



Masterstudiengang
(M.Sc.) Vision Science and Business (Optometry)
an der Hochschule Aalen (Aalen University)

in Kooperation mit
New England College of Optometry, Boston, MA, USA,
und
College of Optometry at Pacific University, Forest Grove, OR, USA

**Die richtige Konsequenz beim UV-Schutz: Myopiekontrolle versus
Sonnenlichtbedingte Veränderungen an den Augen. Ein review.**

**Keep the balance of UV-protection: Myopia control versus
sunlight-caused ocular changes. A review.**

Vorgelegt von:

Lukas Zurbuchen

Masterthesis zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science M.Sc.

Betreut von:

Prof. Dr. Anna Nagl, Aalen University

Markus Hofmann, M. Sc. in Vision Science and Business (Optometry), Sehzentrum Zürich

Juli 2019



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1 Abstract	4
1.1 English.....	4
1.2 Deutsch.....	4
2 Fragestellung	5
2.1 Fragestellung	5
2.2 Begründung Themenwahl	5
3 Einleitung	5
3.1 Myopie.....	5
3.1.1 Definition.....	5
3.1.2 Prävalenz	5
3.1.3 Häufigste Pathologische Veränderungen und deren Relation zur Myopie	6
3.2 Definition von Licht	6
3.2.1 Beleuchtungsstärke.....	7
3.3 UV-Strahlung auf der Erde	7
3.3.1 Ozonloch	8
3.4 Physiologie von kurzwelligem Licht.....	9
3.4.1 Absorption im Auge	9
3.4.2 Haut Absorption und Vitamin D Bildung.....	11
3.5 Sonnenbrillen	12
3.6 Bestehende Empfehlungen	12
3.6.1 UV-Index.....	12
3.6.2 Ozonloch	13
3.6.3 Künstliche Quellen von UV-Strahlung.....	13
3.7 Durch kurzwellige Strahlung verursachte Veränderungen am Auge.....	14
3.7.1 Photokeratitis.....	14
3.7.2 Pinguecula	14
3.7.3 Pterygium.....	14
3.7.4 Plattenepithelneoplasie	15
3.7.5 Katarakt.....	15
3.7.6 Altersabhängige Makuladegeneration AMD	16



3.7.7	Malignes Melanom	17
3.8	Myopie Entstehung	18
3.8.1	Genetische Komponente	18
3.8.2	Pupillengrösse und Myopie.....	18
3.8.3	Dopamin.....	19
3.9	Auswirkungen von kurzweiliger Strahlung auf die Myopie Progredienz	19
4	Modellrechnung.....	20
4.1	Altersabhängige Makuladegeneration AMD.....	21
4.1.1	Prävalenz nach Alter	21
4.1.2	Prävalenz nach Sonnenschutz und Zeit im Freien	21
4.2	Myopie.....	22
4.2.1	Prävalenz Zeit im Freien.....	22
4.2.2	Parentaler Risikofaktor	23
4.2.3	Bildung	23
4.3	Amotio Retinae.....	24
4.3.1	Myopie als Riskofaktor einer Amotio Retinae	24
4.4	Modelrechner.....	25
5	Diskussion.....	26
5.1	Modellrechnung	26
5.2	In der Modellrechnung nicht berücksichtigte Veränderungen an den Augen	28
5.2.1	Photokeratitis.....	28
5.2.2	Pinguecula	28
5.2.3	Pterygium.....	28
5.2.4	Plattenepithelneoplasie	29
5.2.5	Katarakt.....	29
5.2.6	Malignes Melanom	29
6	Fazit.....	29
6.1	Persönliche Konsequenz aus dieser Arbeit	29
6.2	Weiteres Vorgehen	30
7	Abbildungsverzeichnis.....	30
8	Tabellenverzeichnis.....	30
9	Formelverzeichnis	31



10	Glossar	32
11	Abkürzungsliste	33
12	Referenzen	vi
13	Danksagung	xv
14	Deklaration.....	xvi

1 Abstract

1.1 English

Keep the balance of UV-protection: Myopia control versus sunlight-caused ocular changes. A review.

Purpose Is it reasonable to use consequent UV-protection for the eyes although UV-protection has a protective effect against myopia.

Introduction Myopia is typically caused by elongation of the eyeball. This kind of ametropia has a strongly increasing prevalence in the last decades. UV-radiation has many negative consequences for the skin and the eyes. Beside the acute photokeratitis are pinguecula, pterygia, epithelial squamous cell neoplasia, cataract, age related macular degeneration and malign melanoma chronic changes. On the other hand, UV-radiation decreases or blocks the elongation of the eyeball.

Model calculation The risk for myopia can be calculated using the year of birth, the use of sun protection, family history, time spent outdoors and education level. Sometimes used sun protection versus often used sun protection protects against the development of myopia with a factor of 1.03. The biggest risk for getting myopic comes from familiar predisposition.

Discussion Time spent outdoors inhibits myopia strongly, sun protection slightly forces its development. Sun protection is a strong protective factor of UV-caused eye- and skin disease. To renounce sun protection for myopia protection seems to be unreasonable.

1.2 Deutsch

Die richtige Konsequenz beim UV-Schutz: Myopiekontrolle versus Sonnenlichtbedingte Veränderungen an den Augen. Ein review.

Fragestellung Ist es sinnvoll im Kindesalter restriktiv einen UV-Schutz für die Augen anzuwenden, obwohl UV-Strahlung eine schützende Wirkung für das Entstehen einer Myopie hat?

Einleitung Die Myopie ist eine typischerweise durch Längenwachstum des Augapfels verursachte Fehlsichtigkeit mit stark steigender Prävalenz in den letzten Jahrzehnten. UV-Strahlung hat auf die Haut und die Augen eine Vielzahl negativer Auswirkungen. Nebst der akuten Photokeratitis sind Pinguecula, Pterygium, Plattenepithelneoplasie, Katarakt, AMD und maligne Melanome chronische Veränderungen. Andererseits bremst UV-Strahlung das Fortschreiten des Augenlängenwachstums.

Modellrechnung Mittels dem evidenzbasierten Modellrechner kann das Risiko einer Myopie und deren Stärke anhand des Jahrgangs, der Sonnenschutzanwendung, der familiären Prädisposition, der Zeit im Freien und des Bildungsgrades berechnet werden. Gelegentlich angewandter Sonnenschutz hat gegenüber häufig angewandtem Sonnenschutz einen Schutzfaktor für die Myopieentstehung von 1.03. Das grösste Risiko einer Myopie kommt von der familiären Prädisposition.

Diskussion Zeit im Freien hat einen grossen hemmenden Effekt auf die Myopie, Sonnenschutzanwendung nur einen leicht Fördernden. Zudem hat Sonnenschutz einen stark

hemmenden Effekt auf UV-bedingte Augen- und Hauterkrankungen. Auf Sonnenschutz der Augen zu verzichten, um eine Myopie zu verhindern oder im Fortschreiten zu bremsen, scheint unvernünftig.

2 Fragestellung

2.1 Fragestellung

Ziel dieses Reviews ist die bestehenden Empfehlungen des UV-Schutzes in Hinblick auf die Myopiekontrolle und UV-Strahlung verursachten Augenveränderungen zu analysieren. Generell lauten die Empfehlungen, im Hinblick auf die Myopiekontrolle, viel Zeit im Freien zu verbringen. Andererseits gelten im Kindes- und Erwachsenenalter im Bereich des UV-Schutzes sehr restriktive Empfehlungen bezüglich des Tragens von Sonnenbrillen.

Mit einer Modellrechnung sollen die Risikofaktoren für die Altersbedingte Makuladegeneration, als schwerwiegende Folge von UV-Strahlung, Myopie und Amotio Retinae, zusammengetragen und veranschaulicht werden.

2.2 Begründung Themenwahl

Beim Thema UV-Schutz werden AugenoptikerInnen und OptometristInnen häufig mit der Frage des UV-Schutzes bei Kindern konfrontiert. In der Lehre als AugenoptikerIn EFZ in der Schweiz wird in den überbetrieblichen Kursen gelehrt, dass ein UV-Schutz der Kinderaugen nur bei starker Sonneneinstrahlung nötig sei, damit sich der UV-Schutz der Augenlinse entwickeln kann. Andererseits stehen diverse UV-bedingte mehr oder weniger maligne Veränderungen, die im hohen Lebensalter zu massiven irreversiblen Sehverschlechterungen führen. Die wohl häufigste maligne Augenveränderung ist die AMD. Sobald jemand an einer AMD erkrankt ist oder Hinweise auf eine AMD Entstehung hat, wird zu extrem konsequentem Sonnenschutz der Augen geraten.

3 Einleitung

3.1 Myopie

3.1.1 Definition

Die Myopie ist ein Mangel an Sehschärfe in der Ferne bedingt durch eine zu grosse Augenlänge und/oder eine zu starke Brechkraft des Auges.

3.1.2 Prävalenz

Die weltweite Prävalenz von Myopie variiert stark. Eine Prävalenz unter 15% bei 17-Jährigen kann im Osten Nepals, ruralen und urbanen Indien, in Südafrika und Chile ausgemacht werden. Eine hohe Prävalenz zeigt sich im urbanen Malaysia, urbanen und semiruralen China, in Ostasien und Taiwan (1–3). Weltweit waren 2011 rund 1.44 Milliarden Menschen myop (4) was 21% der Weltbevölkerung entspricht (5). Für das Jahr 2050 wird eine weltweite Prävalenz der Myopie von 50% prognostiziert (6).

3.1.3 Häufigste Pathologische Veränderungen und deren Relation zur Myopie

Eine axiale Myopie birgt, abhängig von ihrem Schweregrad, ein proportional zunehmendes Risiko für pathologische Veränderungen an den Augen. Bereits eine leichte Myopie erhöht das Risiko einer Amotio Retinae um ein Mehrfaches (Tabelle 1) (7).

Emmetropie	Katarakt	Glaukom	Amotio Retinae
-1.00 bis -3.00	2x	4x	4x
-3.00 bis -6.00	3x	4x	10x
-6.00 oder höher	5x	4x	16x

Tabelle 1: Risiko für Augenerkrankungen verglichen mit der Emmetropie (7)

In entwickelten Ländern ist eine Behandlung einer Katarakt inzwischen ein Routineeingriff, dennoch ergibt sich auf Grund der im Vergleich zur körpereigenen Augenlinse dünneren Intraokularlinse postoperativ bei Myopen ein erhöhtes Risiko für eine Amotio Retinae (8).

3.2 Definition von Licht

Sichtbares Licht ist Teil der elektromagnetischen Strahlung (Abbildung 1). Elektromagnetische Strahlung ist eine transversale Dispersion von Energie. In verschiedenen Brechungsindizes bleibt die Frequenz der elektromagnetischen Strahlung dieselbe, die Wellenlänge hingegen wird kürzer in Material mit höherem Brechungsindex. Das für Menschen sichtbare Licht hat eine Frequenz von 385 THz bis 770 THz (9,10). Dies ergibt Wellenlängen in der Luft oder im Vakuum¹ von ungefähr 380 bis 780 nm und eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von $2.997 \cdot 10^8$ m/s (11–14). Die meisten Eigenschaften von Licht können mit elektromagnetischer Strahlung (auch physikalische oder Wellenoptik genannt) beschrieben werden (15).

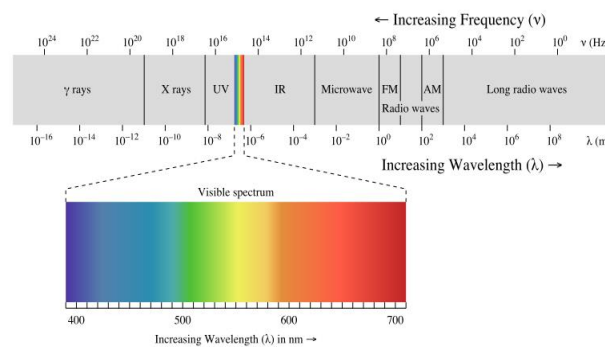


Abbildung 1: Elektromagnetisches Spektrum

Die Entstehung von Licht kann mit einem Sprung von einem Elektron innerhalb eines Atoms zwischen verschiedenen Elektronenschalen beschrieben werden. Das entstandene Elementarteilchen nennt sich Photon. Die Masse eines Photons wird als 0 beschrieben, da keine Größenänderung im Vakuum ausgemacht werden kann. In kürzeren Wellenlängen steigt der Energiegehalt eines Photons

¹ Brechungsindex von Luft (Standardbedingungen): $n = 1,000\ 034\ 911$ und idealem Vakuum: $n = 1$ (exakt)



exponentiell ($W_{ph} = h\nu$, Abbildung 2). Die Energie eines Photons in rotem Licht (600 nm) ist in etwa $3.3 \cdot 10^{-19}$ J. Nahezu doppelt so viel Energie hat ein Photon bei einer Wellenlänge von 315 nm ($6.0 \cdot 10^{-19}$ J). In direktem Sonnenlicht ist die Intensität auf der Erde circa $1'000 \text{ W/m}^2$ (Durchschnittliche Wellenlänge 550 nm) generiert mit $2.77 \cdot 10^{21}$ Photons/($\text{m}^2 \times \text{s}$)(16).

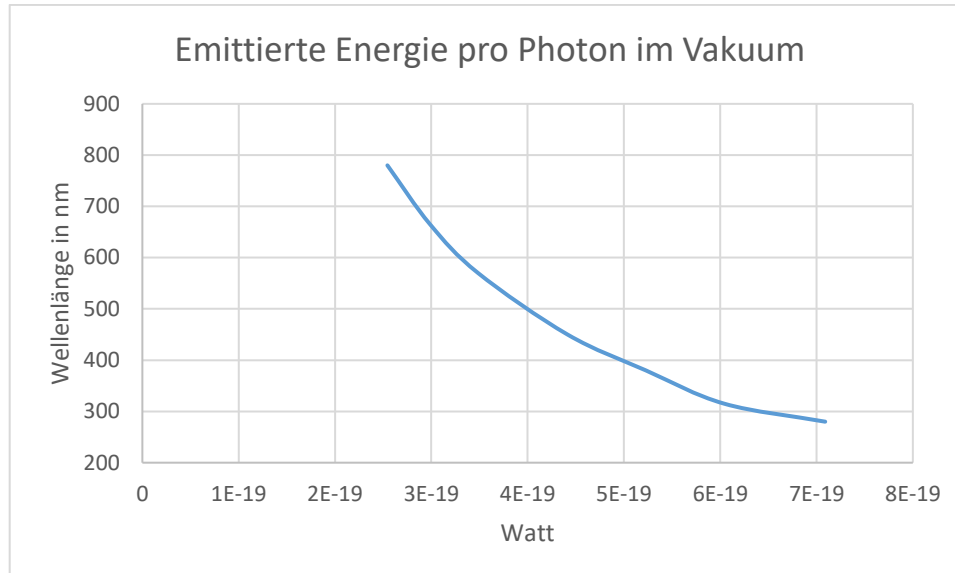


Abbildung 2: Emittierte Energie pro Photon in verschiedenen Wellenlängen im Vakuum

3.2.1 Beleuchtungsstärke

Der Lichtstrom, der auf eine bestimmte Fläche fällt, nennt sich Beleuchtungsstärke. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist Lux. Eine Beleuchtungsstärke von 1 Lux entspricht der von einer Kerze, welche 1 Meter entfernt ist, auf eine Fläche emittiertes Licht. Im Freien ist am Tag eine viel höhere Beleuchtungsstärke als in Innenräumen. Tabelle 2 zeigt die Beleuchtung in unterschiedlichen Bedingungen (17,18).

