Analyse von gemessenen und in Relux simulierten UV-C-Reflexionsgrade

Bachelor-Thesis

zur Erlangung des akademischen Grades B. Sc.

Tilco Suling

Matrikel Nr.: [redacted]

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Design, Medien und Information
Department Medientechnik
Studiengang: Media Systems

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Roland Greule

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Dirk Seifert

Hamburg, 25.08.2021

Abstract

The first part of this work is about meassuring the reflectances in the UV-C-range of various materials in the Forschungs- und Transferzentrum Hamburg (FTZ).

The measurements are carried out with a self-made and a professional measuring device. The values determined by that are compared with one another and statements are made about their reflective behavior.

The second part contains the measurement of the irradiance emitted by a UV-C lighting installation, which is also installed in the FTZ. Based on the knowledge gained about the reflectance, the previously measured lighting installation is build in detail and calculated in the UV-C simulation software ReluxUVC. Based on this first simulation, various light scenes are then recreated.

At the end, the measured and simulated results are compared and analyzed.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit geht es im ersten Teil um die Messung von Reflexionsgrade im UV-C-Bereich diverser Materialien im Forschungs- und Transferzentrum Hamburg (FTZ). Die Messungen werden mit einem selbst gebauten und einem professionellen Messgerät durchgeführt. Die so ermittelten Werte werden miteinander verglichen und Aussagen zu deren Reflexionsverhalten getroffen.

Im zweiten Teil folgt die Messung der Bestrahlungsstärke einer UV-C-Beleuchtungsanlage, welche ebenfalls im FTZ installiert ist.

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse über die Reflexionsgrade wird in der UV-C-Simulationssoftware ReluxUVC die zuvor gemessene Beleuchtungsanlage detailgetreu nachempfunden und berechnet. Anschließend werden, basierend auf dieser Grundlage dann verschiedene Lichtszenen nachgestellt.

Am Ende werden die gemessenen und simulierten Ergebnisse miteinander verglichen und analysiert.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 5
2 Technische Grundlagen ... 7
2.1 Elektromagnetisches Spektrum ... 7
2.1.1 Sichtbare Strahlung ... 8
2.1.2 Ultraviolettstrahlung ... 9
2.2 UV-C-Strahlung ... 9
2.2.1 Wirkungsweise ... 10
2.2.2 Schädigung für den Menschen durch UV-C-Strahlung ... 11
2.2.3 Strahlungsfluss ... 12
2.2.4 Bestrahlungsstärke ... 12
2.2.5 Dosis ... 12
2.2.6 Expositionsdauer ... 12
2.3 Künstliche UV-C-Strahlungsquellen ... 13
2.3.1 Niederdruckentladungslampen ... 13
2.3.2 Excimer-Lampe ... 13
2.3.3 UV-C-LED ... 14
2.4 UV-C-Anwendungsbereiche und Systeme ... 14
2.4.1 Oberflächenentkeimung ... 14
2.4.2 Luftentkeimung ... 15
3 Reflexion ... 15
3.1 Reflexionsgrad ... 16
3.2 Absorptionsgrad und Absorption ... 16
3.3 Transmissionsgrad ... 17
3.4 Brechungsindex und Dispersion ... 17
3.5 Absorptionskoeffizient ... 17
3.6 Extinktionskoeffizient ... 17
3.7 Snelliussches Brechungsgesetz ... 18
3.8 Reflexionsgrad von Metallen berechnen ... 18
3.9 Unterschied im Reflexionsverhalten von UV-C-Strahlung und sichtbarem Licht ... 18

4 Messung von Reflexionsgrade im Forschungs- und Transferzentrum Hamburg 19
4.1 Messung mit selbst gebautem Messgerät 20
4.1.1 Verwendete Lichtquelle und Messgerät 23
4.1.2 Messvorbereitung 23
4.1.3 Messdurchführung 25
4.2 Messung mit Gigahertz Optik LCR-20 26
4.2.1 Messvorbereitung 27
4.2.2 Messdurchführung 28
4.3 Analyse 29
4.4 Vergleich der Messwerte Messkasten und LCR20 32
5 Messung von UV-C-Strahlung im Forschungs- und Transferzentrum Hamburg 33
5.1 Eigenschaften des Büros 34
5.2 Messvorbereitung 36
5.3 Messung auf den Höhen 2,5 m, 1,83 m, 0,8 m 39
5.4 Nachbau von zwei Szenarien mit Aluminiumfolie 40
5.5 Mögliche Messfehler 40
6 Simulation von UV-C-Strahlung in Relux mit UV-C-Plug-in 41
6.1 Nachbau des Forschungs- und Transferzentrum Hamburg in ReluxUVC 42
6.1.1 Umsetzung 43
7 Vergleich von gemessenen Werten und in ReluxUVC simulierten Werten 44
7.1 Allgemeiner Vergleich von Messwerten und simulierten Werten 45
7.2 Unmöbliert und möbliert 46
7.2.1 Vergleich auf 2,5 m 46
7.2.2 Messhöhe 1,83 m 47
7.2.3 Messhöhe 0,8 m 48
7.2.4 Analyse 49
7.3 Möbliert mit Aluminiumfolie als Unterzug 50
7.4 Möbliert mit Aluminiumfolie als Abhänger 52
7.5 Zusammenfassend 53

8 Fazit 55
9 Literaturverzeichnis 56
10 Abbildungsverzeichnis 60
11 Tabellenverzeichnis 64
12 Anhang 66
Anhang 1 Datenblatt Radiometer $X1_1$ Optometer 67
Anhang 2 Datenblatt Messkopf UV-3725 71
Anhang 3 Datenblatt LCR-20 74
Anhang 4 Datenblatt Philips SM345C 78
Anhang 5 Datenblatt TUV PL-S 81
Anhang 6 Mess- und Berechnungsergebnisse unmöbliert 83
Anhang 7 Mess- und Berechnungsergebnisse möbliert 90
Anhang 8 Mess- und Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Unterzug 97
Anhang 9 Mess- und Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Abhänger 100

1 Einleitung

Diese Bachelorarbeit soll das Reflexionsverhalten von Materialien im Bereich der UV-C-Strahlung anhand von Messungen und in ReluxUVC[1] simulierten Berechnungen analysieren.

Das Thema Desinfektion durch UV-C-Strahlung ist aufgrund der Corona-Pandemie aktueller denn je. UV-C-Strahlung wird bereits vielseitig zur Desinfektion in diversen Einrichtungen eingesetzt. So findet sie beispielsweise Anwendung in der Wasseraufbereitung für Trinkwasser, als Oberflächendesinfektion in Krankenhäusern und als Luftentkeimer (Lighting Europe, 2020, S. 5). Auch bei der Lebensmittelproduktion im industriellen Sektor wird sie eingesetzt. Hier werden meist geschlossene Systeme genutzt, wo die UV-C-Strahlung nicht austreten kann (ZVEI & Fachverband Licht, 2021, S. 7) und so keine Gefährdung für den Menschen darstellt. Denn UV-C-Strahlung hat nicht nur bei Keimen und Viren eine schädigende Wirkung, sondern ist auch für den Menschen ein hohes Gesundheitsrisiko (Kowalski, 2009, S. 288-293). Bei sogenannten offenen, stationären UV-C-Systemen tritt die Strahlung direkt aus und kann somit auch den Menschen treffen. Diese Systeme werden entweder an Wänden oder auf Deckenhöhe (Upper Air) montiert und desinfizieren so die Raumluft (ZVEI & Fachverband Licht, 2021, S. 8). Der Einsatz von stationären UV-C-Geräten zur Luftentkeimung findet immer mehr Anwendung in öffentlichen Bereichen wie Büros oder Supermärkten (Signify GmbH, signify.com, 2020), wo sich permanent Menschen aufhalten. Bei dem Gebrauch solcher Geräte ist es also wichtig, dass keine gesundheitsschädigenden Mengen an UV-C-Strahlung austreten.

UV-C-Strahlung gehört, wie das sichtbare Licht, zum Bereich der elektromagnetischen Strahlung (Greule, 2015, S. 24) und folgt den gleichen physikalischen Gesetzen der Reflexion (Jüstel & Schwung, 2019, S. 152), allerdings mit gänzlich unterschiedlichem Verhalten (Meschede, 2015, S. 574). Unter diesem Aspekt soll die Fragestellung beantwortet werden, wie die Reflexionsgrade bestimmter Materialien und Stoffe im UV-C-Bereich aussehen. Dazu sollen Reflexionsgradmessungen durchgeführt werden und anhand diesen Aussagen über die gemessenen Materialien getroffen werden. Zusätzlich wird die Bestrahlungsstärke an zwei Upper Air-Geräten der Firma Signify im Forschungs- und Transferzentrum Hamburg bestimmt. Die gemessenen Werten sollen dann mit berechneten Werten aus der UV-C-Simulations-Software ReluxUVC verglichen und ausgewertet werden.

[1] ReluxUVC ist ein spezielles Plug-in für Relux zur Simulation von UV-C-Strahlung

Die in **Kapitel 2** vermittelten Grundlagen geben einen Überblick über das Thema elektromagnetische Strahlung. Zusätzlich wird sich ab **Abschnitt 2.2** genauer mit der Thematik der UV-C-Strahlung auseinandergesetzt und die Risiken und Anwendungsbereiche erklärt.

Kapitel 3 befasst sich mit dem Reflexionsgrad, insbesondere im UV-C-Bereich, worauf anschließend in **Kapitel 4** die Reflexionsgradmessungen erfolgen.

Kapitel 5 handelt ausschließlich von der Messung der Bestrahlungsstärke der betrachteten UV-C-Anlage. Die in **Kapitel 6** in ReluxUVC simulierten Berechnungsergebnisse finden dann Einzug in der finalen Auswertung in **Kapitel 7**.

2 Technische Grundlagen

Die Grundlagen beziehen sich auf den Bereich der Physik und Optik. Manche Begriffe können unterschiedliche Bedeutungen in anderen Naturwissenschaften, wie beispielsweise der Chemie oder Biologie, haben.

2.1 Elektromagnetisches Spektrum

Unter dem elektromagnetischen Spektrum (**Abbildung 1**) wird die Gesamtheit aller elektromagnetischer Wellen verstanden. Elektromagnetische Wellen sind auch besser unter Strahlung bekannt und reichen von der kosmischen Strahlung (10^{-15} m) bis zu den technischen Wechselströmen (10^{7} m). Daher wird z. B. auch von Röntgenstrahlung, UV-Strahlung oder Infrarotstrahlung gesprochen (Greule, 2015, S. 24).

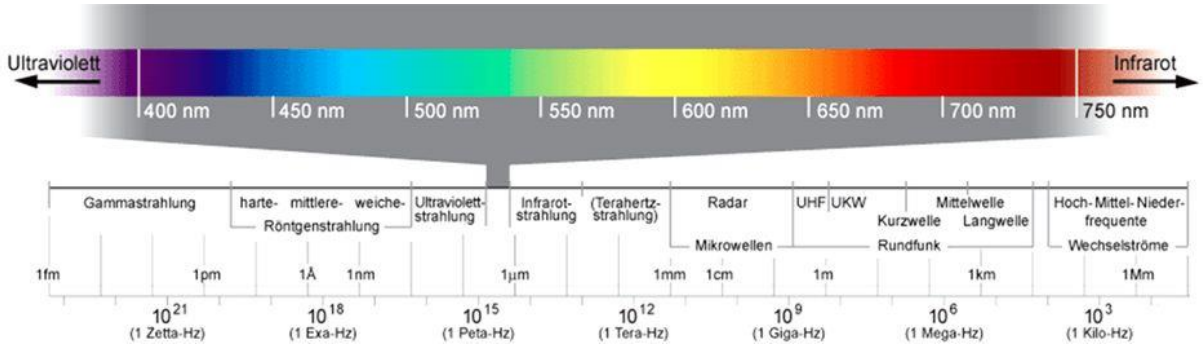


Abbildung 1 Gesamtes elektromagnetisches Spektrum mit Angabe von Wellenlänge (oben) und Frequenz (unten) mit Hervorhebung des sichtbaren Spektrum. (Possel, kein Datum)

Die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen findet in Stoffen und im Vakuum statt. Um die Ausbreitungsgeschwindigkeit c zu berechnen, wird die Wellenlänge λ und die Frequenz f für folgende Gleichung benötigt:

$$c = \lambda * f \qquad (1)$$

An Formel (1) kann abgelesen werden, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit rein von der Frequenz und der Wellenlänge abhängt und es unbedeutend ist, in welchem Stoff (Medium) sich die elektromagnetische Welle befindet (Wenisch, 2013, S. 116).

Aus der magnetische Feldkonstanten $\mu 0$ und der elektrischen Feldkonstanten $\varepsilon 0$ lässt sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum mit folgender Formel berechnen:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 * \mu_0}} \qquad (2)$$

Daraus folgt, dass die Gesamtheit der elektromagnetischen Wellen im Vakuum die gleiche Geschwindigkeit von ca. 300.000 km/s besitzen, was mit der Vakuumlichtgeschwindigkeit identisch ist (Duden Learnattack GmbH, 2021).
Anders als zu Schallwellen, benötigen elektromagnetische Wellen kein Trägermedium, daher können sie sich auch im Vakuum fortbewegen. Diese Wellen werden Transversalwellen genannt (Wenisch, 2013, S. 107).

2.1.1 Sichtbare Strahlung

Das menschliche Auge nimmt Strahlung, welche als sichtbares Licht bezeichnet wird, im Bereich von 380 - 780 nm wahr und gehört damit zur optischen Strahlung (Greule, 2015, S. 24). In der Literatur finden sich aber auch andere Intervalle wieder. So wird der Bereich laut (Wenisch, 2013, S. 107) bei etwa 400 – 760 nm angegeben. Dies kommt dadurch, dass die Empfindlichkeit des Auges an den Rändern des Wahrnehmungsbereich einen starken Abfall verzeichnet. Daher ist keine eindeutige Grenze zu bestimmen (Wenisch, 2013, S. 107).
So gibt z. B. die **Abbildung 2** einer dritten Quelle den Bereich des sichtbaren Lichts von 390 – 780 nm an.

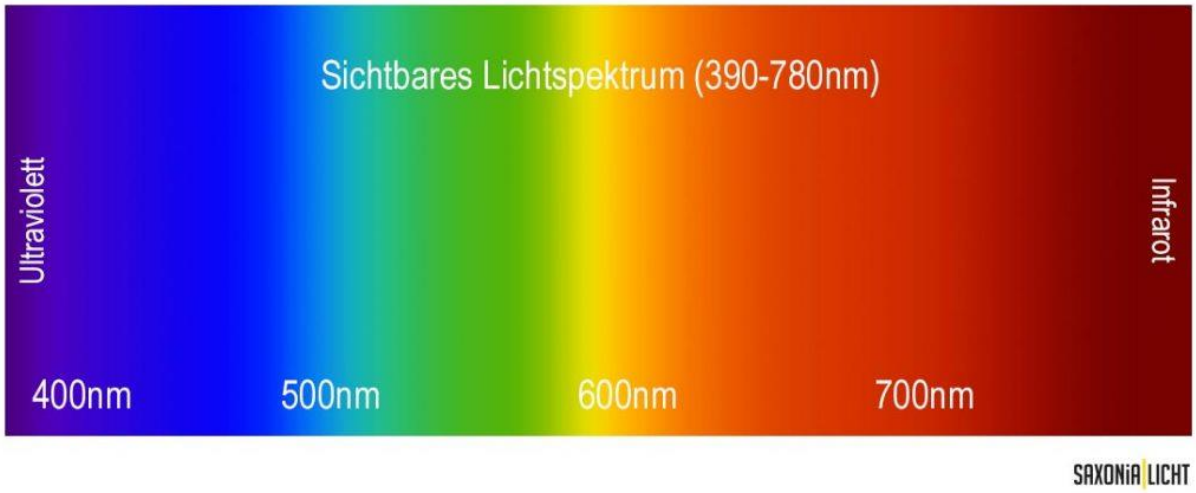


Abbildung 2 Sichtbares Lichtspektrum von 390 nm - 780 nm (Saxonia Solutions GmbH, kein Datum)

Als Richtwert sollte aber der von Greule genannte Bereich genommen werden, welcher sich auf den von der CIE[2] definierten Bereichs bezieht.

[2] Commission internationale de l'éclairage

2.1.2 Ultraviolettstrahlung

Ultraviolettstrahlung, kurz UV-(Strahlung), reicht von 100 nm bis 380 nm und liegt somit für den Menschen außerhalb des sichtbaren Bereichs. UV-Strahlung wird laut (Greule, 2015, S. 24) in diese drei Bereiche aufgeteilt:

- UV-C von 100 nm bis 280 nm (stark keimtötend, wandelt Luftsauerstoff O_2 in Ozon O_3 um) (siehe auch **Abschnitt 2.2**)
- UV-B von 280 nm bis 315 nm (fördert Vitamin-D_2-Bildung im Körper, für Sonnenbrand und damit auch Hautkrebs verantwortlich)
- UV-A von 315 nm bis 380 nm (für Bräunung der Haut verantwortlich)

UV-Strahlung findet unteranderem Anwendung in Gasentladungslampen, wie z. B. Leuchtstoffflampen. Hier wird die UV-Strahlung durch Zugabe von Leuchtstoffen in sichtbares Licht umgewandelt.

Generell wird jegliche (natürliche und künstliche) UV-Strahlung laut IARC[3] als krebserregend eingestuft. Das gefährliche an UV-Strahlung ist die Schädigung der Erbsubstanz (DNA), welche als chronische Folge auftreten kann. Es sind somit auch bei keinen akuten Symptomen (z. B. Sonnenbrand) Langzeitschäden möglich (Bundesamt für Strahlenschutz, bfs.de, 2020).

2.2 UV-C-Strahlung

Der Schwerpunkt dieser Arbeit befasst sich mit der UV-C-Strahlung, deswegen wird diese noch mal im Detail erläutert.

UV-C (kurzwellige Ultraviolett-Strahlung) wird vielseitig zur Desinfektion eingesetzt. So findet sie Anwendung in der Wasseraufbereitung, als Oberflächendesinfektion in Krankenhäusern und über die Luft, beispielsweise in Hotels und auf Kreuzfahrtschiffen. Die Wirksamkeit gegen Mikroorganismen, Viren und Keimen ist wissenschaftlich erwiesen (Lighting Europe, 2020, S. 5-6). Zusätzlich belegen auch aktuelle Studien eine effektive Wirkung beim Erreger SARS-COV-2 (Biasin, et al., 2021).

[3] International Agency for Research on Cancer

Nach heutigem Stand gibt es mehrere Übertragungswege von SARS-CoV-2. Da wäre die Schmierinfektion auf Oberflächen, welcher durch Desinfektion oder durch direkte UV-C-Bestrahlung auf Oberflächen entgegengewirkt werden kann. Außerdem kann eine Infektion über die Luft durch Aerosole stattfinden. Maßnahmen dagegen sind FFP2-Masken, ausreichendes Lüften oder die Luftentkeimung und Inaktivierung durch UV-C-Strahlung. Die Desinfektion kann direkt durch Oberflächenbestrahlung, oder aber durch Luftentkeimer erfolgen. Luftentkeimer geben UV-C-Strahlung nicht direkt auf Oberflächen ab, sondern desinfizieren keimbelastete Luft, in dem diese an ihrer internen UV-C-Quelle vorbeiströmt.

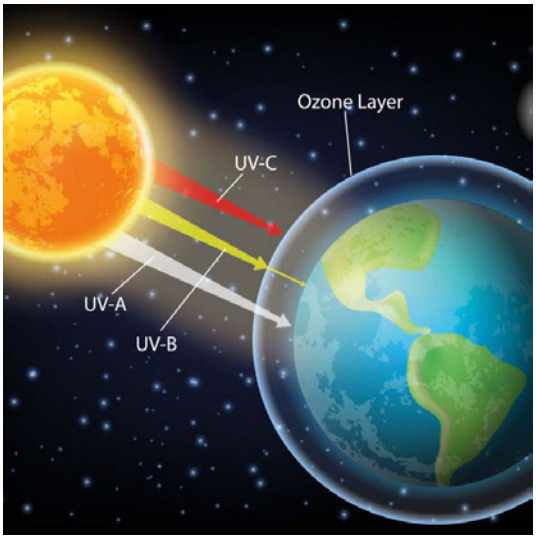


Abbildung 3 Absorption der UV-C-Strahlung in der Erdatmosphäre (Licht-Konzept & Form Lichttechnische AG, kein Datum)

In natürlicher Form kommt UV-C-Strahlung nicht auf der Erde vor. Wie **Abbildung 3** zeigt, wird sämtliche UV-C-Strahlung bereits von der Erdatmosphäre (Ozonschicht) komplett absorbiert (Jüstel & Schwung, 2019, S. 136).

2.2.1 Wirkungsweise

Durch das nicht in natürlicherweise Vorkommen von UV-C-Strahlung haben Mikroorganismen und Viren keine Resistenzen gegen UV-C-Strahlung gebildet und absorbieren diese zusätzlich sogar. So entsteht eine Veränderung der Nukleinsäuren, welche die Reproduzierbarkeit inaktiviert. Eine besonders hohe Effektivität der keimtötenden Wirkung erreicht UV-C-Strahlung bei

260 nm – 265 nm, da hier nahezu sämtliche Strahlung absorbiert wird. **Abbildung 4** zeigt die Effektivität der keimtötenden Wirkung anhand E. coli Bakterien bei verschiedenen Wellenlän-

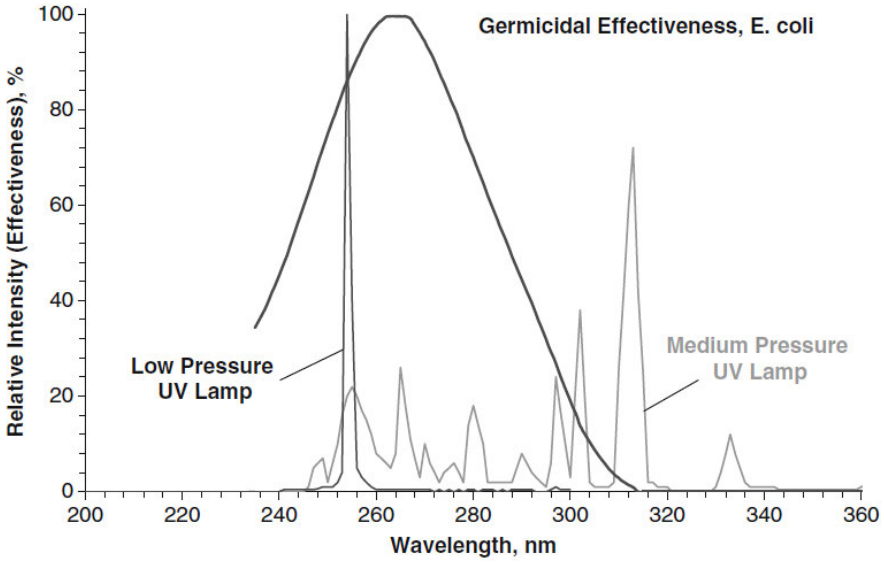


Abbildung 4 Keimtötende Wirksamkeit von UV-Strahlung anhand E. coli (Kowalski, 2009, S. 18)

gen. Es wird die Effizienz von Niederdruckentladungslampen (Low Pressure UV Lamp) deutlich, welche 95 % (andere Quellen sagen 85 %, vgl. (ZVEI & Fachverband Licht, 2021, S. 5)) ihrer Strahlung im Bereich von 253,7 nm abgeben. Dieser Bereich liegt sehr nahe am Absorptionsmaximums der DNA von E. coli (Kowalski, 2009, S. 17-18).

2.2.2 Schädigung für den Menschen durch UV-C-Strahlung

Auch für den Menschen ist UV-C-Strahlung als sehr schädlich einzustufen. Neben UV-C-Strahlung kann auch UV-B-Strahlung im Auge eine Photokeratitis (Hornhautentzündung) auslösen. Diese kann sich zu einer Photokonjunktivitis (Bindehautentzündung) entwickeln, was sich Keratoconjunctivitis nennt, besser bekannt als Schneeblindheit. Dies ist eine sehr schmerzhafte Entzündung, die aber in der Regel nur vorübergehend auftritt (Kowalski, 2009, S. 289).

Andere Schädigungen können auf der Haut auftreten in Form von Erythemen (Hautrötungen) oder Elastosen (Degeneration des kollagenen Bindegewebes in der Lederhaut). Langzeitschäden sind bisher nicht hinreichend erforscht, um diese ausschließen zu können. (ZVEI & Fachverband Licht, 2021, S. 9).

Messgrößen von UV-C-Strahlung

2.2.3 Strahlungsfluss

Der Strahlungsfluss (auch Strahlungsstrom) gibt die ganzheitliche, von einer Strahlungsquelle in alle Richtungen ausgehende, Strahlungsleistung an. Er wird in Watt (W) gemessen (Jüstel & Schwung, 2019, S. 172).

2.2.4 Bestrahlungsstärke

Die Bestrahlungsstärke gibt die auftreffende Strahlungsleistung auf eine Flächeneinheit an. Sie wird E bezeichnet und in der Einheit W/m² gemessen (Jüstel & Schwung, 2019, S. 25).

2.2.5 Dosis

Die Dosis (J/m²) berechnet sich aus dem Produkt der Bestrahlungsstärke (W/m²) und Einwirkungsdauer (auch Expositionsdauer) (s). Daraus lässt sich folgende Formel bilden:

$$Dosis(\mathrm{J/m^2}) = Bestrahlungsstärke\ (\mathrm{W/m^2}) * Zeit\ (\mathrm{s}) \qquad (3)$$

(Brose, et al., 2013, S. 5)

Anhand von diversen Studien s. (Chevrefils, et al., 2006) oder (Hassen, et al., 2000) lässt sich ablesen, wie lange (also welcher Dosis) bestimmte Mikroorganismen und Viren einer UV-C-Bestrahlung ausgesetzt sein müssen, um inaktiviert zu werden.

2.2.6 Expositionsdauer

Die Expositionsdauer ist die Zeiteinheit, in der Mikroorganismen, Viren, Keime, aber auch Menschen und Tiere UV-C-Strahlung ausgesetzt sind. Speziell im Bereich von 254 nm gibt hierzu von der ISO[4] eine Empfehlung für die zulässige, tägliche Expositionsdauer pro Tag für Menschen (**Tabelle 1**). Der Wert bei 8 h ist besonders relevant für UV-C-Geräte mit Strahlungsaustritt die im Dauerbetrieb sind. Hier können Menschen direkt von UV-C-Strahlung getroffen werden. Die 8 h stehen für einen normalen Arbeitstag und sind mit 2 mW/m² Bestrahlungsstärke (gewichtet mit dem Faktor 0,5) angegeben. Dieser Wert wird bei einer permanenten Aussetzung von UV-C-Strahlung als gesundheitlich unbedenklich angesehen (ISO, 2016).

Zulässige Expositionsdauer h/Tag	**Bestrahlungsstärke in** mW/m²
24 h	0,7
18 h	0,9
12 h	1,4
10 h	1,7

[4] Internationale Organisation für Normung

8 h	2
4 h	4
2 h	8
1 h	17
30 min	33
15 min	67
10 min	100
5 min	200
1 min	1000
30 s	2000
15 s	4000
5 s	12000
1 s	60000

Tabelle 1 Höchstzulässige UV-C-Exposition bei 254 nm. In Anlehnung an (ISO, 2016, S. 5)[5]

2.3 Künstliche UV-C-Strahlungsquellen

Um künstliche UV-C-Strahlung zu erzeugen wird bevorzugt auf Gasentladung und Halbleitertechnik gesetzt. Häufig vertreten sind dabei Quecksilber-Niederdruckentladungslampen, welche in gängiger Form als Leuchtstofflampen verwendet werden (ZVEI & Fachverband Licht, 2021, S. 5).

2.3.1 Niederdruckentladungslampen

Die kostengünstige Herstellung und hohe Effizienz machen Niederdruckentladungslampen zu den am häufigsten genutzten UV-C-Quellen. In der Regel sind diese mit dem Edelgas Argon und Quecksilberdampf gefüllt. Bei Raumtemperatur besitzt Quecksilberdampf den höchsten Dampfdruck von allen Elementen, die für die Herstellung von UV-C-Strahlung in Frage kommen. Wie unter **2.2.1** schon erwähnt, wird die meiste Strahlung bei 254 nm (aufgerundet) erzeugt (Global Lighting Association, 2020, S. 7). **Abbildung 5** zeigt eine gängige Quecksilberniederdruckentladungslampe der Firma Philips.

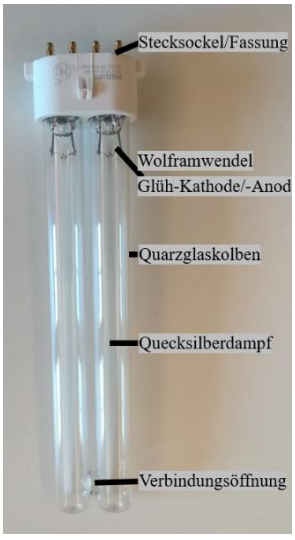


Abbildung 5 Philips TUV PL-S 9W beschriftet in Anlehnung an (Lehmann, kein Datum)

2.3.2 Excimer-Lampe

Excimer-Lampen sind Niederdruckentladungslampen mit einer Gasfüllung von Krypton-Chlorid. Sie strahlen größtenteils bei 222 nm und gering bei 260 nm.

[5] ISO 15858:2016-07

Excimer-Lampen haben eine UV-C-Effizienz (Strahlungsausbeute) von ca. acht Prozent (ZVEI & Fachverband Licht, 2021, S. 6). Sie haben trotz dieser geringen Effizienz an Bedeutung bei der Inaktivierung von Mikroorganismen gewonnen. Im 222 nm Bereich wirken diese immer noch effektiv genug zur Inaktivierung von Keimen und sind laut einer Studie von (Nozomi, et al., 2020) nicht schädigend für Haut und Augen von Mäusen (Global Lighting Association, 2020, S. 8). Das ist bedeutend, weil die Gene im Erbgut einer Maus dem eines Menschen sehr ähnlich sind (Max-Planck-Gesellschaft, kein Datum).

2.3.3 UV-C-LED

UV-C-LEDs haben als Basis Aluminiumgalliumnitrid (AlGaN). Gewerbliche UV-C-LEDs besitzen im Moment (Stand Februar 2021) eine Strahlungsbeute von nur fünf Prozent. Die Lebensdauer ist ebenfalls mit nicht weißen LEDs vergleichbar. Gängige Wellenlängen finden sich bei 270 nm – 280 nm. UV-C-LEDs besitzen nur einen sehr kleinen Anteil an sichtbarer Strahlung, was es schwer macht zu deuten, ob die LED angeschaltet ist (ZVEI & Fachverband Licht, 2021, S. 6).

Es wird aber davon ausgegangen, dass im Laufe der Zeit die Vorteile von Form, Vielseitigkeit und Größe der UV-C- und auch UV-B-LEDs überwiegen werden (Global Lighting Association, 2020, S. 8).

2.4 UV-C-Anwendungsbereiche und Systeme

UV-C-Bestrahlung findet in verschiedenen Bereichen Anwendung und ist aufgrund der aktuellen Pandemie sicherlich noch mehr in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt.

2.4.1 Oberflächenentkeimung

Freistrahlende Systeme sind wegen ihrer direkten und ungestörten Bestrahlung von Oberflächen als äußert effektiv anzusehen. Allerdings müssen beim Einsatz solcher Systeme hinreichende, anspruchsvolle Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Freistrahlende Systeme können stationär oder mobil (fahrbare Roboter) eingesetzt werden könnten Anwendung in Konferenzräumen, Theatern oder Restaurants finden.

