

Mathias Stich

Beleuchtung von Frachtcontainern mit neuer Nutzung

Master Thesis

eingereicht an der

Leopold-Franzens-Universität Innsbruck

Fakultät für Architektur

zur Erlangung des akademischen Grades

„Master of Light and Lighting (MLL)“

*“Der Urquell aller technischen Errungenschaften
ist die göttliche Neugier und der Spieltrieb
des bastelnden und grübelnden Forschers
und nicht minder die konstruktive Phantasie
des technischen Erfinders.”*

– Albert Einstein



Abb.1
40-Fuß-Container

Inhaltsverzeichnis

Abstract

Abstract English

1. Geschichte

2. Ausgangslage

3. Aufgabenstellung

4. Grundlagenermittlung

4.1 Container Daten und Pläne

4.1.1 Geometrie 20-Fuß-Container

4.1.2 Geometrie 40-Fuß-Container

5. Ist-Analyse

5.1 Tageslicht Untersuchung am 20-Fuß-Containermodell

5.1.1 Messung Tageslicht Quotient im Container-Model 1:20 bei bedecktem Himmel

5.1.2 Analyse Tageslichtuntersuchung

5.2 Recherche Kunstlicht

5.3 Fazit Ist-Analyse

6. Solarbulb

6.1 Untersuchungen eines bestehenden Tageslichtsystems

6.1.1 Organisationen

6.1.2 Upcycling statt Recycling

6.1.3 Solarbulbs als Open-Source Projekt

5.2 Funktionsprinzip Solarbulb

5.3 Versuchsaufbau

5.4 Leuchtdichtebilder Solarbulb

5.4.1 Untersuchung der Leuchtdichte bei einem Sonnenhöhenwinkel von 30° und Gegenlicht

5.4.2 Untersuchung der Leuchtdichte bei einem Sonnenhöhenwinkel von 30° Sonne im Rücken

5.5 Fotografischer Vergleich der Lichtverteilung bei Solarbulb 1.0

5.6 LVK Solarbulb

6. Solarbulb 2.0

6.1 Leuchtdichtebilder Solarbulb 2.0

6.1.1 Untersuchung der Leuchtdichte der Solarbulb 2.0 bei einem Sonnenwinkel von 30° Gegenlicht

- 6.1.2 Untersuchung der Leuchtdichte der Solarbulb 2.0 bei einem Sonnenwinkel von 30°, Sonne im Rücken
- 6.2 Fotografischer Vergleich der Lichtverteilung bei Solarbulb 2.0
- 6.3 LVK Solarbulb 2.0
- 7. Vergleich Solarbulb 1.0 und Solarbulb 2.0
 - 7.1 Vergleich bei 30° und verschiedenen Blickrichtungen
 - 7.2 Vergleich Solarbulb 1.0 und Solarbulb 2.0 bei 60° und verschiedenen Blickrichtungen
 - 7.3 Direkter Vergleich LVK Solarbulb 1.0 und Solarbulb 2.0
 - 7.4 Auswertung
 - 7.4.1 Fotografischer Vergleich der Blendung bei 30° Gegenlicht
- 8. Messungen im künstlichen Himmel
 - 8.1 LVK bedeckter Himmel (ohne Sonne)
 - 8.1.1 Vergleich Solarbulb 1.0 und Solarbulb 2.0
 - 8.1.2 Berechnung der Lumen bei unterschiedlichen Sonnenhöhenwinkel Solarbulb 1.0 und 2.0
 - 8.1.3 Berechnung der Anzahl benötigter Solarbulbs 2.0 in einem 20-Fuß-Container anhand der Wirkungsgradmethode.
 - 8.2 Messdaten
 - 8.3.1 Berechnung der Anzahl benötigter Solarbulbs 2.0 in einem 20-Fuß-Container anhand der Wirkungsgradmethode.
 - 8.4 Fazit Solarbulbs 1.0 und 2.0
- 9. Dialux-Berechnungen
- 10. Kunstlichtsystem
 - 10.1 Berechnung der Anzahl LEDs anhand der Wirkungsgradmethode
- 11. Projektplanung
- 12. Kosten
- 13. Fazit
- 14. Glossar
- 18. Literaturnachweis
- 19. Bildquellen
- 20. Danksagung
- 21. Lebenslauf

Abstract

Den Innenraum eines standardisierten ISO-Containers zu beleuchten ist eine Aufgabe, die aufgrund der enorm vielfältigen Umnutzung dieser Frachtbehälter ein interessantes Arbeitsfeld für Lichtgestalter eröffnet.

Diese Masterthesis ist im Rahmen des Universitätslehrgangs Lichtgestaltung an der Lichtakademie Bartenbach in Aldrans bei Innsbruck entstanden. Sie setzt sich damit auseinander, wie die Lichtlösung in einem einzelnen freistehenden Container aussehen könnte, die bei hoher Qualität so kostengünstig wie nur irgend möglich umsetzbar ist und möglichst CO₂-neutral betrieben wird.

Untersucht wurde dazu eine Lichtlösung mit Solarbulbs. So heißt ein Low-Budget-Tageslichtsystem, welches mittlerweile nicht nur in den Slums von Manila eingesetzt wird und im wesentlichen aus einer mit Wasser gefüllten PET-Flasche besteht. Dieses extrem einfach hergestellte optische System fungiert als Linse und lenkt so das Sonnenlicht ins Innere des Frachtcontainers. In die Decke des Containers werden mehrere solcher Solarbulbs eingelassen, um den gewünschten Beleuchtungswert zu erreichen.

Die Solarbulb wurde bei verschiedenen Himmelszuständen lichttechnisch analysiert und ausgewertet. Vorschläge zur Verbesserung wurden angebracht, insbesondere für eine blendfreie Nutzung bei tiefen Sonnenständen.

Abstract English

Lighting the interior of a standard ISO container is a task which, in view of the enormous variety of conversion possibilities for these cargo containers, opens up an interesting field of work for lighting designers.

This master thesis was written as part of the Universitätslehrgang Lichtgestaltung/ University Course for Lighting at the Lichtakademie Bartenbach in Aldrans near Innsbruck. It explores what a lighting solution for a single free-standing container could look like. This should be a high-quality solution which can be realized as cheaply as possible and driven as CO₂-neutral as possible.

The Solar bulb is the solution explored here. "Solar bulb" is the name of a low-budget daylight system which is in use e.g. in the slums of Manila. Essentially, it consists of a PET-bottle filled with water. This optical system is extremely easy to produce. It takes the function of a lens and directs the sunlight into the interior of the cargo container. A number of such Solarbulbs are set into the container ceiling in order to achieve the required lighting value.

The Solar bulb was analyzed and evaluated under different sky conditions. Proposals were made in order to improve the system, especially regarding non-dazzle use with low altitude of the sun.



Abb.2 – 4
Bremerhafen – Ankunft einer der ersten Container

1. Geschichte

“Als am 6. Mai 1966 in Bremen das erste Containerschiff festmachte, erregte das, wie jede Neuerung, viel Aufsehen. Niemand konnte das Ausmaß der Revolution, die damals begann, erahnen. Zuerst wurden die „Kisten“ belächelt, doch bald trat das Rationalisierungspotential in den Mittelpunkt des Interesses. Der personal- und schadenintensive Umschlag der Waren in den Häfen entfiel. Die Umschlagszeiten verkürzten sich durch die Verladung ganzer Lkw-Ladungen in Form von Behältern auf einen Bruchteil der Zeit, die man bislang auf Stückgutschiffen benötigte. Die eigentliche Revolution begann aber erst, als immer mehr Häfen sich mit ihrer Infrastruktur auf den Umschlag, die Lagerung und die Abfertigung der Container einstellten. Parallel dazu wuchsen die Stellplatzkapazitäten der Schiffe von wenigen hundert bis auf heute achttausend TEU, und größere Schiffseinheiten sind in

Planung. Auch die Schiffsgeschwindigkeiten, die sich vom Beginn an der Containerisierung Ende der 60er Jahre bis heute fast verdoppelt haben, sind ein wesentlicher Faktor, der die Containerisierung in dem Maße erst ermöglicht hat. Immer schnellere und wirtschaftlichere Transporte in weltumspannenden Logistiksystemen haben eine Arbeitsteilung, wie wir sie heute kennen, erst ermöglicht. Prozesse, die sich gegenseitig positiv beeinflussen und auch weiterhin zu überproportionalen Wachstumsraten im Containerverkehr führen werden.“¹

(Naber 2012)



2. Ausgangslage

Standardisierte Seefracht-Container werden für den weltweiten Gütertransport eingesetzt. Diese nach ISO genormten Container haben an der Stirnseite eine Flügeltür. Die Türlügel können nach außen geschwenkt werden. Waren, Personen und Tageslicht gelangen so ins Innere.

Ein 20-Fuß-Container mit 6,058 m Länge, 2,438 m Breite und 2,591 m Höhe kostet neu ca. 2000 US\$. Ein ausrangierter Container ist bereits ab 500 US\$ auf dem Weltmarkt zu haben. Dazu kommen Transportkosten.

Die Container werden zu allen erdenklichen Nutzungen umfunktioniert: Als Arbeits-, Wohn- oder Ausstellungsräume. Da sie preisgünstigen Innenraum bieten und enorm mobil sind, sind sie besonders attraktiv für temporäre Zwischennutzungen.

Sie bilden eine urbane Höhle, die einer postindustriellen Gesellschaft flexible Räume bietet.

Damit ein Raum genutzt und Tätigkeiten darin angemessen und angenehm ausgeführt werden können, sollte er entsprechend mit Licht versorgt sein. Das Bedürfnis, Licht in einen geschlossenen Raum zu bringen, stellt seit der Steinzeit eine Aufgabe dar, deren Lösung immer wieder aufs Neue mit den aktuellen Errungenschaften zu erbringen ist.

In dieser Masterthesis werde ich ein Beleuchtungskonzept für einen einzelnen freistehenden Container untersuchen – der einfachsten Form für einen geschützten Nutzraum. Ein Raum, der für die menschliche Eigenschaft steht, Dinge umzufunktionieren, durchaus weit ab vom ursprünglichen Verwendungszweck.

3. Aufgabenstellung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Innenraum eines Containers für eine möglichst breite Anforderungspalette zu beleuchten. Das Tageslicht soll primär genutzt werden. Es soll eine kostengünstige und mit einfachsten Mitteln umsetzbare Lösung entstehen.

Als mögliche Nutzung sehe ich temporäre Arbeits-, Wohn- oder Lagerräume – überall wo Container platziert werden können.

Für die Tätigkeiten des Kaufens und Verkaufens, für Besprechungen, für Lederbearbeitung, für gewisse Schreinerarbeiten (Hobelbank, Leimen, Zusammenbau) schreibt die DIN 5034/35 eine blendfreie und gleichmäßige horizontale Beleuchtung von 300 Lux vor. An diesem Wert orientiere ich mich. Als Reflexionsgrad für die Decke, Wände und Boden nehme ich 0,7/0,7/0,5 an.



Abb.6 Umnutzung eines Containers



Für den Tageslichtkoeffizienten wird ein Wert von mindestens 4% angestrebt.

Der Tageslichtquotient (TQ) ist der Kennwert für die Beziehung zwischen Innen- und Aussenbeleuchtungsstärke bei bedecktem Himmel. Daraus ergibt sich ein Quotient, welcher die Tageslichtmenge im Innern in Prozenten angibt.

Für die Verwendung von Oberlichtern sieht die DIN 5034 einen mittleren TQ von 4% vor. Unter einem Wert von 2% wird ein Raum als dunkel empfunden.

Man muss den TQ beachten, um einen dem menschlichen Organismus angemessenen und angenehm hellen Raum zu gewährleisten.

“Mit Lichtlenksystemen und durch Material- und Leuchtdichtenabstimmung sowie ausreichend Bezug nach außen sind folgende Anforderungen an das Tageslicht zu erfüllen: ausreichende Tageslichtmenge, auf den Raum und seine Nutzung abgestimmte Lichtverteilung, Sonnenschutz und passive Solarenergienutzung, wahrnehmungspsychologische Eigenschaften wie Stressverhinderung, geringe Ermüdung und maximale mentale Leistung sowie Wohlbefinden des Nutzers. Dazu kommt, dass ein Serotoninmangel beim Menschen, der durch zu wenig Tageslicht entsteht und eine wesentliche Ursache für Entstehung von Depressionen (z.B SAD) ist, gerade durch solche Systemtechniken verhindert werden kann.“²

(Bartenbach 2006)

4. Grundlagen- ermittlung

4.1 Container Daten und Pläne

Die beiden meistverwendeten Frachtcontainer weltweit sind der 20-Fuß- und der 40-Fuß-Container.

