



Diplomarbeit

Veredelungen

Eingereicht am Kollege für Optometrie Hall in Tirol

Vorgelegt von:

Theresa Halder

Marlene Lindmayr

Belinda Nardon

Jahrgang:

2017

Betreuer:

Ing. Erich Kühn

Hall in Tirol, 22. Mai 2017

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Hall in Tirol, am 22. Mai 2017

Theresa Halder

Marlene Lindmayr

Belinda Nardon

1. DANKSAGUNG

Danken möchten wir all denjenigen, die zur Verwirklichung dieser Arbeit, seitdem die Idee dazu aufgekommen ist, beigetragen haben.

Für die aktive Unterstützung, die Auskunftsbereitschaft und die Bereitstellung von Unterlagen, Bildern und Glasproben bedanken wir uns bei Axel Brandner – Regional Sales Manager Austria bei Carl Zeiss GmbH, Vision Care; Richard Firlinger – Area Sales Manager bei Carl Zeiss Vision; Dr. Christian Lappe – Director Scientific Affairs & Technical Communications bei Carl Zeiss GmbH Aalen; Maralen Busche – Produktmanagerin/Produktmarketing bei Essilor Deutschland GmbH; Michael Jungmann – Firma Swarovski Absam; Roland Hausenbichler – Gebietsleiter bei Hoya.

Brigitte Lindmayr, Elisabeth Halder und Christine Nardon danken wir für den seelischen Beistand. Es sind oft auch Tränen geflossen, sie haben uns aber immer wieder aufgebaut, all unsere Launen ausgehalten und an uns geglaubt. Wir lieben euch!

Unser Dank gilt auch der lieben Frau Doris Oss für das Korrekturlesen dieser Seiten.

Herrn Fachlehrer Ing. Erich Kühn danken wir außerdem für seine Begleitung während der vergangenen, sehr arbeitsintensiven Monate. Er forderte uns heraus, stichelte Diskussionen an und hat zum Durchhalten gedrängt, wann immer es nötig war! Danke!

Zum Schluss bedanken wir uns ganz besonders bei dem Vater eines Teammitgliedes. Michael Gärner aus Ried hat uns nicht nur mit seinen Kontakten weitergeholfen, sondern auch viele Ressourcen on- und offline zur Verfügung gestellt und bei der Ideenfindung geholfen. Wäre es nötig gewesen, hätte er wohl auch Berge für uns versetzt.

Ohne die Unterstützung und Motivation dieser Menschen sowie das in uns gesetzte Vertrauen wäre diese Arbeit nicht so geworden.

2. VORWORT

Im Herbst 2016 wurden wir von der Firma Zeiss nach Aalen eingeladen. Während der Führungen durch die Produktionshallen und der Gespräche mit den Mitarbeitern vor Ort, wurde uns bewusst, welches Wissen hinter einer Veredelung stecken muss. Wir wollten mehr über die Technik, aber auch die Wirkung der Oberflächenvergütungen erfahren und haben unsere Diplomarbeit kurzerhand diesem Thema gewidmet.

Was soll denn eine Brillenglasveredelung können? Welche Vorteile oder auch Nachteile könnte eine Entspiegelung für den Kunden haben? Solche Fragen bedurften einer Antwort. Das Hauptaugenmerk lag auf dem nötigen Fachwissen, um eine reflexmindernde Schicht auf ein Brillenglas zu bekommen. Somit galt in der ersten Arbeitsphase unsere Aufmerksamkeit dem Brechungsgesetz, der Entstehung von Licht und dem theoretischen Aufbau der Entspiegelungstechnologie.

Im darauffolgenden praktischen Teil haben wir uns Gläser mit 18 verschiedenen Entspiegelungen von drei Firmen ausgesucht. Die Firmen Carl Zeiss GmbH, Essilor GmbH und Hoya Lens Deutschland GmbH haben uns dafür mit Infomaterial und Probegläsern versorgt. Aufgrund vieler Betriebsgeheimnisse und oft sehr oberflächlicher Informationen gestaltete sich die Durchführung der vorher geplanten Tests als sehr schwierig. Das Überprüfen der Leistungsfähigkeit bezüglich der Reflexionswerte, sowie der Härte und Abriebs Festigkeit der Gläser, war uns aufgrund unzureichender Ressourcen und Informationen über den Testaufbau und genauen Richtlinien nicht wirklich möglich. Ob die Produkte wirklich das halten, was die Marketingexperten der Herstellerfirmen versprechen, bleibt also unbeantwortet. Wir passten die Pläne natürlich an die gegebene Situation an und reduzierten den Forschungsteil auf das Nachstellen verschiedener Tests auf Basis unseres Wissens. So wurden die Transmissions- und Reflexionswerte mithilfe der Fa. Swarovski durchgeführt. Ihre Standards gelten für die Fernoptik, so können die Ergebnisse nicht mit denen der Herstellerfirmen verglichen werden. Das Gleiche gilt für den Salzwasserkochtest, der auf die Haltbarkeit einer Entspiegelungsschicht abzielte. Uns war es wichtig herauszufinden, welche Investitionen und welchen Aufwand die Firmen betreiben, um ihre Produkte auf Biegen und Brechen zu prüfen und zu verbessern.

3. ABSTRACT

The main purpose of this thesis was to create a script giving an overview of anti-reflection coatings for glasses.

The first part focuses on the physical properties of light, the way it radiates and what happens when light hits objects. With this knowledge in mind, the structure, the properties and different kinds of antireflection coatings are explained next.

In the second part of the thesis different antireflection coatings are presented. Three of the biggest producers, Essilor, Hoya and Zeiss, provided us with five glasses with different reflection coatings each. The main focus hereby was to figure out the special features of the various coatings.

For the last part several objective and subjective tests were carried out. For example, measurements were made to find out which wavelengths are transmitted through the lenses and which are reflected or absorbed. 21 participants also gave their subjective impression which coating works best for different situations in the daily life.

Within the producers, the participants did not experience significant differences between the various coatings. The blue blocker used in a reading situation, was the only one where noticeable changes of colour and contrast were reported. However, it has to be stated that the tests and measurements carried out for this thesis are very basic in comparison to those conducted by companies. It also became clear how many resources are put into professional testing for coatings by producers.

4. INHALTSVERZEICHNIS

1. Danksagung	3
2. Vorwort	4
3. Abstract	5
4. Inhaltsverzeichnis	6
5. Licht	15
5.1. Entstehung des Lichtes	15
5.1.1. Bohr'sches Atommodell	16
5.2. Temperaturstrahler und Entladungsstrahler	17
5.2.1. Temperaturstrahler	17
5.2.2. Entladungsstrahler	18
5.3. Ausbreitung des Lichtes	19
5.3.1. Lichtdurchlässige Körper – durchsichtige Körper	19
5.3.2. Lichtundurchlässige Körper – undurchsichtige Körper	20
5.4. Das Wellenmodell	22
5.5. Das Korpuskel Modell	23
5.6. Die Lichtgeschwindigkeit	24
5.6.1. Messungen der Lichtgeschwindigkeit	24
5.7. Spektrum des Lichtes	25
5.7.1. Sichtbares Licht (380 – 780 Nanometer)	25
5.7.2. Ultraviolettes Licht & UV-Strahlung	27
5.7.3. Ultrarotes Licht - Infrarotes Licht	28
5.7.4. Blaues Licht	28
6. Teilgebiete der Optik	29
7. Wellenoptik	30
7.1. Wellenlänge	30
7.2. Frequenz	31

7.3.	Amplitude	31
7.4.	Periode.....	32
7.5.	Phasenverschiebung.....	32
7.6.	Interferenz.....	33
7.7.	Farben.....	34
7.8.	Dispersion	34
7.9.	Abbe'sche Zahl	35
7.10.	Farblängsfehler.....	35
7.11.	Chromatische Vergrößerungsdifferenz.....	36
8.	Strahlen Optik.....	37
8.1.	Reflexionsgesetz.....	37
8.2.	Lichtbrechung	38
9.	Beschichtungen für Brillengläser	39
9.1.	Geschichtlicher Einblick	39
9.2.	Problematik durch Reflexionen an Brillengläsern.....	40
9.3.	Wie werden Reflexionen am Brillenglas vermindert?	43
9.4.	Berechnung der Reflexion an Brillengläsern	44
9.5.	Bedingungen zur Herstellung einer Antireflexschicht.....	45
9.5.1.	Die Phasenbedingung	45
9.5.2.	Die Amplitudenbedingung	48
9.6.	Schichtarten auf mineralischen Brillengläsern	52
9.6.1.	Einfach-Entspiegelung.....	52
9.6.2.	Mehrfach-Entspiegelung (Zwei- oder Dreifachschicht).....	53
9.6.3.	Super-Entspiegelung	55
9.7.	Herstellung von dünnen Schichten	57
9.7.1.	Vorbehandlung der Gläser	57
9.7.2.	Unter welchen Umständen haftet eine dünne Schicht.....	57

9.7.3.	Aufdampfen des Beschichtungsmaterials im Vakuum.....	58
9.7.4.	Beschichtungsvorgänge	59
9.7.5.	Schichtdickenmessung.....	60
9.8.	Beschichten organischer Glasmaterialien	61
9.8.1.	Schichtarten einer Vergütung für Kunststoffgläser	62
9.9.	Hartschichten auf organischen Gläsern	63
9.9.1.	Tauchlackierung - Dip-Coating	64
9.9.2.	Rotationsbeschichtung - Spin-Coating	65
9.9.3.	Plasmapolymerisationsverfahren.....	65
9.10.	Reflexmindernde Schichten	66
9.10.1.	Aufbau der Entspiegelungsschicht auf Kunststoffgläsern	66
9.10.2.	Aufbau einer Einfachentspiegelung.....	67
9.10.3.	Aufbau einer Breitbandentspiegelung	68
9.11.	Aufdampfen der Antireflexschicht auf organische Gläser	68
9.11.1.	Plasmaunterstütztes Aufdampfen von Beschichtungen	69
9.11.2.	Plasmaaktivierendes Verfahren	69
9.12.	Schmutz- und Staubabweisende Veredelung.....	69
9.12.1.	Antistatik-Beschichtung	71
9.13.	Entspiegelung bei Sonnenschutzgläsern.....	72
9.14.	Beschädigung hochwertiger Brillenglas-Beschichtungen	73
9.14.1.	Wie reinige ich Brillengläser richtig?	73
10.	Glasvorstellung.....	75
10.1.	Crizal Alize UV	76
10.1.1.	Entspiegelungsgruppe.....	76
10.1.2.	Gewünschter Effekt.....	76
10.1.3.	Vorteile	76
10.1.4.	Anwendungsbereiche.....	76

10.1.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	77
10.1.6.	Restreflexfarbe.....	77
10.1.7.	Reflexionskurve.....	77
10.1.8.	Transmissionskurve	77
10.2.	Crizal Easy UV.....	78
10.2.1.	Entspiegelungsgruppe.....	78
10.2.2.	Gewünschter Effekt.....	78
10.2.3.	Vorteile	78
10.2.4.	Anwendungsbereiche.....	78
10.2.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	79
10.2.6.	Restreflexfarbe.....	79
10.2.7.	Reflexionskurve.....	79
10.2.8.	Transmissionskurve	79
10.3.	Crizal Forte UV	80
10.3.1.	Entspiegelungsgruppe.....	80
10.3.2.	Gewünschter Effekt.....	80
10.3.3.	Vorteile	80
10.3.4.	Anwendungsbereiche.....	81
10.3.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	81
10.3.6.	Restreflexfarbe.....	81
10.3.7.	Reflexionskurve.....	81
10.3.8.	Transmissionskurve	81
10.4.	Crizal Prevenzia.....	82
10.4.1.	Entspiegelungsgruppe.....	82
10.4.2.	Gewünschter Effekt.....	82
10.4.3.	Vorteile	82
10.4.4.	Anwendungsbereiche.....	83

10.4.5.	Auf welchem Material erhältlich?	83
10.4.6.	Restreflexfarbe	83
10.4.7.	Reflexionskurve	83
10.4.8.	Transmissionskurve	83
10.5.	Optifog mit Crizal UV	85
10.5.1.	Entspiegelungsgruppe	85
10.5.2.	Gewünschter Effekt	85
10.5.3.	Vorteile	85
10.5.4.	Anwendungsbereiche	85
10.5.5.	Auf welchem Material erhältlich?	86
10.5.6.	Restreflexfarbe	86
10.5.7.	Reflexionskurve	86
10.5.8.	Transmissionskurve	86
10.6.	Duravision Platinum	87
10.6.1.	Entspiegelungsgruppe	87
10.6.2.	Gewünschter Effekt	87
10.6.3.	Vorteile	87
10.6.4.	Anwendungsbereiche	87
10.6.5.	Auf welchem Material erhältlich?	88
10.6.6.	Restreflexfarbe	88
10.6.7.	Reflexionskurve	88
10.6.8.	Transmissionskurve	88
10.7.	Duravision Silver	90
10.7.1.	Entspiegelungsgruppe	90
10.7.2.	Gewünschter Effekt	90
10.7.3.	Vorteile	90
10.7.4.	Anwendungsbereiche	90

10.7.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	90
10.7.6.	Restreflexfarbe.....	91
10.7.7.	Reflexionskurve.....	91
10.7.8.	Transmissionskurve	91
10.8.	LotuTec.....	92
10.8.1.	Entspiegelungsgruppe.....	92
10.8.2.	Gewünschter Effekt.....	92
10.8.3.	Vorteile	92
10.8.4.	Anwendungsbereiche.....	92
10.8.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	92
10.8.6.	Restreflexfarbe.....	92
10.8.7.	Reflexionskurve.....	93
10.8.8.	Transmissionskurve	93
10.9.	Drive Safe	94
10.9.1.	Entspiegelungsgruppe.....	94
10.9.2.	Gewünschter Effekt.....	94
10.9.3.	Vorteile	94
10.9.4.	Anwendungsbereiche.....	94
10.9.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	94
10.9.6.	Restreflexfarbe.....	94
10.9.7.	Reflexionskurve.....	95
10.9.8.	Transmissionskurve	95
10.10.	Blue Protect.....	97
10.10.1.	Entspiegelungsgruppe.....	97
10.10.2.	Gewünschter Effekt.....	97
10.10.3.	Vorteile	98
10.10.4.	Anwendungsbereiche.....	98

10.10.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	98
10.10.6.	Restreflexfarbe.....	98
10.10.7.	Reflexionskurve.....	99
10.10.8.	Transmissionskurve	99
10.11.	Gold-Entspiegelung	100
10.11.1.	Entspiegelungsgruppe.....	100
10.11.2.	Gewünschter Effekt.....	100
10.11.3.	Vorteile	100
10.11.4.	Anwendungsbereiche.....	100
10.11.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	100
10.11.6.	Restreflexfarbe.....	101
10.11.7.	Reflexionskurve.....	101
10.11.8.	Transmissionskurve	101
10.12.	Super-Entspiegelung	102
10.12.1.	Entspiegelungsgruppe.....	102
10.12.2.	Gewünschter Effekt.....	102
10.12.3.	Vorteile	102
10.12.4.	Restreflexfarbe.....	102
10.12.5.	Reflexionskurve.....	102
10.12.6.	Transmissionskurve	103
10.13.	Hi-Vision Longlife.....	104
10.13.1.	Entspiegelungsgruppe.....	104
10.13.2.	Gewünschter Effekt.....	104
10.13.3.	Vorteile	104
10.13.4.	Anwendungsbereiche.....	105
10.13.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	105
10.13.6.	Restreflexfarbe.....	105

10.13.7.	Reflexionskurve.....	105
10.13.8.	Transmissionskurve	106
10.14.	Hi-Vision Longlife UV Control	107
10.14.1.	Entspiegelungsgruppe.....	107
10.14.2.	Gewünschter Effekt.....	107
10.14.3.	Vorteile	107
10.14.4.	Anwendungsbereiche.....	108
10.14.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	108
10.15.	Hi-Vision Longlife BlueControl	109
10.15.1.	Entspiegelungsgruppe.....	109
10.15.2.	Gewünschter Effekt.....	109
10.15.3.	Vorteile	109
10.15.4.	Anwendungsbereiche.....	109
10.15.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	110
10.15.6.	Restreflexfarbe	110
10.15.7.	Reflexionskurve.....	110
10.15.8.	Transmissionskurve	110
10.16.	Super Hi-Vision.....	111
10.16.1.	Entspiegelungsgruppe.....	111
10.16.2.	Gewünschter Effekt.....	111
10.16.3.	Vorteile	111
10.16.4.	Anwendungsbereiche.....	111
10.16.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	111
10.16.6.	Restreflexfarbe	111
10.16.7.	Reflexionskurve.....	112
10.16.8.	Transmissionskurve	112
10.17.	Hi-Vision Aqua.....	113

10.17.1.	Entspiegelungsgruppe.....	113
10.17.2.	Gewünschter Effekt.....	113
10.17.3.	Vorteile.....	113
10.17.4.	Anwendungsbereiche.....	113
10.17.5.	Auf welchem Material erhältlich?.....	113
10.17.6.	Restreflexfarbe.....	113
11.	Nachwort	114
12.	Abbildungsverzeichnis.....	116
13.	Literaturverzeichnis	118
14.	Stundenaufzeichnung.....	121

5. LICHT

Man unterscheidet zwischen Selbstleuchter und Nichtselbstleuchter. Ein Selbstleuchter, wie die Sonne, erzeugt das Licht selbst. Ein Nichtselbstleuchter wird erst sichtbar für uns, wenn er beleuchtet wird. Wie zum Beispiel ein Baum, der in der Nacht dunkel erscheint, wird erst durch Beleuchtung am Tag wieder sichtbar.

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.1)

5.1. ENTSTEHUNG DES LICHTES

Freie Elektronen (geladene Teilchen) bewegen sich in unterschiedlichen Geschwindigkeiten, einmal schneller, einmal langsamer. Durch diese Bewegung entsteht Wärmeenergie. Immer wenn eine Bewegungsänderung erfolgt wird diese in Form von elektromagnetischer Strahlung abgestrahlt. Je höher die Temperatur eines Körpers ist, desto schneller bewegen sich die freien Elektronen und desto höher ist die Intensität des abgestrahlten Lichtes.

Dieser Vorgang wird Anhand des Bohr'schen Atommodelles in den nachfolgenden Ausführungen noch genauer erklärt.

Die Strahlung die auf der Erdoberfläche eintrifft ist wesentlich geringer, als jene Strahlung die die Sonne aussendet. Der Grund dafür liegt daran, dass die energiereiche Strahlung in der Atmosphäre gestreut, reflektiert und absorbiert wird. 42% werden durch Reflexion in den Weltraum zurückgestrahlt, 15% von der Atmosphäre und 43% von der Erdoberfläche absorbiert. Durch die Absorption der Strahlungsenergie erfolgt eine Umwandlung dieser in Wärmeenergie, welche die Erwärmung der Erde zur Folge hat.

(Vgl. Schneider, Temelmair, Tinhof, Ullinski; Physik, S.149)

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.1)

5.1.1. BOHR'SCHES ATOMMODELL

Um sich die Entstehung des Lichtes besser vorstellen zu können erfand Niels Bohr, ein dänischer Physiker der 1922 den Nobelpreis für Physik bekam, das Bohr'sche Atommodell. Es dient zur gedanklichen Vorstellung und veranschaulicht eine Zerkleinerung der Elemente bis zum kleinsten Teilchen, welches wir als Atom bezeichnen.

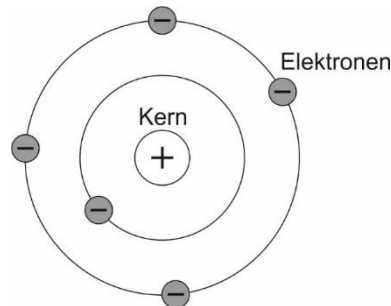


Abbildung 1, Bohr'sches Atommodell

Energiearme Bahnen sind jene, die sich nahe am Atomkern befinden. Je weiter entfernt die Bahn, desto energiereichere Elektronen sind notwendig um sie zu erreichen. Wird einem Elektron Energie, zum Beispiel in Form von Bewegungsenergie, zugeführt, kann es für kurze Zeit auf eine weiter außenliegende Bahn wechseln. Bei der Rückkehr in seine alte Bahn benötigt es weniger Energie als zuvor. Der Rest an Energie wird als elektromagnetische Strahlung abgestrahlt. Für die Abstrahlung von Licht benötigt es sehr viele Vorgänge und das Zusammenspiel vieler Atome.

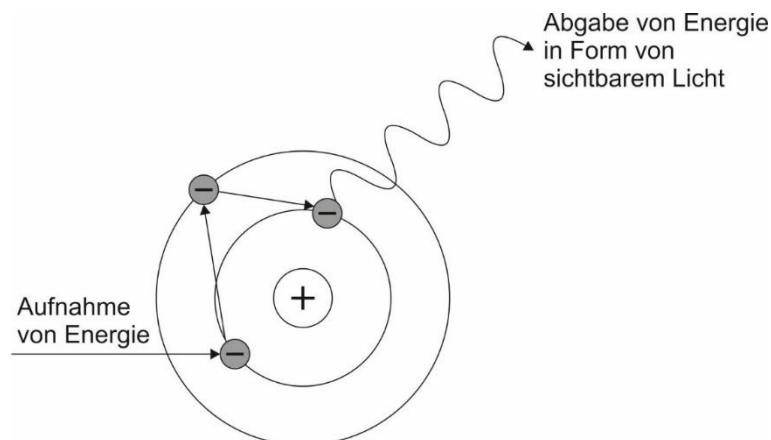


Abbildung 2, Bohr'sches Atommodell & Energie

(Vgl. Bohn; *Technologie für Augenoptiker*, S.16)

5.2. TEMPERATURSTRAHLER UND ENTLADUNGSSTRAHLER

5.2.1. TEMPERATURSTRAHLER

Temperaturstrahler sind Körper wie die Sonne (ca. 6000°K), oder eine Glühbirne (ca. 3000°K). Sie müssen sehr warm werden, um Licht zu erzeugen. Bei Temperaturstrahlern gilt: „Je höher die Temperatur ist, desto kühler-bläulicher (energiereicher) ist das Licht und je geringer die Temperatur ist, desto gelb-rötlicher (energieärmer) ist das Licht.“

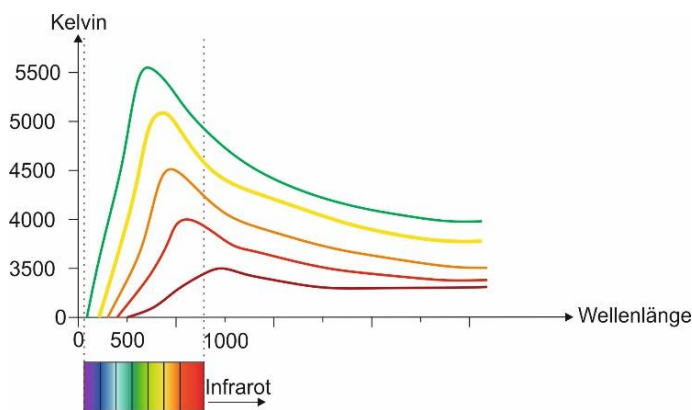


Abbildung 3, Temperaturstrahler

Wird ein Temperaturstrahler beispielsweise von 0 Kelvin auf 3000°K erwärmt, liegt die maximale Intensität der Ausstrahlung im rötlichen Bereich, wird er weiter erwärmt, kommen immer mehr grüne Anteile hinzu, es kommt zu einer Überlagerung von Rot und Grün, dadurch erscheint das abgestrahlte Licht für uns gelblich. Dieses Phänomen nennt man additive Farbmischung, sie findet im Auge durch Zusammenspiel von den Rezeptoren und deren Weiterleitung ans Gehirn statt. Eine Glühlampe kann demnach nicht nur grünes Licht aussenden, denn es beinhaltet noch immer den rötlichen Anteil, der nicht einfach verschwindet. Durch weitere Erwärmung würde es theoretisch zu einer zusätzlichen Überlagerung des blauen Anteils kommen, dann wäre das Licht, das ausgestrahlt wird, weiß. Zusammengefasst: „Die Addition der drei Grundfarben, Rot, Grün und Blau, ergibt weißes Licht. Weißes Licht ist somit ein polychromatisches Licht, das von der Sonne ausgestrahlt wird und sich aus monochromatischen Wellenlängen zusammensetzt.“

(Online im Internet: URL: <http://work.popperschule.at/projekte/wahrnehmung/daten/index.php?id=120>, 04.05.2017)

(Online im Internet: URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Polychromatisches_Licht, 04.05.2017)

(Online in Internet: URL: <http://at.paulmann.com>, 05.04.2017)

(Online im Internet: URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Additive_Farbmischung, 04.05.2017)

5.2.2. ENTLADUNGSSTRAHLER

Zum Beispiel Leuchtstoffröhren, fühlen sich bei berühren kalt an. Sie erzeugen Licht ohne Erhitzung des leuchtenden Materials: die Temperatur wird durch ein Gas ersetzt, elektrischer Strom entsteht durch Gasentladung. Die Intensität der Strahlungsenergie und daher auch die Farbe des Lichtes hängt vom Gasgemisch ab.

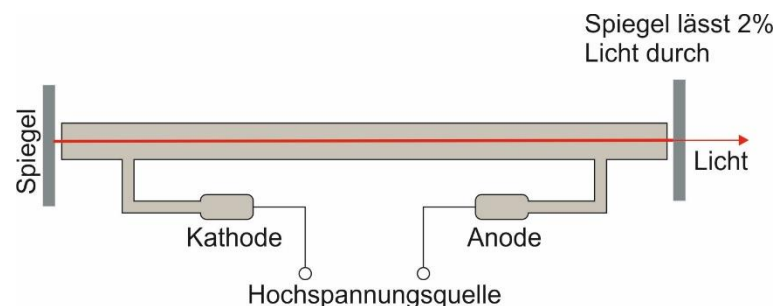


Abbildung 4, Entladungsstrahler

In ein vakuumdichtes Entladungsrohr wird viel Helium und wenig Neon gefüllt. Eine Glühkatode erzeugt Elektronen, zwischen Katode und Anode herrscht Spannung. Die Elektronen gelangen in das vakuumdichte Entladungsrohr und ionisieren dabei die Edelgase durch Stöße, es kommt zur Gasentladung und dadurch entstehen neue Elektronen. Die neu entstandenen Elektronen regen nun die Heliumatome an. Das angeregte Heliumatom stößt mit dem Neonatom zusammen und überträgt die Energie an das Neonatom weiter. Das angeregte Neonatom ist jetzt in der Lage zu zerfallen und senden somit Licht aus. Die Lichtteilchen werden zwischen zwei Spiegeln hin und her geschickt, es entstehen immer wieder neue Lichtteilchen. Die Spiegel außerhalb sorgen für eine stehende Welle im Inneren. Ein Spiegel sorgt für 100% Reflexion, der andere lässt ca. 2% des Lichtes durch.

(Online in Internet: URL: www.neon-info.ch, 05.04.2017)

(Vgl. Herr Markt, 2016, Skript aus dem Unterricht)

(Vgl. Herr Fiedler, 2016, Skript aus dem Unterricht)

5.3. AUSBREITUNG DES LICHTES

5.3.1. LICHTDURCHLÄSSIGE KÖRPER – DURCHSICHTIGE KÖRPER

In einem klaren Medium, mit einheitlicher Dichte, wie in Luft oder Glas, breitet sich Licht geradlinig aus. Trifft es auf die Oberfläche solcher Körper, wird es in 3 Lichtanteile zerlegt. Ein Teil wird reflektiert (zurückgeworfen), einer absorbiert (verschluckt) und einer transmittiert (hindurchgelassen). Bei lichtdurchlässigen Körpern muss zudem auch beachtet werden, dass das Licht nicht nur von vorne, sondern auch von hinten reflektiert wird.

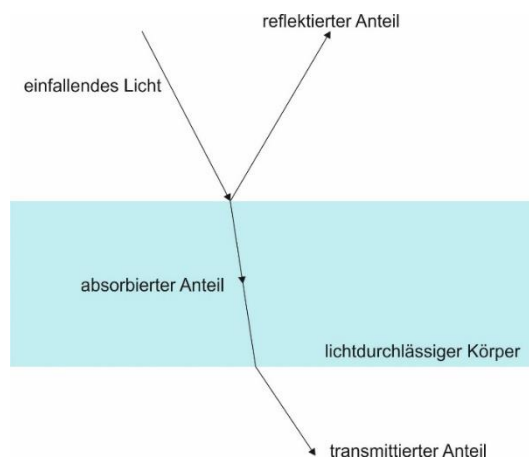


Abbildung 5, Lichtdurchlässiger Körper

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.7)

5.3.2. LICHTUNDURCHLÄSSIGE KÖRPER – UNDURCHSICHTIGE KÖRPER

Im Gegensatz zu den lichtdurchlässigen Körpern, ergeben sich bei lichtundurchlässigen Körpern, nur 2 Lichtanteile: Ein Teil des auftreffenden Lichtes wird reflektiert, der andere absorbiert. Dort wo das Licht absorbiert wird, wandelt sich die Energie des Lichtes in Wärmeenergie um, was zur Folge hat, dass der Körper an dieser Stelle deutlich wärmer wird.