Geschlossene Systeme werden in der Lebensmittelindustrie zur Desinfektion genutzt. Hierbei werden Verpackungsmaterialien oder Transportbänder durch geschlossene UV-C-Anlagen geführt und somit entkeimt.

Eine weitere Anwendung sind das Desinfizieren der Handläufe von Rolltreppen. Dazu läuft das Band des Handlaufs durch eine geschlossene UV-C-Kammer. Ebenso die Desinfektion von Leihwaren (wie z. B. Laptops oder Smartphones) wird seit Kurzem durchgeführt.

Bei beiden Systemen ist dafür zu sorgen, dass keine Abschattungen auftreten, welche das Auftreffen der UV-C-Strahlung auf die vorgesehenen Flächen verhindert.

2.4.2 Luftentkeimung

Raumlufttechnische Anlagen (RLT) sind Anlagen, welche für eine Luftzirkulation in Gebäuden sorgen und diese dabei behandeln. Sie steuern Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftqualität. Es sind rein stationäre Anlagen im Gebäude. RLT-Anlagen sind zur Verbesserung der Luftqualität gedacht, welche unteranderem die Reduktion des Keimgehalts beinhaltet. Umgesetzt wird dies durch Filtration oder in Kombination mit UV-C-Strahlung.

Sekundärluft bedeutet, dass zusätzlich zu bereits installierten RLT-Anlagen mobile, dezentrale Luftentkeimungsgeräte zum Einsatz kommen. Dies wird unter dem Aspekt getätigt, wenn bestehende RLT-Anlagen nicht nachgerüstet werden können. Es werden mobile Standgeräte oder stationäre Geräte eingesetzt. Stationäre Geräte gibt es als Wandanbau oder Deckenein- und Anbauvarianten.

Upper Air Desinfektion desinfiziert ausschließlich Luft im Deckenbereich, daher der Name Upper Air. Diese Geräte sind als Deckenmontage im Raum montiert. Durch spezielle Lamellen (Reflektoren) strahlen sie ausschließlich auf Deckenniveau ab. Die Reflexion der Decke wird hierbei bei einer fast senkrechten Ausrichtung der Strahlung minimiert. Upper Air Desinfektion profitiert von einer zusätzlichen mechanischen Umwälzung der Luft, da so ein weitaus höheres Volumen an Luft von der UV-C-Strahlung getroffen werden kann (ZVEI & Fachverband Licht, 2021, S. 8).

3 Reflexion

Reflexion bezeichnet das Zurückwerfen elektromagnetischer Strahlung, wenn diese auf eine Grenzfläche trifft, die sich zwischen zwei unterschiedlichen Medien befindet (Jüstel & Schwung, 2019, S. 152). Als Medien (Medium) werden Stoffe wie z. B. Luft bezeichnet (Schenk, 2014, S. 48). Objekte, die nicht von sich selbst aus leuchten, werden erst durch eintreffendes und dann reflektiertes Licht sichtbar.

Je nach Beschaffenheit der Grenzfläche des angestrahlten Objektes wird zwischen regulärer (spekularer[6]) und nicht regulärer (diffuser) Reflexion unterschieden. Diffuse Reflexion wird auch als Remission bezeichnet und bedeutet, dass das eintreffende Licht homogen gestreut wird. Ob einfallende Strahlung spekular oder diffus reflektiert wird hängt von dem Verhältnis

[6] von lat. speculum: „Spiegelung“

der Rauigkeit einer Oberfläche des angestrahlten Objektes zur Wellenlänge ab. (Jüstel & Schwung, 2019, S. 152).

Bei einer idealen (d. h. ohne Streuung) regulären Reflexion wird auch vom Reflexionsgesetz gesprochen, welches besagt, dass der Winkel der einfallenden Strahlung auch gleich dem Winkel der ausfallenden Strahlung ist, kurz: Einfallswinkel = Ausfallswinkel. In der Realität gibt es diese Reflexion jedoch nicht, da immer ein Teil der einfallenden Strahlung in verschiedene Richtungen gestreut wird (Hagler, 2006). **Abbildung 6** veranschaulicht das Reflexionsverhalten anhand einfallender Sonnenstrahlen noch mal.

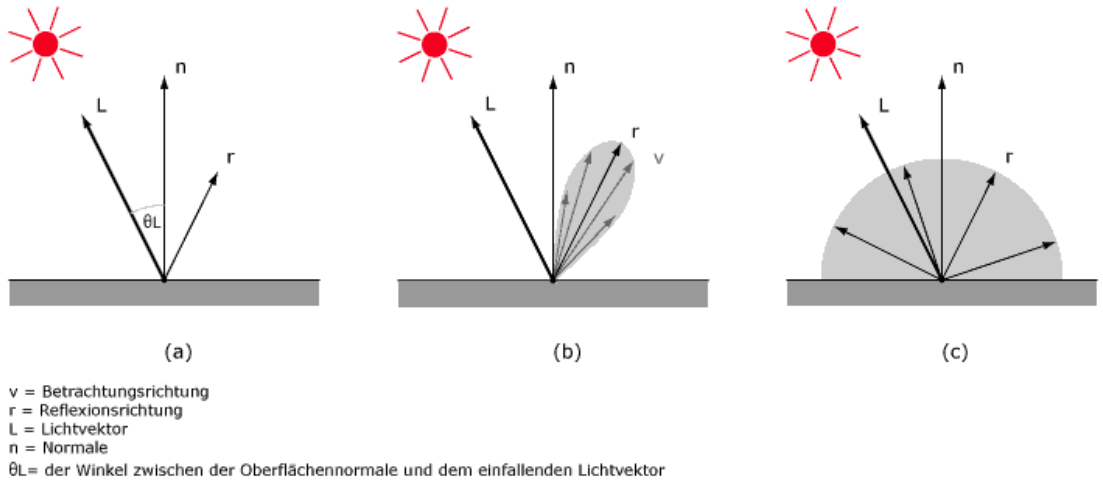


Abbildung 6 (a) Ideale spekulare Reflexion (b) Reale spekulare Reflexion (c) Ideale diffuse Reflexion (Hagler, 2006)

3.1 Reflexionsgrad

Der Reflexionsgrad ρ ist das Verhältnis des einfallenden Strahlungsflusses zum ausfallenden Strahlungsflusses. Er kann Werte zwischen null (gar keine Reflexion) und eins (Totalreflexion, **s. Abschnitt 3.7**) erreichen (Greule, 2015, S. 44).

3.2 Absorptionsgrad und Absorption

Der Absorptionsgrad α steht für den Anteil des Strahlungsflusses, der von einer Oberfläche, aufgenommen wird. Er wird aus dem Verhältnis von einfallender und ausfallender Strahlung gebildet (Jüstel & Schwung, 2019, S. 5).

Unter Absorption wird das Aufnehmen (Umwandeln) von Wellen in andere Energieformen, insbesondere Wärme, verstanden. Unterschieden wird hier zwischen elektromagnetischen Wellen (Strahlung) und Schallwellen. Trifft Strahlung bspw. auf Materie, so wird diese von dem angestrahlten Körper oder Stoff aufgenommen (Meschede, 2015, S. 572-573).

3.3 Transmissionsgrad

Der Transmissionsgrad τ steht für den Anteil des Strahlungsflusses, welcher von einem Körper oder Stoff durchgelassen wird. Er wird aus dem Verhältnis von einfallender und durchgelassener Strahlung gebildet.

In einem abgeschlossenen System kann weder Energie vernichtet werden noch hinzukommen. Daher muss die Summe von Reflexion-, Absorption-, und Transmissionsgrad immer 1 ergeben (Greule, 2015, S. 46-47).

3.4 Brechungsindex und Dispersion

Der Brechungsindex *n* ist eine dimensionslose, materialspezifische Größe und wird auch Brechzahl oder optische Dichte eines Mediums genannt. Er ist abhängig von der Frequenz der Welle. Die Richtung eines Lichtstrahls ändert sich beim Übergang zwischen zwei lichtdurchlässigen Medien an deren Grenzfläche. Der Lichtstrahl wird also gebrochen. Jetzt ist die Geschwindigkeit von Licht in Materie c aber geringer als die Lichtgeschwindigkeit c_0 im Vakuum. Der Brechungsindex wird also aus dem Verhältnis von c_0 zu c berechnet (Wenisch, 2013, S. 116):

$$n = \frac{c_0}{c} \qquad (4)$$

Der Brechungsindex lässt sich auch mit sogenannten Refraktometern bestimmen. Dazu wird der Grenzwinkel bei der Totalreflexion (**s. Abschnitt 3.7**) gemessen. Aus diesem Winkel lässt sich das Verhältnis beider Brechzahlen mit dem dazugehörigen Medium bestimmen. (Wenisch, 2013, S. 128)

Dispersion bedeutet in der Physik die Abhängigkeit der Frequenz einer Welle in Bezug auf deren Ausbreitungsgeschwindigkeit. (Jüstel & Schwung, 2019, S. 41).

3.5 Absorptionskoeffizient

Der Absorptionskoeffizient α oder α' ist eine dimensionslose Größe und wird auch Dämpfungskonstante oder linearer Schwächungskoeffizient genannt. Er steht für die Verringerung der Intensität von elektromagnetischer Strahlung, wenn diese durch ein Medium wandert. In der Optik findet dieser beispielsweise Anwendung in der Röntgen- und Gammastrahlung, wo er mit μ angegeben ist (Willig, chemie-schule.de, 2021).

3.6 Extinktionskoeffizient

Der Extinktionskoeffizient *k* ist in der Optik eine frequenzabhängige, dimensionslose Größe, welche die Schwächung elektromagnetischer Strahlung durch ein Medium angibt. Sollte der Anteil der streuenden Strahlung vernachlässig werden, so kann auch vom Absorptionskoeffizienten gesprochen werden (Willig, chemie-schule.de, 2021).

3.7 Snelliussches Brechungsgesetz

Das Snelliussche Brechungsgesetz, auch Brechungsgesetz gibt die Richtungsänderung einer Welle beim Übergang in ein anderes Medium an (**Abbildung 7**). Diese ergibt sich aus dem jeweiligen Brechungsindex des Mediums. Das Brechungsgesetz wird mit folgender Formel angegeben:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \qquad (5)$$

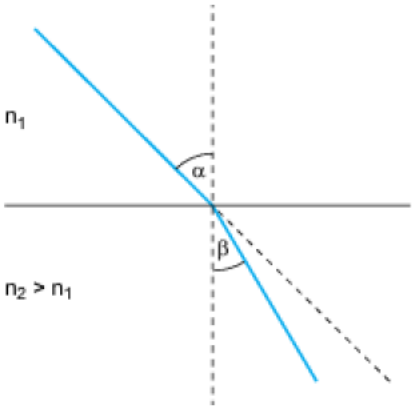


Abbildung 7 Brechungsgesetz anhand zwei Medien (Wenisch, 2013, S. 116)

Der Übergang einer Welle in ein Medium mit optisch höherer Dichte ist immer möglich, ungeachtet des Einfallwinkels. Trifft nun aber eine Welle aus einem optisch dichteren Mediums auf ein optisch dünneres und überschreitet dabei einen bestimmten Grenzwinkel, so kann die Welle ihr optisch dichteres Medium nicht verlassen. Hierbei handelt es sich um die **Totalreflexion** (Wenisch, 2013, S. 116).

3.8 Reflexionsgrad von Metallen berechnen

Ist der Brechungsindex und der Extinktionskoeffizient im gleichen Frequenzbereich bekannt, so lässt sich mit folgender Formel der Reflexionsgrad von Metallen im Medium Luft berechnen (Photonics Media, 2021):

$$R\ (\%) = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} * 100 \qquad (6)$$

3.9 Unterschied im Reflexionsverhalten von UV-C-Strahlung und sichtbarem Licht

Wie bereits erwähnt, wird elektromagnetische Strahlung beim Übertritt eines Medium in ein anderes Medium gebrochen. Daraus resultiert der frequenzabhängige Brechungsindex, welcher das Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zur Ausbreitungsgeschwindigkeit im Medium bildet. Die Geschwindigkeit von elektromagnetischer Strahlung wird wiederum aus dem Produkt von Wellenlänge und Frequenz (**s. Formel (1) Abschnitt 2.1**) gebildet.

Somit ist das Reflexionsverhalten elektromagnetischer Strahlung abhängig von der Frequenz und der Wellenlänge. Dadurch lässt sich das unterschiedliche Reflexionsverhalten von UV-C-Strahlung und sichtbarem Licht erklären, weil diese gänzlich unterschiedliche Wellenlängen und Frequenzen haben, wie bereits in **Abbildung 1** gezeigt.

4 Messung von Reflexionsgrade im Forschungs- und Transferzentrum Hamburg

Das Forschungs- und Transferzentrum Hamburg (FTZ) befindet sich an der Adresse Am Sandtorkai, 27 20457 Hamburg, im 5. Obergeschoss. Es gibt sich dort mehrere offene Büroräume, Showrooms und eine Teeküche. Die Hauptnutzer sind Studierende des Masterstudiengangs Digital Reality.

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, die Reflexionsgrade der vor Ort gegebenen Materialien und Einrichtungsgegenstände zu bestimmen und deren Auswirkungen auf UV-C-Strahlung zu analysieren. Die so ermittelten Reflexionsgrade werden dann in **Kapitel 6** in UV-C-Simulationen verwendet und ausgewertet. Gemessen werden unteranderem Decke, Wände, Boden, tragende Säulen, Mobiliar usw. Für weitere Messungen werden aber auch Materialien betrachtet, welche in der Simulation keinen Einzug finden.

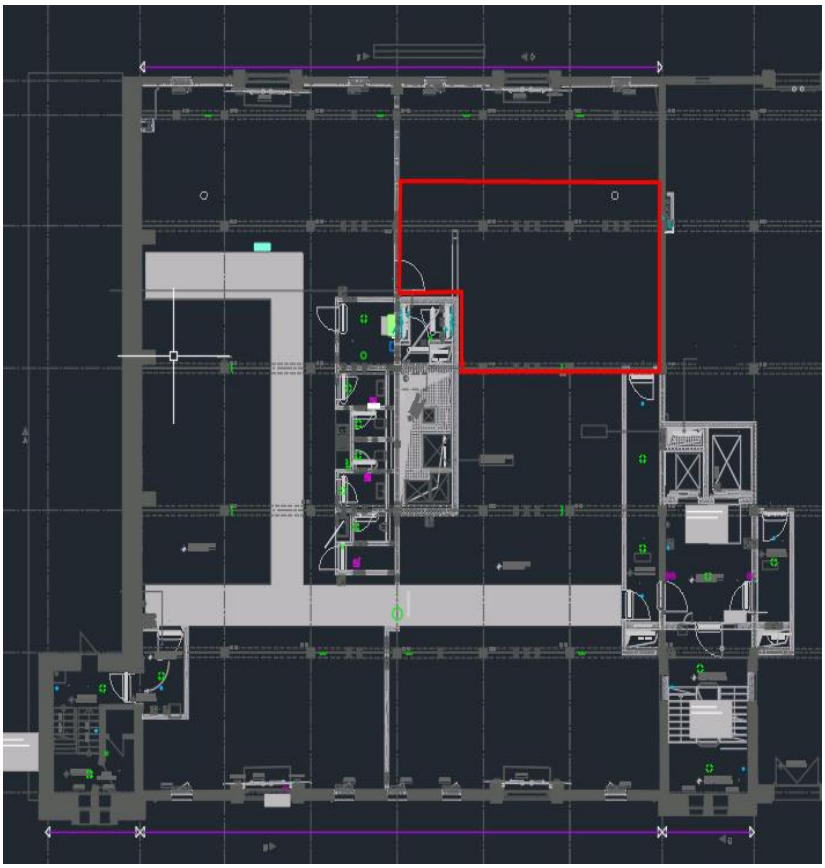


Abbildung 8 CAD-Plan FTZ 5.OG mit markiertem Teil Maßstab 1:50 (eigene Darstellung aus AutoCAD LT)

Der betrachtete Bereich bei der Reflexionsgradmessung bezieht sich hauptsächlich auf den nordöstlichen, im CAD[7]-Plan rotmarkierten Teil aus **Abbildung 8**.

Die eigentlichen Reflexionsgradmessungen sollten zu Beginn dieser Arbeit mit einem professionellen Reflexionsmessgerät, dem LCR-20 der Firma Gigahertz Optik getätigt werden.

[7] computer-aided-design

Allerdings wird aufgrund sehr später Verfügbarkeit dieses Messgerätes im Vorfeld ein eigen konzipiertes Messgerät gefertigt und für Annährungsmessungen verwendet.
Die Reflexionsgradmessungen werden also mit zwei unterschiedlichen Messgeräten durchgeführt, was auch einen Vergleich der gemessenen Werte ermöglicht.

4.1 Messung mit selbst gebautem Messgerät

Bestandteile des selbst gebauten Reflexionsmessgerätes sind ein Radiometer zur Ermittlung der Bestrahlungsstärke, eine UV-C-Lichtquelle und ein Messkasten mit entsprechenden Öffnungen für beide Komponenten.
In der Theorie wird im ersten Schritt einmalig die reine Bestrahlungsstärke der UV-C-Lichtquelle ermittelt. Die UV-C-Lichtquelle (X) wird auf 20 cm Entfernung direkt auf den UV-C-Messkopf (RM) gerichtet, die gelben Pfeile stellen die Richtung der Strahlung dar (**Nullkalibrierung, Abbildung 9**). Die so ermittelte Bestrahlungsstärke dient später als Referenzwert zur Berechnung des Reflexionsgrades.

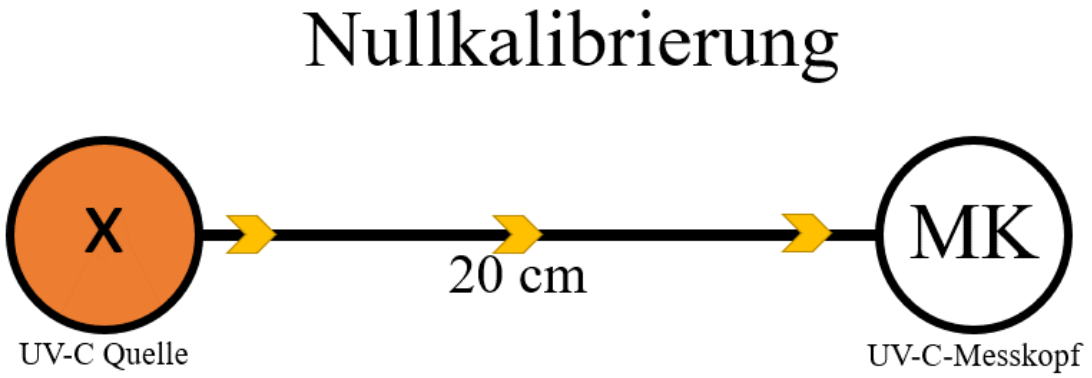


Abbildung 9 Theoretische Nullkalibrierung selbst gebautes Messgerät (eigene Darstellung)

Zum Ermitteln des Reflexionsgrades wird außerdem die reflektierte Bestrahlungsstärke des zu messenden Materials benötigt. Hierzu werden UV-C-Lichtquelle und UV-C-Messkopf **(Abbildung 10)** nebeneinandergelegt und auf 10 cm Entfernung auf das zu messende Objekt gerichtet (**Abbildung 11**). Der Abstand wird hierbei halbiert, damit die UV-C-Strahlung dieselbe Strecke (2 x 10 cm) wie bei der Nullkalibrierung (20 cm) zurücklegt.

Abbildung 10 UV-C-Messkopf (eigene Darstellung)

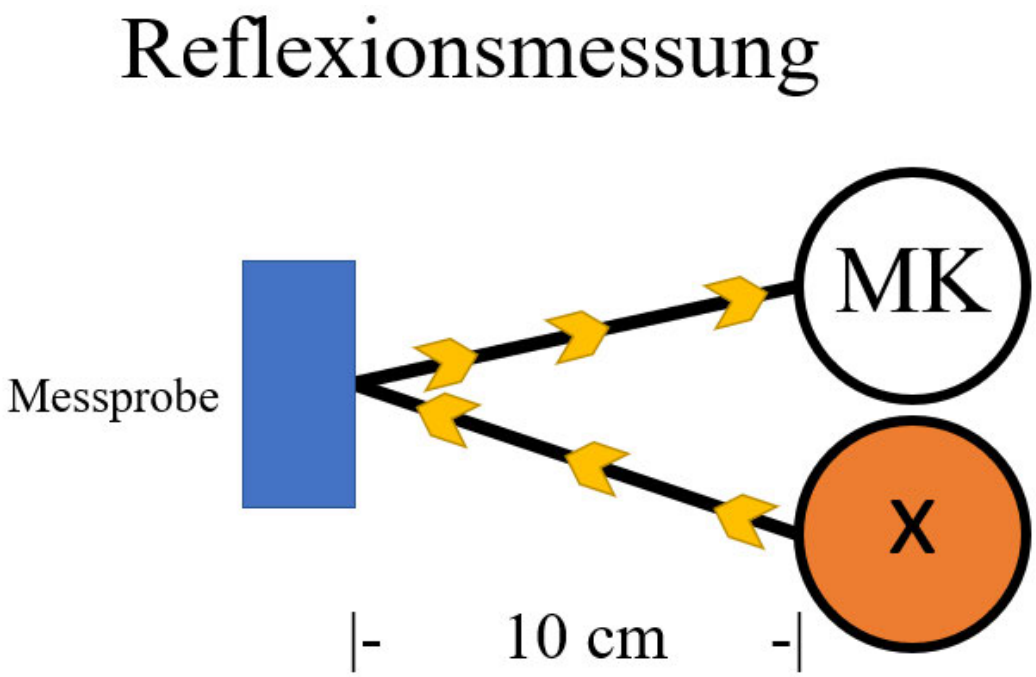


Abbildung 11 Theoretische Reflexionsmessung selbst gebautes Messgerät (eigene Darstellung)

Um immer einen identischen Abstand zum gemessenen Material und zwischen Messkopf und UV-C-Lichtquelle zu gewährleisten, wird ein Messkasten benötigt. Dieser ist 10 cm hoch und mit entsprechenden Öffnungen für Messkopf und UV-C Lichtquelle versehen. Dazu wird in Blender ein 3D-Modell erstellt, welches im 3D Drucker aus schwarzem Kunststoff gedruckt wird. Die entsprechenden Maße finden sich **Abbildung 12**.

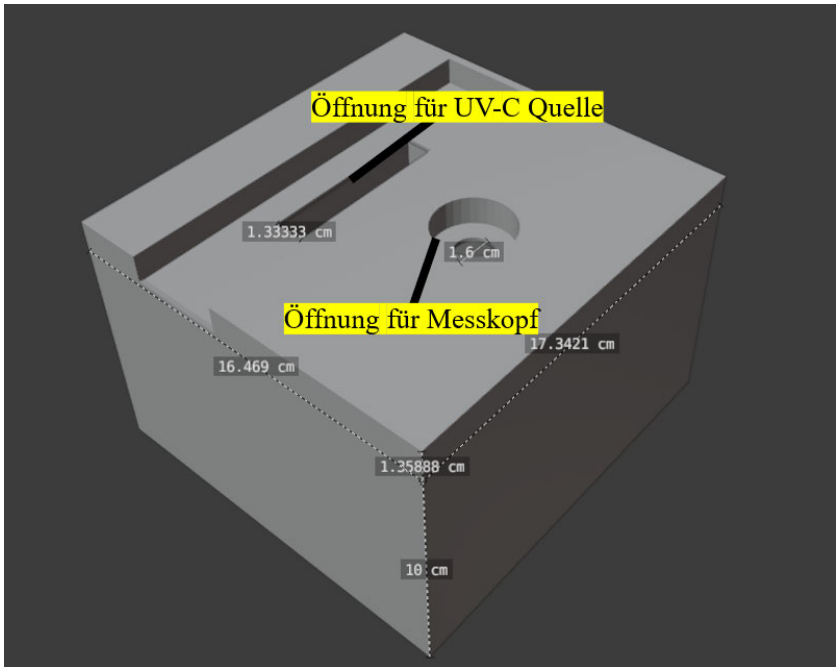


Abbildung 12 3D Modell Messkasten mit Bemaßung (eigene Darstellung aus Blender)

Für die Referenzmessung wird zusätzlich ein Referenzmesskasten (**Abbildung 13**) mit einer offenen Seite benötigt. Dieser hat eine Höhe von 13,55 cm, wovon 3,5 cm für die Höhe des Messkopfes sind. Der Messkopf wird bei der Referenzmessung in den Referenzmesskasten gesetzt und ist dadurch 3,5 cm näher an der UV-C-Lichtquelle. Durch die Höhe von 13,5 cm des Referenzmesskastens wird so eine Strecke von genau 20 cm (Messkasten 10 cm + Referenzmesskasten 13,5 cm – Messkopfhöhe 3,5 cm) erreicht.

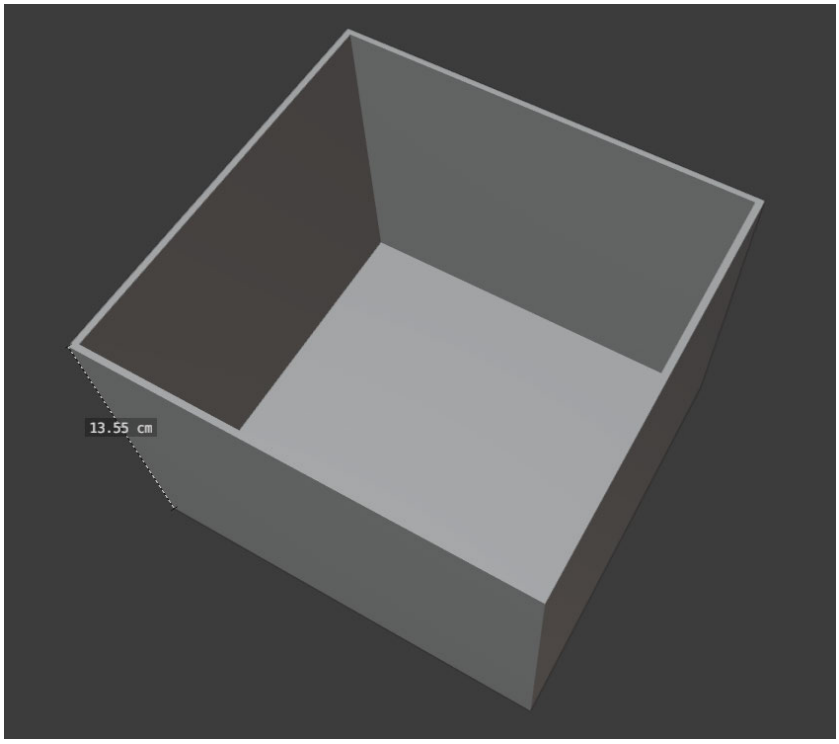


Abbildung 13 3D Modell Referenzmesskasten (eigene Darstellung aus Blender)

Hinweis: *Ursprünglich sollte die Messung mit einem anderen Messgerät vorgenommen werden, welches eine Messkopfhöhe von 3,5 cm hat. Aufgrund von fehlerhaften Messwerten wird dieses aber nicht weiter verwendet und ein weiteres Messgerät mit einer abweichenden Messkopfhöhe (2,1 cm) eingesetzt. Daher beträgt die Entfernung bei der Nullkalibrierung von Messkopf zur UV-C-Lichtquelle 21,4 cm. Bei der Reflexionsmessung wird der Messkopf an und nicht in die vorgesehene Aussparung gelegt. Die Aussparung ist 1,36 cm tief. Somit beträgt der Abstand zu den gemessenen Materialien 11,36 cm. Dadurch ergibt sich eine Differenz von 0,4 cm (21,4 cm Referenzmesshöhe – 11,36 cm Messhöhe Material = 10,04 cm). Es ist also anzunehmen, dass die so ermittelten Werte der Bestrahlungsstärke ein wenig niedriger sind, als sie sein sollten.*

Da es sich hierbei allerdings nur um Annäherungsmessungen handelt, ist dieser Umstand zu vernachlässigen. Die für diese Arbeit zu Analysezwecken verwendeten Reflexionsgrade wurden mit einem professionellen Reflexionsmessgerät durchgeführt.

4.1.1 Verwendete Lichtquelle und Messgerät

Als Radiometer zur Ermittlung der Bestrahlungsstärke wird das Optometer $X1_5$ **(Abbildung 14)** der Firma Gigahertz-Optik mit einem UV-C Messkopf verwendet.

Ausführlichere Produktdaten befinden sich in den Anhängen **Anhang 1 Datenblatt Radiometer X1** und **Anhang 2 Datenblatt Messkopf UV-3725.**

Hinweis: *Das angehängte Datenblatt* **Anhang 1 Datenblatt Radiometer X11 Optometer** *bezieht sich auf den Typ $X1_1$, da vom Hersteller kein aktuelleres Datenblatt existiert. Das $X1_1$ ist eine Vorgängerversion, welche sich in der Funktionsweise und den Ausgabewerten mit dem $X1_5$ deckt.*

Abbildung 14 Gigahertz-Optik X15 Optometer mit angeschlossenem UV-C-Messkopf (eigene Darstellung)

Als UV-C-Quelle wird ein UV-C-Desinfektionsstab (**Abbildung 15**) der Firma newgen medicals genutzt.

Herstellerangaben gemäß Verpackungsaufdruck:

- Wellenlängenbereich: 253,7 nm
- Leistungsdichte: 2500 µW/cm²
- Leistung: 4,5 W

Abbildung 15 newgen medicals UV-Desinfektionsstab 4,5 W (eigene Darstellung)

4.1.2 Messvorbereitung

Wie in **Abbildung 9** auf **Seite 20** bereits gezeigt, wird zuerst die Nullkalibrierung durchgeführt. Hierzu wird der Messkopf gemäß **Abbildung 16** in die geschlossene Seite des Messkastens gelegt. Der Messkopf wird bewusst nicht direkt unter die UV-C-Lichtquelle gelegt, da sich herausstellte, dass der ansonsten so ermittelte Referenzwert starkabweichende Reflexionsgrade im Vergleich zu professionell gemessenen Werten liefert. Anschließend werden in **Abbildung 17** beide Teile des Messkastens übereinandergelegt und die UV-C-Lichtquelle angelegt. Die Öffnung für den Messkopf wird verschlossen, um ein abgeschlossenes System ohne Lichtaustritt zu gewährleisten.

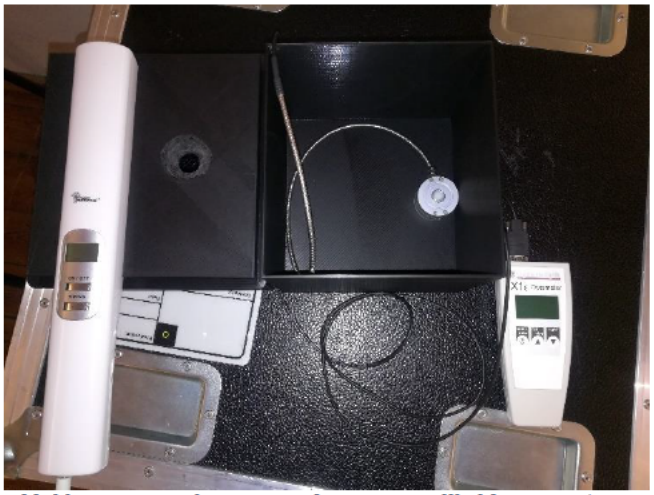


Abbildung 16 Messkasten - Vorbereitung Nullkalibrierung (eigene Darstellung)

Abbildung 17 Messkasten – Nullkalibrierung (eigene Darstellung)

Es wird nach 2 Minuten Einschaltzeit jede Minute die Bestrahlungsstärke gemessen. Die Werte der Minuten 0 bis 2 werden nicht zur Bewertung herangezogen, da die Lampe hier noch nicht ihre volle Leistung erreicht hat. Aus den restlichen Werten der **Tabelle 2** ergibt sich von Minute 3 bis 10 dann der Mittelwert **$\bar{X}$ = 791 mW/m²**, welcher für die Reflexionsgradmessungen verwendet wird.