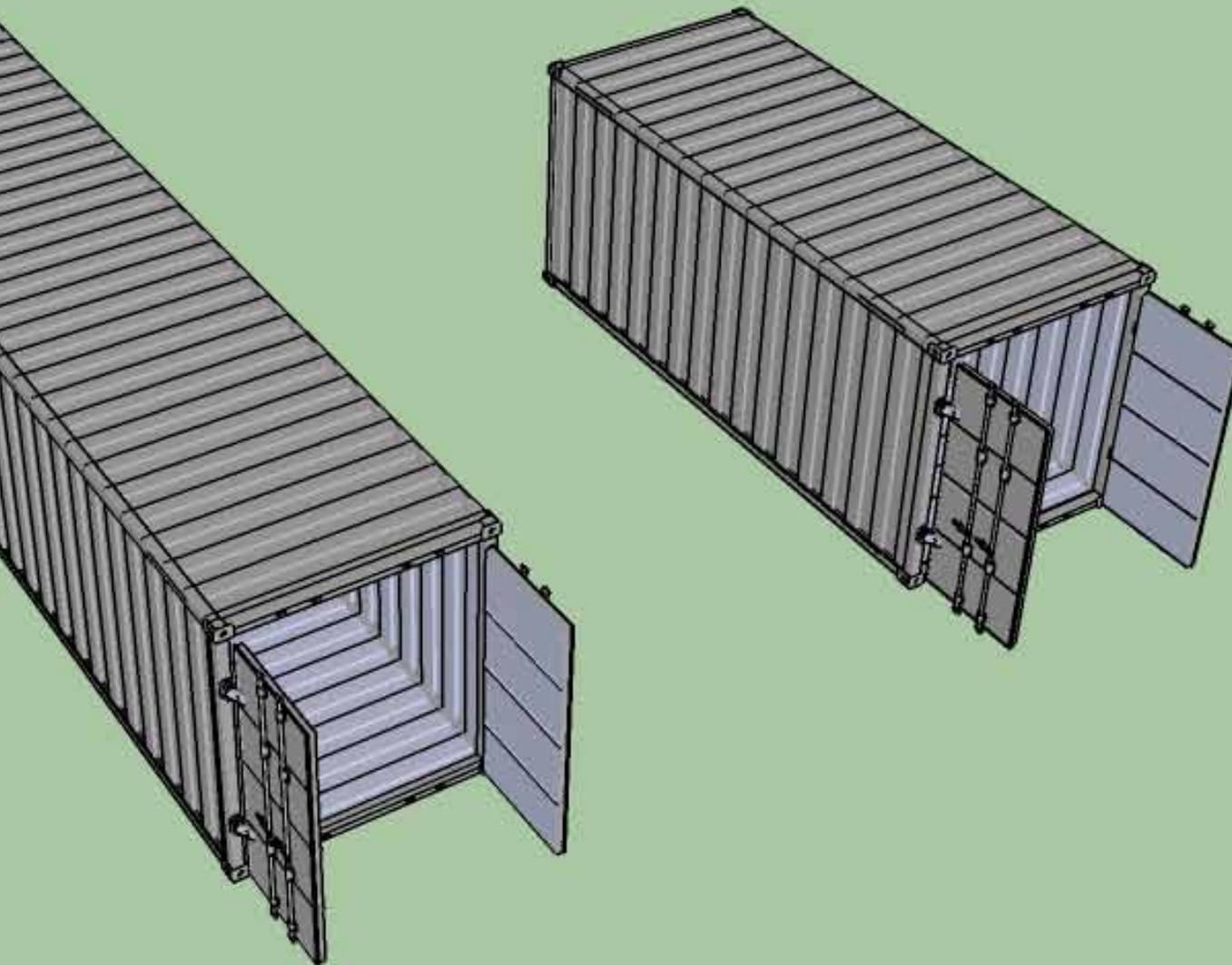


Abb.7
Visualisierung 20-Fuß-Container rechts und
40-Fuß-Container links im Bild

Typ	20 Fuß	40 Fuß
Außenmaße L/B/H	6,058 m /	12,192 m /
	2,438 m /	2,438 m /
	2,591 m	2,591 m
Innenmaße L/B/H	5,710 m /	12,040 m /
	2,352 m /	2,345 m /
	2,385 m	2,385 m
Volumen	33,0 m ³	67,0 m ³
Leergewicht	2.250 kg	3.780 kg
max. Zuladung	21.750 kg	26.700 kg
Gesamt (max.)	26.700 kg	30.480 kg

4.1.1 Geometrie 20-Fuß-Container

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

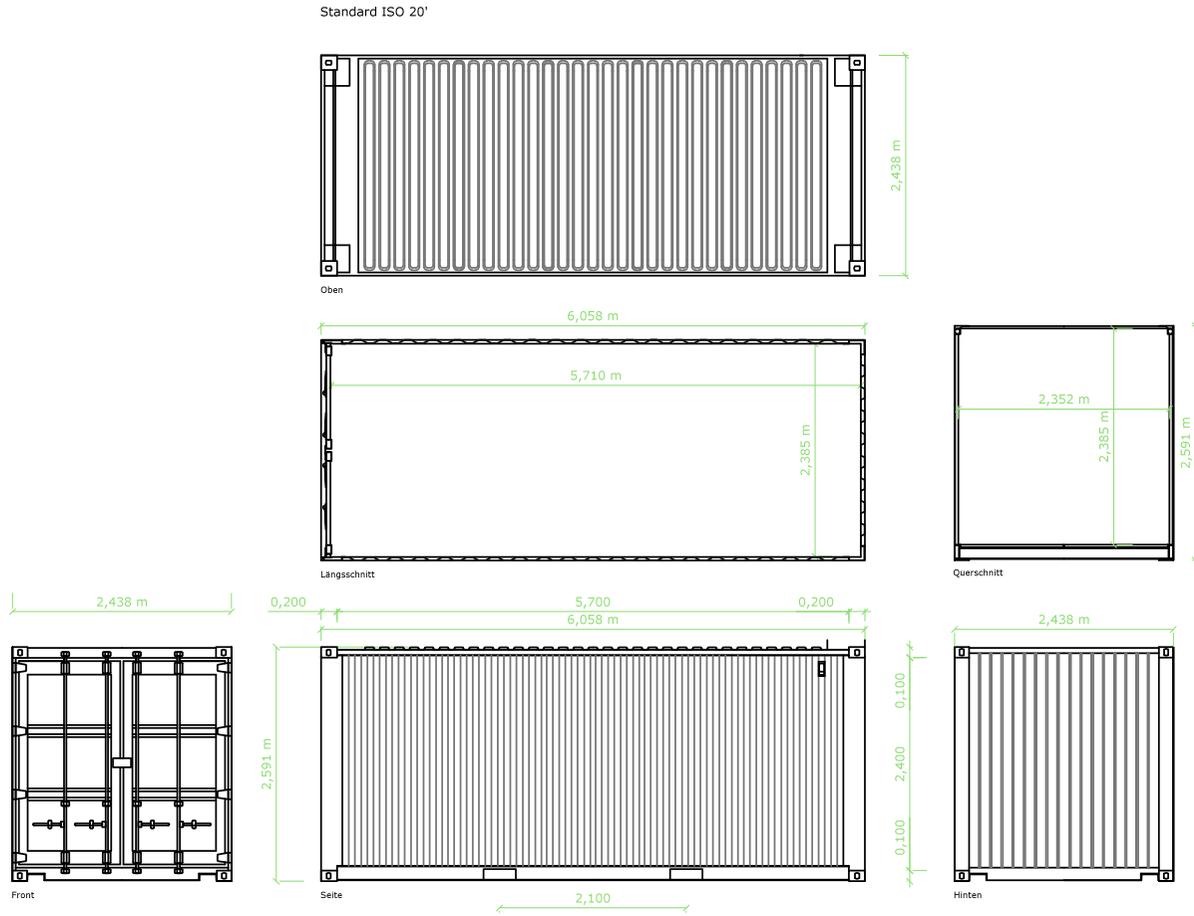


Abb.8
Plan 20-Fuss Container

4.1.2 Geometrie 40-Fuß-Container

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

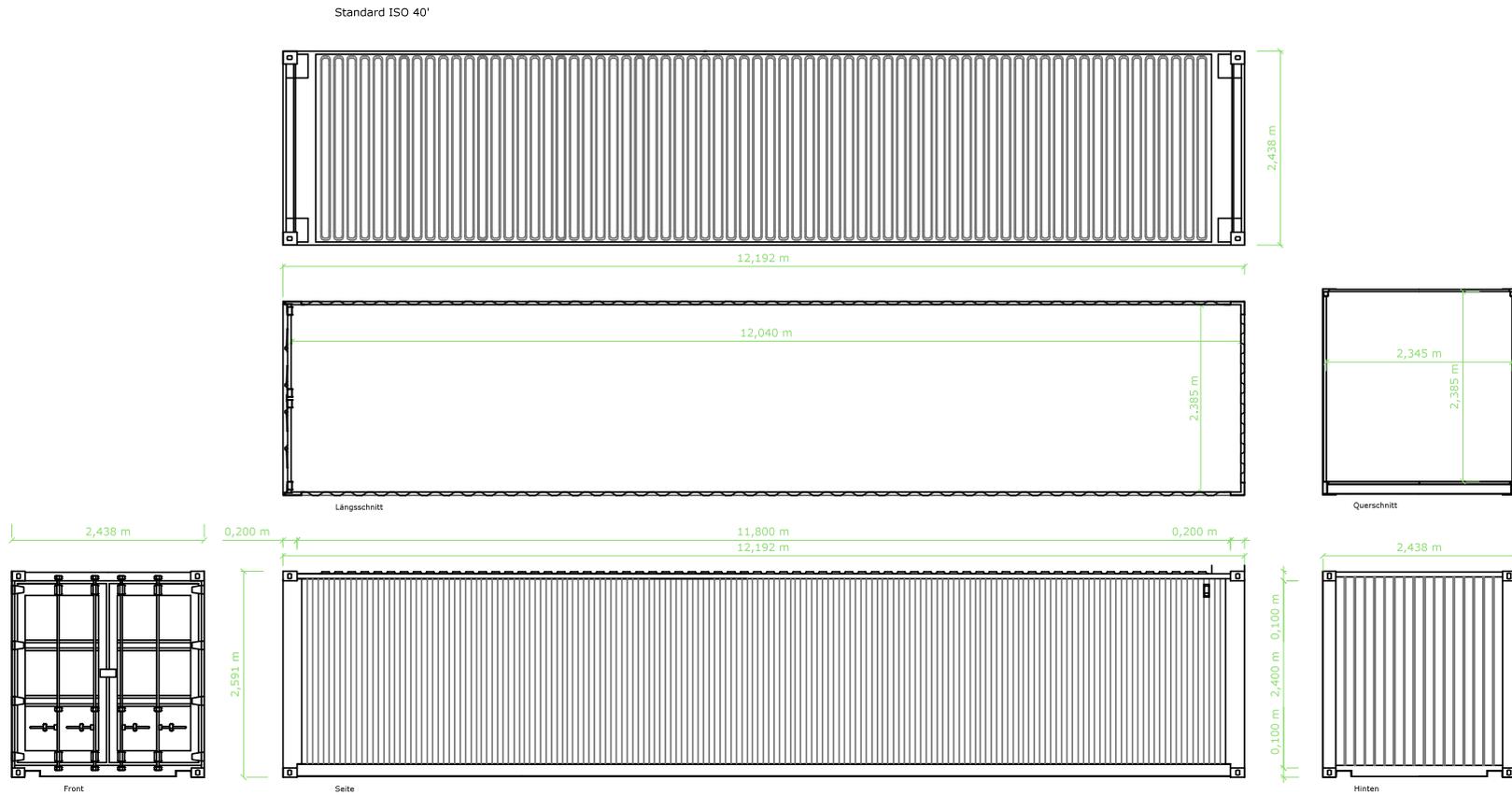


Abb.9
Plan 40-Fuß Container



Abb. 10
20-Fuß-Container offen bei Tag



Abb.11
Messungen zur Ermittlungen des TQs im 20-Fuß Containermodell



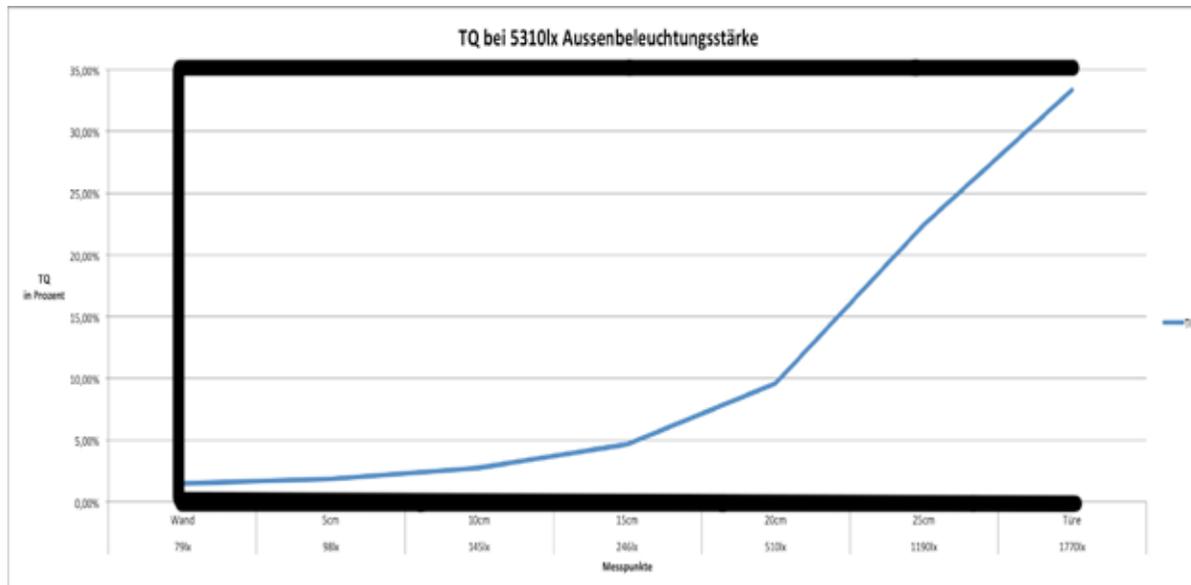
Abb.12
Künstlicher-Himmel Lichtlabor Bartenbach mit einem Durchmesser von 6 m

5. Ist-Analyse

5.1 Tageslicht Untersuchung am 20-Fuß-Containermodell

Standardmäßig lässt sich ein Container an einer Seite öffnen. Um herauszufinden, wie viel Licht in das Innere eines ISO-20-Fuß-Containers gelangt, habe ich erste Messungen durchgeführt, um den Ist-Zustand bei Tageslicht zu ermitteln. Die Messungen wurden im künstlichen Himmel des Lichtlabors Bartenbach durchgeführt. Unter diesem einzigartigen Himmel können unterschiedliche Tageslichtsituationen simuliert und am Modell beobachtet und gemessen werden. An einem 20-Fuß-Containermodell im Maßstab 1:20 wurde der Tageslichtkoeffizient im Innern untersucht.