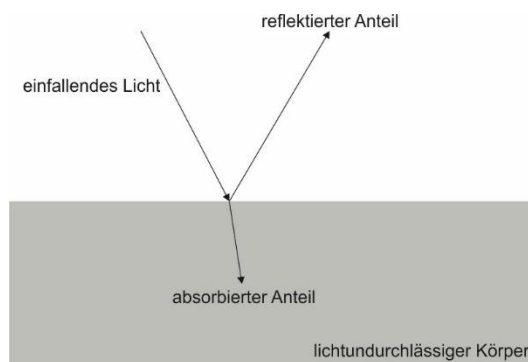


Abbildung 6, Lichtundurchlässiger Körper

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.7)

Wird ein undurchsichtiger Körper von vorne mit einer Lichtquelle beleuchtet erscheint dahinter ein dunkles Schattenbild. Von der Lichtquelle ausgehend zum Objekt hin bis zum Schattenbild kann eine gerade Verbindungslinie gezogen werden. Dieses Phänomen erklärt die geradlinige Ausbreitung des Lichtes.

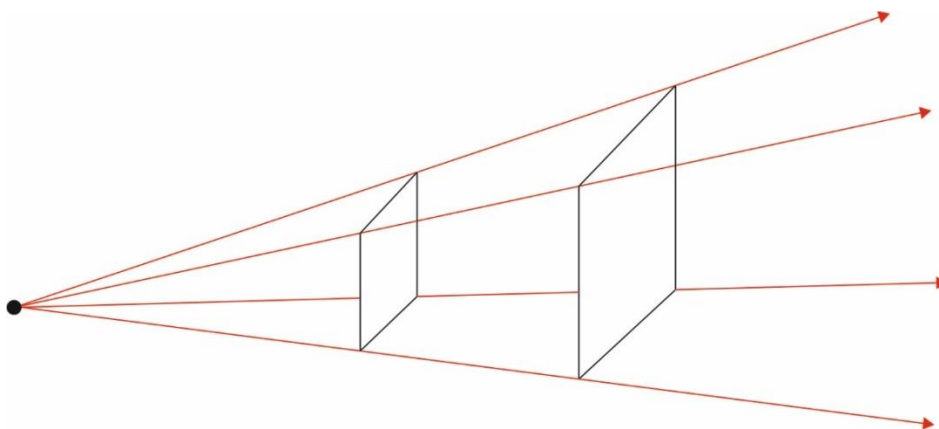


Abbildung 7, Geradlinige Ausbreitung des Lichtes

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.1)

Bei der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes wird zwischen Lichtstrahl, Lichtbüschel und Lichtbündel unterschieden.

Die Lichtmenge die von einer Lichtquelle ausgeht wird als **Lichtstrahl** bezeichnet. Diese Lichtmenge wird durch viele mittig gelegene Blenden begrenzt. Das Phänomen der Beugung welches durch die Blenden entsteht wird hierbei vernachlässigt. Durch eine Blende wird eine Lichtmenge geschickt, es resultieren eine Vielzahl von Lichtstrahlen. Hierbei unterscheidet man zwischen Lichtbündeln und Lichtbüscheln. Treffen sich die gesamten Lichtstrahlen eines Raumes an einem gemeinsamen Punkt, spricht man von einem **Lichtbündel** (Abb. 8). Treffen sich die Lichtstrahlen einer gesamten Fläche in einem gemeinsamen Punkt, spricht man von einem **Lichtbüschel** (Abb. 9).

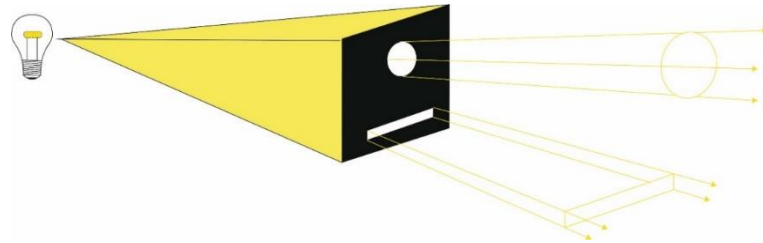


Abbildung 8, Lichtbündel

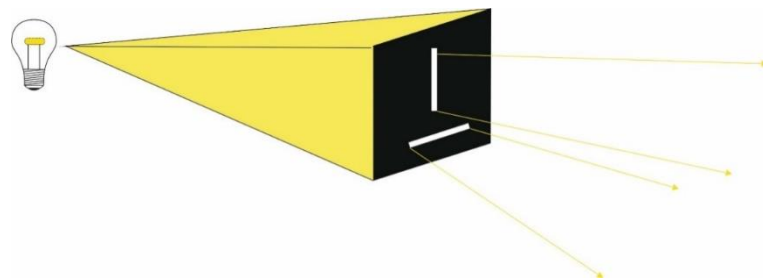


Abbildung 9, Lichtbüschel

Zudem können Lichtbündel und Lichtbündel parallel, divergent oder konvergent verlaufen. Bei Parallelität kommt es sehr lange zu keinem gemeinsamen Schnittpunkt der Strahlen, das bedeutet die Lichtquelle ist unendlich weit entfernt.

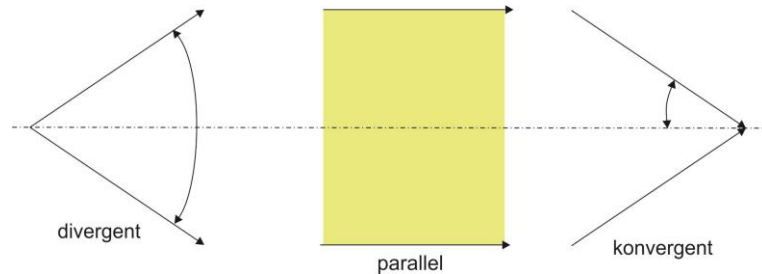


Abbildung 10, Ausbreitung des Lichtes

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.2)

5.4. DAS WELLENMODELL

Um sich die Ausbreitung des Lichtes besser vorstellen zu können entwickelte Christiaan Huygens (*1629 – †1695) das Wellenmodell. Jede Lichtquelle sendet Kreiswellen aus.

Das kann man am besten mit Wasserwellen vergleichen. Tupft man mit einem Finger auf eine ruhende Wasseroberfläche entsteht eine Kreiswelle. Wiederholt man diesen Vorgang öfter, entsteht ein Kreiswellensystem. Jede Kreiswelle besitzt Wellentäler und Wellenberge, die benachbarten Täler und Berge sind dabei um den Abstand λ , der als Wellenlänge bezeichnet wird, versetzt.

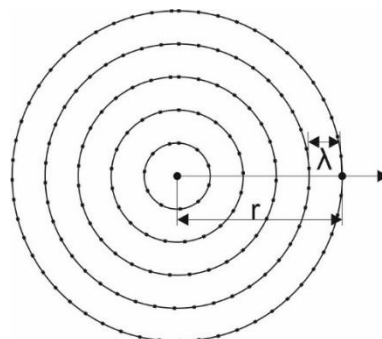


Abbildung 11, Wellenmodell

(Roth; Allgemeine Optik, S.4)

(Hammer, Morass, Raab; Lehrbuch der Physik, S.142)

Durch eine Erregung im Zentrum werden die Wassermoleküle in senkrechter Richtung auf- und absteigend mit einer bestimmten Frequenz (= Anzahl der Schwingungen pro Sekunde) bewegt. Der höchste Ausschlag den sie dabei machen, nennt man Amplitude. Diese nimmt mit Abstand zum Erregerzentrum und durch die Verteilung der Energie auf immer mehr Teilchen, ab. Die Wassermoleküle bleiben dabei immer fest an ihren Ort gebunden. Die Moleküle im Zentrum schwingen mit einer bestimmten Frequenz, benachbarte Moleküle werden dadurch mitgerissen und angeregt und besitzen, mit Verzögerung, nun die gleiche Frequenz. Von den benachbarten Molekülen werden nun wieder die Benachbarten mitgerissen und so entsteht der Eindruck einer fortlaufenden Welle. Die Frequenz f ist durch die Erregung im Zentrum festgelegt.

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c einer Welle ist von der Frequenz der Teilchen abhängig, daraus resultiert die dazugehörige Wellenlänge.

Es ergibt sich folgende Formel:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

(Roth; Allgemeine Optik, S.4,5)

5.5. DAS KORPUSKEL MODELL

Ein weiteres Modell, um sich die Ausbreitung des Lichtes besser vorstellen zu können, ist das Korpuskel Modell von Newton (*1643 – †1727). Jede Lichtquelle sendet Lichtteilchen/Lichtkorpuskeln aus. Einstein (*1879 – †1955) gestaltete dieses Modell zur Lichtquantentheorie um. Jedes Licht besteht aus Lichtquanten (Photonen) mit einem bestimmten Quantum an Energie. Die Energie der Photonen ist umso größer, je größer die Frequenz des Lichtes ist. Die Energie des Lichtes nimmt vom infraroten- zum roten- bis zum ultravioletten Licht ständig zu. Anders als beim Wellenmodell, wo die Lichtquelle Kreiswellen aussendet und die Moleküle die Benachbarten mitreißen, werden beim Korpuskel Modell Photonen von einer Lichtquelle ausgestoßen und fliegen so lange geradlinig weiter, bis sie auf ein Hindernis treffen.

Mit beiden Modellen kann man unterschiedliche Erscheinungen des Lichtes beschreiben. Die Beugung und Interferenz können nur mit dem Wellenmodell erklärt werden. Die Erzeugung von Licht und die Einwirkung von Licht auf Metalle konnten wiederum nur mit dem Korpuskel Modell verständlich gemacht werden. Daraus ergibt sich der Dualismus des Lichtes.

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.6,7)

5.6. DIE LICHTGESCHWINDIGKEIT

Darunter versteht man im Allgemeinen wie lange das Licht braucht um sich auszubreiten. Im Vakuum beträgt die Lichtgeschwindigkeit 300.000km/s. Dieser Wert ist mit Luft gleichzusetzen, da es durch die geringe Dichte der Luft nur zu minimalen Abweichungen kommt. In Wasser, mit einer größeren, optischen Dichte, beträgt die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes ca. 225.000km/s. Bei Kronglas ca. 200.000km/s. Dadurch ist klar, dass mit zunehmender Dichte eines Stoffes die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes abnimmt. Somit wurde die Bezeichnung optisch dünneres Medium für jenes mit der größeren Lichtgeschwindigkeit und optisch dichteres Medium, für jenes mit der geringeren Lichtgeschwindigkeit festgelegt.

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.2,4)

5.6.1. MESSUNGEN DER LICHTGESCHWINDIGKEIT

Olaf Römer (*1644 – †1710) hat durch astronomische Beobachtungen als erster einen Wert für die Lichtgeschwindigkeit festgelegt. Fizeau gelang es 1849 auf der Erde eine Messung der Lichtgeschwindigkeit durchzuführen. Dabei wurde ein Lichtstrahl von einem umdrehenden Zahnrad zerhackt und von einem Spiegel, aus 9km Entfernung zurückgeworfen. Die Beobachtungen fielen dabei auf den Lichtstrahl der durch die Lücken des Zahnrades lief. Zu beobachten war dabei, dass der Lichtstrahl bei sehr schnellen Umdrehungen des Zahnrades verschwand. Das Licht wurde vom Spiegel in einer so schnellen Geschwindigkeit zurückgeworfen, dass ein Zahn in die Stelle der Lücke getreten ist. Somit konnte nun durch die Strecke $s = 4a$, die das Licht zum Spiegel und zurück benötigt, die Zeit t gemessen werden. Die Zeit für den Platzwechsel des Zahnes in die Lücke,

ist durch die n , die Anzahl der Umdrehungen pro Sekunde und durch z , die Anzahl der Zähne festgelegt. Fizeau's Messungen, die in Luft erfolgten lauteten: $a = 8,663\text{km}$, $z = 720$, $n = 12,6$ daraus ergibt sich die Berechnung:

$$4azn = 4 * 8,663 * 720 * 12,6 = 313274\text{km/s}$$

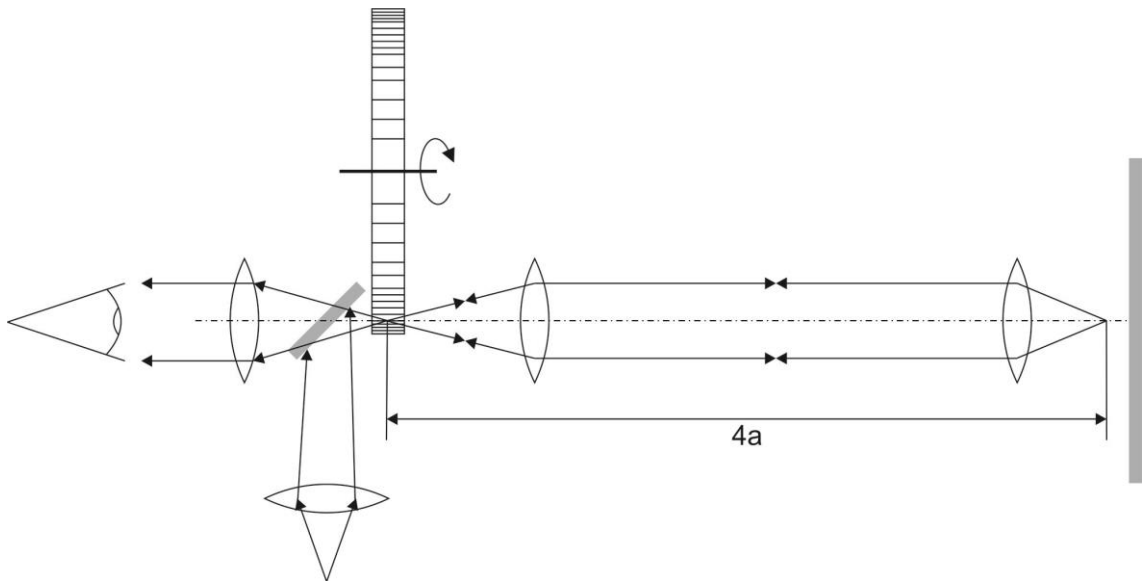


Abbildung 12, Lichtgeschwindigkeitsmessung

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.2,4)

5.7. SPEKTRUM DES LICHTES



Abbildung 13, Spektrum des Lichtes

5.7.1. SICHTBARES LICHT (380 – 780 NANOMETER)

Licht ist durch die unterschiedlichen Wellenbewegungen festgelegt. Je höher die Frequenz ist, desto kurzwelliger ist das Licht.

Auf die verschiedenen Frequenzen jeder einzelnen Welle, reagieren die dazugehörigen Rezeptoren auf der Netzhaut und nicht auf die Wellenlänge.

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.5,6)

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Stäbchen und Zapfen. Die Stäbchen sind für das Nachtsehen verantwortlich, sie reagieren auf Helligkeitsempfindungen (schwarz/weiß) jedoch nicht auf Farben und sind somit am Tag unwirksam. Im Gegensatz zu den Zapfen, die für das Tagsehen zuständig sind, da sie auf die verschiedenen Frequenzen des Lichtes reagieren. Je nach Farbempfindungen werden unterschiedliche Zapfen tätig:

- rotempfindliche Zapfen
- grünempfindliche Zapfen
- blauempfindliche Zapfen

(Von Zapfen und Stäbchen. Online in Internet: URL: <https://www.simplyscience.ch/teens-liesnach-archiv/articles/von-zapfen-und-staebchen.html>, 01.05.2017)

Farbe	Frequenz f in (THz 10 ¹²)	Wellenlänge Lambda (nm) in Luft
Rot	400 – 470	750 – 640
Orange	470 – 500	640 – 600
Gelb	500 – 540	600 – 555
Grün	540 – 620	555 – 485
Blau	620 – 700	485 – 430
Violett	700 – 790	430 – 380

Die Wellenlänge Lambda ergibt sich dabei aus der Berechnung mit folgender Formel:

$$\text{Lambda} = \frac{c}{f}$$

Beispiel für Rot:

$$\begin{aligned} \text{Lambda} &= \frac{300.000\text{km/s}}{400} \\ &= 750\text{nm} \end{aligned}$$

Für c wird die Lichtgeschwindigkeit in Luft – 300.000km/s eingesetzt und für f die jeweilige Frequenz die, in Terahertz angegeben ist.

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.6)

5.7.2. ULTRAVIOLETTES LICHT & UV-STRAHLUNG

Das Wort „Ultra“ bedeutet jenseits/weiterhin, denn außerhalb des sichtbaren Spektrums, sind noch Strahlen vorhanden, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Man spricht daher von der unsichtbaren, der ultravioletten Strahlung (UV-Strahlung). Unterteilt wird die UV-Strahlung in:

- **UVC-Strahlung** (100 – 280nm)
- **UVB-Strahlung** (280 – 315nm)
- **UVA-Strahlung** (315 – 380nm)

Die UVC-Strahlung, die von der Sonne erzeugt wird und jene Wellenlängen, die noch kürzer sind, werden von der Ozon Schicht der Erde in einer Höhe von 20km – 30km absorbiert und haben somit keine Auswirkung auf den Organismus des Menschen. Ausgenommen ist hierbei die künstlich erzeugte UVC-Strahlung, wie zum Beispiel beim Schweißen. Die UVB- und UVA-Strahlungen werden von der Haut absorbiert und sind bei hoher Intensität für das menschliche Auge erst durch Rötung und Bräunung der Haut wahrzunehmen (Sonnenbrand). Die UVA-Strahlung ist auf der Sonnenbank sehr beliebt und findet so ihr Einsatzgebiet in Solarien. Die Grafik soll zusätzlich veranschaulichen welche Strahlung von welchem Teil des menschlichen Auges absorbiert bzw. transmittiert wird.

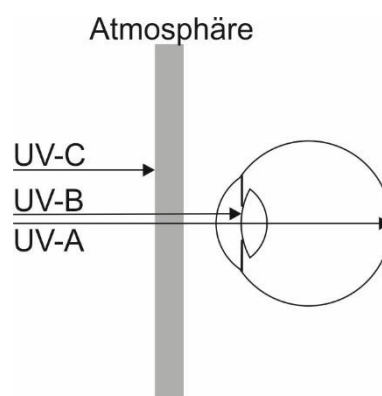


Abbildung 14, Auge und UV-Strahlung

(Vgl. Fertil, Matzner; *Elektrodynamik*, S.138)

(Vgl. Jachnow; *Handbuch der Optometrie Band 1*, S.54)

5.7.3. ULTRAROTES LICHT - INFRAROTES LICHT

Das ultrarote Licht, mit einer Wellenlänge $< 780\text{nm}$, wird von warmen Körpern ausgestrahlt und ist Hauptbestandteil der Temperaturstrahlung, da sie eine wesentlich stärkere Erwärmung bewirkt, als sichtbare Strahlung und UV-Strahlung. Bei der Glühbirne liegt die Intensität der max. Ausstrahlung im infraroten Bereich. In der Fotooptik (Infrarot Fotografie) wird diese Art von Strahlung sehr gerne auf weite Entfernungen benutzt, da sie bei ungünstigen Sichtverhältnissen, wie Nebel und Dunstschichten weniger gestreut wird, als das sichtbare Licht. Dadurch erscheint das Bild klarer.

Infrarotes Licht wird in der Medizin sehr oft für Diagnosezwecke verwendet. Durch Temperaturunterschiede können Durchblutungsstörungen oder Tumore sichtbar gemacht werden.

(Vgl. Fertil, Matzner; Elektrodynamik, S.138)

(Vgl. Jachnow; Handbuch der Optometrie Band 1, S.55,56)

(Vgl. Rameis; Physik, S.140)

5.7.4. BLAUES LICHT

Das blaue Licht im sichtbaren Spektrum ist mit einer Wellenlänge von $\sim 400\text{nm}$ ein sehr energiereiches, kurzwelliges Licht. Blaues Licht wird daher stärker gebrochen als langwelliges Licht. Daraus ergeben sich im Auge unterschiedliche Schärferebenen, die als chromatische Aberration bezeichnet wird. Zudem erfolgt eine Streuung des sichtbaren Lichtes an sehr kleine Teilchen im Auge. Wobei das blaue kurzwellige Licht zehnmal mehr gestreut wird, als das langwellige rote Licht. Somit ist das blaue Licht für physiologische Blendung und die damit reduzierte Kontrastwahrnehmung verantwortlich. Man findet es in Form von Kunstlichtquellen, in Handydisplays, Autoscheinwerfern, Tablets oder PCs.

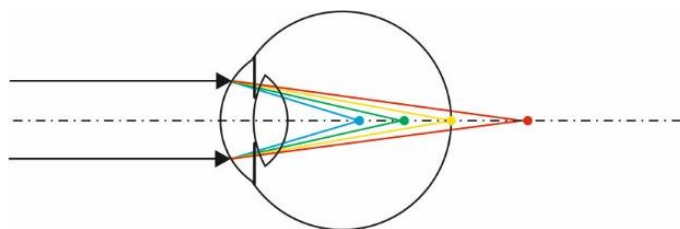


Abbildung 15, Chromatische Aberration

(Einflüsse blauen Lichtes. Online in Internet: URL: <http://ergoptometrie.de/einflüsse-von-blauem-licht/>, 05.04.2017)

6. TEILGEBIETE DER OPTIK

Die Optik wird grundsätzlich in 3 Teilgebiete eingestuft, die Strahlenoptik, die Wellenoptik und die Teilchenoptik. Jedes Gebiet benötigen wir, um die einzelnen Eigenschaften vom Licht genau beschreiben zu können.

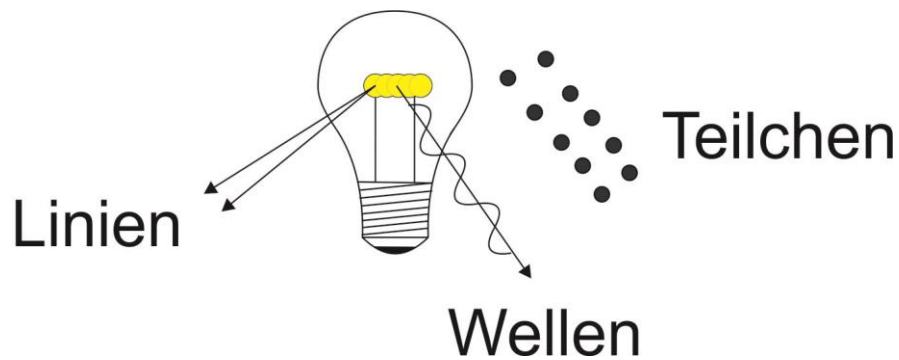


Abbildung 16, Teilgebiete der Optik

Wellenoptik

Entstehung des Lichtes

Ausbreitung des Lichtes (Wellenmodell: Christiaan Huygen)

Erscheinungen von Licht die durch Welleneigenschaften von Licht beschrieben werden (Dispersion, Interferenz, Beugung...)

Strahlenoptik

Reflexion

Brechung

Teilchenoptik

Ausbreitung des Lichtes (Korpuskel Modell)

7. WELLENOPTIK

Dieses Teilgebiet der Optik verwendet die Querwelle als Modell für Licht. Hierbei handelt es sich um eine Modellvorstellung, welche Lichterscheinungen wie Interferenz, Beugung oder Polarisation beschreibt.

Die Welle wird als Sinuswelle dargestellt und durch Wellenlänge, Frequenz und Amplitude beschrieben.

(Vgl. Berufsschulunterlagen; Kap. Physikalische Optik, S.10)

7.1. WELLENLÄNGE

Die Wellenlänge λ , welche auch als Phase bezeichnet werden kann, beschreibt immer eine komplette Schwingung. Eine Schwingung wird durch den Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenbergen bzw. Wellentälern definiert. Die Angabe der Wellenlänge erfolgt in Nanometer (nm).

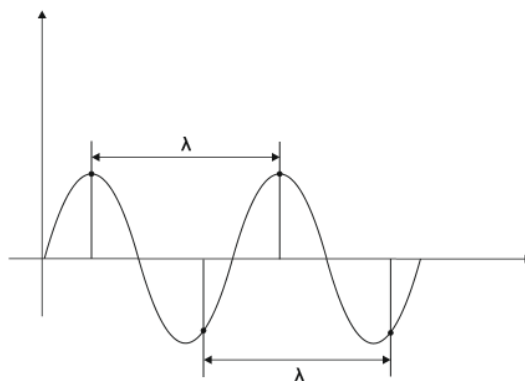


Abbildung 17, Wellenlänge

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.4)

(Vgl. Berufsschulunterlagen; Kap. Physikalische Optik, S.9)

7.2. FREQUENZ

Diese definiert die Anzahl der Schwingungen einer Welle pro Sekunden und wird in Hertz (Hz) gemessen.

$$f = \frac{\text{Schwingungen}}{\text{Sekunden}}$$

(Von Lichtmikroskopie – Theorie und Anwendung. Online im Internet: URL http://www.univie.ac.at/mikroskopie/pdf/1-2_optik.pdf; 15.02.2017)

7.3. AMPLITUDE

Anhand dieser Eigenschaft kann die Licht-Menge einer Welle beschreiben werden. Eine hohe Amplitude ergibt somit viel Licht und eine geringe Amplitude weniger Licht. Die Amplitude ist somit ausschlaggebend für die Helligkeit einer Wellenlänge.

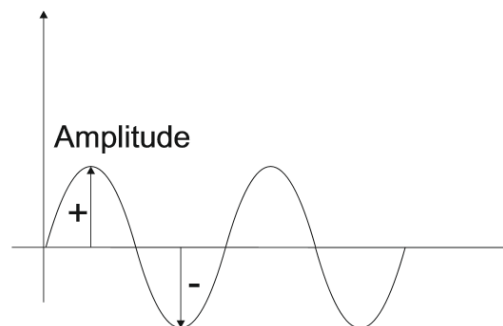


Abbildung 18, Amplitude

(Vgl. Berufsschulunterlagen; Kap. Physikalische Optik, S.9)

7.4. PERIODE

Sie beschreibt die Zeitdauer, die für eine vollständige Schwingung notwendig ist. Hierbei wird das Verhältnis zwischen der Auslenkung einer Welle gegen die Zeit betrachtet.

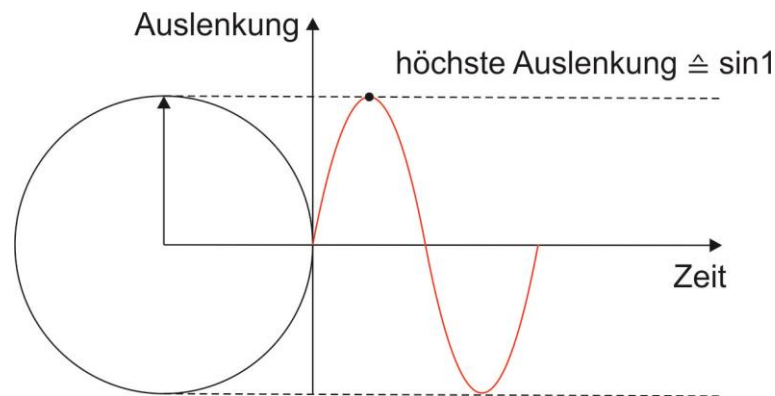


Abbildung 19, Periode

(Vgl. Unterricht Hr. Mag. Markt)

7.5. PHASENVERSCHIEBUNG

Sind zwei Wellen beliebig phasenverschoben, d.h. ihre Wellenberge bzw. Wellentäler befinden sich an einem unterschiedlichen Ort, so entsteht immer wieder eine neue Welle, die sich durch die Phasenverschiebung verstärkt oder verringert.

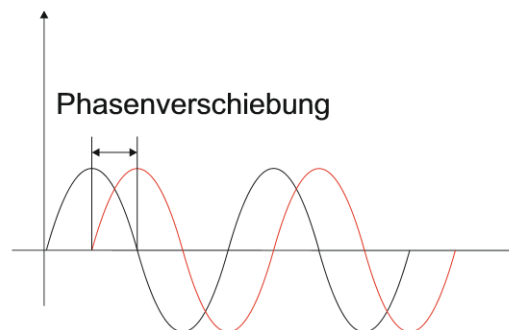


Abbildung 20, Phasenverschiebung

(Vgl. Hammer, Morass, Raab; Lehrbuch der Physik, S.338,339)

7.6.INTERFERENZ

Interferenz bedeutet Überlagerung von Wellen und die Folgen die hierbei entstehen. Hierbei ist das Phänomen der Beugung von Bedeutung. Lässt man Licht durch einen kleinen Spalt laufen, erscheinen die aufgefangenen Strahlen unterschiedlich hell. Dies ist das Ergebnis von überlagerten und ausgelöschten Wellen. Allgemein gilt somit, dass Wellen, deren Wellenberge durch Aufeinandertreffen sich verstärken, dies wird als konstruktive Interferenz bezeichnet und Wellen, bei denen ein Wellenberg auf ein Wellental trifft sich auslöschen, dies wird als destruktive Interferenz bezeichnet. Bei Entspiegelungsschichten kommt die destruktive Interferenz zum Einsatz. Um Dauerhaft Interferenz zu erzeugen, müssen Bedingungen herrschen, unter denen jeder Wellenzug mit sich selbst zur Überlagerung kommt. Die Interferenz und ihre Auswirkungsmöglichkeiten können somit dauerhaft beobachtet werden. Das Licht eines einzelnen Wellenzuges nennt man kohärent.