Bedingung	Beleuchtungsstärke in Lux
klarer Himmel und Sonnenhöhe 90°	130'000
klarer Himmel, Sonnenhöhe 60° (Mitteleuropa mittags im Sommer)	90'000
klarer Himmel, Sonnenhöhe 16° (Mitteleuropa mittags im Winter)	20'000
bedeckter Himmel, Sonnenhöhe 60° (mittags im Sommer)	19'000
Im Schatten im Sommer	10'000
bedeckter Himmel, Sonnenhöhe 16° (mittags im Winter)	6'000
Bedeckter Wintertag	3'500
Schule (EN 12461-1)	300
Kerze ca. 1 Meter entfernt	1

Tabelle 2: Beleuchtungsstärke nach Situation

3.3 UV-Strahlung auf der Erde

UV-Strahlung in Luft hat eine ungefähre Frequenz von 790 THz bis 30.0 PHz (380 nm - 10 nm).



Unterteilt wird UV-Strahlung in UV-A, UV-B, UV-C und EUV (Tabelle 3). Strahlung mit einer Wellenlänge von weniger als 200 nm wird auch ionisierendes UV genannt, da es Elektronen aus Atomen lösen kann (19–21).

UV-Strahlung deren Wellenlänge kürzer als 300 nm ist, wird nahezu komplett von der Atmosphäre absorbiert, ausser an den Stellen mit einem Ozonloch. Das Ozon in der Atmosphäre absorbiert Teile der UV-B Strahlen und Strahlen mit kürzeren Wellenlängen (22,23). In grossen Höhenlagen erhöht sich die totale UV-Strahlung, abhängig von der Saison, von $8\pm 2\%$ (Sommer) bis $15\pm 5\%$ (Winter) pro 1'000m (24).

Künstlich emittierende Quellen von starker UV-Strahlung sind Solarium Lampen und die Flammen von Schweissgeräten (25,26).

Wellenlänge in Luft	Frequenz	Klassifikation der UV-Strahlung nach DIN 5031-7	
315 nm - 380 nm	789 THz - 952 THz	Nahes UV	UV-A
280 nm - 315 nm	952 THz - 1.07 PHz	Mittleres UV	UV-B
200 nm - 280 nm	1.07 PHz - 1.5 PHz	Fernes UV	UV-C
100 nm - 200 nm	1.50 PHz - 3.00 PHz	Vakuum UV	
121 nm - 10 nm	2.48 PHz - 30.0 PHz	Extremes UV	EUV

Tabelle 3: Klassifizierung von UV-Strahlen nach DIN 5031-7

3.3.1 Ozonloch

In der Stratosphäre entsteht Ozon (O_3) durch die Spaltung von Sauerstoff-Atomen (O_2) mittels energiereicher UV-Strahlung. Auf der Erdoberfläche ist die Ozonkonzentration gering (27).

Ozon ist auf der Erdoberfläche zwar toxisch für die Menschen, bewirkt aber in der Stratosphäre² eine Absorption der UV-C Strahlen. Eine verdünnte Ozonschicht oder ein Ausbleiben der Ozonschicht verursacht eine Transmission der UV-C Strahlen zur Erdoberfläche (27,28).

Das Ozonloch tritt seit den 1980er Jahren jährlich in der Antarktis nach der Polarnacht auf. In der wärmeren Arktis dagegen kann kaum ein Loch in der Ozonschicht nach der Polarnacht ausgemacht werden. Die Hauptursache des Ozonlochs sind FCKW-Verbindungen³, welche seit den 1930er Jahren im Einsatz sind. FCKW-Verbindungen sorgen für einen Anstieg von Radikalen in der Stratosphäre, die mit reaktionsfreudigem Ozon zu Sauerstoff reagieren. Da FCKW-Verbindungen nur mit UV-C Strahlen abbauen, bleiben diese über Jahrzehnte in der Atmosphäre bestehen (29).

Da FCKW-Verbindungen eine lange Lebensdauer haben, dauert es Dekaden bis sich das Ozonloch erholt. 2006 war das Ozonloch mit 27 Millionen Quadratkilometer am grössten. 2017 hatte das Ozonloch eine Fläche von ca. 20 Millionen Quadratkilometer. Eine komplette Erholung des Ozonlochs wird für 2053 bis 2084 prognostiziert (23,30).

² Im Bereich der Pole ca. 8 bis 50 km über der Erdoberfläche

³ Fluorchlorkohlenwasserstoffe FCKW sind organische Verbindungen, die als Treibgase, Kältemittel oder Lösemittel verwendet werden.

Die gesundheitlichen Auswirkungen betreffen Bewohnende von Neuseeland, Chile, Südafrika, Argentinien und Australien im Herbst, da sich die Ozon-arme Schicht mit dem Jetstream⁴ über diese Länder schiebt. Somit gelangen grosse Anteile an UV-C Strahlen auf die Erdoberfläche (23,28). Es werden erhöhte Risiken von Katarakt, Hautveränderungen, Hautkrebs und Immunsuppressionen in Gebieten mit erhöhter UV-B und UV-C Belastungen beschrieben (31).

3.4 Physiologie von kurzwelligem Licht

3.4.1 Absorption im Auge

Die Transmission von kurzwelliger Strahlung variiert in den verschiedenen Medien des menschlichen Auges. Die Absorption von sichtbarem Licht im Tränenfilm ist vernachlässigbar (32). Über UV-Absorption im Tränenfilm konnte keine Literatur ausgemacht werden. Die Cornea absorbiert Strahlen, die kürzer als 300 nm und länger als 2'500 nm sind. Isoliertes Kammerwasser lässt Strahlung mit einer Wellenlänge von weniger als 300 nm durch, der Glaskörper absorbiert hingegen diese Strahlen (33). Die Augenlinse verändert die UV-Absorption im Verlaufe des Lebens. In Kinderaugen hat die Augenlinse ein 'UV-Fenster', welches keine Strahlen zwischen 300 nm und 350 nm absorbiert (Abbildung 3). Ab dem 10. Lebensjahr gibt es kaum noch Transmission von Strahlung mit einer geringeren Wellenlänge als 380 nm durch die Augenlinse. Auch die Transmission von kürzeren Wellenlängen im sichtbaren Bereich verändert sich im Laufe des Lebens (Abbildungen 4-6). Die IR-Absorption verändert sich im Laufe des Lebens kaum, Strahlung >1'900 nm wird komplett absorbiert (34).

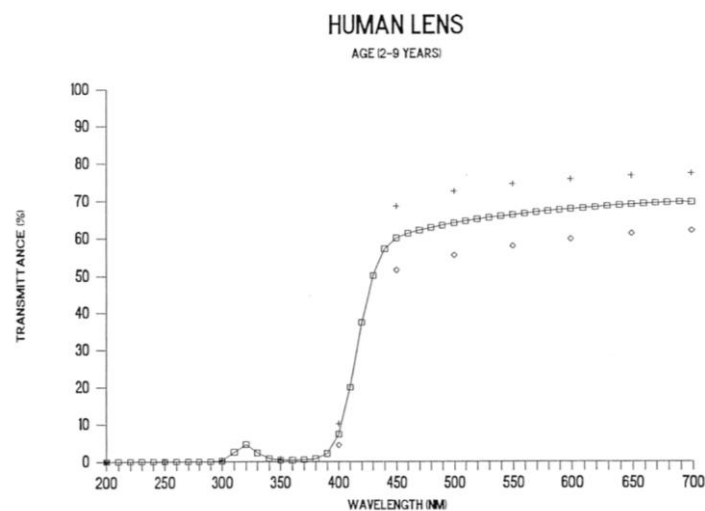


Abbildung 3: Transmission menschliche Augenlinse 2-9-jährig

⁴ Starke Winde in der Tropo- und Stratosphäre

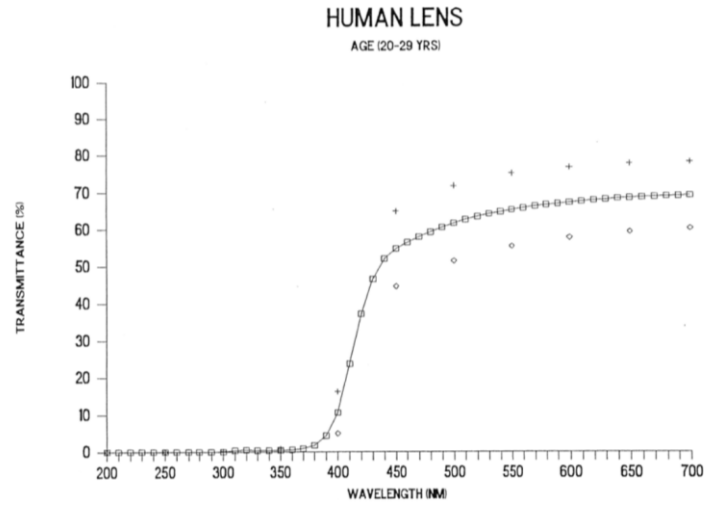


Abbildung 4: Transmission menschliche Augenlinse 20-29-jährig

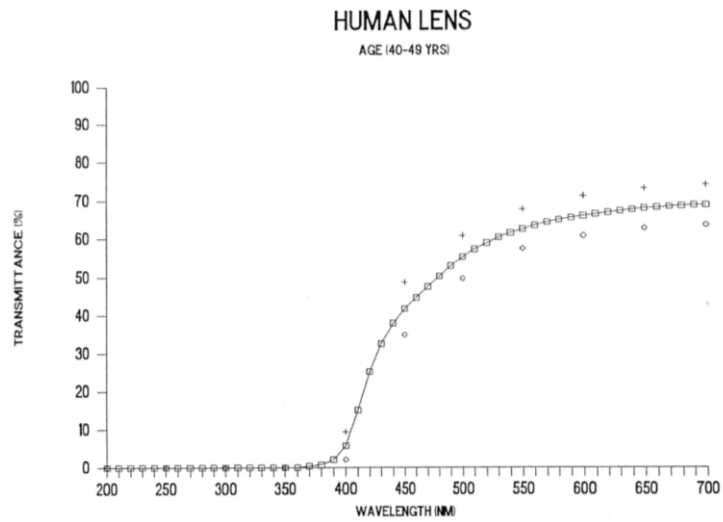


Abbildung 5: Transmission menschliche Augenlinse 40-49-jährig

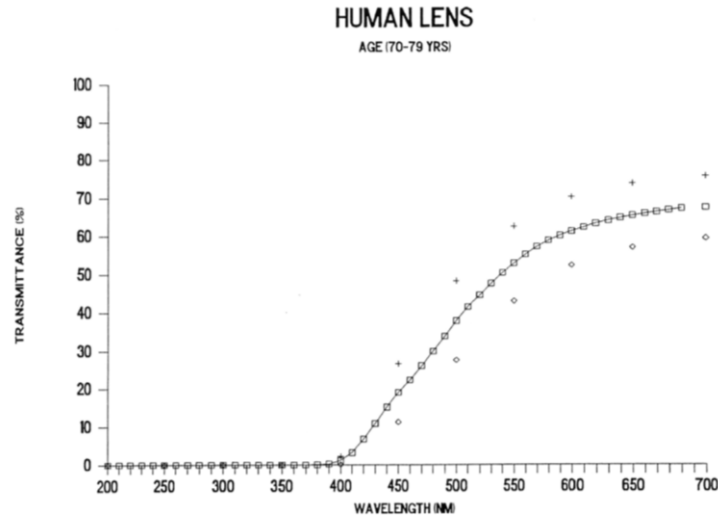


Abbildung 6: Transmission menschliche Augenlinse 70-79-jährig

3.4.2 Haut Absorption und Vitamin D Bildung

Im Stratum spinosum der Haut sind Keratinozyten, Melanozyten und Langerhans'sche Zellen. Melanin, das Pigment der Melanozyten, schützt den Zellkern der Keratinozyten, damit die DNS der Zellen nicht durch UV-Strahlung verändert wird. Melanozyten und Langerhans'sche Zellen nehmen Schaden bei Bestrahlung mit UV-A. UV-A exponierte Haut generiert mehr Melanozyten zum Selbstschutz vor Verbrennungen. UV-B penetriert die Haut nicht so tief, verursacht aber Sonnenbrand. Die Toleranz der menschlichen Haut, minimale Erythemdosis MED (Tabelle 4), für Sonnenbrand ist vom Hauttyp abhängig (35). Es wird vermutet, dass UV-A und UV-B für die Entstehung von Hautkrebs verantwortlich sind (36).

Typ	Hautfarbe	Augenfarbe	Max.Eigenschutzzeit der Haut (in min)	Minimale Erythem-dosis (mJ/cm ²)
I: keltisch	Hell	Grün	10	15-30
II: skandinavisch	Hell	Blau	20	25-40
III: süddeutsch	Normal	Graubraun	30	30-50
IV: mediterran	Hellbraun	Dunkelbraun	50	60-90
V: lateinamerikanisch und mittelöstlich	Mittelbraun	Dunkelbraun	>60	60-90
VI: negroid	Dunkelbraun oder schwarz	Dunkelbraun	>60	90-150

Tabelle 4: Minimale Erythemdosis bei UV-Index 8

Vitamin D wird, neben der Aufnahme durch die Nahrung, in der Haut durch UV-B Strahlung gebildet. Da nur 5 bis 20% des Vitamin D Bedarfs über die Nahrung aufgenommen wird, ist eine UV-B Exposition der Haut für die Vitamin D Bildung notwendig. Ein Drittel bis die Hälfte der MED an Sonnenexposition wird zur Vitamin D empfohlen (37,38).

3.5 Sonnenbrillen

Sonnenbrillen sind Filterbrillen, welche die Augen und die umgebenden Strukturen von unkomfortabler und schädlicher Strahlung schützen. Nach ISO 12312-1:2013, EN 169 und EN 172 sind Sonnenbrillen für den generellen Gebrauch definiert. Diese Norm definiert Schutz vor Strahlung von 380 nm und weniger. Es existiert keine ISO Norm für Sonnenschutzbrillen für die direkte Sonnenbetrachtung (39). Obwohl es sich bei 'UV 400' nicht um ein definiertes Label handelt, wird eine UV-Kante von 400 nm häufig empfohlen (33). Die durchschnittliche Transmission von sichtbarem Licht (>380 nm) ergibt die Tönungskategorie der Sonnenbrille (Tabelle 5). Die nach SN EN 1836 definierte Tönungskategorien basieren auf deren Transmissionen(40). Üblicherweise werden die Filter Kategorien 0, 2 und 3 verwendet. Die Bezeichnung Kategorie 0 wird für phototrope Gläser im hellen Zustand verwendet. Die Kategorien 2 und 3 werden für die meisten Sonnenbrillen verwendet. Die Kategorie 4 wird häufig in sehr hellen, natürlichen Lichtbedingungen verwendet (Schnee, grosse Höhenlage, nahe bei reflektierenden Wasseroberflächen).

