myopia progression is multifactorial and there is a correlation with all four factors of light. Both artificial lighting and natural sunlight were shown to play an important role in myopia development in nonmyopic children. Whether natural light is preferable to artificial light could not be conclusively confirmed.

Keywords:

myopia prevention, daylight, light levels, spectral composition, dopamine

1. Einleitung

1.1. Fragestellung der Arbeit

Kann die Etablierung guten Lichts mittels 15.000 Lux-Tageslichtlampen in Grundschulen den Emmetropisierungsprozess verlangsamen und als Myopieprophylaxe in der Gruppe der 6-11-jährigen Kinder agieren?

1.2. Problemstellung

Die Myopie ist eine der häufigsten Refraktionsanomalien weltweit und stellt neben den altersbedingten Funktionsstörungen des Auges eine der häufigsten altersunabhängigen Ursachen für eine Visusminderung dar (LANG 2004). In der Stellungnahme der Weltgesundheitsorganisation (WHO) wird die Myopie als zweithäufigste Erblindungsursache sowie Ursache einer mittel bis schweren Sehminderung mit einer Rate von 53% aufgeführt (WHO 2015). Dabei ist die Ätiologie der Myopie derzeit noch unklar, lässt jedoch einen genetischen Faktor sowie äußere Umweltfaktoren annehmen. Ursächlich zeigt sich in den meisten Fällen eine Achsenmyopie (LANG 2004). Speziell in ost- und südostasiatischen Ländern ist die Myopie mit einer Prävalenz von 80 - 90% der über 18-Jährigen sehr stark verbreitet, wobei 10 - 20 % derer eine hohe Myopie ($> 8,0$ dpt) aufweisen. Noch vor 20 Jahren nahm die Myopie in Europa und Nordamerika eine Rate von 25% ein (LANG 2004). Während der letzten 30 Jahre sind ähnliche Tendenzen wie in Ostasien auch im europäischen Raum zu beobachten (JONAS 2019). Derzeit liegt die Myopieprävalenz junger Erwachsener in Europa bei 40 bis 60% und wird im Jahr 2050 auf 50% myoper Kinder und 10% hochmyoper Menschen geschätzt (CONRAD 2017). Aus der kürzlich veröffentlichten deutschen KiGGS-Studie, welche die Gesundheitssituation von Kindern und Jugendlichen in Deutschland von 2014 bis 2017 erfasste, ergab sich eine Myopieprävalenz der 14- bis 17-jährigen Jungen von 23% sowie 35% der 14- bis 17-jährigen Mädchen in Deutschland (SCHUSTER 2020). Die Myopie gilt als Volkskrankheit in Folge der Digitalisierung und benötigt Sensibilisierung bereits vor Übergang von Emmetropie in Myopie (HELBIG 2011). Durch die besorgniserregende Zunahme listet die Weltgesundheitsorganisation (WHO) die Myopie unter den fünf Augenerkrankungen, deren „Eindämmung hohe Priorität“ hat (LAGRÈZE 2017).

1.3. Theoretischer Hintergrund zur Myopie

Die Myopie ist eine Ametropie, d. h. ein Refraktionsfehler durch Abbildung des Bildes vor der Netzhaut. Diese entsteht durch eine fehlerhafte Abstimmung der Augachsenlänge (Axiallänge) mit Brechung von Hornhaut und Linse, sodass von einer Achsenmyopie, bei längerer Axiallänge oder einer Brechungsmyopie bei zu starker Brechung an der Hornhaut, gesprochen wird. Es kommt zu einer Bündelung der Lichtstrahlen vor der Netzhaut. Diese Abbildung vor der Netzhaut lässt myope Menschen die in der Ferne liegenden Objekte unscharf sehen. Eine scharfe Abbildung erfolgt hingegen in kürzerer Distanz und kann mit der Formel „ $A(m)=1/D$ “ entsprechend berechnet werden. Dabei entspricht A dem Abstand in Metern und D der optischen Korrektur in Dioptrien (dpt) (LANG 2004). Der Fernpunkt rückt je nach Ausprägung der Myopie in die Nähe.

Entscheidend ist hierbei die axiale Länge des Auges, welche als Abstand zwischen dem vorderen und hinteren Augenpol bezeichnet wird (MILLOT 2009). Bei der Geburt besteht eine Augachsenlänge von 17,0 mm, welche bis zum 18. Lebensmonat durchschnittlich auf 20,3 mm zunimmt. Mit dem 5. Lebensjahr sollten Kinder eine Augachsenlänge von 21,5 mm aufweisen (LANG 2004). Weichen die anatomischen Längen der Bulbi von diesem Normwert ab, besteht eine Hyperopie bei geringerer Länge beziehungsweise eine Myopie bei erweiterter Augachsenlänge. Die Bulbi wachsen bis zum 13. Lebensjahr auf 22,7 mm und sind mit 23,6 mm im Erwachsenenalter abgeschlossen. Ab einer Axiallänge von 24,0 mm liegt eine Myopie vor, ab einer Axiallänge von 26,0 mm eine pathologische Myopie, die einer optischen Korrektur von -6.0 dpt entspricht. Nach LANG (2004) heißt es, dass 1 mm Bulbuslängenveränderung einer Brechkraftänderung von 3,0 dpt entspricht. MILLOT (2009) beschreibt eine Veränderung um 2,5 dpt je 1 mm Längenveränderung.