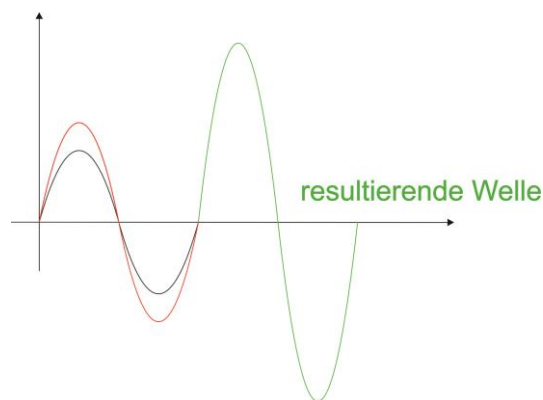


Abbildung 21, Konstruktive Interferenz



Abbildung 22, Destruktive Interferenz

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.151)

7.7. FARBEN

Anhand der Frequenz bzw. Wellenlängen kann die Farbe des Lichtes beschrieben werden. Man unterscheidet hierbei drei Teile des Lichtes. Das Sichtbare Licht, welches vom Auge wahrgenommen werden kann, befindet sich von 380nm bis 780nm. UV Licht, welches kurzwelliger und sehr energiereich ist, beginnt im Spektrum ab 100nm (UV-C) und endet bei 380nm (sichtbares Licht). Infrarot Licht welches energieärmer ist, startet im Spektrum ab 780nm.

(Vgl. Berufsschulunterlagen; Kap. Physikalische Optik, S.13)

(Von Lichtmikroskopie – Theorie und Anwendung. Online im Internet: URL http://www.univie.ac.at/mikroskopie/pdf/1-2_optik.pdf ; 15.02.2017)

7.8. DISPERSION

Die Definition hierzu ist die Aufspaltung von weißem Licht in die Spektralfarben. Die Ausgangslage ist hierbei, dass sich alle Wellenlängen im Vakuum gleich schnell ausbreiten. In durchsichtigen Körpern wie z.B. Brillengläsern ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit jedoch immer abhängig von der Frequenz bzw. der Wellenlänge. Somit versteht man unter Dispersion im allgemeinen die Abhängigkeit der Brechzahl eines Stoffes von der Frequenz bzw. der Wellenlänge des Lichtes. Als Maß für die Dispersion werden bestimmte Linien im Spektrum verwendet. Die blaue Linie wird als F' bezeichnet, die in der Mitte befindliche Linie heißt e und die rote, rechts vom Spektrum liegende Linie, wird mittels C' gekennzeichnet

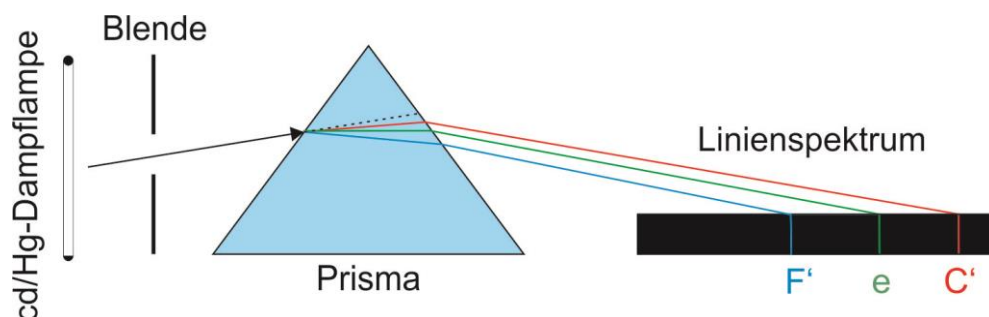


Abbildung 23, Dispersion am Prisma

Die Hauptdispersion ($n'_{F'} - n'_{C'}$) beschreibt den Abstand zwischen F' und C' . Die Brechzahl eines Glases hat hier auch einen Einfluss, da sich das Spektrum verschiedener Gläser immer materialabhängig verändert. Da jede Wellenlänge unterschiedlich stark abgelenkt wird, ist Dispersion bei Linsen bzw. Brillengläsern unerwünscht. Es entstehen chromatische Fehler, welche die Abbildungsqualität maßgeblich beeinflussen können.

(Vgl. Hammer, Morass, Raab; *Lehrbuch der Physik*, S.398)
(Vgl. Berufsschulunterlagen; Kap. Dispersion, S.2,4)

7.9. ABBE'SCHE ZAHL

Sie gibt Aufschluss über die Dispersion eines optischen Mediums.

Somit hängen Dispersion und Abbe'sche Zahl immer zusammen. Eine große Abbe'sche Zahl bedeutet eine geringe Dispersion und umgekehrt.

$$v_e = \frac{n'_{e'} - 1}{n'_{F'} - n'_{C'}}$$

(Vgl. Greulich; *Lexikon der Physik*, S.2)

7.10. FARBLÄNGSFEHLER

Durch unterschiedlich starke Brechungen bzw. Ablenkung jeder Farbe ergibt sich für die jeweilige Wellenlänge eine bestimmte Entfernung und Größe des aufgenommenen Bildes. Ist die Abweichung zu groß, können die einzelnen Bilder nicht mehr zu einem einheitlichen Gesamtbild verschmolzen werden.

(Vgl. Jachnow; *Optometrische Grundlagen der Optometrie*; Kap.11, S.23-27)

7.11. CHROMATISCHE VERGRÖßERUNGSDIFFERENZ

Dieser Fehler hängt mit dem Farblängsfehler zusammen. Durch den Bildweitenunterschied ergibt sich gleichzeitig ein Bildgrößenunterschied, welcher Farbsäume verursacht.

Übersicht:

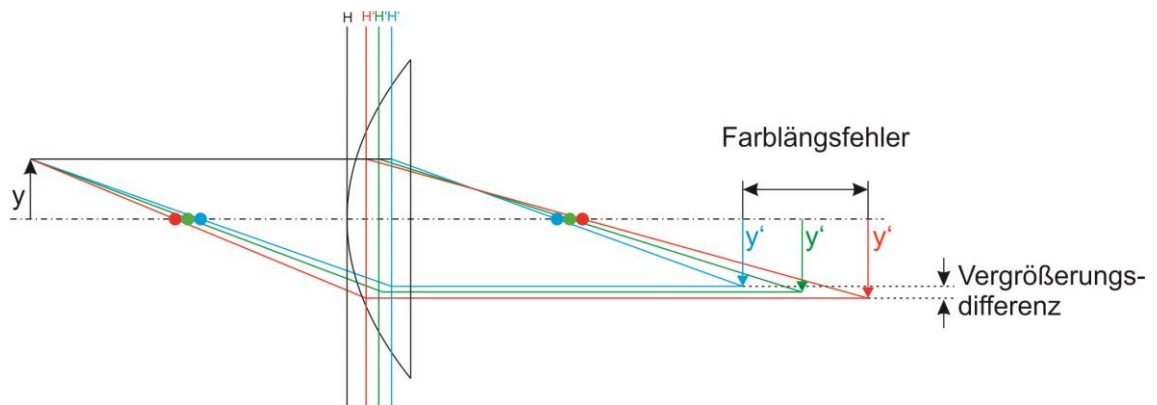


Abbildung 24, Chromatische Vergrößerungsdifferenz & Farblängsfehler

(Vgl. Berufsschulunterlagen; Kap. Dispersion, S.9,11)

8. STRAHLEN OPTIK

Hierbei werden die Wellenerscheinungen des Lichtes vernachlässigt. Um die Grundlagen des Auges und seiner Korrektionsmittel besser zu verstehen, werden Wellen vereinfacht als Linien dargestellt. Lichtquellen werden vereinfacht als punktförmig angenommen. Ein Lichtstrahl bleibt somit solange eine gerade Linie, bis er durch ein Medium abgelenkt wird.

(Vgl. Berufsschulunterlagen; Kap. Physikalische Optik, S.5)

8.1. REFLEXIONSGESETZ

Trifft Licht von Luft ausgehend auf einen Körper auf, wird je nach Beschaffenheit des Körpers, das Licht absorbiert, reflektiert, gebrochen und abgelenkt.

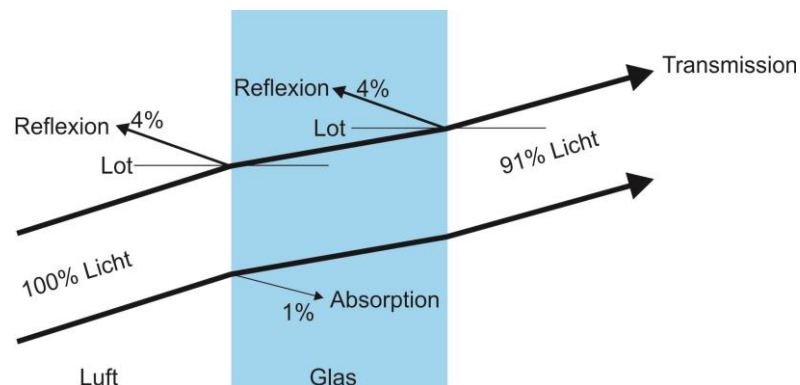


Abbildung 25, Reflexion am Glas

Handelt es sich um eine glatte Oberfläche wird das Licht hauptsächlich reflektiert, somit gilt: Einfallswinkel = Ausfallswinkel. Handelt es sich aber um ein durchsichtiges Medium und das Licht kann in den Körper eintreten, wird das Licht immer zum Lot / senkrecht hin abgelenkt, sofern es ein dichteres Medium ist als Luft.

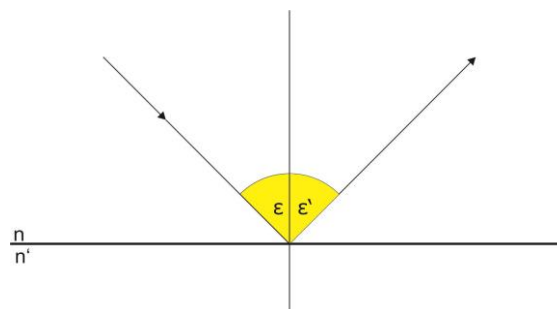


Abbildung 26, Reflexionsgesetz

(Vgl. Berufsschulunterlagen; Kap. Physikalische Optik, S.10)

8.2. LICHTBRECHUNG

Die Brechung des Lichtes ist immer abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Mediums. Bei optischen Gläsern spricht man von der gerichteten oder regulären Brechung für welche gilt:

1. Verläuft das Licht von einem optisch dünneren Medium in ein optisch dichteres Medium wird der Lichtstrahl zum Lot hin abgelenkt.

2. Erfolgt die Brechung umgekehrt, wird der Strahl vom Lot weg abgelenkt.

Zusätzlich gilt für Licht, welches auf ein Medium mit einer anderen Brechzahl trifft, dass seine Geschwindigkeit verändert wird. Zudem werden neben der Lichtbrechung Teile des Lichtes reflektiert, absorbiert, polarisiert wie auch in die einzelnen Teile der Farben zerlegt.

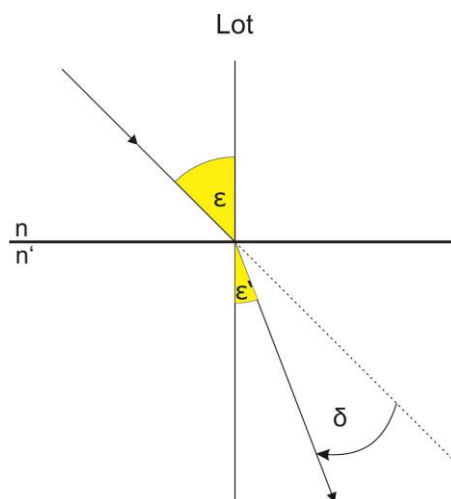


Abbildung 27, Lichtbrechung

(Vgl. Jachnow; *Optometrische Grundlagen der Optometrie*; Kap.11, S.25,26)
(Vgl. Berufsschulunterlagen; Kap. *Physikalische Optik*, S.11)

9. BESCHICHTUNGEN FÜR BRILLEGLÄSER

Brillengläser ohne Oberflächenvergütung verlieren je nach Glasmaterial bis zu 20 Prozent an Transmission durch Reflexion. Somit ist die Reflexminderung an Brillengläsern bei allen Glasherstellern seit Jahrzehnten von großer Bedeutung. Laufend werden neue Techniken entwickelt, um dem Endverbraucher eine noch bessere Sehqualität garantieren zu können.

Im Wesentlichen dienen Veredelungen von Brillengläsern

- der Reflexminderung / Entspiegelung,
- der Absorptionserhöhung / Filter- oder Sonnenschutz, sowie
- der Oberflächenverfestigung / Hartschicht nur für organische Gläser.

9.1. GESCHICHTLICHER EINBLICK

Joseph Fraunhofer bemerkte **1817** erstmals den Zusammenhang zwischen der Höhe der Brechzahl und dem Reflexionsgrad einer Linsenoberfläche.

1935 schaffte es die Firma Carl Zeiss in Jena zeitgleich mit der Firma Turner in Detroit reflexvermindernde Schichten auf Glasoberflächen aufzudampfen. Der T-Belag (Transmissions-Belag) wurde bis 1940 nur für wehrtechnische Geräte, vor allem für U-Boot-Teleskope, produziert.

Nach **1950** war die Technologie der Herstellung reflexmindernder Schichten soweit fortgeschritten, dass entspiegelte Brillengläser (von der Firma Zeiss- 1959) angeboten werden konnten.

1970 wurde die erste Generation der Hartschichten für organische Gläser eingeführt.

1975 folgte die Vergütung mit harten organischen Materialien, die in der Lage waren, sich ohne zu brechen, an Verformungen anzupassen. Als Trägerschicht für Entspiegelungsschichten waren sie aber noch ungeeignet.

1978 konnte die Züricher Firma Satis Vacuum AG erstmals Kunststoffgläser entspiegeln.

In den **80er Jahren** wurden dann bereits Superentspiegelungen auf den Markt gebracht.

Superentspiegelungen werden bis heute noch weiterentwickelt und mit zusätzlichen Schichten wie der Anti-Statik-Beschichtung oder dem Clean-Coat verbessert.

(Optikum: Was bringen neue Entspiegelungstechnologien? Online im Internet: URL: <https://www.optikum.at/was-bringen-neue-entspiegelungstechnologien/>, 08.03.2017)

(Vgl. Schumacher, Pit: Die ZEISS Punktal Story. 2.Auflage; S. 217)

(Wikipedia: Online im Internet: URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Joseph_von_Fraunhofer, 08.03.2017)

9.2. PROBLEMATIK DURCH REFLEXIONEN AN BRILLEGLÄSERN

Trifft Licht auf ein optisch dichteres Medium, wie zum Beispiel von Luft auf Glas, kommt es wegen der Brechzahlendifferenz zu störenden Reflexionen. Je höher die Brechzahl der Gläser ist, desto stärker und störender sind diese.

Für den Gesprächspartner eines Brillenträgers würden Reflexionen einen erschwerten Blick in das Auge bewirken und für diesen selbst sogar verminderten Bildkontrast durch Lichtschleier und leicht versetzte Doppelbilder bedeuten. Lichtschleier entstehen durch weitere Reflexionen im Glas selbst, die an Stellen der Bildebene gelangen, die eigentlich dunkel sein sollten und somit den Kontrast senken bzw. Doppelaussehen mit geringerer Intensität erzeugen können.

(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S. 28)

(Vgl. Hammer, Morass, Raab; Lehrbuch der Physik, S.341)

Grundsätzlich unterscheiden 4 Formen die Reflexion am Glas:

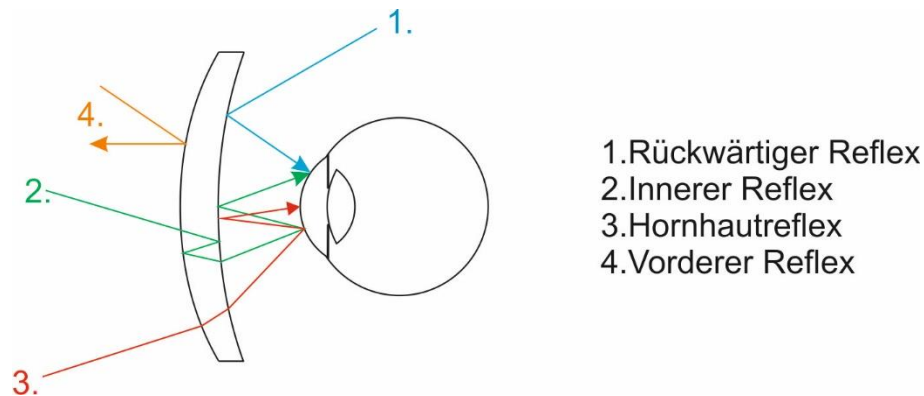


Abbildung 28, Reflexionen am Glas und Auge

- Rückwärtige Reflexion -
stört den Brillenträger; besonders bei nächtlichen Autofahrten beziehungsweise schlechten Lichtverhältnissen.

Die unerwünschte Störlichtquelle überlagert das von der betrachteten Szene kommende Licht und führt zu einer Minderung des Kontrastes.

- Innere Reflexion -
stört den Brillenträger; besonders vor dunklem Hintergrund beziehungsweise bei schlechten Lichtverhältnissen.

Der innere Reflex ist immer gleich stark vorhanden. Besonders bemerkbar macht er sich aber, wenn außer dem einen Lichtstrahl, der die innere Reflexion erzeugt, kein zusätzliches Licht auf das Glas auftrifft. Er wirkt subjektiv gesehen störender, weil er nicht von einer anderen Lichtinformation, wie zum Beispiel von einem hellen Hintergrund überlagert beziehungsweise überstrahlt wird.

- Hornhautreflexion -
stört den Brillenträger; besonders bei hohen Minusstärken.

Die Vorderseite D_1 eines Minusglases bildet die Basis- oder Grundkurve. Die Stärke des Brillenglases wird durch die Krümmung der zweiten Fläche D_2 erreicht. Je höher die Stärke ist desto stärker gekrümmt ist die Fläche D_2 und je stärker gekrümmt die Fläche ist, desto schiefer wird ein von der Hornhaut reflektierter Lichtstrahl auftreten und sich auch dementsprechend auffallend verhalten. Je schräger der Lichteinfall und je größer der Brechzahlenunterschied an den beiden Grenzflächen ist, desto stärker ist auch der Reflexionsgrad.

- Vordere Reflexion -
stören den Gesprächspartner und beeinflussen die Ästhetik.

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.135)

(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S. 29)

9.3. WIE WERDEN REFLEXIONEN AM BRILLENGLAS VERMIN- DERT?

Zur Minderung der Reflexionen werden dünne Schichten mit hohen Brechzahlen in speziellen Aufdampfungsvorgängen auf die Glasoberfläche aufgetragen. Handelt es sich um eine einzelne Schicht, nennt man die Vergütung Einfachentspiegelung. Ist es ein Schichtenpaket, bezeichnet man diese als Mehrfach- oder Superentspiegelung.

Die Theorie hinter der Entspiegelungstechnik ist bei mineralischen und organischen Brillengläsern eigentlich die selbe. Durch destruktive Interferenzen sollen störende Reflexionen vermindert und das durchgelassene Licht durch konstruktive Interferenz verstärkt werden. Mit einer Entspiegelungsschicht kann jeweils nur **eine** bestimmte Wellenlänge des Lichtspektrums aus einer festen Richtung durch Interferenz ausgelöscht werden. Weicht der Einfallswinkel oder die Wellenlänge ab, erhöht sich auch deren Reflexionsgrad wieder. Alle anderen Lichtfarben überlagern sich nur teilweise und bilden in Summe einen Restreflex, der die Komplementärfarbe zur ausgelöschten Wellenlänge darstellt. Für normal werden die Schichten für gelbgrünes Licht berechnet (550nm), was eine violett bis purpurrote Restreflexfarbe ergibt. Gelbgrünes Licht entspricht der maximalen spektralen Tagesempfindlichkeit des Auges.

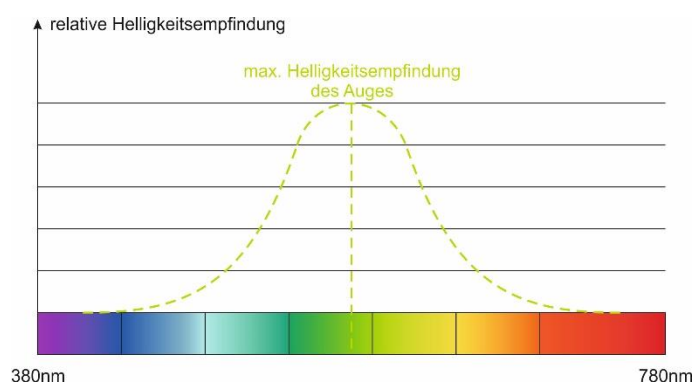


Abbildung 29, Helligkeitsempfindung des Auges

Aufgrund physikalischer Aspekte können bei organischen Gläsern nicht dieselben Schichtmaterialien und Herstellungsprozesse angewandt werden. Genauer werden diese Sachverhalte im Kapitel „Beschichten organischer Glasmaterialien“ besprochen.

9.4. BERECHNUNG DER REFLEXION AN BRILLEGLÄSERN

Wie stark Reflexionen an einer Glasfläche ausfallen, kann mit der Fresnel Formel berechnet werden. Augustin Jean Fresnel (*1788-1827†) war ein französischer Physiker und Ingenieur. Er begründete die Wellentheorie des Lichtes und beschäftigte sich mit Optik. Die Formel stimmt unter der Annahme, dass Licht senkrecht auf die reflektierende Fläche trifft.

(Vgl. Greulich; Lexikon der Physik A bis Z, S.432)

Formel:

$$R = \frac{(n' - n)^2}{(n' + n)^2} * 100\%$$

Beispiele:

Brechzahl	1,5	1,6	1,67	1,7	1,74	1,8	1,9
Reflektierte Anteile pro Fläche	4%	5,325%	6,296%	6,72%	7,51%	8,16%	9,63%
Insgesamt reflektierte Anteile (%)	8%	10,65%	12,59%	13,44%	15,02%	16,32%	19,26%

9.5. BEDINGUNGEN ZUR HERSTELLUNG EINER ANTIREFLEXSCHICHT

Eine Entspiegelungsschicht ist so aufgebaut, dass sich die reflektierten Anteile durch Interferenz auslöschen und der durchgelassene Anteil durch Interferenz verstärkt wird.

Die Schicht sollte dazu zwei Bedingungen erfüllen:

9.5.1. DIE PHASENBEDINGUNG

Um die Phasenbedingung zu erklären, sollte zwischen einer Reflexion am festen Ende und einer am losen Ende unterschieden werden.

Am festen Ende:

Nach der Reflexion läuft ein Wellenberg = Maximum als Wellental = Minimum zurück. Es ergibt sich ein Phasensprung von einer halben Wellenlänge. Bei Antireflexschichten entsteht diese Art der Reflexion, wenn die Brechzahl hinter der Interferenzschicht größer ist als die davor: $n_2 > n_1$

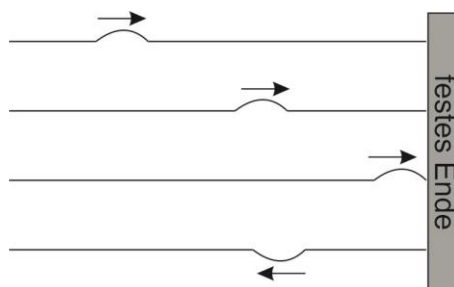


Abbildung 30, Reflexion festes Ende

Am losen Ende:

Ein Wellenberg wird als Wellenberg reflektiert. Es kommt zu keinem Phasensprung. Bei Antireflexschichten ergibt sich diese Art von Reflexion dann, wenn die Brechzahl hinter der Schicht kleiner ist als die davor: $n_2 < n_1$

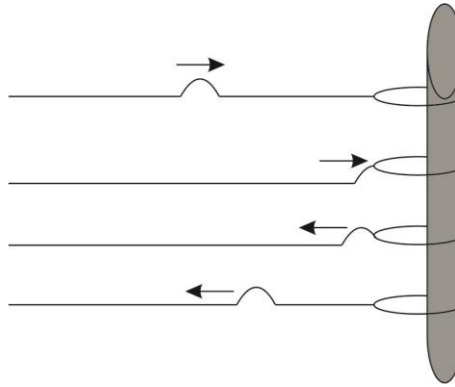


Abbildung 31, Reflexion am festen Ende

Die Phasenbedingung bestimmt die Dicke der Schicht, welche eine Viertelwellenlänge $\frac{\lambda}{4}$ sein muss, damit die beiden reflektierten Wellenanteile 1 und 2 um eine halbe Wellenlänge verschoben sind

$$2 \cdot \frac{\lambda}{4}$$

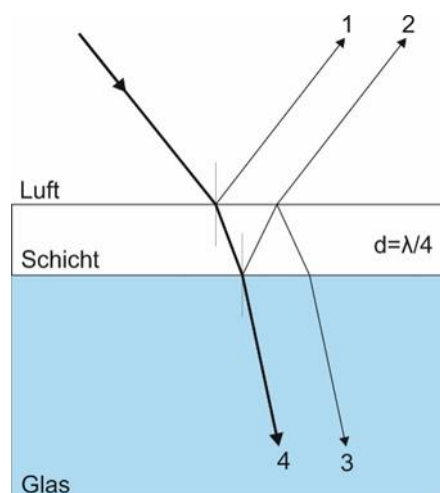


Abbildung 32, Reflexion am Glas

Das Ergebnis ist, dass das reflektierte Licht schwächer wahrgenommen wird. Bei den durchgelassenen Anteilen 3 und 4 beträgt der Gangunterschied $2 * \frac{\lambda}{4}$ und $1 * \frac{\lambda}{2}$. Teil 3 macht am Übergang von der Schicht zum Glas einen Phasensprung von $\frac{\lambda}{2}$. Insgesamt ergibt das also λ , was eine Verstärkung des durchgelassenen Lichtes zur Folge hat.

Formel: $d_s = \frac{\lambda}{4 * n_{Schicht}}$

d_s = Dicke der Entspiegelungsschicht

λ = Wellenlänge des zur Berechnung herangezogenen Lichtes

$n_{Schicht}$ = Brechzahl der Vergütungsschicht

Die Brechzahl der Vergütungsschicht als Zusatz in der Formel berücksichtigt, dass die Wellenlänge des 2.Anteils wegen dem dichteren Medium der Schicht kürzer wird.

Beispiel für Licht mit der Wellenlänge $\lambda = 550\text{nm}$ und der Amplitudenbedingung für Kronglas ($n_{Schicht} = 1,23$):

$$d_s = \frac{\lambda}{4 * n_{Schicht}}$$

$$d_s = \frac{550\text{nm}}{4 * 1,23}$$

$$d_s = 111,8\text{nm}$$

9.5.2.DIE AMPLITUDENBEDINGUNG

Sie bestimmt das Material der Entspiegelungsschicht.

Damit sich die reflektierten Anteile des Lichtes völlig auslöschen, müssen sie neben der halben Phasenverschiebung auch die gleiche Amplitudenhöhe haben. Die ist dann gegeben, wenn der Reflexionsgrad an beiden Grenzflächen gleich groß ist. Dafür muss das Brechzahlenverhältnis zwischen Luft und Entspiegelungsschicht beziehungsweise Entspiegelungsschicht und Glas gleich groß sein.

Herleitung der Formel:

$$\frac{n_{Luft}}{n_{Schicht}} = \frac{n_{Schicht}}{n_{Glas}}$$

$$n_{Luft} = \frac{n_{Schicht}^2}{n_{Glas}}$$

$$n_{Schicht}^2 = n_{Luft} * n_{Luft}$$

$$n_{Schicht} = \sqrt{n_{Glas}} * 1$$

Der Beweis anhand eines Beispiels:

$$n_{Glas} = 1,525$$

$$n_{Schicht} = \sqrt{n_{Glas}} * 1$$

$$n_{Schicht} = 1,23$$

Erster Reflexanteil an der Grenzfläche von Luft zur Entspiegelungsschicht:

$$R_1 = \frac{(n_{Schicht} - 1)^2}{(n_{Schicht} + 1)^2}$$

$$R_1 = 0,0110$$

$$R_1 = 1,106\%$$

Zweiter Reflexanteil an der Grenzfläche Entspiegelungsschicht/Brillenglas:

$$R_2 = \frac{(n_{\text{Glas}} - n_{\text{Schicht}})^2}{(n_{\text{Glas}} + n_{\text{Schicht}})^2}$$

$$R_1 = 0,0110$$

$$R_1 = 1,104\%$$

Mit der Amplitudenbedingung kann das optimale Schichtmaterial für das jeweilige Brillenglas ermittelt werden. Zusätzliche Parameter, wie Haft- und Kratzfestigkeit, spielen ebenfalls eine Rolle bei der Wahl des Materials. Nicht selten müssen Kompromisse eingegangen werden. Oft wird auf das errechnete Material verzichtet, um die technischen Eigenschaften, die die Schicht haben sollte, gewährleisten zu können. Als Beispiel für Silikat Gläser kann das Schichtmaterial Magnesiumfluorid herangezogen werden. Magnesiumfluorid erfüllt die Amplitudenbedingung für ein Glasmaterial mit der Brechzahl $n = 1,9$. In der Brillenglasfertigung werden so hohe Brechzahlen bislang noch nicht verwendet. Da es aber auf einem mineralischen Glas eine bessere Haft- und Kratzbeständigkeit aufweist, wird es trotzdem als Schichtmaterial eingesetzt. Am besten funktioniert Magnesiumfluorid für BaSF64 mit $n = 1,706$.