5.1.1 Messung Tageslicht Quotient im Container-Model 1:20 bei bedecktem Himmel



5.1.2 Fazit Analyse Tageslichtuntersuchung

Da eine Stirnseite ganz geöffnet werden kann, gelangt durch diese viel Licht ins Innere. Es zeigte sich aber, wie zu erwarten, ein starker Abfall des TQ, je tiefer im Raum gemessen wurde.

Der mittlere TQ beträgt im Schnitt 10,8%, weist aber ein 1:22-Kontrastverhältnis vom hellsten Punkt bei der Türe bis zum hintersten Punkt bei der Rückwand auf. Angestrebt ist eine gleichmäßige Tageslichtverteilung. Um diese zu erreichen, müssen Tageslicht-Öffnungen angedacht werden.

Abb.13
Der TQ Verlauf im Container-Modell 1:20



Abb.14 Kunstlicht FL-Röhren bei heruntergelassenen Jalousien



Abb.15
FL-Röhre einfachste Ausführung



Abb.16
Spiegelrasterleuchte

5.2 Recherche Kunstlicht

Ein gängiges Mittel, einen Container einfach auszuleuchten, sind stabförmige Fluoreszenz-Leuchten. FL-Leuchtmittel haben eine gute Lumen-pro-Watt-Bilanz. Mit dieser Methode könnte man den geschlossenen Raum bereits rund um die Uhr beleuchten und nutzen – vorausgesetzt, man hat Strom.

Ohne Entblendungsmaßnahmen erfüllt diese einfache und funktionale Beleuchtungsart jedoch keinesfalls die Ansprüche an eine gute, nicht blendende Beleuchtung.

Die FL-Armatur gibt es in verschiedenen, unterschiedlich teuren Ausführungen auch als blendfreies Spiegelraster-System mit parabolischen Lamellen.



Abb.17 Anti- Vandal Container mit Fensterladen



Abb.18 Jalousien

5.3 Fazit Ist-Analyse

Damit das Tageslicht durch seitliche Öffnungen optimal genutzt werden kann, braucht man neben einem vernünftigen Sonnenschutz und Blendschutz auch eine Tageslichtumlenkung. Diese fällt je nach Fassadenausrichtung aber unterschiedlich aus.

Darum müssen die Nordausrichtung des Containers und sein geografischer Standort für ein Tageslichtsystem zwingend mit einbezogen werden. Dies wäre bei Containern dank ihrer Mobilität prinzipiell möglich, wird aber in der Praxis oft einer geometrischen Ausrichtung an den Standort – z.B. Parkplatz – untergeordnet.

Meine Recherchen haben ergeben, dass die Decke der Container selten bis nie zur Tageslichtnutzung verwendet werden. Vermutlich liegt das daran, dass sie dadurch nicht mehr beliebig gestapelt wer-

den können und dass neue Container ihre ISO-Zertifizierung verlieren, wenn an der Außenhaut Veränderungen vorgenommen würden und dadurch die zulässige Höhe überschritten würde.

Durch eine Tageslichtöffnung in der Decke gelangt mehr Himmelslicht ins Innere als durch seitliche Fenster gleicher Größe. Durch das einfallende Zenitlicht ist die Leuchtdichte selbst bei bedecktem Himmel dreimal höher als bei Seitenfenstern, sodass sogar mit einer kleineren Öffnungsfläche bessere mittlere Tageslichtquotienten im Raum erreicht werden können.

Bei meinem Projekt gehe ich davon aus, dass der Container nicht gestapelt wird, da meine Anwendung auf ein anderes Nutzungsfeld zielt. Deswegen kann bei



Abb.19 Outback-Wohn-Container mit einer Jet-Lichtkuppel

der Planung die Decke mit einbezogen werden.

Lichtkuppeln gibt in verschiedenen Ausführungen. Um die direkt Blendung durch Sonnenlicht zu eliminieren ist die Ausführung dazu opal. Dadurch können sie bei Sonnenschein eine hohe Leuchtdichte annehmen. Sie strahlen ein diffuses ungerichtetes Licht ins Innere. Für ein angenehmes Raumgefühl und gute Orientierung braucht man aber eine gewisse Schattigkeit, dafür wäre gerichtetes Licht besser.

Meine Schlussfolgerung lautet deshalb: Erforderlich ist ein rotationssymmetrisches Tageslichtsystem auf dem Dach, welches universell in allen Breitengraden und unabhängig von der Nordausrichtung funktioniert. Es sollte für die temporären und oft improvisierten Nutzungen aus einfachsten Mitteln kostengünstig herstellbar sein und Licht von hoher Qualität in den Raum lassen.

6. Solarbulb

6.1 Untersuchungen eines bestehenden Tageslichtsystems

Ein Low-Budget-System, um Tageslicht in eine Hütte zu lenken, sind Solarbulbs. Solarbulbs sind mit Wasser gefüllte, klare PET-Flaschen. Diese Methode, das Sonnenlicht ins Innere zu lenken, wird oft in Slums verwendet. Die Hütten stehen dort fugenlos nebeneinander und lassen keinen Platz für seitliche Öffnungen zu. Diese Methode ist im Internet schon seit einigen Jahren bekannt, mittlerweile hat sie auch Print-Massenmedien erreicht.



Abb.20
Das Licht einer Solarbulb reicht zum Lesen und Schreiben



Abb.21 Ins Dach eingelassene Solarbulbs



Abb.
22 Solarbulb Workshop

“...Das Prinzip ist simpel und ökologisch: Eine randvoll mit Wasser und etwas Bleichmittel gefüllte PET-Flasche wird durch ein genau bemessenes und abgedichtetes Loch im Dach gesteckt. Die Flaschenhälfte an der Sonne reflektiert das Licht ins Innere der Behausung. Ohne weiteres, und ohne Elektrizität. Bei guter Sonneneinstrahlung wird die innovative Lichtquelle etwa so hell wie eine 55-Watt-Birne und muss nur alle drei bis fünf Jahre ausgewechselt werden. Das Bleichmittel sorgt dafür, dass das Wasser keimfrei und klar bleibt.

Das “Solarflaschenlicht” wurde gemäss der New York Times vom 2.2.2012 im Jahr 2002 von dem Brasilianer Alfredo Moser³ erfunden. Der Mechaniker habe nach einem Weg gesucht, seine Werkstatt während einem lange andauernden Stromausfall zu beleuchten. Welche Rolle die Studenten am Massachusetts Institute of Technology hatten, die unter anderem vom «Liter-of-Light»-Projekt als Designer und Entwickler erwähnt werden, ist nicht

ganz klar, aber die Gratis-Glühbirne bringt auf den Philippinen jeden Tag mehr Licht ins Dunkel. Die Idee ist so simpel, dass sie auch ausserhalb des Projektes von den Bewohnern selbst umgesetzt und weiterverbreitet wird. ...“

(Voegeli, 20 Minuten)

Endlich einmal ein Produkt mit Relevanz für unsere Welt, das eine breite Berichterstattung verdient hat. Denn das Potenzial dieser Tageslichtleuchte und die damit verbundenen CO₂-Einsparungen liegt nicht nur in der Dritten Welt, sondern auch bei uns.

Seit längerem fasziniert von diesem simplen System, habe ich beschlossen, es im Container als Beleuchtungssystem einzusetzen. Doch mit der etwas banalen Aussage “etwa so hell wie eine 55-Watt-Birne” kann man noch keine ordentliche Lichtplanung durchführen.



Abb. 23 www.literoflightswitzerland.org/

6.1.1 Organisationen

“Liter of Light Switzerland“ ist Teil einer weltweiten Bewegung. Mit dieser Organisation bin ich in Kontakt getreten, um Erkenntnisse und Erfahrungen auszutauschen. Das Ziel der Organisation ist es, möglichst vielen Menschen in den ärmeren Gegenden dieser Welt die Solarbulb näherzubringen und ihnen zu zeigen, wie man sie herstellt und in der Behausung einbaut.

6.1.2 Upcycling statt Recycling

Einweg-PET-Flaschen halten einem Druck von 8 bar stand. PET-Polyethylenterephthalat ist ein thermoplastischer Kunststoff, der extrem beständig ist. Bis eine PET-Flasche verrottet ist, braucht es bis zu 450 Jahre. Höchste Zeit also, dass wir beginnen, diese langlebige Verpackung sinnvoll weiterzunutzen.



**TURNING WASTE PLASTIC BOTTLES
INTO SOLAR BULBS**

Abb. 24 www.aliteroflight.org

6.1.3 Solarbulbs als Open-Source Projekt

Die Herstellung der Solarbulbs ist denkbar einfach, und die einzelnen Schritte sind für jeden frei zugänglich im Internet (www.aliteroflight.org) zu finden. Das Wissen darüber wird frei ausgetauscht ohne Eigentumsanspruch. Es ist ein

Open-Source Projekt, welches von vielen engagierten Menschen getragen wird. Ich möchte meinen Teil als Lichtgestalter dazu beitragen und dieses System weiter vorantreiben. Da von der Solarbulb bis jetzt noch keine lichttechnischen Auswertungen existieren, habe ich mir zum Ziel gesetzt diese bei verschiedenen Himmels

Zuständen zu untersuchen.

Die 1.5l-Coca-Cola-Flasche aus PET habe ich als Referenzmodell ausgewählt, weil sie weltweit verbreitet ist.

Es kann selbstverständlich auch jede andere PET-Klarsicht-Flasche verwendet werden. Anhand der 1.5l-Coca-Cola-Flasche wird die Charakteristik dieses Licht-Systems aufgezeigt.

Ich habe bewusst nicht nach anderen, vielleicht noch besseren PET-Flaschenformen gesucht. Die Solarbulb sollte auch weiterhin aus allen klarsichtigen PET-Flaschen, welche täglich als Abfallprodukte millionenfach anfallen, herstellbar und nicht an ein bestimmtes Label gebunden sein.