1.4 Emmetropisierungsprozess

Gewöhnlich liegt mit dem 3. Lebensjahr eine altersentsprechende Hyperopie von 2,5 dpt vor, welche durch wachstumsbedingte Zunahme der Axiallänge des Bulbus und Veränderung der brechenden Medien bis zum 10. Lebensjahr weiter abnimmt (STEFFEN 2020). ZADNIK et al. (2015) untersuchten im Rahmen ihrer Beobachtungsstudie den Prädiktor für das Auftreten von Myopie bei Kindern im schulpflichtigen Alter und kamen zu dem Ergebnis, dass ein 6-jähriges Kind mindestens 0,75 dpt hyperop sein sollte, um später nicht myop zu werden. Dabei bestand die beste Vorhersagbarkeit im 8. Lebensjahr. Lag mit dem 8. Lebensjahr eine Hyperopie von $> 0,75$ dpt vor, konnte ZADNICK et al. eine Wahrscheinlichkeit einer Myopieentstehung von 2% der 15-jährigen Kinder nachweisen. Lag jedoch eine Hyperopie von 0,5 dpt und weniger vor, stieg deren Wahrscheinlichkeit auf 30% an. Im besten Falle stoppt klassischerweise nach dem 14. Lebensjahr das Bulbuswachstum und es bleibt eine Emmetropie (-0,5 dpt bis +1,0 dpt) bis ins Erwachsenenalter bestehen.

1.5 Vorzeitiger Emmetropisierungsprozess

In den letzten drei Jahrzehnten ist eine Veränderung des Emmetropisierungsprozesses zu verzeichnen, was mehr und mehr äußeren Einflussfaktoren, wie einer kürzeren durchschnittlichen Aufenthaltszeit im Freien, längerer Schulbildung, höherem Bildungs- und Berufsniveau sowie dem zunehmenden Konsum digitaler Medien zugesprochen wird (JONAS 2019). SCHAEFFEL (2019) beschreibt nach einer Studie von MORGAN et al. (2018), dass zwischen Myopie und Ausbildung ein großer Zusammenhang besteht, da die Myopieprävalenz der Kinder in den Ländern, in denen das Ausbildungssystem in den letzten Dekaden optimiert oder verschärft wurde, deutlich anstieg. Im Rahmen einer dänischen Studie untersuchten GWIAZDA et al. (2014) den Einfluss von Tageslicht durch saisonale Variationen und kamen zu dem Ergebnis, dass über die Sommermonate eine geringere Progression als im Winter zu beobachten war. Ob die Progression allein auf das Licht oder auch auf den größeren Anteil an Outdoor-Aktivitäten über die Sommermonate zurückzuführen ist, konnte nicht klar eruiert werden. Andere internationale Studien zeigen, dass „weniger Naharbeit und mehr Bewegung im Freien“ eine geringere Progression

verzeichnen und der Schlüssel zum Erfolg sein könnten (SCHAEFFEL 2017).

1.6 Folgen der Myopie

JONAS et al. (2019) stellten sich die Frage, welche Strukturen des Auges auf welchen Reiz hin verlängert werden, bis eine vorzeitige Emmetropie bzw. Achsenmyopie entsteht. Früher wurde angenommen, dass besonders die Sklera und/oder die Choroidea zu einer Verlängerung des Bulbus führen. Dies konnte jedoch durch klinische und histologische Untersuchungen widerlegt werden, da die Dicke der Choroidea mit zunehmender Axiallänge eher abnimmt. Histomorphologisch konnte gezeigt werden, dass die myopische Vergrößerung des Auges vor allem in axialer Richtung erfolgt, was zu einer länglichen Bulbusform führt (VURGESE 2012). Zusätzlich zur sagittalen Bulbusvergrößerung kommt es zu einer horizontalen sowie vertikalen Durchmesserzunahme in ganz geringem Maße, welche im Zusammenhang mit der Vergrößerung der Papillen-Fovea-Distanz gewertet wird (JONAS 2015).

Diese Bulbusvergrößerung führt wiederum zu einem erhöhten Risiko einer Netzhautablösung, einem Glaukom mit Papillenexkavation, einer myopischen Makulopathie sowie dem Heavy-Eye-Syndrom (LANG 2004). Insbesondere die progressive Myopie ist dabei durch eine Verdünnung der Sklera mit posteriorer Aussackung charakterisiert. Des Weiteren kommt es zur Verlagerung der Augenachsen bei zu langem Bulbus, einer tiefen Vorderkammer und meist atrophischen Ziliarmuskeln durch Nicht-Inanspruchnahme (LANG 2004). Das kleiner werdende Glaskörpervolumen des großen myopen Bulbus kollabiert vorzeitig, was zu Glaskörperverdichtungen führt, welche von den betroffenen Patienten als „fliegende Mücken“ (mouches volantes) wahrgenommen werden. Das Heavy-Eye-Syndrom, das besonders bei hoher Myopie und längerer Axiallänge auftritt, bewirkt eine Verlaufsänderung der geraden Augenmuskeln, sodass ein Strabismus mit entsprechender Motilitätseinschränkung entsteht. Durch den im Verhältnis zur Orbita viel zu großen Bulbus kann speziell der Musculus rectus lateralis nach unten disloziert werden, sowie der Musculus rectus superior nach nasal verschoben (STEFFEN 2020).