Bei Mehrfach-Entspiegelungen sind die Brechzahlen vor und hinter den Interferenzschichten gleich ($n_1 = n_2$), aber viel niedriger als die der Interferenzschichten selbst. Mithilfe dieser Zwischenschichten kann die Amplitudenbedingung $n_1 = n_2$ hinreichend erfüllt werden. Die Dicke dieser Schichten sind dabei beliebig. Bei der Reflexion an der Vorderseite kommt es zu einer Reflexion am festen Ende und somit zu einem Phasensprung von $\frac{\lambda}{2}$. An der Rückseite erfolgt eine Reflexion am losen Ende ohne Phasensprung. Die Interferenzbedingung erfüllt sich dann, wenn der Weg durch die Schicht eine Wellenlänge beträgt. Trifft nun ein Lichtstrahl senkrecht auf die Schicht, löscht sich der Vorderseitige Reflex mit dem der Rückseite nur, weil der zweite Reflex die Schicht doppelt durchläuft und die Schicht eine Dicke von $d_s = \frac{\lambda}{2} * n_s$ aufweist.

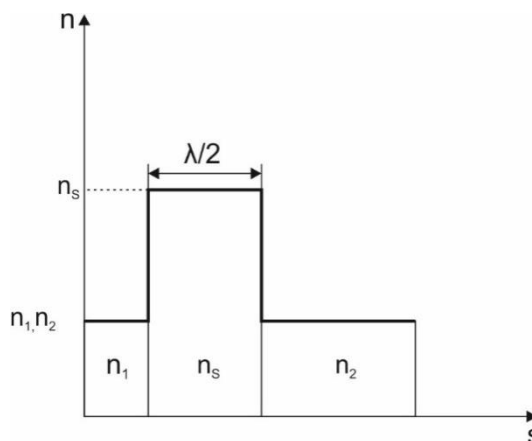


Abbildung 33, Amplitudenbedingung

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.158)

Rechenbeispiel:

Berechnung einer Antireflexschicht Borsilikatglas (BK-7; $n = 1,52$)

Reflexionsgrad R_o	$R_{Glas} = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} * 100$	4,25% pro Fläche
Amplitudenbedingung	$n_s = \sqrt{n_1 n_2}$	$n_s = 1,23$
Kryolith $n_s = 1,22$ würde ein geeignetes Schichtmaterial sein und die Amplitudenbedingung erfüllen.		
Reflexionsgrad mit Schicht $n_s = 1,22$	$R_s = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} * 100$	<1% pro Fläche
Schichtdicke bei 550nm	$d_s = \frac{\lambda}{4} * n_s$	167,75nm
Alternative: Magnesiumfluorid mit $n=1,38$ haftet besser.		
Reflexionsgrad mit Schicht $n_s = 1,38$	$R_s = \frac{(n_2 - n_1)^2}{(n_2 + n_1)^2} * 100$	1,2% pro Grenzfläche
Schichtdicke bei 550nm	$d_s = \frac{\lambda}{4} * n_s$	189,75nm

9.6. SCHICHTARTEN AUF MINERALISCHEN BRILLENGLÄSERN

9.6.1. EINFACH-ENTSPIEGELUNG

Es wird ausschließlich Magnesiumfluorid MgF_2 mit der Brechzahl $n = 1,38$ als Schichtwerkstoff verwendet und beidseitig auf das Glas aufgedampft. Die Schichtdicke beträgt jeweils $\sim 100\text{nm} = 1/10000\text{mm}$.

Obwohl die Amplitudenbedingung für Kronglas mit diesem Schichtmaterial nicht erfüllt wird, kommt es wegen seiner Haft- und Kratzfestigkeit doch zum Einsatz. Eine Einfachentspiegelung auf Kronglas reduziert den Reflex pro Glasfläche von ca. 4,3% auf ca. 1,3% im Wellenlängenbereich zwischen 500nm und 600nm. Optimal wirken würde Magnesiumfluorid für ein Glasmaterial mit der Brechzahl $n = 1,9$

Begründung:

$$n_s = \sqrt{n_1 n_2}$$

$$n_s = \sqrt{1 * 1,9}$$

$$n_s = 1,378$$

Die bessere Einhaltung der Amplitudenbedingung für so ein hoch brechendes Glas macht sich im geringeren Reflexionsvermögen bemerkbar. Die Reflexminderung sinkt pro Glasfläche nämlich sogar auf unter 1%.

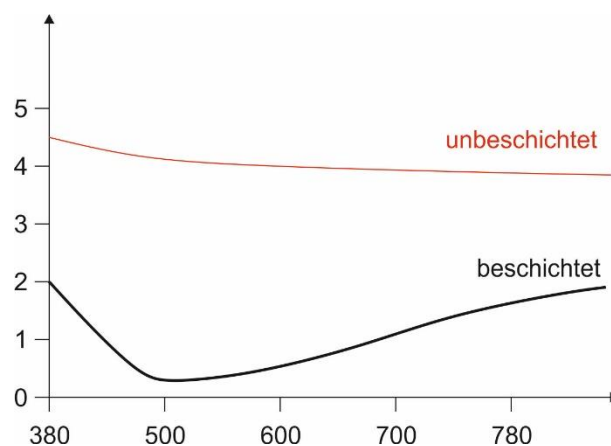


Abbildung 34, Einfachentspiegelung

Wie schon erwähnt, werden Interferenzschichten für gelbgrünes Licht (550nm) berechnet. Nachteilig ist, dass die Lichtteile aus den Randbereichen des Spektrums bei Einfachentspiegelungen stärker reflektiert werden. Kurzwelliges Licht sogar etwas stärker als langwelliges. Laut dem Fresnel Gesetz gibt es eine Abhängigkeit der Intensität des reflektierten Lichtes von der Brechzahl des Glases. Hochbrechende Gläser unterstützen dies noch zusätzlich. Es kommt zu einem deutlicher sichtbaren Restreflex. Eine Einfachentspiegelung ist das Mindestmaß, das bei hochbrechenden Brillengläsern als Vergütung angeboten werden sollte.

Einfachschichten auf mineralischen Gläsern:

- Essilor – Diafal
- Hoya – Antireflex (AR)
- Zeiss – ET

(Vgl. Roth; Allgemeine Optik, S.159)

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.136)

9.6.2. MEHRFACH-ENTSPIEGELUNG (ZWEI- ODER DREIFACHSCHICHT)

Jede weitere Interferenzschicht ermöglicht es, eine zusätzliche Wellenlänge auszulöschen. Bereits die Zweifachschicht reduziert die Reflexe unter 1%. Die Phasenbedingung der Einfach-Entspiegelung gilt hier genauso. Die Amplitudenbedingung muss aber bereits bei der Zweifachschicht etwas abgeändert werden, um eine weitere Wellenlänge auszulöschen, denn die zweite dem Glas nähere Schicht besteht aus einem anderen Material.

Phasenbedingung:
$$d_s = \frac{\lambda}{4} * n_s$$

Amplitudenbedingung:

$$n_{s2}^2 = n_{s1}^2 * n_g$$

$$n_{s2} = \sqrt{n_{s1}^2 * n_g}$$

n_1 = äußere Schicht mit MgF_2

n_2 = zweite, dem Glas nähere Schicht

Die äußere Schicht n_1 bleibt aus bekannten Gründen MgF_2 mit $n = 1,37-1,38$. Für das Material der zweiten und aller anderen Schichten kommen unter anderem folgende Stoffe in Frage:

- Lanthanoxid – La_2O_3
 $n = 1,78$
- Titaniumoxid – Ti_2O_3
 $n = 2,25$ bis $2,28$ (variierbar)
- Siliziumdioxid – SiO_2
 $n = 1,46$

Die Wahl der Schichtdicke bzw. des Materials hat einen Einfluss auf die Wirkung der Schicht. Es gibt zwei mögliche Situationen, wobei die zweite von den Glasherstellern bevorzugt wird.

1) Zwei Minimumstellen bei 400nm und 600nm

Nachteil: Es kommt im Bereich der maximalen Tagesempfindlichkeit, also bei ca. 550nm zu einem Maximum der Reflexion von über 1% und zu einem steilen Kurvenanstieg im kurzwelligen und langwelligen Bereich des Spektrums.

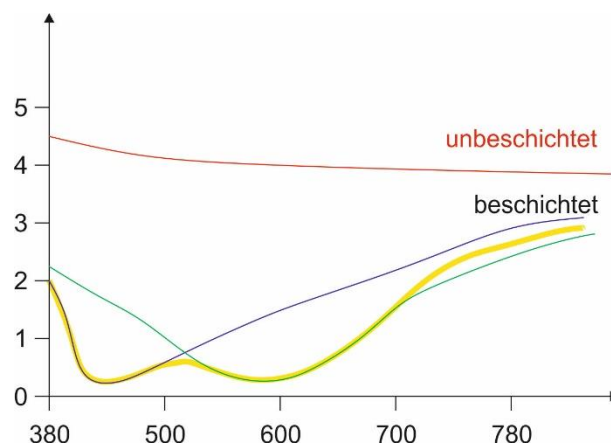


Abbildung 35, Zwei Minimumstellen

2) Es gibt nur ein Minimum bei 500nm und einen nicht sehr steilen Anstieg der Reflexionskurve zum Randbereich des Lichtspektrums hin.

Die Zweifachentspiegelung schafft einen Spagat zwischen Reflexionsvermögen, Putzbedürftigkeit und mechanischer Festigkeit. Sie mindert Reflexionen nicht so gut wie Breitbandentspiegelungen, Schmutzpartikel fallen dafür aber nicht so stark auf und sie ist nicht ganz so anfällig auf mechanische oder thermische Einwirkungen wie Super-Entspiegelungen.

Mehrfachschicht auf mineralischen Gläsern:

- Essilor – Multi Diafal
- Hoya – Antireflex-Super (AR-S)
- Zeiss – Gold ET

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.137)

9.6.3. SUPER-ENTSPIEGELUNG

Mit dieser Vergütungsvariante ist es möglich, einen breiten Wellenlängenbereich auszulöschen. Solche Schichtpakete bestehen aus mindestens 6 Schichten. Höhere und niedrigere Brechzahlen wechseln sich dabei ab, der genaue Aufbau wird von den Firmen zurückgehalten. Die Aufgabe der Zwischenschichten besteht auf jeden Fall darin, die Amplitudenbedingung für die Interferenzschichten mit den hohen Brechzahlen zu gewährleisten. Ihre Dicke ist aber nicht relevant für die Wirkung der Vergütung. Das Material der äußersten Schicht bleibt Magnesiumfluorid.

Grob kann man sich den Aufbau einer Breitband-Entspiegelung anhand der untenstehenden Grafik vorstellen.



Abbildung 36, Super-Entspiegelung

Allgemeine Hinweise:

Superentspiegelungen haben eine geringere Verschleißfestigkeit als eine Einzelschicht. Jedes der verwendeten Materialien reagiert anders auf dauerhafte Wärmeeinwirkung, starke Temperaturwechsel u.a. ist eine Beschichtung aus verschiedenen Bestandteilen zusammengefügt, kann es zu Schwierigkeiten kommen, die den alltäglichen Gebrauch aber nicht einschränken.

Während dem Kundengespräch sollte auf die verstärkte Putzbedürftigkeit dieser Entspiegelungen hingewiesen werden, denn Schmutzpartikel oder Fingerabdrücke, die im Grunde einfach nur Fettrückstände auf dem Glas sind, reflektieren in beide Richtungen, also Glas-Fleck und Fleck-Luft. Somit wird der subjektiv unsaubere Eindruck durch Überlagerung der Lichtwellenlängen verstärkt. Eine mögliche Abhilfe wäre ein Clean-Coat. Im Kapitel „Schmutz- und Staub abweisende Veredelung“ wird genauer darauf eingegangen.

Breitbandschicht auf mineralischem Glas:

- Essilor – Super Diafal
- Hoya – Multicoated (MC)
- Zeiss – Super-ET

(Vgl. Bohn; Technologie für Augentoptiker, S.138)

9.7. HERSTELLUNG VON DÜNNEN SCHICHTEN

9.7.1. VORBEHANDLUNG DER GLÄSER

Die Technologie hinter einer Vergütung ist sehr aufwendig und kann in mehrere Abschnitte unterteilt werden. Ganz wichtig ist eine gründliche Reinigung in bis zu 10 Reinigungsbädern und einer anschließenden Ultraschallreinigung sowie einer rückstandslosen Trocknung. Jede noch so kleine Verunreinigung auf der Oberfläche kann eine Dickenänderung der Schicht als Folge haben, was die physikalischen Bedingungen beeinflussen und störende Reflexe erzeugen kann. Zusätzlich wird das Haften der Schicht durch die penible Reinigung gewährleistet.

Nach dem Reinigungsprozess werden die nach dem Brechungsindex sortierten Gläser in eine Kugelkalotte eingespannt, die einen gleichmäßigen Abstand zur Beschichtungsquelle ermöglicht. Mit einer mechanischen Drehschieberpumpe wird ein Unterdruck erzeugt und eine 10minütige Glimmentladung gestartet. Bei Glimmentladungen werden Ionen und Elektronen auf die Glasoberfläche geschleudert, sodass Gas- und Wasserreste abgerissen werden und eine leicht aufgeraute Oberfläche entsteht. (Abbildung Kugelkalotte siehe nächste Seite.)

(Vgl. Bohn; Technologie für Augentoptiker, S.139)

9.7.2. UNTER WELCHEN UMSTÄNDEN HAFTET EINE DÜNNE SCHICHT

Silikat

Die Magnesiumfluoridschicht diffundiert bei Temperaturen von ca. 300°C in die Silikat Schicht des Substrates ein. Diese Temperaturen werden im Laufe des gesamten Prozesses mehrmals erreicht, um eine optimale Haftwirkung zu erzeugen.

Organische Gläser

Diese dürfen nur auf max. 100°C erwärmt werden. Die Schicht liegt auf der Glasoberfläche auf und haftet durch Van-der-Waalsche-Kräfte und Polarkräfte. Van-der-Waals-Kräfte nach Johannes Diderik van der Waals (*1837–†1923) sind Anziehungskräfte zwischen Atomen bzw. Molekülen, welche entstehen, weil Atome Dipole mit einer unsymmetrischen Ladungsverteilung bilden können. Ab einem gewissen Abstand zwischen den Atomen, ziehen die positiv geladenen Seiten eines Atoms die negativen eines anderen Atoms an.

*(Online im Internet: URL.; <http://www.chemie.de/lexikon/Van-der-Waals-Kr%C3%A4fte.html> , 08.03.2017)
(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S.39)*

9.7.3. AUFDAMPFEN DES BESCHICHTUNGSMATERIALS IM VAKUUM

In einem mit Gas gefüllten Raum befinden sich viele Moleküle, die sich geradlinig bewegen und gegeneinanderstoßen. Wird ein Vakuum hergestellt, also die Zahl der Moleküle verringert, können sie nicht mehr kollidieren und treffen höchstens auf die Wände des Raumes. Beim Beschichten von Gläsern wird genau dieses Phänomen ausgenutzt. Die verdampften Beschichtungsmoleküle sollen sich kollisionsfrei bis zur Oberfläche des Substrates bewegen und sich dort niederlassen.

Die Vakuumbedampfungstechnologie ermöglicht:

- reine Materialien mit kontrollierter Zusammensetzung im kondensierten Zustand auf die Glasoberflächen zu bringen
- Dicken sehr genau kontrollierbar zu machen
- eine garantiert optimale Haftung der Schicht zu gewährleisten

(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S.40)

Beim Beschichtungsverfahren in der Vakuumkammer (= Rezipient) muss zunächst ein Unterdruck von 10^{-6} hPa mittels Vakuumpumpen erzeugt werden.

9.7.4. BESCHICHTUNGSVORGÄNGE

Von den Glasherstellern kann unter folgenden zwei Schichtverfahren ausgewählt werden:

Thermisches Verdampfen mit Schiffchen als Verdampfer Quelle = Aufheizung durch den Joule-Effekt

Diese Tiegel / Schiffchen werden von Metallstreifen, welche mit Starkstrom durchflossen werden, indirekt beheizt. Das Schiffchenmaterial muss formstabil sein damit bei Temperaturen bis zu 2500°C keine Legierungen mit dem Verdampfungsmaterial eingegangen werden. Materialien wie Wolfram, Tantal und Molybdän entsprechen diesen Anforderungen.

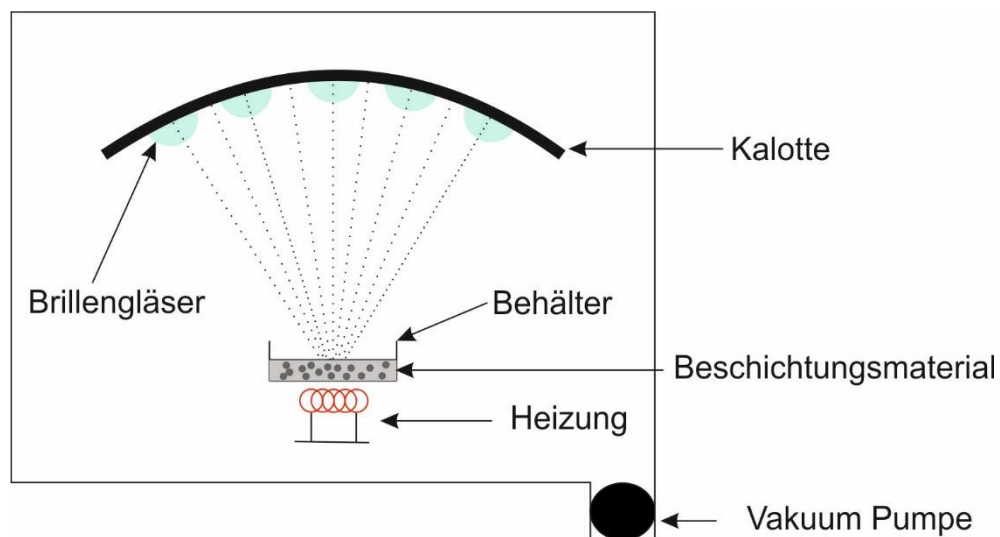


Abbildung 37, Beschichten

(Vgl. Bohn; *Technologie für Augenoptiker*, S.139)

(Vgl. Meslin, Dominique: *Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen*, S.39)

Elektronenstrahlverdampfer = Aufheizung durch Elektronenbeschuss

Liegt die Verdampfungstemperatur der Beschichtungsmaterialien wie Titan (3287°C), Yttrium (3336°C) und Magnesiumfluorid über 2500°C (je nach Zusammensetzung) (je nach Zusammensetzung), kommt das Aufheizen durch Elektronenbeschuss zum Einsatz. Das Beschichtungsmaterial wird in Form von Granulaten oder Tabs in Keramiken oder wassergekühlten Metalltiegeln von einem Elektronenstrahl bis zur Verdampfungstemperatur erhitzt. Der Elektronenstrahl wird dabei durch Elektromagnete in die richtige Richtung fokussiert. Die Elektronen werden vom Beschichtungsmaterial absorbiert und geben dabei ihre Energie in Form von Wärme an das Material ab, sodass es verdampft.

Ein Bedampfungsvorgang dauert ca. eine Stunde. Die Gläser werden Seite für Seite beschichtet, die Kalotte muss herausgenommen werden, um die Gläser zu wenden und den zweiten Durchgang zu starten.

(Optikum: Was bringen neue Entspiegelungstechnologien? Online im Internet: URL: <https://www.optikum.at/was-bringen-neue-entspiegelungstechnologien/>, 08.03.2017.)
(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S.39)

9.7.5. SCHICHTDICKENMESSUNG

- **Die Schwingquarzmethode** bei der die Quarze, die wie bei einer Uhr schwingen, mit aufgedampft werden. Durch die Dicke der Schicht ändert sich die Schwingungszahl. Je weniger Schwingbewegungen verzeichnet werden, desto dicker ist die bereits aufgetragene Schicht. Die Frequenzänderung und somit die Dicke der Schicht wird elektronisch angezeigt.
- Das **Massenspektrometer** ermittelt die chemischen Anteile der einzelnen Schichtmaterialien, die lange vor dem Schichtprozess festgelegt wurden. Es misst die Masse elektrisch geladener Teilchen, um die Anteile der Materialien zu kontrollieren.

(Optikum: Was bringen neue Entspiegelungstechnologien? Online im Internet: URL: <https://www.optikum.at/was-bringen-neue-entspiegelungstechnologien/>, 08.03.2017)
(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.140)

9.8. BESCHICHTEN ORGANISCHER GLASMATERIALIEN

Grundsätzlich gelten für organische Gläser die gleichen physikalischen Gesetze in Bezug auf die Phasen- und Amplitudenbedingung. In der Fertigung kommt es aber wegen der Materialeigenschaften von einem Mineral- bzw. Kunststoffglas zu Unterschieden. Kunststoffgläser dehnen sich bei Wärme viel stärker aus, was die Wahl des Beschichtungsmaterials beeinflusst. Es muss kalt beschichtet werden und hat einen anderen Bindungsmechanismus. Sie neigen im Vakuum dazu, Wassermoleküle aus der Oberfläche abzugeben. Somit mussten die Hersteller völlig neue Beschichtungstechniken und Schichtpakete entwickeln.

Im Kapiteln davor wurde nur Magnesiumfluorid MgF_2 als Schichtmaterial der äußersten Interferenzschicht einer Vergütung angeführt. Weil dieses Material aber nur nach einer Wärmebehandlung bei etwa 300°C eine harte und haftfeste Schichten bildet, kommt es für die Vergütung von Kunststoffgläsern nicht in Frage. Kunststoffe dürfen nur bis max. 100°C erwärmt werden. Somit wird Quarz (SiO_2) mit $n = 1,46$ als Schichtmaterial ohne Wärmebehandlung, also „kalt“ auf die Glasoberfläche aufgedampft. Die Amplitudenbedingung erfüllt Quarz für ein Glasmaterial mit $n = 1,9$. Die Brechzahlendifferenz zwischen Quarz und dem zu beschichtenden Material CR39 ist zu gering, damit eine optimale reflexmindernde Wirkung erzielt werden könnte. CR39 hat die Brechzahl $n = 1,498$. Aus diesem Grund ist eine Zwischenschicht mit einer möglichst hohen Brechzahl notwendig. Damit Reflexionen entstehen können, die sich gegenseitig auslöschen, wird zum Beispiel Aluminiumoxid mit $n = 1,8$ vor der reflexmindernden Schicht aufgetragen. Die Zwischenschicht muss dabei wesentlich dünner sein als die äußere Quarzschicht.

(Vgl. Bohn; *Technologie für Augenoptiker*, S.147)
(Vgl. Roth; *Allgemeine Optik*, S.159)

9.8.1. SCHICHTARTEN EINER VERGÜTUNG FÜR KUNSTSTOFFGLÄSER

Kunststoffgläser werden mit 3 verschiedenen Schichtarten behandelt und geschützt.

- Hartschicht aus Hartlacken oder Silikonharzen zum Schutz vor Kratzern, und Abriebspuren
- gefolgt von einer Haftvermittlerschicht damit die Entspiegelungsschicht gut haften bleibt
- die reflexmindernde Schicht aus Metalloxiden und Siliziumdioxid
- und zuletzt die äußere hydrophobe und schmutzabweisende Schutzschicht bestehend aus Fluorethen

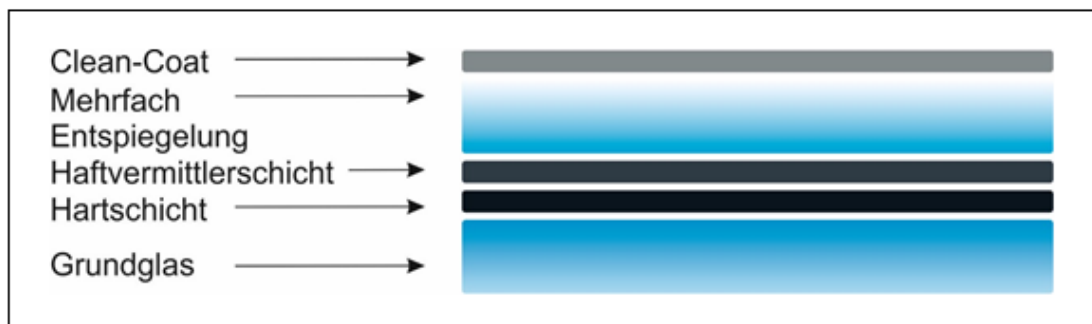


Abbildung 38, Super-Entspiegelung

9.9. HARTSCHICHTEN AUF ORGANISCHEN GLÄSERN

Allgemeine Anforderungen an die Hartschichten:

- eine gute Haftung auf dem Kunststoffmaterial
- eine ähnliche Wärmeausdehnung wie das Glasmaterial

Um Kratzer zu vermeiden, behandelt man die Glasoberfläche im Vorhinein mit einer beanspruchungsresistenteren Lackschicht. Sie soll zudem auch das spätere Auftragen von Antireflexschichten erleichtern.

Im Prinzip besteht die Lackschicht aus organischen und mineralischen Materialien, wobei die mineralischen Partikel in die organische Grundsubstanz eingebettet sind. Die mineralischen Bestandteile bewirken die Härte des Materials, die Kratzer abwehren kann, die organischen Anteile eine gewisse Flexibilität, um aggressive Beanspruchungen durch grobe Partikel abfedern zu können.

Durch mehrere aufwendige chemische Reaktionen werden Lacksubstanzen hergestellt, die nachdem das darin enthaltene Lösungsmittel verdunstet ist, auf der Glasoberfläche eine feste Schicht aus verschlungenen Fadenmolekülen bilden. Die Kondensation wird bei 100°C fortgeführt, damit sich die Fadenmoleküle durch Verkettung zu einem Molekülnetzwerk zusammenfügen. Das entstandene Schichtmaterial nennt sich Polysiloxan und bildet eine ca. 2500 -4000nm dicke Schicht.

Von Hersteller zu Hersteller kann dieser Vorgang unterschiedlich ausfallen. Das Siloxan, also das Ausgangsmaterial der Lackschicht, kann nämlich durch unterschiedliche Ausgangsstoffe und anderen Katalysatoren sowohl an das Grundglas als auch an die Antireflexschicht angepasst werden.

Es gibt drei Varianten die Hartschicht aufzutragen.

(Vgl. Herr Markt, 2016, Skript aus dem Unterricht)
(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.148)

9.9.1. TAUCHLACKIERUNG - DIP-COATING

Nach der gründlichen Reinigung in Reinigungsbädern und dem Ultraschallbad wird das Glas in eine Haltezange eingesetzt und durch tauchen in ein Lack Bad von beiden Seiten beschichtet. Entscheidend für die Dicke der Schicht ist die Viskosität des Lackes sowie die Geschwindigkeit beim Herausziehen aus dem Lack Bad. Zu beachten ist, dass jede noch so kleine Wellenbewegung eine unterschiedliche Schichtdicke zur Folge hat. Alle beweglichen Elemente der Anlage, wie die Haltezangen, müssen deshalb vibrationsfrei aufgehängt werden. Später wird die Lackschicht bei 100°C polymerisiert und erhält dadurch seine Härte. Wichtig bei beiden Schritten ist eine konstante Lufttemperatur sowie Feuchte, Dichte und Reinheit der Luft. Es müssen Reinraumbedingungen vorherrschen.

Das Ergebnis ist eine deutlich verbesserte Kratzbeständigkeit des Kunststoffglases. Die Lackierung ist nur gegen alkalische Lösungen anfällig. Handelsübliche Reinigungsmittel sollten keinen Schaden hinterlassen.

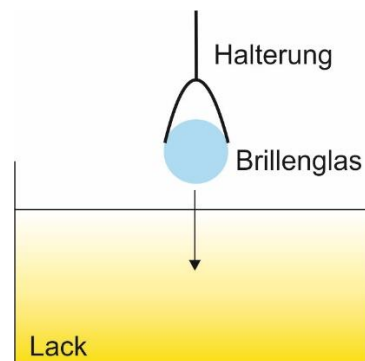


Abbildung 39, Tauchlackierung

(Vgl. Herr Markt, 2016, Skript aus dem Unterricht)

(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S.25)

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.148)

9.9.2. ROTATIONSBESCHICHTUNG - SPIN-COATING

Das hierbei verwendete Substrat wird unter ständiger Rotation des Glases von oben auf das Glas getropft. Der vorher gefilterte Lacktropfen wird mengenmäßig genau abgemessen und kann sich durch die Rotationsbewegung gleichmäßig auf der Oberfläche verteilen. Anschließend muss die Lackoberfläche in einem Wärmeschrank getempert oder durch UV-Bestrahlung polymerisiert werden. Da eine abgeschlossene Lackkammer für dieses Beschichtungsverfahren nötig ist und die Gläser nur einzeln beschichtet werden können, eignet sich dieses Verfahren nur für geringe Stückzahlen. Außerdem ist die gewünschte Wirkung nach einer UV-Behandlung eher durchschnittlich.

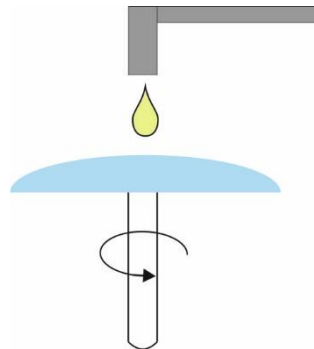


Abbildung 40, Spin-Coating

(Vgl. Bohn; *Technologie für Augenoptiker*, S.149)

(Vgl. Herr Markt, 2016, *Skript aus dem Unterricht*)

(Vgl. Meslin, Dominique: *Brilloptik Kompendium. Materialien & Veredelungen*, S.25)

9.9.3. PLASMAPOLYMERISATIONSVERFAHREN

Die Hartschicht wird im Vakuum auf die Oberfläche aufgedampft. Dabei werden gasförmige Monomer Moleküle durch Plasma ionisiert (= elektrisch leitfähig gemacht) und somit aktiviert. Sie polymerisieren auf der Glasoberfläche zu der gewünschten Lackschicht. Die Antireflexschichten können sofort im Anschluss aufgedampft werden.