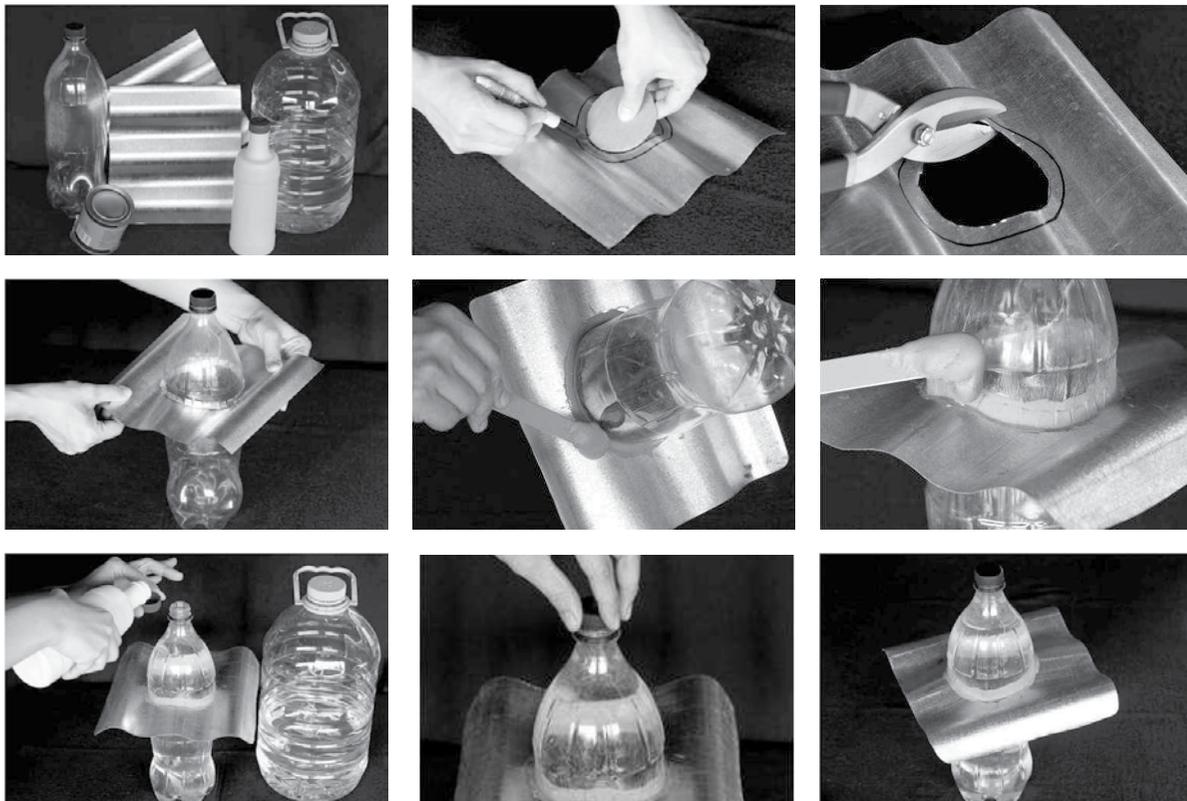


Abb.25 - 32
Bauanleitung Solarbulb

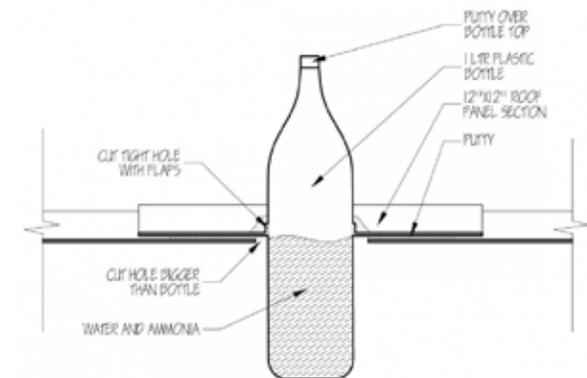


Abb. 33
Aufbau einer Solarbulb



Abb.34 Die Solarbulb ist randvoll mit Wasser gefüllt



Abb.35 Strahlengang durch eine mit Wasser voll gefüllten PET-Flasche bei hohem Sonnenstand



Abb.36 Strahlengang durch eine mit Wasser voll gefüllten PET-Flasche bei tiefem Sonnenstand

5.2 Funktionsprinzip Solarbulb

Die Medien, die das Licht bei einer mit Wasser voll gefüllten Solarbulb durchquert, sind:

Luft -> PET -> Wasser -> PET -> Luft

Mit einem Laser habe ich die Sonne bzw. einen "Sonnenstrahl" simuliert. Dadurch wird der Strahlengang – der schnellste Weg fürs Licht durch die unterschiedlichen Medien hindurch – bei verschiedenen Sonnenhöhenwinkeln sichtbar.

Der Strahl durchläuft das System auf einer Ebene und wird mehrfach nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz reflektiert und gebrochen. Er verlässt das System im gleichen Winkel wie der Einfallswinkel, jedoch parallel leicht versetzt.

Bei tiefen Sonnenständen morgens oder abends blendet dieses Tageslicht-System, da der Ausblendwinkel ein Wechselwinkel zum Sonnenhöhenwinkel ist und somit immer gleich groß wie dieser ist.

Um die Abstrahlcharakteristik bei verschiedenen Himmelszuständen darzustellen, muss ich die jeweilige Lichtstärke im Raumwinkel kennen, um sie dann in eine Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) zu übertragen.

5.3 Versuchsaufbau

Für die Messungen wurde eine 80 cm x 80 cm x 80 cm große Kiste verwendet.

In der Decke ist eine runde Öffnung für die 1,5l-PET-Flasche ausgespart. Die Seitenwände sind schwarz gestrichen, um den indirekten Lichtanteil auf ein Minimum zu reduzieren, damit möglichst nur der direkte Lichtanteil erfasst wird. Gemessen wurde die Beleuchtungsstärke auf einer Ebene mit 10-cm-Raster.

5.4 Leuchtdichtebilder Solarbulb

5.4.1 Untersuchung der Leuchtdichte bei einem Sonnenhöhenwinkel von 30° und Gegenlicht

Um Leuchtbilder anzufertigen werden drei unterschiedliche lange Belichtungszeiten (Einstellung am Fotoapparat) übereinander gelegt und als HDR bzw. Falschfarbenbild dargestellt. Die Leuchtdichtewerte werden aus dem Bild abgelesen.

Gemessen wurden Leuchtdichtewerte bis 443 cd/m² bei Gegenlicht, was eine Blendung darstellt.

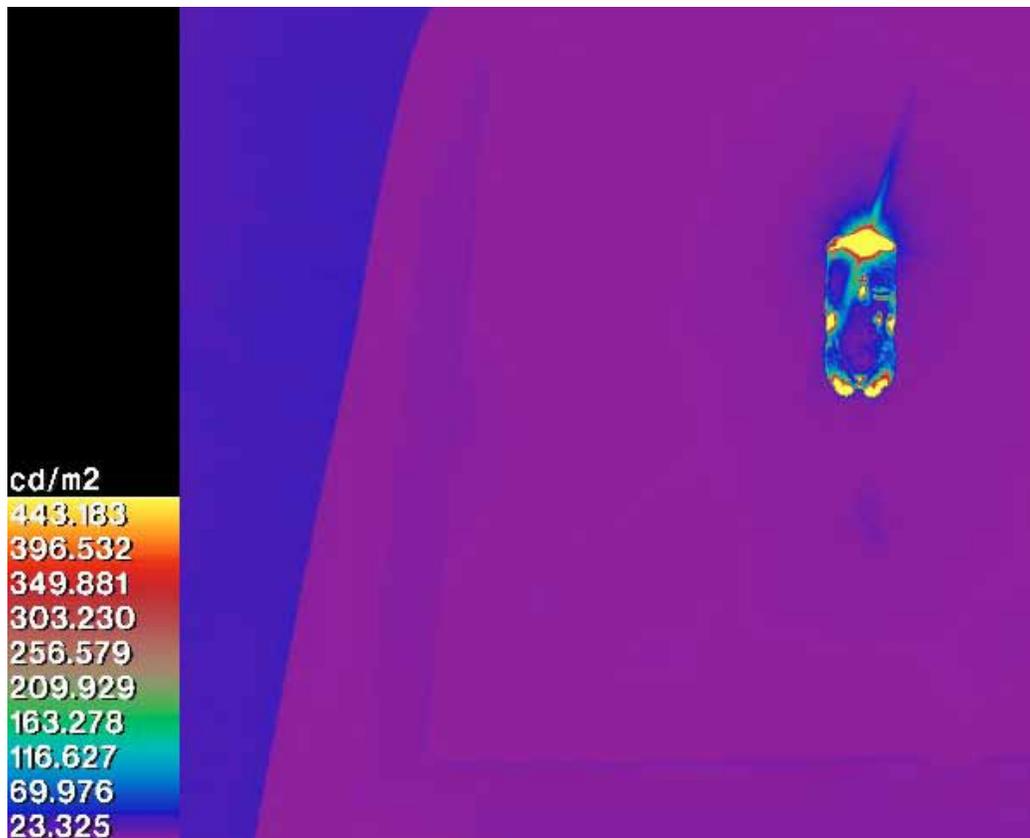


Abb. 37
Leuchtdichteverteilung bei 30° Sonne Gegenlicht



Abb. 38
HDR Fotografie bei 30° Sonne Gegenlicht

Mit der Sonne im Rücken, ergibt die Messung mittels HDR-Methode Leuchtdichtewerte bis zu 28 cd/m².

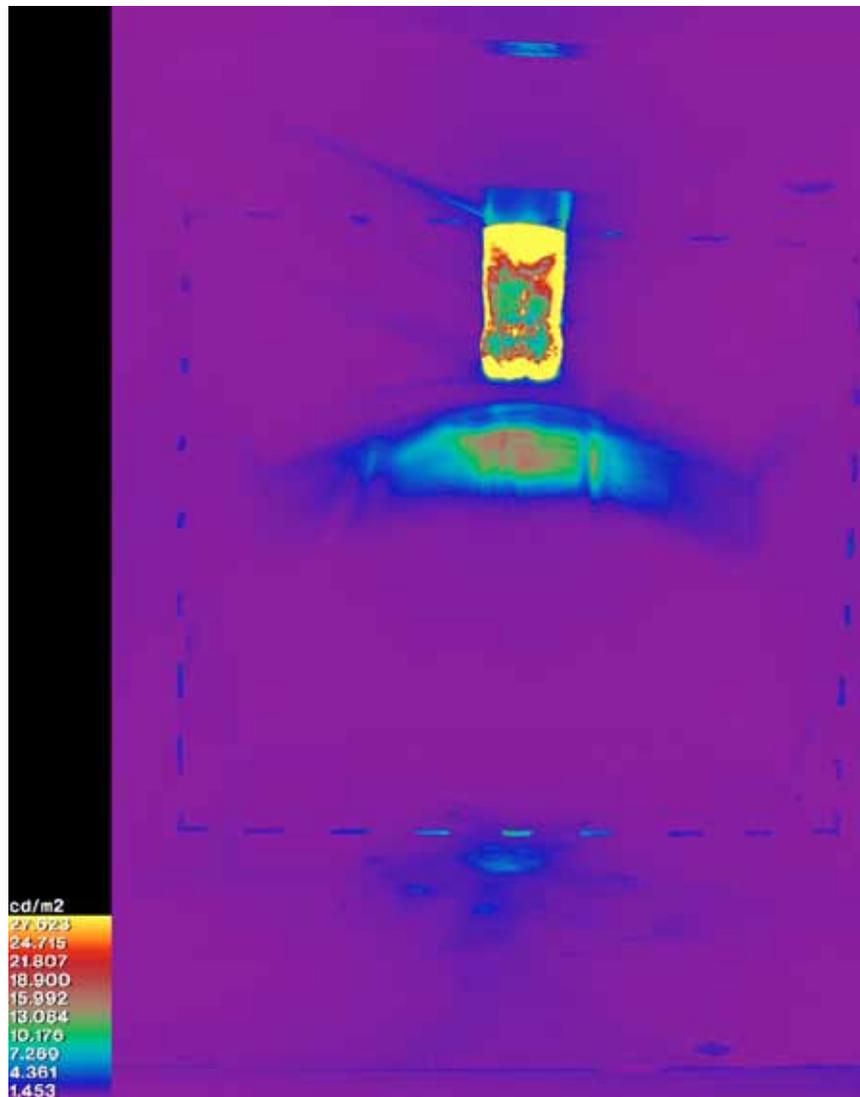


Abb. 39
Leuchtdichte bei einem tiefen Sonnenwinkel 30° im Rücken des Betrachters



Abb. 40
HDR Fotografie bei einem tiefen Sonnenwinkel 30° im Rücken des Betrachters

5.5 Fotografischer Vergleich der Lichtverteilung bei Solarbulb 1.0

Hier sieht man die Lichtverteilung bei unterschiedlichen Sonnenhöhenwinkeln (30° und 60°) und Blickrichtungen. Deutlich zuerkennen sind die Lichtfigurationen welche sich an den Raumbegrenzungsflächen abzeichnen.

Abb. 41
Sonne 30° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 1.0



Abb. 42
Sonne 30° von rechts, Solarbulb 1.0



Abb. 43
Sonne 30° Gegenlicht, Solarbulb 1.0



Abb. 44
Sonne 60° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 1.0



Abb. 45
Sonne 60° von rechts, Solarbulb 1.0



Abb. 46
Sonne 60° Gegenlicht, Solarbulb 1.0



5.6 LVK Solarbulb

Diese LVKs zeigen die Lichtstärkeverteilungskurve der Solarbulb1.0 bei zwei verschiedenen Sonnenhöhenwinkeln (30° und 60°). Deutlich sieht man die zwei Spitzen. Die Primäre auf der ge-

genüberliegenden Seite der Sonne und die Sekundäre, der Sonne zugewandten Seite, welche durch die Reflexion in der Flasche entsteht. Klar zu erkennen ist die primäre Spitze als Streifen auf der

Wand bei Abb. 41. In den meisten Fällen wird eine ausgeglichene und blendfreie Lichtverteilung angestrebt. Die Solarbulb weist in dieser Hinsicht Mängel auf.