Kategorie	0	1	2	3	4
Transmission	80 - 100 %	43 - 80 %	18 - 43 %	8 - 18 %	3 - 8 %

Tabelle 5: Tönungskategorien nach Transmission

Die erhältlichen Glästypen können unabhängig von der Transmission in verschiedene Gruppen eingeteilt werden. 'Full view Gläser' sind unifarb getönt. Sie sind günstig in der Herstellung und die meist verwendete Gruppe. Gläser mit einem Tönungsverlauf werden 'dégradé Gläser' genannt und werden empfohlen, wenn das Licht von oben heller ist als das Licht von unten. Gläser mit Polarisationsfilter polarisieren das Licht linear. Verspiegelungen reduzieren die IR-Transmission und somit das Beschlagen der Gläser (40). 'Blue blocker' absorbieren ein Grossteil des blauen und violetten Lichts (41). Üblicherweise werden die UV-Kanten bei Blue blockern bei 511 nm oder 550 nm angesetzt. Abhängig vom Hersteller werden die Wellenlängen bei 50% oder nahezu 100% Absorption der Strahlung in der Bezeichnung angegeben (41–43).

3.6 Bestehende Empfehlungen

3.6.1 UV-Index

Der UV-Index wurde von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) 1992, als Reaktion auf die erhöhte Prävalenz von Hautkrebs in der hellhäutigen Population seit den 1970ern, ins Leben gerufen. Der UV-Index ist eine standardisierte Messung der Sonnenbrandverursachenden UV-Strahlung. Die UV-Index Empfehlungen sind unabhängig von Alter, Geschlecht und Hauttyp. Für die Berechnung des UV-Indexes wird die Strahlung auf der Erdoberfläche $E(\lambda)$, die Wellenlängen und das Intervall der Wellenlängen $s_{er}(\lambda)$ verwendet (Formel 1).

$$UV\ Index = \int s_{er}(\lambda)E(\lambda) d\lambda$$

Formel 1: UV-Index

In die Berechnung eingeschlossen wird UV-Strahlung von 280 nm bis 400 nm. Je kürzer die Wellenlänge, desto höher wird sie in der Kalkulation für den UV-Index quantifiziert. Für UV-Strahlung

mit einer Wellenlänge 298 nm oder kürzer wird der $s_{er}(\lambda)$ Faktor 1 verwendet, für kürzere Wellenlängen werden geringere Faktoren verwendet (44–46) (Abbildung 7).

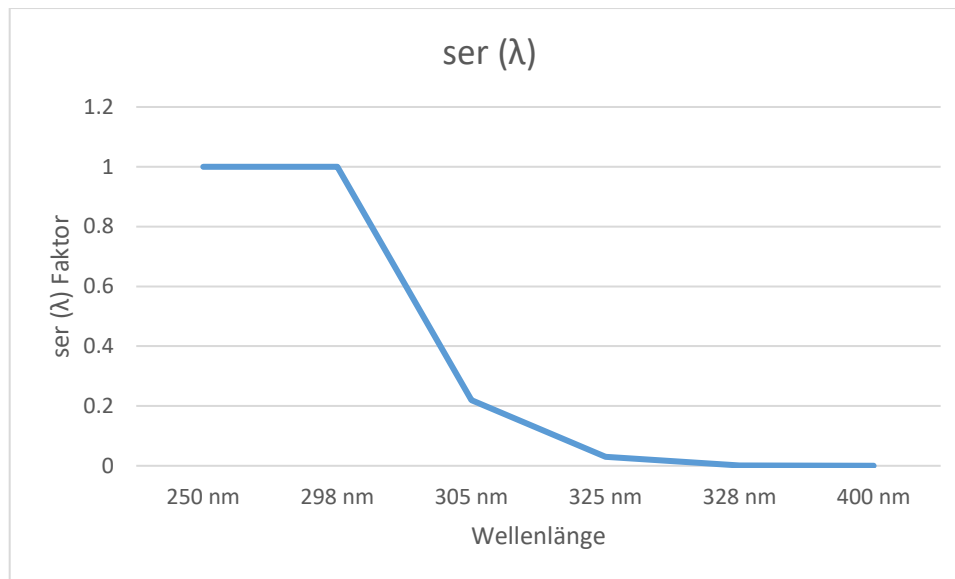


Abbildung 7: $s_{er}(\lambda)$ Faktor in Abhängigkeit der Wellenlänge

Obwohl die UV-Strahlung bei kürzeren Wellenlängen energieintensiver wird, hat der $s_{er}(\lambda)$ Faktor sein Maximum bei 1, da fast die gesamte Strahlung, die kürzer als 298 nm ist, in der Ozonschicht der Erde absorbiert wird (47). Der in Wetterberichten publizierte UV-Index ist der höchste 30-Minuten Mittelwert des Tages. Ab einem UV-Index von 3 oder höher wird das Tragen von Sonnenbrillen in jedem Alter empfohlen (Abbildung 8).



Abbildung 8: UV-Index Schutzempfehlung (47)

3.6.2 Ozonloch

In Gegenden mit einer UV-C Belastung empfiehlt die WHO für Kinder das Aufsuchen von Schatten, sowie das konsequente Tragen von Sonnenbrillen (48).

3.6.3 Künstliche Quellen von UV-Strahlung

Die WHO empfiehlt immer das Tragen von UV-Schutz für die Augen in Solarien und keine Benutzung der Solarien vor dem vollendeten 18. Lebensjahr (49).

Beim Schweißen empfiehlt die Schweizerische Unfallversicherungsanstalt SUVA das Tragen von Gesichtsmasken (50).

3.7 Durch kurzwellige Strahlung verursachte Veränderungen am Auge

Kurzzeitig kann eine erhöhte UV-Belastung zu einer Photokeratitis führen. Chronische Veränderungen umfassen Pterygien, Pingueculae, Melanome, AMD, Plattenepithel Neoplasien und Katarakt (51).

3.7.1 Photokeratitis

Photokeratitis, auch Schneeblindheit oder aktinische Keratopathie, ist eine schmerzhafteste Keratitis nach starker UV-B oder UV-C Belastung. Der Grenzwert für das Auftreten einer UV-Keratitis ist abhängig von der Expositionszeit (t) und der Energie der UV-Strahlen (Formel 2).

Die Symptome einer Photokeratitis sind Schmerzen, starke Photosensitivität und Epiphora. Die Symptome treten ca. 6h nach der UV-Exposition auf, die Genesung folgt nach 48h. Therapeutische Massnahmen beschränken sich auf die Symptomtherapie. Es sind keine Spätfolgen bekannt (51–53).

$$t = \frac{3 * 10^{-3} J/cm^2}{\text{Effektive Bestrahlung für Photokeratitis (200 – 320 nm)}}$$

Formel 2: Grenzwert Bestrahlung für Photokeratitis

3.7.2 Pinguecula

Das Pinguecula ist eine harmlose Degeneration der Bindehaut mit aktinischer Ursache. Bei ausgeprägteren Formen kann es zu trockenen Augen und Reizungen führen, eine operative Entfernung ist möglich (54). Bei Personen die jünger als 20-jährig sind, kann nur eine geringe Prävalenz ausgemacht werden (55).

Eine Pilotstudie (56) in Sydney untersuchte Kinderaugen mit UV-Fotografie. Es zeigte sich, dass bei 29% der Kinder von 9 bis 11-jährig Bindehautveränderungen mit UV-Fotografie sichtbar gemacht werden konnten, ohne dass ein sichtbares Pinguecula ausgemacht werden konnte. In der Altersgruppe der 12 bis 15-Jährigen haben bereits 33% ein Pinguecula und 81% mit UV-Strahlung sichtbar gemachte Bindehautveränderungen.

3.7.3 Pterygium

Das Pterygium ist ein benignes vaskuläres Einwachsen von degenerierter Bulbusconjunctiva über den Limbus auf die Cornea. Histologisch, auch pathogenetisch gleicht das Pterygium dem Pinguecula. Ein Pterygium kann operativ entfernt werden. Unbehandelt führt ein Pterygium zu stärkeren Astigmatismen und im späteren Verlauf zu starken Visuseinbussen bis zur Erblindung (57).

Eine Studie (58) der Queensland University untersuchte mit Fragebögen 278 Patienten mit und 278 Patienten ohne Pterygium aus Brisbane⁵ und Umgebung. Die Patienten, im Median 44 Jahre alt, wurden nach dem Verhalten im Freien im Alter von 0 bis 5 und 20 bis 29 Jahren befragt. Weiter wurden Hauttyp, Haar- und Augenfarbe kategorisiert. Die Studie zeigt folgende Ergebnisse: Viel im

⁵ Brisbane liegt im Osten Australiens, 27° Süd 153° Ost

Freien verbrachte Zeit ohne Sonnenhut, sowohl im Kindes- als auch im Erwachsenenalter, und sandfarbene/sandige Wohnumgebung fördern eine Entstehung eines Pterygiums im Erwachsenenalter. Kinder, die den grösseren Teil ihrer Freizeit drinnen verbrachten, haben ein geringes Risiko.

Weitere Literatur nennt das männliche Geschlecht, sowie die im Freien verbrachte Zeit und das Alter, als Risikofaktoren für ein Pterygium (59–61). Auch ein niedriger Body Mass Index wird als Risikofaktor diskutiert (56).

Je nach Wohnort ist die Prävalenz von Pterygien sehr unterschiedlich. Bei den über 40-Jährigen schwankt die Prävalenz je nach Wohnort von 2.9% (Australien) bis 30.8% (Japan) (61).

3.7.4 Plattenepithelneoplasie

Eine Plattenepithelneoplasie entsteht typischerweise neben dem Limbus auf einem bestehenden Pinguecula jenseits des 50. Lebensjahres. In jüngeren Patienten ist es häufig assoziiert mit HIV oder Papilloma Viren. Plattenepithelneoplasien sind selten maligne und daher gut in der Prognose für einen späteren Verlauf (62–64).

Männer erleiden häufiger einer Plattenepithelneoplasie als Frauen (65). Es konnte keine Literatur ausgemacht werden, welche die UV-Exposition im Kindesalter und die Entstehung einer Plattenepithelneoplasie im Erwachsenenalter vergleicht⁶.

3.7.5 Katarakt

Die Katarakt ist eine Eintrübung der Augenlinse. Frühe Symptome sind Refraktionsänderungen und Blendeempfindlichkeit. Im späteren Krankheitsverlauf kommt es zu Visuseinbussen und bei keiner Therapie bis zur kompletten Erblindung (66). 2010 waren 51% der weltweiten Erblindungen auf Grund einer Katarakt. In entwickelten Ländern ist der Linsenaustausch bei einer Katarakt Standard. In Entwicklungsländern ist die Katarakt immer noch eine häufige Erblindungsursache (67).

Eine altersabhängige Katarakt wird durch UV-Strahlung (68), Diabetes mellitus, Medikamente (Kortison) und Drogen begünstigt. Eine Änderung des Refraktionsdefizits und Erhöhung der Blendeempfindlichkeit sind vor einer Visusreduktion die häufigsten Zeichen für eine Katarakt (66).

In Europa ist ein Austausch der körpereigenen Augenlinse mit einer Intraokularlinse ein Routineeingriff mit einer sehr geringen Komplikationsrate. Heute wird von einem erfolgreichen Eingriff bei einem bestkorrigierten Visus von ≥ 1.0 und einer Restrefraktion von maximal ± 0.50 dpt gesprochen. Die häufigste intraoperative Komplikation ist eine Kapselruptur und kommt bei 1.6% der Katarakt Operationen vor. Die totale Komplikationsrate bei Kataraktoperationen liegt bei 3.5%. Postoperative Amotio Retinae und Endophthalmitis ist mit 0.03% sehr selten (69,70). Das Risiko einer postoperativen Amotio Retinae erhöht sich beim Vorliegen einer Myopie (7,8).

⁶ pubmed.gov Suchbegriffe: 'squamous cell carcinoma eye ultraviolet children'; 'squamous cell carcinoma cornea ultraviolet children'; 'squamous cell carcinoma conjunctiva ultraviolet children'

Die Auftrittswahrscheinlichkeit bei über 74-Jährigen ist bei beiden Geschlechtern über 65% (Abbildung 9) (71).

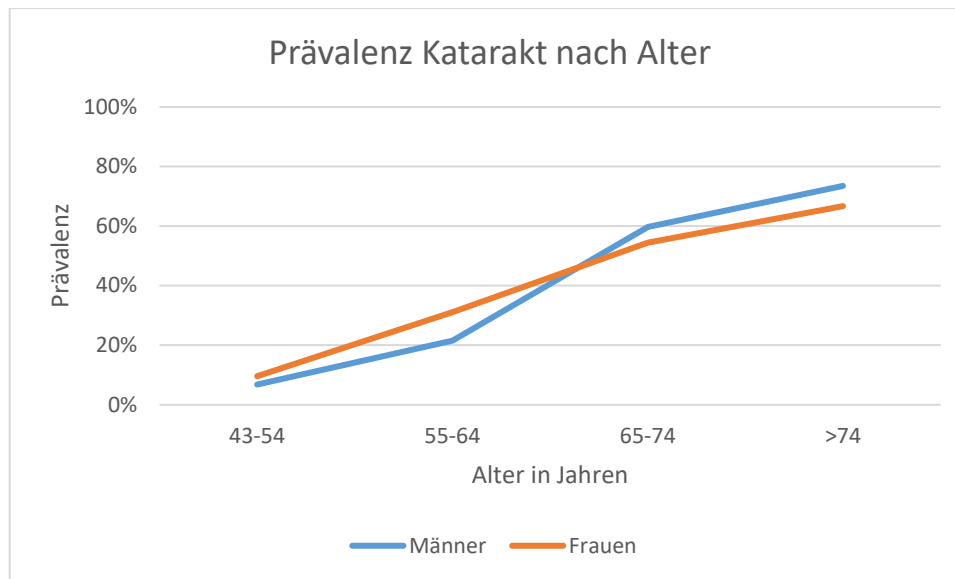


Abbildung 9: Prävalenz Katarakt nach Alter

3.7.6 Altersabhängige Makuladegeneration AMD

Die AMD ist eine degenerative Erkrankung der Makula, die im frühen Stadium zu Metamorphopsien und Visuseinbußen führt. Im späteren Verlauf treten grossflächige Zentralskotome auf. Traditionell wird die AMD in die trockene (nicht neovaskuläre) und feuchte (neovaskuläre) Form unterteilt. Weltweit ist die AMD die dritthäufigste Erblindungsursache. In industrialisierten Ländern gilt die AMD als die häufigste Ursache für irreversible Sehverschlechterungen bei den über 65-Jährigen und ist somit auf der Prioritätenliste der WHO (67,72,73). In Europa waren 2006 rund 15.4 Millionen Menschen von früher AMD und 2.3 Millionen von später AMD betroffen (74,75). Das Risiko an einer AMD zu erkranken ist in den letzten Jahren bei gleichem Alter geringer geworden (76).

Hauptrisiko der AMD ist das Alter. Weiter sind Ethnie, Vererbung, rauchen, arterielle Hypertonie und Diätfaktoren als Risiken belegt. Zudem diskutiert werden Kataraktchirurgie, blaue Irisfarbe, starke Sonnenlichtexposition und das weibliche Geschlecht (72,74,77).