(Vgl. Herr Markt, 2016, *Skript aus dem Unterricht*)

9.10. REFLEXMINDERNDE SCHICHTEN

9.10.1. AUFBAU DER ENTSPIEGELUNGSSCHICHT AUF KUNSTSTOFFGLÄSERN

Entspiegelungsschichten für Kunststoffgläser können homogen oder inhomogen aufgebaut sein. Quarz bildet dabei wegen seiner Festigkeit immer die Außenschicht.

Der inhomogene Aufbau zeichnet sich durch eine Folge unterschiedlich dicker Schichten mit verschiedenen Brechzahlen aus. Nach Quarz folgt eine hoch brechende Schicht mit z.B. $n = 1,8$ und mit jeder weiteren Schicht nehmen die Brechzahlen bis zu CR39 mit $n = 1,502$ schrittweise ab. Somit kommt es beim Übergang vom Substrat zur Zwischenschicht zu keiner Reflexion und die Amplitudenbedingung ist mit der Schicht nach der Quarzschicht ausreichend laut der nachstehenden Formel erfüllt.

$$n_{s2} = n_1 s^2 * n_g$$

$$n_{s2} = n_{s1} * \sqrt{n_g}$$

$$n_{s2} = 1,4 * \sqrt{1,502}$$

$$n_{s2} = 1,71578$$

Quarz erfüllt die Amplitudenbedingung für ein Material mit der Brechzahl $n=1,9$.

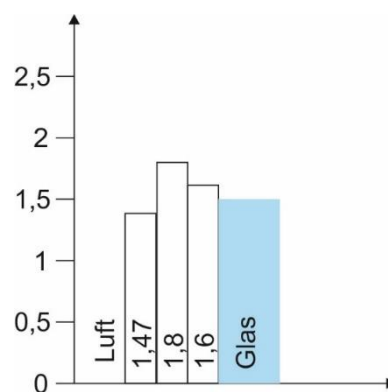


Abbildung 41, Inhomogener Aufbau

Bei der homogenen Variante wird zur Quarzschicht zusätzlich eine dünne Metalloxidschicht oder ein Paket von mehreren gleich dicken Schichten mit wechselnden hohen und niedrigen Brechzahlen aufgebracht.

In der Praxis suchen die Glashersteller dabei nach einem Kompromiss zwischen schwacher Restreflexfarbe, Lage des Minimums im Spektrum und einem gemäßigten Anstieg zum Randbereich des Lichtspektrums (rot bzw. blau).

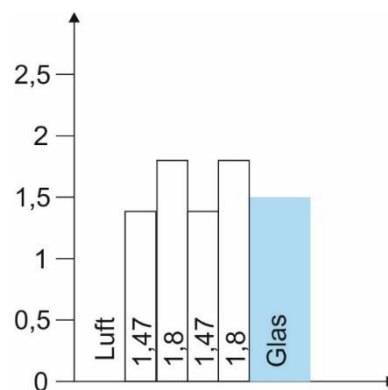


Abbildung 42, Homogener Aufbau

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.149)

9.10.2. AUFBAU EINER EINFACHENTSPIEGELUNG

Bei Kunststoffgläsern besteht eine **Einfachentspiegelung** nicht nur aus einer Schicht. Abgesehen von der Hartschicht ist das Auftragen eines zusätzlichen Materials nötig, um die Amplitudenbedingung für Quarz zu erfüllen. Mit seinen optimalen Hafteigenschaften unterscheidet sich Quarz $n = 1,47$ zu wenig von CR39 mit $n = 1,502$. Somit braucht es eine Zwischenschicht aus einem Material mit höherer Brechzahl, wie zum Beispiel Al_2O_3 mit $n = 1,8$, um die gewünschten Bedingungen zu erfüllen.

(vgl. Herr Markt, 2016, Skript aus dem Unterricht)

9.10.3. AUFBAU EINER BREITBANDENTSPIEGELUNG

Eine Superentspiegelung auf Kunststoffgläsern ist mit 2 oder 3 Schichten pro Seite aufgebaut. Die Schichten wechseln sich wieder mit hohen und niedrig brechenden Metalloxiden ab. Niobium- oder Zirkonium Oxid werden für die hochbrechende Schicht verwendet, Quarz für die niedrig brechende. Die Schichtdicke beträgt in Summe ca. 100 bis 200nm, also ein Zwanzigstel der Hartschicht.

9.11. AUFDAMPFEN DER ANTIREFLEXSCHICHT AUF ORGANISCHE GLÄSER

Wie bei mineralischen Gläsern ist auch bei den organischen Materialien eine gründliche Reinigung vor dem Beschichtungsverfahren unumgänglich. Es dürfen keine Wasser- oder Gas Reste in den relativ großen Poren der Oberfläche des Kunststoffglases zurückbleiben.

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.139)

Bei Kunststoffgläsern muss ein Metalloxid (Quarz) in der Vakuumkammer durch einen Elektronenstrahl sublimiert werden. Es soll von der festen Phase direkt in die Dampfphase übergehen ohne vorher zu verflüssigen. Ist der entstandene Dampf gesättigt und kondensiert, erstarrt er auf der Oberfläche des Glases. Da die Oberfläche nach diesem Verfahren zu wenig dicht erscheint, kann durch verschiedene Vorgänge die Qualität der Oberfläche verbessert werden.

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.150)

Möglichkeiten hierfür sind plasmaaktivierende und plasmaunterstützende Verfahren. Um Plasma zu erzeugen, werden aus den Gasteilchen Elektronen durch hohe elektrische Spannung abgetrennt. Übrig bleiben plus geladene Gasionen und frei bewegliche Elektronen.

9.11.1. PLASMAUNTERSTÜTZTES AUFDAMPFEN VON BESCHICHTUNGEN

Geringe Mengen von Argon werden in eine Vakuumkammer gepumpt und dort ionisiert. Die Gasionen des Argon Plasmas ionisieren die Teilchen des Beschichtungsmaterials und führen zu einer schnelleren und kompakteren Ablagerung der Schichten auf der Glasoberfläche. Dieses Verfahren verbessert die Qualität der Beschichtung.

9.11.2. PLASMAAKTIVIERENDES VERFAHREN

Ionisierte Gasteilchen reagieren miteinander und bilden die Schicht auf der Oberfläche des Glases.

(vgl. Herr Markt, 2016, Skript aus dem Unterricht)

9.12. SCHMUTZ- UND STAUBABWEISENDE VEREDELUNG

Die oberste Schicht einer Brillenglasveredelung sollte hydrophobe, also wasser- und schmutzabweisende Eigenschaften aufweisen, denn Wasserflecken, Fingerabdrücke und Schweißablagerungen sind auf entspiegelten Glasflächen durch Interferenz gut sichtbar und dementsprechend störend. Zudem ermöglicht die vergleichbar raue Oberfläche der Antireflexschicht das Einlagern von Staubpartikeln und Wassertropfen. Durch das Verschließen der Poren werden Ablagerungen von vornherein verhindert und durch Glättung der Oberfläche die Reinigung vereinfacht.

Zur Herstellung werden Fluorethylensilane verdampft, welche sich auf der Glasoberfläche ablagern. Durch die Silanenden der Moleküle wird die Haftung der Clean-Schicht garantiert. Die fluorhaltigen Ethene verhalten sich dann an der Luftschicht hydrophob und ermöglichen die gewünschte Wirkung der Schicht. Optisch gesehen hat der Clean-Coat keinen Einfluss, weil er weniger als 10nm dick ist und aus nur einer Moleküllage besteht.

(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S.38)

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.150)

Die Clean-Coat Beschichtung wird wie eine Entspiegelungsschicht in Vakuumanlagen aufgedampft. Für organische und mineralische Brillengläser gibt es verschiedene Herangehensweisen. So wird der Top-Coat bei Kunststoffgläsern gleich im Anschluss zur Antireflexschicht aufgedampft, bei Silikatgläsern ist aber eine separate Bedampfungsanlage notwendig.

Die Funktion dieser Schicht lässt sich mit dem Kontaktwinkel beurteilen. Dieser gibt den Winkel zwischen der Oberfläche des Glases und der Tangente am Rand, zum Beispiel eines Wassertropfens an. Je größer der Winkel ist, desto schlechter bleibt der Tropfen haften.

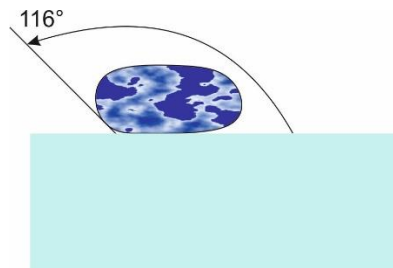


Abbildung 43, Kontaktwinkel

Das Messen des Abperlwinkels kann ebenso über die Qualität dieser Vergütung Aufschluss geben. Es handelt sich hierbei um jenen Winkel um den ein Glas geneigt werden kann, bis ein darauf liegender Tropfen abperlt. Je kleiner dieser ist, desto glatter und besser ist die Oberfläche vergütet.

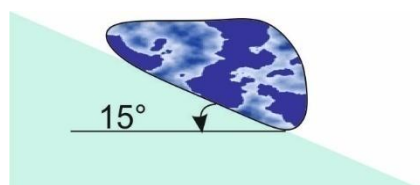


Abbildung 44, Abperlwinkel

(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S.37)

Tipp: Besonders muss beim Einschleifen von Gläsern auf solche Beschichtungen Acht gegeben werden. Mit einer normalen Blocker Folie ist der Halt meist nicht gegeben und die Achse eines Glases kann beim Schleifen verdreht werden. Manche Hersteller haben hierzu eine spezielle Folie entwickelt die für diese Gläser verwendet werden soll um den optimalen Halt zu gewähren. Zusätzlich kann an manchen Automaten ein spezielles Programm, welches mit weniger Schleifdruck arbeitet, zur Schonung der Supercleanschicht eingestellt werden.

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.150)

(Optikum: Was bringen neue Entspiegelungstechnologien? Online im Internet: URL: <https://www.optikum.at/was-bringen-neue-entspiegelungstechnologien/>, 08.03.2017)

(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S.37)

9.12.1. ANTISTATIK-BESCHICHTUNG

Organische Brillengläser haben neben ihrer Schmutzanfälligkeit bedingt durch die raue Oberfläche, auch eine isolierende Eigenschaft. Elektrostatische Ladungen, die beim Reinigen der Oberfläche entstehen, fließen schlecht von der Glasoberfläche ab. Da sich die Oberfläche negativ auflädt, werden positiv aufgeladene Staubpartikel angezogen. Das Glas ist somit nie wirklich sauber und staubfrei.

Der Antistatik-Effekt ergibt sich dann, wenn man in das Veredelungspaket eine transparente Zusatzschicht einbringt, welche die beim Abwischen des Brillenglases entstehende negative Ladung sofort ableitet. Es werden keine positiv geladenen Staubteilchen mehr angezogen.

Die Antistatikschiicht wird wie die schmutzabweisende Clean-Schicht im Vakuum aufgedampft. Die Oberfläche muss hier ebenfalls wieder mithilfe von Ionen gereinigt und die Antistatikschiicht selbst verdichtet werden.

(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S.38)

9.13. ENTSPIEGELUNG BEI SONNENSCHUTZGLÄSERN

Bei Sonnenschutzgläsern ist besonders die Entspiegelung auf der Rückseite von Bedeutung. Da eine Entspiegelung auf der Vorderseite zu mehr Transmission des Lichtes führen würde, dies sich aber widersprüchlich zu der eigentlichen Wirkung eines Sonnenschutzglases verhält und daher eher bedeutungslos ist. Bei einem Glas mit der Brechzahl von zum Beispiel 1.5 können ohne eine Antireflexschicht ca. 4% des auftreffenden Lichtes ausgelöscht werden, bevor sie überhaupt in das Glas eintreten. Eine Vergütung auf der Rückseite ermöglicht es, dass das auf die Innenseite auftreffende Licht durchgelassen und nicht in das Auge des Trägers reflektiert wird. Sie ermöglicht einen kontrastreichereren und weniger blendungsintensiven Seheindruck.

Sonnengläser absorbieren auf das Glas auftreffendes Licht. Entspiegelungsschichten reduzieren den reflektierten Lichtanteil.

(Vgl. Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen, S.35)

(Vgl. Bohn; Technologie für Augenoptiker, S.149)

(Vgl. Herr Markt, 2016, Skript aus dem Unterricht)

9.14. BESCHÄDIGUNG HOCHWERTIGER BRILLENGLAS-BESCHICHTUNGEN

Auf den Oberflächen superentspiegelter Brillengläser sind Verschmutzungen aufgrund von Interferenzen gut sichtbar und störend. Leider sind nicht alle Reinigungsmittel für hochwertige Veredelungen brauchbar. Haushaltsreiniger, Hemdärmel oder Billig-Brillenputztücher aus dem Supermarkt können Schäden im Schichtaufbau erzeugen und Schichtablösungen hervorrufen. Eine Vielzahl kleinster Kratzer kann ein Brillenglas zudem trüb erscheinen lassen.

Da sich organische Gläser bei hohen Temperaturen stärker ausdehnen als manches Beschichtungsmaterial, kann ein rascher und häufiger Temperaturwechsel ebenfalls eine Schichtablösung begünstigen.

Je mehr Schichten eine Entspiegelung hat, desto anfälliger für thermische und mechanische Beschädigungen ist sie. Eine Vielzahl von Schichten ist einfach weniger flexibel. Je mehr Schichten aufgetragen werden, desto mehr unterschiedliche Reaktionen auf eine Wärmeeinwirkung kommen zusammen.

(Optikum: Was bringen neue Entspiegelungstechnologien? Online im Internet: URL: <https://www.optikum.at/was-bringen-neue-entspiegelungstechnologien/>, 08.03.2017)

9.14.1. WIE REINIGE ICH BRILLENGLÄSER RICHTIG?

Fließendes, lauwarmes Wasser oder ein Reinigungsspray und ein Brillenputztuch aus Mikrofasern sind für die tägliche Brillenreinigung empfehlenswert. Für zwischendurch gibt es feuchte Brillenputztücher, welche die Beschichtung nicht angreifen. Diese Brillenputztücher sind einzeln verpackt und in jeder Situation schnell zur Hand.

(Optikum: Was bringen neue Entspiegelungstechnologien? Online im Internet: URL: <https://www.optikum.at/was-bringen-neue-entspiegelungstechnologien/>, 08.03.2017)

Resümee des Kapitels „Reflexmindernde Schichten“

Kurz zusammengefasst darf man sagen, dass bei jeder Kundenberatung eine möglichst hochwertige Entspiegelung empfohlen werden soll, um die Transmission und somit den Sehkomfort zu verbessern. Mit superentspiegelten Brillengläsern lassen sich die Reflexionswerte mittlerweile fast auf null reduzieren. Wegen dem mehrschichtigen Aufbau solcher High-End-Produkte, sind diese aber weniger resistent gegen äußere Einflüsse bzw. haften schlechter im Vergleich zu Brillengläsern mit einer Einfachentspiegelung. Verunreinigungen aufgrund der Reflexionen am Staubpartikel sind zudem ebenfalls störender. Mit Clean-Schichten kann man der Schmutzanfälligkeit natürlich gut entgegenwirken. Auf einen sorgsamsten Umgang und eine adäquate Reinigung solch hochwertiger Optiken soll trotzdem nicht verzichtet werden.

Wie die Schichtpakete für mineralische und organische Grundmaterialien aufgebaut sind, entscheidet jeder Hersteller für sich, aber alle machen sich die Vakuumtechnologie bei den Beschichtungsverfahren zu nutze. Je aufwendiger die Schicht aufgebaut ist, desto komplizierter gestaltet sich die Theorie dahinter. Mit Sicherheit wird es weiterhin neue Ideen und Technologien in diesem Gebiet geben.

10. GLASVORSTELLUNG

Die letzten Kapitel gaben Aufschluss darüber wie eine Veredelung theoretisch funktioniert. Mit dem frisch angeeigneten Wissen möchten wir nun die Gläser aus den Portfolios drei großer Glasproduzenten vorstellen.

An jedem Glassteckbrief wurde eine Kurve mit den gemessenen Reflexions-, sowie Transmissionswerten angehängt. Betrachtet man die Minimumstellen der Reflexionskurve und vergleicht diese dann mit den Maximumstellen der Transmissionskurven, lässt sich die optimale Wirkung eines Glases erkennen.

Als Interpretationshilfe betrachten wir das erste Glas der Firma Essilor „Crizal Alize UV“ genauer. Die erste Minimumstelle des Reflexionsgrades befindet sich im Bereich zwischen 420 und 440nm, was bedeutet, dass jener Lichtanteil dieses Bereiches kaum reflektiert wird und ein Großteil desselben auf das Auge des Brillenträgers trifft. Sieht man sich nun die Transmissionskurve an, wird unsere Annahme bestärkt, denn der Wellenlängenbereich um die 450nm erfährt bei diesem Glas ein Transmissionsmaximum. Dieser Sachverhalt wiederholt sich an der zweiten Minimumstelle der Reflexionskurve bei ~600 nm beziehungsweise der Maximumstelle bei ~600nm der Transmissionskurve.

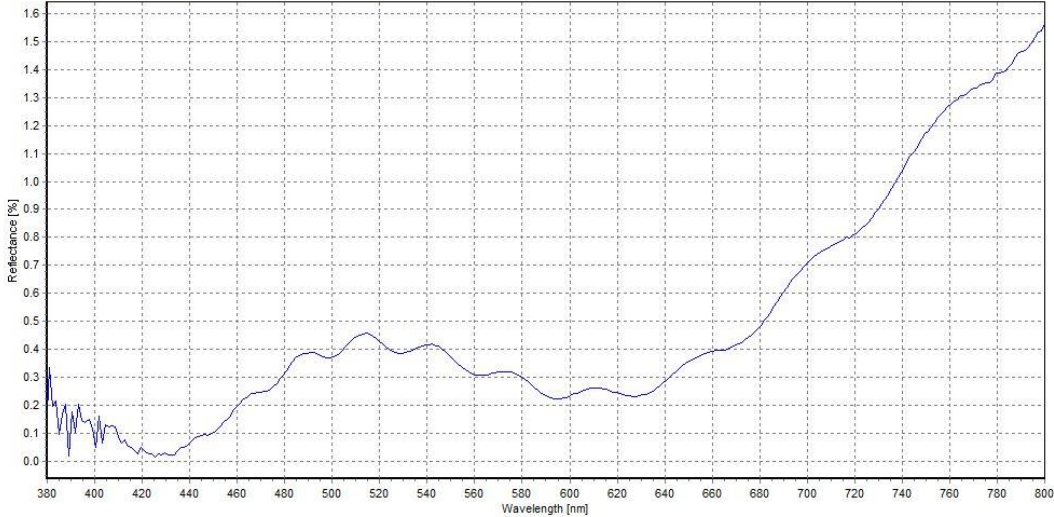
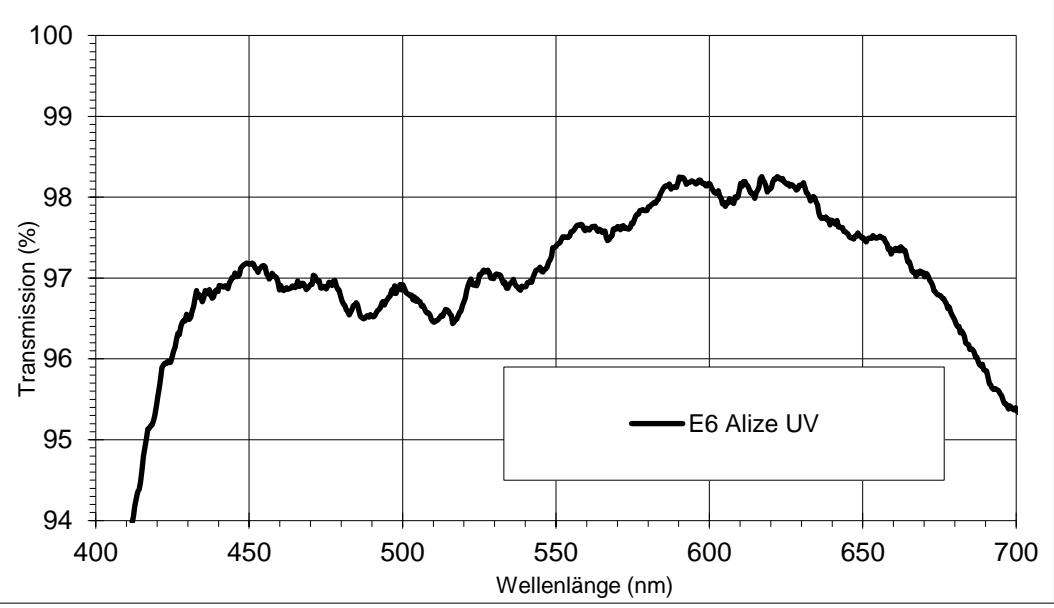
Betrachtet man die Reflexionskurve hinsichtlich seiner Maximumstelle bei 520nm bestätigt sich außerdem die vom Hersteller angegebene grüne Farbe des Reflexes.

10.1.CRIZAL ALIZE UV

ESSILOR



10.1.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.1.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ kratzbeständig ▪ UV-Schutz ▪ langfristig klare Sicht ▪ staubabweisend ▪ schmutzabweisend (siehe Vorteile der Entspiegelung: Kontaktwinkel) ▪ wasserabweisend (siehe Vorteile der Entspiegelung: Kippwinkel)
10.1.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sehkomfort in jeder Lebenslage ▪ die Augen kommen besser zur Geltung, durch die sauberen und transparenten Gläser ▪ Kippwinkel: 12° ▪ Kontaktwinkel: 113° ▪ antistatisch und somit leicht zu reinigen, da sich die Staubpartikel leicht beseitigen lassen ▪ Glasoberfläche bleibt bei starker Beanspruchung intakt
10.1.4. ANWENDUNGSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ beim Autofahren, weil es Blendung reduziert

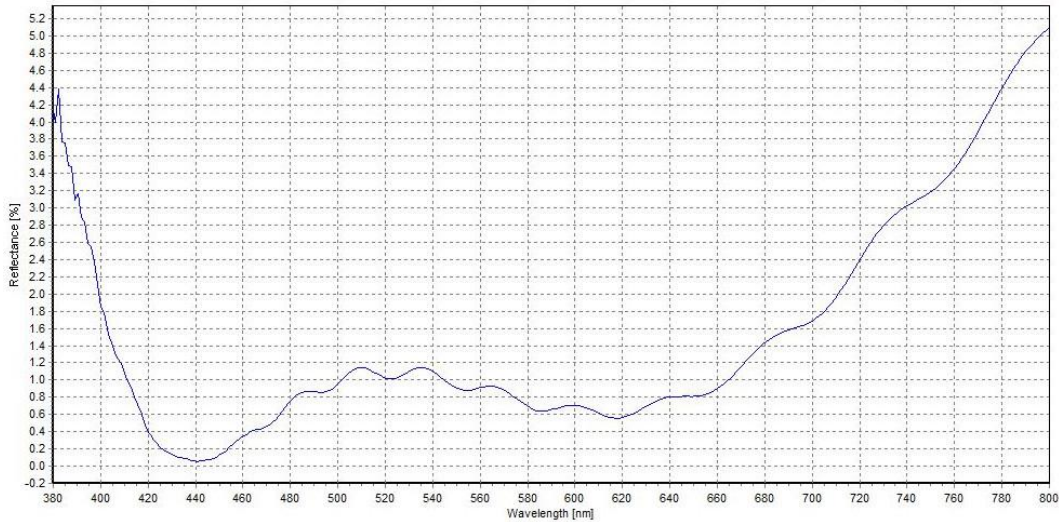
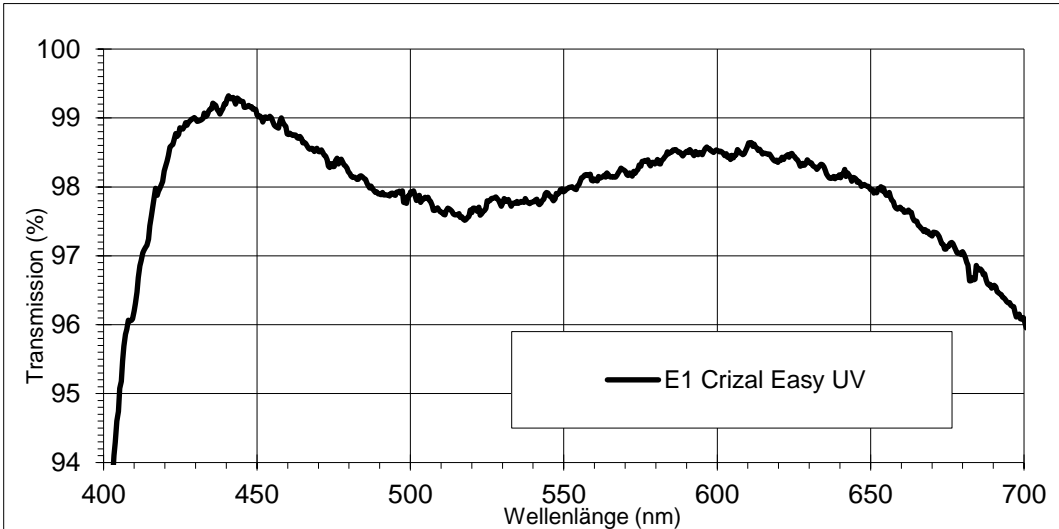
<p>10.1.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?</p>	<p>organische Gläser: 1.5/1.59/1.6/1.67/1.74</p>
<p>10.1.6. RESTREFLEXFARBE</p>	<p>grün</p>
<p>10.1.7. REFLEXIONSKURVE</p>	
 <p>The graph displays the reflectance of the material across the visible spectrum. The x-axis represents the wavelength in nanometers (nm), ranging from 380 to 800. The y-axis represents the reflectance in percent (%), ranging from 0.0 to 1.6. The curve starts with low reflectance in the violet region, shows minor fluctuations in the blue and green regions, and then rises significantly in the red and near-infrared regions.</p>	
<p>10.1.8. TRANSMISSIONSKURVE</p>	
 <p>The graph shows the transmission of the material across the visible spectrum. The x-axis represents the wavelength in nanometers (nm), ranging from 400 to 700. The y-axis represents the transmission in percent (%), ranging from 94 to 100. The curve indicates high transmission throughout the visible range, with a small absorption peak around 420 nm and a broad peak around 600 nm. A legend identifies the curve as 'E6 Alize UV'.</p>	

10.2.CRIZAL EASY UV

ESSILOR



10.2.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.2.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none">▪ wasserabweisend (siehe Vorteile der Entspiegelung: Kippwinkel)▪ schmutzabweisend (siehe Vorteile der Entspiegelung: Kontaktwinkel)▪ kratzbeständig▪ vermindert störende Reflexionen▪ UV-Schutz
10.2.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none">▪ bis zu 99% des Lichtes werden durchgelassen▪ Kippwinkel bei 18°▪ Kontaktwinkel 110°▪ perfekten Schutz gegen Reflexionen auf der Rückseite▪ klares Sehen im Freien und in Innenräumen▪ geringe Ermüdung der Augen aufgrund von längerer PC Nutzung
10.2.4. ANWENDUNGSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none">▪ am PC▪ im täglichen Leben, bei allen Sehanforderungen, durch angenehmes Sehen▪ beim Autofahren, da es die Blendung reduziert

<p>10.2.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?</p>	<p>organische Gläser 1.5/1.59/1.6/1.67/1.74</p>
<p>10.2.6. RESTREFLEXFARBE</p>	<p>grün</p>
<p>10.2.7. REFLEXIONSKURVE</p> 	
<p>10.2.8. TRANSMISSIONSKURVE</p> 	