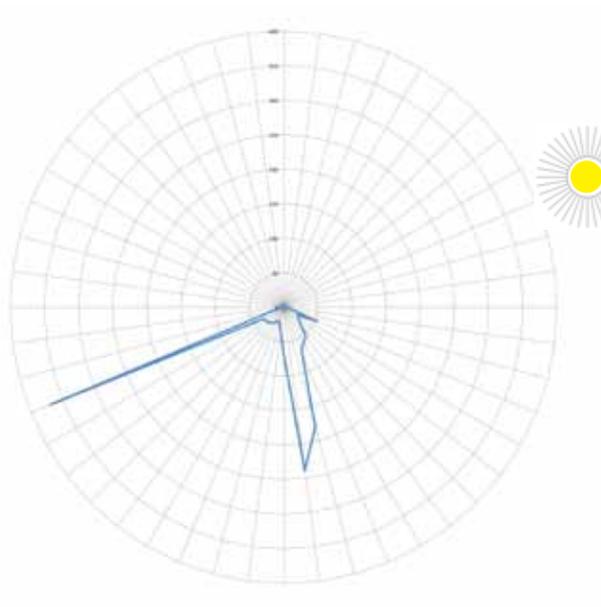


Abb. 47
30° Sonne von rechts

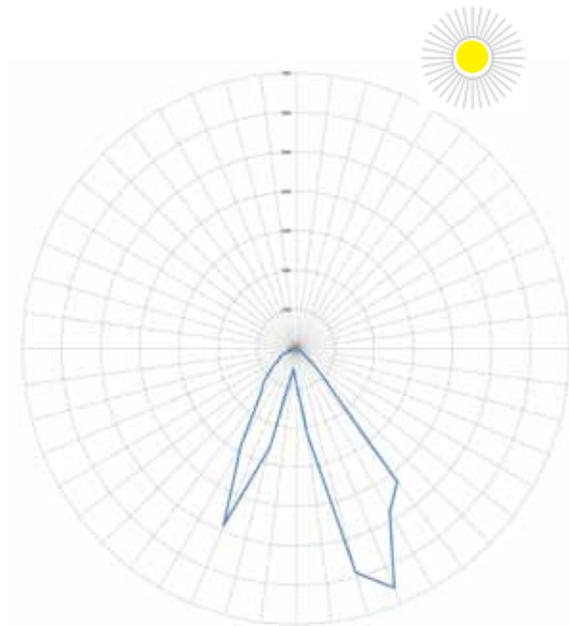


Abb. 48
60° Sonne von rechts

6. Solarbulb 2.0

Ich habe nach Möglichkeiten zur Blendbegrenzung und ausgeglichener Lichtverteilung gesucht.

Erste Ansätze, wie die Transmissionseigenschaft des Wassers zu ändern, indem ich es mit Gelatine, Pectin, Agar Agar oder Gelierzucker eindickte, brachten zwar eine gleichmäßigere Lichtverteilung, hatten jedoch eine höhere Leuchtdichte der Flasche zur Folge, was ich vermeiden wollte. Zudem zeigte sich, dass diese Stoffe kurze Zerfallszeiten haben. Darum habe ich diesen Ansatz nicht weiter verfolgt.

Andere Ansätze mit Ringen um die Flasche aus hochreflektierendem Aluminium habe ich auch wieder verworfen. Erste Feldversuche dazu zeigten, dass das System zwar ausgeblendet, aber im Vergleich nicht mehr effektiv ist.

Mir ist auch bewusst, dass dieses simple System der Solarbulb, das nur wenige Euro für Material kostet, nicht mit teuren

und nicht frei zugänglichen Materialien wie z.B. hochreflektierendem Aluminium modifiziert werden darf. Denn dann könnte das System nicht mehr an jedem Ort und mit einfachsten Mitteln nachgebaut werden. Das wäre ein Rückschritt.

So habe ich nach einer optisch-physikalischen Lösung gesucht, die die Ausblendung des Lichtstrahls mit überall zugänglichen bzw. mit den bereits vorhandenen Materialien umsetzbar macht.

Ich besann mich erneut auf meine drei Elemente: PET, Wasser und Luft.

Diese Medien haben folgende Lichtbrechungsindexe:

PET: 1,6363

Wasser: 1,333

Luft: 1,000292

Beim Rückwärtsbetrachten der theoretisch optimalen Strahlengänge (Strahlengänge sind ja umkehrbar) erkannte ich, wie Strahlengänge durch die Flasche ver-



Abb. 49 Versuche mit Verdickungsmittel



Abb.50
Solarbulb 2.0 der Wasserspiegel liegt neu auf Dachhöhe

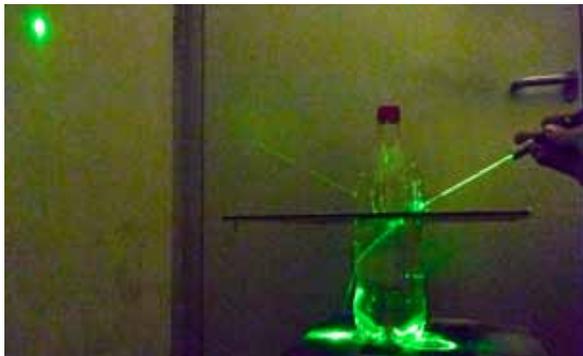


Abb.51
Strahlengang durch die Solarbulb 2.0 bei niedrigen Sonnenstand



Abb.52
Strahlengang durch die Solarbulb 2.0 bei hohem Sonnenstand

laufen sollten, und fand heraus, dass das Problem der Blendung mit bereits vorhandenen Mitteln zu lösen ist: Es braucht einfach weniger Wasser in der Flasche.

Heureka!

Der veränderte Füllstand in der zu 2/3 gefüllten Flasche hat eine Veränderung der Linsenform zur Folge. Die entstandene Wasseroberfläche auf der Wassersäule bildet jetzt eine horizontale Lichteintrittsfläche, denn das Einfallslot ist um 90° gedreht.

Bis zum Füllniveau wird diese Flasche in die Decke eingebaut – so werden nun auch bei tiefem Sonnenständen die Sonnenstrahlung nach unten geleitet. Der kuppelförmige Flaschenhals schützt zudem die Lichteintrittsfläche vor Verschmutzung.

Das System ist eine sozusagen primitive Umsetzung der von Prof. Dr. hc. Ing. Christian Bartenbach 1973 entwickelten Glasstableuchte.⁵

Die neue Solarbulb mit verändertem Füllstand nenne ich von nun an zur Unterscheidung Solarbulb 2.0.

Von einem Sonnenhöhenwinkel von $>0^\circ$ an tritt die Sonnenstrahlung mit mindestens $61,27^\circ$ (ab der Horizontalen der Decke gemessen) aus der Seite der Flasche aus. Das bedeutet in der Theorie, dass dieses optische System gerade bei tiefen Sonnenständen immer mit mindestens $61,27^\circ$ ausgeblendet sein sollte.

Bei einem Sonnenhöhenwinkel über $72,3^\circ$ wird der Strahl in der Flasche totalreflektiert. Daraus kann man den Breitengrad errechnen, ab dem sich dieser Zustand einstellen kann: $90^\circ + 23,5^\circ - 72,3^\circ = 41,2^\circ$ Breite. Beim maximalen Sonnenstand am 21. Juni 12:00 Uhr kann sich die Totalreflektion in der Flasche innerhalb des 40. Breitengrades N/S ergeben. Dies bedeutet, dass das Licht am Boden der Flasche wieder im gleichen Winkel wie der Einfallswinkel aus dem System austritt.

6.1 Leuchtdichtebilder Solarbulb 2.0

6.1.1 Untersuchung der Leuchtdichte der Solarbulb 2.0 bei einem Sonnenwinkel von 30° Gegenlicht

Bei Gegenlicht ergibt die Messung mittels HDR-Methode Leuchtdichtewerte bis zu 110 cd/m² in der Flasche. Es entsteht keine direkte Blendung durch Sonnenlicht unter diesem Winkel.

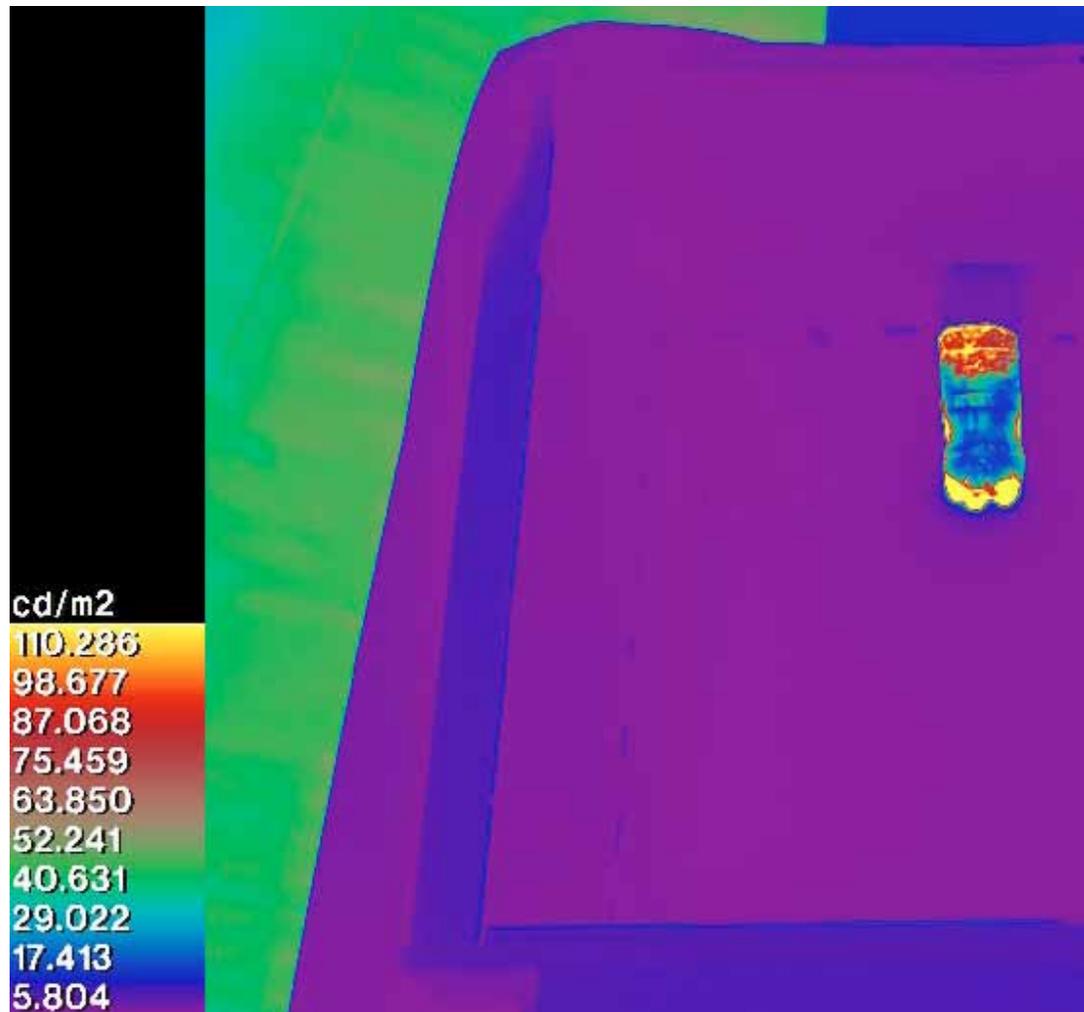


Abb. 53
Leuchtdichteverteilung bei einem Sonnenwinkel von 30° Gegenlicht Solarbulb 2.0

Abb.54
HDR Fotografie bei einem Sonnenwinkel 30° Gegenlicht Solarbulb 2.0

6.1.2 Untersuchung der Leuchtdichte der Solarbulb 2.0 bei einem Sonnenwinkel von 30°, Sonne im Rücken

Mit der Sonne im Rücken, ergibt die Messung mittels HDR-Methode Leuchtdichtewerte bis zu 14 cd/m² in der Flasche.