1.7 Ansätze zur Verlangsamung der Myopieprogression

Anhand der bisherigen Forschung lassen sich drei Strategien zur Verlangsamung finden:

- Spezielle optische Korrekturen nach dem Prinzip des Defokus mittels Orthokeratologie-Linsen, Mehrstärkenlinsen sowie Mehrstärken-Brillen (MiYOSMART)
- Pharmakologische Interventionen mittels Atropin
- Lifestyle-Interventionen durch mehr Aufenthalt im Freien, helle Klassenräume, weniger Naharbeit (CONRAD, 2017)

SCHAEFFEL (2011) stellte in seiner Übersichtsarbeit heraus, dass die Peripherie eine sehr wichtige Rolle für die Steuerung des Augenwachstums zu spielen scheint, auch wenn bekanntermaßen deren Anatomie nur eine geringe Sehschärfe zulässt. Die Emmetropisierung wird unabhängig von der Fovea hauptsächlich von der peripheren Retina gesteuert. Auf Grundlage dessen konnte festgestellt werden, dass der optische Ausgleich einer Myopie mittels herkömmlicher Brillengläser stets eine scharfe Abbildung auf der

zentralen Netzhaut (Fovea) bewirkt, die Peripherie jedoch eine Hyperopie aufweist. Somit liegt die Schärfenebene in der Peripherie hinter der Netzhaut, sodass wachstumsstimulierende Signale an die Sklera geleitet werden. Dass das Auge in seiner Länge der Ebene der schärfsten Abbildung hinterher wächst, zeigten bereits SCHAEFFEL et al. im Jahr 1988. Um diesem beschriebenen peripheren Defokus entgegenzuwirken, bietet der Markt entsprechende optische Interventionen mittels Orthokeratologie (Ortho-K-Linsen), Mehrstärkenkontaktlinsen (multifokale KL) sowie Mehrstärkengläsern, die eine zweite Bildebene vor dem Auge bieten und die Myopieprogression um 30% mindern sollen. Neben den bereits bekannten Ortho-K-Linsen sowie multifokalen Kontaktlinsen wurden auf Grundlage einer zweijährigen randomisierten klinischen Studie aus Hongkong von LAM et al. (2019) im März 2021 die neuen MiYOSMART Gläser der Firma Hoya vorgestellt. Diese befinden sich seit April 2021 auf dem Markt und versprechen eine Verlangsamung der Myopieprogression um 60% (HOYA 2021).

Gegenüber den optischen Interventionen findet sich mittels täglicher Verabreichung von Atropin-Augentropfen ebenfalls ein äußerst erfolgsversprechender Ansatz zur Verlangsamung der Myopie. Atropin, das Gift der Tollkirsche (*Atropa belladonna*), welches in der Augenheilkunde überwiegend im Rahmen diagnostischer Zwecke sowie in der Amblyopiebehandlung (Penalisation) in einer Konzentration von 0,5 % oder 1 % Anwendung findet, wird hierbei in einer Konzentration von 0,01 % zur Nacht verabreicht. Die optimale Dosierung sowie deren Wirkung auf die Myopieprogression basieren überwiegend auf Studien aus dem ost- und südostasiatischen Raum, welche die Wirkung mittels 0,5 %, 0,1 % sowie 0,01 % darstellten.

Die zwei erstbeschriebenen Interventionen mittels spezieller optischer Korrekturen sowie die pharmakologische Myopie-Therapie kommen therapeutisch erst zum Einsatz, wenn bereits eine Myopie vorliegt, welche über einen Beobachtungszeitraum von 6 Monaten eine Progredienz um 0,5 dpt bzw. 0,2 mm Bulbuslängenveränderung aufweist. Ziel ist es dann, diese in gewisser Weise zu verlangsamen, sodass keine hochgradige Myopie bis zum Erwachsenenalter mit all ihren sekundären Risiken entsteht (TRUCKENBROD 2017).

Ein ausschlaggebender Faktor auf die frühzeitige Risikoeindämmung der Myopieentstehung sowie deren Progression ist der Lifestyle. CONRAD (2017) beschrieb mehrere Faktoren, wie Lifestyle-Interventionen durch mehr Aufenthalt im Freien, helle Klassenräume und weniger langanhaltende Naharbeit. Bislang konnte noch nicht vollständig geklärt werden, ob die Myopiekontrolle durch eine erhöhte Exposition an täglichem Tageslicht oder die Kombination aus Outdooraktivitäten auf Ferndistanz und natürlichem Tageslicht zustande kommt. Das Sonnenlicht ist die wichtigste und natürlichste Strahlenquelle, welche das menschliche Auge in einem Lichtspektrum von 380-780 nm wahrnehmen kann. Die energiereichste Strahlung (UV-Strahlung) im Spektrum von 100-380 nm ist für den Menschen nicht sichtbar und wird präventiv durch entsprechende Sonnenschutzgläser und Sonnencremes eingedämmt, sodass es zu keiner Haut- sowie Augenschädigung kommt. Das Tageslicht bzw. dessen UV- Anteile regen gleichzeitig die Produktion von Vitamin D an und regulieren den Schlaf- Wach-Rhythmus durch Unterdrückung des Schlafhormons Melatonin im menschlichen Körper. Die Melatonin-Hemmung fördert

die Wachheit, Leistungsfähigkeit sowie die Stimmung, was sich die Industrie mittels Tageslichtlampen zu Nutzen macht. Wichtig ist hierbei, dass Tageslichtlampen keinen UV-Anteil enthalten und somit nicht auf die Vitamin D Produktion wirken können. Da die Kinder immer längeren Schultagen ausgesetzt sind, die Klassenzimmer weit unter den geforderten 500 Lux Beleuchtungsstärken liegen, findet sich im gesamten Tageszyklus eines Kindes immer weniger gesundes Licht (Fördergemeinschaft Gutes Licht). Aus der Broschüre „Gutes Licht für Schulen und Bildungsstätten 2“ geht ebenfalls hervor, dass in den Klassenräumen keine Gleichmäßigkeit der Beleuchtung vorliegt, was besonders wichtig für den typischen Nah-Fern- Wechsel (Tafel - Schreibtisch) ist (Fördergemeinschaft Gutes Licht). Um abschätzen zu können, was die Myopie beeinflusst, ist eine weitere Auseinandersetzung mit den Faktoren spektrale Zusammensetzung des Lichtes, Beleuchtungsstärke, Netzhautprozesse und deren Dopaminfreisetzung nötig.