In der AMD Pathogenese sind photodynamische Prozesse im Zusammenhang mit folgenden Faktoren zu sehen: Lipofuszin, Melanin, biochemische Adaptation und Makulapigment. Lipofuszin befindet sich in den RPE Zellen und aggregiert sich im Alter linear. Dies führt zum Absterben von RPE Zellen. Melanin und Makulapigment nehmen im Laufe des Lebens ab. Die biochemische Adaptation beschreibt die im Laufe des Lebens abnehmende Konzentration der Antioxidantien. Antioxidantien binden in der Retina freie Radikale (78).

Schick et al. (77) erforschten den Einfluss von Sonnenlichtexposition im jungen Erwachsenenalter auf die AMD. Ein erhöhtes Risiko an AMD zu erkranken kann bei Personen die in jungen Jahren täglich mehr als 8 Stunden im Freien verbringen ausgemacht werden. Weniger tägliche Sonnenexposition konnte in dieser Studie nicht als Risikofaktor ausgemacht werden.

Tomany et al. (79) verglichen die Progression der AMD und den Sonnenschutz im Jugend- und Erwachsenenalter. Personen, die sich im Jugend- und Erwachsenenalter teilweise oder komplett mit Sonnenhut oder Sonnenbrille vor der Sonne schützten, zeigten über 5 bzw. 10 Jahre eine geringere Progression der AMD. Die geringste Progression hatten die Personen, die sich in jungen Jahren teilweise und nach auftreten der AMD komplett vor Sonne schützten. Zwischen Schutz mit Sonnenhut und Sonnenbrille wurde in dieser Studie nicht unterschieden.

Zu einem gleichen Ergebnis kamen Cruickshanks et al. (80) in einer 5 Jahre follow-up Studie. Ein teilweise angewandter Sonnenschutz im Jugend- (13 bis 19-jährig) und Erwachsenenalter (30 bis 39-jährig) führt zu einer geringeren AMD Inzidenz als kein Sonnenschutz. Der Unterschiede zwischen teilweiser und kompletter Sonnenschutzanwendung sind gering. Die relative Chance an AMD zu erkranken wird bei durchschnittlich viel Zeit im Freien (≥ 5 Std./Tag) versus wenig Zeit im Freien (<2 Std./Tag) mit Faktor 2.1 angegeben. Weiter wird die relative Chance an AMD zu erkranken von häufig mit selten angewandtem Sonnenschutz verglichen (Faktor 0.72). Zwischen Schutz mit Sonnenhut und Sonnenbrille wurde auch in dieser Studie nicht unterschieden.

Die Augenlinse schützt die Retina vor UV-Strahlung (34). Eine Aphakie stellt ein grosses Risiko für eine AMD oder eine Progredienz der AMD dar (81). Ein Experiment an Rhesusaffen zeigte eine klare Korrelation zwischen Retinaläsionen und kurzwelliger Strahlen. Je kurzwelliger die Lichtstrahlen, desto schneller kam es zu Retinaläsionen, obwohl die Augenlinse einen Grossteil des kurzwelligen Lichts absorbierte (82). Für die Menschliche Retina ist elektromagnetische Strahlung bis knapp 500 nm Wellenlänge phototoxisch (83).

3.7.7 Malignes Melanom

Maligne Melanome sind hochgradig bösartige Tumore. Histologisch entstehen sie aus den Melanozyten in der Dermis. Am häufigsten treten maligne Melanome primär auf der Haut auf (91.2%), gefolgt von okularen (5.3%), mukösen (1.3%) und unbekanntem primären Entstehungsorte (2.2%) (84). Ein Melanom an den Lidrändern ist selten, aber potentiell letal (85).

Umweltbedingte Hauptursache von malignen Melanomen sind UV-A Strahlen. Häufiges exzessives Sonnenbaden ohne entsprechenden Hautschutz begünstigt die Entstehung eines malignen Melanoms. Sonnenbrände im Kindesalter erhöhen die Wahrscheinlichkeit an einem malignen Melanom zu erkranken signifikant. Hellhäutige haben ein deutlich erhöhtes Risiko, folglich ist die Inzidenz in Nordamerika, Europa, Südafrika, Australien und Neuseeland am höchsten (86,87).

Die Zahl, der an malignen Melanomen erkrankten Personen, belief sich in der Schweiz von 2008 bis 2012 im Schnitt auf rund 1'250 Fälle pro Jahr. 2017 gab es in der Schweiz 2'484 Neuerkrankungen, was einer Inzidenz von 20 auf 100'000 Personen entspricht. Australien und Neuseeland haben mit einer doppelt so hohen Inzidenz die meisten Neuerkrankungen. Die Zahl der Neuerkrankungen in der Schweiz steigt, die Sterblichkeitsrate sinkt (87,88). In der Schweiz sind Krebserkrankungen zwischen 45- und 84-jährig die häufigsten Todesursachen. Am ganzen Körper machen Maligne Melanome insgesamt zwischen 4 und 5% der bösartigen Tumore aus und sind für 2% der Krebstodesfälle verantwortlich. Folglich sterben in der Schweiz jährlich 2-3 pro 100'000 Personen an einem malignen Melanom (89–91).

In Europa entstehen 83% der okulären Melanome in der Uvea (92). Uveale Melanome haben ihre häufigste Auftretungswahrscheinlichkeit im Alter von 70 Jahren. Männer sind häufiger betroffen (58%). Der Einfluss von UV-Strahlung wird kontrovers diskutiert (93). Korrelation zwischen Zeit im Freien im Kindesalter und malignen Melanomen scheint hingegen eindeutig. Sonnenbrände begünstigen die Entstehung von malignen Melanomen (94,95).

3.8 Myopie Entstehung

Myopie schreitet im Alter von 8 bis 15-jährig am meisten fort. Sofern keine Intervention mit Myopiekontrolle gemacht wird, schreitet die Myopie bei Kaukasiern im Schnitt -0.55 dpt (CI -0.39 bis -0.72 dpt) und bei Asiaten -0.82 dpt (CI -0.71 bis -0.93 dpt) pro Jahr fort. Je älter die Kinder werden, desto mehr verlangsamt sich die Progression. Kinder, die myop werden, entwickeln im Schnitt 1 bis 2 Jahre vor Beginn der Myopie einen stärkeren peripheren hyperopen Defokus im horizontalen Retinameridan als emmetrope Kinder (96). Die meisten Therapieoptionen einer bereits bestehenden Myopie setzen in der Korrektur der peripheren Refraktion an (7).

3.8.1 Genetische Komponente

Für die Refraktion oder die Fehlsichtigkeit des menschlichen Auges können mindestens dutzende oder sogar hunderte Loci auf verschiedenen Genen verantwortlich gemacht werden. Doch können weniger als 25% der Myopien mit den verantwortlichen Loci assoziiert werden (97). Allerdings ist das Risiko für ein Kind zweier myoper Eltern kurzsichtig zu werden um ein mehrfaches erhöht wie wenn beide Eltern emmetrop sind (98–100). Das durchschnittliche Alter des Beginns einer Myopie und auch der erreichte Endpunkt scheint hingegen unabhängig von der parenteralen Komponente (99). Tkatchenko et al. (101) zeigten 2015 anhand eines Gens (APLP2), welches zu den stärker mit Myopie assoziierten Genen gehört, bei viel lesenden Kindern ein fünf mal höheres Risiko einer Myopie als bei wenig lesenden Kindern, wenn sie die myope Version des Genes hatten. Bei der normalen genetischer Disposition konnte keine Assoziation zwischen viel Lesen und Risiko einer Myopieentwicklung ausgemacht werden.

3.8.2 Pupillengrösse und Myopie

Die Pupillengrösse wird von den intrinsischen photosensitiven Ganglienzellen (ipRGC) sympathisch via Edinger Westfal Kerne für die Dilatation und parasymphatisch via Nervenfasern durch den Hirnstamm gesteuert. Am stärksten reagieren die ipRGC auf kurzweiliges Licht mit einer Wellenlänge von 482 nm (102). Bei gleicher Beleuchtungsstärke und grossem Blaulichtanteil werden die Pupillen kleiner als bei grossem Rotlichtanteil (103,104). Die Pupille wird auch nach Beleuchtung (PIPR) mit kurzweiligerem Licht langsamer gross als nach Beleuchtung mit langweiligerem Licht (103). Eine Korrelation zwischen PIPR und Myopie konnte nicht nachgewiesen werden (105). Eine Korrelation zwischen grösserer Pupille und Myopie wird oft diskutiert. Bei sehr schwacher Beleuchtung scheint grösserer Pupillendurchmesser bei myopen Kinder wahrscheinlicher, ist aber nicht vollends bewiesen (103,105–109). Maqsood (109) beschreibt eine Differenz im Pupillendurchmesser von >0.5mm bei einer Beleuchtungsstärke von <150 Lux bei myopen versus nicht myopen Kindern. Eine etwas detailliertere Arbeit lieferten Blumenthaler et al. (104). In den Sommermonaten zeigten Kinder mit kürzeren Augenlängen kleinere Pupillendurchmesser bei Beleuchtung mit blauem Licht und grössere

Pupillendurchmesser bei Beleuchtung mit rotem Licht. Die Studienautoren stellen die Hypothese auf, dass kürzere Augen auf Grund des Pupillenspiels ein geringeres Risiko haben myop zu werden.

Im Teenager Alter erreicht die Pupille die grössten Durchmesser. Maqsood (109) beschreibt eine fast lineare Abnahme des Pupillendurchmessers bei 22.5 ± 4.5 -jährigen Erwachsenen von 5.4 mm bei 2 Lux bis zu 3.5 mm bei 550 Lux. Eine Studie (110) an 35 ± 9 -jährigen Erwachsenen zeigte, dass auch bei höheren Beleuchtungsstärken der Pupillendurchmesser noch abnimmt. Bei 2'700 bis 5'400 Lux lag der mittlere Pupillendurchmesser bei 3.6 mm. Bei über 54'000 Lux lag der durchschnittliche Pupillendurchmesser bei 2.6 mm.

3.8.3 Dopamin

Dopamin ist ein erregend wirkender Neurotransmitter. Ihm wird Bedeutung in der Antriebssteigerung und Motivation zugeschrieben. In der Retina setzen Amakrinzellen retinales Dopamin frei, wenn Zapfen, Stäbchen und ipRGC angeregt werden. Am Sehnerv wird retinales Dopamin freigesetzt wenn die Bipolarzellen stimuliert werden. Retinales Dopamin gilt als Stoppsignal fürs Augenlängenwachstum. Bei stärkerer Umgebungsbeleuchtung wird mehr retinales Dopamin ausgeschüttet als bei schwächerer (111). Blaues, rotes und weisses Licht stimuliert bei Hühnern die Dopaminausschüttung stärker als UV-Strahlung (112). Über Therapieansätze der Myopie mit Dopaminsubstitution wird diskutiert. Weiter stellen die Autoren Zhou et al. (111) in der Schlussfolgerung die Frage: «Haben Kinder mit Risiko einer Myopieentwicklung eine schlechte Dopaminverarbeitung, die nicht die retinale Funktion, aber die refraktive Entwicklung beeinflusst?»⁷

3.9 Auswirkungen von kurzweiliger Strahlung auf die Myopie Progredienz

Katrina L. Schmid et al. (113) untersuchten 2013 in einer prospektiven Studie 35 Studierende mit Emmetropie, stabiler- und progressiver Myopie. Die Studie zeigte, dass die stabilen Myopen im täglichen Leben der höchsten Dosis UV-Strahlung ausgesetzt waren. Emmetrope und progressive Myope waren in dieser Studie im Schnitt der gleichen Dosis UV-Strahlung ausgesetzt. Im Bereich des sichtbaren Lichts gab es statistisch keine Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Auch die in Innenräumen verbrachte Zeit und deren Lichtbedingungen unterschieden sich nicht.

Eine Studie auf der Nordfolkinsel⁸ (4) verwendete conjunctivale Autofluoreszenz als Biomarker, um die Lebensdosis an UV-Strahlung mit der Myopieprävalenz zu Vergleichen. Die Studie mit 636 Teilnehmenden bestätigt die Hypothese, dass ausgeprägtere Autofluoreszenz negativ mit einer Myopie korreliert. Das regelmässige Tragen eines Sonnenhuts scheint die Wahrscheinlichkeit einer Myopie, gegenüber dem regelmässigen Tragen einer Sonnenbrille, sogar etwas zu erhöhen. Keine Korrelation findet die Studie zwischen der im Freien verbrachte Zeit (Fragebogen, subjektive Messwerte) und conjunctivaler Autofluoreszenz. Dieses Ergebnis wird von den Studienautoren kritisch betrachtet.

⁷ Original: do children at risk for myopia development have low DA turnover that doesn't alter retinal function, but affects refractive development?

⁸ Insel östlich von Australien, 29°Süd 168° Ost

Die ersten postnatalen Lebensmonate scheinen einen grossen Einfluss auf die Entwicklung einer hohen Myopie zu haben. Zwei repräsentative Studien bestätigen, dass Kinder, welche in den Sommermonaten geboren sind, ein erhöhtes Risiko für eine hohe Myopie (>6D) haben (114,115).

Ein systematisches Review (116) von 2017 untersuchte 51 Studien, die die Zeit im Freien mit dem Risiko einer Myopie verglichen. Pro 76 min mehr im Freien verbrachte Zeit reduziert sich das relative Risiko für ein Kind myop zu werden um 50% (Formel , $y = \text{relatives Risiko}$; $x = \text{zusätzlich verbrachte Zeit im Freien in min}$).

$$y = -0.189 \ln(x) + 0.9136$$

Formel 3: relatives Risiko einer Myopie nach zusätzlich im Freien verbrachten Zeit

Bei Hühnern hat sowohl helles Licht ohne UV-Strahlung wie auch UV-Strahlen und blaues Licht eine schützende Wirkung gegen Myopie, wobei die beiden letzten besser vor einer Myopieentstehung schützen als weisses und rotes Licht. Blaues Licht und UV-Strahlung unterscheiden sich betreffend Schutzfaktor einer Myopieentstehung nicht. Hühner zeigen einen signifikant hemmenden Effekt auf Myopie, wenn sie während 5h 15'000 weissen Lux und während 7h 500 weissen Lux exponiert werden, verglichen mit einer Exposition unter einer Beleuchtung während 12h mit 500 Lux. Letzteres entspricht einer typischen Innenraumbelichtung (112,117).

4 Modellrechnung

In diesem Abschnitt wird neben einer Risikoanalyse zu Myopie und AMD, die gravierendste UV-bedingte Augenerkrankung, das Risiko einer Amotio Retinae abhängig von der Myopie berechnet. Für die Modellrechnung wird von einer phaken Person (kaukasier), ohne weiteren Augenerkrankungen, ausgegangen. Für die Modellrechnung wurden aus nachfolgenden Studien die Risikofaktoren berücksichtigt:

- Prevalence of Age-Related Macular Degeneration in Europe (76).
- The Beaver Dam Eye Studies: Sunlight and the 5-Year Incidence of Early Age-Related Maculopathy (80) und Sunlight and the 10-Year Incidence of Age-Related Maculopathy (79).
- Time spent in outdoor activities in relation to myopia prevention and control: a meta-analysis and systematic review (116).
- Assessment of Daily Light and Ultraviolet Exposure in Young Adults (113).
- The Association between Time Spent Outdoors and Myopia Using a Novel Biomarker of Outdoor Light Exposure (4).
- Parental Myopia, Near Work, School Achievement, and Children's Refractive Error (100).
- Early Childhood Refractive Error and Parental History of Myopia as Predictors of Myopia (99).
- Increasing Prevalence of Myopia in Europe and the Impact of Education (119).
- Myopia progression rates in urban children wearing single-vision spectacles (120).
- Education and myopia: assessing the direction of causality by mendelian randomization (121).
- Northern New Zealand Rhegmatogenous Retinal Detachment Study: epidemiology and risk factors (122).