Nullkalibrierung	
mW/m²	**Einschaltzeit in Min**
405	0
730	2
778	3
796	4
799	5
798	6
795	7
791	8
787	9
784	10

Tabelle 2 Messwerte Nullkalibrierung (eigene Darstellung)

4.1.3 Messdurchführung

Eckdaten zur Messung

Datum der Messung	24.07.2021
Uhrzeit	14:40
Umgebungstemperatur	24,6 °C
Reflexionsmessgerät	Messkasten
Handmessgerät	Gigahertz-Optik Optometer $X1_5$ Seriennummer: 52866
Messkopf	Gigahertz-Optik UV-3725-5 Seriennummer: 54015

Zur praktischen Messung an Objekten werden nun UV-C-Quelle und Messkopf in die entsprechenden Öffnungen des Messkastens gelegt, dieser wird dann eben an Materialien angehalten und der entsprechende Wert der gemessenen Bestrahlungsstärke in mW/m² notiert. Aufgrund schwankender Werte wird jede Messung dreimal durchgeführt und anschließend der Mittelwert $\bar{X}$ gebildet. Anhand **Formel (7)** lässt sich nun der jeweilige Reflexionsgrad berechnen.

$$\rho = \frac{\bar{X}(Material)}{\bar{X}\,(Nullkalibrierung)} * 100 \qquad (7)$$

In **Tabelle 3** findet sich ein Überblick der gemessenen Bestrahlungsstärken $\mathbf{E_{dm}}$, des Mittelwerts $\bar{X}$ und der daraus errechnete Reflexionsgrad ρ des jeweiligen Materials. Die Auswertung diesbezüglich folgt in **Abschnitt 4.4**.

	Messreihe				
	1	**2**	**3**		
Material	**E_{dm} in mW/m²**			**$\bar{X}$ Material**	**ρ in %**
Polstermöbel	15,55	15,80	15,79	15,71	1,99
Schreibtisch schwarz	34,45	33,54	35,55	34,51	4,36
Akustikpanel	36,71	37,22	33,66	35,86	4,53
Dielenboden dunkel	40,58	39,72	40,03	40,11	5,07
Flatscreen „glare“	48,21	42,48	39,89	43,53	5,50
Dielenboden hell	45,98	46,01	46,23	46,07	5,82
Betonsäule	61,82	55,00	62,10	59,64	7,54
Wand weiß	65,57	64,41	67,01	65,66	8,30
Schreibtisch weiß	75,35	107,20	95,02	92,52	11,70
Unterzug aus Beton	105,01	99,25	85,23	96,50	12,20

Tabelle 3 Messprotokoll Reflexionsgradmessung Messkasten, nach Reflexionsgrad aufsteigend sortiert (eigene Darstellung)

4.2 Messung mit Gigahertz Optik LCR-20

Die zweite Reflexionsgradmessreihe wird mit dem LCR-20 Handmessgerät der Firma Gigahertz-Optik durchgeführt. Das LCR-20 ist gesondert für Lichtreflexionsmessungen von Oberflächen im Spektralbereich der UV-Strahlung ausgelegt.

Es ist eine gerichtete (0°) und eine diffuse (45°) Reflexionsgradmessung möglich, indem der Messkopf an zwei unterschiedlichen Positionen angebracht werden kann (**Abbildung 18**). Im Gerät selbst ist eine kollimierte[8] LED-UV-Strahlungsquelle integriert. Als Detektor ist der gleiche Messkopf UV-3725 verbaut, welcher in **Abschnitt 4.1** bereits erwähnt wurde. Zusätzlich gibt es einen Referenzdetektor, welcher Lichtschwankungen ausgleicht. Die Daten werden von einer speziellen Version des $X1_5$-Messgerätes erfasst, korrigiert und ausgewertet.

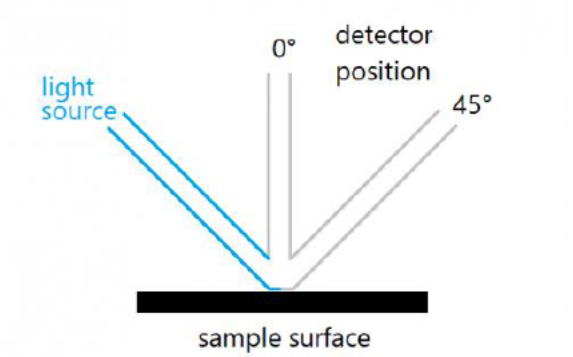


Abbildung 18 LCR-20 Messkopfausrichtung (Gigahertz Optik GmbH, gigahertz-optik.com, kein Datum)

Abbildung 19 zeigt das LCR-20 mit allen Komponenten und der Anbringungsmöglichkeiten für den Messkopf von 0° und 45°. Die jeweils nicht genutzte Öffnung für den Messkopf lässt sich mit den schwarzen Reglern verschließen, um so einen Strahlungsaustritt zu vermeiden.

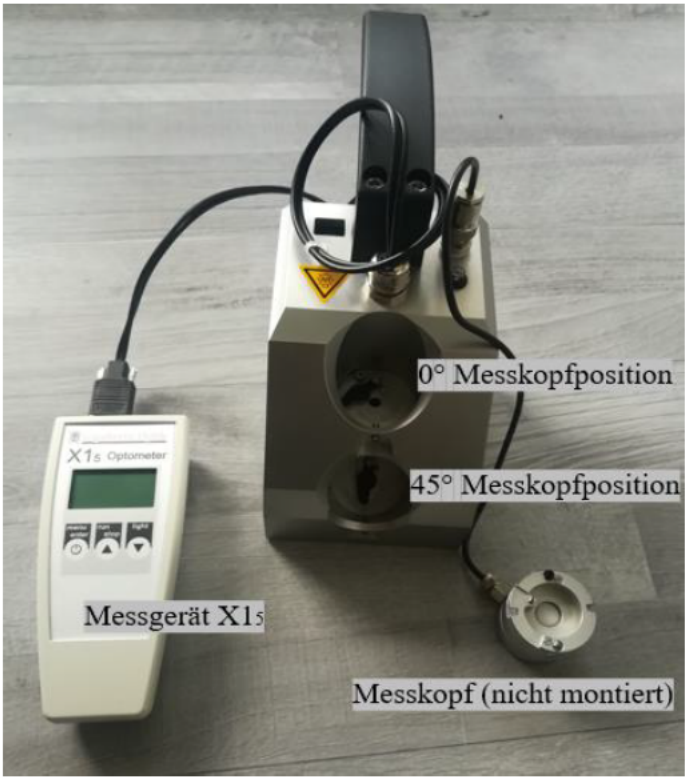


Abbildung 19 LCR-20 Detailansicht (eigene Darstellung)

[8] parallel gerichtete Lichtstrahlen durch Sammellinse (Willig, 2021)

Auf der Unterseite des Geräts (**Abbildung 20**) befinden sich, die um 45° geneigte, LED-UV-Quelle, sowie ein Detektionssensor. Der Sensor schaltet die LED automatisch aus, wenn sich das Gerät nicht in der Nähe einer Oberfläche befindet, um eine Gefährdung durch die UV-Strahlung zu vermeiden. Signalisiert wird dies durch eine LED auf der Oberseite des Gerätes, welche durch grün (ausgeschaltet) und rot (eingeschaltet) den Status angibt.

Außerdem befinden sich hier die beiden Kollimatoren (Sammellinsen) auf 0° und 45°, welche das einfallende Licht bündeln und an den darüberliegenden Messkopf weiterleiten.

Ausführlichere Produktdaten befinden sich im **Anhang 3 Datenblatt LCR-20**.

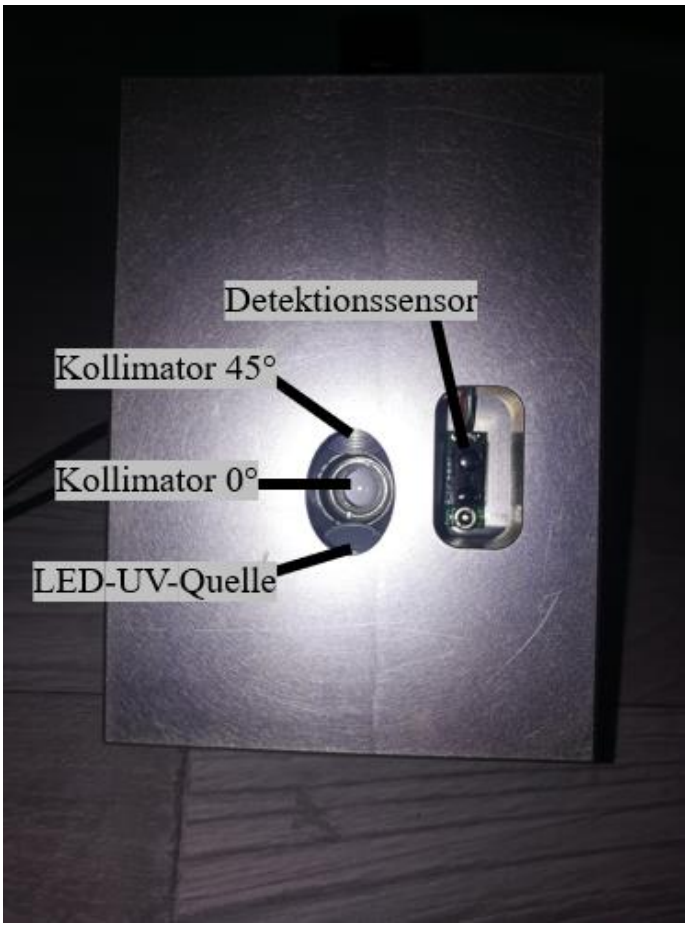


Abbildung 20 LCR-20 Unterseite detailliert (eigene Darstellung)

4.2.1 Messvorbereitung

Bevor die eigentliche Reflexionsmessung durchgeführt werden kann, muss das Gerät kalibriert werden. Hierzu wird der mitgelieferte Kalibrierstandard BN-R98-D2 (**Abbildung 21**) verwendet. Dieser besteht aus ODM98, ein synthetischer Kunststoff, der bestmögliche Reflexion im UV-VIS-NIR(ultraviolet-visible-near infrared) bietet.

Zur Kalibrierung wird das LCR-20 im eingeschalteten Zustand auf den Kalibrierstandard aufgesetzt und der ermittelte Wert (hier 96,5%) im Messgerät $X1_5$ als Referenzwert eingetragen.

Abbildung 21 Kalibrierstandard BN-R98-D2 (eigene Darstellung)

4.2.2 Messdurchführung

Eckdaten zur Messung

Datum der Messung	07.08.2021
Uhrzeit	10:15
Umgebungstemperatur	22,5 °C
Reflexionsmessgerät	Gigaherz-Optik LCR-20 Seriennummer: 53201
Handmessgerät	Gigahertz-Optik Optometer $X1_5$ Seriennummer: 52770
Messkopf	Gigahertz-Optik UV-3725-1 Seriennummer: 53170

Die Messungen können zu jeder Tageszeit durchgeführt werden, da wie bereits in **Abschnitt 2.2** erwähnt, keine UV-C-Strahlung in natürlicherweise auf der Erde vorkommt. Zur absoluten Sicherheit sollten aber eventuelle, künstliche UV-C-Quellen ausgeschaltet sein.

Zur Bestimmung des Reflexionsgrades werden das Radiometer $X1_5$ und das LCR-20 eingeschaltet und auf eine ebene Fläche des zu messenden Materials gesetzt. Wichtig ist hierbei, dass das Gerät eben aufliegt, da sonst Messfehler durch entweichende UV-Strahlen entstehen.

Abbildung 22 zeigt beispielhaft eine Messung am Dielenboden. Das LCR-20 liegt eben auf dem Material (Boden) an und das Radiometer zeigt den gemessenen Reflexionsgrad, hier 4,0 %, an.

Abbildung 22 Reflexionsgradmessung Dielenboden (eigene Darstellung)

Dieses Prozedere wird mit weiteren Materialien wieder jeweils in 3 Messreihen durchgeführt und daraus der Mittelwert gebildet.

Es ist anzumerken, dass je nach Positionierung des LCR-20 ziemlich unterschiedliche Messwerte entstehen können. Besonders bei Aluminiumfolie wird dies deutlich. Vermutlich ist dies durch die Beschaffenheit der Folie zu erklären, welche sehr leicht Knicke bekommt und dadurch gänzlich unterschiedliche Reflexionen stattfinden können.

Eine detaillierte Auswertung der Messwerte folgt im anschließenden **Abschnitt 4.3**.

4.3 Analyse

In **Tabelle 4** finden sich die Nummerierung (**n**) und das dazugehörige **Material**, die gemessenen Reflexionsgrade (***ρ***) der jeweiligen Messreihe und der daraus resultierende Mittelwert(***X̄ρ***), beides in %, wieder. Im folgenden Abschnitt werden einige Materialien genauer betrachtet, deren Reflexionseigenschaften bewertet und versucht die Ursachen für deren Reflexionsverhalten zu verstehen.

		Messreihe			
		1	**2**	**3**	
n	**Material**	***ρ* in %**			***X̄ρ***
1	Spiegel	0,00	0,10	0,00	0,03
2	Flatscreen "glare"	0,90	0,70	0,50	0,70
3	Vorhang blau	1,10	1,20	2,10	1,47
4	Schreibtisch weiß	1,50	2,50	2,30	2,10
5	Polstermöbel	2,30	2,20	2,70	2,40
6	Raumtrenner hängend, grau	2,30	2,50	2,40	2,40
7	Anthrazitschrank	2,90	2,70	3,10	2,90
8	Dielenboden dunkel	3,60	2,20	2,90	2,90
9	Schrank weiß	3,10	3,20	3,30	3,20
10	Dielenboden hell	3,70	4,00	4,10	3,93
11	Abdeckung SM345C innen	3,90	4,10	4,00	4,00
12	Schreibtisch schwarz	4,60	4,90	4,30	4,60
13	Abdeckung SM345C außen	4,70	4,80	4,40	4,63
14	Tür anthrazit	5,20	4,10	5,00	4,77
15	Akustikpanel	5,00	5,50	5,90	5,47
16	Wand weiß	7,10	7,90	7,50	7,50
17	Decke Rauputz weiß	7,40	7,60	7,50	7,50
18	Betonsäule	7,90	8,80	9,70	8,80
19	Kabeltrasse	9,10	14,70	11,00	11,60
20	Unterzug aus Betonkiesgemisch	14,10	13,00	19,70	15,60
21	Aluminiumleiter(Duralumin)	15,90	17,40	15,30	16,20
22	Aluminiumfolie mattierte Seite	29,00	19,00	36,00	28,00
23	Aluminiumfolie glänzende Seite	76,00	83,00	81,00	80,00
24	polierter Edelstahl	88,00	76,10	92,80	85,63

Tabelle 4 Messprotokoll Reflexionsgradmessung LCR-20, nach Reflexionsgrad aufsteigend sortiert (eigene Darstellung)

Dass ein **Spiegel** (n1) einen Reflexionsgrad von 0,03 % aufweist, würde im ersten Moment nicht vermutet werden. Wird das Reflexionsverhalten sichtbarer Strahlung betrachtet, könnte die gleiche Annahme auch bei UV-C-Strahlung getroffen werden. Handelsübliche Spiegel sind aus Standardglas, auch bekannt als Kalk-Natron-Glas (Wikipedia, 2021), gefertigt und sind an ihrer Rückseite mit einer Aluminiumbeschichtung versehen. Sichtbares Licht transmittiert durch das Glas und trifft auf die Aluminiumfolie, welche die eigentliche Lichtreflexion hervorruft. Da Standardglas aber nahezu 100 % der UV-C-Strahlung absorbiert (IUVA Ultraviolet Association, kein Datum), kann diese nicht auf die sehr gut reflektierende Aluminiumbeschichtung treffen. Deutlich wird diese Eigenschaft auch anhand **Abbildung 23**, welche eine Transmission im UV-C-Bereich von 0% zeigt.

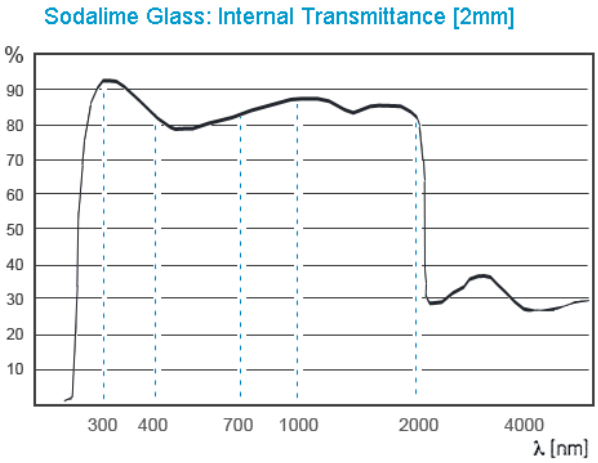


Abbildung 23 Transmissionsverhalten von Kalk-Natron-Glas (Volume Precision Glass, kein Datum)

Werden die Werte von **Schreibtisch weiß** (n4, 2,10 %) und **Schreibtisch schwarz** (n12 4,60 %) betrachtet, so fällt auf, dass der schwarze Schreibtisch sogar eine fast doppelt so hohe Reflexion aufweist. Der Grund hierfür konnte nicht hinreichend ausgemacht werden. Allerdings wird auch hier deutlich, dass das Reflexionsverhalten zur sichtbaren Strahlung deutlich abweicht.

Generell zeigen der Dielenboden (n9, n10) und viele weitere synthetische (lackierte) Materialien (n2, n3, n5, n6, n7, n9, n14, n15) ein geringes Reflexionsverhalten von 0,70 % - 5,47 %.

Wand (n16) und Decke (n17) haben den gleichen Reflexionsgrad von 7,50 %, da hier vermutlich dieselbe Wandfarbe aufgetragen wurde. Der etwas höher ausfallende Reflexionsgrad kann mit dem farbgebenden Pigment Titandioxid (TiO_2),

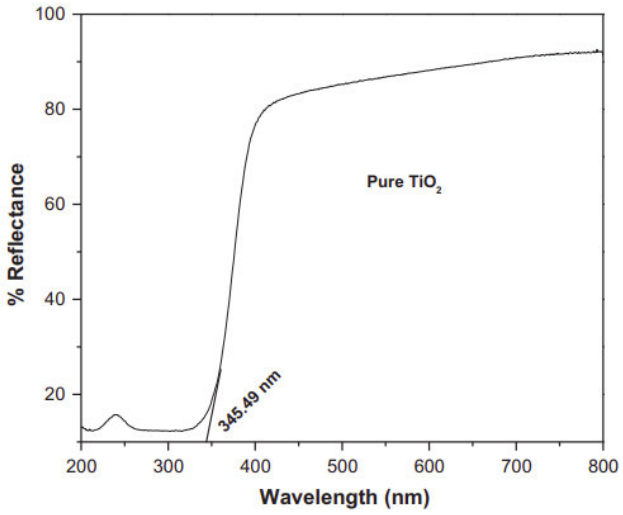


Abbildung 24 Reflexionsverhalten von Titandioxid (Praveen, Viruthagiri, Mugundan, & Shanmugam, 2013)

welches häufig in Wandfarbe verwendet wird (Deutsches Lackinstitut GmbH, kein Datum), erklärt werden. **Abbildung 24**, zeigt die Reflexionseigenschaften von TiO_2 im Spektrum von 250 nm – 800 nm. Auffallend ist hier der durchgehend sehr hohe Reflexionsgrad im sichtbaren Bereich (380 nm – 780 nm) und die rapide Abnahme im UV-Bereich ab 380 nm. Bestätigt wird diese Beobachtung von (Krishna, et al., 2018), wo TiO_2 eine absorbierende Wirkung im UV-Bereich und eine reflektierende im sichtbaren Bereich aufweist.

Generell haben alle metallischen Materialien einen moderaten (Duralumin, n21, 16,5 %), bis sehr hohen (Aluminiumfolie matt n22, 28 % + glänzend n23 80 %, sowie polierter Edelstahl n24, 85,63 %) Reflexionsgrad. **Abbildung 25** verdeutlicht das hohe Reflexionsverhalten von metallischen Stoffen im UV-C-Bereich. Metallische Stoffe haben in fast allen Wellenlängen einen hohen Reflexionsgrad. Dies beruht auf dem hohen Absorptionskoeffizienten, wodurch Strahlung nur eine kurze Distanz in metallischen Stoff zurücklegen kann. Zusätzlich weisen einige metallische Stoffe einen niedrigen Brechungsindex auf. Unter Berücksichtigung des Brechungsgesetzes wird Strahlung aus einem optisch dichteren Medium beim Übergang in ein optisch dünneres Medium stärker reflektiert (Goncalves, 2021).

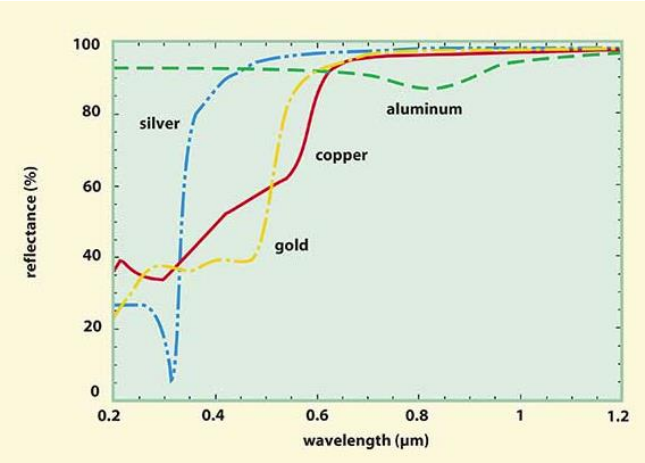


Abbildung 25 Reflexionsverhalten verschiedener Metalle im Spektrum von 200 nm - 1200 nm (Photonics Media, 2021)

Ein Auszug aus dem Datenblatt der UV-C-Deckenleuchte Philips Upper Air SM345C (**Abbildung 26**) zeigt, dass die Abdeckungen (n11, n13) aus Aluminium bestehen. In der Praxis sind diese aber weiß lackiert und haben bei der Messung Werte von 4,00 %, bzw. 4,63 % ergeben. Werden nun die Reflexionsgrade der Aluminiumfolie, bzw. von Aluminium betrachtet, so kann geschlussfolgert werden, dass durch spezielle Lackierungen die reflektiven Eigenschaften von Materialien im UV-C-Bereich stark herabgesetzt werden können.

Mechanische Kenndaten	
Gehäusematerial	Aluminium
Reflektor-Material	Aluminium
Optisches Material	Aluminium

Abbildung 26 Mechanische Kenndaten SM345C (Signify GmbH, lighting.philips.de SM345C, 2021)

4.4 Vergleich der Messwerte Messkasten und LCR20

Die bereits vorgestellten Reflexionsmessgeräte aus den **Abschnitten 4.1** und **4.2** werden nun miteinander verglichen in Bezug auf deren Messwerte. Das grundlegende Funktionsprinzip der beiden Reflexionsmessgeräte ist gleich. Es wird eine UV-C-Lichtquelle auf das zu messende Material gerichtet und mit einem Messkopf die reflektierte Bestrahlungsdosis erfasst. Daher ist es interessant zu prüfen, inwieweit ein selbst gebautes Reflexionsmessgerät verwertbare Ergebnisse liefern kann.

Dazu werden alle, mit beiden Geräten gemessenen, Materialien in **Tabelle 5** noch mal zusammengefasst.

n	Material	ρ in % Messkasten	ρ in % LCR 20
1	Flatscreen "glare"	5,50	0,70
2	Schreibtisch weiß	11,70	2,10
3	Polstermöbel	1,99	2,40
4	Dielenboden dunkel	5,07	2,90
5	Dielenboden hell	5,82	3,93
6	Schreibtisch schwarz	4,36	4,60
7	Akustikpanel	4,53	5,47
8	Wand weiß	8,30	7,50
9	Betonsäule	7,54	8,80
10	Unterzug aus Betonkiesgemisch	12,20	15,60

Tabelle 5 Auflistung gemessene Reflexionsgrade Messkasten und LCR-20. Aufsteigend nach LCR-20 Messwerten (eigene Darstellung)

Es wird nun die absolute prozentuale Abweichung der Messwerte des Messkastens zum LCR-20 gebildet und daraus ergeben sich folgende Werte in **Tabelle 6**.

n	Material	$\lvert\Delta\rvert$ in % Messkasten zu LCR-20
1	Flatscreen "glare"	87,28
2	Schreibtisch weiß	82,05
3	Polstermöbel	20,81
4	Dielenboden dunkel	42,81
5	Dielenboden hell	32,47
6	Schreibtisch schwarz	5,43
7	Akustikpanel	20,57
8	Wand weiß	9,65
9	Betonsäule	16,71
10	Unterzug aus Betonkiesgemisch	27,88
	$\bar{X}$	34,57

Tabelle 6 absolute Abweichungen und der daraus resultierende Mittelwert der Messergebnisse vom Messkasten zum LCR-20 (eigene Darstellung)

Der Flatscreen (n1) und der weiße Schreibtisch (n2) sind mit über 80 % Abweichung als Ausreißer zu betrachten. Der Mittelwert der prozentualen Abweichung liegt bei 34,57 %, also gut einem Drittel. Werden die Messwerte ohne die zwei Ausreißer (n1, n2) berechnet, so ergibt sich ein Wert von 22,04 %.

Prozentual betrachtet erscheinen die Werte sehr hoch, wird aber ein Blick auf die eigentlichen Messwerte aus **Tabelle 5** geworfen, so wirken die Zahlen weniger groß. Als Beispiel ist das Akustikpanel (n7) zu nehmen, wo 4,53 % (Messkasten) gegenüber 5,47 % bereits 20,57 % Abweichung ergeben. Aufgrund der sehr niedrigen Zahlen wirken sich bereits kleine Abweichungen prozentual sehr stark aus.

Sehr gute Werte werden beim schwarzen Schreibtisch (n6, |Δ| 5,43 %) und der weißen Wand (n8, 9,65 %) erzielt. Generell sind, bis auf die beiden Ausreißer, alle Werte für eine Annäherungsmessung geeignet.

Der selbst gebaute Messkasten ersetzt also nicht ein professionelles Reflexionsmessgerät in absoluter Genauigkeit, kann aber für Annäherungsmessungen von Materialien und deren Reflexionsverhalten im UV-C-Bereich eingesetzt werden.

5 Messung von UV-C-Strahlung im Forschungs- und Transferzentrum Hamburg

In diesem Kapitel wird eine installierte UV-C-Beleuchtungsanlage vor Ort mit einem Messraster versehen und auf unterschiedlichen Messhöhen die Bestrahlungsstärke auf horizontaler Ebene ermittelt. Eine horizontale Messausrichtung wird gewählt, weil es sich hierbei um die Ermittlung von Bestrahlungsstärken und das Reflexionsverhalten von Materialien zu Analysezwecken handelt. Eine senkrechte Messung wäre bei einer Gefahrenanalyse und einer möglichen Überschreitung des Grenzwertes der Expositionsdauer zielführender.

Der zu messende Bereich ist ein offenes Büro mit angrenzendem offenen Flur. Es handelt sich um denselben Bereich, in dem bereits ein Großteil der Reflexionsgradmessungen durchgeführt wurden. In **Kapitel 4** wurde das Forschungs- und Transferzentrum Hamburg (FTZ) schon genauer beschrieben, weswegen sich hier im Detail auf den gemessenen Bereich und die dort installierte Beleuchtungsanlage bezogen wird.

Ziel ist es, mit den gemessenen Bestrahlungswerten eine Analyse in Relux mit UV-C-Plug-in simulierten Werten durchzuführen.

5.1 Eigenschaften des Büros

Das Büro hat auf der Nordseite mehrere Büroarbeitsplätze und auf der Südseite einen offenen Flurbereich, in dem auch die UV-C-Leuchten montiert sind. Der offene Flurbereich erstreckt sich südseitig noch weiter, wurde aber bei der Messung mit einem Vorhang als Raumtrenner begrenzt. **Abbildung 27** gibt einen besseren Überblick über die Örtlichkeit.

Abbildung 27 Bilderstrecke FTZ: (1)Büroarbeitsplätze (2)Büroarbeitsplätze (3)offener Flur (4)offener Flur mit geöffnetem Vorhang (eigene Darstellung)

Im Flurbereich sind zwei UV-C Leuchten des Typs SM345C (siehe **Anhang 4 Datenblatt Philips SM345C)** der Firma Signify als Deckenmontage auf 2,65 m installiert. Die tatsächliche Unterkante der Leuchten beträgt 2,50 m, da diese mit Stahlgewinden um 15 cm tiefer gesetzt sind, um die Deckenreflexion der austretenden UV-C-Strahlung zu vermindern. Als Lampen sind pro Leuchte 4 x TUV PL-S 9W (siehe **Anhang 5 Datenblatt TUV PL-S**) verbaut. Das sind G23 Sockel Niederdruck-Quecksilberdampf-Entladungslampen, welche auf eine Gesamtstrahlungsleistung von 358 mW kommen und im Bereich von 254 nm emittieren.

Die Leuchten sind zur Desinfektion auf Deckenhöhe konzipiert und daher für den Dauerbetrieb geeignet, sofern keine direkte Gefährdung für anwesende Personen durch austretende UV-C-

Strahlung besteht. Um effizient arbeiten zu können, muss daher für eine ausreichende Luftzirkulation gesorgt werden (ZVEI & Fachverband Licht, 2021, S. 8).

Abbildung 28 zeigt die Lichtverteilungskurve (LVK) der SM345C als Polardiagramm im C-Ebenen-System. Eine dreidimensionale Darstellung erweist sich oft als schwierig, weshalb die Strahlungsrichtung in C0/C180° und C90/270° abgebildet wird (Greule, 2015, S. 37-38). 0° in der Abbildung bedeuten senkrecht unter der Lampe. (Prediger, kein Datum). An der gezeigten LVK lässt sich die senkrechte, um wenige Grad zur Decke neigende und nahezu symmetrische Abstrahlung erkennen.

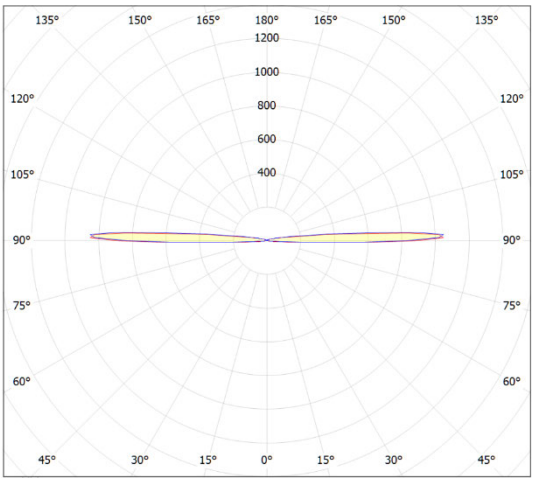


Abbildung 28 zweidimensionale Lichtverteilungskurve SM345C. C0/180° rote Kurve, C90/270° blaue Kurve (eigene Darstellung aus LDT Editor)

Abbildung 29 zeigt die Positionen der Leuchten (blaue Quadrate), so wie deren Abstände zu den Wänden und untereinander. Zusätzlich sind hier die Bemaßungen des zu betrachtenden Bereichs abzulesen.