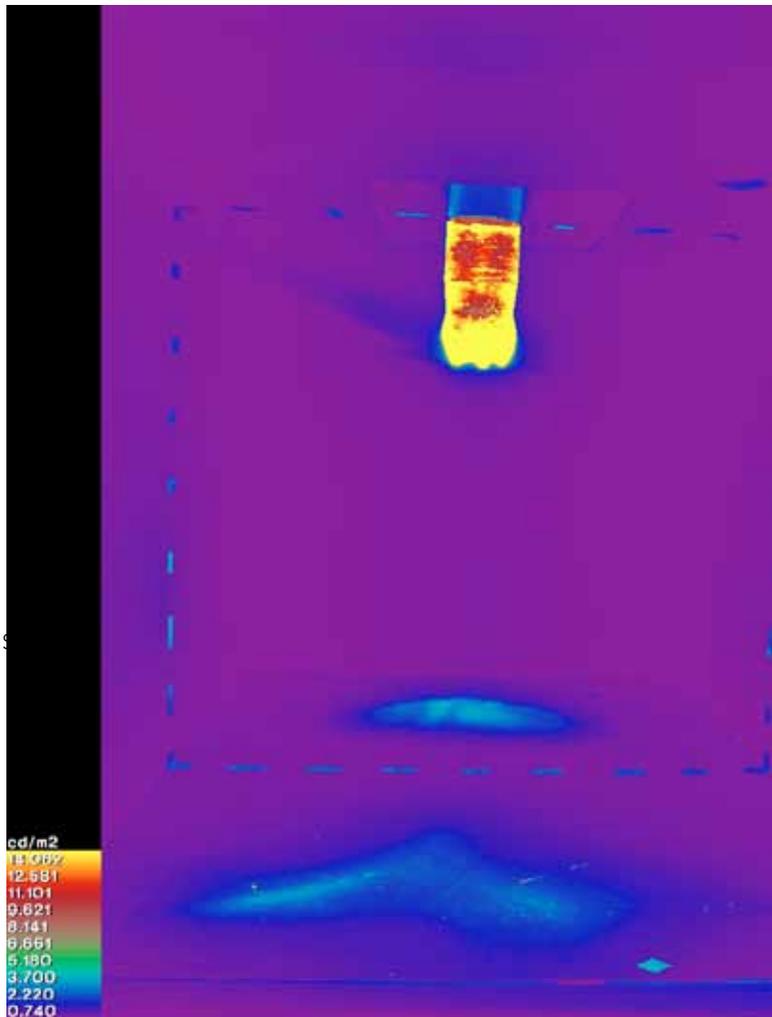


Abb. 55
Leuchtdichteverteilung bei Sonne 30° im Rücken des Betrachters



Abb. 56
HDR Fotografie bei Sonne 30° im Rücken des Betrachters

6.2 Fotografischer Vergleich der Lichtverteilung bei Solarbulb 2.0

Lichtverteilung bei unterschiedlichen Sonnenhöhenwinkeln (30° und 60°) und Blickrichtungen.

Beim System Solarbulb 2.0 kommt mehr Licht auf der horizontalen Nutzebene an. Auch hier sind zwei Spots zu erkennen, insgesamt hat es aber eine ausgeglichene Lichtverteilung.

Abb. 57
Sonne 30° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 2.0



Abb. 58
Sonne 30° von rechts, Solarbulb 2.0



Abb. 59
Sonne 30° Gegenlicht, Solarbulb 2.0



Abb. 60
Sonne 60° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 2.0



Abb. 61
Sonne 60° von rechts, Solarbulb 2.0



Abb. 62
Sonne 60° Gegenlicht, Solarbulb 2.0



6.3 LVK Solarbulb 2.0

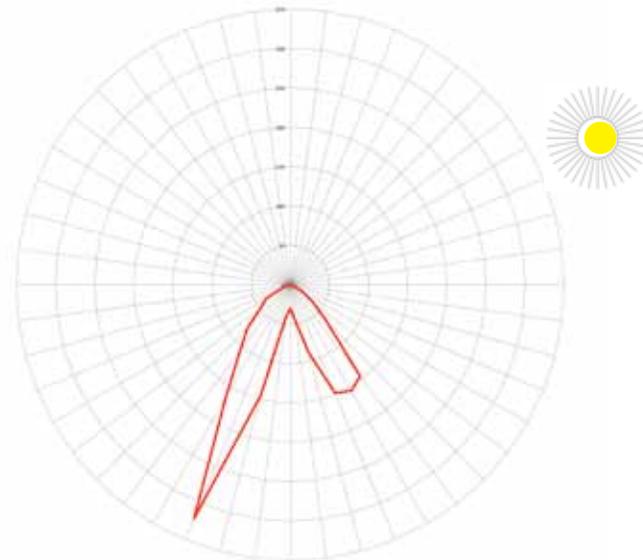


Abb. 63
LVK 30° von rechts Solarbulb 2.0

Die Abbildung 63 und 64 zeigen die Lichtstärkeverteilungskurve der Solarbulb 2.0 bei zwei verschiedenen Sonnenhöhenwinkel (30° und 60°).

Bei 30° sind wieder zwei Spitzen auszumachen, welche jetzt jedoch in einem

steileren Winkel nach unten strahlen. Dementsprechend ist das System ausgeblendet. Siehe bei Abb. 57-59. Bei diesen Abbildungen ist zu erkennen das die Lichtverteilung aus zwei Spots besteht, welche auf die Nutzfläche schei-

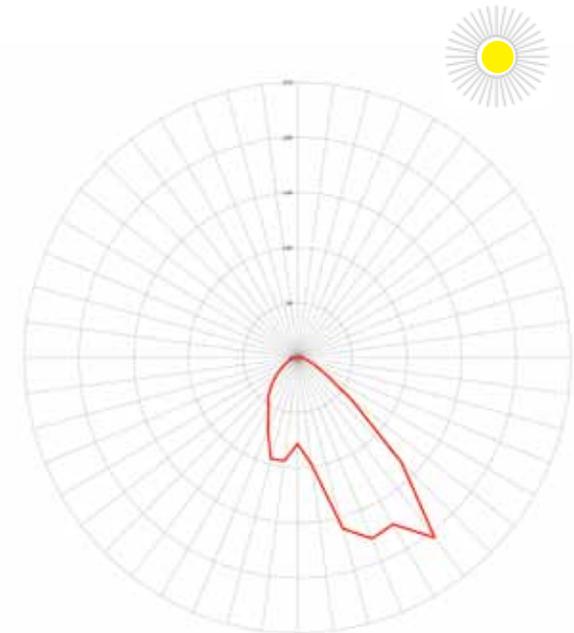


Abb. 64
LVK 60° von rechts Solarbulb 2.0

nen. Bei einem Sonnenstand von 60° wird bereits ein großer Teil des Lichts in der Flasche reflektiert und verschiebt sich somit zur Sonnenseite.

7. Vergleich Solarbulb 1.0 und Solarbulb 2.0

7.1 Vergleich bei 30° und verschiedenen Blickrichtungen

Abb. 65
Sonne 30° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 1.0



Abb. 66
Sonne 30° von rechts, Solarbulb 1.0



Abb. 67
Sonne 30° Gegenlicht, Solarbulb 1.0



Abb. 68
Sonne 30° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 2.0



Abb. 69
Sonne 30° von rechts, Solarbulb 2.0



Abb. 70
Sonne 30° Gegenlicht, Solarbulb 2.0



7.2 Vergleich Solarbulb 1.0 und Solarbulb 2.0 bei 60° und verschiedenen Blickrichtungen

Bei hohem Sonnenstand ist der Unterschied zwischen Solarbulb 1.0 und 2.0 weniger ausgeprägt als beim 30° Sonnenstand. Bei der Solarbulb 2.0 ist die Lichtverteilung jedoch gleichmässiger, es ist eine Verschiebung in Richtung Sonne zu erkennen.

Abb. 71
Sonne 60° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 1.0



Abb. 72
Sonne 60° von rechts, Solarbulb 1.0



Abb. 73
Sonne 60° Gegenlicht, Solarbulb 1.0



Abb. 74
Sonne 60° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 2.0



Abb. 75
Sonne 60° von rechts, Solarbulb 2.0



Abb. 76
Sonne 60° Gegenlicht, Solarbulb 2.0



7.3 Direkter Vergleich LVK Solarbulb 1.0 / Solarbulb 2.0

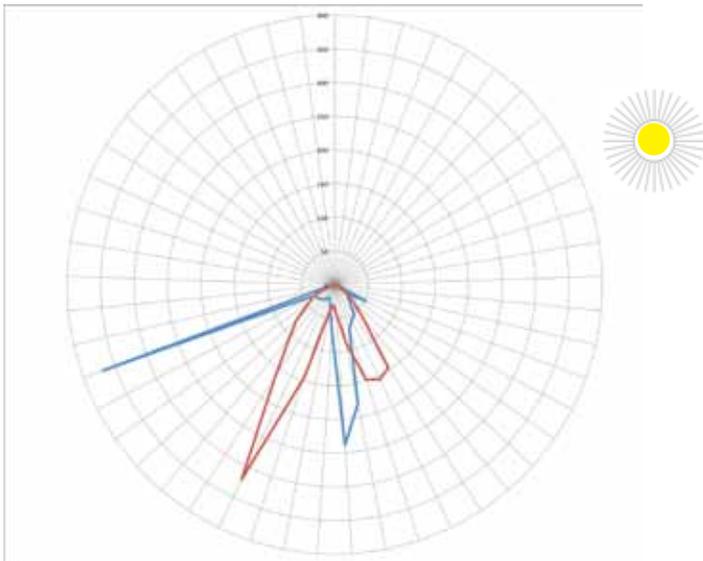


Abb. 77
Sonne 30° von rechts

Beim Sonnenstand von 30° zeigt sich bei der direkten Gegenüberstellung beider 30° LVKs, dass das System Solarbulb 2.0 (rot) das primäre Sonnenlicht steiler nach unten lenkt als Solarbulb 1.0 (blau).

Somit kommt bei der Solarbulb 2.0 mehr Licht auf die horizontale Nutzebene, ohne zu blenden.

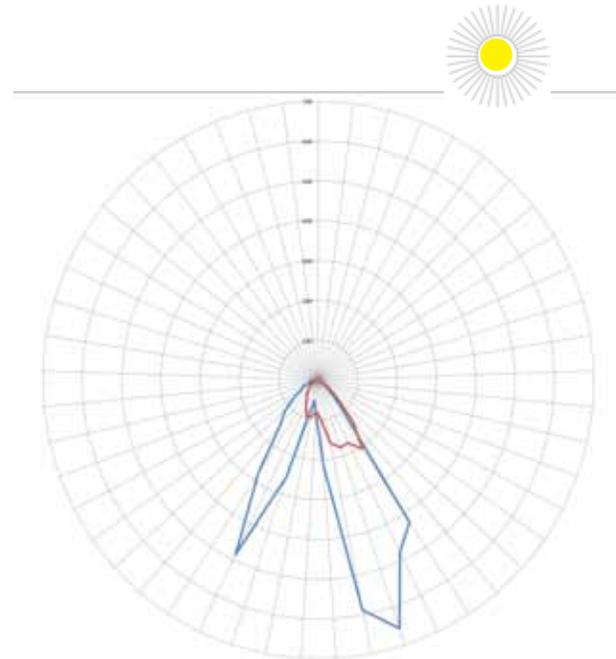


Abb. 78
Sonne 60° von rechts

Beim Sonnenstand von 60° zeigt sich bei der direkten Gegenüberstellung beider 60° LVKs, dass das System Solarbulb 2.0 (rot) mehr Licht absorbiert als Solarbulb 1.0 (blau).

7.4 Auswertung

Als fotografischer Vergleich gegenübergestellt: nur die Öffnung (ohne PET-Flasche), Solarbulb 1.0 (PET-Flasche voll) und die Solarbulb 2.0 (PET-Flasche zu 2/3 mit Wasser gefüllt) bei 30° Sonnenstand (obere Bildreihe) und 60° Sonnenstand (untere Bildreihe). Beim Vergleich mit dem Oberlicht wird die Lichtaufstreuung der Solarbulb 1.0 und die verbesserte Abstrahlcharakteristik der Solarbulb 2.0 deutlich.

Abb. 80
Sonne 30° im Rücken des Betrachters, nur Öffnung (ohne Flasche)



Abb. 81
Sonne 30° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 1.0



Abb. 82
Sonne 30° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 2.0



Abb. 83
Sonne 60° im Rücken des Betrachters, nur Öffnung



Abb. 84
Sonne 60° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 1.0



Abb. 85
Sonne 60° im Rücken des Betrachters, Solarbulb 2.0



7.4.1 Fotografischer Vergleich der Blendung bei 30° Gegenlicht

Bei einem tiefen Sonnenstand und Gegenlicht zeigt sich bei der Solarbulb 2.0 keine Blendung durch direkte Sonneneinsicht.