4.1 Altersabhängige Makuladegeneration AMD

4.1.1 Prävalenz nach Alter

Prevalence of Age-Related Macular Degeneration in Europe (76).

Aus 10 europäischen Ländern wurden mehr als 40'000 Menschen über 40-jährig mit Fundusfotografie auf AMD untersucht. Für die Prävalenz der frühen AMD wurde folgende Näherungsformel verwendet:

$$y = 0.1429x^2 + 0.5381x - 0.881$$

Formel 4: Prävalenz frühe AMD nach Alter

Die Altersgruppen der Studien wurden für die Trendlinienberechnung jeweils auf exakte mittlere Alter gesetzt.

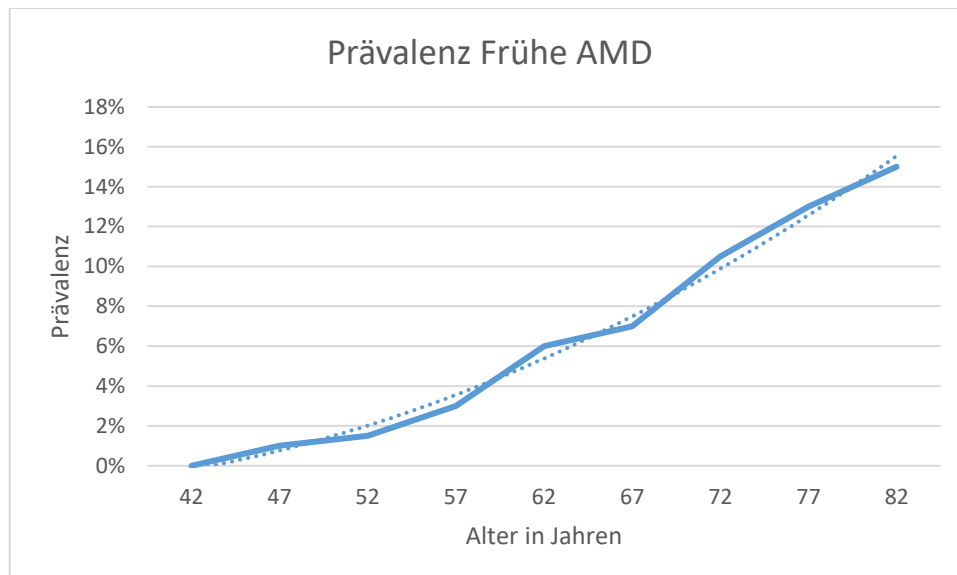


Abbildung 10: Prävalenz frühe AMD nach Alter

4.1.2 Prävalenz nach Sonnenschutz und Zeit im Freien

The Beaver Dam Eye Studies: Sunlight and the 5-Year Incidence of Early Age-Related Maculopathy (80) und Sunlight and the 10-Year Incidence of Age-Related Maculopathy (79).

Die Studien untersuchten die Inzidenz in der frühen AMD bei 3'684 fünf Jahre follow-up Patienten und 2'764 zehn Jahre follow-up Patienten. Dabei wurde die frühe AMD über das Vorhandensein von weichen Drusen definiert. Das Alter der untersuchten Patienten bei der Eingangsuntersuchung war 43 bis 86-jährig. Die Inzidenz der frühen AMD wurde mit der im Freien verbrachte Zeit im Sommer wie auch im Winter und der jeweiligen Sonnenschutzanwendung im Alter von 13-19 und 30-39 in Relation gesetzt. Für die Modellrechnung wird davon ausgegangen, dass ein Teenager, welcher viel Zeit im Freien verbringt, bereits im Kindesalter viel Zeit im Freien verbracht hatte. Zudem wird angenommen, dass die Sonnenschutzanwendung im Teenageralter sich nicht zu derjenigen im

Kindesalter unterscheidet. Die für die Modellrechnung verwendeten täglich im Freien verbrachten Stunden sind auf die genaue Stunde definiert⁹. Ein Sonnenschutz, der mindestens über die Hälfte der Zeit im Freien getragen wird, wird in den Studien als einen 'häufig angewandten Sonnenschutz' definiert. Das Chancenverhältnis einer frühen AMD von häufig zu selten angewandtem Sonnenschutz liegt bei 0.72.

4.2 Myopie

4.2.1 Prävalenz Zeit im Freien

Time spent in outdoor activities in relation to myopia prevention and control: a meta-analysis and systematic review (116).

Ein Review aus 51 Studien beschreibt das Risiko einer Myopie. Die Analyse beschreibt ein abnehmendes relatives Risiko einer Myopie bei erhöhter im Freien verbrachten Zeit (Formel).

$$y = -0.189 \ln(x) + 0.9136$$

Formel 5: Abnehmendes Risiko einer Myopie mit zusätzlich im Freien verbrachten Zeit

Assessment of Daily Light and Ultraviolet Exposure in Young Adults (113).

Die Studie, welche aktuell die Einzige zu diesem Thema ist, untersuchte den Einfluss von UV-Strahlung auf die Myopieprogression beim Menschen und stellte fest, dass bei selten angewendetem Sonnenschutz der Augen durchschnittlich ab einem Alter von 21 Jahren keine Myopieprogression mehr stattfindet. Da die Studie nur wenige Teilnehmende (n=35) hatte, wird sie für die Modellrechnung in vereinfachter Form miteinbezogen: Eine Person, die die Augen inkonsequent vor der Sonne schützt und 2h pro Tag im Freien verbringt, hat ab dem 22. Lebensjahr keine Myopieprogression mehr.

The Association between Time Spent Outdoors and Myopia Using a Novel Biomarker of Outdoor Light Exposure (4).

Bei dieser Studie wurde die Relation zwischen conjunctivaler Autofluoreszenz, Sonnenschutzanwendung und Myopie untersucht. Conjunctivale Autofluoreszenz korreliert negativ mit der Sonnenschutzanwendung (Sonnenhut und/oder Sonnenbrille) und Myopie. Folglich schützt ein inkonsequent angewandter Sonnenschutz vor einer Myopie. Selten getragenen Sonnenhut verringert, im Vergleich zu häufig getragenen Sonnenhut, das Risiko einer Myopie um das 1.248-fache.

Dagegen verringert eine häufig getragene - verglichen mit einer selten getragener - Sonnenbrille das Risiko einer Myopie um das 1.09-fache. Der Unterschied dieser beiden Ergebnisse ist (mit dieser Probandengrösse) nicht signifikant. Somit ist im Durchschnitt ein häufig angewandter Sonnenschutz, mit Einbezug der Studienteilnehmenden, ein 1.03-facher Risikofaktor für eine Myopie von mehr als 0.50 dpt.

⁹Sommer: ≤2h zu 1.5 h, moderate zu 3.5h, >5h zu 5.5h; Winter: mostly indoors zu 0.5h, half indoors - half outdoors zu 2h, most outdoors zu 4h.



4.2.2 Parentaler Risikofaktor

Parental Myopia, Near Work, School Achievement, and Children's Refractive Error (100).

Der parentale Risikofaktor für die Entstehung einer Myopie gilt als sicher. Aus der oben genannten Studie wurde für die Modellrechnung ein 6.40-faches Risiko myop zu werden, vorausgesetzt beide Eltern sind myop, übernommen.

Early Childhood Refractive Error and Parental History of Myopia as Predictors of Myopia (99).

Der Beginn der Myopie scheint unabhängig von der parentalen Veranlagung zu sein. Für die gesamte Modellrechnung wurde als Myopiebeginn das Alter von 10.3 Jahren gesetzt, wie die Studie dies als mittleres Alter gezeigt hatte.

4.2.3 Bildung

Increasing Prevalence of Myopia in Europe and the Impact of Education (119).

In Abbildung 11 wird die Prävalenz der Myopie nach Geburtsjahr und Bildungsgrad aus einer Analyse von 124'000 Personen gezeigt. Die Studie beschreibt, dass mit höherem Bildungsgrad die Myopieprävalenz erhöht ist. Entsprechende Näherungsformeln wurden in der Modellrechnung verwendet.

$$y = 8.5889e^{0.1155x}$$

Formel 6: Myopie nach Geburtsjahr bei geringem Bildungsgrad

$$y = 13.953x^{0.3384}$$

Formel 7: Myopie nach Geburtsjahr bei mittlerem Bildungsgrad

$$y = 13.33x^{0.4639}$$

Formel 8: Myopie nach Geburtsjahr bei hohem Bildungsgrad

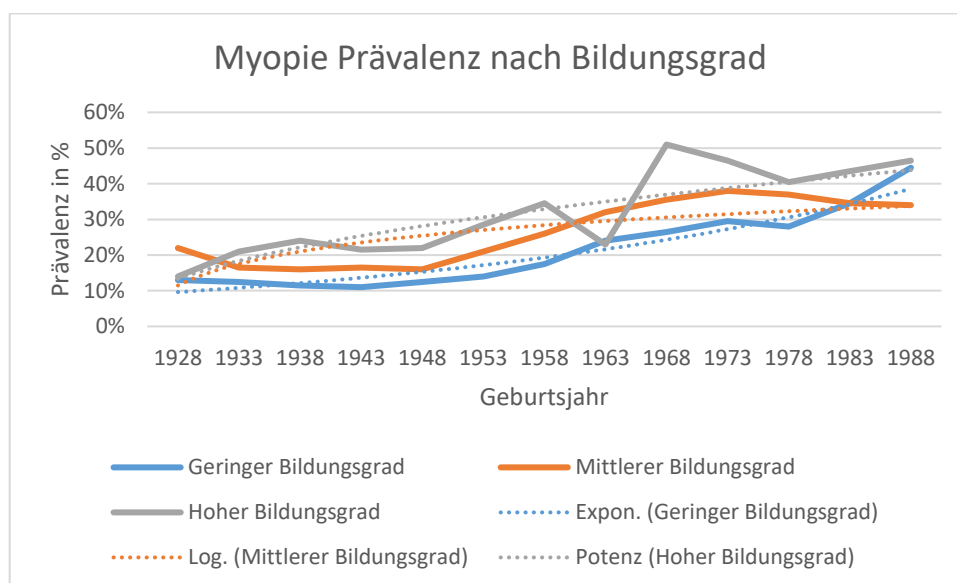


Abbildung 11: Myopie Prävalenz nach Bildungsgrad



Myopia progression rates in urban children wearing single-vision spectacles (120).

Die durchschnittliche Progression der Myopie europäischer Kindern im Alter von 7 bis 12-jährig ist in untenstehender Formel aufgezeigt.

$$\text{jährliche Progression} = -0.014(\text{Alter})^2 + 0.39(\text{Alter}) - 2.96$$

Formel 9: Myopie Progression nach Alter bis 15-jährig

Für die Modellrechnung wurde die Formel für bis 15-jährige Kinder angewandt und anschliessend für jedes weitere Bildungsjahr separat gerechnet. Die jährliche Progression bis 15-jährig ist in Abbildung 12 dargestellt.

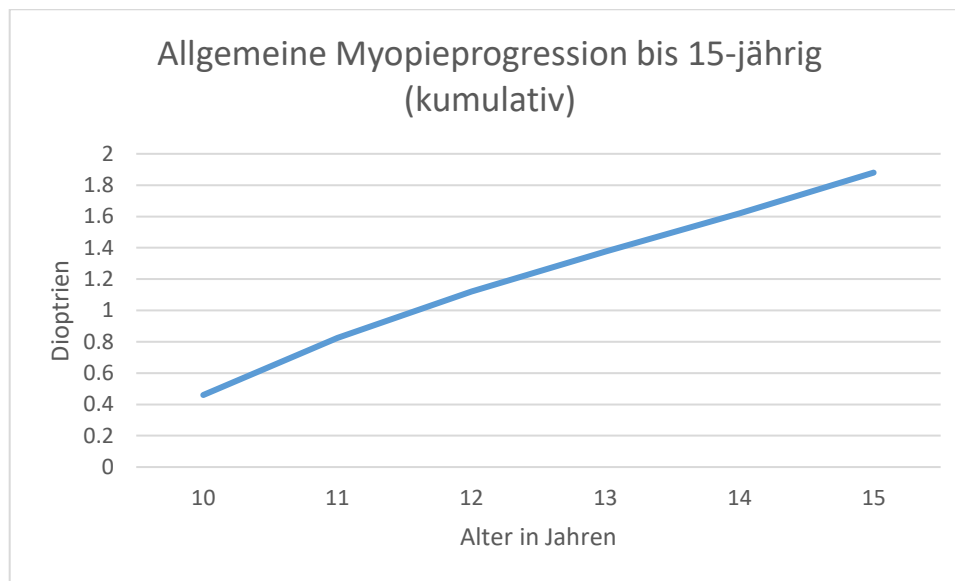


Abbildung 12: Allgemeine Myopieprogression bis 15-jährig

Education and myopia: assessing the direction of causality by mendelian randomization (121).

Ein Vergleich der Ametropien von 67'798 Personen aus Grossbritannien zeigt die Korrelation zwischen Bildung und Ametropie. Die Studienautoren beschreiben -0.18 dpt mehr Myopie pro Bildungsjahr. Nach abgeschlossener obligatorischer Schulzeit, in der Modellrechnung mit 15-jährig, wurden für geringe Bildung 2 Jahre, für eine mittlere Bildung 6 Jahre und für eine hohe Bildung 12 Jahre verwendet. Entsprechend kam folgende Formel Einsatz:

$$y = -0.18x$$

Formel 10: Myopieprogression ab 15-jährig pro Bildungsjahr

4.3 Amotio Retinae

4.3.1 Myopie als Riskofaktor einer Amotio Retinae

Northern New Zealand Rhegmatogenous Retinal Detachment Study: epidemiology and risk factors (122).