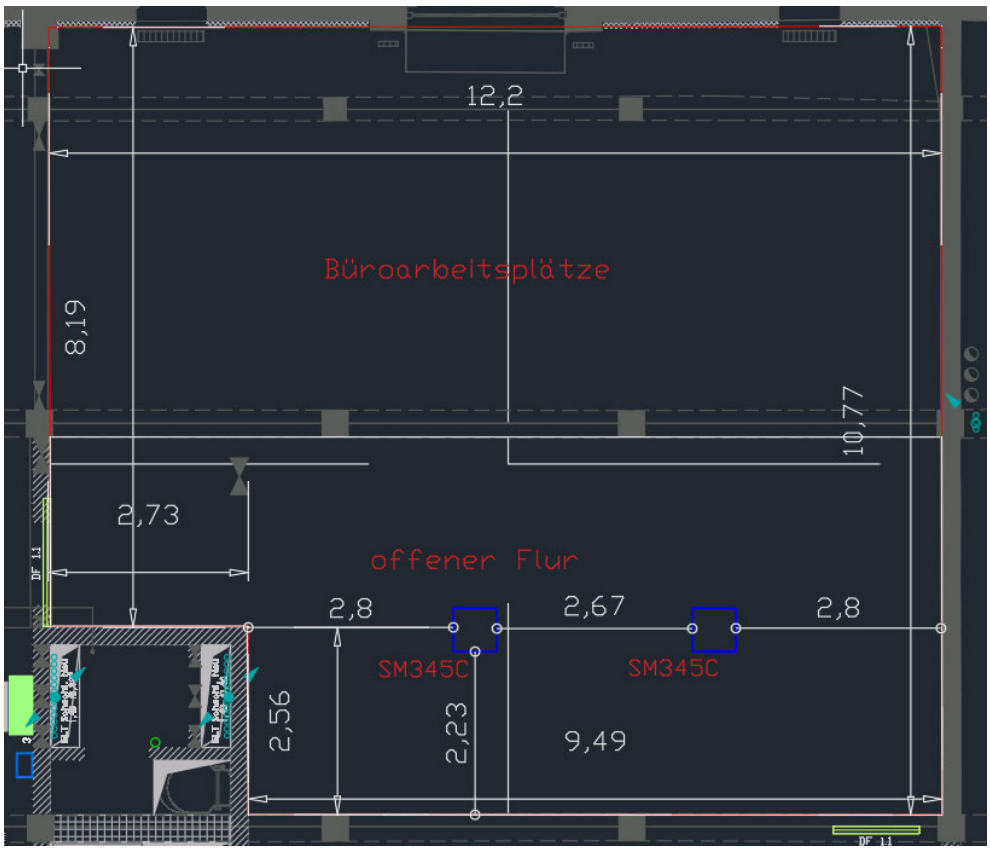


Abbildung 29 CAD-Plan FTZ bemaßter Bereich mit Leuchten (blaue Quadrate) und deren Abstände in Meter. Maßstab 1:50 (eigene Darstellung aus AutoCAD LT)

5.2 Messvorbereitung

Die Messvorbereitung findet in Anlehnung an die DIN 5035-6[9] statt. Im Unterschied zu einer herkömmlichen Messung der Beleuchtungsstärke kann die Ermittlung der Bestrahlungsstärke auch bei Tageslicht durchgeführt werden, da wie bereits in **Abschnitt 2.2** bereits erwähnt, keine UV-C-Strahlung in natürlicher Weise auf der Erde existiert. Es ist dennoch sicherzustellen, dass keine weiteren (UV-C)Strahlungsquellen, außer der zu messenden, eingeschaltet sind.

Laut (ISO, 2016, S. 4)[10] wird empfohlen die Messungen direkt nach der Installation der Anlage zu tätigen.

Ein Zitat aus der DIN 5035-6 lautet: „Vor Beginn der Messung sind die Lampen in den Leuchten im ungedimmten Zustand so lange einzubrennen, bis ein stationärer Zustand der Anlage erreicht ist“ (Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 5035-6:2006-11 Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 6: Messung und Bewertung, 2009, S. 12 Anmerkung 1). Obwohl sich diese Aussage auf eine Messung für die Bestimmung der Beleuchtungsstärke bezieht, sollte sie dennoch befolgt werden. Die zu messenden Lampen sind Gasentladungslampen, welche nicht sofort bei ihrer Zündung die maximale Ausbeute an Bestrahlungsstärke abgeben. Daher muss auf eine ausreichende Einschaltzeit geachtet werden, bevor die Bestrahlungsstärke ermittelt wird.

Bevor gemessen werden kann, muss der zu betrachtende Bereich abgegrenzt und mit einem Messraster in rechteckige, wenn möglich quadratische Flächen unterteilt werden. Testmessungen im Vorfeld haben ergeben, dass im hinteren Teil der Büroarbeitsplätze je nach Höhe sehr geringe und oftmals keine Bestrahlungsstärke gemessen werden konnte. Der Grund hierfür ist ein Unterzug, welcher genau den Strahlengang der Leuchten blockiert. Durch diese Erkenntnis wird die relevante Messfläche auf den in **Abbildung 30** grünen Bereich verkleinert. Außerdem sind bereits die Längen der Strecken *a* und *b* ermittelt (gelbe Bemaßung), welche im nächsten Schritt zur Berechnung des Messrasters benötigt werden.

[9] DIN 5035-6:2006-11
[10] ISO 15858:2016-07

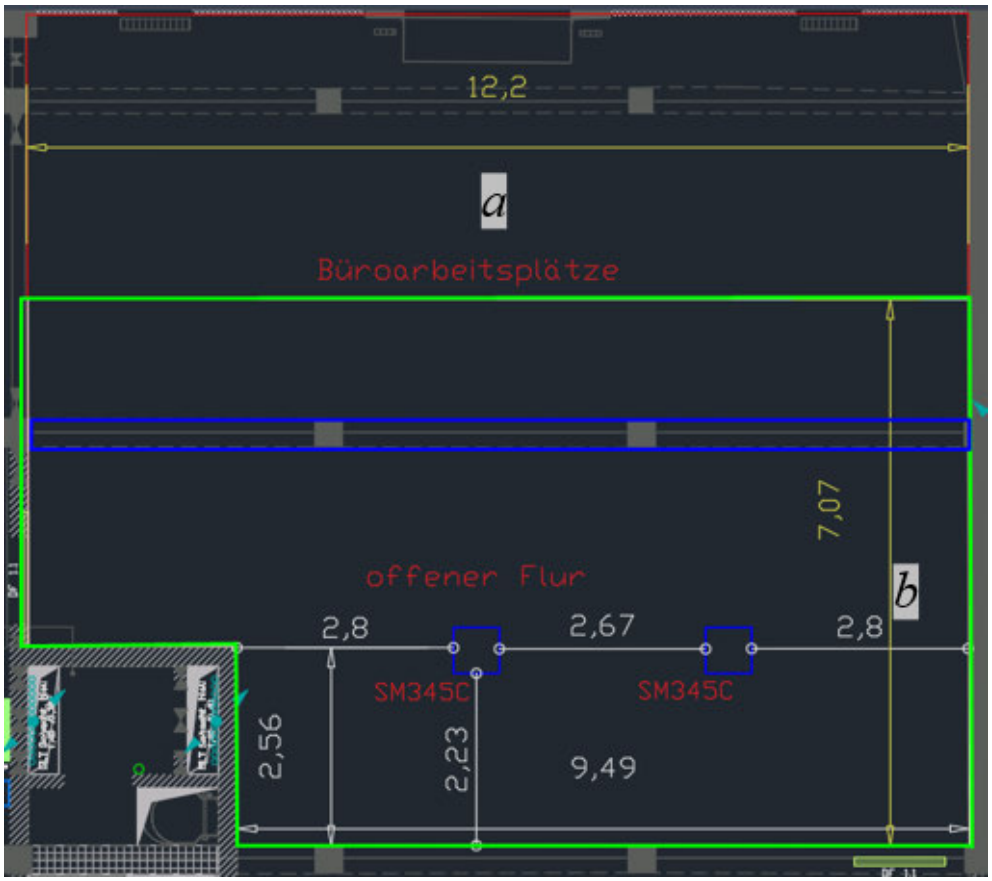


Abbildung 30 CAD-Plan FTZ mit eingegrenztem Bereich (grüner Rahmen), Bemaßung neuer Bereich (gelb) und Unterzug (blauer Balken). Maßstab 1:50 (eigene Darstellung aus AutoCAD LT)

Das Messrasters lässt sich laut (Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 5035-6:2006-11 Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 6: Messung und Bewertung, 2009, S. 14) mit folgender Formel berechnen:

$$p = 0{,}2 * 5^{log_{10}d} \qquad (8)$$

p steht für das größtmögliche Rastermaß der längeren Seite *a* des zu bewertenden Bereichs.

d steht für die Länge von *a*. falls *a* / *b* größer als 2:1 ist, so wird als für *d* die Länge der Seite *b* genommen.

Das Verhältnis von *a* zu *b* ist in diesem Fall nicht größer als 2:1, sodass die Länge von *a* in Formel (8) eingesetzt wird und sich daraus ein Messpunktabstand von 1,09 m errechnet.

Beim Übertragen des Messrasters in Relux ergaben sich Probleme bei den Abständen (Relux berechnet diese automatisch je nach Geometrie der Messebene). Deshalb wird die Größe der Messebene auf 12 m (*a*) und 7 m (*b*) angepasst. Da die Messungen auf 3 verschiedenen Höhen getätigt werden, wird der Abstand der Messpunkte erhöht und die Anzahl reduziert, um den

Messaufwand im Rahmen zu halten. Zu begründen ist dies auch damit, dass die Messungen nicht für eine klassische Bewertung der Beleuchtungsanlage, sondern viel mehr zu Analyse zwecken und das Reflexionsverhalten von Materialien verwendet werden.

Aus der neudefinierten Messfläche ergibt sich das Messraster aus **Abbildung 31**. Der Abstand der Messpunkte in x-Richtung beträgt 1,5 m und in y-Richtung 1,4 m.

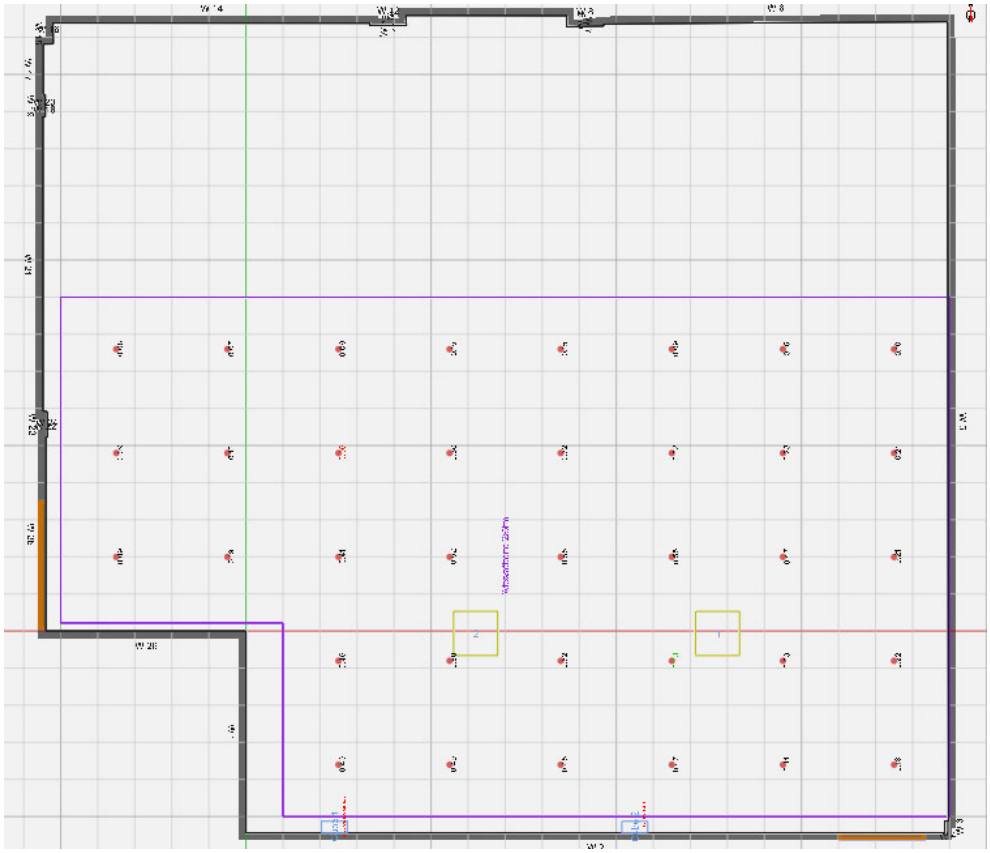


Abbildung 31 Messraster (eigene Darstellung aus Relux mit UV-C-Plug-in)

Um die Messungen auf unterschiedlichen Höhen immer am exakt selben Punkt vornehmen zu können, werden zunächst die einzelnen Messpunkte mit Klebeband, wie auf **Abbildung 32** zu sehen, im Raum markiert. Auch eventuelle Nachmessungen können so leicht vollzogen werden.

Abbildung 32 abgeklebte Messpunkte (eigene Darstellung)

Zum Einhalten einer gleichen Messhöhe wird der Messkopf in horizontaler Position auf ein Stativ fixiert, wie **Abbildung 33** zeigt.

Abbildung 33 Messkopf auf Stativ (eigene Darstellung)

Die Leuchten werden vor Beginn der Messung für ca. 10 min eingeschaltet, um eine konstante Betriebsleistung zu erreichen.

Für alle Messungen der Bestrahlungsstärke werden das Messgerät von Gigahertz-Optik Optometer $X1_5$ mit der Seriennummer 52866, sowie der dazugehörige Messkopf UV-3725-5 mit der Seriennummer 54015 verwendet.

***Hinweis**: Aufgrund der schädigenden Wirkung von UV-C-Strahlung auf den menschlichen Organismus sind bei allen Messungen entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Es ist sicherzustellen, dass Schutzbrillen mit entsprechendem UV-C-Schutz und Handschuhe getragen werden. Das Aussetzen direkter UV-C-Strahlung sollte so kurz wie möglich gehalten werden!*

5.3 Messung auf den Höhen 2,5 m, 1,83 m, 0,8 m

Die ersten Messungen werden auf den Höhen 2,5 m, 1,83 m und 0,8 m mit horizontaler (**Begründung s. 5**) Ausrichtung des Messkopfes durchgeführt. Das Inventar vor Ort wird dabei nicht verändert, d. h. eventuell auftretende Reflexionen von Möbeln fließen in die Messung mit ein.

Auf 2,5 m befindet sich in etwa genau der Mittelpunkt der Leuchte. Hier kann die reine Bestrahlungsstärke ermittelt werden. 1,83 m entsprechen der „Safety Zone“ aus ReluxUVC, welche in **Kapitel 6** genau definiert wird. 0,8 m wurden gewählt, um zu prüfen, wie viel Bestrahlungsstärke noch auf unmittelbarer Höhe von Arbeitsplätzen ankommt.

5.4 Nachbau von zwei Szenarien mit Aluminiumfolie

Die hohen reflektiven Eigenschaften von Aluminium werden in **Abschnitt 4.3** nachgewiesen. Mit Aluminiumfolie lässt sich also sehr gut das Reflexionsverhalten der abgegebenen UV-C-Strahlung vor Ort beeinflussen.

Dazu wird in Szenario 1 **(Abbildung 34)** ein Streifen handelsübliche Aluminiumfolie zwischen die zwei SM345C Leuchten bündig an die Decke geklebt. Die mattierte Seite (ρ = 28 %) zeigt hierbei Richtung Boden. Die Länge der Folie beträgt ca. 2,60 m und misst in der Breite 30 cm. Hiermit können ein metallischer Träger oder metallische Rohrleitungen (unlackiert) simuliert werden.

Abbildung 34 Szenario 1: Aluminiumfolie deckenbündig zwischen den Leuchten (eigene Darstellung)

In Szenario 2 **(Abbildung 35)** werden drei Folien zu einer großen zusammengeklebt und von der Decke abgehangen. Auf dem Bild sind jeweils außen die zwei glänzenden Seiten und in der Mitte die mattierte Seite zu sehen. Die Maße betragen 71 cm in der Länge und 84 cm in der Breite. Diesbezüglich gibt es in der Praxis sicherlich keine vernünftigen Beispiele. Deshalb dient dieser Versuch lediglich als Extrembeispiel, wie sich stark reflektierende Materialien auf die Umgebung auswirken, wenn diese unmittelbar vor UV-C emittierenden Leuchten hängen.

Abbildung 35 Szenario 2: Aluminiumfolie als Abhänger zwischen den Leuchten (eigene Darstellung)

Szenario 1 wird auf 1,83 m gemessen und Szenario 2 auf 1,83 m und auf 2,5 m, um die Reflexion auf Höhe der Leuchten zu analysieren.

5.5 Mögliche Messfehler

Bei einer Erhebung von Werten kann die erfasste Größe nie mit absoluter Präzision bestimmt werden. Beobachtungs- und Messfehler treten zwangsläufig auf. Diese werden zwischen systematischen und zufälligen (statistischen) Fehlern unterschieden.

Systematische Fehler treten durch ein mangelhaftes Messverfahren, einer fehlerhaften Planung oder durch die ausführende selbst Person auf. Beispielhaft wären dies defekte Messgeräte oder fehlerhafte Skalierungen im Maßstab (Wenisch, 2013, S. 6).

Ein weiteres Beispiel wäre das Verwenden der Einheit W/m² beim Bestimmen der Bestrahlungsstärke, obwohl das Messgerät mW/m² anzeigt. Ist dieser Umstand bekannt, so lassen sich fehlerhafte Messergebnisse leicht korrigieren, indem die Messwerte einfach auf mW/m² umgerechnet werden.

Zufällige (statistische) Fehler treten durch inkonsequente Einflüsse aus der Umgebung auf. Diese können beispielsweise Ablesefehler, Temperaturunterschiede oder Erschütterungen sein (Wenisch, 2013, S. 6). Bei der Messung trat dies z. B. durch die Verschattung eines Messpunktes durch die messende Person auf, was durch Umpositionierung umgehend korrigiert wurde.

6 Simulation von UV-C-Strahlung in Relux mit UV-C-Plug-in

Damit die gewonnenen Daten aus den Messungen ausgewertet werden können, muss zuerst die Messumgebung in der speziell für UV-C-Berechnungen konzipierten Software ReluxUVC, nachgebaut werden. ReluxUVC ist zum Stand dieser Arbeit nicht für die Allgemeinheit zugänglich und wird nur mit Personen/Firmen geteilt, welche sich mit dem Thema UV-C-Berechnung befassen. ReluxUVC verwendet als Basis das für gängige Lichtberechnungen verwendete ReluxDesktop, allerdings mit einigen Unterschieden.

Der Hauptunterschied ist, dass anstelle von Lux die Bestrahlungsstärke (in ReluxUVC irradiance) errechnet wird. Aufgrund dessen müssen auch speziell gemessene Lichtverteilungskurven der verwendeten Leuchten genutzt werden, wo die Strahlungsleistung (radiant UV-C flux) ermittelt wurde. Für jeden neuangelegten Raum werden automatisch eine Safety Zone auf 1,83 m Höhe, sowie ein Measuring Volume eingefügt. Das sind beides Messflächen, welche die berechneten Bestrahlungswerte ausgeben. Die Safety Zone simuliert einen stehenden Erwachsenen und darf einen Wert von 2 mW/m² (gewichtet mit Faktor 0,5) im Auge nicht überschreiten (s. **Abschnitt 2.2.6**). Als Einstellmöglichkeit bei der Berechnung

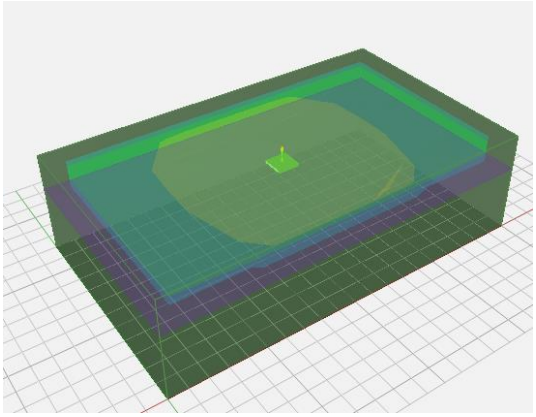


Abbildung 36 Measuring Volume (eigene Darstellung aus ReluxUVC)

gibt es zusätzlich die Option FOV (field of view)[11]. Diese simuliert das Sichtfeld von 80° eines Menschen in wahlweise senkrechter und horizontaler Höhe der Messebene. So können auch Aussagen über mögliche erhöhte Werte im Bereich der Augen getroffen werden.

Das Measuring Volume in **Abbildung 36** stellt das gesamte Raumvolumen dar und zeigt in Falschfarben die Verteilung der Bestrahlungsstärke. Die einzelnen Werte zur zugehörigen Farbe können hierbei freigewählt werden. Hiermit kann schnell ein grober Überblick der Bestrahlungsstärken im gesamten Raum erhalten werden. Es ist auch möglich, individuell gezeichnete Messflächen einzufügen.

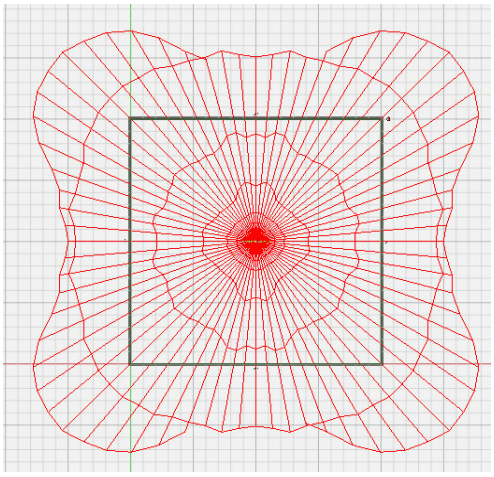


Abbildung 37 Lichtverteilungskurve SM345C (aus ReluxUVC eigene Darstellung)

Abbildung 37 zeigt die Lichtverteilungskurve (LVK) der SM345C in Originalgröße. Das Raummaß beträgt 10 m * 10 m, womit die sehr hohe Reichweite der UV-C-Strahlung deutlich wird.

6.1 Nachbau des Forschungs- und Transferzentrum Hamburg in ReluxUVC

Der in **Kapitel 5** zuvor gemessene Bereich wird vollständig, d. h. auch mit dem nicht im Messraster liegenden Bereich, in ReluxUVC nachgebaut. Für die allgemeine Raumgeometrie (Decke, Wände, Boden, Unterzüge, Säulen, Türen, Raumtrenner und Kabeltrassen) werden die in **Abschnitt 4.2** gemessenen Reflexionsgrade verwendet.

Der Wartungsfaktor (in ReluxUVC maintenance factor) wird in allen Berechnungen auf 1 gesetzt. Dieser steht für den errechneten Rückgang des Lichtstroms (hier Bestrahlungsstärke) einer Beleuchtungsanlage durch Alterung und Verschmutzung. Er hat das Ziel, eine normgerechte Beleuchtungsstärke über die komplette Nutzungsdauer der installierten Leuchten zu garantieren (licht.de, kein Datum). Da dieses Kriterium in dieser Arbeit nicht gegeben ist, wird auf den Wartungsfaktor nicht weiter im Detail eingegangen.

Der gewählte Wartungsfaktor von 1 wird damit begründet, dass es sich um eine sehr neue Beleuchtungsanlage mit sehr kurzer Betriebszeit (Schätzungsweise 10 h) handelt, die keinerlei Verschmutzung aufweist. Zusätzlich gilt es den Istzustand von gemessenen und berechneten Werten zu vergleichen und keine lichttechnische Berechnung, wie sie in DIN EN 12464-1[12] gefordert wird, zu tätigen. Auf dieser Grundlage basierend werden vier Szenarien nachgebaut

[11] Sichtfeld
[12] DIN EN 12464-1:2011-08

und berechnet, um mit den Ergebnissen im nachfolgenden **Kapitel 7** eine umfassende Analyse durchführen zu können.

6.1.1 Umsetzung

Die Messumgebung wird anhand eines CAD-Plans in Relux gezeichnet. Die daraus resultierenden Raumabmessungen können in **Abbildung 38** abgelesen werden.

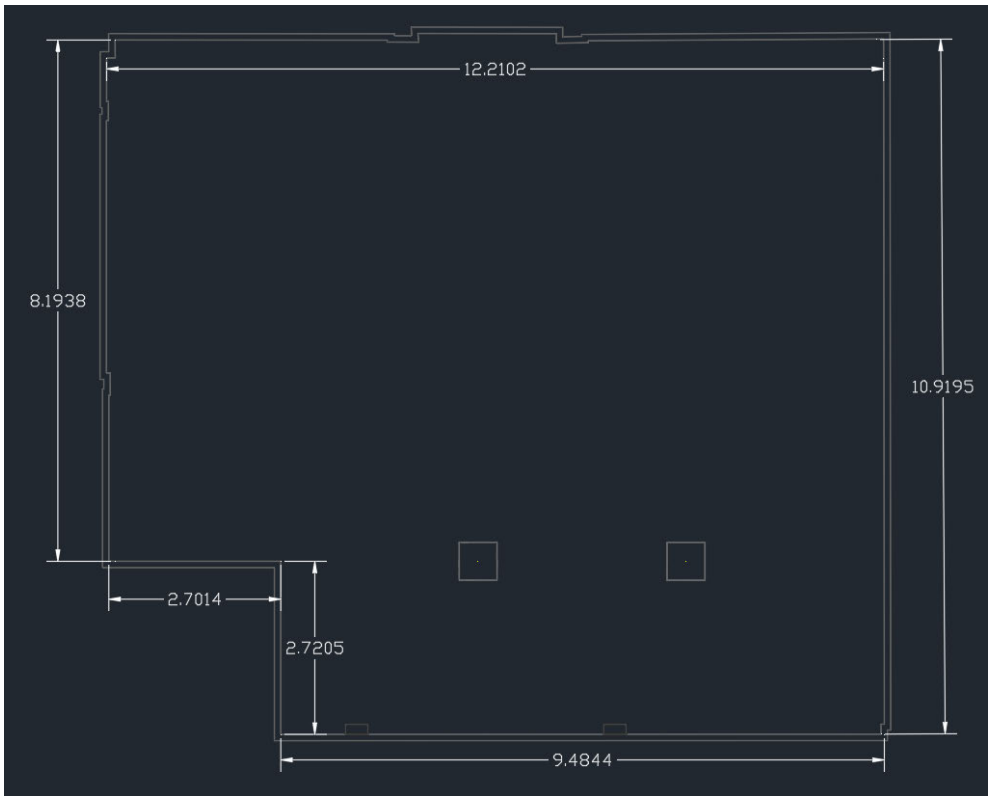


Abbildung 38 FTZ als Nachbau mit Bemaßung - DWG[13] Export aus Relux (eigene Darstellung aus AutoCAD LT)

Die verwendete Deckenhöhe beträgt 2,65 m, die Montagehöhe der Leuchten 2,52 m. In **Abschnitt 5.1** wird die Montagehöhe vor Ort mit 2,50 m angegeben, allerdings wählt ReluxUVC den eigentlichen Montagepunkt mittig in der Leuchte und nicht an der Oberkante dieser. Daher muss die Montagehöhe angepasst werden.

Unter Berücksichtigung der gemessenen Reflexionsgrade und der beiden Szenarien mit der Aluminiumfolie ergibt sich dann die Bilderreihe aus **Abbildung 39**, **Abbildung 40**, **Abbildung 41** und **Abbildung 42**. Die lila Flächen sind die jeweils eingezeichneten Messflächen.

[13] DWG steht für drawing und ist ein Dateiformat der Firma Autodesk GmbH (Autodesk GmbH, 2021)

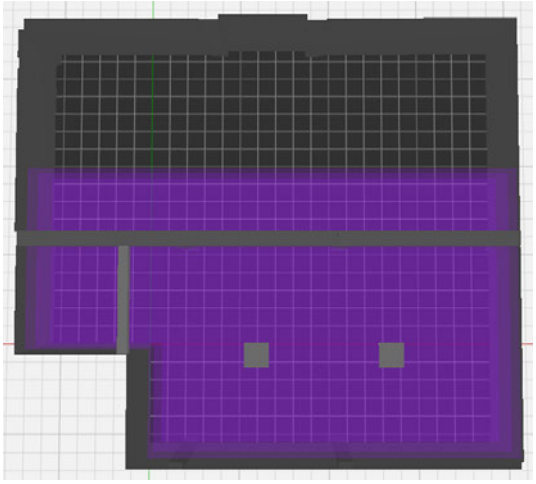


Abbildung 39 Unmöbliert (eigene Darstellung aus Relux-UVC)

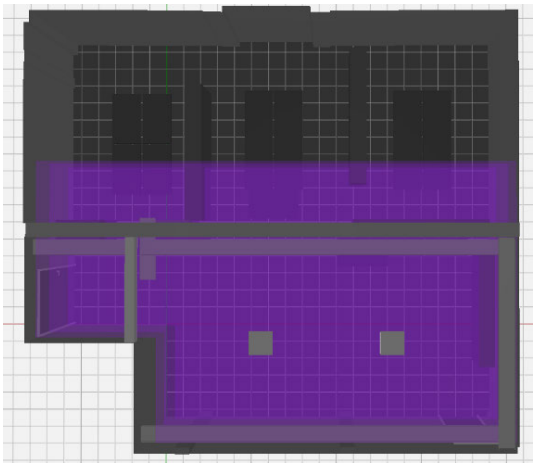


Abbildung 40 möbliert (eigene Darstellung aus ReluxUVC)

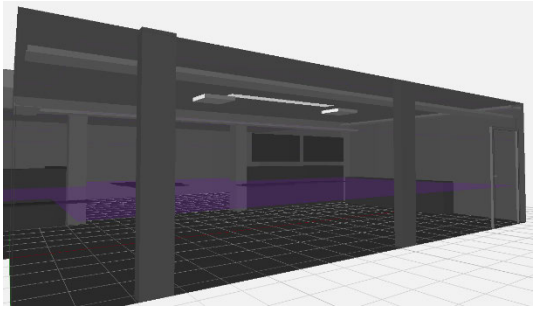


Abbildung 41 möbliert, mit Aluminiumfolie als Unterzug (eigene Darstellung aus ReluxUVC)

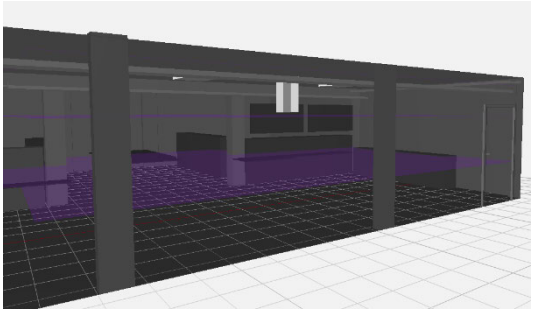


Abbildung 42 möbliert, mit Aluminiumfolie als Abhänger (eigene Darstellung aus ReluxUVC)

7 Vergleich von gemessenen Werten und in ReluxUVC simulierten Werten

Es folgt ein klassischer Vergleich der gemessenen Werte mit den in ReluxUVC simulierten Werten. Die beiden Szenarien mit den Aluminiumfolien werden am Ende dieses Kapitels betrachtet.