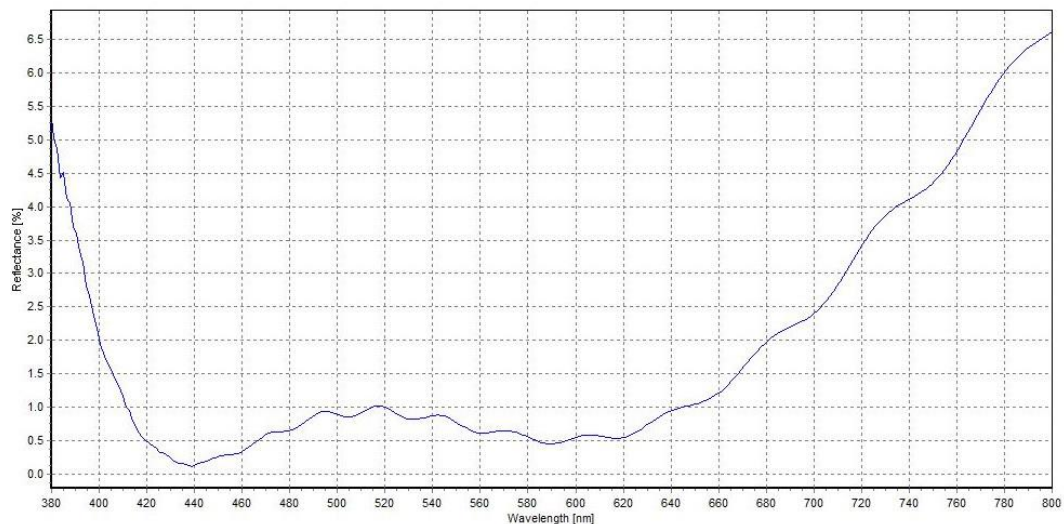
10.3.CRIZAL FORTE UV ESSILOR



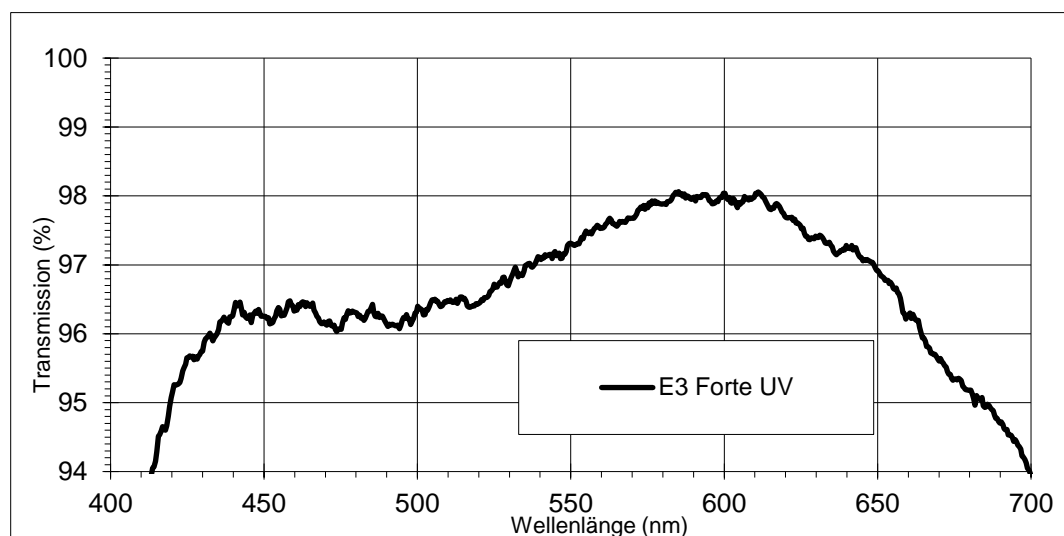
10.3.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.3.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ UV-Schutz ▪ wasserabweisend (siehe Vorteile der Entspiegelung: Kippwinkel) ▪ kratzbeständig ▪ leistungsfähiges Glas bezogen auf Schmutz, Staub und Fingerabdrücke (siehe Vorteile der Entspiegelung: Kontaktwinkel)
10.3.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reflexionsgrad der UV-Strahlung wird auf 4% reduziert (herkömmliche Gläser 40%) ▪ Schutz vor schädlichem Licht ▪ Transparenz für positives blautürkises Licht ▪ langfristig klare Sicht, durch den Schichtaufbau ▪ 100% antistatisch ▪ hat eine Härte, wie ein mineralisches Glas mit Entspiegelung ▪ bester Kippwinkel: 6° ▪ bester Kontaktwinkel: 116°

10.3.4. ANWENDUNGSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ für Innenräume und im Freien ▪ beim Autofahren, durch Verringerung der Blendwirkung ▪ als Vorsorge für Augenschäden die durch UV-Strahlung hervorgerufen werden
10.3.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?	organische Gläser: 1.5/1.59/1.6/1.67/1.74
10.3.6. RESTREFLEXFARBE	grün

10.3.7. REFLEXIONSKURVE



10.3.8. TRANSMISSIONSKURVE



10.4.CRIZAL PREVENZIA

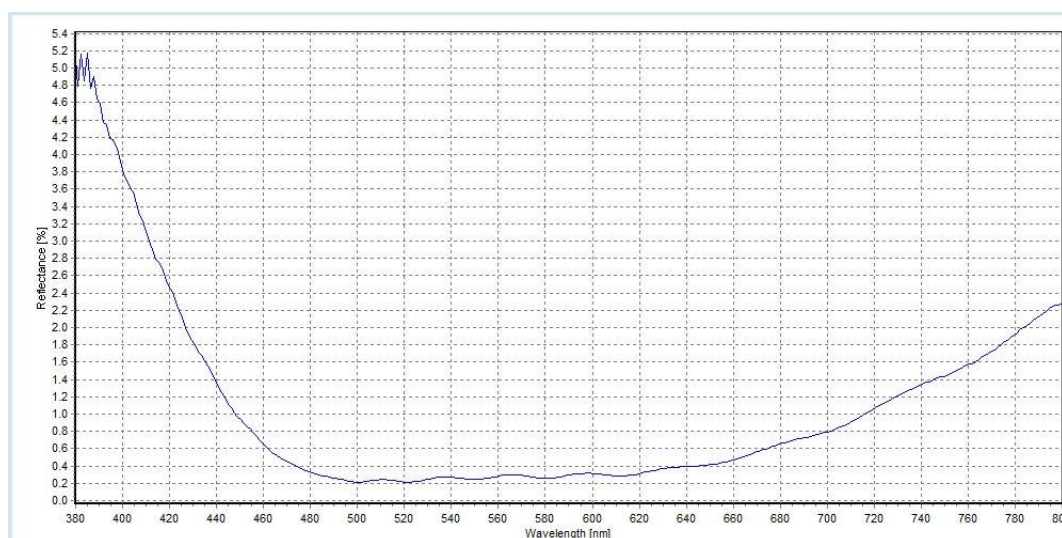
ESSILOR



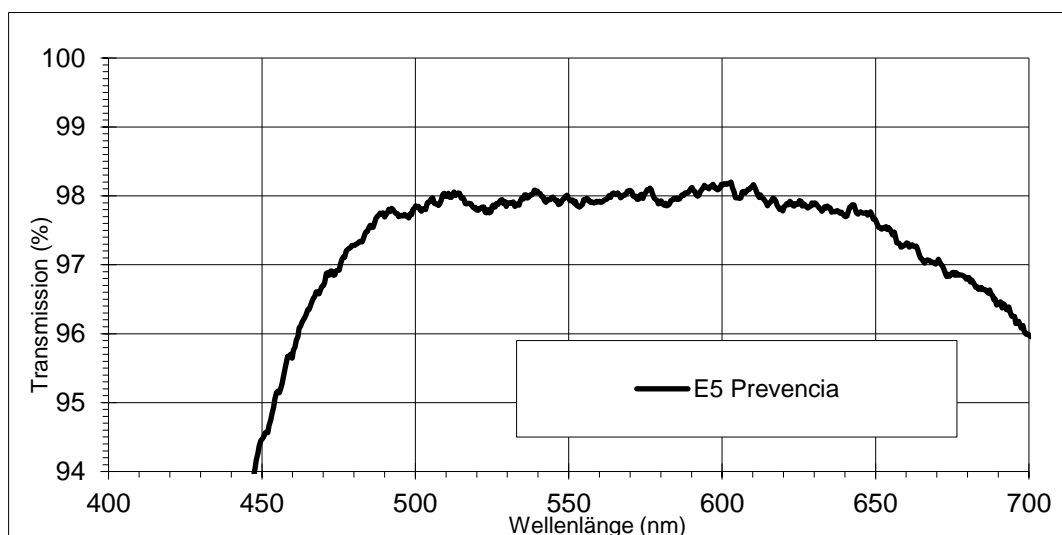
10.4.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.4.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none">▪ Schutz vor blau-violetterem Licht▪ UV-Schutz▪ wasserabweisend (siehe Vorteile der Entspiegelung: Kippwinkel)▪ staubabweisend▪ kratzbeständig▪ schmutzabweisend (siehe Vorteile der Entspiegelung: Kontaktwinkel)
10.4.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none">▪ 20% des blau-violetten Lichtes werden reflektiert▪ das durch den blau-violetten Anteil mögliche hervorgerufene Absterben retinaler Pigmentzellen wird um 25% reduziert▪ lässt blau-türkises Licht durch, das sich positiv auf unseren Biorhythmus auswirkt▪ hat eine Härte wie mineralisches Glas mit einer Entspiegelung▪ bester Kippwinkel: 6°▪ bester Kontaktwinkel: 116°▪ 100% antistatisch

<p>10.4.4. ANWENDUNGSBEREICHE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ im Freien bei jeder Witterung, da immer UV-Strahlen und blau-violettes Licht enthalten sind ▪ in Innenräumen mit Leuchtstoffröhren, am Computer, Tablet oder Handy, da von diesen Körpern immer blau-violettes Licht abgestrahlt wird
<p>10.4.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?</p>	<p>organische Gläser: 1.5/1.59/1.6/1.67/1.74</p>
<p>10.4.6. RESTREFLEXFARBE</p>	<p>blau – violett</p>

10.4.7. REFLEXIONSKURVE



10.4.8. TRANSMISSIONSKURVE

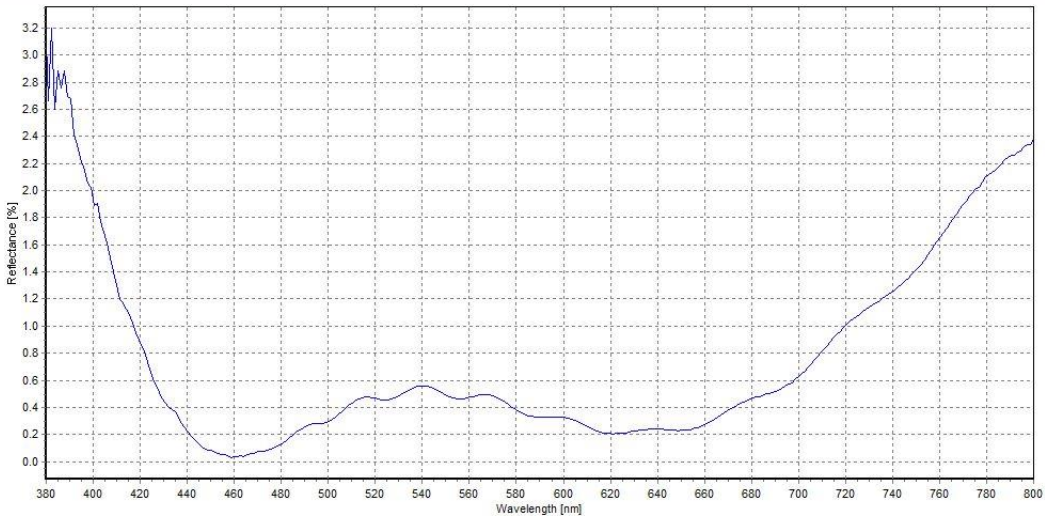
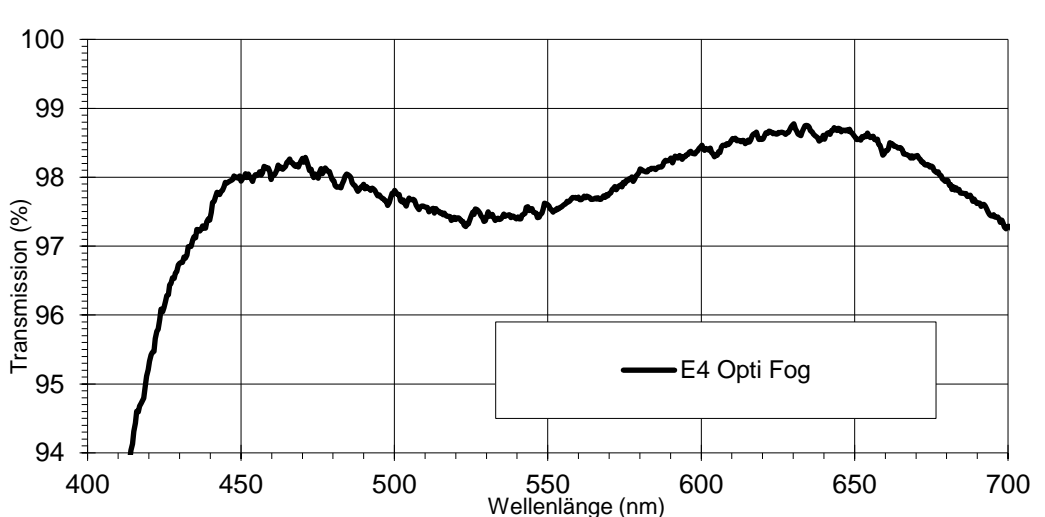


Dieses Produkt aus dem Portfolio der Firma Essilor zeigt kein wirkliches Minimum oder Maximum. Auffallend ist, dass im Wellenlängenbereich zwischen 480 und 620nm die Werte sich kaum verändern. Der Wert der Transmission liegt ungefähr bei 98%. Positiv ist, dass stark kurzwelliges Licht die Netzhaut des Brillenträgers weniger stark erreicht.

10.5.OPTIFOG MIT CRIZAL UV ESSILOR



10.5.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.5.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Antibeschlagwirkung ▪ zusätzlich zur Optifog Wirkung, wird ein Optifog Tuch empfohlen, zur Aktivierung der Schicht ▪ schmutzabweisend ▪ staubabweisend ▪ Kratzfestigkeit ▪ UV-Schutz
10.5.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sehr gute Transparenz, auch bei Temperaturwechsel ▪ hat eine Härte wie mineralisches Glas mit einer Entspiegelung ▪ 100% antistatisch
10.5.4. ANWENDUNGSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ bei der Arbeit ▪ beim Sport, es wird durch die Antibeschlagsschicht ein störendes Anlaufen des Glases verhindert ▪ im Alltag, wie zum Beispiel beschlagen der Gläser beim Kochen, trinken heißer Getränke, sowie auch öffnen der Spülmaschine

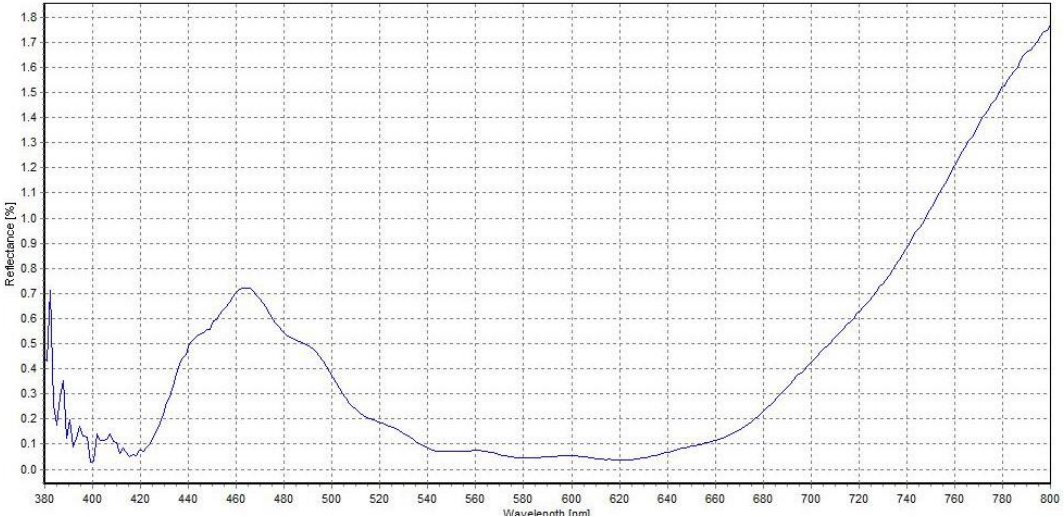
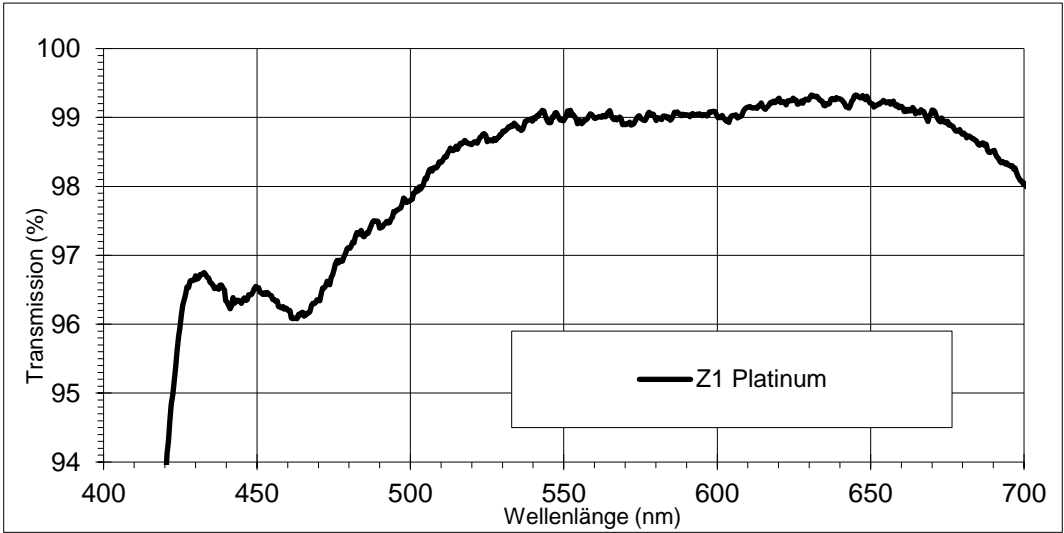
<p>10.5.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?</p>	<p>organische Gläser: 1.5/1.59/1.6/1.67/1.74</p>
<p>10.5.6. RESTREFLEXFARBE</p>	<p>grün</p>
<p>10.5.7. REFLEXIONSKURVE</p>  <p>The graph shows the reflectance of E4 Opti Fog across a wide wavelength range. The y-axis represents Reflectance [%] from 0.0 to 3.2 in increments of 0.2. The x-axis represents Wavelength [nm] from 380 to 800 in increments of 20. The curve starts at approximately 2.8% at 380 nm, drops sharply to a minimum of about 0.1% at 460 nm, and then remains relatively flat with minor fluctuations between 0.2% and 0.6% until 650 nm. Beyond 650 nm, the reflectance increases steadily, reaching approximately 2.4% at 800 nm.</p>	
<p>10.5.8. TRANSMISSIONSKURVE</p>  <p>The graph shows the transmission of E4 Opti Fog across a wavelength range from 400 nm to 700 nm. The y-axis represents Transmission [%] from 94 to 100 in increments of 1. The x-axis represents Wellenlänge (nm) from 400 to 700 in increments of 50. The curve starts at approximately 94% at 400 nm, rises sharply to about 98% by 450 nm, and then remains relatively flat with minor fluctuations between 97% and 98.5% until 650 nm. Beyond 650 nm, the transmission decreases steadily, reaching approximately 97.5% at 700 nm.</p>	

10.6.DURAVISION PLATINUM

ZEISS



10.6.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.6.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ hartes, schmutzabweisendes Glas, leicht zu reinigen
10.6.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ exzellente Transparenz durch Super ET ▪ leichteste Reinigung durch Clean-Coat ▪ Kontaktwinkel über 110°! (Gläser ohne Clean-Coat 95°) ▪ 3x härter als normale veredelte Kunststoffgläser und somit extremer Oberflächenschutz ▪ 35% härter als entspiegelte mineralische Gläser (Vergl.: Platinum auf organischem Material 1,5 und Zeiss Einstärken mineralisch 1,5 mit Super ET) ▪ fünfte Antistatik-Schicht verhindert Aufbau statischer Elektrizität, Fussel werden nicht angezogen ▪ härtestes Beschichtung, die Zeiss je produziert hat
10.6.4. ANWENDUNGSBEREICHE	für all jene, die ein langlebiges Brillenglas mit der höchsten ZEISS Qualität haben möchten

<p>10.6.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?</p>	<p>1.5/1.6/1.67/1.74 High-Tech System für Kunststoffgläser</p>
<p>10.6.6. RESTREFLEXFARBE</p>	<p>arktisblau</p>
<p>10.6.7. REFLEXIONSKURVE</p> 	
<p>10.6.8. TRANSMISSIONSKURVE</p> 	

Das Produkt der Firma Zeiss „DuraVision Platinum“ ist ebenfalls vom Kurvenverlauf besonders. Eine deutliche Kante im kurzwelligen Wellenlängenbereich ist zu erkennen. Der Transmissionswert von kurzwelligen Licht liegt bis ~470nm unter 97%, danach steigt er bis über 99% mit einem Maximum bei ~650nm. Die Werte der Reflexionskurve bestätigen diesen Sachverhalt im kurzwelligen Wellenlängenbereich. Ein deutliches Reflexminimum bei 650nm ist zu erkennen.

Diesen Kurven nach zu urteilen hat das Produkt „DuraVision Platinum“ die Wirkung eines Kantenfilters. Der Unterschied zu anderen Kantenfiltern ist der Verlauf der Kurve, deren Kante sich in einem anderen Bereich befindet. Zudem weist das Glas keine filternde, sondern eine reflektierende Wirkung auf.

„DuraVision Silver“ zeigt einen vergleichbaren Kurvenverlauf.

10.7.DURAVISION SILVER

ZEISS

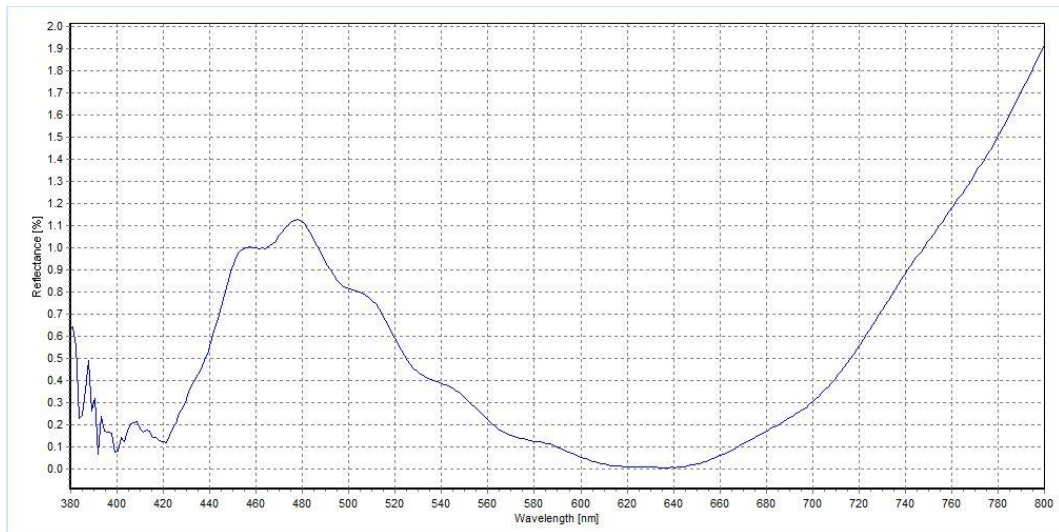


10.7.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.7.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none">▪ reflex- und spiegelungsfreies Sehen▪ gutes Aussehen▪ schmutzabweisend▪ höhere Lichtdurchlässigkeit
10.7.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none">▪ klares Sehen durch höhere Lichttransmission aufgrund 20% weniger störenden Reflexionen auf Rück- und Vorderseite im Vergleich zu herkömmlichen Beschichtungen; mitunter bedingt durch den blauen Restreflex (im Vergleich zu denen mit grünem Reflex, Bsp. LotuTec)▪ leicht zu reinigen dank Antistatik und Clean-Coat▪ kratzfester, robuster (DuraVision Platinum ist trotzdem härter)
10.7.4. ANWENDUNGSBEREICHE	für all jene, die ein langlebiges Brillenglas mit der höchsten ZEISS Qualität haben möchten
10.7.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?	1.5/1.6/1.67/1.74 High-End System für Kunststoffgläser

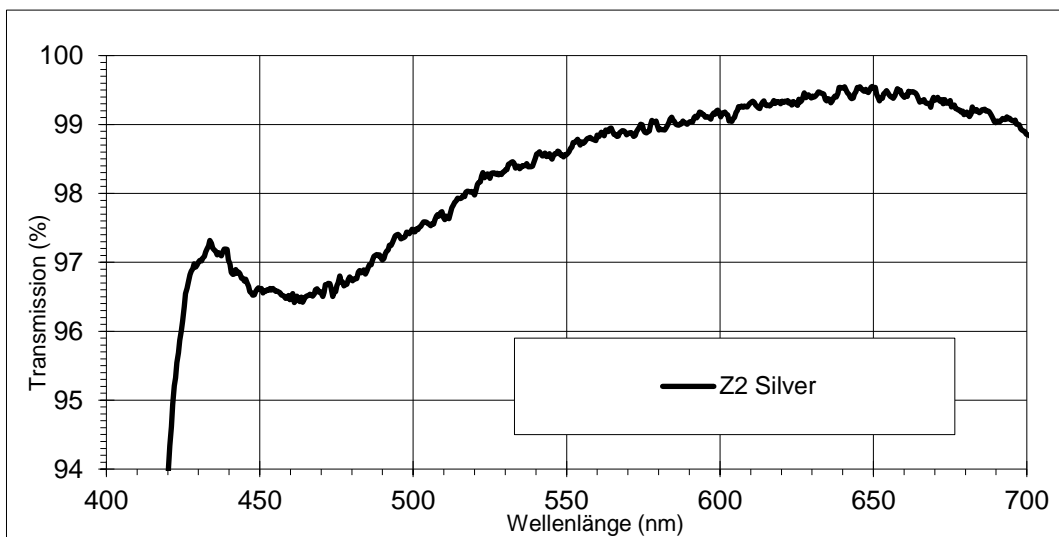
10.7.6. RESTREFLEXFARBE

blau

10.7.7. REFLEXIONSKURVE



10.7.8. TRANSMISSIONSKURVE



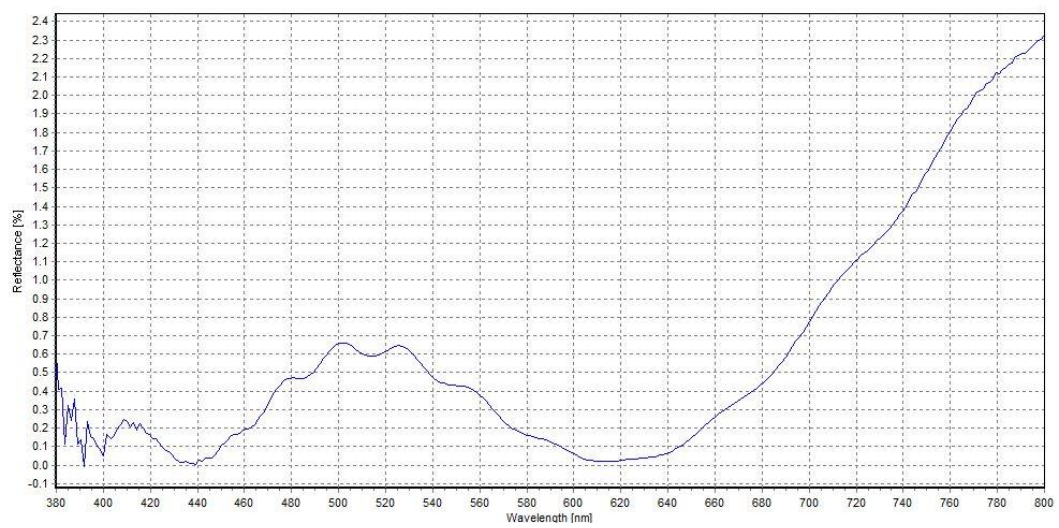
10.8.LOTUTEC

ZEISS

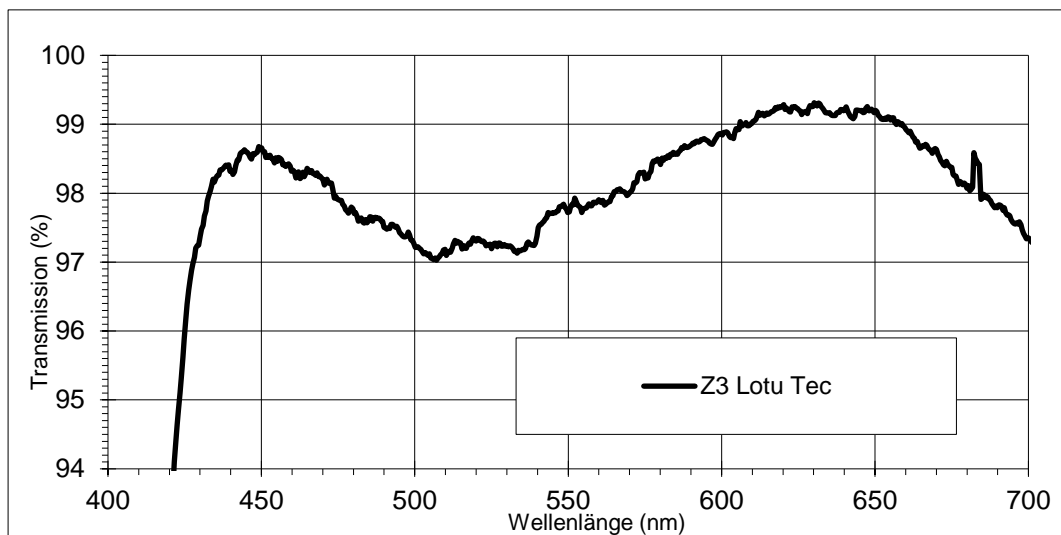


10.8.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.8.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none">▪ weniger oft reinigen▪ Schmutzablagerung von vornherein verhindern
10.8.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none">▪ Lotuseffekt: wie bei einem Lotusblatt perlen Flüssigkeiten und Schmutz einfach ab; großer Kontaktwinkel▪ sehr guter Oberflächenschutz durch angepasste Hartschicht▪ gute Transparenz durch SuperET▪ pflegeleicht durch Clean-Coat▪ Abperleffekt des Lotuseffekts
10.8.4. ANWENDUNGSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none">▪ wollige Kleidung▪ beruflich in einem staubigen Umfeld und in geschlossenen Räumen tätig▪ Regen ohne Regenschirm
10.8.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?	1.5/1.6/1.67/1.74 Standardveredelungssystem für Kunststoffgläser.
10.8.6. RESTREFLEXFARBE	grünlich; aquamarin