2. Ziel der Arbeit

Derzeit setzen Therapien erst bei bestehender Myopie an und nicht vor dem Übergang von Hyperopie zu Myopie (Emmetropisierungsprozess). Anhand der Forschung geht hervor, dass die Umgebungshelligkeit, Aufenthaltszeit im Freien, Lesedauer, Sehabstand, Kopfneigung beim Lesen und der Textkontrast eine entscheidende Rolle spielen um einen gewissen „Hyperopie-Puffer“ beizubehalten (SCHAEFFEL 2019). Ziel dieser Arbeit ist es genau hierbei anzusetzen, den Einfluss von Tageslicht auf den kindlichen Emmetropisierungsprozess zu untersuchen und den Kindern eine bessere Seherfahrung in den Grundschulen zu verschaffen.

3. Diskussion

Anhand des dargelegten Forschungsstandes zum Myopieverhalten im Kindesalter konnte für alle vier untersuchten Faktoren eine starke Korrelation zur Myopieentstehung und deren Progredienz experimentell an Tieren als auch an Kindern nachgewiesen werden.

Die Beleuchtungsstärke und deren Wirkung auf eine Emmetropie sowie einer bereits vorliegenden Myopie zeigten KAROUTA und ASHBY (2015), die herausfanden, dass eine herbeigeführte Deprivationsmyopie unter der Exposition von 40.000 Lux vollständig aufgehoben werden kann. Ein weiterer Beweis dafür ist, dass unter einer viertägigen Lichtexposition von 500 Lux eine myopische Refraktionsverschiebung um 2,54 dpt beobachtet werden konnte, welche sich unter dem Wechsel auf 40.000 Lux nach sieben Tagen stark rückläufig zeigte. Den schützenden Effekt durch erhöhte Lichtintensitäten konnten HUA et al. (2015) schließlich auch an Kindern nachweisen. Im Rahmen der Studie konnte ein Schutz vor Myopie bei Kindern der Grundschule sowie weiterführenden Schule durch höhere und gleichmäßige Beleuchtungsstärken der Klassenräume beobachtet werden. Das erhöhte Umgebungslicht in den Klassenräumen schützt nicht nur myope Kinder vor der Progression, auch nicht-myope Kinder sind vor einer beginnenden Myopisierung geschützt.

Des Weiteren zeigten sich nach einem Jahr signifikante Differenzen in der Inzidenz neuauftretender Myopien zwischen den Interventionsgruppen und Kontrollgruppen (4 % vs. 11 %). WU et al. (2018) konnten mittels ihres initiierten Outdoor-Programms während

der Pausenzeiten eine hemmende Wirkung der Myopisierung um 25 % (0,35 vs. 0,47 dpt) der 6- bis 7-jährigen chinesischen Kinder sowie ein 15 % reduziertes Bulbuslängenwachstum (0,28 vs. 0,33 mm) nachweisen. Im Vergleich zu den Ergebnissen von HUA et al. (2015) unterschied sich die Inzidenz neu auftretender Myopien signifikant zu den retrospektiv erhobenen Daten von WU et al. (2018). Dabei zeigte das hellere Klassenzimmer einen deutlich höheren protektiven Effekt auf eine neu auftretende Myopie (4 % vs. 14,47 %). Zudem konnten WU et al. die höchsten Lichtintensitäten des natürlichen Tageslichtes zwischen 8.00 bis 14.00 Uhr messen, was auch von JIANG et al. (2018) bestätigt werden konnte. Diese Erkenntnis ist wichtig, da die Schultage zum größten Teil aus Vormittags- und Nachmittagsunterricht bestehen. Die natürliche Lichtintensität im Außenbereich nimmt nach 16.00 Uhr stark ab. Dabei sind die Lichtverhältnisse saisonal verschieden.

Diesen Effekt der saisonalen Veränderungen untersuchten TSAI et al. (2018), die in der Stadt Taipei eine Variation zwischen Sommer und Winter von 3,2 Sonnenstunden aufweist. Zu der höheren Myopieprogression über die Wintermonate stellten Tsai et al. fest, dass Kinder mit vorhandener Myopie eine stärkere Progression aufwiesen als die, die zu Beginn noch keine Myopie hatten.

Diese Erkenntnis ist ebenfalls wichtig, um eine Aussage darüber zu treffen inwieweit die erhöhten Lichtverhältnisse als Myopieprophylaxe dienen können. Alle drei Studien weisen darauf hin, dass die Beleuchtungsstärke vor allem bei nicht myopen Kindern einen signifikant schützenden Effekt aufweisen (KAROUTA 2015, HUA 2015, WU 2018).