Abb. 86
Nur Öffnung (ohne Flasche)



Abb. 87
Solarbulb 1.0 (Flasche voll)



Abb. 88
Solarbulb 2.0 (Flasche 2/3 voll,
Wasserspiegel liegt bei Niveau Dach)



Abb. 86 – 88
Vergleich der Blendung zwischen einfacher Öffnung, Solarbulb 1.0, Solarbulb 2.0

8. Messungen im künstlichen Himmel

Abb. 89
Berechnungsbeispiel der Lumen anhand der Solarbulb 2.0 bei bedecktem Himmel

Bedeckter Himmel 10'000 lx	Solarbulb 1.0 <lx>	Seite a <m>	Höhe b <m>	Gamma< Grad>	Cos Gamma	Lichtstärke <cd>
1	8,76	0,40	0,00	0,00	1,00	1,40
2	15,62	0,40	0,10	14,04	0,97	2,74
3	15,06	0,40	0,20	26,57	0,89	3,37
4	12,81	0,40	0,30	36,87	0,80	4,00
5	14,38	0,40	0,40	45,00	0,71	6,51
6	19,21	0,40	0,50	51,34	0,62	12,61
7	20,22	0,40	0,60	56,31	0,55	18,96
8	15,62	0,40	0,70	60,26	0,50	20,46
9	15,06	0,40	0,80	63,43	0,45	26,93
10	26,07	0,40	0,80	30,00	0,87	25,69
11	31,46	0,30	0,80	22,02	0,93	25,27
12	32,81	0,20	0,80	14,48	0,97	23,13
13	31,12	0,10	0,80	7,18	0,99	20,40
14	29,66	0,00	0,80	0,00	1,00	18,98
15	32,25	0,10	0,80	7,18	0,99	21,13
16	33,15	0,20	0,80	14,48	0,97	23,37
17	30,56	0,30	0,80	22,02	0,93	24,55
18	23,60	0,40	0,80	30,00	0,87	23,25
19	15,17	0,40	0,80	63,43	0,45	27,13
20	18,09	0,40	0,70	60,26	0,50	23,70
21	22,13	0,40	0,60	56,31	0,55	20,75
22	20,67	0,40	0,50	51,34	0,62	13,57
23	16,85	0,40	0,40	45,00	0,71	7,63
24	16,52	0,40	0,30	36,87	0,80	5,16
25	15,73	0,40	0,20	26,57	0,89	3,52
26	13,48	0,40	0,10	14,04	0,97	2,36
27	7,30	0,40	0,00	0,00	1,00	1,17

15,10cd Lichtstärke Mittel (Halbraum)
x 2π

94,89lm Gesamtlichtstrom

Im künstlichen Himmel wurde verglichen wie sich die Solarbulb 1.0 und 2.0 bei unterschiedlichen Himmelszuständen verhalten. Die Messungen sind als Tabellen angehängt. Anhand der Solarbulb 2.0 bei bedecktem Himmel mit 10'000 Lux wird die Messung und Auswertung erklärt: Der untere Halbraum wurde im Versuchsaufbau von links oben, im Gegenuhrzeigersinn auf einem 10-cm-Raster gemessen. Bei den unterschiedlich hohen Sonnenständen wurden die Lux Werte auf insgesamt vier Ebenen ermittelt. Aus den gemessenen Werten in Lux wird mit der Formel ($E = I/h^2 \times \cos^3 \text{Gamma}$) die entsprechende Lichtstärke pro Ebenenpunkt ermittelt. Daraus wird der Mittelwert der Lichtstärke für die jeweilige Ebene gebildet. Multipliziert wird dieser mit dem Raumwinkel Ω um den Gesamtlichtstrom in Lumen erhalten.

8.1 LVK bedeckter Himmel (ohne Sonne)

8.1.1 Vergleich Solarbulb 1.0 und Solarbulb 2.0

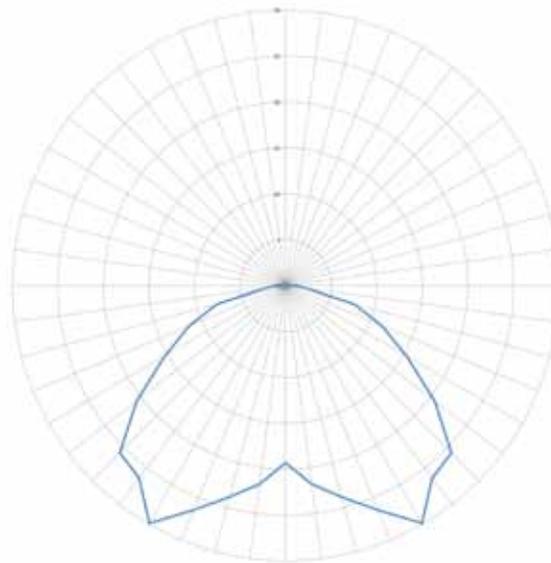


Abb.90
LVk Solarbulb 1.0
116,32 Lumen

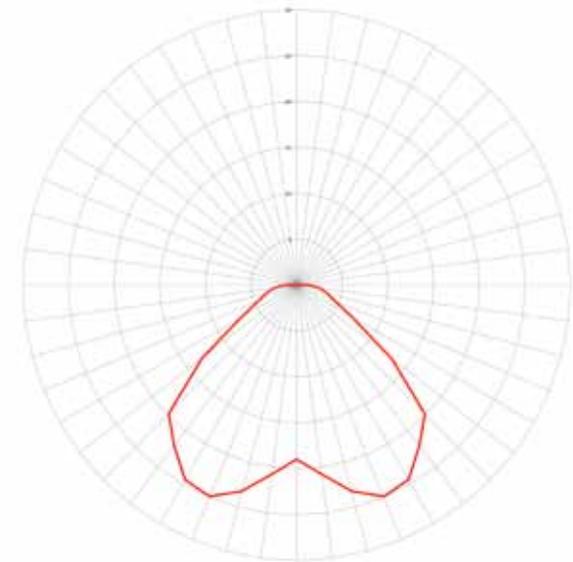


Abb. 91
Solarbulb 2.0
94,89 Lumen

Bei bedecktem Himmel mit 10'000 Lux (ohne Sonne) ist das bestehende System Solarbulb 1.0 mit 116 Lumen rund

20 Prozent effizienter im Vergleich zur Solarbulb 2.0. Diese hat rund 95 Lumen.

8.2 Messdaten

Abb. 92

Messprotokoll 10.08.12 Mathias Stich, Aldrans (AUT)

Gemessen wurde im Versuchsaufbau von links oben im Gegenuhrzeigersinn

Messpunkt	60° im Rücken		60° von rechts		60° Gegenüber		60° Diagonal		Bedeckter Himmel 10'000lx		
	Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0	Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0	Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0	Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0		Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0
1	20lx	34lx	47lx	24lx	14lx	28lx	19lx	20lx		8lx	9lx
2	23lx	35lx	47lx	28lx	15lx	31lx	25lx	21lx		15lx	16lx
3	61lx	38lx	44lx	30lx	33lx	33lx	38lx	22lx		36lx	40lx
4	156lx	50lx	130lx	30lx	50lx	35lx	39lx	24lx		39lx	44lx
5	104lx	55lx	106lx	33lx	76lx	39lx	54lx	26lx		36lx	41lx
6	74lx	68lx	115lx	36lx	144lx	40lx	157lx	27lx		35lx	40lx
7	52lx	77lx	123lx	35lx	73lx	44lx	151lx	28lx		26lx	29lx
8	30lx	76lx	115lx	34lx	78lx	35lx	58lx	25lx		15lx	16lx
9	27lx	66lx	166lx	30lx	80lx	36lx	46lx	23lx		17lx	19lx
10	50lx	105lx	269lx	55lx	125lx	54lx	69lx	36lx		31lx	35lx
11	95lx	135lx	604lx	88lx	82lx	73lx	86lx	57lx		33lx	37lx
12	100lx	155lx	367lx	135lx	58lx	85lx	49lx	92lx		34lx	38lx
13	145lx	147lx	79lx	144lx	53lx	101lx	43lx	117lx		32lx	36lx
14	178lx	145lx	136lx	122lx	51lx	97lx	122lx	108lx		30lx	34lx
15	155lx	151lx	331lx	149lx	67lx	94lx	329lx	112lx		34lx	39lx
16	136lx	159lx	834lx	228lx	56lx	86lx	263lx	146lx		33lx	37lx
17	60lx	110lx	817lx	221lx	81lx	71lx	108lx	154lx		33lx	37lx
18	45lx	75lx	485lx	177lx	106lx	60lx	52lx	118lx		30lx	34lx
19	30lx	52lx	305lx	115lx	77lx	42lx	43lx	74lx		17lx	19lx
20	38lx	48lx	232lx	137lx	64lx	45lx	37lx	87lx		21lx	24lx
21	47lx	55lx	90lx	143lx	92lx	50lx	33lx	107lx		29lx	33lx
22	47lx	52lx	54lx	94lx	90lx	45lx	25lx	70lx		27lx	31lx
23	41lx	43lx	37lx	66lx	52lx	38lx	17lx	52lx		31lx	35lx
24	50lx	39lx	34lx	52lx	36lx	34lx	19lx	40lx		34lx	38lx
25	24lx	33lx	25lx	42lx	17lx	29lx	12lx	37lx		34lx	38lx
26	16lx	32lx	17lx	35lx	17lx	28lx	9lx	32lx		13lx	14lx
27	17lx	30lx	14lx	31lx	17lx	25lx	9lx	27lx		6lx	7lx

Abb. 93
 Messprotokoll 10.08.12 Mathias Stich, Aldrans (AUT)
 Gemessen wurde im Versuchsaufbau von links oben im Gegenuhrzeigersinn

Messpunkt	30° im Rücken		30° von rechts		30° Gegenlicht		30° Diagonal		Bedeckter Himmel 8900lx	
	Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0	Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0	Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0	Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0	Solarbulb 1.0	Solarbulb 2.0
1	13lx	15lx	20lx	23lx	15lx	15lx	15lx	18lx	7lx	8lx
2	22lx	18lx	35lx	26lx	16lx	19lx	21lx	19lx	13lx	14lx
3	27lx	19lx	38lx	25lx	18lx	25lx	28lx	20lx	32lx	13lx
4	29lx	23lx	1180lx	40lx	23lx	34lx	151lx	21lx	35lx	11lx
5	47lx	30lx	73lx	80lx	31lx	51lx	76lx	26lx	32lx	13lx
6	37lx	40lx	51lx	72lx	44lx	74lx	55lx	31lx	32lx	17lx
7	36lx	39lx	33lx	82lx	35lx	42lx	37lx	28lx	23lx	18lx
8	33lx	26lx	22lx	80lx	24lx	28lx	26lx	23lx	13lx	14lx
9	52lx	20lx	16lx	90lx	19lx	20lx	17lx	19lx	15lx	13lx
10	71lx	32lx	25lx	170lx	28lx	32lx	26lx	29lx	28lx	23lx
11	38lx	34lx	27lx	400lx	33lx	34lx	27lx	36lx	29lx	28lx
12	43lx	37lx	33lx	206lx	40lx	37lx	35lx	41lx	30lx	29lx
13	82lx	38lx	55lx	63lx	87lx	39lx	76lx	38lx	29lx	28lx
14	109lx	42lx	107lx	47lx	132lx	39lx	177lx	48lx	27lx	26lx
15	62lx	39lx	364lx	70lx	83lx	41lx	136lx	59lx	31lx	29lx
16	41lx	34lx	255lx	125lx	40lx	39lx	79lx	67lx	30lx	30lx
17	33lx	31lx	85lx	185lx	33lx	35lx	50lx	70lx	29lx	27lx
18	34lx	29lx	59lx	158lx	29lx	34lx	53lx	73lx	27lx	21lx
19	22lx	18lx	35lx	103lx	18lx	20lx	21lx	43lx	15lx	14lx
20	31lx	23lx	35lx	83lx	23lx	27lx	25lx	53lx	19lx	16lx
21	34lx	38lx	38lx	69lx	45lx	39lx	18lx	70lx	26lx	20lx
22	35lx	50lx	41lx	57lx	43lx	37lx	26lx	78lx	24lx	18lx
23	36lx	35lx	52lx	41lx	44lx	27lx	38lx	43lx	28lx	15lx
24	26lx	25lx	171lx	27lx	22lx	22lx	50lx	28lx	30lx	15lx
25	19lx	21lx	41lx	21lx	19lx	18lx	22lx	21lx	30lx	14lx
26	17lx	16lx	35lx	17lx	15lx	17lx	15lx	15lx	11lx	12lx
27	13lx	12lx	18lx	12lx	14lx	15lx	12lx	11lx	6lx	7lx

8.2.1 Berechnung der Lumen bei unterschiedlichen Sonnenhöhenwinkel Solarbulb 1.0 und 2.0

Berechnungsverfahren analog zu Abb. 89

	Solarbulb 1.0	I Mitt. 30° Halbraum	Lumen 30°	I Mitt. 60° Halbraum	Lumen 60°
Sonne von rechts		56,43cd		179,50cd	
Gegenlicht		25,49cd		52,95cd	
Sonne im Rücken		29,20cd		45,24cd	
Sonne diagonal		31,42cd		54,22cd	
Sonne von Rechts		56,43cd		179,50cd	
Mittelwert aus Gegenlicht und Sonne im Rücken		27,34cd		49,10cd	
Sonne diagonal		31,42cd		54,22cd	
Mittelwert aus diesen drei Mess-Ebenen		38,40cd		94,27cd	
Lumen bei Sonnenhöhenwinkel			241lm		592lm
Mittelwert aus beiden Sonnenständen					417lm

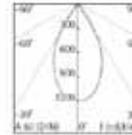
	Solarbulb 2.0	I Mitt. 30° Halbraum	Lumen 30°	I Mitt. 60° Halbraum	Lumen 60°
Sonne von rechts		75,10cd		68,32cd	
Gegenlicht		22,85cd		37,49cd	
Sonne im Rücken		21,00cd		58,15cd	
Sonne diagonal		29,36cd		48,29cd	
Sonne von Rechts		75,10cd		68,32cd	
Mittelwert aus Gegenlicht und Sonne im Rücken		21,93cd		47,82cd	
Sonne diagonal		29,36cd		48,29cd	
Mittelwert aus diesen drei Mess-Ebenen		42,13cd		54,81cd	
Lumen bei Sonnenhöhenwinkel			269lm		344lm
Mittelwert aus beiden Sonnenständen					306lm