Um einen Vergleich zwischen den gemessenen und simulierten Werten ziehen zu können wird zuerst die prozentuale Abweichung vom Messwert zum simulierten Wert benötigt. Dazu wird aus den beiden Werten zum jeweiligen Messpunkt die absolute prozentuale Abweichung ermittelt. Es wird hierbei immer die Abweichung vom Messwert zum berechneten Wert genommen. Ein kurzes Beispiel:

gemessen: 5 mW/m²

berechnet: 7 m/W/m²

$$|\Delta\ gemessen(berechnet)| = \frac{(5-7)}{7} * 100 = \ 28{,}56\ \% \qquad (9)$$

Die prozentuale Abweichung von gemessenen zum berechneten Punkt wäre in diesem Fall minus 28,56 %. Da sich aber negative und positive Werte gegeneinander aufheben würden, muss der Betrag genommen werden. Aus den so errechneten Werten pro Messpunkt wird dann der Mittelwert $\bar{X}$ gebildet.

Die Werte der folgenden Vergleiche basieren in der Regel immer auf dem so bestimmten Mittelwert. Sollte davon abgewichen werden, so wird dies erwähnt.

In jedem Abschnitt gibt es einen Verweis auf den Anhang, wo sich die verwendeten Ausgangswerte befinden.

7.1 Allgemeiner Vergleich von Messwerten und simulierten Werten

Um eine allgemeine Aussage über die gemessenen und berechneten Werte treffen zu können eignet sich **Abbildung 43**. Oben befinden sich die gemessenen und unten die berechneten Werte am jeweiligen Messpunkt. Die kleine Zahl links ist der Messpunktindex. Die grünen Rechtecke stellen die Leuchten dar. Beispielsweise ergibt sich bei Punkt 7 ein gemessener Wert von 4,20 mW/m² und ein berechneter von 1,75 mW/m².

Es fällt auf, dass **alle** gemessenen Werte höher sind als die berechneten. Diese Beobachtung

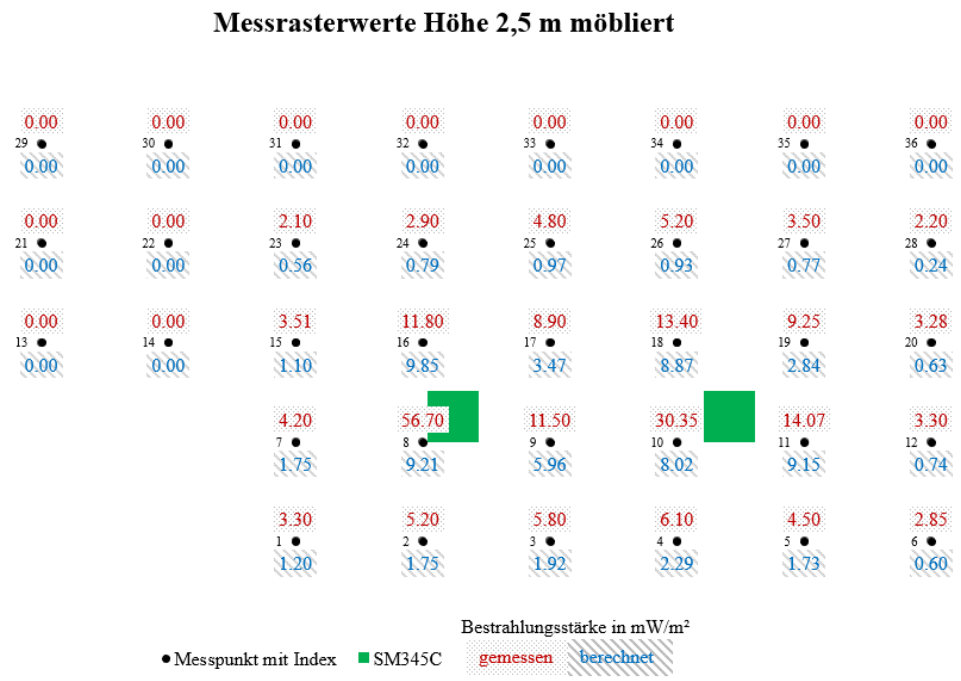


Abbildung 43 Abbildung des Messrasters. Jeder schwarze Punkt ist ein Messpunkt mit dazugehörigem Index. Die Werte am jeweiligen Mess-punkt stehen für die Bestrahlungsstärke. Oberhalb (gepunktet) = gemessen, unterhalb (gestrichelt) = berechnet. Die grünen Rechtecke stehen jeweils für eine Leuchte (eigene Darstellung) s. Anhang Tabelle 16

bestätigt sich auch, mit sehr wenigen Ausnahmen, bei allen anderen Messpunkten. Deswegen sind **alle** prozentualen Abweichungen in den folgenden Abschnitten als Werte anzunehmen, wo der **gemessene Wert höher als der berechnete** ist.

7.2 Unmöbliert und möbliert

Unmöbliert bedeutet, dass in der Simulation nur die reine Raumgeometrie eingegeben wird. Unterzüge und Säulen werden berücksichtigt. Schreibtische, Schränke, Kabeltrassen und Türen werden nicht berücksichtigt.

Möbliert bedeutet, dass rudimentär Gegenstände in der Simulation eingefügt werden. D. h. Tische, Schränke, Raumtrenner, Kabeltrassen und Türen werden berücksichtig. Stühle, sowie andere Gegenstände wie Bilder oder Bildschirme werden nicht berücksichtigt.

7.2.1 Vergleich auf 2,5 m

Es wird nun die Auswirkung von Einrichtungsgegenständen (Tische, Schränke), sowie der Kabeltrassen in der Simulation auf 2,5 m Höhe analysiert. Die verwendeten Parameter in der ReluxUVC-Simulation können aus **Tabelle 7** entnommen werden.

Eckdaten zur Simulation in ReluxUVC auf 2,5 m	
Raumhöhe	2,65 m
Montagehöhe Leuchten	2,52 m
Höhe des Bewertungsbereiches	2,50 m
Ausrichtung des Bewertungsbereiches	horizontal
Reflexionsgrade	basierend auf Tabelle 4 S.29
Wartungsfaktor	1
Berechnungsausgaben aus ReluxUVC	Anhang Abbildung 55 S. 89 und Abbildung 56 S. 96
Berechnungswerte basierend auf	Anhang Tabelle 13 S. 83 und Tabelle 16 S. 90

Tabelle 7 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für 2,5 m hohen Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Unmöbliert ergibt sich als Mittelwert der absoluten Abweichung von gemessen zu berechnet 180,73 %.

Möbliert ergibt sich als Mittelwert der absoluten Abweichung von gemessen zu berechnet 176,74 %.

Unter dem Aspekt, dass die Messwerte alle höher sind als die berechneten lässt sich also sagen, dass die möblierte Simulation 3,99 % genauer ist. Da die Messwerte in einer möblierten Umgebung getätigt wurden, ist dies als korrekt zu beurteilen.

Die absolute Abweichung von den simulierten Werten möbliert zu unmöbliert ergibt 0,97 %. Alle möblierten Berechnungswerte sind höher als die unmöblierten Berechnungswerte. Daher sind die 0,97 % als reiner Zuwachs der Bestrahlungsstärke zu sehen. Das bedeutet, dass die Möblierung und auch die Kabeltrassen auf einer Höhe von 2,5 m keinen signifikanten Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben.

Beide Abweichungen (180,73 % und 176,74 %) sind als inakzeptabel zu beurteilen.

7.2.2 Messhöhe 1,83 m

Die Bewertung erfolgt nun auf 1,83 m Messebene. Die verwendeten Parameter in der Relux-UVC-Simulation können aus **Tabelle 8** entnommen werden.

Eckdaten zur Simulation in ReluxUVC auf 1,83 m	
Raumhöhe	2,65 m
Montagehöhe Leuchten	2,52 m
Höhe des Bewertungsbereiches	1,83 m
Ausrichtung des Bewertungsbereiches	horizontal
Reflexionsgrade	basierend auf Tabelle 4 S.29
Wartungsfaktor	1
Berechnungsausgaben aus ReluxUVC	Anhang Abbildung 55 S. 89 und Abbildung 56 S. 96
Berechnungswerte basierend auf	Anhang Tabelle 14 S. 84 und Tabelle 17 S. 91

Tabelle 8 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für 1,83 m hohen Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Unmöbliert ergibt sich als Mittelwert der absoluten Abweichung von gemessen zu berechnet 64,98 %.

Möbliert ergibt sich als Mittelwert der absoluten Abweichung von gemessen zu berechnet 158,57 %.

Auffällig ist, dass unmöbliert eine weitaus höhere Bestrahlungsstärke berechnet wird. Dies lässt sich damit erklären, dass die Kabeltrassen, welche in etwa auf Montagehöhe der Leuchten hängen, einen Großteil der UV-C-Strahlung in der Berechnung abfangen. In der ReluxUVC-Simulation sind diese als feste Körper modelliert. Streng genommen müssten diese einen Transmissionsgrad haben, da die Kabeltrassen löchrig sind, wie auf **Abbildung 44** erkennbar. Den genauen Transmissionsgrad hierbei zu bestimmen stellt sich aber als schwierig heraus. Daher bleibt die Erkenntnis, dass sich diese Umsetzung als negativ auf die Berechnungsergebnisse auswirkt.

Abbildung 44 Kabeltrasse im FTZ (eigene Darstellung)

Die Auswirkungen werden anhand **Abbildung 45** verdeutlicht. Werden die Messpunkte 24 bis 28 betrachtet, welche direkt unter einer Kabeltrasse verlaufen, so werden in der unmöblierten Berechnung weitaus höhere Werte erzielt. Im Gegensatz dazu haben Messpunkte 7 bis 11, sowie 16 bis 19 in beiden Varianten ähnliche Werte. Diese Punkte liegen frei im Raum und sind nicht von der Abschattung betroffen.

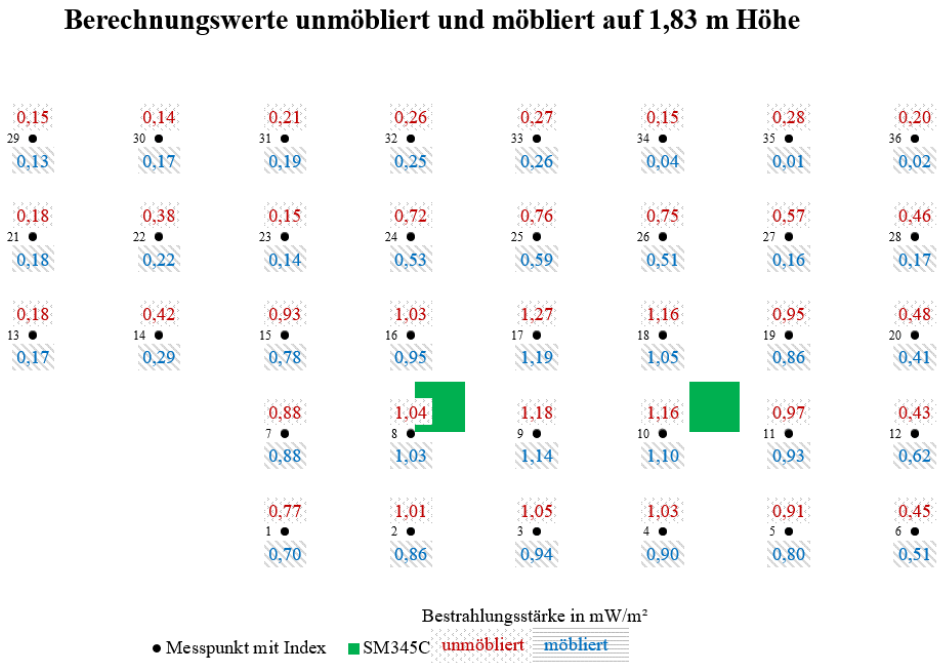


Abbildung 45 Darstellung des Messrasters. Jeder schwarze Punkt ist ein Messpunkt mit dazugehörigem Index. Die Werte am jeweiligen Mess-punkt stehen für die Bestrahlungsstärke. Oberhalb (gepunktet) = unmöbliert, unterhalb (gestrichelt) = möbliert. Die grünen Rechtecke stehen jeweils für eine Leuchte (eigene Darstellung)

Auch in dieser Berechnung sind beide Abweichungen von 64,98 % (unmöbliert) und 158,57 % (möbliert) als inakzeptabel zu beurteilen.

7.2.3 Messhöhe 0,8 m

Eckdaten zur Simulation in ReluxUVC auf 0,8 m	
Raumhöhe	2,65 m
Montagehöhe Leuchten	2,52 m
Höhe des Bewertungsbereiches	0,8 m
Ausrichtung des Bewertungsbereiches	horizontal
Reflexionsgrade	basierend auf Tabelle 4 S.29
Wartungsfaktor	1
Berechnungsausgaben aus ReluxUVC	Anhang Abbildung 55 S. 89 und Abbildung 56 S. 96
Berechnungswerte basierend auf	Anhang Tabelle 15 S. 85 und Tabelle 18 S. 92

Tabelle 9 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für 0,8 m hohen Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Unmöbliert ergibt sich als Mittelwert der absoluten Abweichung von gemessen zu berechnet 58,64 %.

Möbliert ergibt sich als Mittelwert der absoluten Abweichung von gemessen zu berechnet 81,68 %.

Auch hier werden unmöbliert bessere Ergebnisse erzielt, was an den in **Abschnitt 7.2.2** erwähnten Kabeltrassen liegt.

Die absoluten Abweichungen vom Messergebnis sind wieder als inakzeptabel zu bewerten.

7.2.4 Analyse

Da sich die Berechnungsergebnisse der möblierten Variante als fehlerhaft erweisen, wird eine Analyse anhand der unmöblierten Berechnungen getroffen, welche mit Ausnahme von 2,5 m Messpunkthöhe, näher an den gemessenen Ergebnissen liegen.

Anhand **Abbildung 46** kann abgelesen werden, dass die Berechnungsergebnisse sich weiter annähern, je niedriger die Messpunkte sind.

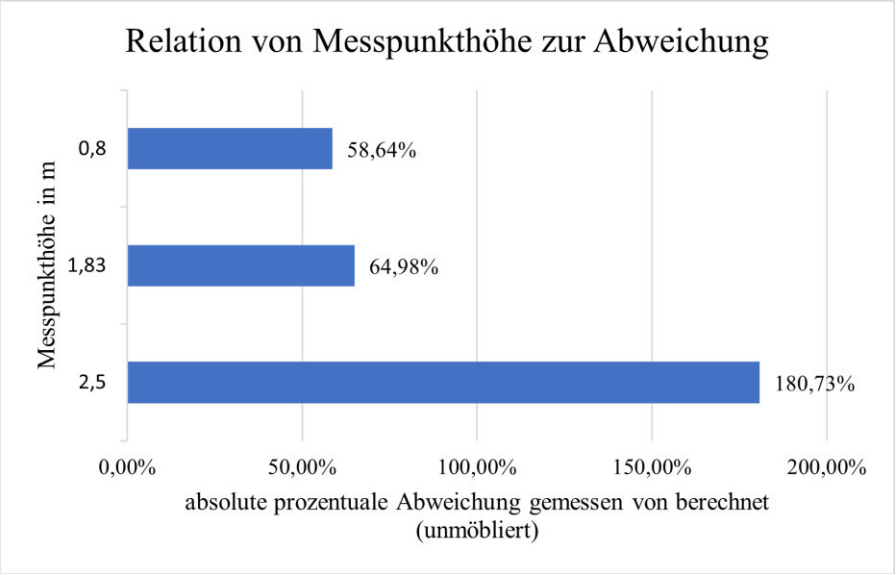


Abbildung 46 Relation der Messpunkthöhe zur absoluten Abweichung (eigene Darstellung)

Um zu prüfen, ob dies an der zunehmenden Entfernung der Messpunkte zur Leuchte liegt eignet sich **Abbildung 47**. Hier wird der Abstand jedes Messpunktes zur der sich am nächsten

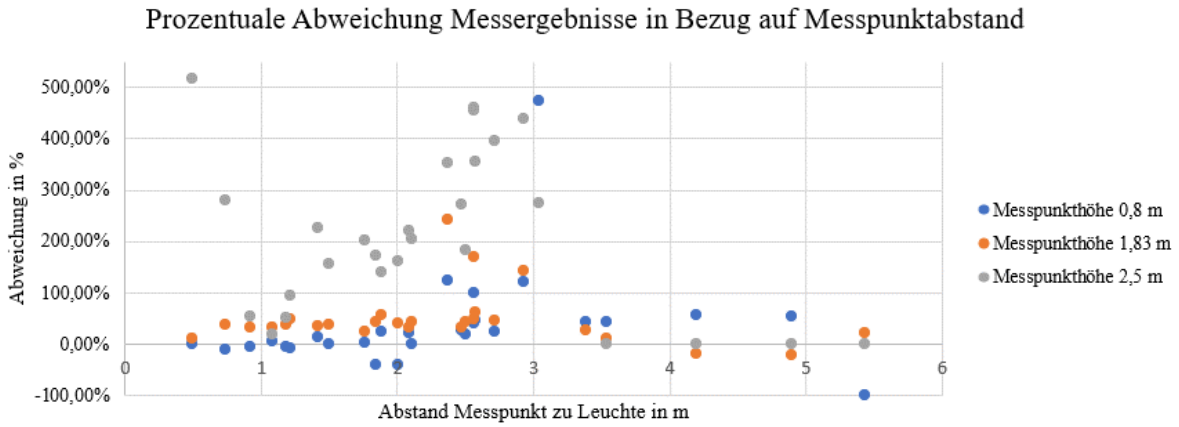


Abbildung 47 Prozentuale Abweichung der Messergebnisse in Bezug auf deren Messpunktabstand (eigene Darstellung)

befindlichen Leuchte ermittelt und in Relation zur prozentualen Abweichung des jeweiligen Messergebnisses vom Berechnungsergebnis gesetzt. Es wird deutlich, dass die Messpunkte auf 2,5 m Höhe eine weitaus höhere Streuung im Bereich von 0,5 m bis 3 m Abstand aufweisen als die anderen Messpunkthöhen. Da ein Großteil der Messpunkte sich auch in diesem Bereich befindet, wird deutlich, dass Messungen unmittelbar auf Strahlhöhe der Leuchte keine genauen Ergebnisse in Bezug auf die berechneten Werte geben. Bereits minimale Veränderungen in der Position des Messkopfes können große Schwankungen im ermittelten Wert ergeben, wenn dadurch der direkte Strahl der Leuchte verlassen wird. Es handelt sich hierbei um das Nahfeld der Leuchte.

Ab ca. 3,2 m Messpunktentfernung sind die Abweichungen auf allen Höhen recht konstant. Dies liegt zum einen daran, dass hier Unterzüge den direkten Strahlengang der Leuchte bereits unterbrechen und hier reine reflektierte Bestrahlungswerte gemessen werden und zum anderen am Photometrischen Entfernungsgesetz. Das Photometrische Entfernungsgesetz sagt aus, dass sich durch das Verdoppeln des Abstandes von Leuchte zur gemessenen Fläche sich die Beleuchtungsstärke (hier Bestrahlungsstärke) um ein Viertel reduziert. Je größer der Abstand wird, umso geringer fällt der prozentuale Fehler aus. (DIAL GmbH, 2016).

Abschließend werden **Abbildung 46** und **Abbildung 47** zusammengefasst betrachtet, woraus sich ergibt, dass die Messpunkthöhe hier einen höheren Einfluss auf abweichende Messergebnisse, als die eigentliche Entfernung zur Leuchte hat. Um genauere Aussagen treffen zu können werden aber mehr Messungen und Messpunkte benötigt.

7.3 Möbliert mit Aluminiumfolie als Unterzug

Aufgrund der Erkenntnisse aus **Abschnitt 7.2.2** wird die Simulation ohne Kabeltrassen, aber möbliert vorgenommen.

Eckdaten zur Simulation in ReluxUVC Aluminiumfolie als Unterzug	
Raumhöhe	2,65 m
Montagehöhe Leuchten	2,52 m
Höhe des Bewertungsbereiches	1,83 m
Ausrichtung des Bewertungsbereiches	horizontal
Reflexionsgrade	basierend auf **Tabelle 4 S.29**
Wartungsfaktor	1
Berechnungsausgaben aus ReluxUVC	Anhang Abbildung 57 S. 99
Berechnungswerte basierend auf	Anhang Tabelle 19 S. 97

Tabelle 10 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für Aluminiumfolie als Unterzug (eigene Darstellung)

Wie in **Abbildung 48** zu sehen ergeben sich fast ausnahmslos erhöhte Messwerte an allen ge-

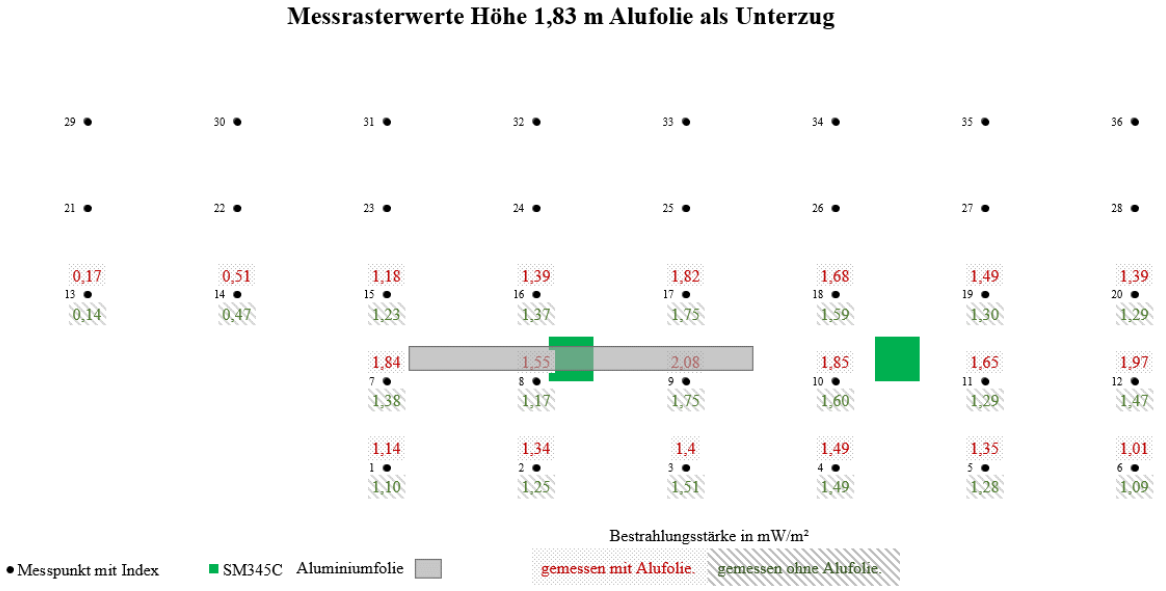


Abbildung 48 Darstellung des Messrasters. Jeder schwarze Punkt ist ein Messpunkt mit dazugehörigem Index. Die Werte am jeweiligen Mess-punkt stehen für die Bestrahlungsstärke. Oberhalb (gepunktet) = mit Alufolie gemessen, unterhalb (gestrichelt) = ohne Alufolie gemessen.. Die grünen Rechtecke stehen jeweils für eine Leuchte, der graue Balken für die Aluminiumfolie (eigene Darstellung)

messenen Punkten. Die beiden hinteren Messreihen werden nicht betrachtet, da diese keine nennenswerten Abweichungen aufgrund der Unterzüge in den Messwerten ergeben.

Es werden alle gemessenen Werte (ohne Aluminiumfolie) mit den Messwerten (mit Aluminiumfolie) jeweils addiert und davon der prozentuale Zuwachs gebildet. Daraus ergibt sich Formel (10):

$$\text{Prozentualer Zuwachs (gemessen)} = \frac{(28{,}3-25{,}52)}{25{,}52} * 100 = 10{,}89\ \% \qquad (10)$$

Die Berechnungsergebnisse von ReluxUVC ergeben:

$$\text{Prozentualer Zuwachs (berechnet)} = \frac{(21{,}32-17{,}3)}{17{,}3} * 100 = 23{,}24\ \% \qquad (11)$$

Die Aluminiumfolie wird basierend auf den Reflexionsgradmessungen aus **Tabelle 4** mit (ρ = *28 %)* in Relux eingegeben. Der errechnete Wert in ReluxUVC der Erhöhung von 23,24 % ist also als gut zu bewerten.

7.4 Möbliert mit Aluminiumfolie als Abhänger

Aufgrund der Erkenntnisse aus **Abschnitt 7.2.2** wird die Simulation ohne Kabeltrassen, aber möbliert vorgenommen.

Eckdaten zur Simulation in ReluxUVC Aluminiumfolie als Unterzug	
Raumhöhe	2,65 m
Montagehöhe Leuchten	2,52 m
Höhe des Bewertungsbereiches	2,50 m
Ausrichtung des Bewertungsbereiches	horizontal
Reflexionsgrade	basierend auf **Tabelle 4 S.29**
Wartungsfaktor	1
Berechnungsausgaben aus ReluxUVC	Anhang Abbildung 58 S. 102
Berechnungswerte basierend auf	Anhang Tabelle 20 S. 101

Tabelle 11 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für Aluminiumfolie als Abhänger (eigene Darstellung

Auf 1,83 m Berechnungshöhe liefert ReluxUVC gute Ergebnisse beim Verändern der Reflexionseigenschaften, wie in **Abschnitt 7.3** gezeigt wird. **Abbildung 49** stellt die Berechnungsergebnisse von ReluxUVC gegenüber. Oben befinden sich die Ergebnisse der Berechnung mit der Aluminiumfolie als Unterzug und unten die Ergebnisse aus dem möblierten Raum ohne Unterzüge.

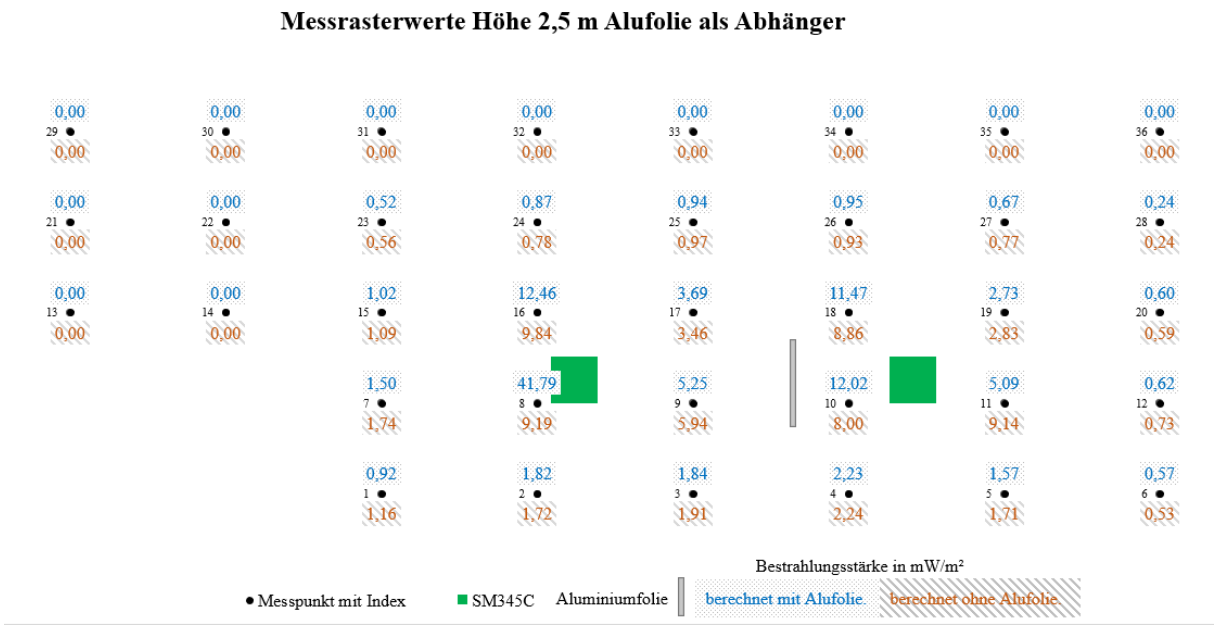


Abbildung 49 Darstellung des Messrasters. Jeder schwarze Punkt ist ein Messpunkt mit dazugehörigem Index. Die Werte am jeweiligen Messpunkt stehen für die Bestrahlungsstärke. Oberhalb (gepunktet) = mit Alufolie berechnet, unterhalb (gestrichelt) = ohne Alufolie berechnet. Die grünen Rechtecke stehen jeweils für eine Leuchte, der graue Balken für die Aluminiumfolie (eigene Darstellung)

Interessanterweise haben nur die Punkte 8 (41,79 mW/m²), 10 (12,02 mW/m²), 16 (12,46 mW/m²) und 18 (11,47 mW/m²) stark erhöhte Werte, wenn auf die Zunahme der Berechnung mit Aluminiumfolie gegenüber der ohne geschaut wird.

Auffällig dagegen sind beispielsweise die Punkte 7 (1,50 mW/m²) und 9 (5,25 mW/m²). Hier gibt es sogar eine Verminderung der Bestrahlungsstärke. Werden die Messergebnisse dieser beiden Punkte in **Tabelle 12** der Messungen ohne und mit Aluminiumfolie betrachtet, so bestätigt sich diese Beobachtung.

	Werte in mW/m²			
Messpunkt	gemessen mit Alufolie	gemessen ohne Alufolie	berechnet in Relux mit Alufolie	berechnet in Relux ohne Alufolie
1	3,83	3,30	0,92	1,16
2	3,58	5,20	1,82	1,72
3	4,84	5,80	1,84	1,91
4	4,85	6,10	2,23	2,24
5	3,93	4,50	1,57	1,71
6	2,56	2,85	0,57	0,53
7	2,81	4,20	1,50	1,74
8	59,05	56,70	41,79	9,19
9	11,28	11,50	5,25	5,94

Tabelle 12 Auszug Messergebnisse Szenario Aluminiumfolie als Abhänger (eigene Darstellung)

Das lässt sich damit erklären, dass die Aluminiumfolie lichtundurchlässig ist, d. h. es findet keine Transmission statt. Dadurch wird der Strahlenfluss der rechten Leuchte bei den entsprechenden Punkten blockiert und die gemessenen Werte sind niedriger. Es lässt sich daraus auch ableiten, dass die Reflexion in einem bestimmten Winkel erfolgen muss. Das bedeutet die UV-C-Strahlung wird zur Seite reflektiert. Die Werte der bereits genannten Punkte 10 und 18 stützen diese Theorie.

Die prozentuale Zunahme der Berechnungsergebnisse in ReluxUVC ohne Aluminiumfolie zu mit ergibt:

$$\text{Prozentualer Zuwachs (berechnet)} = \frac{(107{,}19 - 70{,}68)}{70{,}68} * 100 = 51{,}66\ \% \qquad (12)$$

Auch dieser Wert ist in Bezug der Reflexionsgrade von Aluminiumfolie als gut zu bewerten.