WANG et al. (2018) verglichen die Effekte von künstlichem Licht gegenüber natürlichem Sonnenlicht. Mittels ihrer zwei durchgeführten Teilerperimente fanden sie heraus, dass Affen unter künstlicher Beleuchtung eine höhere Anisometropie zwischen linseninduziertem rechtem Auge und unkorrigiertem kontralateralem Auge entwickelten. Diese Anisometropie verringerte sich unter dem Einfluss von dreistündiger Lichtexposition gegenüber natürlichem Sonnenlicht. Die Endresultate ergaben im Vergleich zu den Kontrollaffen, die seit dem 20-30. Lebensjahr mit uneingeschränkter Sicht unter der identischen künstlichen Innenbeleuchtung aufgezogen wurden, signifikante Unterschiede. So stellte sich heraus, dass Affen, denen über 190 Tage eine künstliche Myopie herbeigeführt wurde und dabei jedoch dreistündigen Zugang zum Tageslicht hatten, dennoch emmetropere Refraktionswerte mit dem dritten Lebensjahr aufwiesen, als Affen der Kontrollgruppe, die unentwegt künstlicher Innenbeleuchtung ausgesetzt waren.

Diese Erkenntnisse von WANG et al. (2015) lassen schlussfolgern, dass die tägliche Exposition gegenüber natürlichem Sonnenlicht, die durch hyperopen Defokus induzierte Deprivationsmyopie so weit hemmt, dass alleinig eine dreistündige Lichtexposition trotz Deprivationsmyopie positiver ausfällt als eine gleichmäßige Innenbeleuchtung nicht myoper Affen.

Kritisch muss jedoch hierbei betrachtet werden, dass die künstliche Laborbeleuchtung lediglich aus durchschnittlich 200 Lux bestand. Übertragen auf den Innenraum bzw. Klassenzimmer in Schulen, gelten 200 Lux eher als unzureichende Beleuchtung und ziehen im Vergleich zu den erhöhten Lichtverhältnissen in Klassenzimmern, wie sie HUA et al.

(2015) umsetzen, eher myopere Refraktionsverschiebungen mit sich.

Das Experiment von LANCA et al. (2019) beweist, dass selbst Klassenzimmer mit Fenster nur niedrige Lichtstärken von maximal 156 Lux zulassen und somit nicht als Myopieprophylaxe angesehen werden können.

Bereits FADEYI et al. (2014) beschrieben die sehr differenten Beleuchtungsstärken in den Klassenzimmern der Vereinigten Arabischen Emirate, die von 100 - 800 Lux variierten. Mittels des Experiments von LANCA et al. konnte eine durchschnittliche Lichtstärke zwischen 9.00 - 16.00 Uhr bei bewölkten Wetterbedingungen auf freiem Feld von 11.080 - 18.176 Lux gemessen werden. Der schattenspendende Effekt unter einem Baum wies ebenfalls noch 5.556 - 7.876 Lux auf, was einer 50-mal höheren Lichtintensität als im Innenbereich entspricht. Selbst unter den Sonnenschutzmaßnahmen mittels diverser Sonnenbrillen sowie Baseballkappe einzeln oder in Kombination konnten deutlich höhere Lichtintensitäten gemessen werden, als sie unter Innenraumbedingungen erreicht werden können. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Außenbeleuchtung viel höhere Lichtintensitäten abdecken kann und die Intensität des Lichtes eine entscheidende Rolle für die Myopieentstehung sowie deren Progressionseindämmung spielt.

Aus der bisher dargelegten Forschung zum Sonnenlicht und Beleuchtungsstärke geht jedoch nicht klar hervor, ob es die Intensität des Lichtes ist, die den ausschlaggebenden Punkt des protektiven Effekts ausmacht oder die spektrale Zusammensetzung des Lichtes im kurzwelligen Bereich.

Das kurzwellige Licht im Spektrum des blauen Lichts kann über künstliche Lichtquellen, beispielsweise Tageslichtlampen, abgedeckt werden, jedoch nicht das sehr kurzwellige Licht im violetten bis ultravioletten Spektrum.

Bereits 2013 beschrieben FOULDS et al. die protektive Wirkung von blauem Licht auf die Myopie. TORII et al (2017) stellten die Hypothese auf, dass violettes Licht, welches eine noch kürzere Wellenlänge als blaues Licht aufweist, einen noch größeren Nutzen für die Myopieforschung haben könnte. Sie bestätigten ihre Hypothese, dass violettes Licht eine unterdrückende Wirkung auf das Fortschreiten einer Myopie hat. Auf Grundlage dessen schlossen sie dem Küken-Modell ein weiteres Telexperiment mit Kindern an. Dabei konnten TORII et al. (2017) ebenfalls ihre Hypothese auch auf das menschliche Auge übertragen und bestätigen, dass violettes Licht einen schützenden Effekt auf die Progredienz einer Myopie ausübt. Anzumerken ist hierbei, dass die eingeschlossenen Kinder eine Myopie von -1.0 dpt und mehr aufweisen mussten und zwischen 10-15 Jahre alt waren, sodass anhand dieser Erkenntnisse keine Aussage über den prophylaktischen Effekt bei noch vorhandener Emmetropie getroffen werden kann.

Des Weiteren nimmt zwischen der gewählten Alterspanne ebenfalls die typische altersentsprechende Myopisierung ab, sodass diese Erkenntnisse nicht sicher auf das Grundschulalter übertragbar sind.

Mittels dieser Studie konnte jedoch gezeigt werden, dass das scheinbar wichtige Myopie-Schutzgen EGR1 durch die Eliminierung von violettem Licht unterdrückt wird (TORII 2017).