10.8.7. REFLEXIONSKURVE

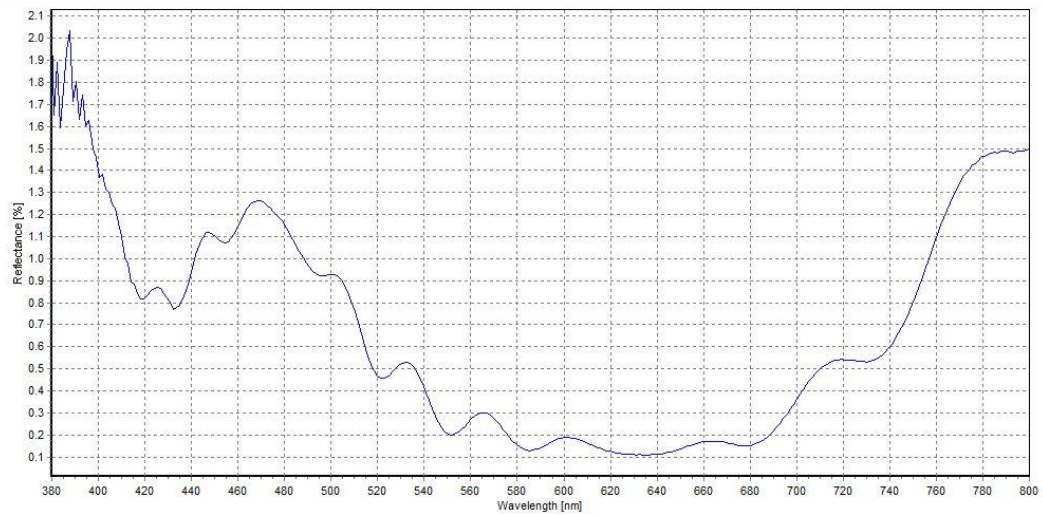


10.8.8. TRANSMISSIONSKURVE

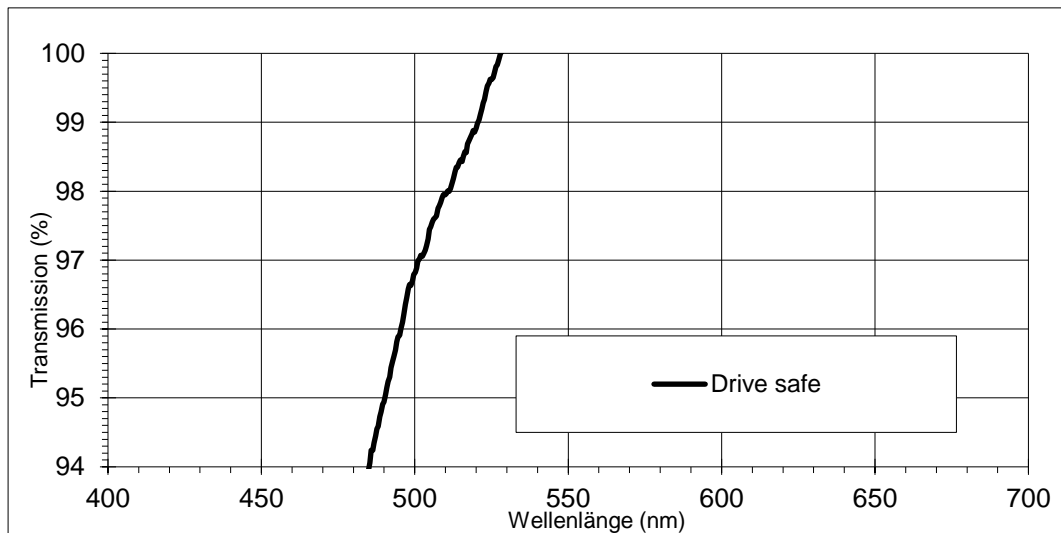


10.9.DRIVE SAFE ZEISS	
10.9.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.9.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none"> das Autofahren sicherer und entspannter machen, subjektive Blendung (Xenon, LED, 400 bis 485nm) soll reduziert werden, Blendung reduziert Kontrastempfindlichkeit
10.9.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> bessere Sicht bei schlechten Lichtverhältnissen Reduzierung der Blendung beim Fahren durch Gegenlicht
10.9.4. ANWENDUNGSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none"> wie eine normale Brille für den ganzen Tag gezielt für Autofahrer (83% der Brillenträger fahren nämlich Auto)
10.9.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?	Einstärken- und Gleitsichtgläser nur organisch
10.9.6. RESTREFLEXFARBE	bläulich

10.9.7. REFLEXIONSKURVE



10.9.8. TRANSMISSIONSKURVE



Die „DriveSafe“-Beschichtung wurde speziell für Autofahrer konzipiert. Es reflektiert verstärkt das Licht im Wellenlängenbereich zwischen 430 und 520nm, um die subjektive Blendung zu reduzieren und den Kontrast zu steigern. Kantenfilter erreichen mit ihrer Färbung die gleiche Wirkung, wobei sie das Licht absorbieren. Für den entgegenkommenden Autofahrer, der das Scheinwerferlicht als sehr störend empfinden kann, ist diese Wirkung von großem Nutzen. Aber für den Autofahrer, dessen Scheinwerfer dieses kurzwellige Licht aussenden, würde das bedeuten, dass die Helligkeit reduziert wird. Schließlich kommt es in seiner Brille auch zu einer destruktiven Interferenz der Lichtwellenlängen.

Bei der Messung der Transmissionswerte ist bei diesem Glas ein Fehler unterlaufen. Sie fand am 28. April 2017 bei der Firma Swarovski in Absam unter Laborbedingungen statt. Ein weißes T-Shirt alleine konnte das Messergebnis beeinflussen, so empfindlich war der Sensor des Gerätes.

10.10. BLUE PROTECT

ZEISS



10.10.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE

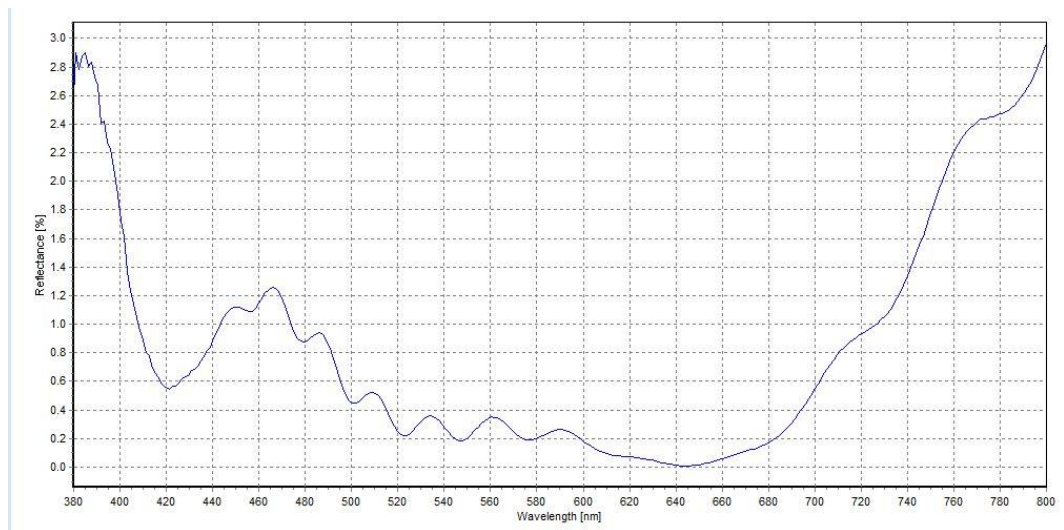
Superentspiegelung

10.10.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT

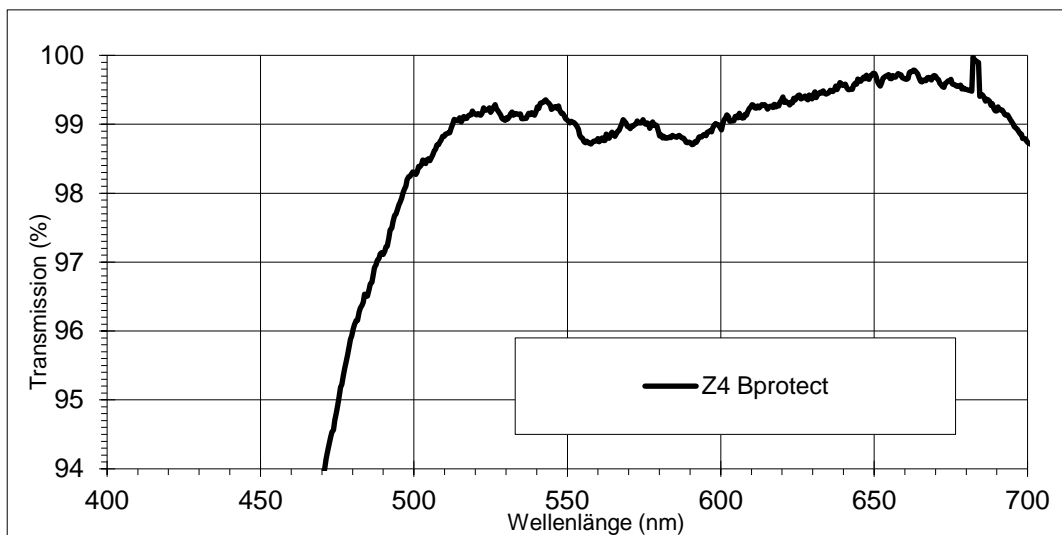
- durchschnittlich werden 5 Stunden täglich auf Smartphone, TV, Tablet geblickt und zusätzlich Lichtquellen mit vielen Blauanteilen (LED) verwendet; zu viel vom falschen blauen Licht kann ein Gesundheitsrisiko darstellen und Augenkrankheiten verursachen; von Binde- und Hornhautentzündungen bis zur Schädigung der Linse (Grauer Star) und Netzhaut (Makuladegeneration); Langzeitstudien über blaues Licht in Innenräumen sind noch nicht bekannt, aber BlueProtect schwächt, das für manche störende blaue Licht ab

<p>10.10.3. VORTEILE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schutzfunktion, falls Bedenken bezüglich blauem Licht vorhanden sind ▪ extremer Oberflächenschutz durch innovative Kombination von Entspiegelung und Hartschicht ▪ selektiv reflektierende Entspiegelung zum Schutz vor sichtbarem Blaulicht zwischen 440 und 460nm ▪ Schutz vor rückseitigen Reflexen durch SuperET auf der Rückseite des Glases ▪ leichteste Reinigung durch den Clean-Coat.
<p>10.10.4. ANWENDUNGSBEREICHE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Veredelung für Innenräume mit potenziell schädlichem blauen Licht (LED, Fernseher, Computer, Handy...) ▪ für draußen empfiehlt sich Sonnengläser (Skylet) oder Transitionsgläser (PhotoFusion) zu tragen, diese können natürlich mit einer BlueProtect-Schicht kombiniert werden
<p>10.10.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?</p>	<p>1.5/1.6/1.67/1.74 High-Tech System für Kunststoffgläser nur ohne Farbe, ohne PhotoFusion möglich</p>
<p>10.10.6. RESTREFLEXFARBE</p>	<p>blau-violett</p>

10.10.7. REFLEXIONSKURVE



10.10.8. TRANSMISSIONSKURVE



10.11. GOLD-ENTSPIEGELUNG

ZEISS

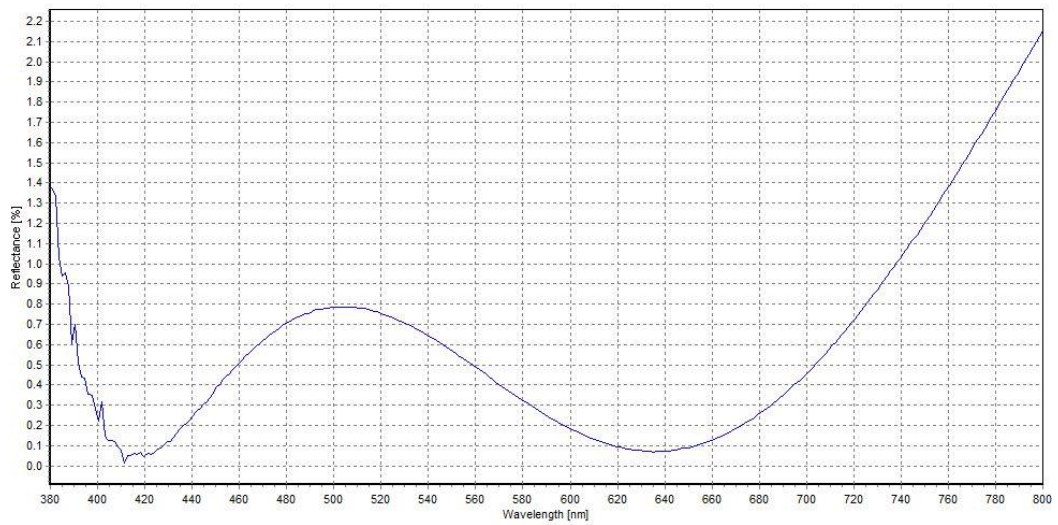


10.11.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Mehrfachentspiegelung
10.11.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mehrfach-ET mit Restreflex von ca.1% pro Fläche ▪ Gold nur als Nebeneffekt -> Reflexminimum liegt hier im Empfindlichkeitsminimum bei Nacht (507nm); besseres Kontrastsehen bei schlechten Lichtverhältnissen ermöglicht, dass Tagessehen aber nicht allzu stark beeinträchtigt ▪ Schichtdicke wurde verringert und somit das Reflexminimum zu kürzeren Wellenlängen verlagert
10.11.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ schöne Reflexfarbe (Gold) ▪ besserer Kontrast bei schlechten Lichtverhältnissen
10.11.4. ANWENDUNGSBEREICHE	ideal für LKW-Fahrer
10.11.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?	<p>1.5,1.6,1.7,1.8,1.9</p> <p>zuerst nur auf 3 Silikat Materialien (Brillenkronglas, Hi-Crown, BaSF64) – 1983;</p> <p>für organische Gläser gab es die Gold-Entspiegelung erst 1989</p>

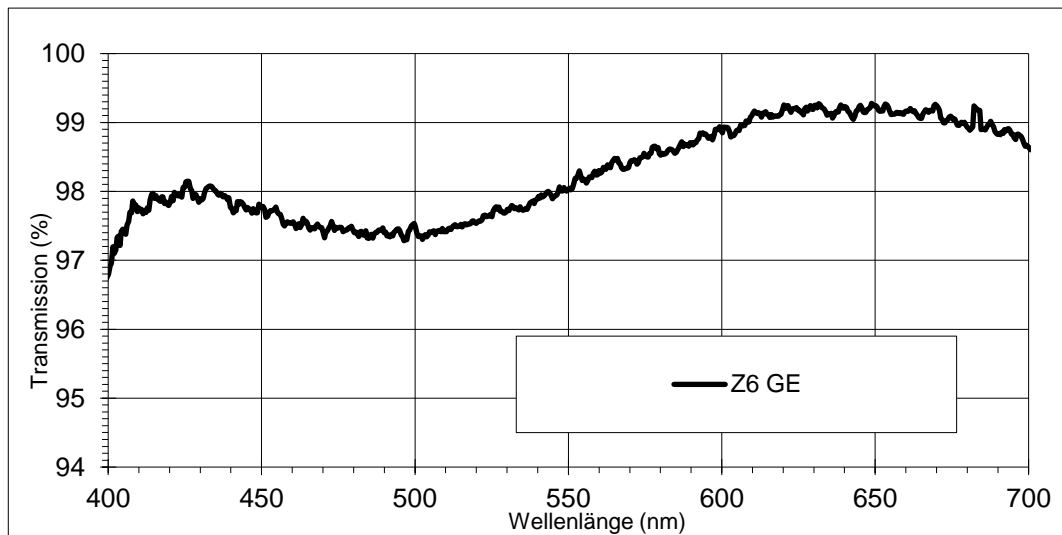
10.11.6. RESTREFLEXFARBE

Gold

10.11.7. REFLEXIONSKURVE



10.11.8. TRANSMISSIONSKURVE



10.12. SUPER-ENTSPIEGELUNG

ZEISS



10.12.1. ENTSPIEGELUNGSGRUPPE

Superentspiegelung

10.12.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT

- Aufbau: Abwechselnd hoch- und niedrigbrechende Materialien unterschiedlicher Schichtdicke
- gesamte Dicke der Schicht: 100 bis 250nm

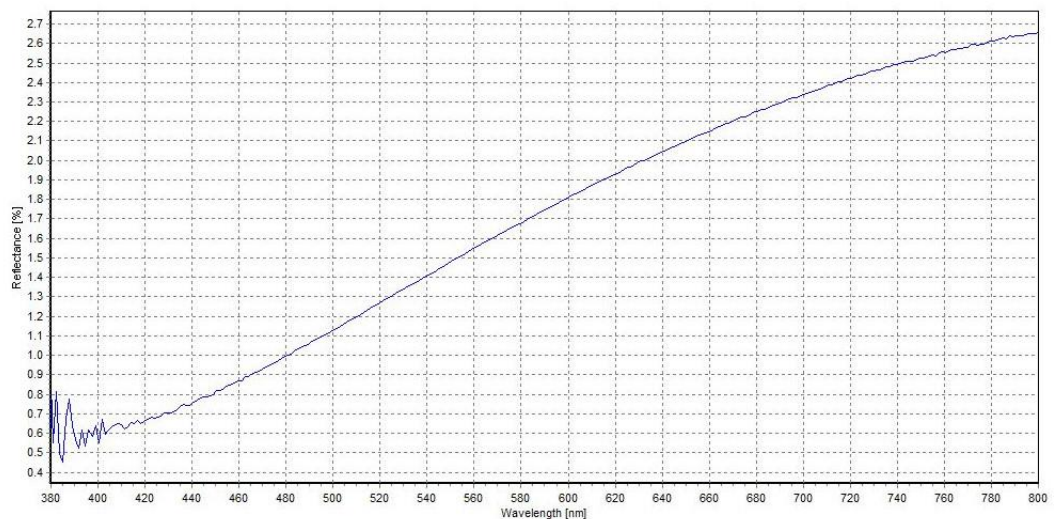
10.12.3. VORTEILE

- hohe Transparenz durch Super-Entspiegelung
- pflegeleicht durch Clean-Coat

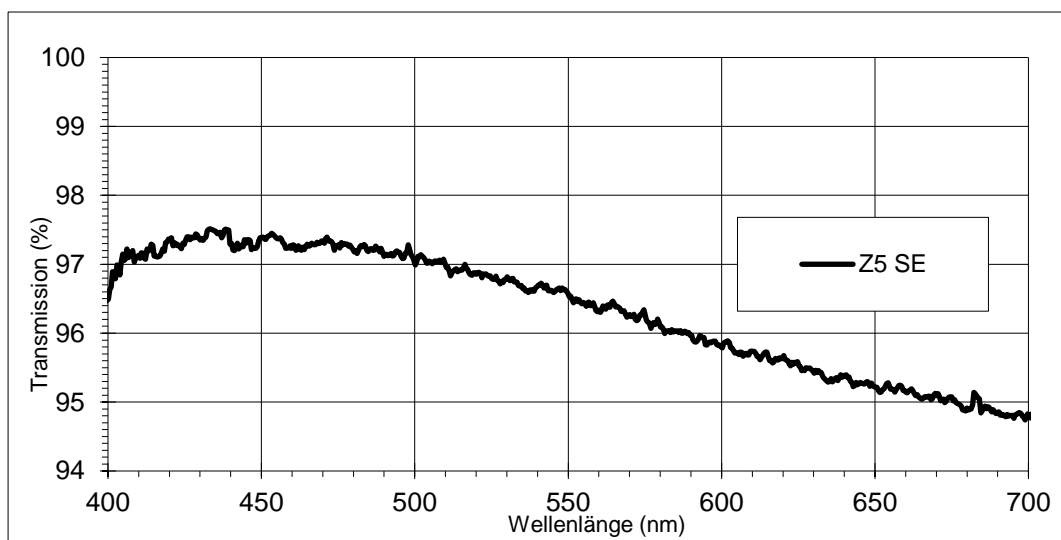
10.12.4. RESTREFLEXFARBE

blaugrün

10.12.5. REFLEXIONSKURVE



10.12.6. TRANSMISSIONSKURVE

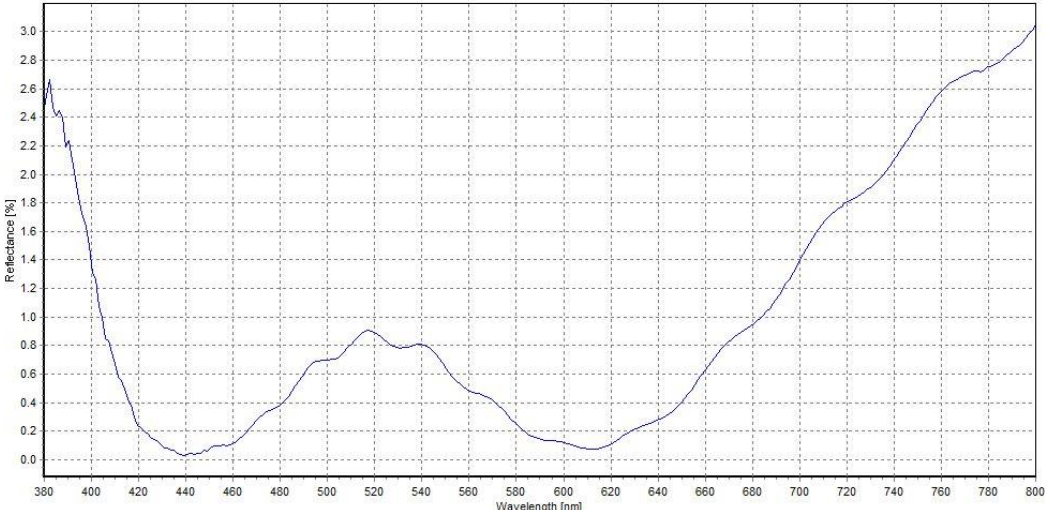


10.13. HI-VISION LONGLIFE

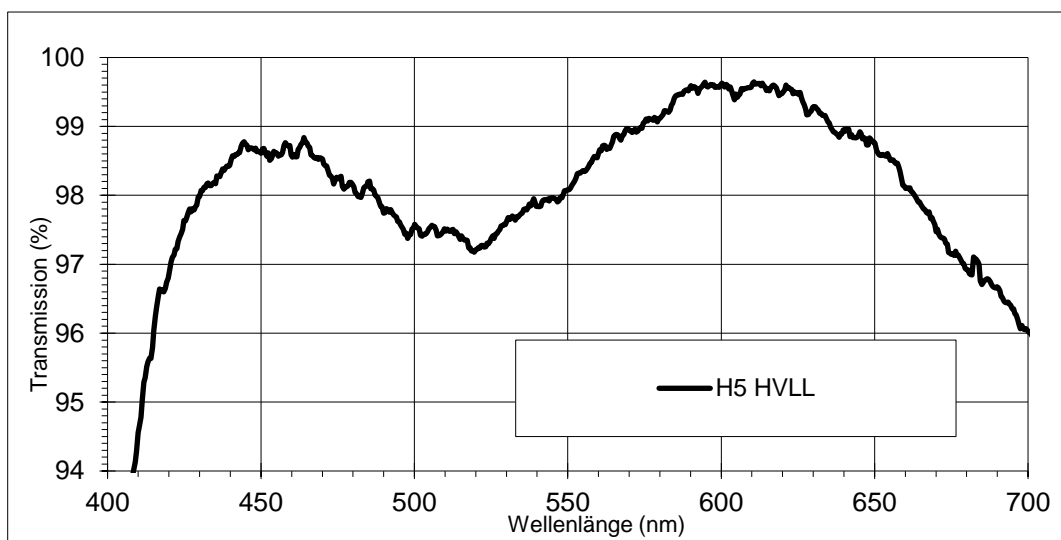
HOYA



10.13.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.13.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none">▪ ultrarobust - bis zu 7x kratzfester als Standard-Kunststoffbeschichtungen▪ superentspiegelt▪ wasserabweisend▪ schmutzabweisend▪ antistatisch▪ Lichtdurchlässigkeit bis zu 99%▪ maximale Reduktion von Blendungen
10.13.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none">▪ laut Hersteller die härteste, langlebigste Anti-Reflexbeschichtung auf dem Markt; durch die jeweiligen Schichten auf dem Glas soll diese Entspiegelung für den Träger wie auch den Gesprächspartner störende Reflexe vermindern und für ein entspanntes Sehen sorgen▪ zudem soll das Glas durch die wasser-, fett-, schmutz- und staubabweisende Schicht besonders einfach zu reinigen sein; der Hersteller gibt eine 3 Jahres Garantie gegen Fabrikationsfehler

<p>10.13.4. ANWENDUNGSBEREICHE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Allroundprodukt welches vielseitig einsetzbar ist und für seine Langlebigkeit bekannt ist; garantiert entspanntes Sehen und ist besonders leicht zu reinigen
<p>10.13.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?</p>	<p>NuluxActiveTrueForm 1.67, 1.60, 1.50</p> <p>NuluxiDentity V+ / EyeGenius 1.74, 1.67, 1.60</p> <p>NuluxTrueForm 1.74, 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p> <p>HiluxTrueForm 1.74, 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p> <p>Nulux/Hilux 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p>
<p>10.13.6. RESTREFLEXFARBE</p>	<p>grünlich - rötlich</p>
<p>10.13.7. REFLEXIONSKURVE</p> 	

10.13.8. TRANSMISSIONSKURVE



10.14. HI-VISION LONGLIFE UV CONTROL

HOYA

10.14.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.14.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none">▪ ultrarobust▪ superentspiegelt▪ wasserabweisend▪ schmutzabweisend▪ antistatisch▪ UV Control
10.14.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none">▪ diese Veredelung enthält die gleichen Eigenschaften wie die HI-Vision LongLife nur mit dem Zusatz von UV Control; diese weitere Schicht soll zu 100% vor schädlichen Auswirkungen von UV-Strahlung auf das Auge schützen; sie verhindert, dass weder direkte noch indirekte UV-Strahlung in das Auge gelangt▪ sie verzögert die Alterung der Augen, beugt Augenschäden vor und reduziert das Risiko von Augenerkrankungen bedingt durch UV-Strahlung

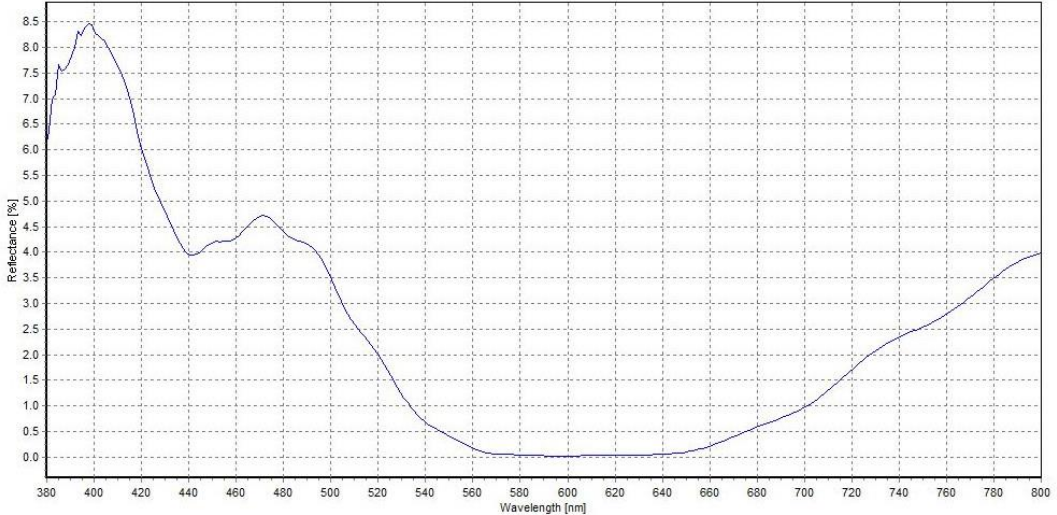
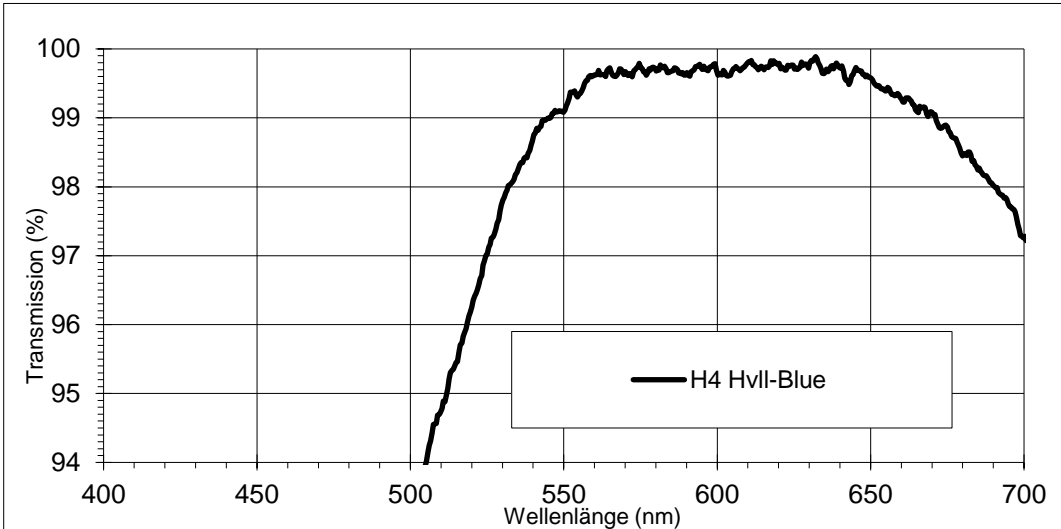
<p>10.14.4. ANWENDUNGSBEREICHE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ für den alltäglichen Gebrauch; durch den UV-Schutz speziell geeignet für Menschen die sich viel in der Natur aufhalten ▪ für Kinder um sie vorbeugend gegen die Auswirkungen von UV-Strahlung auf die Augen zu schützen; für Senioren um die Risiken vor Augenerkrankungen zu reduzieren
<p>10.14.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?</p>	<p>NuluxActiveTrueForm 1.67,1.60,1.50 NuluxiDentity V+ / EyeGenius 1.74, 1.67, 1.60 NuluxTrueForm 1.67, 1.60, 1.53, 1.50 HiluxTrueForm 1.74, 1.67, 1.60, 1.53, 1.50 Nulux/Hilux 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p>