7.5 Zusammenfassend

Es lässt sich aus dem Vergleich der Messergebnisse und den simulierten Ergebnissen ablesen, dass die errechneten Werte (mit wenigen Ausnahmen) alle weitaus niedriger als die gemessenen Werte sind. Als mögliche Ursache wird die Messung im Nahfeld in Betracht gezogen, welche

aber aufgrund einer zu geringen Möglichkeit der Auswahl an Messpunkten nicht hinreichend belegt werden kann. Durch die vorgegebene Raumgeometrie des FTZ sind Messungen auf größere Entfernungen nicht realisierbar (Unterzüge).

Veränderungen der Reflexionsgrade durch Materialien, welche unmittelbar im UV-C-Strahl der Leuchte platziert werden, werden korrekt berechnet und machen sich bei den Berechnungs- und Messergebnissen durch erhöhte Werte bemerkbar.

8 Fazit

Abschließend betrachtet ist es wichtig, sich bei der Planung und Installation einer stationären UV-C-Beleuchtungsanlage mit dem Reflexionsverhalten von Materialien im UV-C-Bereich zu beschäftigen. Durch die stark gesundheitsschädigende Wirkung von UV-C auf lebende Organismen wie auch dem Menschen, ist es unumgänglich die empfohlene Expositionsdauer nicht zu überschreiten.

In **Kapitel 4** wurde gezeigt, dass das Reflexionsverhalten im UV-C-Bereich nicht mit dem des sichtbaren Lichts vergleichbar ist. Besonders metallische Materialien reflektieren UV-C-Strahlung je nach Beschaffenheit sehr stark. Dadurch, dass das menschliche Auge UV-C-Strahlung nicht wahrnehmen kann fehlt außerdem die visuelle Rückmeldung bei eventueller Exposition durch diese. Sichtbares Licht würde sofort, beispielsweise durch Blendungswirkung, wahrgenommen werden. Auch Schädigungen durch UV-Strahlung treten häufig nicht unmittelbar, sondern erst verspätet auf. Die chronischen Schäden sind bisher nicht hinreichend erforscht, sodass hier ein weitaus höheres Gefahrenpotenzial liegen könnte, als bisher angenommen.

Es wurde in **Abschnitt 4.1** bewiesen, dass auch mit einfachen Mitteln ein Reflexionsgradmessgerät für Annäherungsmessungen konzipiert werden kann, welches allerdings nicht die Genauigkeit eines professionellen Messgerätes ersetzt.

Der Vergleich von Messwerten mit in ReluxUVC berechneten Werten hat gezeigt, dass die berechneten Werte stark unter den eigentlich gemessenen Werten liegen. Als mögliche Ursache wurden die Nahfeldmessungen erkannt.

Bezogen auf die starken Abweichungen der Berechnungsergebnisse von den Messergebnissen ist es empfehlenswert, jede stationär installierte UV-C-Beleuchtungsanlage vor Inbetriebnahme zu messen, um deren reale Bestrahlungsstärke zu ermitteln. Einrichtungsgegenstände wie Schreibtische oder Schränke haben aufgrund ihrer Reflexionsgrade eine zu vernachlässigende Wirkung auf das Berechnungsergebnis, sofern diese nicht aus metallischen Materialien bestehen. Wichtig ist es, die genauen Gegebenheiten vor Ort zu kennen, um mögliche stark reflektierende Objekte in Deckenhöhe zu identifizieren und in der Planung zu berücksichtigen.

UV-C-Strahlung wird in der Zukunft sicherlich weiter ein viel diskutiertes Thema bleiben, welches in gesundheitlicher und planerischer Sicht besonderer Aufmerksamkeit bedarf.

9 Literaturverzeichnis

Autodesk GmbH. (2021). *autodesk.de*. Abgerufen am 06. August 2021 von https://www.autodesk.de/products/dwg

Biasin, M., Bianco, A., Pareschi, G., Cavalleri, A., C. C., Fenizia, C., . . . Trabattoni, D. (02. Februar 2021). UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Scientific Reports*.

Brose, M., Brüggemeyer, H., Dollinger, K., Graf, M., Horak, W., Jossen, H., . . . Weiskopf, D. (18. März 2013). Leitfaden „Ultraviolettstrahlung künstlicher Quellen“. (Fachverband für Strahlenschutz e.V., Hrsg.)

Bundesamt für Strahlenschutz. (16. September 2020). *bfs.de*. Abgerufen am 28. Juli 2021 von https://www.bfs.de/DE/themen/opt/anwendung-alltag-technik/uv/uv-c-strahlung/uv-c-desinfektion_node.html

Bundesamt für Strahlenschutz. (08. Juli 2021). *bfs.de*. Abgerufen am 14. August 2021 von https://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/einfuehrung/einfuehrung_node.html

Chevrefils, G., Caron, É., Wright, H., Sakamoto, G., Payment, P., Barbeau, B., & Cairns, B. (März 2006). UV dose required to achieve incremental Log inactivation of bacteria, protozoa and viruses. *IUVA News*, S. 39-43.

Deutsches Institut für Normung e. V. (2009). *DIN 5035-6:2006-11 Beleuchtung mit künstlichem Licht - Teil 6: Messung und Bewertung.* Berlin: Beuth-Verlag.

Deutsches Institut für Normung e. V. (2011). *DIN EN 12464-1:2011-08 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen.* Berlin: Beuth-Verlag.

Deutsches Lackinstitut GmbH. (kein Datum). *lacke-und-farben.de*. Abgerufen am 03. August 2021 von https://www.lacke-und-farben.de/magazin/zu-hause/was-die-qualitaet-einer-weissen-wandfarbe-ausmacht/

DIAL GmbH. (08. Juli 2016). *dialux4.support-de.dial.de*. Abgerufen am 22. August 20211 von https://dialux4.support-de.dial.de/support/solutions/articles/9000080104-photometrisches-entfernungsgesetz

Duden Learnattack GmbH. (2021). *lernhelfer.de*. Abgerufen am 07. August 2021 von https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/elektromagnetische-wellen#

Gigahertz Optik GmbH. (kein Datum). *gigahertz-optik.com*. Abgerufen am 01. August 2021 von https://www.gigahertz-optik.com/assets/Uploads/LCR-20-geometry-v2__ScaleMaxWidthWzUwMF0.png

Gigahertz Optik GmbH. (kein Datum). *gigahertz-optik.com LCR-20.* Abgerufen am 01. August 2021 von https://www.gigahertz-optik.com/de-de/produkt/lcr-20/getpdf/

Gigahertz Optik GmbH. (kein Datum). *gigahertz-optik.com UV-3725.* Abgerufen am 01. August 2021 von https://www.gigahertz-optik.com/de-de/produkt/uv-3725/getpdf

Gigahertz Optik GmbH. (kein Datum). *gigahertz-optik.com X1.* Abgerufen am 01. August 2021 von https://www.gigahertz-optik.com/de-de/produkt/x1/getpdf

Global Lighting Association. (September 2020). Germicidal UV-C Irradiation SOURCES, PRODUCTS AND APPLICATIONS.

Goncalves, A. D. (25. Juli 2021). *LibreText.* Abgerufen am 01. August 2021 von https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Materials_Science/Supplemental_Modules_(Materials_Science)/Optical_Properties/Metallic_Reflection

Greule, R. (2015). *Licht und Beleuchtung im Medienbereich.* München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.

Hagler, J. (10. April 2006). *Digital Media for Artists*. Von http://www.dma.ufg.ac.at/app/link/Grundlagen%3A3D-Grafik/module/9329?step=all abgerufen

Hassen, A., Mahrouk, M., Ouzari, H., Cherif, M., Boudabous, A., & Damelincourt, J. J. (September 2000). UV disinfection of treated wastewater in a large-scale pilot plant and inactivation of selected bacteria in a laboratory UV device. *Bioresource Technology*(2).

ISO. (2016). *ISO 15858:2016-07 UV-C Devices - Safety information - Permissible human exposure.* Genf.

IUVA Ultraviolet Association. (kein Datum). *https://iuva.org*, Question 1. Abgerufen am 02. August 2021 von https://iuva.org/UV-FAQs/

Jüstel, T., & Schwung, S. (2019). *Leuchtstoffe, Lichtquellen, Laser, Lumineszenz.* Berlin: Springer-Verlag.

Kowalski, W. (2009). *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Krishna, V., Bai, W., Han, Z., Yano, A., Thakur, A., Georgieva, A., . . . Moudgil, B. (30. Januar 2018). Contaminant-Activated Visible Light Photocatalysis. *Scientific Reports*, S. 1.

Lehmann, R. (kein Datum). *uv-klaerer.de*. Abgerufen am 09. August 2021 von https://uv-klaerer.de/uvc-lampe/

licht.de. (kein Datum). *licht.de Maintenance Factor (MF)*. Abgerufen am 14. August 2021 von https://www.licht.de/de/grundlagen/lichtlexikon/details-lichtlexikon/maintenance-factor-mf/

Licht-Konzept & Form Lichttechnische AG. (kein Datum). *licht-desinfektion.de*. Abgerufen am 14. August 2021 von https://licht-desinfektion.de/wie-funktioniert-corona-desinfektion-mit-licht/

Lighting Europe. (13. November 2020). Frequently Asked Questions: On UV-C Disinfection Technologies. S. 5.

Lüders, K. (2018). *Pohls Einführung in die Physik* (Bd. 2: Elektrizitätslehre und Optik). (R. O. Pohl, Hrsg.) Berlin: Springer-Verlag.

Max-Planck-Gesellschaft. (kein Datum). *mpg.de*. Abgerufen am 21. August 2021 von https://www.mpg.de/10888547/warum-erforschen-wissenschaftler-maeuse

Meschede, D. (2015). *Gerthsen Physik 25. Auflage* (25. Ausg.). (D. Meschede, Hrsg.) Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.

Nozomi, Y., Makoto, K., Sachiko, K., Kazunobu, S., Aiko, N.-S., Hiroyuki, O., . . . Chikako, N. (Juli / August 2020). Long-term Effects of 222-nm ultraviolet radiation C Sterilizing Lamps on Mice Susceptible to Ultraviolet Radiation. *The offcial journal of the American Society for Photobiology Volume 96, Issue 4*, S. 853-862.

Photonics Media. (2021). *photonics.com*. Abgerufen am 03. August 2021 von https://www.photonics.com/Articles/Mirrors_Coating_Choice_Makes_a_Difference/a25501

Possel, D. H. (kein Datum). *kennerblick.net*. Abgerufen am 06. August 2021 von https://www.kennerblick.net/licht.html

Praveen, P., Viruthagiri, G., Mugundan, S., & Shanmugam, N. (19. September 2013). Structural, optical and morphological analyses of pristine titanium. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, S. 625.

Prediger. (kein Datum). *prediger.de*. Abgerufen am 04. August 2021 von https://prediger.de/lvk.html

ReeseOnline e.K. (06. Mai 2019). *fremdwort.de*. Abgerufen am 22. August 2021 von https://www.fremdwort.de/suchen/bedeutung/spekularität

Saxonia Solutions GmbH. (kein Datum). *saxonia-licht.de*. Abgerufen am 14. August 2021 von https://www.saxonia-licht.de/was-ist-licht/

Schenk, W. (2014). *Physikalisches Praktikum.* (F. Kremer, Hrsg.) Wiesbaden: Springer Spektrum.

Signify GmbH. (Juni 2020). *signify.com*. Abgerufen am 20. August 2021 von https://www.signify.com/de-at/our-company/news/press-releases/2020/20200625-signify-invests-to-broaden-its-uv-c-lighting-portfolio-to-meet-the-growing-demand-for-disinfection

Signify GmbH. (06. Juli 2021). *lighting.philips.de SM345C.* Abgerufen am 03. August 2021 von https://www.lighting.philips.de/prof/innenleuchten/uv-c-desinfektions-geraete/uv-c-luftdesinfektions-geraete-deckenmontage/919206000021_EU/product

Signify GmbH. (8. Juni 2021). *lighting.philips.de TUV PL-S.* Abgerufen am 03. Augus 2021 von https://www.lighting.philips.de/prof/konventionelle-lampen-und-leuchtstofflampen/speziallampen/entkeimungslampen/enkeimung-von-wasser-und-luft-fuer-den-heimbereich/tuv-pl-s/927901704007_EU/product

Volume Precision Glass, I. (kein Datum). *vpglass.com*. Abgerufen am 03. August 2021 von http://www.vpglass.com/optical_glass/sodalime_glass.html

Wenisch, T. (2013). *Kurzlehrbuch Physik* (3. Ausg.). München: Urban & Fischer.

Wikipedia. (16. januar 2021). *https://de.wikipedia.org*. Abgerufen am 03. August 2021 von https://de.wikipedia.org/wiki/Kalk-Natron-Glas

Willig, H.-P. (2021). *chemie-schule.de*. Abgerufen am 22. August 2021 von https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Absorptionskoeffizient

Willig, H.-P. (2021). *chemie-schule.de*. Abgerufen am 22. August 2021 von https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Extinktionskoeffizient

Willig, H.-P. (2021). *cosmos-indirekt.de*. Abgerufen am 02. August 2021 von https://physik.cosmos-indirekt.de/stnfo.php

ZVEI, & Fachverband Licht. (Februar 2021). UV-C-Anwendungen zur Entkeimung von Oberflächen und Luft.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Gesamtes elektromagnetisches Spektrum mit Angabe von Wellenlänge (oben) und Frequenz (unten) mit Hervorhebung des sichtbaren Spektrum. (Possel, kein Datum) 7
Abbildung 2 Sichtbares Lichtspektrum von 390 nm - 780 nm (Saxonia Solutions GmbH, kein Datum) 8
Abbildung 3 Absorption der UV-C-Strahlung in der Erdatmosphäre (Licht-Konzept & Form Lichttechnische AG, kein Datum) 10
Abbildung 4 Keimtötende Wirksamkeit von UV-Strahlung anhand E. coli (Kowalski, 2009, S. 18) 11
Abbildung 5 Philips TUV PL-S 9W beschriftet in Anlehnung an (Lehmann, kein Datum) ... 13
Abbildung 6 (a) Ideale spekulare Reflexion (b) Reale spekulare Reflexion (c) Ideale diffuse Reflexion (Hagler, 2006) 16
Abbildung 7 Brechungsgesetz anhand zwei Medien (Wenisch, 2013, S. 116) 18
Abbildung 8 CAD-Plan FTZ 5.OG mit markiertem Teil Maßstab 1:50 (eigene Darstellung aus AutoCAD LT) 19
Abbildung 9 Theoretische Nullkalibrierung selbst gebautes Messgerät (eigene Darstellung) 20
Abbildung 10 UV-C-Messkopf (eigene Darstellung) 20
Abbildung 11 Theoretische Reflexionsmessung selbst gebautes Messgerät (eigene Darstellung) 21
Abbildung 12 3D Modell Messkasten mit Bemaßung (eigene Darstellung aus Blender) 21
Abbildung 13 3D Modell Referenzmesskasten (eigene Darstellung aus Blender) 22
Abbildung 14 Gigahertz-Optik X15 Optometer mit angeschlossenem UV-C-Messkopf (eigene Darstellung) 23
Abbildung 15 newgen medicals UV-Desinfektionsstab 4,5 W (eigene Darstellung) 23
Abbildung 16 Messkasten - Vorbereitung Nullkalibrierung (eigene Darstellung) 24
Abbildung 17 Messkasten – Nullkalibrierung (eigene Darstellung) 24
Abbildung 18 LCR-20 Messkopfausrichtung (Gigahertz Optik GmbH, gigahertz-optik.com, kein Datum) 26
Abbildung 19 LCR-20 Detailansicht (eigene Darstellung) 26
Abbildung 20 LCR-20 Unterseite detailliert (eigene Darstellung) 27
Abbildung 21 Kalibrierstandard BN-R98-D2 (eigene Darstellung) 27
Abbildung 22 Reflexionsgradmessung Dielenboden (eigene Darstellung) 28

Abbildung 23 Transmissionsverhalten von Kalk-Natron-Glas (Volume Precision Glass, kein Datum) 30
Abbildung 24 Reflexionsverhalten von Titandioxid (Praveen, Viruthagiri, Mugundan, & Shanmugam, 2013) 30
Abbildung 25 Reflexionsverhalten verschiedener Metalle im Spektrum von 200 nm - 1200 nm (Photonics Media, 2021) 31
Abbildung 26 Mechanische Kenndaten SM345C (Signify GmbH, lighting.philips.de SM345C, 2021) 31
Abbildung 27 Bilderstrecke FTZ: (1)Büroarbeitsplätze (2)Büroarbeitsplätze (3)offener Flur (4)offener Flur mit geöffnetem Vorhang (eigene Darstellung) 34
Abbildung 28 zweidimensionale Lichtverteilungskurve SM345C. C0/180° rote Kurve, C90/270° blaue Kurve (eigene Darstellung aus LDT Editor) 35
Abbildung 29 CAD-Plan FTZ bemaßter Bereich mit Leuchten (blaue Quadrate) und deren Abstände in Meter. Maßstab 1:50 (eigene Darstellung aus AutoCAD LT) 35
Abbildung 30 CAD-Plan FTZ mit eingegrenztem Bereich (grüner Rahmen), Bemaßung neuer Bereich (gelb) und Unterzug (blauer Balken). Maßstab 1:50 (eigene Darstellung aus AutoCAD LT) 37
Abbildung 31 Messraster (eigene Darstellung aus Relux mit UV-C-Plug-in) 38
Abbildung 32 abgeklebte Messpunkte (eigene Darstellung) 39
Abbildung 33 Messkopf auf Stativ (eigene Darstellung) 39
Abbildung 34 Szenario 1: Aluminiumfolie deckenbündig zwischen den Leuchten (eigene Darstellung) 40
Abbildung 35 Szenario 2: Aluminiumfolie als Abhänger zwischen den Leuchten (eigene Darstellung) 40
Abbildung 36 Measuring Volume (eigene Darstellung aus ReluxUVC) 41
Abbildung 37 Lichtverteilungskurve SM345C (aus ReluxUVC eigene Darstellung) 42
Abbildung 38 FTZ als Nachbau mit Bemaßung - DWG Export aus Relux (eigene Darstellung aus AutoCAD LT) 43
Abbildung 39 Unmöbliert (eigene Darstellung aus ReluxUVC) 44
Abbildung 40 möbliert (eigene Darstellung aus ReluxUVC) 44
Abbildung 41 möbliert, mit Aluminiumfolie als Unterzug (eigene Darstellung aus ReluxUVC) 44

Abbildung 42 möbliert, mit Aluminiumfolie als Abhänger (eigene Darstellung aus ReluxUVC) 44
Abbildung 43 Abbildung des Messrasters. Jeder schwarze Punkt ist ein Messpunkt mit dazugehörigem Index. Die Werte am jeweiligen Mess-punkt stehen für die Bestrahlungsstärke. Oberhalb (gepunktet) = gemessen, unterhalb (gestrichelt) = berechnet. Die grünen Rechtecke stehen jeweils für eine Leuchte (eigene Darstellung) s. Anhang Tabelle 16 45
Abbildung 44 Kabeltrasse im FTZ (eigene Darstellung) 47
Abbildung 45 Darstellung des Messrasters. Jeder schwarze Punkt ist ein Messpunkt mit dazugehörigem Index. Die Werte am jeweiligen Mess-punkt stehen für die Bestrahlungsstärke. Oberhalb (gepunktet) = unmöbliert, unterhalb (gestrichelt) = möbliert. Die grünen Rechtecke stehen jeweils für eine Leuchte (eigene Darstellung) 48
Abbildung 46 Relation der Messpunkthöhe zur absoluten Abweichung (eigene Darstellung) 49
Abbildung 47 Prozentuale Abweichung der Messergebnisse in Bezug auf deren Messpunktabstand (eigene Darstellung) 49
Abbildung 48 Darstellung des Messrasters. Jeder schwarze Punkt ist ein Messpunkt mit dazugehörigem Index. Die Werte am jeweiligen Mess-punkt stehen für die Bestrahlungsstärke. Oberhalb (gepunktet) = mit Alufolie gemessen, unterhalb (gestrichelt) = ohne Alufolie gemessen.. Die grünen Rechtecke stehen jeweils für eine Leuchte, der graue Balken für die Aluminiumfolie (eigene Darstellung) 51
Abbildung 49 Darstellung des Messrasters. Jeder schwarze Punkt ist ein Messpunkt mit dazugehörigem Index. Die Werte am jeweiligen Messpunkt stehen für die Bestrahlungsstärke. Oberhalb (gepunktet) = mit Alufolie berechnet, unterhalb (gestrichelt) = ohne Alufolie berechnet. Die grünen Rechtecke stehen jeweils für eine Leuchte, der graue Balken für die Aluminiumfolie (eigene Darstellung) 52
Abbildung 50 Datenblatt Optometer X1 (Gigahertz Optik GmbH, gigahertz-optik.com X1) 70
Abbildung 51 Datenblatt UV-3725 (Gigahertz Optik GmbH, gigahertz-optik.com UV-3725) 73
Abbildung 52 Datenblatt LCR-20 (Gigahertz Optik GmbH, gigahertz-optik.com LCR-20) .. 77
Abbildung 53 Datenblatt Philips SM345C ((Signify GmbH, lighting.philips.de SM345C, 2021) 80
Abbildung 54 Datenblatt Philips TUV PL-S (Signify GmbH, lighting.philips.de TUV PL-S, 2021)..... 82

Abbildung 55 ReluxUVC PDF-Export der Berechnungsergebnisse unmöbliert (eigene Darstellung aus ReluxUVC)..... 89
Abbildung 56 ReluxUVC PDF-Export der Berechnungsergebnisse möbliert (eigene Darstellung aus ReluxUVC)..... 96
Abbildung 57 ReluxUVC PDF-Export der Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Unterzug (eigene Darstellung aus ReluxUVC)..... 99
Abbildung 58 ReluxUVC PDF-Export der Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Abhänger (eigene Darstellung aus ReluxUVC)..... 102

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Höchstzulässige UV-C-Exposition bei 254 nm. In Anlehnung an (ISO, 2016, S. 5) 13
Tabelle 2 Messwerte Nullkalibrierung (eigene Darstellung) 24
Tabelle 3 Messprotokoll Reflexionsgradmessung Messkasten, nach Reflexionsgrad aufsteigend sortiert (eigene Darstellung) 25
Tabelle 4 Messprotokoll Reflexionsgradmessung LCR-20, nach Reflexionsgrad aufsteigend sortiert (eigene Darstellung) 29
Tabelle 5 Auflistung gemessene Reflexionsgrade Messkasten und LCR-20. Aufsteigend nach LCR-20 Messwerten (eigene Darstellung) 32
Tabelle 6 absolute Abweichungen und der daraus resultierende Mittelwert der Messergebnisse vom Messkasten zum LCR-20 (eigene Darstellung) 32
Tabelle 7 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für 2,5 m hohen Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 46
Tabelle 8 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für 1,83 m hohen Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 47
Tabelle 9 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für 0,8 m hohen Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 48
Tabelle 10 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für Aluminiumfolie als Unterzug (eigene Darstellung) 50
Tabelle 11 Eckdaten Simulation in ReluxUVC für Aluminiumfolie als Abhänger (eigene Darstellung 52
Tabelle 12 Auszug Messergebnisse Szenario Aluminiumfolie als Abhänger (eigene Darstellung) 53
Tabelle 13 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Unmöbliert, auf 2,50 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 83
Tabelle 14 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Unmöbliert, auf 1,83 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 84
Tabelle 15 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Unmöbliert, auf 0,8 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 85
Tabelle 16 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Möbliert, auf 2,50 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 90

Tabelle 17 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Möbliert, auf 1,83 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 91
Tabelle 18 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Möbliert, auf 0,8 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 92
Tabelle 19 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Aluminiumfolie als Unterzug und möbliert, auf 1,83 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 97
Tabelle 20 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Aluminiumfolie als Abhänger und möbliert, auf 2,50 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung) 101

12 Anhang

Anhang 1 Datenblatt Radiometer $X1_1$ Optometer 67
Anhang 2 Datenblatt Messkopf UV-3725 71
Anhang 3 Datenblatt LCR-20 74
Anhang 4 Datenblatt Philips SM345C 78
Anhang 5 Datenblatt TUV PL-S 81
Anhang 6 Mess- und Berechnungsergebnisse unmöbliert 83
Anhang 7 Mess- und Berechnungsergebnisse möbliert 90
Anhang 8 Mess- und Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Unterzug 97
Anhang 9 Mess- und Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Abhänger 100

Anhang 1 Datenblatt Radiometer $X1_1$ Optometer

Gigahertz-Optik
Member of the BERGHOF GROUP

X1

https://www.gigahertz-optik.com/de-de/produkt/x1/

Produkt-Tags: Multikanal

Überblick

Handmessgerät

Das X11 Optometer ist eines der am vielseitigsten einsetzbaren mobilen Lichtmessgeräte auf dem Markt. Es verbindet eine leistungsstarke Elektronik mit einem leichten, ergonomischen und mobilen Gehäuse. Dies macht das Gerät zum perfekten Partner für Applikationen wie beispielsweise einen Kalibrierservice vor Ort.

Mobiles Messgerät X1

Einfach zu bedienen

Die Anwendung des X11 ist sehr einfach und intuitiv. Hierbei ist die Menüstruktur sehr flach und einfach gehalten. Es können u.a. Messparameter, Messmodus, Kalibrierdaten eingestellt werden. Die Einstellungen werden im Eeprom gespeichert. Die Messwerte werden direkt in absoluten Größen mit Einheit am Display dargestellt.

Batterie oder USB-Betrieb

Für den Mobileinsatz kann das X11 mit zwei 1.5 V AA Batterien betrieben werden. Im Einsatz per Schnittstelle bietet sich der Betrieb per USB an, welche auch gleichzeitig die Versorgung darstellt.

Vier-Kanal-Messgerät

Das Alleinstellungsmerkmal der X11 Serie ist die Fähigkeit bis zu 4 Kanäle auszuwerten.

Universell einsetzbares Lichtmessgerät

Das X11 kann mit fast allen Ein- oder Mehrkanal-Messköpfen von Gigahertz-Optik verwendet werden. Hierdurch ist mit diesem Optometer fast jede Applikation in Radiometrie, Photometrie, Strahlenschutz oder Farbmessung möglich.

Schnittstellen

Das X11 weist eine USB Schnittstelle auf.

Technische Daten

Allgemein	
Kurzbeschreibung	Optometer zur individuellen Konfiguration als Photometer, RGB-Farbmessgerät, Radiometer, UV-Radiometer, Laser-Leistungsmessgerät usw. mit den entsprechenden Messköpfen.

Hauptmerkmale	Kompaktes Messgerät in ergonomischer Ausführung zur Ein-Hand-Bedienung. Vier Signaleingänge im Multiplexerbetrieb zur Verwendung mit Ein- und Mehrkanal-Messköpfen. Hintergrund-beleuchtetes Vier-Zeilen-Display. Batteriebetrieb mit zwei AA Zellen. USB Schnittstelle. Anwender Software und Software Entwicklungs Kit verügbar.
Messbereich	Großer Dynamikbereich für Signalströme von 0,1 pA (Rauschäquivalentes Signal) bis 200 µA. Sieben Verstärkungsstufen mit manueller bzw. automatischer Auswahl. Messbereiche in absoluten Größen in Abhängigkeit der gewählten Messköpfe, deren Empfindlichkeit und Kalibrierung.
mögliche Anwendungen	Messgerät für den mobilen Einsatz: Bestimmung der Beleuchtungsbedingungen, Kontrolle der Lampenalterung in Fertigungsprozessen usw. Durch seine USB Schnittstelle kann das Messgerät in automatische Prozessabläufe integriert werden.
Kalibrierung	Kalibrierung und Abgleich der Stromempfindlichkeit in allen sieben Verstärkungsstufen. Speicher für die Kalibrierdaten mehrerer Messköpfe zur Messung in der absoluten Einheit des ausgewählten Messkopfes.
Produkt	
Detektorschnittstelle	9-Pin MDSM9 Buchse, 4 Eingänge
Messbereich	Sieben (200 µA bis 0,1 pA) manueller oder automatischer Bereich. Dies kann vom Benutzer spezifisch eingestellt werden.

Bereich Nr.	Bereich max.	Anstiegszeit (10 - 90)%	Auflösung ± Kalibrierunsicherheit *) (bei 24 °C)	Zulässige Detektor-kapazität	Typischer Linearitäts-fehler	Typ. Temperatur Koeffizient
0	200,0 µA ***)	3 ms	±0,1 µA ± 0.3%	2 nF	< ±0,5%	< ±0,03%/°C
1	20,00 µA	3 ms	±0,01 µA ± 0.3%	2 nF	< ±0,2%	< ±0,03%/°C
2	2,000 µA	3 ms	±0,001 µA ± 0.3%	2 nF	< ±0,2%	< ±0,03%/°C
3	200,0 nA	3 ms	±0,1 nA ± 0.3%	10 nF	< ±0,2%	< ±0,03%/°C
4	20,00 nA	3 ms	±0,01 nA ± 0.3%	10 nF	< ±0,2%	< ±0,03%/°C
5	2,000 nA	30 ms	±0,001 nA ± 0.4%	10 nF	< ±0,3%	< ±0,1%/°C
6	200,0 pA	30 ms	±0,1 pA ± 0.4% ±Bias current (max.1,0 pA) **)	10 nF	< ±0,6% ****)	< ±0,3%/°C

*) Die Messunsicherheit liegt in der Regel unterhalb der Kalibrierunsicherheit, muss jedoch bei einer Messung noch zusätzlich betrachtet werden. Bei sehr geringen Strömen wird eine detaillierte Betrachtung der Messunsicherheitsanalyse empfohlen, da in diesem Fall die Messunsicherheit überwiegen kann.

**) Interner Bias Abgleich kann diesen reduzieren. Maximaler Biasstrom liegt dann bei ± 0,2 pA

***) nur für Geräteversionen mit 7 Messbereichen

****) gültig für Ströme über 10 pA

CW Integrationszeit	1 ms – 1 s
Offset Korrektur	Korrekturbereich überschreitend
Parametereinstellung	Fernbedienung oder Fronttasten (Menü), Sollwerte dauerhaft gespeichert (EEPROM)
Kalibrierung	max. 256 Datensätze in EEPROM gespeichert

Menüführung	**Menü**	**Untermenü**	**Funktion**
	1. Mode	**CW**	CW Messung unter Berücksichtigung aller Einstellungen
		Dose	Akkumuliert die Einzelmessungen zu einer Dosis
		CIE Yxy & T	Messen der CIE Farbwerte Yxy und T
		CIE Yuv & T	Messen der CIE Farbwerte Yuv und T
	2. Setup	**Zero Adjust**	Führt einen Nullabgleich des internen Verstärkers und des ADC durch
		Integration	Setzt die Messzeit
		Dose Time	Setzt max. Dosis Messzeit
	3. Detector	Auswahl der Kalibrierdaten für die Berechnung des Absolutwerts	
	4. Offset	Führt eine automatische Offestkorrektur aus ("Offset = CW" or "Offset = 0")	
	5. Range	Setzt den Messbereich (auto, manual)	
Abtastrate	interne Abtastrate ADC 250 µs		
Dosis	• Die maximale Dosis die auf dem X1-5/1-Gerät angezeigt werden soll beträgt 99999 TJ/cm² (bei W/cm²) oder 99999 TJ/m² (bei W/m²) • Maximale Zeit für die Dosismessung: 255h 59min 59s		
Sonstiges			
Spannungsversorgung	Zwei AA-Batterien ~ 250 Stunden Betriebszeit bei ausgeschalteter Displaybeleuchtung Betrieb mittels USB-Schnittstelle		
Schnittstelle	USB V1.1 (HID Device)		
Temperaturbereich	Betrieb: (5 bis 40) °C Lagerung: (-10 bis 50) ° C		
Anzeige	Graphisches LCD-Display: 97 x 32 pixel Displaygröße: 14,3 mm x 35,8 mm An-/Ausschaltbares LED-Hintergrundlicht Textanzeige: 4 Zeilen mit je 14 Zeichen		
Bedieneinheit	3 Knöpfe, Menüführung		
Abmessungen	145 mm x 63 mm x 30 mm		
	kompatibel		
Gewicht	150 g		
Luftfeuchtigkeit	<80%, nicht kondensierend		
Info	Eine regelmäßige Rekalibrierung der Stromkalibrierung ist zu empfehlen. Speziell wenn sehr kleine Messsignale gemessen werden müssen. Bei sehr hoher Luftfeuchtigkeit sind Fehlerströme des Radiometers bei niedrigen Messströmen möglich und sollten berücksichtigt werden.		