Die aktuelle Studie von STICKLAND aus dem Jahr 2020 bestätigte ebenfalls die positiven Effekte von violetter Lichtexposition im Vergleich zu mittelwelligem grünem und vollspektralem weißem Licht. Sie fanden heraus, dass die schützende Wirkung von violettem Licht durch eine Zapfen-Dysfunktion vollständig aufgehoben wird. SEIDEMANN und SCHAEFFEL berichteten, dass die unterschiedlichen chromatischen Wellenlängen durch chromatische Längsfehler zu wellenlängenabhängigen Fokussierungsebenen führen, sodass langwelliges Licht hinter der Netzhaut und kurzwelliges Licht vor der Netzhaut fokussiert wird (SEIDEMANN 2002). Dies geht mit der Aussage von SCHAEFFEL et al. (1988) überein, die bereits 24 Jahre zuvor feststellten, dass das Auge seiner schärfsten Abbildung hinterher wächst.

Sehr kurzwelliges Licht wird in der heutigen Gesellschaft so gut es geht eliminiert, da es bekanntermaßen ein Risiko für Augen und Haut mit sich zieht. YAM und KWOK beschrieben, dass UV-Licht mit UV-B-Anteilen ein Risikofaktor für das Auftreten von sekundärer Katarakt, eines Pterygium sowie Hautkrebs darstellt (YAM 2014). Besonders zum Nutzen von UV-Licht muss abgewogen werden, inwieweit eine Exposition an sehr kurzwelligem Licht, wie es im Sonnenlicht vorkommt, positiv auf die kindliche Myopie wirkt und deren eventuell sekundär auftretenden ophthalmologischen Risiken. Hierzu gibt es derzeit nur eine ungenügende Anzahl an Studien, welche die angemessene Menge an UV-Licht untersuchen.

Torii et al. kamen zu dem Ergebnis, dass kurzwelliges violettes Licht im Bereich von 360 – 400 nm das ideale Licht zur Myopiekontrolle ist, da es einen besseren Effekt als das blaue Lichtspektrum mit sich zieht, jedoch keine gesundheitsschädlichen Folgen wie reines UV-Licht verursacht (TORII 2017).

Die Wirkung von violettem Licht auf den Dopamin-Spiegel in der Netzhaut wurde von WANG et al. (2018) untersucht, die zu den bereits bekannten hyperoperen Refraktionswerten unter UV-Licht gleichzeitig auch signifikant höhere DOPAC-Konzentrationen (3,4-Dihydroxyphenyllessigsäure, Metabolit des Dopamins (DA)) nachwiesen. Anhand mehrerer Studien konnte beobachtet werden, dass ein reduzierter retinaler Dopamin-Spiegel gemessen wird, wenn zuvor durch Diffusoren oder durch Negativlinsen deren scharfe Sicht entzogen wurde (LANDIS 2021, WANG 2018). Aus der Übersichtsarbeit von FELDKAEMPER und SCHAEFFEL (2013) geht ebenfalls hervor, dass das retinale Dopamin (DA) durch eine Reihe visueller Reize, wie die Beleuchtungsstärke der Netzhaut und den räumlichen Frequenzgehalt des Bildes, reguliert wird.

LANDIS et al., die im Rahmen ihrer Studie die Auswirkungen von skotopischen, mesopischen sowie photopischen Lichtverhältnissen untersuchten, konnten mittels ihres Experiments beweisen, dass der Dopamin-Umsatz zunimmt, wenn die Netzhaut höheren Beleuchtungsstärken ausgesetzt wird. Im Kontext dazu konnten sie ebenfalls feststellen, dass die dopaminbezogenen Genexpressionen und Proteinspiegel bei LIM Augen (linseninduzierte Myopie) unterschiedlich von den drei Umgebungslichtstärken beeinflusst werden. Augen, die mit einer -10,0 dpt Linse behandelt wurden, konnten eine Dopamin-Synthese sowie beste Speicherung bei mesopischen Lichtverhältnissen nachgewiesen werden. Dem gegenüber konnte bei unbehandelten Kontrollaugen die höchsten DO-

PAC-Spiegel bei photopischem Licht beobachtet werden.

Diese Erkenntnis könnte interessant für die Myopieprophylaxe sein, wenn bei nicht myopen Kindern eine Dopaminfreisetzung vornehmlich unter photopischen Lichtverhältnissen geschieht.

WANG et al. (2018) konnten zum einen feststellen, dass Küken, die sieben Tage unter mesopischen Lichtverhältnissen gehalten wurden, eine höhere Myopie am siebten Tag aufwiesen als Küken, die unter photopischen oder skotopischen Lichtverhältnissen gehalten wurden. Dabei ließ sich keine signifikante Differenz zwischen der photopischen und skotopischen Gruppe nachweisen. Im zweiten Telexperiment fanden die Autoren*innen heraus, dass alleinig eine kurze Lichtexposition von 30 min im weißen Raumlicht einen erstaunlichen Dopamin-Anstieg bewirkte. Im Weiteren konnten sie feststellen, dass die Gruppe unter kurzzeitiger Exposition von blauem Licht deutlich höhere DA-Spiegel aufwies als unter rotem Licht und UV-Licht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sowohl das blaue Licht als auch UV-Licht mit einer Erhöhung des Dopamin-Spiegels in der Netzhaut einhergeht. Besonders bei deprivierten myopischen Augen konnte das blaue Licht als Dopamin-fördernden Faktor gesehen werden, wohingegen nicht myope Augen auf blaues sowie UV-Licht reagieren.