10.15. HI-VISION LONGLIFE BLUECONTROL

HOYA

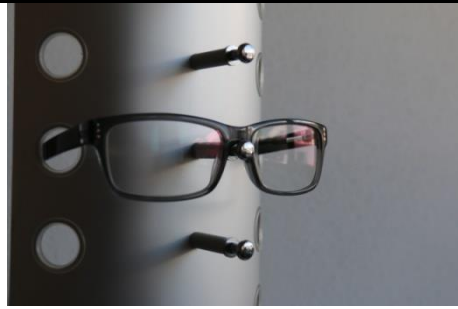


10.15.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.15.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ultrarobust ▪ superentspiegelt ▪ wasserabweisend ▪ schmutzabweisend ▪ antistatisch ▪ Blue Control
10.15.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ die Hi-Vision LongLife macht diese Beschichtung zu einer der besten mit dem Zusatz des Blue Control; es soll blaues Licht, welches von allen digitalen Geräten ausgeht, möglichst reduzieren; diese Schicht soll zusätzlich die Blendung minimieren wodurch der Kontrast erhöht und somit eine bessere Sicht gewährleistet wird; allgemein soll diese Beschichtung dazu dienen die Überlastung der Augen bei Bildschirmarbeit oder ähnlichem zu vermindern
10.15.4. ANWENDUNGSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ für Menschen die im Beruf wie auch im Alltag viel mit digitalen Geräten arbeiten und dadurch dauerhaft blauem Licht ausgesetzt sind

<p>10.15.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?</p>	<p>NuluxActiveTrueForm 1.67,1.60,1.50</p> <p>NuluxiDentity V+ / EyeGenius 1.74, 1.67, 1.60</p> <p>NuluxTrueForm 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p> <p>HiluxTrueForm 1.74, 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p> <p>Nulux/Hilux 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p>
<p>10.15.6. RESTREFLEXFARBE</p>	<p>bläulich - violett</p>
<p>10.15.7. REFLEXIONSKURVE</p> 	
<p>10.15.8. TRANSMISSIONSKURVE</p> 	

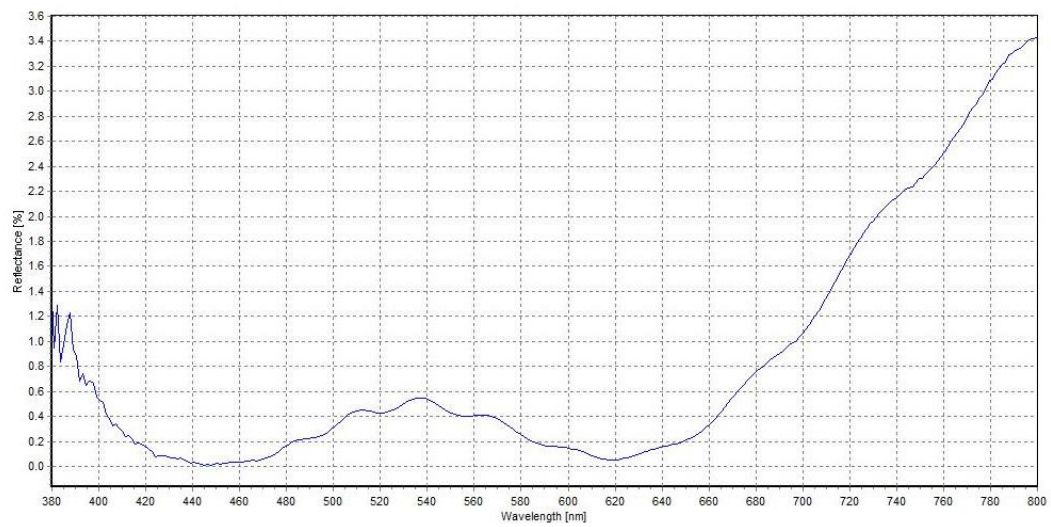
10.16. SUPER HI-VISION

HOYA

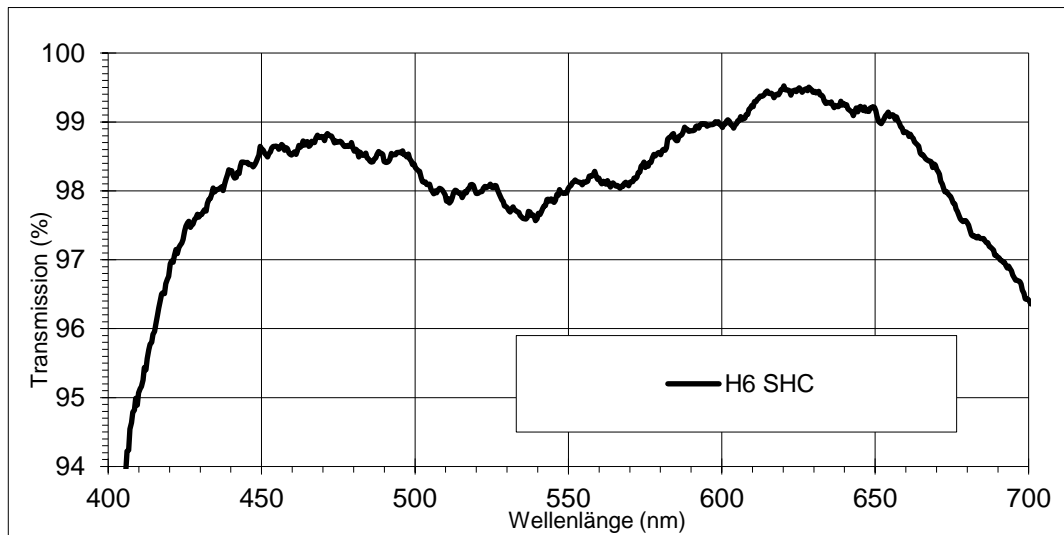


10.16.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.16.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ultrarobust ▪ superentspiegelt ▪ wasserabweisend ▪ schmutzabweisend
10.16.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sie ist eine leicht zu reinigende Entspiegelungsschicht, welche zusätzlich den Vorteil von erhöhter Kratzfestigkeit und einem Blendschutz mit sich bringt.
10.16.4. ANWENDUNGSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Für den Alltäglichen Gebrauch. Durch die leichte und schnelle Reinigung der Gläser für jeden Brillenträger geeignet.
10.16.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?	<p>NuluxActiveTrueForm 1.67, 1.60, 1.50</p> <p>NuluxiDentity V+ / EyeGenius 1.74, 1.67, 1.60</p> <p>NuluxTrueForm 1.74, 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p> <p>HiluxTrueForm 1.74, 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p> <p>Nulux/Hilux 1.67, 1.60, 1.53, 1.50</p>
10.16.6. RESTREFLEXFARBE	grünlich – violett

10.16.7. REFLEXIONS-KURVE



10.16.8. TRANSMISSIONSKURVE



10.17. HI-VISION AQUA

HOYA

10.17.1. ENTSPIEGELUNGS-GRUPPE	Superentspiegelung
10.17.2. GEWÜNSCHTER EFFEKT	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ultrarobust ▪ superentspiegelt ▪ wasserabweisend
10.17.3. VORTEILE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ exzellenter Wasser- und Blendenschutz ▪ Wassertropfen perlen ab, somit ist auch bei Regen eine optimale Sicht gegeben; die Kondensation an den Brillengläser ist auf ein Minimum reduziert, somit ist beim Wechsel von Kälte zu Wärme auch eine klare Sicht vorhanden
10.17.4. ANWENDUNGSBEREICHE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ für jeden Brillenträger geeignet, durch das „Aquacoating“ speziell für Kunden die sich viel im Freien aufhalten
10.17.5. AUF WELCHEM MATERIAL ERHÄLTlich?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NuluxActiveTrueForm 1.60, 1.50 ▪ NuluxiDentity V+ / EyeGenius 1.60 ▪ NuluxTrueForm 1.60, 1.53, 1.50 ▪ HiluxTrueForm 1.60, 1.53, 1.50 ▪ Nulux/Hilux 1.60, 1.53, 1.50
10.17.6. RESTREFLEXFARBE	grün

11. NACHWORT

Unser Ziel war es das Thema Veredelungen klar strukturiert und übersichtlich für jeden Optiker und jede Optikerin aufzubereiten. Neben den Recherchen wurden Messungen in objektiver und subjektiver Form durchgeführt, um das Ausmaß, das Firmen für die Qualitätssicherung und Forschung betreiben, nachvollziehen zu können. Unsere Erwartungen hinsichtlich der Ergebnisse wurden nicht erfüllt, da das Simulieren der Messmethoden mit unseren begrenzten Ressourcen, sei es das Budget oder das Equipment, unmöglich war. Somit wurden die Abriebfestigkeit, das subjektive Empfinden beim Tragen der Gläser und die Messung der Transmissionswerte unter abgeänderten Bedingungen getestet. Aus diesem Grund kann man die Messergebnisse auch nicht mit denen einer Herstellerfirma vergleichen.

Bei der subjektiven Befragung konnten die 21 Probanden den Unterschied zwischen den getesteten Veredelungen nicht genau erkennen, obwohl sich die Gläser im Aufbau der Schicht und dem Wirkungsgrad doch nicht ähnlich sind. Da keiner von ihnen wusste, welche Gläser vorgehalten wurden, machten sich auch keine firmenspezifischen Präferenzen bemerkbar. Das Ziel einer Superentspiegelung ist es, dass so wenig Reflexionen wie möglich im Glas wahrzunehmen sind. Das Ergebnis der subjektiven Befragung war wie gewünscht unauffällig. Mittels der Messung der Transmissions- sowie Reflexionswerte waren die Wirkungsbereiche der Testgläser gut nachvollziehbar. Die Werte passten bei fast allen Gläsern zusammen und erfüllten dementsprechend die Formel $R+T+A=100\%$. Zudem ließen die Resultate erkennen, für welche Wellenlänge die jeweilige reflexmindernde Schicht berechnet wurde und wie sich die Farben ihrer Restreflexe ergibt.

Auf die Frage was wir mit unserer Diplomarbeit erreicht haben, können wir behaupten, dass kein neues Ergebnis in diesem Fall auch ein Ergebnis ist. Mit Ausnahme von dem Salzwasserkochtest, haben die geprüften Entspiegelungen das gehalten was sie versprechen. Wir wollten die Auffälligkeiten herausfinden, ihre Leistungen hielten dagegen, was umso mehr für die Produkte der Hersteller

spricht. Beim Salzwasserkochtest haben die Wassertemperatur und der Salzgehalt keiner Messnorm entsprochen. Leider haben wir diesbezüglich keine Informationen von Seiten der Firmen erhalten. Immerhin wurde eine Extremsituation nachgestellt, bei der manche Brillengläser besser abschnitten, als andere.

Abschließend können wir sagen, dass jedes Brillenglas nur so gut ist, wie seine Veredelung. Vorstellen kann man sich diese wie den passenden Regenmantel an stürmischen Tagen, der Alltagsschutz für unsere Brille. Mit unterschiedlichen Kombinationen werden die gewünschten Eigenschaften der Veredelung an die Anforderungen angepasst. Als OptikerInnen haben wir schlussendlich die Aufgabe die Kunden und Kundinnen dahingehend zu beraten und das passende Produkt mit ihnen gemeinsam herauszufinden. Diese Diplomarbeit kann dafür ein passender Begleiter sein und grundlegende Informationen zu dem Thema Veredelungen liefern.

Ob ein Kunde die kleinen prozentualen Unterschiede der Transmission oder der Reflexion zwischen den Schichten wirklich merkt, sei dahingestellt.

Für die Zukunft darf man sich auf neue Entspiegelungstechniken beziehungsweise Varianten freuen. Da der Alltag immer mehr mit Handy, Computer und dergleichen bewältigt wird und dadurch kurzwelliges Licht vermehrt auf das Auge trifft, wird sich auch die Entwicklung, unserer Ansicht nach, weiter in Richtung Blaulichtfilter bewegen. Bislang gibt es noch keine Langzeitstudien zu den Auswirkungen von kurzwelligem Licht im Auge (siehe Maculadegeneration oder Grauer Star). Der Schutz vor kurzwelligem Licht wird aufgrund der vermehrten Arbeit mit elektronischen Geräten für viele Menschen immer interessanter.

Die Frage, ob es je eine Entspiegelung geben wird, die völlig reflexionsfreie Abbildungen liefert, bleibt ebenfalls unbeantwortet. Je besser entspiegelt die Gläser sind, desto auffälliger werden Schmutzpartikel für den Brillenträger, aber auch für den Gegenüber sichtbar. Schließlich reflektieren auch sie Licht, welches mit einer zu hundert Prozent entspiegelnden Fläche von keinen anderen reflektierten Lichtanteilen mehr überlagert wird. Wir können uns vorstellen, dass viele Kunden deswegen gerne einen Restreflex in Kauf nehmen.

12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1, Bohr'sches Atommodell.....	16
Abbildung 2, Bohr'sches Atommodell & Energie	16
Abbildung 3, Temperaturstrahler.....	17
Abbildung 4, Entladungsstrahler	18
Abbildung 5, Lichtdurchlässiger Körper.....	19
Abbildung 6, Lichtundurchlässiger Körper.....	20
Abbildung 7, Geradlinige Ausbreitung des Lichtes.....	20
Abbildung 8, Lichtbündel	21
Abbildung 9, Lichtbüschel	21
Abbildung 10, Ausbreitung des Lichtes	22
Abbildung 11, Wellenmodell.....	22
Abbildung 12, Lichtgeschwindigkeitsmessung	25
Abbildung 13, Spektrum des Lichtes.....	25
Abbildung 14, Auge und UV-Strahlung	27
Abbildung 15, Chromatische Aberration.....	28
Abbildung 16, Teilgebiete der Optik	29
Abbildung 17, Wellenlänge	30
Abbildung 18, Amplitude	31
Abbildung 19, Periode.....	32
Abbildung 20, Phasenverschiebung.....	32
Abbildung 21, Konstruktive Interferenz	33
Abbildung 22, Destruktive Interferenz	33
Abbildung 23, Dispersion am Prisma	34
Abbildung 24, Chromatische Vergrößerungsdifferenz & Farblängsfehler	36
Abbildung 25, Reflexion am Glas.....	37
Abbildung 26, Reflexionsgesetz	37
Abbildung 27, Lichtbrechung.....	38
Abbildung 28, Reflexionen am Glas und Auge.....	41
Abbildung 29, Helligkeitsempfindung des Auges	43
Abbildung 30, Reflexion festes Ende	45
Abbildung 31, Reflexion am festen Ende	46
Abbildung 32, Reflexion am Glas.....	46
Abbildung 33, Amplitudenbedingung.....	50

Abbildung 34, Einfachentspiegelung	52
Abbildung 35, Zwei Minimumstellen	54
Abbildung 36, Super-Entspiegelung	56
Abbildung 37, Beschichten	59
Abbildung 38, Super-Entspiegelung	62
Abbildung 39, Tauchlackierung	64
Abbildung 40, Spin-Coating	65
Abbildung 41, Inhomogener Aufbau	66
Abbildung 42, Homogener Aufbau	67
Abbildung 43, Kontaktwinkel	70
Abbildung 44, Abperlwinkel	70

13. LITERATURVERZEICHNIS

Roth, Günter: Allgemeine Optik. Ein Schulbuch und Leitfaden - Düsseldorf: Zentralverband der Augenoptiker/DOZ – Verlag, 1988

Bohn, Heiner: Technologie für Augenoptiker. Ein Schulbuch und Leitfaden - Düsseldorf: Zentralverband der Augenoptiker/DOZ - Verlag, 2002, unveränderter Nachdruck 2011

Schneider Gerold; Temelmair Johann; Tinhof Friedrich; Ulinski Wolfram: Physik-Linz: Trauner Verlag, 2006, Nachdruck 2007

Fertl Walter; Matzner Ludwig: Elektrodynamik, Physik für HTL – Wien: Verlag Hölder-Pichler-Tempsky GmbH & Co. KG, 2005, Nachdruck 2007

Jachnow, Dr. Walter: Handbuch der Optometrie Band 1. Optische Grundlagen der Optometrie - Heidelberg: median-verlag 1974

Rameis, Mag. Georg: Physik, Energie Raum Zeit – Wien: MANZ Verlag Schulbuch GmbH, 2008

Greulich, Walter (Hrsg.): Lexikon der Physik Aa bis De – Heideberg: Spektrum Akademischer Verlag GmbH, 1998

Fahrner: Fachbuch für Optiker. Wellenoptik mit Anhang Teilchenoptik - Wien: Verlag Alfred Bobik GesmbH, 1974 bzw. 1981

Hammer, Dr. Karl; Morass, Dr. Hans; Raab, Erich: Lehrbuch der Physik. 1. Auflage 1959 – Wien: R.Oldenbourg KG, 1976

Langbein, Prof. Dr. Uwe: Lehrveranstaltung „Optik1“- Physikalische Technik. Lichtausbreitung in optischen Medien

Meslin, Dominique: Brillenoptik Kompendium. Materialien & Veredelungen. - Essilor Academy Europe Publications, 2010

Wikipedia: Online im Internet: URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Joseph_von_Fraunhofer, 08.03.2017

Vgl. Herr Markt, 2016, Skript aus dem Unterricht

Vgl. Herr Kühn, 2015, Berufsschulunterlagen

Vgl. Herr Fiedler, 2016, Skript aus dem Unterricht

Online in Internet: URL: <https://www.jameda.de/naehrstoffe/nacl/>, 29.04.2017

Online in Internet: URL: <http://at.paulmann.com>, 05.04.2017

Online in Internet: URL: www.neon-info.ch, 05.04.2017

Von Zapfen und Stäbchen. Online in Internet: URL: <https://www.simplyscience.ch/teens-liesnach-archiv/articles/von-zapfen-und-staebchen.html>, 01.05.2017

Einflüsse blauen Lichtes. Online in Internet: URL: <http://ergoptometrie.de/einfluesse-von-blauem-licht/>, 05.04.2017

Online in Internet: URL: <http://www.essilor.ch/DE/Produkte/Veredelungen/Seiten/Crizal-Alize.aspx>, 22.04.2017

Online in Internet: <http://www.crizal.de/Crizal-Produkte/New-Improved-Crizal-Alize/Seiten/default.aspx>, 22.04.2017

Online in Internet: <http://www.archerydirect-shop.de/Kunststoff-Linse-fuer-Sco-pesEssilor-Crizal-Easy-UV>, 22.04.2017

Online in Internet: <http://www.essilor.de/brillenglaser/veredelungen/Seiten/CrizalPrevincia.aspx>, 22.04.2017

Online in Internet: https://www.essilor.de/brillenglaser/veredelungen/Documents/DOZ_SD_0114_Crizal%20Previncia.pdf, 22.04.2017

Online in Internet: <http://www.archerydirect-shop.de/Kunststoff-Linse-fuer-Sco-pesEssilor-Crizal-Easy-UV>, 22.04.2017

Binomische Formeln. Online im Internet: URL: <http://www.frustfrei-lernen.de/mathematik/binomische-formel-formeln-mathematik.html> , 08.03.2017

Loerting, Thomas: Allgemeine Chemie. Online im Internet: URL:http://homepage.uibk.ac.at/~c724117/materials/ss2014/715171-vo_ii.pdf , 08.03.2017

Lexikon „Fachbegriffe: Online im Internet. URL: <http://www.chemie-master.de/FrameHandler.php?loc=http://www.chemie-master.de/lex/begriffe/o05.html> , 08.03.2017

Online im Internet. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Van-der-Waals-Kr%C3%A4fte.html> , 08.03.2017

Lexikon der Physik: Kryopumpen. Online im Internet: URL: <http://www.spektrum.de/lexikon/physik/kryopumpen/8586> , 08.03.2017

Optikum: Was bringen neue Entspiegelungstechnologien? Online im Internet: URL: <https://www.optikum.at/was-bringen-neue-entspiegelungstechnologien/>, 08.03.2017

Online im Internet: URL: <http://www.enzyklo.de/Begriff/Radikal> , 08.03.2017

Lichtmikroskopie – Theorie und Anwendung. Online im Internet: URL: http://www.univie.ac.at/mikroskopie/pdf/1-2_optik.pdf, 14.03.2017

Online im Internet: URL: <http://work.popperschule.at/projekte/wahrnehmung/daten/index.php?id=120>, 04.05.2017

Online im Internet: URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Polychromatisches_Licht, 04.05.2017

Online im Internet: URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Additive_Farbmischung, 04.05.2017

14. STUNDENAUFZEICHNUNG

Theresa:

DATUM	BEZEICHNUNG	STUNDEN
28.06.2016	Themenfindung	2
21.09.2016	Themenbesprechung / Konzept erstellen	4
28.09.2016	Anmelden der Diplomarbeit	4
04.10.2016	Literatur suchen	1,5
05.10.2016	Literatur suchen	4
19.11.2016	Literatur suchen - Einteilung der Themen	4
02.02.2017	Literatur lesen, Beginn Schreibprozess	3,5
09.02.2017	Schreibprozess	4
22.02.2017	Schreibprozess	4
28.02.2017	Schreibprozess	3
02.03.2017	Schreibprozess	3
08.03.2017	Schreibprozess	3
09.03.2017	zusammenfügen des theoretischen Teils, gemeinsames kontrollieren	2,5
16.03.2017	Besprechung bezüglich Firmen und Infomaterial	3
21.03.2016	Zeichnungen	3,5
25.03.2017	Korrektur theoretischer Teil	4
30.03.2017	Korrektur theoretischer Teil	3,5
07.04.2017	Schreibprozess	6
11.04.2017	Überarbeiten geschriebenes	2,5
12.04.2017	Ausarbeitung Praktischer Teil	5
13.04.2017	Überarbeiten geschriebenes	2,5
14.04.2017	Zeichnungen, Ausarbeitung der Testreihen	7,5
15.04.2017	Zeichnungen	1,5
17.04.2017	Besprechung und zusammenfügen der überarbeiteten Teile	6
18.04.2017	Glassteckbriefe ausarbeiten	5
19.04.2017	Praktische Messungen	4,5
20.04.2017	Zeichnungen	3
21.04.2017	Testreihe Gelbwert, Fotos Restreflex	3
22.04.2017	Zeichnungen, Formatierung	4
26.04.2017	Überarbeiten geschriebenes	4
28.04.2017	Besuch Firma Swarovski, Messungen Transmission + Reflexion	3
29.04.2017	Auswertung der Testreihe, Befragung der Probanden	6
30.04.2017	Erstellen der Grafiken, Auswertung der Testreihen	6
01.05.2017	Formatierung, Überarbeitung, Zusammenfassen der Teile	7
02.05.2017	Formatierung, Besprechung Hr. Kühn, Zeichnungen erstellen	5
03.05.2017	Teile der Arbeit zusammenfügen, Formatieren	3
04.05.2017	Abgabe der Arbeit an Herrn Kühn	0
08.05.2017	Ausbessern der Arbeit	2
15.05.2017	Formatierung	1
16.05.2017	Formatierung	1,5
18.05.2017	Formatierung, Fertigstellung, Druck	2
	Gesamtstunden	147,5

Marlene:

DATUM	BEZEICHNUNG	STUNDEN
28.06.2016	Themenfindung	2
21.09.2016	Themenbesprechung / Konzept erstellen	4
28.09.2016	Anmelden der Diplomarbeit	4
04.10.2016	Literatur suchen	1,5
05.10.2016	Literatur suchen	4
19.11.2016	Literatur suchen - Einteilung der Themen	4
02.02.2017	Literatur lesen, Beginn Schreibprozess	3,5
09.02.2017	Schreibprozess	4
22.02.2017	Schreibprozess	4
28.02.2017	Schreibprozess	3
02.03.2017	Schreibprozess	3
08.03.2017	Schreibprozess	3
09.03.2017	zusammenfügen des theoretischen Teils, gemeinsames kontrollieren	2,5
16.03.2017	Besprechung bezüglich Firmen und Infomaterial	3
21.03.2016	Schreibprozess	3,5
25.03.2017	Korrektur theoretischer Teil	4
30.03.2017	Korrektur theoretischer Teil	3,5
07.04.2017	Schreibprozess	6
11.04.2017	Firmen Informationen sammeln	2,5
12.04.2017	Ausarbeitung Praktischer Teil	5
13.04.2017	Überarbeiten geschriebenes	2,5
14.04.2017	Ausarbeitung der Testreihen, Korrektur theoretischer Teil	7,5
15.04.2017	Ausarbeiten der Testreihen	1,5
17.04.2017	Besprechung und zusammenfügen der überarbeiteten Teile	6
18.04.2017	Glassteckbriefe ausarbeiten	5
19.04.2017	Praktische Messungen	4,5
20.04.2017	Einleitung, Danksagung, Abstract schreiben	3
21.04.2017	Testreihe Gelbwert, Fotos Restreflex	3
22.04.2017	Praktischen Teil Überarbeiten, Testreihen erklären	6
26.04.2017	Überarbeiten geschriebenes	4
28.04.2017	Besuch Firma Swarovski, Messungen Transmission + Reflexion	5
29.04.2017	Auswertung der Testreihe, Befragung der Probanden	6
30.04.2017	Überarbeitung theoretischer Teil	6
01.05.2017	Überarbeitung, Zusammenfassen der Teile	7
02.05.2017	Besprechung Hr. Kühn, Korrektur theoretischer Teil	5
03.05.2017	Teile der Arbeit zusammenfügen	2
04.05.2017	Abgabe der Arbeit an Herrn Kühn	0
10.05.2017	Korrigieren der Arbeit	4
15.05.2017	Korrigieren der Arbeit	2

16.05.2017	Korrigieren der Arbeit	2
18.05.2017	Präsentationsvorbereitung, Druck	2
	Gesamtstunden	154

Belinda:

DATUM	THEMA	STUNDEN
28.06.2016	Themenfindung	2
21.09.2016	Themenbesprechung/Konzept erstellen	4
28.09.2016	Anmeldung zur Diplomarbeit	4
04.10.2016	Literatur suchen	1,5
05.10.2016	Literatur suchen	4
19.11.2016	Literatur suchen + Einteilung der verschiedenen Themen	4
02.02.2017	Literatur einlesen	3,5
09.02.2017	Literatur einlesen/schreiben	3,5
22.02.2017	Literatur einlesen/schreiben	4
28.02.2017	Literatur einlesen/schreiben	2,5
02.03.2017	theoretischen Teil schreiben	3
08.03.2017	theoretischen Teil schreiben	3
09.03.2017	theoretischen Teil zusammenfügen und gemeinsam kontrollieren	2,5
16.03.2017	Besprechung wegen den einzelnen Firmen (E-Mail verfassen, anrufe tätigen)	3
25.03.2017	Literatur einlesen	3,5
30.03.2017	Literatur einlesen	4
05.04.2017	Geschriebenes überarbeiten	3,5
06.04.2017	Geschriebenes überarbeiten	3
07.04.2017	Geschriebenes überarbeiten	2,5
11.04.2017	Geschriebenes überarbeiten	6
12.04.2017	Geschriebenes Überarbeiten und Praktische Test ausarbeiten	5
13.04.2017	Theoretischen Teil der Überarbeitung fertigstellen/Praktische Tests ausarbeiten	2,5
14.04.2017	Überarbeitung Theoretischen Teil fertigstellen/praktische Tests ausarbeiten	4
17.04.2017	Besprechen des Geschriebenen, gemeinsames durchlesen und überarbeiten	6
18.04.2017	Glassteckbriefe schreiben	6
19.04.2017	Praktische Tests durchführen	4,5
20.04.2017	Gläser in Fassung einschleifen für praktische Tests	1,5
21.04.2017	Praktische Durchführung Gelbwert & Fotos der Entspiegelungen mit Restreflex	3
22.04.2017	Praktischer Test Gelbwert zusammenschreiben	2

26.04.2017	Subjektive Test zusammenstellen	4
28.04.2017	Swarovski Besuch für die Transmissionswerte	3
29.04.2017	Überarbeiten von Theoretischen Teil/Objektiver Gelbwert Test schreiben	2,5
01.05.2017	Salzwasserkochtest schreiben/Fotos, Theorie überarbeiten	6
02.05.2017	Besprechung Herr Kühn, theoretischer Teil	2
03.05.2017	Teile der Arbeit zusammenfügen	1
04.05.2017	Abgabe der Arbeit Herr Kühn	0
08.05.2017	Ausbessern der Arbeit	3
15.05.2017	Ausbessern der Arbeit	1
16.05.2017	Rechtschreibfehler korrigieren	3
18.05.2017	Präsentation vorbereiten, Druck	2
	Gesamtstunden	129