Konfigurierbar mit

Gigahertz-Optik GmbH *4/15*

Abbildung 50 Datenblatt Optometer X1 (Gigahertz Optik GmbH, gigahertz-optik.com X1)

Anhang 2 Datenblatt Messkopf UV-3725

Gigahertz-Optik
Member of the BERGHOF GROUP

UV-3725

https://www.gigahertz-optik.com/de-de/produkt/uv-3725/

Produkt-Tags: UV

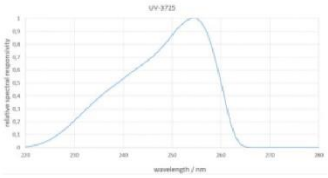
Überblick

Der Detektor UV-3725 ist speziell für die Messung von UV-C 254 nm Strahlung in Anlagen zur Luftentkeimung konzipiert. Deren Intensität muss am Einsatzort unter den Aspekten ausreichend hohe Bestrahlungsstärke zur effektiven Wirkung und UV-Strahlungsgefährdung vermessen werden.

Messkopf für UV-C 254 nm Bestrahlungsstärke mit FOV 80°

Hohe Dynamik

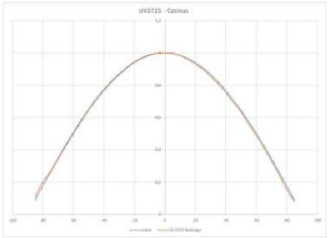
Der Messkopf ist für maximale Empfindlichkeit konzipiert, um die geringen UV-C Grenzwerte im Rahmen der UV-Strahlengefährdung messen zu können. Trotzdem eignet sich der Detektor auch zur Messung der für die Luftentkeimung wirksamen Bestrahlungsstärken. Dies ermöglicht der große, nutzbare Dynamikbereich der verwendeten Fotodioden in Verbindung mit den Optometern und Signalverstärkern der Gigahertz-Optik GmbH.



Typische spektrale Empfindlichkeit des UV-3725 Detektors

Kosinus Blickfeldfunktion

Die dem Kosinus angepasste Blickfeldfunktion des Detektors ist für ein weites Blickfeld ausgelegt. Dadurch kann auch die UV-Strahlungsgefährdung durch Streustrahlung gemessen werden. Die Kosinus Blickfeldfunktion wird durch eine Streuscheibe erzeugt.



Typisches Sichtfeld mit guter Kosinus Empfindlichkeit

Vorgealterte Baugruppen

Sämtliche optischen Baugruppen des Messkopfes inklusive der Fotodiode sind zur Verbesserung der Langzeitstabilität mit UV-C Strahlung vorgealtert.

Kompakte Gehäuse

Der UV-3725 Detektor ist in einem Gehäusen aus Natur eloxierten Aluminium mit 37 mm Durchmesser aufgebaut.

Rückführbare Kalibrierungen

Jeder Detektor wird mit Kalibrierung seiner Bestrahlungsstärke Empfindlichkeit in W/m² und/oder W/cm² sowie seiner relativen spektralen Empfindlichkeit ausgeliefert. Die Kalibrierung und ihre Rückführbarkeit werden im Kalibrierzertifikat bestätigt, das mit jedem Detektor ausgeliefert wird.

80° FOV

Technische Daten

Allgemein	
UV-3725	Messkopf für UV-C 254 nm Bestrahlungsstärke in Installationen zur Luftentkeimung
Kalibrierung	
Kalibrierung	Kalibrierung der Bestrahlungsstärke Empfindlichkeit in A/(W/m²) unter Verwendung einer monochromatischen 254 nm Referenzlampe.
Spezifikationen	
spektrale Empfindlichkeit	UV-C 254 nm
typische Empfindlichkeit	UVC @254nm radiometrisch: 5E-5 A/(W/cm²)
Max. Signalstrom	50 µA
Eingangsoptik	8 mm Ø Streuscheibe, f2 ≤ 3 %
Gehäuse	37 mm Ø, 21 mm hoch
Anschluss	Koaxialkabel, 2 m lang mit BNC (-1), Kalibrierdaten (-2) oder ITT (-4) Stecker. Flexibler Metallschlauch
Temperaturbereich	(5 - 40) °C
	Temperaturkoeffizient: -0,0595 %/K
min. Signalstrom	abhängig vom Optometer

Downloads

Typ	Beschreibung	Datei-Typ	Download
Zeichnung	UV-3725		

Konfigurierbar mit

Produktname	Produktbild	Beschreibung	Zum Produkt
P-9710-2		Hochwertiges Optometer zur Messung der Pulsenergie von Einzel- und Mehrfachpulsen in photometrischen, radiometrischen und LASER Anwendungen. Features: Pulsenergie Messung, CW, Dosis, einfacher und sicherer Messkopfwechsel, Batterie, Netzbetrieb, RS232.	https://www.gigahertz-optik.com/de-de/produkt/p-9710-2/

Abbildung 51 Datenblatt UV-3725 (Gigahertz Optik GmbH, gigahertz-optik.com UV-3725)

Anhang 3 Datenblatt LCR-20

Gigahertz-Optik
Member of the BERGHOF GROUP

LCR-20

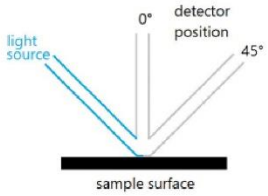
https://www.gigahertz-optik.com/de-de/produkt/lcr-20/

Produkt-Tags: UV

Überblick

UV-Reflexion

Die UV-Reflexion ist eine wichtige Kenngröße von Materialien, beispielsweise bei der Planung von UV-Desinfektionslichtanlagen. Insbesondere, wenn es um die Spezifikation von Reflexionsmaterial, Wandfarbe usw. geht.



Messgeometrie LCR-20

LCR-20 UV-Reflexionsmessgerät

Der LCR-20 ist speziell für die Lichtreflexionsmessung von Oberflächen im UV-Spektralbereich ausgelegt. Es ermöglicht die 45° und 0° Messgeometrie und besteht aus einer kollimierten UV-Strahlungsquelle (LED-basiert) mit Referenzdetektor zur Korrektur von Lichtquellenschwankungen und einem UV-37xx-Detektor. Die Signale werden mit einer speziellen Version des vielseitigen X1-Messgeräts direkt gemessen, korrigiert und ausgewertet. Sowohl die Lichtquelle als auch das Messgerät werden mit Batterie betrieben. Die Lichtquelle mit einem wiederaufladbaren USB-Li-Ion-Typ. Für die Rekalibrierung im Feld bei 45°/0° wird ein optionaler ODM-Referenzstandard (diffuses Reflexionsvermögen) und bei 45°/45° (gerichtetes Reflexionsvermögen) ein optionaler UV-enhanced Spiegel angeboten. Um die bestmögliche Nutzen zu gewährleisten, sind die Referenzstandards in zwei Versionen erhältlich. Eine Version mit rückführbarer Kalibrierung und eine ohne Kalibrierung. Die Version ohne Kalibrierung wird vor Ort als Übertragungsstandard verwendet, wobei der jeweilige kalibrierte Standard zur gelegentlich Anpassung der Übertragungswertes verwendet wird. Alle Standards werden in einem geschlossenen Gehäuse geliefert, um äußere Umwelteinflüsse zu vermeiden.

X1 Optometer

Messgerät für Freihandmessungen

Die integrierte Lichtquelle auf UV-LED-Basis wird von einem Referenzsensor online gemessen und dynamisch korrigiert. Dies ermöglicht Freihandmessungen im Feld, da alle Einflüsse auf die Lichtquelle wie Temperatur und Ausrichtung korrigiert werden. Eine der charakteristischen Eigenschaften des LCR-20 ist seine Fähigkeit, einfach eine schnelle Messung durchzuführen:

LCR-20 Lichtquelle mit Detektor

1. Anschluss der Strahlungsquelle und des X1-5 V01-Messgeräts
2. Für eine diffuse Messung wird eine Kalibrierungsmessung bei 0°/45° mit der optionalen ODM-Referenz durchgeführt
3. Ausrichtung auf die Testprobe/Oberfläche
4. Start der Messung
5. Anzeige der Ergebnisse
6. Für die gerichtete Messung bei 45°/45° wird die Spiegelreferenz verwenden und die Schritte 3 bis 5 wiederholt
7. Für die Messung des Gesamtreflexionsvermögens beide Messergebnisse aus Punkt 5 (diffus + spiegelnd) zusammenfassen.

Rückführbare Messungen

Für Anwendungen in denen rückführbare Messungen erforderlich sind, werden ODM-Reflexionsstandards für die Rekalibrierung angeboten.

Technische Daten

Allgemein	
Kurzbeschreibung	Mobiles Messgerät für UV Reflexion
Hauptmerkmale	UV LED Lichtquelle. Kompakte Quelle und Empfänger. Batteriebetrieben.
Messbereich	Spektralbereich: 254 nm Erkennung: Reflexion
mögliche Anwendungen	Messung der UV-Reflexion von Oberflächen für z.B. UV-Desinfektionsanlagen.
Kalibrierung	Relative Messmethode mit 100 % Abgleich.
Produkt	
Messgeometrie	45°/45° und 45°/0° Geometrie
Lichtquelle	UV LED kollimiert mit Monitordetektor.
Sensor	UV-3725
Spektralbereich	254 nm LED Peak +/- LED Toleranz
Kalibrierung	Relative Messungen durch 100% Abgleich gegen Luft. Rückführbare Messungen durch Abgleich mit kalibrierten Standardfiltern.
Gehäuse	Aluminiumgehäuse (Lichtquelle)
Steuerelektronik	X1 Optometer
Spot Durchmesser	10 mm
Sonstiges	
Temperaturbereich	10 °C bis 40 °C
Luftfeuchtigkeit	Oberhalb vom Taupunkt
Elektrischer Anschluss	USB Spannungsversorgung Lichtquelle / zum laden

Bestellinformationen

Artikel-Nr	Modell	Beschreibung
Produkt		
15312480	LCR-20	Messgerät
Kalibrierung		
15312500	K-BNRxxD2-I-RE	Kalibrierung des Reflexionsgrades bei 254 nm. Kalibrierzertifikat inklusive. Messfeld 9 x 17mm bzw. 19,2mm Diagonale. Für Plattengrößen <=2 Zoll.

Artikel-Nr	Modell	Beschreibung
Zubehör		
15295999	BN-R98-D2C	Plättchen im Gehäuse mit Kappe; Reflexion 98 %; d 2"; d 50,8 mm; ohne Kalibrierzertifikat

Abbildung 52 Datenblatt LCR-20 (Gigahertz Optik GmbH, gigahertz-optik.com LCR-20)

Anhang 4 Datenblatt Philips SM345C

UV-C Luftdesinfektions-Geräte, Deckenmontage

SM345C 4xTUV PLS 9W HFM

PHILIPS UV-C DISINFECTION UPPER AIR - 4 Lampen - HF Matchbox - Weiß und Schwarz - 38 W - 230 V

Als Teil der Philips UV-C-Desinfektions-Oberluftgeräteserie wurde die Philips UV-C-Desinfektions-Oberluftdeckenleuchte für die Desinfektion von Luft in einer Vielzahl von Anwendungen entwickelt. Sie ist für die Installation an Zwischendecken vorgesehen. Die für niedrige Deckenhöhen optimierten UV-C-Strahlen werden auf Geräteebene und darüber verteilt. Der Strahl der UV-C-Strahlen wird durch spezielle Reflektoren und das Lamellendesign gesteuert. Dies ermöglicht die Desinfektion der Luft in einem Raum und stellt gleichzeitig sicher, dass die täglichen Geschäftsaktivitäten unter dem Bereich fortgesetzt werden können, in dem das Gerät aktiv ist.

Datasheet, 2021, Juli 6

Änderungen vorbehalten

UV-C Luftdesinfektions-Geräte, Deckenmontage

Hinweise

- GEFAHR: UV-Produkt der Risikogruppe 3. Wie bei jedem Desinfektionssystem müssen UV-C-Lampen und -Geräte ordnungsgemäß installiert und verwendet werden. Direkte Exposition gegenüber UV-C kann gefährlich sein und zu einer sonnenbrandartigen Reaktion auf die Haut und zu ernsthaften Schäden an der Hornhaut führen.
- Da UV-C für das Auge unsichtbar ist, muss das UV-C-Oberluftgerät zusammen mit angemessenen Sicherheitsvorkehrungen installiert werden, um sicherzustellen, dass das UV-C-Oberluftgerät sicher betrieben werden kann. Das UV-C-Oberluftgerät darf nur als Komponente in einem System verwendet werden, das aus angemessenen Sicherheitsvorkehrungen besteht, wie sie insbesondere in den Montageanweisungen und/oder Benutzerhandbüchern angegeben sind.
- Direkte Exposition gegenüber UV-C ist gefährlich. Philips UV-C-Leuchtensysteme dürfen nur über qualifizierte Partner verkauft und von Fachleuten gemäß unseren strengen Sicherheitsbestimmungen und gesetzlichen Anforderungen installiert werden. Unsere UV-C-Produkte sind nicht für Anwendungen oder Aktivitäten vorgesehen, die zum Tod, zu Personenschäden und/oder zur Schädigung der Umwelt führen und/oder führen können.

Produkt Daten

Allgemeine Eigenschaften	
Anzahl Lichtquellen	4 [4 Lampen]
Ausstrahlungswinkel der Lichtquelle	- °
Anzahl Vorschaltgeräte	4 Einheiten
Betriebsgerät	HFM [HF Matchbox]
Optiktyp	L [Lamellenraster]
Ausstrahlungswinkel Leuchte	-
Steuerungsschnittstelle	-
Elektrischer Anschluss	Schnellsteckverbinder, 3-polig
Kabel	No
IEC-Schutzart	Schutzklasse I
Glühfadentest	Temperatur: 650 °C, Dauer: 30 s
Entflammbarkeitszeichen	-
CE-Zeichen	ja
ENEC-Zeichen	Nein
Garantiedauer	1 Jahr
Anzahl Leuchten pro Sicherung mit 16 A Typ B	38
Fotobiologisches Risiko	Photobiological risk group 3 @ 200mm to EN62471
EU RoHS-konform	Ja
Produktfamiliencode	SM345C [PHILIPS UV-C DISINFECTION UPPER AIR]

Elektrische Kenndaten	
Eingangsspannung	230 V
Eingangsfrequenz	50 Hz
Einschaltstrom	13 A
Einschaltzeit	0,11 ms
Leistungsfaktor (min.)	0.64

Dimmen	
Dimmbar	Nein

Mechanische Kenndaten	
Gehäusematerial	Aluminium
Reflektor-Material	Aluminium
Optisches Material	Aluminium
Montagevorrichtung	Rahmen zur Einbaumontage
Gesamte Länge	595 mm
Gesamte Breite	595 mm
Gesamte Höhe	155 mm
Farbe	Weiß und Schwarz
Abmessungen (Höhe x Breite x Tiefe)	155 x 595 x 595 mm (6.1 x 23.4 x 23.4 in)

Zulassungen und Anwendungseigenschaften	
Schutzart (IP)	IP20 [Fernhalten von Fingern]
Schlagfestigkeit (IK)	IK02 [IK02]

UV-Beständigkeit	
UV-C-Strahlung	0,335 W
UV-C-Bestrahlungsstärke bei 2 m definiert	11,44 µW/cm²
UV-C-Bestrahlungsstärke bei 20 cm definiert	137,2 µW/cm²

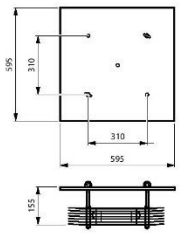
Initialkennwerte (IEC konform)	
Systemleistung	38 W
Toleranz Leistungsaufnahme	+/-10%

Anwendungsparameter	
Umgebungstemperaturbereich	+10 bis +40 °C
Bemessungs-Umgebungstemperatur	25 °C
Maximaler Dimmlevel	Nicht zutreffend
Geeignet zum häufigen An- und Ausschalten	Nein

Produktdaten	
Gesamt-Produktcode	871869690444200
Bestell-Produktname	SM345C 4xTUV PLS 9W HFM
EAN/UPC - Produkt	8718696904442
Bestellcode	90444200
Anzahl pro Verpackung	1
SAP-Zähler - Pakete pro Außenkarton	1
SAP-Material	919206000021
Nettogewicht (Einzelteil)	7,500 kg

UV-C Luftdesinfektions-Geräte, Deckenmontage

Abmessungsskizzen



UV-C disinfection devices

© 2021 Signify Holding Alle Rechte vorbehalten. Signify gibt keine Zusicherungen und übernimmt keine Garantie bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit der in diesem Dokument enthaltenen Informationen und haftet nicht für Handlungen, die im Vertrauen darauf ausgeführt werden. Die in diesem Dokument vorgestellten Informationen sind, sofern keine anderslautende Vereinbarung mit Signify besteht, nicht als kommerzielles Angebot gedacht und sind nicht Teil eines Angebots oder Vertrags. Philips und das Philips Schildsymbol sind eingetragene Warenzeichen der Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com
2021, Juli 6 – Änderungen vorbehalten

Abbildung 53 Datenblatt Philips SM345C ((Signify GmbH, lighting.philips.de SM345C, 2021)

Anhang 5 Datenblatt TUV PL-S

TUV PL-S

TUV PL-S 9W/2P 1CT/6X10BOX

Kompakte, einseitig gesockelte Niederdruck-Quecksilberdampf-Entladungslampe

Hinweise

- Es ist sehr unwahrscheinlich, dass der Glasbruch einer Lampe negative Auswirkungen auf Ihre Gesundheit hat. Wenn es zu einem Glasbruch kommt, lüften Sie den Raum 30 Minunten lang und entfernen Sie die Splitter möglichst mit Handschuhen. Legen Sie die Splitter in eine verschließbaren Plastikbeutel und geben Sie ihn beim Werkstoffhof zum Recycling ab. Benutzen Sie keinen Staubsauger.

Produkt Daten

Allgemeine Eigenschaften	
Sockel	G23 [G23]
Hauptanwendungsgebiet	Desinfektion
Nutzlebensdauer (Nom)	9000 h

Lichttechnische Daten	
Farbcode	TUV
Lichtfarbe	- [Not Specified]
Strahlungsrückgang bei Nutzlebensdauer	20 %

Elektrische Kenndaten	
Power (Rated) (Nom)	8,6 W
Lampenstrom (Nom)	0,17 A
Spannung (Nom)	60 V

Mechanische Kenndaten	
Sockelinformation	2 Pin (2P)
Kolbenform	2xT12

Zulassungen und Anwendungseigenschaften	
Quecksilbergehalt (Nom)	3,0 mg

UV-Beständigkeit	
UV-C-Strahlung	2,3 W

Produktdaten	
Gesamt-Produktcode	871150061824580
Bestell-Produktname	TUV PL-S 9W/2P 1CT/6X10BOX
EAN/UPC - Produkt	8711500618245
Bestellcode	61824580
Lokale Bestellnummer	1095050
Anzahl pro Verpackung	1
SAP-Zähler - Pakete pro Außenkarton	60
SAP-Material	927901704007
Nettogewicht (Einzelteil)	32,000 g

Datasheet, 2021, Juni 8

Änderungen vorbehalten

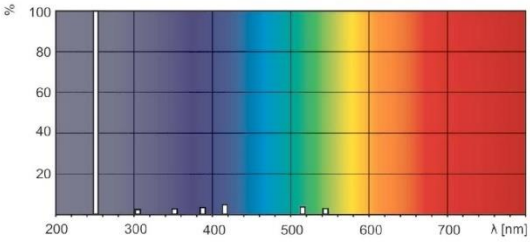
TUV PL-S

Abmessungsskizzen

Product	D1 (max)	D (max)	A (max)	B (max)	C (max)
TUV PL-S 9W/2P 1CT/6X10BOX	13 mm	28 mm	129 mm	144,5 mm	167 mm

TUV 9W PL-S

Photometrische Daten



XDPB_XUTUVPLS-Spectral power distribution B/W

XDPO_XUTUVPLS-Spectral power distribution Colour

© 2021 Signify Holding Alle Rechte vorbehalten. Signify gibt keine Zusicherungen und übernimmt keine Garantie bezüglich der Richtigkeit oder Vollständigkeit der in diesem Dokument enthaltenen Informationen und haftet nicht für Handlungen, die im Vertrauen darauf ausgeführt werden. Die in diesem Dokument vorgestellten Informationen sind, sofern keine anderslautende Vereinbarung mit Signify besteht, nicht als kommerzielles Angebot gedacht und sind nicht Teil eines Angebots oder Vertrags. Philips und das Philips Schildsymbol sind eingetragene Warenzeichen der Koninklijke Philips N.V.

www.lighting.philips.com

2021, Juni 8 – Änderungen vorbehalten

Abbildung 54 Datenblatt Philips TUV PL-S (Signify GmbH, lighting.philips.de TUV PL-S, 2021)

Anhang 6 Mess- und Berechnungsergebnisse unmöbliert

Höhe der Messpunkte:	2,5 m			mW/m² horizontal				
Messpunkt	**x**	**y**	**z**	gemessen	**Relux-UVC**	**absolute Abweichung Messwert zu Relux in %**	**Abweichung Messwert zu Relux in %**	**absolute Abweichung möbliert zu unmöbliert, Relux in %**
1	1,25	-1,8	2,5	3,30	1,16	184,48%	184,48%	3,45%
2	2,75	-1,8	2,5	5,20	1,72	202,33%	202,33%	1,74%
3	4,25	-1,8	2,5	5,80	1,91	203,66%	203,66%	0,52%
4	5,75	-1,8	2,5	6,10	2,24	172,32%	172,32%	2,23%
5	7,25	-1,8	2,5	4,50	1,71	163,16%	163,16%	1,17%
6	8,75	-1,8	2,5	2,85	0,53	437,74%	437,74%	13,21%
7	1,25	-0,4	2,5	4,20	1,74	141,38%	141,38%	0,57%
8	2,75	-0,4	2,5	56,70	9,19	516,97%	516,97%	0,22%
9	4,25	-0,4	2,5	11,50	5,94	93,60%	93,60%	0,34%
10	5,75	-0,4	2,5	30,35	8,00	279,38%	279,38%	0,25%
11	7,25	-0,4	2,5	14,07	9,14	53,94%	53,94%	0,11%
12	8,75	-0,4	2,5	3,30	0,73	352,05%	352,05%	1,37%
13	-1,75	1	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
14	-0,25	1	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
15	1,25	1	2,5	3,51	1,09	222,02%	222,02%	0,92%
16	2,75	1	2,5	11,80	9,84	19,92%	19,92%	0,10%
17	4,25	1	2,5	8,90	3,46	157,23%	157,23%	0,29%
18	5,75	1	2,5	13,40	8,86	51,24%	51,24%	0,11%
19	7,25	1	2,5	9,25	2,83	226,86%	226,86%	0,35%
20	8,75	1	2,5	3,28	0,59	455,93%	455,93%	6,78%
21	-1,75	2,4	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
22	-0,25	2,4	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
23	1,25	2,4	2,5	2,10	0,56	275,00%	275,00%	0,00%
24	2,75	2,4	2,5	2,90	0,78	271,79%	271,79%	1,28%
25	4,25	2,4	2,5	4,80	0,97	394,85%	394,85%	0,00%
26	5,75	2,4	2,5	5,20	0,93	459,14%	459,14%	0,00%
27	7,25	2,4	2,5	3,50	0,77	354,55%	354,55%	0,00%
28	8,75	2,4	2,5	2,20	0,24	816,67%	816,67%	0,00%
29	-1,75	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
30	-0,25	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
31	1,25	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
32	2,75	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
33	4,25	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
34	5,75	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
35	7,25	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
36	8,75	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
					$\bar{X}$	**180,73%**	**180,73%**	**0,97%**

Tabelle 13 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Unmöbliert, auf 2,50 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Höhe der Messpunkte unmöbliert	1,83 m			mW/m² horizontal				
Messpunkt	**x**	**y**	**z**	**gemessen**	**Relux-UVC**	**absolute Abweichung Messwert zu Relux in %**	**Abweichung Messwert zu Relux in %**	**absolute Abweichung möbliert zu unmöbliert, Relux in %**
1	1,25	-1,8	1,83	1,10	0,77	42,86%	42,86%	9,09%
2	2,75	-1,8	1,83	1,25	1,01	23,76%	23,76%	14,85%
3	4,25	-1,8	1,83	1,51	1,05	43,81%	43,81%	10,67%
4	5,75	-1,8	1,83	1,49	1,03	44,66%	44,66%	12,72%
5	7,25	-1,8	1,83	1,28	0,91	40,66%	40,66%	12,64%
6	8,75	-1,8	1,83	1,09	0,45	142,22%	142,22%	13,33%
7	1,25	-0,4	1,83	1,38	0,88	56,82%	56,82%	0,00%
8	2,75	-0,4	1,83	1,17	1,04	12,50%	12,50%	0,96%
9	4,25	-0,4	1,83	1,75	1,18	48,31%	48,31%	3,39%
10	5,75	-0,4	1,83	1,60	1,16	37,93%	37,93%	4,91%
11	7,25	-0,4	1,83	1,29	0,97	32,99%	32,99%	3,71%
12	8,75	-0,4	1,83	1,47	0,43	241,86%	241,86%	43,26%
13	-1,75	1	1,83	0,14	0,18	22,22%	-22,22%	5,56%
14	-0,25	1	1,83	0,47	0,42	11,90%	11,90%	31,90%
15	1,25	1	1,83	1,23	0,93	32,26%	32,26%	16,13%
16	2,75	1	1,83	1,37	1,03	33,01%	33,01%	7,77%
17	4,25	1	1,83	1,75	1,27	37,80%	37,80%	6,30%
18	5,75	1	1,83	1,59	1,16	37,07%	37,07%	9,74%
19	7,25	1	1,83	1,30	0,95	36,84%	36,84%	9,47%
20	8,75	1	1,83	1,29	0,48	168,75%	168,75%	15,21%
21	-1,75	2,4	1,83	0,22	0,18	22,22%	22,22%	1,67%
22	-0,25	2,4	1,83	0,31	0,38	18,42%	-18,42%	41,84%
23	1,25	2,4	1,83	1,15	0,15	666,67%	666,67%	6,67%
24	2,75	2,4	1,83	0,95	0,72	31,94%	31,94%	26,39%
25	4,25	2,4	1,83	1,12	0,76	47,37%	47,37%	22,89%
26	5,75	2,4	1,83	1,12	0,75	49,33%	49,33%	32,27%
27	7,25	2,4	1,83	0,92	0,57	61,40%	61,40%	71,40%
28	8,75	2,4	1,83	0,59	0,46	28,26%	28,26%	62,83%
29	-1,75	3,8	1,83	0,12	0,15	20,00%	-20,00%	12,00%
30	-0,25	3,8	1,83	0,15	0,14	7,14%	7,14%	24,29%
31	1,25	3,8	1,83	0,35	0,21	66,67%	66,67%	10,00%
32	2,75	3,8	1,83	0,37	0,26	42,31%	42,31%	3,85%
33	4,25	3,8	1,83	0,42	0,27	55,56%	55,56%	5,19%
34	5,75	3,8	1,83	0,19	0,15	26,67%	26,67%	74,00%
35	7,25	3,8	1,83	0,37	0,28	32,14%	32,14%	95,00%
36	8,75	3,8	1,83	0,23	0,20	15,00%	15,00%	91,00%
					$\bar{X}$	**64,98%**	**61,61%**	**22,58%**

Tabelle 14 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Unmöbliert, auf 1,83 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Höhe der Messpunkte unmöbliert	0,8 m			mW/m² horizontal				
Messpunkt	x	y	z	gemessen	Relux-UVC	absolute Abweichung Messwert zu Relux in %	Abweichung Messwert zu Relux in %	absolute Abweichung möbliert zu unmöbliert, Relux in %
1	1,25	-1,8	0,8	0,54	0,45	20,00%	20,00%	11,11%
2	2,75	-1,8	0,8	0,59	0,57	3,51%	3,51%	16,14%
3	4,25	-1,8	0,8	0,57	0,57	0,00%	0,00%	15,79%
4	5,75	-1,8	0,8	0,34	0,57	40,35%	-40,35%	17,54%
5	7,25	-1,8	0,8	0,31	0,51	39,22%	-39,22%	14,51%
6	8,75	-1,8	0,8	0,53	0,24	120,83%	120,83%	8,33%
7	1,25	-0,4	0,8	0,69	0,55	25,45%	25,45%	16,36%
8	2,75	-0,4	0,8	0,72	0,71	1,41%	1,41%	15,49%
9	4,25	-0,4	0,8	0,71	0,76	6,58%	-6,58%	18,42%
10	5,75	-0,4	0,8	0,69	0,76	9,21%	-9,21%	18,42%
11	7,25	-0,4	0,8	0,62	0,65	4,62%	-4,62%	17,85%
12	8,75	-0,4	0,8	0,65	0,29	124,14%	124,14%	4,83%
13	-1,75	1	0,8	0,17	0,11	54,55%	54,55%	18,18%
14	-0,25	1	0,8	0,36	0,25	44,00%	44,00%	26,00%
15	1,25	1	0,8	0,65	0,53	22,64%	22,64%	26,42%
16	2,75	1	0,8	0,71	0,67	5,97%	5,97%	22,39%
17	4,25	1	0,8	0,73	0,72	1,39%	1,39%	23,61%
18	5,75	1	0,8	0,68	0,71	4,23%	-4,23%	22,54%
19	7,25	1	0,8	0,70	0,62	12,90%	12,90%	24,19%
20	8,75	1	0,8	0,60	0,30	100,00%	100,00%	16,67%
21	-1,75	2,4	0,8	0,00	0,11	100,00%	-100,00%	100,00%
22	-0,25	2,4	0,8	0,30	0,19	57,89%	57,89%	72,11%
23	1,25	2,4	0,8	0,46	0,08	475,00%	475,00%	7,50%
24	2,75	2,4	0,8	0,53	0,42	26,19%	26,19%	35,95%
25	4,25	2,4	0,8	0,54	0,43	25,58%	25,58%	26,51%
26	5,75	2,4	0,8	0,55	0,39	41,03%	41,03%	22,82%
27	7,25	2,4	0,8	0,54	0,37	45,95%	45,95%	28,92%
28	8,75	2,4	0,8	0,40	0,28	42,86%	42,86%	30,71%
29	-1,75	3,8	0,8	0,00	0,08	100,00%	-100,00%	27,50%
30	-0,25	3,8	0,8	0,00	0,08	100,00%	-100,00%	73,75%
31	1,25	3,8	0,8	0,00	0,11	100,00%	-100,00%	100,00%
32	2,75	3,8	0,8	0,18	0,18	0,00%	0,00%	18,89%
33	4,25	3,8	0,8	0,28	0,18	55,56%	55,56%	22,22%
34	5,75	3,8	0,8	0,00	0,10	100,00%	-100,00%	80,00%
35	7,25	3,8	0,8	0,00	0,19	100,00%	-100,00%	96,32%
36	8,75	3,8	0,8	0,00	0,12	100,00%	-100,00%	100,00%
					X̄	**58,64%**	**13,96%**	**33,28%**