Anhand dieser systematischen Literaturrecherche konnte gesehen werden, dass die Myopie multifaktorieller Natur ist und es nicht einen einzigen und ausschlaggebenden Faktor für die Prophylaxe einer Myopie gibt. Was sich anhand der eingeschlossenen Rechercheergebnisse herausstellte ist, dass die Beleuchtungsstärke und Sonnenlicht-Expositionen speziell für nicht myope Kinder eine ausschlaggebende Rolle zu spielen scheinen. Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass helle Klassenzimmer sowohl nicht myope Kinder vor dem Neuauftritt einer Myopie als auch myope Kinder vor einer weiteren Progression schützen, wohingegen die verbesserte Beleuchtung auch hierbei den nicht myopen Kindern mehr zugutekam.

Wie bereits genannt, ist die Beleuchtungsstärke sowie die Gleichmäßigkeit der Beleuchtung in Schulen sehr different, wie die Studien von HUA et al. (2015), FADEYI et al. (2014) und LANCA et al. (2019) zeigten. Wie die Situation der Beleuchtungsstärken in den deutschsprachigen Ländern ist, kann nicht sicher abgeschätzt werden, da diesbezüglich eine sehr geringe Anzahl an Studien vorliegt. Eingeschlossen wurden lediglich zwei in Deutschland publizierte Studien von SCHAEFFEL et al., bei denen an der Tübinger Universität vornehmlich an Tieren geforscht wurde und aus deren protokollierten Werten ebenfalls eine geringere Beleuchtungsstärke hervorgeht, als sie nach DIN EN 12464-1 empfohlen wird. Zum Dritten konnte belegt werden, dass violettes und blaues Licht positiv auf die Verlangsamung des axialen Bulbuswachstums wirkt. Des Weiteren zeigte LANDIS et al., dass bei nicht myopen Küken die höchste Dopamin-Freisetzung durch photopische Lichtverhältnisse stattfindet. All diese Erkenntnisse zeigen, dass besonders bei noch hyperopen sowie emmetropen Kindern die Lichtverhältnisse von entscheidender Rolle für die weitere Refraktionsentwicklung sind.

4. Fazit

Die Ergebnisse der Forschung zeigen, dass es nicht den einen Faktor für die Prophylaxe des vorzeitigen Einsetzens einer Emmetropisierung im Kindesalter gibt. Vielmehr entsteht die Prävalenz einer Myopie durch mehrere Umweltfaktoren. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Faktor Licht genauer untersucht, um zu verstehen, welche Prozesse überhaupt bei der Myopieentstehung beteiligt sind und in welcher Weise durch Sensibilisierung gegenüber bestimmten Faktoren eine Risikoeindämmung erzielt werden kann. Mit Hilfe des dargelegten Forschungsstandes lässt sich bestätigen, dass hohe Beleuchtungsstärken sowie die Aufenthaltszeit im Freien bereits vor Eintreten einer Myopie sinnvoll sind.

Literatur

- BERUFSVERBAND DER AUGENÄRZTE DEUTSCHLAND E.V. & DEUTSCHE OPHTHALMOLOGISCHE GESELLSCHAFT
Empfehlung bei progredienter Myopie im Kindes- und Jugendalter. (2018)
- CONRAD F
Myopie - Bedeutung, Risiken und Chancen. die KONTAKTLINSE, 5-8 (2017)
- FADEYI MO, ALKHAJA K, SULAYEM MB, ABUHJLEH B
Evaluation of indoor environmental quality conditions in elementary schools' classrooms in the United Arab Emirates. *Front Archit Res.*, 3 (2), 166–177. (2014)
- FELDKAEMPER M., SCHAEFFEL F.
An updated view on the role of dopamine in myopia. *Exp Eye Res*, 114, 106-19. (2013)
- FOULDS WS, BARATHI VA, LUU CD
Progressive myopia or hyperopia can be induced in chicks and reversed by manipulation of the chromaticity of ambient light. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 54, 8004–8012 (2013)
- FÖRDERGEMEINSCHAFT GUTES LICHT (FGL). GUTES LICHT FÜR SCHULEN UND BILDUNGSSTÄTTEN 2.
<https://www.mkk.de>
- GUGGENHEIM J A, NORTHSTONE K, MCMAHON G, NESS A R, DEERE K ET AL.
Time outdoors and physical activity as predictors of incident myopia in childhood: a prospective cohort study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 53 (6), 2856-2865 (2012)
- GWIAZDA J, DENG L, MANNY R, NORTON TT
COMET-Studiengruppe. Saisonale Schwankungen des Fortschreitens der Myopie bei Kindern, die an der Korrekturstudie zur Myopie-Bewertung teilgenommen haben. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 55 (2): 752 - 758 (2014)
- HELBIG H, JOUSSEN A
Myopie. *Klinische Monatsblätter*, 228 (09), 753 (2011)
- HOYA
Das innovative Brillenglas für das Myopie-Management bei Kindern (April 2021)
- HUA W J, JIN J X, WU X Y, YANG J W, JIANG X ET AL.
Elevated light levels in schools have a protective effect on myopia. *Ophthalmic & physiological optics: The journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)* 35 (3), 252-262 (2015)
- JIANG X, KURIHARA T, TORII H, TSUBOTA K
Progress and control of myopia by light environments. *Eye Contact Lens*, 44 (5), 273-278 (2018)
- JONAS JB, PANDA-JONAS S
Epidemiologie und Anatomie der Myopie. *Ophthalmologie*, 499-508 (2019)
- JONAS RA, WANG YX, YANG H, LI JJ, XU L, PANDA-JONAS S, JONAS JB
Optic disc- fovea distance, axial length and parapapillary zones: The Beijing Eye Study (2015)
- KAROUTA C, ASHBY, REGAN S
Correlation between light levels and the development of deprivation myopia. *Investigative ophthalmology & visual science* 56 (1), 299-309 (2014)