Das grösste Risiko einer Amotio Retinae ist von 60 bis 69-jährig. Kumuliert ergibt sich ein Lebensrisiko einer Amotio Retinae, ohne Berücksichtigung von Ametropien, von 1.59% bei einer über 80-jährigen

Person. Bei dieser Studie wurden Patienten mit Diabetes, subretinaler Flüssigkeit und Makulalöchern ausgeschlossen.

$$y = 0.0003x^2 - 0.0011x + 0.0012$$

Formel 11: Kumulierte Inzidenz Amotio Retinae nach Alter

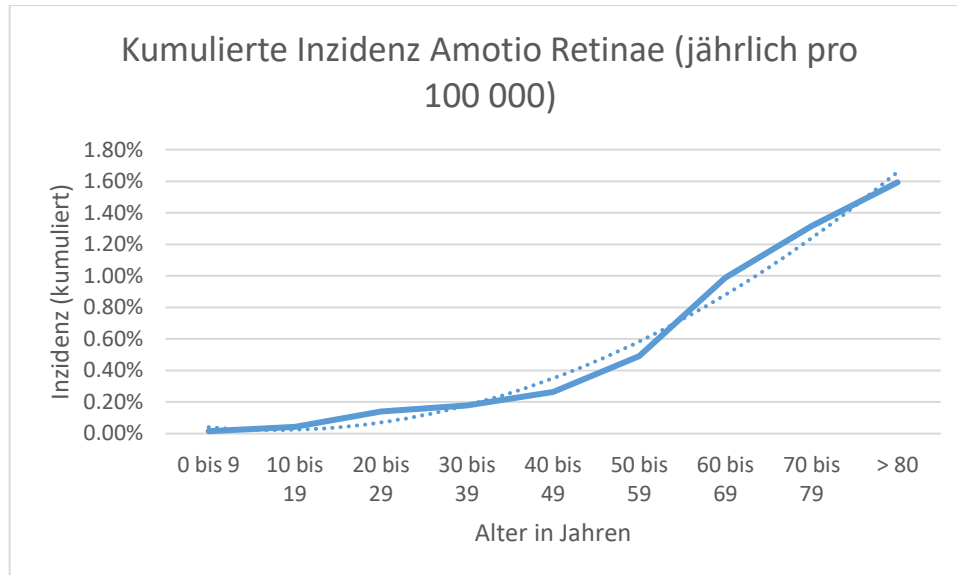


Abbildung 13: Kumulierte Inzidenz Amotio Retinae (jährlich pro 100'000)

Laut dem international angewandten klinischen Myopieprofil (7) ist das Risiko (y) einer Amotio Retinae linear verstärkt, je höher die Myopie (x) ist. Das Lebensrisiko einer Amotio Retinae bei Emmetropen liegt bei 1 zu 50 bis 1 zu 300, bei Myopen von mehr als -5.00 dpt bei 1 zu 20.

$$y = -2.1806x + 0.3905$$

Formel 12: Lebensrisiko Amotio Retinae abhängig vom Alter

4.4 Modelrechner

Der Modellrechner bietet eine evidenzbasierte Kalkulationsmöglichkeit für AMD, Myopie und Amotio Retinae. Der Modellrechner darf nach Belieben heruntergeladen, verändert und erweitert werden. Sämtliche Formeln sind im Dokument hinterlegt (QR-Code in Abbildung 14). Der Modellrechner wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Der Ersteller des Modellrechners übernimmt keine Gewähr für die Korrektheit der errechneten Werte.



Abbildung 14: QR-Code Modellrechner

Modellrechnung, Risiko an folgender Erkrankung zu erkranken			
Erkrankung	Risiko	Parameter	Daten hier eingeben (X, wenn zutreffend)
Myopie	9.52%	Geburtsjahr	2000
erwarteter Wert	-2.6	Alter	50 in Jahren (ganze Zahl ab 50)
Amotio Retinae (Lebenszeitrisiko kumuliert)		Geschlecht XX, XY	XY
bei Emmetropie	0.21%		
bei Myopie	1.28%	Sonnenschutzanwendung mit Sonnenhut und/oder Sonnenbrille vor 40	Häufig Selten X nur 1 X setzen
frühe AMD	6.63%		
		Anzahl myoper Eltern	0 0 bis 2
		Stunden im Freien (Tageslicht) vor 40	
		Stunden im Freien Sommer (täglich)	5
		Stunden im Freien Winter (täglich)	4 max. 5h
		Bildungsgrad	Niedrig Mittel Hoch X nur 1 X setzen

Abbildung 15: Screenshot Modellrechner

5 Diskussion

5.1 Modellrechnung

Die Myopie ist global eine der häufigsten Erkrankungen und weist eine steigende Prävalenz auf. Längst bekannt ist, dass die Myopie durch wenig Zeit im Freien gefördert und durch viel Zeit in Innenräumen ausgelöst, respektive verstärkt wird (116).

Kurzweilige Strahlung und mässig konsequent angewandter Sonnenschutz für die Augen scheint einen leicht hemmenden Effekt auf ein Fortschreiten, respektive Entstehen einer Myopie zu haben gegenüber häufig angewandtem Sonnenschutz. Eine durchschnittliche Hemmung der Myopie bei selten angewandtem Sonnenschutz um den Faktor 1.03, verglichen mit häufig angewandtem Sonnenschutz, kann als realistisch angeschaut werden. Wird hingegen ein 'nie' mit einem 'immer' angewandten Sonnenschutz verglichen, dann ist die Chance einer Myopie 1.57 mal höher als bei einem 'immer' angewandten Sonnenschutz. Keines dieser Einzelergebnisse der Studie von Justin C. Shervin et. al. (4) konnte auf der kleinen einzelnen Probandengruppen als signifikant bewertet werden. Insgesamt ergibt sich mit grösserer Fläche an conjunctivaler Autofluoreszenz eine negative

Korrelation mit der Myopie. Hier eine ganz genaue Aussage zu treffen ist schwierig, denn Studien, welche diese Effekte untersuchen, sind Fragebogenbasiert und vergleichen daher subjektive, über Dekaden reichende Umfragen mit objektiven Werten wie einer Myopie. Zudem kann die Anwendung eines Sonnenschutzes sehr unterschiedlich erfolgen. Ein Sonnenhut, welcher tief im Gesicht getragen wird, schützt die Augen sicherlich besser als ein Sonnenhut, welcher hoch im Gesicht getragen wird. Auch Sonnenbrillen können unterschiedlich angewandt werden. Eine Sonnenbrille mit geringem Fassungsscheibenwinkel schützt die Augen und die umliegenden Strukturen um einiges schlechter vor UV-Strahlung als eine gewölbte, grosse Sport Sonnenbrille. Ein nicht ganz konsequenter Sonnenschutz im jugendlichen Alter und im jungen Erwachsenenalter bis 40-jährig scheint das Entstehen einer AMD nicht mehr zu fördern als ein ganz konsequenter Sonnenschutz (79,80). Bei zeitlich kurzer Aufenthaltszeit im Freien bei mässig bis hohem UV-Index scheint daher ein Griff zur Sonnenbrille nicht zwingend. Um einen maximalen Schutz vor einer Myopie mit nie angewandtem Sonnenschutz zu erreichen, scheint, kombiniert mit einer hohen Lebenserwartung jetzt lebender Kinder und entsprechendem Risiko einer AMD, äusserst fahrlässig.

In der Schweiz stieg die Lebenserwartung in den vergangenen 20 Jahren um 2.8 Jahre und liegt somit heute bei 82,9 Jahren. Zudem haben lebende 80-Jährige eine Lebenserwartung von weiteren 9.6 Jahren (123). Seit 1960 (71.6 Jahre Lebenserwartung) steigt die Lebenserwartung der Schweiz linear an (124). Von den im Jahr 1917 Geborenen erreichten 1.1% das 100. Lebensjahr. Von den im Jahr 2017 Geborenen wird erwartet, dass 21% das 100. Lebensjahr erreichen werden (123).

Gestützt auf folgende Erkenntnisse ist ein guter und konsequenter UV-Schutz der Augen ab einem Alter von 10-Jahren kombiniert mit möglichst viel Zeit im Freien grundsätzlich zu empfehlen. Die Augenlinse schützt die Retina ab 10-jährig nahezu komplett vor UV-Strahlung (34), doch bis rund 500 nm Wellenlänge ist elektromagnetische Strahlung phototoxisch für die menschliche Retina und zeigt in Experimenten an Rhesusaffen grössere Retinaläsionen je grösser die Dosis an kurzwelliger sichtbarer Strahlung ist (82,83). Je konsequenter die Sonnenschutzanwendung im Teenageralter ist, desto kleiner ist die Chance an AMD zu erkranken (79,80). In keiner Studie wurde AMD mit einem angewandten Sonnenschutz an unter 10-jährigen Kindern verglichen. Dennoch ist bekannt, dass die menschliche Augenlinse keinen UV-Schutz vor 10-jährig aufweist. Wird die Theorie von Kohnen et al. (78) berücksichtigt, scheint es zu fahrlässig auf einen UV-Schutz der Kinderaugen zu verzichten.

An Hühnern hat helles Licht ohne UV-Strahlung auch eine schützende Wirkung gegen die Myopie, doch UV-Strahlung schützt besser vor einer Myopie Entstehung. Rechnerisch kommt an einem hellen Sonnentag mit 100'000 Lux und einer normalen Sonnenbrille mit Kategorie 3 mit 8'000 bis 18'000 Lux Transmission auf eine mehrfach hellere Beleuchtung der Augen als in Innenräumen. Täglich 15'000 Lux während 5 Stunden und 500 Lux während 7 Stunden zeigt bei Hühnern einen signifikant hemmenden Effekt auf die Myopie verglichen mit 500 Lux während 12 Stunden Beleuchtung, was einer typischen Innenraumbeleuchtung entspricht (112,117). Eventuell hemmt eine etwas schwächer getönte Sonnenbrille bei mässiger Sonneneinstrahlung das Fortschreiten oder Entstehen einer Myopie etwas mehr als eine stärker getönte Sonnenbrille und schützt in hohem Masse von UV-bedingten Veränderungen.

Es gibt wenige Gründe bei längerer Aufenthaltszeit im Freien und einem UV-Index von mehr als 2 auf Sonnenschutz an den Augen und auf der Haut zu verzichten. In den Sommermonaten reichen bereits kleine Dosen an UV-Strahlung auf der Haut, um genügend Vitamin D zu produzieren (38).

Weniger komplex in der Modellrechnung ist die Kalkulation für die Amotio Retinae. Für die Risikokalkulation einer Amotio Retinae kommen lediglich die Parameter Alter und Myopie zum Einsatz. Je höher das Alter und je stärker die Myopie, desto grösser das Lebensrisiko einer Amotio Retinae.

Einen wesentlich grösseren Einfluss auf die Myopieprävalenz als die Zeit im Freien haben die Parameter Jahrgang, Anzahl myope Eltern und Bildungsgrad. Einen geringeren Bildungsgrad anzustreben scheint keine vernünftige Lösung zu sein. Durchaus erstrebenswert ist es hingegen Lern- und Lesezeiten während Aus- und Weiterbildung mit guter Beleuchtung auf und um den Lernbereich zu erstreben und möglichst viel Zeit im Freien zu verbringen und eventuell auch zu lernen. Zudem fällt bei der Betrachtung der Trendlinien in Abbildung 11 auf, dass die Unterschiede der Myopieprävalenz nach Bildungsgrad in den 1950ern am höchsten waren. Die Prävalenz der Myopie bei geringem Bildungsgrad scheint stärker anzusteigen als bei hohem und mittlerem Bildungsgrad. Dies könnte damit zu tun haben, dass Freizeitaktivitäten in Innenräumen nebst Lesen und Lernen immer mehr Fernseher und Computerspiele waren, je jünger der Jahrgang ist.

Die UV-bedingten Veränderungen am Auge sind sehr komplex und beinhalteten viele Faktoren, was es unmöglich macht alle sinnvoll in einer Modellrechnung zu berücksichtigen. Daher gibt es fehlende Faktoren in der hier vorgestellten Rechnung.

5.2 In der Modellrechnung nicht berücksichtigte Veränderungen an den Augen

5.2.1 Photokeratitis

Eine Photokeratitis ist eine akute Reaktion der Augen auf eine extreme UV-Belastung. UV-Schutz bei hohem UV-Index, kombiniert mit stark reflektierenden Oberflächen und langer Aufenthaltszeit im Freien, ist zwingend um eine schmerzhafteste Photokeratitis zu vermeiden.

5.2.2 Pinguecula

Ein Pinguecula ist eine harmlose Degeneration der Bindehaut. Komplikationen dieser harmlosen UV-bedingten Augenveränderung sind selten.

5.2.3 Pterygium

Die im jungen Kindesalter viel im Freien verbrachte Zeit ohne Sonnenhut scheint die Entstehung eines Pterygiums im Erwachsenenalter zu fördern. Die Studie aus Brisbane (58) argumentiert in den Tabellen mit möglichst detaillierten Einflussfaktoren eines Pterygiums. Zum Teil hat es für gewisse Probandenkategorien nur wenig Probanden, was an der Aussagekraft einzelner Ergebnisse zweifeln lässt. Auch eine Einteilung der Pterygien nach Schweregrad fehlt. Dennoch schafft diese Studie einen guten randomisierten Überblick über Risiken der Pterygiumentstehung. Ob die Ergebnisse für andere Länder übertragen werden können ist fraglich, da die Prävalenz in vielen Ländern unterschiedlich ist. In Europa ist im Gegensatz zu Brisbane ein extremer UV-Index fast ausschliesslich im Hochgebirge

möglich (125). Ein Pterygium ist in entwickelten Ländern leicht zu beheben, dennoch eine unangenehme Nebenerscheinung eines mangelnden UV-Schutzes.

5.2.4 Plattenepithelneoplasie

Über eine grössere Entstehungswahrscheinlichkeit einer Plattenepithelneoplasie bei Aufenthalt im Freien/UV-Schutz im Kindesalter konnte keine Literatur ausgemacht werden. Die Auftretenswahrscheinlichkeit bei unter 50-jährigen nicht HIV infizierten Patienten ist verschwindend klein (62).

5.2.5 Katarakt

Das Hauptrisiko einer Katarakt ist das Alter. UV-Strahlung im Verlaufe des Lebens begünstigt deren Entstehung (66,126). Eine Katarakt bei Personen unter 60 Jahren bringt erhöhte Risikofaktoren für intra- & postoperative Komplikationen mit sich (127). Trotz geringer Komplikationsrate beim Austausch der körpereigenen Augenlinse, ist eine Katarakt eine Operation mit potenziellen Nebenwirkungen und Risiken. Insbesondere bei einer Myopie ist das Risiko einer postoperativen Amotio Retinae erhöht (7).

5.2.6 Malignes Melanom

Ein malignes Melanom an den Augen ist wahrscheinlicher, je mehr Zeit im Freien verbracht wird und je schlechter der UV-Schutz der Augen ist. In der Schweiz sind Krebserkrankungen im Alter zwischen 45- und 84-jährig die häufigsten Todesursachen (91). Werden Sonnenschutz und maligne Melanome miteinander verglichen, scheint es absolut unvernünftig um die Augen auf UV-Schutz zu verzichten.

6 Fazit

Die Myopie ist eine multifaktoriell bedingte Sehverschlechterung, die meist durch das Längenwachstum des Augapfels ausgelöst wird. Die meisten Einflussfaktoren lassen sich mit aktuellen therapeutischen Massnahmen weder beheben noch therapieren. Die wohl einfachste und kostengünstigste Variante ist, im Kindes-, Jugendlichen- und jungen Erwachsenenalters viel Zeit im Freien zu verbringen. UV-Strahlung auf die Augen hat sehr viel mehr negative Auswirkungen als positive, daher scheinen bisherige Empfehlungen im Bereich UV-Schutz, auch im Hinblick auf die Myopiekontrolle, durchaus akzeptabel. Ob eine geringere Tönung der Sonnenbrille besser gegen die Entstehung respektive das Fortschreiten einer Myopie ist, ist naheliegend aber nicht bewiesen.