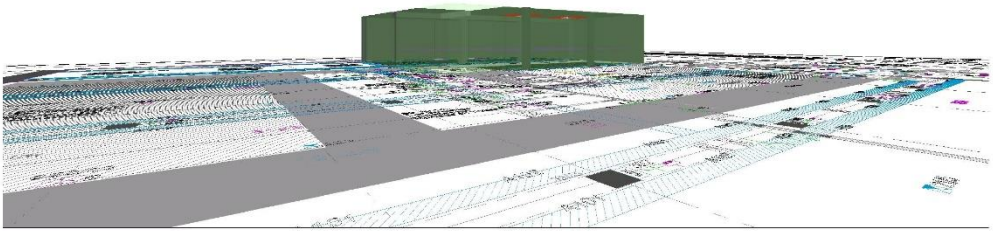
Tabelle 15 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Unmöbliert, auf 0,8 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

2 FTZ Upper Air unmöbliert

2.1 Summary, FTZ Upper Air unmöbliert

2.1.1 Result overview, FTZ Upper Air unmöbliert



General

Calculation algorithm used	High indirect fraction
Height of luminaire plane	2.52 m
Total radiant UV-C flux	716.00 mW
Total power	76.0 W

Measuring volumes

Maintenance factor 1.00

No.	Measuring volume	Grid	E_em	$E_e$max	Volume	h low	h heigh
1	Measuring volume 1	10 x 10 x 8	47.99 mW/m²	3425.37 mW/m²	349.8 m³	0.00 m	2.65 m

Type No.\Make

1 2

Philips/SM345C UpperAir Deckenanbau 358mW (38W)

Order No. : 919206000101
Luminaire name : SM345C Anbau 4xTUV PLS 9W HFM SMB (358mW UV-C)
Equipment : 4 x TUV PL-S 9W (mW UV-C) / 89.5 mW

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

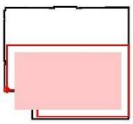
2 FTZ Upper Air unmöbliert

2.2 Calculation results, FTZ Upper Air unmöbliert

2.2.1 Table, Messebene 0.8m (E_e)

[m]	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 [m]
14.0	**(0.08)**	**(0.08)**	0.11	0.18	0.18	0.10	0.19	0.12			
13.0	0.11	0.19	**(0.08)**	0.42	0.43	0.39	0.37	0.28			
12.0	0.11	0.25	0.53	0.67	0.72	0.71	0.62	0.30			
11.0			0.55	0.71	**[0.76]**	**[0.76]**	0.65	0.29			
10.0			0.45	0.57	0.57	0.57	0.51	0.24			
9.0											

Irradiance [mW/m²]



Horizontal irradiance
Height reference plane : 0.80 m

Average irradiance	E_em	: 0.38 mW/m²
Minimum irradiance	$E_e$min	: 0.08 mW/m²
Maximum irradiance	$E_e$max	: 0.76 mW/m²
Uniformity Uo	$E_e$min/E_em	: 1 : 5.02 (0.20)
Diversity Ud	$E_e$min/$E_e$max	: 1 : 9.90 (0.10)

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

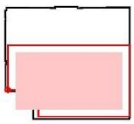
RELUX®

2.2 Calculation results, FTZ Upper Air unmöbliert

2.2.2 Table, Messebene 1.83m (E_e)

[m]	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 [m]
14.0	0.15	**(0.14)**	0.21	0.26	0.27	0.15	0.28	0.20			
13.0	0.18	0.38	0.15	0.72	0.76	0.75	0.57	0.46			
12.0	0.18	0.42	0.93	1.03	**[1.27]**	1.16	0.95	0.48			
11.0			0.88	1.04	1.18	1.16	0.97	0.43			
10.0			0.77	1.01	1.05	1.03	0.91	0.45			
9.0											

Irradiance [mW/m²]



Horizontal irradiance
Height reference plane : 1.83 m
Average irradiance E_em : 0.64 mW/m²
Minimum irradiance $E_e$min : 0.14 mW/m²
Maximum irradiance $E_e$max : 1.27 mW/m²
Uniformity Uo $E_e$min/E_em : 1 : 4.61 (0.22)
Diversity Ud $E_e$min/$E_e$max : 1 : 9.17 (0.11)

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

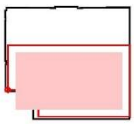
RELUX®

2.2 Calculation results, FTZ Upper Air unmöbliert

2.2.3 Table, Messebene 2.5m (E_e)

[m]	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 [m]
14.0	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)			
13.0	(0.00)	(0.00)	0.56	0.78	0.97	0.93	0.77	0.24			
12.0	(0.00)	(0.00)	1.09	**[9.84]**	3.46	8.86	2.83	0.59			
11.0			1.74	9.19	5.94	8.00	9.14	0.73			
10.0			1.16	1.72	1.91	2.24	1.71	0.53			
9.0											

Irradiance [mW/m²]



Horizontal irradiance
Height reference plane : 2.50 m
Average irradiance E_em : 2.08 mW/m²
Minimum irradiance $E_e$min : 0 mW/m²
Maximum irradiance $E_e$max : 9.84 mW/m²
Uniformity Uo $E_e$min/E_em : ---
Diversity Ud $E_e$min/$E_e$max : ---

FTZ_Philips_Upper_Air_20.08.2021_ohneKabel_.uvrdf Page 8/12

Abbildung 55 ReluxUVC PDF-Export der Berechnungsergebnisse unmöbliert (eigene Darstellung aus ReluxUVC)

Anhang 7 Mess- und Berechnungsergebnisse möbliert

Höhe der Messpunkte möbliert	2,5 m			mW/m² horizontal			
Messpunkt	**x**	**y**	**z**	**gemessen**	**Relux-UVC**	**absolute Abweichung Messwert zu Relux in %**	**Abweichung Mess-wert zu Relux in %**
1	1,25	-1,8	2,5	3,30	1,20	175,00%	175,00%
2	2,75	-1,8	2,5	5,20	1,75	197,14%	197,14%
3	4,25	-1,8	2,5	5,80	1,92	202,08%	202,08%
4	5,75	-1,8	2,5	6,10	2,29	166,38%	166,38%
5	7,25	-1,8	2,5	4,50	1,73	160,12%	160,12%
6	8,75	-1,8	2,5	2,85	0,60	375,00%	375,00%
7	1,25	-0,4	2,5	4,20	1,75	140,00%	140,00%
8	2,75	-0,4	2,5	56,70	9,21	515,64%	515,64%
9	4,25	-0,4	2,5	11,50	5,96	92,95%	92,95%
10	5,75	-0,4	2,5	30,35	8,02	278,43%	278,43%
11	7,25	-0,4	2,5	14,07	9,15	53,77%	53,77%
12	8,75	-0,4	2,5	3,30	0,74	345,95%	345,95%
13	-1,75	1	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
14	-0,25	1	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
15	1,25	1	2,5	3,51	1,10	219,09%	219,09%
16	2,75	1	2,5	11,80	9,85	19,80%	19,80%
17	4,25	1	2,5	8,90	3,47	156,48%	156,48%
18	5,75	1	2,5	13,40	8,87	51,07%	51,07%
19	7,25	1	2,5	9,25	2,84	225,70%	225,70%
20	8,75	1	2,5	3,28	0,63	420,63%	420,63%
21	-1,75	2,4	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
22	-0,25	2,4	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
23	1,25	2,4	2,5	2,10	0,56	275,00%	275,00%
24	2,75	2,4	2,5	2,90	0,79	267,09%	267,09%
25	4,25	2,4	2,5	4,80	0,97	394,85%	394,85%
26	5,75	2,4	2,5	5,20	0,93	459,14%	459,14%
27	7,25	2,4	2,5	3,50	0,77	354,55%	354,55%
28	8,75	2,4	2,5	2,20	0,24	816,67%	816,67%
29	-1,75	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
30	-0,25	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
31	1,25	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
32	2,75	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
33	4,25	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
34	5,75	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
35	7,25	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
36	8,75	3,8	2,5	0,00	0,00	0,00%	0,00%
					X̄	**176,74%**	**176,74%**

Tabelle 16 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Möbliert, auf 2,50 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Höhe der Messpunkte möbliert	1,83 m			mW/m² horizontal			
Messpunkt	**x**	**y**	**z**	**gemessen**	**Relux-UVC**	**absolute Abweichung Messwert zu Relux in %**	**Abweichung Messwert zu Relux in %**
1	1,25	-1,8	1,83	1,10	0,70	57,14%	57,14%
2	2,75	-1,8	1,83	1,25	0,86	45,35%	45,35%
3	4,25	-1,8	1,83	1,51	0,94	60,98%	60,98%
4	5,75	-1,8	1,83	1,49	0,90	65,74%	65,74%
5	7,25	-1,8	1,83	1,28	0,80	61,01%	61,01%
6	8,75	-1,8	1,83	1,09	0,51	113,73%	113,73%
7	1,25	-0,4	1,83	1,38	0,88	56,82%	56,82%
8	2,75	-0,4	1,83	1,17	1,03	13,59%	13,59%
9	4,25	-0,4	1,83	1,75	1,14	53,51%	53,51%
10	5,75	-0,4	1,83	1,6	1,10	45,06%	45,06%
11	7,25	-0,4	1,83	1,29	0,93	38,12%	38,12%
12	8,75	-0,4	1,83	1,47	0,62	138,64%	138,64%
13	-1,75	1	1,83	0,14	0,17	17,65%	-17,65%
14	-0,25	1	1,83	0,47	0,29	64,34%	64,34%
15	1,25	1	1,83	1,23	0,78	57,69%	57,69%
16	2,75	1	1,83	1,37	0,95	44,21%	44,21%
17	4,25	1	1,83	1,75	1,19	47,06%	47,06%
18	5,75	1	1,83	1,59	1,05	51,86%	51,86%
19	7,25	1	1,83	1,30	0,86	51,16%	51,16%
20	8,75	1	1,83	1,29	0,41	216,95%	216,95%
21	-1,75	2,4	1,83	0,22	0,18	24,29%	24,29%
22	-0,25	2,4	1,83	0,31	0,22	40,27%	40,27%
23	1,25	2,4	1,83	1,15	0,14	721,43%	721,43%
24	2,75	2,4	1,83	0,95	0,53	79,25%	79,25%
25	4,25	2,4	1,83	1,12	0,59	91,13%	91,13%
26	5,75	2,4	1,83	1,12	0,51	120,47%	120,47%
27	7,25	2,4	1,83	0,92	0,16	464,42%	464,42%
28	8,75	2,4	1,83	0,59	0,17	245,03%	245,03%
29	-1,75	3,8	1,83	0,12	0,13	9,09%	-9,09%
30	-0,25	3,8	1,83	0,15	0,17	13,79%	-13,79%
31	1,25	3,8	1,83	0,35	0,19	85,19%	85,19%
32	2,75	3,8	1,83	0,37	0,25	48,00%	48,00%
33	4,25	3,8	1,83	0,42	0,26	64,06%	64,06%
34	5,75	3,8	1,83	0,19	0,04	387,18%	387,18%
35	7,25	3,8	1,83	0,17	0,01	1114,29%	1114,29%
36	8,75	3,8	1,83	0,18	0,02	900,00%	900,00%
					$\bar{X}$	**158,57%**	**156,32%**

Tabelle 17 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Möbliert, auf 1,83 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Höhe der Mess-punkte möbliert	0,8 m			mW/m² horizontal			
Messpunkt	x	y	z	gemessen	Relux-UVC	absolute Abweichung Messwert zu Relux in %	Abweichung Messwert zu Relux in %
1	1,25	-1,8	0,8	0,54	0,40	35,00%	35,00%
2	2,75	-1,8	0,8	0,59	0,48	23,43%	23,43%
3	4,25	-1,8	0,8	0,57	0,48	18,75%	18,75%
4	5,75	-1,8	0,8	0,34	0,47	27,66%	-27,66%
5	7,25	-1,8	0,8	0,31	0,44	28,90%	-28,90%
6	8,75	-1,8	0,8	0,53	0,22	140,91%	140,91%
7	1,25	-0,4	0,8	0,69	0,46	50,00%	50,00%
8	2,75	-0,4	0,8	0,72	0,60	20,00%	20,00%
9	4,25	-0,4	0,8	0,71	0,62	14,52%	14,52%
10	5,75	-0,4	0,8	0,69	0,62	11,29%	11,29%
11	7,25	-0,4	0,8	0,62	0,53	16,10%	16,10%
12	8,75	-0,4	0,8	0,65	0,28	135,51%	135,51%
13	-1,75	1	0,8	0,17	0,09	88,89%	88,89%
14	-0,25	1	0,8	0,36	0,19	94,59%	94,59%
15	1,25	1	0,8	0,65	0,39	66,67%	66,67%
16	2,75	1	0,8	0,71	0,52	36,54%	36,54%
17	4,25	1	0,8	0,73	0,55	32,73%	32,73%
18	5,75	1	0,8	0,68	0,55	23,64%	23,64%
19	7,25	1	0,8	0,70	0,47	48,94%	48,94%
20	8,75	1	0,8	0,60	0,25	140,00%	140,00%
21	-1,75	2,4	0,8	0,00	0,00	0,00%	0,00%
22	-0,25	2,4	0,8	0,30	0,05	466,04%	466,04%
23	1,25	2,4	0,8	0,46	0,09	434,88%	434,88%
24	2,75	2,4	0,8	0,53	0,27	97,03%	97,03%
25	4,25	2,4	0,8	0,54	0,32	70,89%	70,89%
26	5,75	2,4	0,8	0,55	0,30	82,72%	82,72%
27	7,25	2,4	0,8	0,54	0,26	105,32%	105,32%
28	8,75	2,4	0,8	0,40	0,19	106,19%	106,19%
29	-1,75	3,8	0,8	0,00	0,06	100,00%	-100,00%
30	-0,25	3,8	0,8	0,00	0,02	100,00%	-100,00%
31	1,25	3,8	0,8	0,00	0,00	0,00%	0,00%
32	2,75	3,8	0,8	0,18	0,15	23,29%	23,29%
33	4,25	3,8	0,8	0,28	0,14	100,00%	100,00%
34	5,75	3,8	0,8	0,00	0,02	100,00%	-100,00%
35	7,25	3,8	0,8	0,00	0,01	100,00%	-100,00%
36	8,75	3,8	0,8	0,00	0,00	0,00%	0,00%
					$\bar{X}$	**81,68%**	**56,31%**

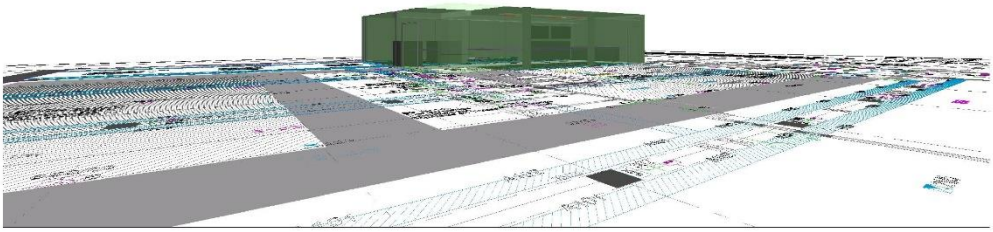
Tabelle 18 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Möbliert, auf 0,8 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Object	:	FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation	:	
Project number	:	
Date	:	25.06.2021

1 FTZ Upper Air möbliert

1.1 Summary, FTZ Upper Air möbliert

1.1.1 Result overview, FTZ Upper Air möbliert



General

Calculation algorithm used	High indirect fraction
Height of luminaire plane	2.52 m
Total radiant UV-C flux	716.00 mW
Total power	76.0 W

Measuring volumes

Maintenance factor 1.00

No.	Measuring volume	Grid	E_em	$E_e$max	Volume	h low	h heigh
1	Measuring volume 1	10 x 10 x 8	47.85 mW/m²	3425.39 mW/m²	349.8 m³	0.00 m	2.65 m

Type No.\Make

1 2

Philips/SM345C UpperAir Deckenanbau 358mW (38W)

Order No.	: 919206000101
Luminaire name	: SM345C Anbau 4xTUV PLS 9W HFM SMB (358mW UV-C)
Equipment	: 4 x TUV PL-S 9W (mW UV-C) / 89.5 mW

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

1 FTZ Upper Air möbliert

1.2 Calculation results, FTZ Upper Air möbliert

1.2.1 Table, Messebene 0.8m (E_e)

[m]	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 [m]
14.0	0.06	0.02			0.15	0.14	0.02	0.01			**(0.00)**
13.0		0.05	0.09		0.27	0.32	0.30	0.26			0.19
12.0	0.09	0.19	0.39		0.52	0.55	0.55	0.47			0.25
11.0			0.46		0.60	**[0.62]**	**[0.62]**	0.53			0.28
10.0											
9.0			0.40		0.48	0.48	0.47	0.44			0.22

Irradiance [mW/m²]

Horizontal irradiance
Height reference plane : 0.80 m
Average irradiance E_em : 0.31 mW/m²
Minimum irradiance $E_e$min : 0 mW/m²
Maximum irradiance $E_e$max : 0.62 mW/m²
Uniformity Uo $E_e$min/E_em : 1 : 62.47 (0.02)
Diversity Ud $E_e$min/$E_e$max : 1 : 124.93 (0.01)

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

RELUX®

1.2 Calculation results, FTZ Upper Air möbliert

1.2.2 Table, Messebene 1.83m (E_e)

[m]	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 [m]
14.0	0.13	0.17	0.19	0.25	0.26	0.04	**(0.01)**	0.02			
13.0	0.18	0.22	0.14	0.53	0.59	0.51	0.16	0.17			
12.0	0.17	0.29	0.78	0.95	**[1.19]**	1.05	0.86	0.41			
11.0			0.88	1.03	1.14	1.10	0.93	0.62			
10.0			0.70	0.86	0.94	0.90	0.80	0.51			
9.0											

Irradiance [mW/m²]

Horizontal irradiance
Height reference plane : 1.83 m
Average irradiance E_em : 0.55 mW/m²
Minimum irradiance $E_e$min : 0.01 mW/m²
Maximum irradiance $E_e$max : 1.19 mW/m²
Uniformity Uo $E_e$min/E_em : 1 : 39.38 (0.03)
Diversity Ud $E_e$min/$E_e$max : 1 : 86.05 (0.01)

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

RELUX®

1.2 Calculation results, FTZ Upper Air möbliert

1.2.3 Table, Messebene 2.5m (E_e)

[m]	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 [m]
14.0	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)			
13.0	(0.00)	(0.00)	0.56	0.79	0.97	0.93	0.77	0.24			
12.0	(0.00)	(0.00)	1.10	**[9.85]**	3.47	8.87	2.84	0.63			
11.0			1.75	9.21	5.96	8.02	9.15	0.74			
10.0			1.20	1.75	1.92	2.29	1.73	0.60			
9.0											

Irradiance [mW/m²]

Horizontal irradiance
Height reference plane : 2.50 m
Average irradiance E_em : 2.09 mW/m²
Minimum irradiance $E_e$min : 0 mW/m²
Maximum irradiance $E_e$max : 9.85 mW/m²
Uniformity Uo $E_e$min/E_em : ---
Diversity Ud $E_e$min/$E_e$max : ---

FTZ_Philips_Upper_Air_20.08.2021_ohneKabel_.uvrdf Page 4/12

Abbildung 56 ReluxUVC PDF-Export der Berechnungsergebnisse möbliert (eigene Darstellung aus ReluxUVC)

Anhang 8 Mess- und Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Unterzug

Szenario 1	Alufolie als "Unterzug"							
Höhe der Messpunkte	1,83 m				mW/m² horizontal			
Messpunkt	x	y	z		gemessen mit Alufolie	gemessen ohne Alufolie	berechnet in Relux mit Alufolie	berechnet in Relux ohne Alufolie
1	1,25	-1,8	0,8		1,14	1,10	0,80	0,77
2	2,75	-1,8	0,8		1,34	1,25	1,05	1,01
3	4,25	-1,8	0,8		1,4	1,51	1,30	1,05
4	5,75	-1,8	0,8		1,49	1,49	1,16	1,03
5	7,25	-1,8	0,8		1,35	1,28	0,93	0,91
6	8,75	-1,8	0,8		1,01	1,09	0,66	0,45
7	1,25	-0,4	0,8		1,84	1,38	0,93	0,88
8	2,75	-0,4	0,8		1,55	1,17	1,63	1,04
9	4,25	-0,4	0,8		2,08	1,75	1,98	1,18
10	5,75	-0,4	0,8		1,85	1,60	1,69	1,16
11	7,25	-0,4	0,8		1,65	1,29	1,18	0,97
12	8,75	-0,4	0,8		1,97	1,47	0,74	0,43
13	-1,75	1	0,8		0,17	0,14	0,18	0,18
14	-0,25	1	0,8		0,51	0,47	0,34	0,42
15	1,25	1	0,8		1,18	1,23	0,90	0,93
16	2,75	1	0,8		1,39	1,37	1,19	1,03
17	4,25	1	0,8		1,82	1,75	1,70	1,27
18	5,75	1	0,8		1,68	1,59	1,55	1,16
19	7,25	1	0,8		1,49	1,30	0,99	0,95
20	8,75	1	0,8		1,39	1,29	0,42	0,48
				Summe	**28,30**	**25,52**	**21,32**	**17,30**
				Prozentualer Zuwachs	**10,89**			**23,24**

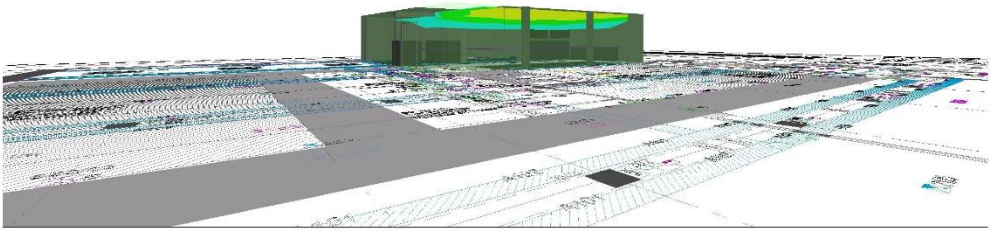
Tabelle 19 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Aluminiumfolie als Unterzug und möbliert, auf 1,83 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

3 FTZ Upper Air möbliert Alufolie Unterzug

3.1 Summary, FTZ Upper Air möbliert Alufolie Unterzug

3.1.1 Result overview, FTZ Upper Air möbliert Alufolie Unterzug



General

Calculation algorithm used	High indirect fraction
Height of luminaire plane	2.52 m
Total radiant UV-C flux	716.00 mW
Total power	76.0 W

Measuring volumes

Maintenance factor 1.00

No.	Measuring volume	Grid	E_em	$E_e$max	Volume	h low	h heigh
1	Measuring volume 1	10 x 10 x 8	48.04 mW/m²	3425.41 mW/m²	349.8 m³	0.00 m	2.65 m

Type No.\Make

1 2

Philips/SM345C UpperAir Deckenanbau 358mW (38W)

Order No.	: 919206000101
Luminaire name	: SM345C Anbau 4xTUV PLS 9W HFM SMB (358mW UV-C)
Equipment	: 4 x TUV PL-S 9W (mW UV-C) / 89.5 mW

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

RELUX®

3 FTZ Upper Air möbliert Alufolie Unterzug

3.2 Calculation results, FTZ Upper Air möbliert Alufolie Unterzug

3.2.1 Table, Messebene 1.83m (E_e)

[m]	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 [m]
14.0	0.14	0.18	0.21	0.27	0.28		0.04		**(0.03)**		0.04
13.0	0.18	0.25	0.20	0.82	0.79		0.63		0.20		0.21
12.0	0.18	0.34	0.90	1.19	1.70		1.55		0.99		0.42
11.0			0.93	1.63	**[1.98]**		1.69		1.18		0.74
10.0											
9.0			0.80	1.05	1.30		1.16		0.93		0.66

Irradiance [mW/m²]

Horizontal irradiance
Height reference plane : 1.83 m
Average irradiance E_em : 0.72 mW/m²
Minimum irradiance $E_e$min : 0.03 mW/m²
Maximum irradiance $E_e$max : 1.98 mW/m²
Uniformity Uo $E_e$min/E_em : 1 : 26.39 (0.04)
Diversity Ud $E_e$min/$E_e$max : 1 : 72.86 (0.01)

FTZ_Philips_Upper_Air_20.08.2021_ohneKabel_.uvrdf Page 10/12

Abbildung 57 ReluxUVC PDF-Export der Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Unterzug (eigene Darstellung aus ReluxUVC)

Anhang 9 Mess- und Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Abhänger

Szenario 2	Alufolie als Abhänger 84cm(breite) * 71cm (lang)						
Höhe der Mess-punkte:	2,5 m			Werte in mW/m²			
Messpunkt	x	y	z	gemessen mit Alufolie	gemessen ohne Alufo-lie	berechnet in Relux mit Alufolie	berechnet in Relux ohne Alufolie
1	1,25	-1,8	0,8	3,83	3,30	0,92	1,16
2	2,75	-1,8	0,8	3,58	5,20	1,82	1,72
3	4,25	-1,8	0,8	4,84	5,80	1,84	1,91
4	5,75	-1,8	0,8	4,85	6,10	2,23	2,24
5	7,25	-1,8	0,8	3,93	4,50	1,57	1,71
6	8,75	-1,8	0,8	2,56	2,85	0,57	0,53
7	1,25	-0,4	0,8	2,81	4,20	1,50	1,74
8	2,75	-0,4	0,8	59,05	56,70	41,79	9,19
9	4,25	-0,4	0,8	11,28	11,50	5,25	5,94
10	5,75	-0,4	0,8	33,21	30,35	12,02	8,00
11	7,25	-0,4	0,8	19,13	14,07	5,09	9,14
12	8,75	-0,4	0,8	3,80	3,30	0,62	0,73
13	-1,75	1	0,8	0,00	0,00	0,00	0,00
14	-0,25	1	0,8	0,00	0,00	0,00	0,00
15	1,25	1	0,8	2,89	3,51	1,02	1,09
16	2,75	1	0,8	14,81	11,80	12,46	9,84
17	4,25	1	0,8	10,55	8,90	3,69	3,46
18	5,75	1	0,8	17,19	13,40	11,47	8,86
19	7,25	1	0,8	10,86	9,25	2,73	2,83
20	8,75	1	0,8	2,86	3,28	0,60	0,59
21	-1,75	2,4	0,8			0,00	0,00
22	-0,25	2,4	0,8			0,00	0,00
23	1,25	2,4	0,8			0,52	0,56
24	2,75	2,4	0,8			0,87	0,78
25	4,25	2,4	0,8			0,94	0,97
26	5,75	2,4	0,8			0,95	0,93
27	7,25	2,4	0,8			0,67	0,77
28	8,75	2,4	0,8			0,24	0,24
29	-1,75	3,8	0,8			0,00	0,00
30	-0,25	3,8	0,8			0,00	0,00
31	1,25	3,8	0,8			0,00	0,00
32	2,75	3,8	0,8			0,00	0,00
33	4,25	3,8	0,8			0,00	0,00
34	5,75	3,8	0,8			0,00	0,00
35	7,25	3,8	0,8			0,00	0,00

36	8,75	3,8	0,8			0,00	0,00
		Summe		**212,03**	**198,01**	**107,19**	**70,68**
		prozentualer Zuwachs		**7,08**		**51,66**	

Tabelle 20 Mess- und Berechnungsergebnisse zusammengefasst. Aluminiumfolie als Abhänger und möbliert, auf 2,50 m Bewertungsbereich (eigene Darstellung)

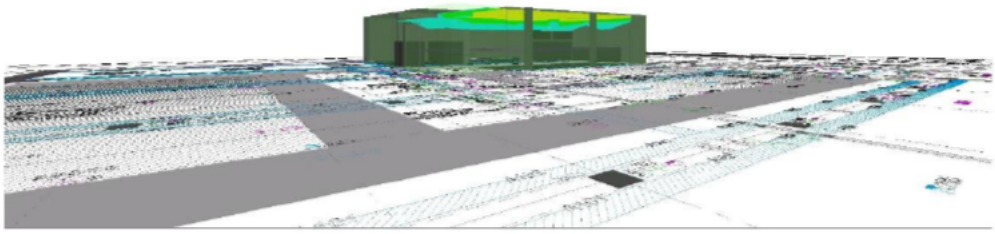
Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

RELUX®

4 FTZ Upper Air möbliert Alufolie als Abhänger

4.1 Summary, FTZ Upper Air möbliert Alufolie als Abhänger

4.1.1 Result overview, FTZ Upper Air möbliert Alufolie als Abhänger



General

Calculation algorithm used	High indirect fraction
Height of luminaire plane	2.52 m
Total radiant UV-C flux	716.00 mW
Total power	76.0 W

Measuring volumes

Maintenance factor 1.00

No.	Measuring volume	Grid	E_em	$E_e$max	Volume	h low	h heigh
1	Measuring volume 1	10 x 10 x 8	44.28 mW/m²	3400.65 mW/m²	349.8 m³	0.00 m	2.65 m

Type No.\Make

1 2

Philips/SM345C UpperAir Deckenanbau 358mW (38W)
Order No. : 919206000101
Luminaire name : SM345C Anbau 4xTUV PLS 9W HFM SMB (358mW UV-C)
Equipment : 4 x TUV PL-S 9W (mW UV-C) / 89.5 mW

Object : FTZ Hamburg 5.OG UVC Philips UpperAir
Installation :
Project number :
Date : 25.06.2021

4 FTZ Upper Air möbliert Alufolie als Abhänger

4.2 Calculation results, FTZ Upper Air möbliert Alufolie als Abhänger

4.2.3 Table, Messebene 2.5m (E_e)

[m]	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 [m]
14.0	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	
13.0	(0.00)	(0.00)	0.52	0.87	0.94	0.95	0.67	0.24			
12.0	(0.00)	(0.00)	1.02	12.46	3.69	11.47	2.73	0.60			
11.0			1.50	**[41.79]**	5.25	12.02	5.09	0.62			
10.0											
9.0			0.92	1.82	1.84	2.23	1.57	0.57			

Irradiance [mW/m²]

Horizontal irradiance
Height reference plane : 2.50 m
Average irradiance E_em : 3.1 mW/m²
Minimum irradiance $E_e$min : 0 mW/m²
Maximum irradiance $E_e$max : 41.8 mW/m²
Uniformity Uo $E_e$min/E_em : ---
Diversity Ud $E_e$min/$E_e$max : ---

FTZ_Philips_Upper_Air_20.08.2021_ohneKabel_.uvrdf Page 12/12

Abbildung 58 ReluxUVC PDF-Export der Berechnungsergebnisse Aluminiumfolie als Abhänger (eigene Darstellung aus ReluxUVC)

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel:

Analyse von gemessenen und in Relux simulierten UV-C-Reflexionsgrade

ohne fremde Hilfe selbstständig und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln verfasst habe. Alle Passagen, die ich wörtlich oder dem Sinn nach aus der Literatur oder aus anderen Quellen wie zum Beispiel Internetseiten übernommen habe, habe ich deutlich als Zitat mit Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Hamburg, den 25.08.2021 _[redacted]

Tilco Suling