- LAGRÈZE WA, SCHAEFFEL F
Myopioprophylaxe. Deutsches Ärzteblatt, 114, 575-579 (2017)
- LAM CSY, TANG WC, TSE DY, LEE RPK, CHUN RKM ET AL
Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: a 2-year randomised clinical trial. Br J Ophthalmol (2019)
- LANCA C, TEO A, VIVAGANDAN A, HTOON HM, NAJJAR RP ET AL.
The effects of different outdoor environments, sunglasses and hats on light levels: implications for myopia prevention. Transl vis sci technol 8 (4), 7-16 (2019)
- LANDIS EG, PARK HN, CHRENEK M, HE L, SIDHU C ET AL.
Ambient light regulates retinal dopamine signaling and myopia susceptibility. Invest Ophthalmol Vis Sci, 62 (1), 28-43 (2021)
- LANG GK
Augenheilkunde. Thieme (2004)
- MILLOT
Wörterbuch der Optometrie und visuellen Wissenschaft. Butterworth-Heinemann (2009)
- MORGAN IG, FRENCH AN, ASHBY RS, GUO X, DING X ET AL.
The epidemics of myopia: aetiology and prevention. Prog Retin Eye Res. 62:134-149 (2018)
- NORTON TT, SIEGWART JT JR
Light levels, refractive development, and myopia - a speculative review, Exp Eye Res., 114, 48-57 (2013)
- SCHAEFFEL F, GLASSER A, HOWLAND HC
Accommodation, refractive error and eye growth in chickens. Vision Res, 28, 639-657 (1988)
- SCHAEFFEL F
Myopie-Update 2011. Klin Monatsbl Augenheilkd, 228, 754-761 (2011)
- SCHAEFFEL F
Biologische Mechanismen der Myopie und daraus angeleitete Eingriffsmöglichkeiten bei Kindern. die KONTAKTLINSE, 10-13 (2017)
- SCHAEFFEL F
Prävention der Myopie. Ophthalmologe, 116; 509-517 (2019)
- SCHUSTER AK, KRAUSE L, KUCHENBÄCKER C, PRÜTZ F, ELFLEIN HM ET AL.
Prävalenz von Kurzsichtigkeit und deren Veränderung bei Kindern und Jugendlichen. Ergebnisse der deutschen KiGGS-Studie. Deutsches Ärzteblatt, 117 (50), 855-860 (2020)
- SEIDEMANN A, SCHAEFFEL F
Effects of longitudinal chromatic aberration on accommodation and emmetropization. Vision Res., 42 (21), 2409-2417 (2002)
- SHAH RL, HUANG Y, GUGGENHEIM JA, WILLIAMS C
Time outdoors at specific ages during early childhood and the risk of incident myopia. Invest Ophthalmol Vis Sci, 58 (2), 1158-1166 (2017)
- TRUCKENBROD C
Atropin als Mittel zur Myopiekontrolle. die KONTAKTLINSE, 40-42 (2017)
- TSAI DC, HUANG N, FANG SY, HSU CC, LIN PY ET AL.
Seasonal variation of refractive error change among young schoolchildren in a population-based cohort study in Taipei. Br J Ophthalmol, 103 (3), 343-348 (2019)
- VURGESE S, PANDA-JONAS S, JONAS JB
Scleral thickness in human eyes. PLoS One. 2012;7(1):e29692 (2012)
- WANG Y, DING H, STELL WK, LIU L, LI S ET AL.
Exposure to sunlight reduces the risk of myopia in rhesus monkeys. PloS one. 10 (6) (2015)
- WANG M, SCHAEFFEL F, JIANG B, FELDKAEMPER M
Effects of light of different spectral composition on refractive development and retinal dopamine in chicks. Invest Ophthalmol Vis Sci, 59 (11), 4413-4424 (2018)
- WORLD HEALTH ORGANIZATION
Impact of increasing prevalence of myopia and high myopia. <https://www.who.int/blindness/causes/MyopiaReportforWeb.pdf> (2015)
- WU PC, TSAI CL, WU HL, YANG YH, KUO HK
Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in school children. Ophthalmology. 120 (5) .1080-5 (2013)

- WU, PC, CHEN CT, LIN KK, SUN CC, KUO CN ET AL.
Myopia prevention and outdoor light intensity in a school-based cluster randomized trial. *Ophthalmology* 125 (8), 1239–1250 (2018)
- YAM JC, KWOK AK
Ultraviolet light and ocular diseases. *Int. Ophthalmol.* 34 (2), 383–400 (2014)
- ZADNIK K, SINNOTT LT, COTTER SA
Vorhersage der juvenilen Myopie. *JAMA Ophthalmol.*, 133 (6): 683–689 (2015)
- ZHOU Z, CHEN T, WANG M, JIN L, ZHAO Y, CHEN S ET AL.
Pilot study of a novel classroom designed to prevent myopia by increasing children's exposure to outdoor light. *PLoS One.* 12 (7) (2017)

Anschrift der Autorin:

*Julia Schaal, Dipl. Orthoptistin, Medizinpädagogin B.A.
Orthoptikzentrum Zürich
Seefeldstrasse 214
8008 Zürich
E-Mail: J.Schaal@gmx.ch*