6.1 Persönliche Konsequenz aus dieser Arbeit

Für mich persönlich wurde mit dieser Arbeit einen guten Überblick geschaffen, der mir aufzeigt welche Umweltfaktoren die Myopie fördern und welche die Myopie im Fortschreiten bremsen oder gar verhindern können. Die Empfehlung viel Zeit im Freien zu verbringen ist in meinem Arbeitsalltag für Studierende sowie für Kinder und deren Eltern standard.

Nun kann ich, nebst dieser Empfehlung, guten Gewissens zu konsequentem UV-Schutz der Augen ab einer Tönungskategorie von 3 raten. Ob per se eine stärkere Tönung der Kategorie 4 bei Kinderbrillen angemessen ist, bleibt offen.



6.2 Weiteres Vorgehen

Der Kontakt mit Pascal Blaser, dem Betreiber der deutschsprachigen myopia.care Website ist hergestellt. Nach der Veröffentlichung der Thesis wird von den Betreibern der myopia.care Website abgeklärt, inwiefern und wo die Arbeit mit dem Kalkulator in der Website integriert werden kann.

Mit der Veröffentlichung der Vorbereitungs-Projektarbeit 'Sieht die Schweiz immer schlechter? ; Ein Vergleich der Myopien zwischen 1989-1993 und 2013-2017' (128) wurden bereits gute Erfahrungen mit den Website-Betreibern gemacht.

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elektromagnetisches Spektrum.....	6
Abbildung 2: Emittierte Energie pro Photon in verschiedenen Wellenlängen im Vakuum	7
Abbildung 3: Transmission menschliche Augenlinse 2-9-jährig	9
Abbildung 4: Transmission menschliche Augenlinse 20-29-jährig	10
Abbildung 5: Transmission menschliche Augenlinse 40-49-jährig	10
Abbildung 6: Transmission menschliche Augenlinse 70-79-jährig	11
Abbildung 7: $s_{er}(\lambda)$ Faktor in Abhängigkeit der Wellenlänge	13
Abbildung 8: UV-Index Schutzempfehlung (47).....	13
Abbildung 9: Prävalenz Katarakt nach Alter	16
Abbildung 10: Prävalenz frühe AMD nach Alter	21
Abbildung 11: Myopie Prävalenz nach Bildungsgrad.....	23
Abbildung 12: Allgemeine Myopieprogression bis 15-jährig.....	24
Abbildung 13: Kumulierte Inzidenz Amotio Retinae (jährlich pro 100 000).....	25
Abbildung 14: QR-Code Modellrechner	26
Abbildung 15: Screenshot Modellrechner	26

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Risiko für Augenerkrankungen verglichen mit der Emmetropie (6)	6
Tabelle 2: Beleuchtungsstärke nach Situation	7
Tabelle 3: Klassifizierung von UV-Strahlen nach DIN 5031-7	8
Tabelle 4: Minimale Erythemdosis bei UV-Index 8.....	11

Tabelle 5: Tönungskategorien nach Transmission.....12

9 Formelverzeichnis

Formel 1: UV-Index12

Formel 2: Grenzwert Bestrahlung für Photokeratitis14

Formel 3: relatives Risiko einer Myopie nach zusätzlich im Freien verbrachten Zeit20

Formel 4: Prävalenz frühe AMD nach Alter21

Formel 5: Abnehmendes Risiko einer Myopie mit zusätzlich im Freien verbrachten Zeit22

Formel 6: Myopie nach Geburtsjahr bei geringem Bildungsgrad23

Formel 7: Myopie nach Geburtsjahr bei mittlerem Bildungsgrad23

Formel 8: Myopie nach Geburtsjahr bei hohem Bildungsgrad23

Formel 9: Myopie Progression nach Alter bis 15-jährig.....24

Formel 10: Myopieprogression ab 15-jährig pro Bildungsjahr24

Formel 11: Kumulierte Inzidenz Amotio Retinae nach Alter25

Formel 12: Lebensrisiko Amotio Retinae abhängig vom Alter25

10 Glossar

Eulersche Zahl	2.7182818284590462353602874
Fluorchlorkohlenwasserstoffe	Organische Verbindungen die als Treibgase, Kältemittel oder Lösemittel verwendet werden
Hertz	Zyklen pro Sekunde
Ideales Vakuum	Leerer Raum, durchschnittlicher freier Weg = ∞
Plank'sche Konstante in Js	6.626×10^{-34} Js
Radikal	Atome mit mindestens einem ungepaarten Valenzelektron
Standard Bedingungen (Luft)	1,293 kg/m ³

11 Abkürzungsliste

AMD	Altersabhängige Makuladegeneration
CI	95% Konfidenzintervall
e	Eulersche Zahl
EN	Europäische Norm
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
h	Plank'sche Konstante
HIV	Humane Immundefizienz-Virus
Hz	Hertz
IR	Infrarot
ISO	International Organization for Standardization - Internationale Organisation für Normung
J	Joule = 1000 Ws
nm	10^{-9} Meter
ph	Photon
THz	Terahertz
SN	Schweizer Norm
SN EN	Europäische Norm verwendet als Schweizer Norm
UV	Ultraviolett
ν	Frequenz
W	Watt
Ws	Wattsekunden
WHO	World Health Organisation – Welt Gesundheits Organisation

12 Referenzen

1. Saw S-M. A synopsis of the prevalence rates and environmental risk factors for myopia. *Clin Exp Optom*. 2003 Sep;86(5):289–94.
2. Morgan IG, Rose KA, Ellwein LB, Refractive Error Study in Children Survey Group. Is emmetropia the natural endpoint for human refractive development? An analysis of population-based data from the refractive error study in children (RESC). *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 2010 Dec;88(8):877–84.
3. Lin LLK, Shih YF, Hsiao CK, Chen CJ. Prevalence of myopia in Taiwanese schoolchildren: 1983 to 2000. *Ann Acad Med Singapore*. 2004 Jan;33(1):27–33.
4. Sherwin JC, Hewitt AW, Coroneo MT, Kearns LS, Griffiths LR, Mackey DA. The association between time spent outdoors and myopia using a novel biomarker of outdoor light exposure. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2012 Jul 1;53(8):4363–70.
5. Rahmsdorf I. 7.000.000.000 Menschen. sueddeutsche.de [Internet]. 2011 [cited 2019 Jul 6]; Available from: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/weltbevoelkerung-2011-7-000-000-000-menschen-1.1092714>
6. 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 May 1;123(5):1036–42.
7. Gifford K& P. *Klinisches Myopie-Profil*. 2017.
8. Tuft SJ, Minassian D, Sullivan P. Risk factors for retinal detachment after cataract surgery: a case-control study. *Ophthalmology*. 2006 Apr;113(4):650–6.
9. Zinth W& U. In: *Optik Lichtstrahlen - Wellen - Photonen*. De Gruyter; 2011. p. 1.
10. Light. In: *Wikipedia* [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 12]. Available from: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Light&oldid=858970403>
11. Zeiss C. In: *Handbuch für Augenoptik*. Vandenhoeck & Ruprecht; 2000. p. 39–40.
12. Vacuum. In: *Wikipedia* [Internet]. 2018 [cited 2018 Oct 2]. Available from: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Vacuum&oldid=860827610>
13. Luft. In: *Wikipedia* [Internet]. 2018 [cited 2018 Oct 2]. Available from: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Luft&oldid=181365335>
14. Brechungsindex. In: *Wikipedia* [Internet]. 2018 [cited 2018 Oct 2]. Available from: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Brechungsindex&oldid=181414117>
15. Physical optics. In: *Wikipedia* [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 12]. Available from: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Physical_optics&oldid=848151825
16. Zinth W& U. In: *Optik Lichtstrahlen - Wellen - Photonen*. De Gruyter; 2011. p. 266–8.

17. Beleuchtungsstärke. In: Wikipedia [Internet]. 2019 [cited 2019 Mar 2]. Available from: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Beleuchtungsst%C3%A4rke&oldid=185865883>
18. Innovative LED-Lichtlösungen und Lichtmanagement - Zumtobel [Internet]. [cited 2019 Mar 2]. Available from: <https://www.zumtobel.com/com-de/>
19. DOZ, Goersch H. In: Wörterbuch der Optometrie. 2., überarb. Heidelberg: DOZ-Verlag Optische Fachveröffentlichung; 2001. p. 295–6.
20. Ultraviolettstrahlung. In: Wikipedia [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 10]. Available from: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Ultraviolettstrahlung&oldid=179471860>
21. Ultraviolet. In: Wikipedia [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 10]. Available from: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ultraviolet&oldid=858578447>
22. WHO | Ultraviolet radiation and health [Internet]. WHO. [cited 2018 Sep 10]. Available from: http://www.who.int/uv/uv_and_health/en/
23. Ozone depletion. In: Wikipedia [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 10]. Available from: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ozone_depletion&oldid=856038726
24. Blumthaler M, Ambach W, Ellinger R. Increase in solar UV radiation with altitude. J Photochem Photobiol B. 1997 Jun 1;39(2):130–4.
25. Indoor tanning. In: Wikipedia [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 10]. Available from: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Indoor_tanning&oldid=857665242
26. Welding. In: Wikipedia [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 10]. Available from: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Welding&oldid=858402857>
27. Ozon. In: Wikipedia [Internet]. 2018 [cited 2018 Oct 20]. Available from: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Ozon&oldid=180953711>
28. Warum ist das Ozonloch so groß? | ZEIT ONLINE [Internet]. 2015 [cited 2018 Oct 20]. Available from: <https://www.zeit.de/wissen/umwelt/2015-10/ozonloch-ozonschicht-suedpol-folgen-interview/komplettansicht>
29. Pötter VB. Rettung der Ozonschicht: In letzter Minute [Internet]. ZEIT ONLINE. [cited 2018 Oct 16]. Available from: <https://www.zeit.de/2007/37/A-Montreal-Protokoll>
30. L. Salby M, Titova E, Deschamps L. Changes of the Antarctic ozone hole: Controlling mechanisms, seasonal predictability, and evolution. J Geophys Res Atmospheres. 2012 May 1;117:10111.
31. Biological & Human Health Risks of Ozone Depletion [Internet]. [cited 2018 Oct 20]. Available from: http://www.ozonedepletion.info/health_report/ozone.html
32. Lu H, Wang MR, Wang J, Shen M. Tear film measurement by optical reflectometry technique. J Biomed Opt [Internet]. 2014 Feb [cited 2018 Oct 2];19(2). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3915055/>

33. Institut für Organische Chemie, Würzburg, editor. Optimierter Lichtschutz der Augen Eine dringende Aufgabe und ihre Lösung. 2008;111–6.
34. US Food and Drug Administration BFM Brainard GC, editor. The direct spectral transmittance of the excised human lens as function of age. 1991 [cited 2018 Oct 2]; Available from: https://www.uni-wuerzburg.de/fileadmin/08020000/user_upload/makula/transmittance.pdf
35. Höger PH. In: Kinderdermatologie: Differenzialdiagnostik und Therapie bei Kindern und Jugendlichen ; mit 272 Tabellen. Schattauer Verlag; 2007. p. 393.
36. Pries AR, Tortora GJ, Derrickson BH. In: Anatomie und Physiologie. 1. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2006. p. 175–81.
37. Wong LC, Jamil A, Md Nor N. The effect of pre-phototest sun exposure on minimal erythema dose and minimal melanogenic dose among skin phototypes III, IV and V. Photodermatol Photoimmunol Photomed. 2018 Jun 28;
38. GmbH A-MDA. Vitamin D: Mangel ist weit verbreitet [Internet]. Pharmazeutische Zeitung online. [cited 2018 Oct 27]. Available from: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/?id=37629>
39. ISO 12312-1:2013(en), Eye and face protection — Sunglasses and related eyewear — Part 1: Sunglasses for general use [Internet]. [cited 2018 Oct 2]. Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12312:-1:ed-1:v1:en>
40. optikschweiz.ch <http://www.optikschweiz.ch>. Der Verband für Optometrie und Optik [Internet]. [cited 2018 Oct 2]. Available from: <http://www.optikschweiz.ch>
41. Kantenfilter und seitlicher Blendschutz [Internet]. Online Shop der Wissenschaftlichen Vereinigung für Augenoptik und Optometrie e.V. [cited 2018 Oct 2]. Available from: <http://www.wvao-shop.de/broschüren/kantenfilter/>
42. ZEISS F 60-90 und F 540-580 [Internet]. [cited 2018 Oct 2]. Available from: <https://www.zeiss.de/vision-care/fuer-augeoptiker/produkte/brillenglaeser/spezialglaeser/spezialfilterglaeser/f-60-90-und-f-540-580.html>
43. Entdecken Sie unser Produktsortiment | Sehhilfen [Internet]. [cited 2018 Oct 2]. Available from: <http://www.eschenbach-sehhilfen.com/de-DE/278/produktuebersicht/detail/50/Kantenfiltervorh%C3%A4nger>
44. Deutscher Wetterdiens, editor. uv_def.pdf [Internet]. [cited 2018 Sep 13]. Available from: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/ku_beratung/gesundheit/uv/download/uv_def.pdf?__blob=publicationFile&v=5
45. Ultraviolet index. In: Wikipedia [Internet]. 2018 [cited 2018 Sep 13]. Available from: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ultraviolet_index&oldid=859174334
46. Rehfuss E, World Health Organization. Global solar UV-Index: a practical guide. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2002.

47. WHO | UV-Index [Internet]. WHO. [cited 2018 Sep 13]. Available from: http://www.who.int/uv/intersunprogramme/activities/uv_index/en/
48. WHO | Reducing the health risks for children from ozone layer depletion [Internet]. WHO. [cited 2018 Oct 20]. Available from: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr51/en/>
49. WHO | Artificial tanning sunbeds: risk and guidance [Internet]. WHO. [cited 2018 Sep 10]. Available from: <http://www.who.int/uv/publications/sunbedpubl/en/>
50. Schweissen und Schneiden. Schutz vor Rauchen, Stäuben, Gasen und Dämpfen [Internet]. [cited 2018 Sep 11]. Available from: <https://www.suva.ch/material/dokumentationen/schweissen-und-schneiden-schutz-vor-rauchen-staeuben-gasen-und-daempfen-44053.d-6032-6032>
51. Izadi M, Jonaidi-Jafari N, Pourazizi M, Alemzadeh-Ansari M, Hoseinpoufard M. Photokeratitis induced by ultraviolet radiation in travelers: A major health problem. *J Postgrad Med.* 2018;64(1):40–6.
52. Pitts DG. In: *Environmental Vision: Interactions of the Eye, Vision, and the Environment.* Elsevier Health Sciences; 1993. p. 263.
53. Najjar DM, Awwad ST, Zein WM, Haddad WF. Assessment of the corneal endothelium in acute ultraviolet keratitis. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res.* 2006 May;12(5):MT23-25.
54. Kanski JJ, Bowling B, Nischal K, Burk A. In: *Klinische Ophthalmologie: mit dem Plus im Web ; Zugangscode im Buch.* 7. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2012. p. 163–5.
55. Fotouhi A, Hashemi H, Khabazkhoob M, Mohammad K. Prevalence and risk factors of pterygium and pinguecula: the Tehran Eye Study. *Eye Lond Engl.* 2009 May;23(5):1125–9.
56. Ooi J-L, Sharma NS, Papalkar D, Sharma S, Oakey M, Dawes P, et al. Ultraviolet fluorescence photography to detect early sun damage in the eyes of school-aged children. *Am J Ophthalmol.* 2006 Feb;141(2):294–8.
57. Kanski JJ, Bowling B, Nischal K, Burk A. In: *Klinische Ophthalmologie: mit dem Plus im Web ; Zugangscode im Buch.* 7. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2012. p. 163–4.
58. Mackenzie FD, Hirst LW, Battistutta D, Green A. Risk analysis in the development of pterygia. *Ophthalmology.* 1992 Jul;99(7):1056–61.
59. Wlodarczyk J, Whyte P, Cockrum P, Taylor H. Pterygium in Australia: a cost of illness study. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2001 Dec;29(6):370–5.
60. McKnight CM, Sherwin JC, Yazar S, Forward H, Tan AX, Hewitt AW, et al. Pterygium and conjunctival ultraviolet autofluorescence in young Australian adults: the Raine study. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2015 Jun;43(4):300–7.
61. Viso E, Gude F, Rodríguez-Ares MT. Prevalence of pinguecula and pterygium in a general population in Spain. *Eye Lond Engl.* 2011 Mar;25(3):350–7.

62. Ocular Surface Squamous neoplasia - EyeWiki [Internet]. [cited 2018 Oct 29]. Available from: http://eyewiki.aao.org/Ocular_Surface_Squamous_neoplasia
63. Sudesh S, Rapuano CJ, Cohen EJ, Eagle RC, Laibson PR. Surgical management of ocular surface squamous neoplasms: the experience from a cornea center. *Cornea*. 2000 May;19(3):278–83.
64. J P. Ocular surface squamous neoplasia. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Oct 23]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15763187>
65. Lee GA, Hirst LW. Incidence of Ocular Surface Epithelial Dysplasia in Metropolitan Brisbane: A 10-Year Survey. *Arch Ophthalmol*. 1992 Apr 1;110(4):525–7.
66. Kanski JJ, Bowling B, Nischal K, Burk A. In: *Klinische Ophthalmologie: mit dem Plus im Web ; Zugangscode im Buch*. 7. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2012. p. 275–316.
67. WHO | Priority eye diseases [Internet]. WHO. [cited 2018 Nov 4]. Available from: <http://www.who.int/blindness/causes/priority/en/>
68. Löfgren S. Solar ultraviolet radiation cataract. *Exp Eye Res*. 2017 Mar 1;156:112–6.
69. Han JV, McGhee CN. When is a complication a complication in contemporary cataract surgery? *Clin Experiment Ophthalmol*. 2018 Jan 1;46(1):7–10.
70. Day AC, Donachie PHJ, Sparrow JM, Johnston RL, Royal College of Ophthalmologists' National Ophthalmology Database. The Royal College of Ophthalmologists' National Ophthalmology Database study of cataract surgery: report 1, visual outcomes and complications. *Eye Lond Engl*. 2015 Apr;29(4):552–60.
71. Klein BEK, Klein R, Lee KE. Incidence of Age-Related Cataract: The Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol*. 1998 Feb 1;116(2):219–25.
72. Kanski JJ, Bowling B, Nischal K, Burk A. In: *Klinische Ophthalmologie: mit dem Plus im Web ; Zugangscode im Buch*. 7. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2012. p. 625–44.
73. Hahn G-A. In: *Kurzlehrbuch Augenheilkunde*. 1st ed. Stuttgart New York: Thieme; 2012. p. 122–4.
74. Singh N, Srinivasan S, Muralidharan V, Roy R, V J, Raman R. Prevention of Age-Related Macular Degeneration. *Asia-Pac J Ophthalmol Phila Pa*. 2017 Dec;6(6):520–6.
75. Augood CA, Vingerling JR, de Jong PTVM, Chakravarthy U, Seland J, Soubrane G, et al. Prevalence of age-related maculopathy in older Europeans: the European Eye Study (EUREYE). *Arch Ophthalmol Chic Ill 1960*. 2006 Apr;124(4):529–35.
76. Colijn JM, Buitendijk GHS, Prokofyeva E, Alves D, Cachulo ML, Khawaja AP, et al. Prevalence of Age-Related Macular Degeneration in Europe. *Ophthalmology*. 2017 Dec;124(12):1753–63.
77. Schick T, Ersoy L, Lechanteur YTE, Saksens NTM, Hoyng CB, den Hollander AI, et al. HISTORY OF SUNLIGHT EXPOSURE IS A RISK FACTOR FOR AGE-RELATED MACULAR DEGENERATION. *Retina Phila Pa*. 2016 Apr;36(4):787–90.

78. Kohnen T. In: Schlaglicht Augenheilkunde: Linse, Katarakt und refraktive Chirurgie. 1. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2017. p. 24–5.
79. Tomany SC, Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BEK, Knudtson MD. Sunlight and the 10-Year Incidence of Age-Related Maculopathy: The Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol.* 2004 May 1;122(5):750–7.
80. Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BEK, Nondahl DM. Sunlight and the 5-Year Incidence of Early Age-Related Maculopathy: The Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol.* 2001 Feb 1;119(2):246–50.
81. Liu IY, White L, LaCroix AZ. The association of age-related macular degeneration and lens opacities in the aged. *Am J Public Health.* 1989 Jun;79(6):765–9.
82. Ham WT, Mueller HA, Sliney DH. Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. *Nature.* 1976 Mar 11;260(5547):153–5.
83. Mainster MA. Violet and blue light blocking intraocular lenses: photoprotection versus photoreception. *Br J Ophthalmol.* 2006 Jun;90(6):784–92.
84. Chang AE, Karnell LH, Menck HR. The National Cancer Data Base report on cutaneous and noncutaneous melanoma: a summary of 84,836 cases from the past decade. The American College of Surgeons Commission on Cancer and the American Cancer Society. *Cancer.* 1998 Oct 15;83(8):1664–78.
85. Kanski JJ, Bowling B, Nischal K, Burk A. In: *Klinische Ophthalmologie: mit dem Plus im Web ; Zugangscode im Buch.* 7. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2012. p. 20–3.
86. Wang SQ, Setlow R, Berwick M, Polsky D, Marghoob AA, Kopf AW, et al. Ultraviolet A and melanoma: a review. *J Am Acad Dermatol.* 2001 May;44(5):837–46.
87. Matthews NH, Li W-Q, Qureshi AA, Weinstock MA, Cho E. Epidemiology of Melanoma. In: Ward WH, Farma JM, editors. *Cutaneous Melanoma: Etiology and Therapy* [Internet]. Brisbane (AU): Codon Publications; 2017 [cited 2018 Nov 28]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK481862/>
88. *Krebserkrankungen in der Schweiz* [Internet]. [cited 2018 Nov 25]. Available from: <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/zahlen-und-statistiken/zahlen-fakten-nichtuebertragbare-krankheiten/krebserkrankungen-schweiz.html>
89. Krebs (Medizin). In: *Wikipedia* [Internet]. 2019 [cited 2019 Apr 10]. Available from: [https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Krebs_\(Medizin\)&oldid=186920732](https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Krebs_(Medizin)&oldid=186920732)
90. *Krebs in der Schweiz: wichtige Zahlen.* 2018;12.
91. *Statistik B für. Spezifische Todesursachen* [Internet]. [cited 2019 Apr 10]. Available from: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/gesundheit/gesundheitszustand/sterblichkeit-todesursachen/spezifische.html>
92. Virgili G, Gatta G, Ciccolallo L, Capocaccia R, Biggeri A, Crocetti E, et al. Incidence of Uveal Melanoma in Europe. *Ophthalmology.* 2007 Dec 1;114(12):2309-2315.e2.

93. Kaliki S, Shields CL. Uveal melanoma: relatively rare but deadly cancer. *Eye*. 2017 Feb;31(2):241–57.
94. Lingham G, Milne E, Cross D, English DR, Johnston RS, Lucas RM, et al. Investigating the long-term impact of a childhood sun-exposure intervention, with a focus on eye health: protocol for the Kidskin-Young Adult Myopia Study. *BMJ Open* [Internet]. 2018 Jan 31 [cited 2019 Apr 2];8(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5829843/>
95. al GS et. Meta-analysis of risk factors for cutaneous melanoma: II. Sun exposure. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2019 Apr 3]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15617990>
96. Mutti DO, Hayes JR, Mitchell GL, Jones LA, Moeschberger ML, Cotter SA, et al. Refractive Error, Axial Length, and Relative Peripheral Refractive Error before and after the Onset of Myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2007 Jun;48(6):2510–9.
97. Cooper J, Tkatchenko AV. A Review of Current Concepts of the Etiology and Treatment of Myopia. *Eye Contact Lens*. 2018 Jul;44(4):231–47.
98. Pacella R, McLellan J, Grice K, Del Bono EA, Wiggs JL, Gwiazda JE. Role of genetic factors in the etiology of juvenile-onset myopia based on a longitudinal study of refractive error. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom*. 1999 Jun;76(6):381–6.
99. Jones-Jordan LA, Sinnott LT, Manny RE, Cotter SA, Kleinstejn RN, Mutti DO, et al. Early childhood refractive error and parental history of myopia as predictors of myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010 Jan;51(1):115–21.
100. 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 Dec 1;43(12):3633–40.
101. Tkatchenko AV, Tkatchenko TV, Guggenheim JA, Verhoeven VJM, Hysi PG, Wojciechowski R, et al. APLP2 Regulates Refractive Error and Myopia Development in Mice and Humans. *PLoS Genet* [Internet]. 2015 Aug 27 [cited 2019 Feb 21];11(8). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4551475/>
102. Dacey DM, Liao H-W, Peterson BB, Robinson FR, Smith VC, Pokorny J, et al. Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal colour and irradiance and project to the LGN. *Nature*. 2005 Feb;433(7027):749–54.
103. Ostrin LA. The ipRGC-driven pupil response with light exposure and refractive error in children. *Ophthalmic Physiol Opt J Br Coll Ophthalmic Opt Optom*. 2018 Sep;38(5):503–15.
104. Marielle Blumenthaler. The Association Between Axial Length and Pupil Responses to Blue and Red Stimuli in Children Depends on Season. 2018;
105. Adhikari P, Pearson CA, Anderson AM, Zele AJ, Feigl B. Effect of Age and Refractive Error on the Melanopsin Mediated Post-Illumination Pupil Response (PIPR). *Sci Rep* [Internet]. 2015 Dec 1 [cited 2019 Feb 4];5. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4664956/>

106. Winn B, Whitaker D, Elliott DB, Phillips NJ. Factors affecting light-adapted pupil size in normal human subjects. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1994 Mar 1;35(3):1132–7.
107. Jones R. Do women and myopes have larger pupils? *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1990 Jul 1;31(7):1413–5.
108. Hirsch MJ, Weymouth FW. Pupil size in ametropia. *J Appl Physiol.* 1949 Mar;1(9):646–8.
109. Maqsood F. Effects of varying light conditions and refractive error on pupil size. *Cogent Med [Internet].* 2017 Jun 6 [cited 2019 Mar 2];4(1). Available from: [object Object]
110. Witting MD, Goyal D. Normal pupillary size in fluorescent and bright light. *Ann Emerg Med.* 2003 Feb 1;41(2):247–50.
111. Zhou X, Pardue MT, Iuvone PM, Qu J. Dopamine Signaling and Myopia Development: What Are the Key Challenges. *Prog Retin Eye Res.* 2017 Nov;61:60–71.
112. 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.* 2018 04;59(11):4413–24.
113. Schmid KL, Leyden K, Chiu Y, Lind S-R, Vos DJ, Kimlin M, et al. Assessment of daily light and ultraviolet exposure in young adults. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* 2013 Feb;90(2):148–55.
114. Mandel Y, Grotto I, El-Yaniv R, Belkin M, Israeli E, Polat U, et al. Season of birth, natural light, and myopia. *Ophthalmology.* 2008 Apr;115(4):686–92.
115. McMahon G, Zayats T, Chen Y-P, Prashar A, Williams C, Guggenheim JA. Season of birth, daylight hours at birth, and high myopia. *Ophthalmology.* 2009 Mar;116(3):468–73.
116. 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 (Copenh).* 2017 Sep;95(6):551–66.
117. Ashby RS, Schaeffel F. The effect of bright light on lens compensation in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2010 Oct;51(10):5247–53.
118. Wen LM, Kite J, Merom D, Rissel C. Time spent playing outdoors after school and its relationship with independent mobility: a cross-sectional survey of children aged 10–12 years in Sydney, Australia. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2009 Mar 16;6:15.
119. Galvis V, Tello A, Parra MM. Re: Williams et al.: Increasing prevalence of myopia in Europe and the impact of education (*Ophthalmology* 2015;122:1489-97). *Ophthalmology.* 2016 Apr;123(4):e28–9.
120. Donovan L, Sankaridurg P, Ho A, Naduvilath T, Smith EL, Holden BA. Myopia progression rates in urban children wearing single-vision spectacles. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* 2012 Jan;89(1):27–32.

121. 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. *The BMJ* [Internet]. 2018 Jun 6 [cited 2019 Mar 18];361. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5987847/>
122. Polkinghorne PJ, Craig JP. Northern New Zealand Rhegmatogenous Retinal Detachment Study: epidemiology and risk factors. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2004;32(2):159–63.
123. Lebenserwartung [Internet]. [cited 2019 Apr 28]. Available from: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/geburten-todesfaelle/lebenserwartung.html>
124. lebenserwarung schweiz - Google-Suche [Internet]. [cited 2019 Apr 28]. Available from: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=lebenserwarung+schweiz>
125. UV-Index – Wikipedia [Internet]. [cited 2018 Nov 29]. Available from: <https://de.wikipedia.org/wiki/UV-Index>
126. Tenkate T, Adam B, Al-Rifai RH, Chou BR, Gobba F, Ivanov ID, et al. WHO/ILO work-related burden of disease and injury: Protocol for systematic reviews of occupational exposure to solar ultraviolet radiation and of the effect of occupational exposure to solar ultraviolet radiation on cataract. *Environ Int*. 2019 Apr 1;125:542–53.
127. Gaskin GL, Pershing S, Cole TS, Shah NH. Predictive Modeling of Risk Factors and Complications of Cataract Surgery. *Eur J Ophthalmol*. 2016 Jun 10;26(4):328–37.
128. Sieht die Schweiz immer schlechter? | myopia care [Internet]. [cited 2019 Jul 1]. Available from: <https://www.myopiacare.com/de/sieht-die-schweiz-immer-schlechter/>

13 Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinen Betreuern Prof. Dr. Nagl und Markus Hofmann danken, die mich richtungsweisend und mit viel Engagement während meiner Arbeit begleitet haben.

Ein herzliches „Dankeschön!“ geht auch an meine Arbeitgeber Andreas Urech und Stefan Dieterle für Ihre Unterstützung und Flexibilität während des Studiums.

Meinem neu gewonnenen Freund des Studiums, Marios Karmis, danke ich auch für die stets anregenden Diskussionen während den Fahrten nach Aalen.

Der grösste Dank gilt Meret Huwiler als Korrekturleserin und motivierenden Beistand während meines gesamten Studiums.

14 Deklaration

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der ausgewiesenen Hilfsmittel angefertigt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach anderen gedruckten oder im Internet verfügbaren Werken entnommen sind, habe ich durch genaue Quellenangaben kenntlich gemacht.

Ort, Datum, Unterschrift