Abb. 94
Berechnung
der Lumen bei
unterschiedlichen
Sonnenhöhenwinkeln

8.3. Berechnung der Anzahl benötigter Solarbulbs 2.0 in einem 20-Fuß-Container anhand der Wirkungsgradmethode.

Messebene	0,85
Leuchtenhöhe (m)	0,15
Raumlänge L (m)	5,71
Raubbreite B (m)	2,35
Raumhöhe H (m)	2,36
h'= H-Messebene (m)	1,508
h Abstand: Messebene-Leuchte	1,358
A (m ²)	13,42992
k Direkt	1,226678806 s. Tabelle

Raumwirkungsgrade n_R
für typische Leuchten
in Innenräumen (von
oben nach unten):
Treffkoeffizient Leuchten
(A 80, DIN 5046)



n_R	h/h'	0,70	0,75	0,79	0,70	0,70	0,50	0,50	0,25	0,00
n_R	h/h'	0,70	0,50	0,50	0,20	0,20	0,50	0,20	0,20	0,00
n_R	h/h'	0,50	0,25	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00
n_R	h/h'									
0,80		1,04	0,88	0,84	0,81	0,80	0,84	0,80	0,80	0,78
1,00		1,17	0,95	0,92	0,90	0,88	0,81	0,88	0,87	0,85
1,25		1,26	1,05	1,05	1,03	0,95	0,97	0,95	0,94	0,92
1,50		1,30	1,04	1,00	1,00	0,97	0,89	0,87	0,86	0,84
2,00		1,35	1,07	1,07	1,04	1,00	1,01	0,99	0,98	0,97
2,50		1,38	1,09	1,03	1,06	1,02	1,02	1,01	0,99	0,97
3,00		1,41	1,11	1,05	1,09	1,03	1,03	1,02	1,00	0,99
4,00		1,43	1,11	1,06	1,09	1,03	1,03	1,02	1,00	0,98

Dm	0,7 Reflexion Decke
Wm	0,7 Reflexion Wand
Fm	0,5 Reflexion Boden

Wirkungsgrad Raum NL	1,23 aus Tabelle
Wirkungsgrad Leuchte NR	1

NL*NR	1,23
Verminderungsfaktor	0,7

Forderung Em (lx)	300
-------------------	-----

Bei bedecktem Himmel 10'000lx

Lumen Solarbulb 2.0	95
---------------------	----

An einem Sonnentag

Lumen Solarbulb 2.0	305
---------------------	-----

n'	49,25699615
n Anzahl Leuchten (aufgerundet)	50

Em (lx)	304,525269
---------	------------

n'	15,34234306
n Anzahl Leuchten (aufgerundet)	16

Em (lx)	312,8596447
---------	-------------

Abb. 95
Berechnung der Anzahl Solarbulbs 2.0
anhand der Wirkungsgradmethode

8.4 Fazit

Solarbulbs 1.0 und 2.0



Abb. 96 Solarbulbs in Loita, Kenya

Bei bedecktem Standardhimmel (ohne Sonne) mit 10'000 Lux beträgt der Gesamtlichtstrom einer Solarbulb 1.0 116 Lumen, bei der Solarbulb 2.0 sind es 95 Lumen. 100 Lumen entsprechen in etwa einer 15-W-Glühlampe.

Bei tiefen Sonnenständen haben beide Systeme etwa gleich viel Lumen – 241 Lumen bei Solarbulb 1.0 und 261 Lumen Solarbulb 2.0.

Bei der Solarbulb 2.0 konnte die Blendung drastisch reduziert werden. Darüber hinaus nimmt, durch die wesentlich steilere Umlenkung des Lichts nach unten, die horizontale Beleuchtungsstärke zu.

Bei hohen Sonnenständen hingegen liefert das System Solarbulb 1.0 mit rund 600lm mehr Lumen als das System Solarbulb 2.0 mit 433 Lumen.

600 Lumen entsprechen in etwa einer 55

Watt-Glühlampe – das ist der Wert, der im zitierten Zeitungsartikel für das System Solarbulb 1.0 angegeben wurde.

Die Tatsache, dass das System Solarbulb 2.0 bei hochstehender Sonne weniger Lumen liefert wie Solarbulb 1.0, ist jedoch kein Nachteil da Solarbulb 2.0 eine ausgeglichene Beleuchtung den Tag hindurch bietet, ohne Mittagsspitzen. Somit liefert das System Solarbulb 2.0 bei Sonne im Schnitt rund 300 Lumen, ± 40 Lumen Schwankungen über den Tag hinweg.

Auf Grund der überwiegenden Vorzüge der Solarbulb 2.0 bei Sonnenlicht wird der etwas schlechtere Abschneiden bei bedecktem Himmel relativiert.

Darum wird die Solarbulb 2.0 als Tageslicht-Beleuchtungs-System in meinem Projekt verwendet.

9. Dialux-Berechnungen

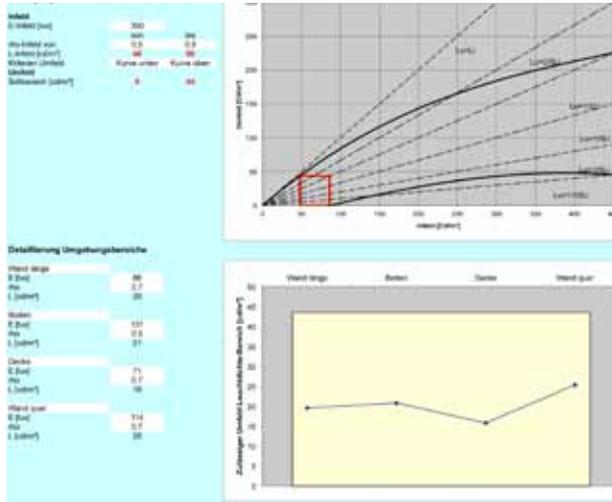


Abb. 97 theoretisches Leuchtdichtenmodell

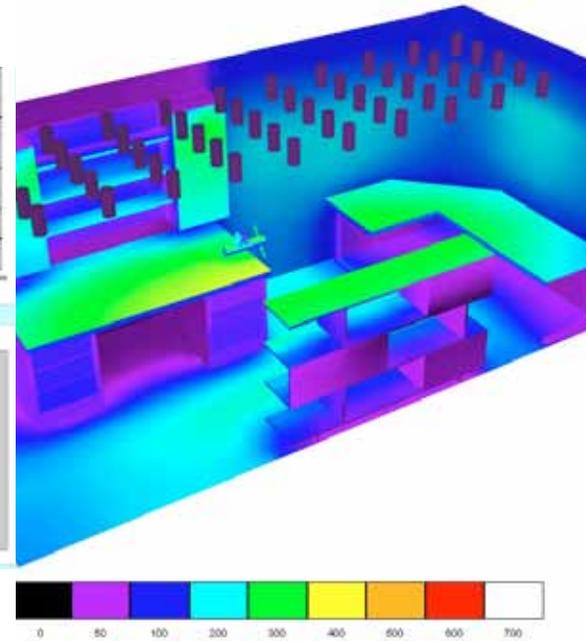


Abb. 98 Falschfarbenrendering zu Veranschlichung der Beleuchtungsstärkeverteilung durch Solarbulb 2.0

Es wurde mit dem Programm Dialux überprüft, ob sich bei bedecktem Himmel, die im Innern geforderte Beleuchtungsstärke von 300 Lux einstellt. Dargestellt mit der Farbe Grün im Falschfarbenrendering, kann man erkennen das dies mit 50 Stück in der Decke eingelassener Serlarbulbs 2.0 erreicht wird.

Die aus Dialux ermittelnden Werte wurden ins theoretische Leuchtdichtenmodell übertragen. Es zeigt sich, dass in einem Container mit den Reflektionswerten von Decke, Wände und Boden von 0,7 / 0,7 / 0,5 die Forderung des theoretischen Leuchtdichtenmodells erfüllt ist und sich im Innern des Containers eine stabile Wahrnehmung einstellen kann.

Fläche	Mittlere Beleuchtungsstärken [lx]			Reflexionsgrad [%]	Mittlere Leuchtdichte [cd/m²]
	direkt	indirekt	gesamt		
Nutzebene	253	62	315	/	/
Boden	86	45	131	50	21
Decke	0,67	70	71	70	16
Wand 1	58	56	114	70	25
Wand 2	57	61	118	70	26
Wand 3	52	68	120	70	27
Wand 4	38	50	88	70	20

Gleichmäßigkeiten auf der Nutzebene
 $g_1 = 0,557 (1,2)$
 $g_2 = 0,443 (1,2)$

Abb. 99 Ergebnisse aus Dialux



Abb. 100 Mit QLumEdit erstellte LVK

10. Kunstlichtsystem



Abb. 101
Funktionsprinzip LED Modul

Um nicht noch ein zusätzliches Lichtsystem im Container unterzubringen, wurde das Kunstlicht für nachts in die Solarbulb 2.0 integriert – die Kompaktheit der LED macht dies möglich. Zudem hat die LED eine Lebensdauer von 50'000 Stunden. Ein LED-Modul, bestehend aus LED, Linse, Kühlkörper und Anschlüssen, wird auf den Drehverschluss der PET-Flasche geschraubt. Die LED scheint durch das Wasser und den Flaschenboden. Da der Flaschenboden meist gewölbt ist, können Lichtfigurationen auf der horizontalen Nutzebene entstehen. Da diese Lichtfigurationen oft unerwünscht sind, kann man durch partielles Aufrauen mit Schleifpapier am Flaschenboden diese Lichtfigurationen verwischen. Wenn man schon dabei ist kann man auch auf der Außenliegendenseite den PET-Flaschenhals damit bearbeiten, um bei Sonnenschein dem gleichen entgegenzuwirken. Um die Leuchtdichte der Flasche auf einen niede-

ren und blendfreien Wert zu halten, ist es wichtig das der Flaschenkörper unterhalb der Dachkante bis zum untern Flaschenrand unbearbeitet und klar bleibt.

Die verwendete LED für die berechnung ist eine Samsung 3535. Diese kostet rund 5 Euro. Ich habe für das Nachtmilieu die warmweisse Version gewählt, mit einer Farbtemperatur von 2700 Kelvin und einem CRI von Ra 80.

Die Samsung 3535 braucht eine Versorgungsspannung von 3V und hat 140 Lumen bei 500mA. Wird sie mit 1500mA betrieben sogar bis zu 448 Lumen Lichtstrom. Die Leistung beträgt 5 Watt.

Die Linse Ledil TINA-W mit 54° Abstrahlwinkel hat einen Durchmesser von 16 mm, passt damit in den Drehverschluss und bestrahlt die Wasseroberfläche genau auf den Durchmesser der 1,5l-PET-Flasche. Die Effizienz ist 91%.



Abb. 102
Solarbulb 2.0 mit unbearbeitetem Flaschenboden



Abb. 103
Solarbulb 2.0 mit bearbeiteten Flaschenboden

Mit dieser LED und Linsenkombination ist gewährleistet dass die Solarbulb 2.0 bei LED-Betrieb auf den selben Lichtstrom kommt wie eine Solarbulb 2.0 beim bedeckten Himmel, nämlich rund 100 Lumen.

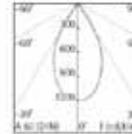
Das LED-Modul wird in jede der 50 PET-Flaschen, welche als Planungsanzahl beim bedecktem Himmel berechnet wurden (siehe Abb. 95) eingebaut und mit 500mA betrieben. So werden auch nachts die geforderten 300 Lux auf der Nutzebene im Innern des Containers erreicht.

Bei der berechneten Variante für eine Container Nutzung unter Sonnenschein bräuchte es 16 Stück an Solarbulbs 2.0. Bei 1500mA erreicht die Samsung 3535 448 Lumen. Dies wäre genug um auch bei 16 Solarbulbs 2.0 nachts im Innern den Wert von 300 Lux zu erreichen.

10.1 Berechnung der Anzahl LEDs anhand der Wirkungsgradmethode

Messebene 0,85
 Leuchtenhöhe (m) 0,15
 Raumlänge L (m) 5,71
 Raumbreite B (m) 2,35
 Raumhöhe H (m) 2,36
 h' = H-Messebene (m) 1,508
 h Abstand: Messebene-Leuchte 1,358
 A (m²) 13,42992
 k Direkt 1,226678806 s. Tabelle

Raumwirkungsgrade n_R
 für typische Leuchten
 in Innenräumen (von
 oben nach unten):
 Tretleuchte, Leuchten
 (A 50, DIN 5040)



h/h'	h/h'	0,70	0,75	0,70	0,70	0,70	0,50	0,50	0,20	0,00
n_R	n_{Ra}	0,70	0,50	0,50	0,20	0,20	0,30	0,20	0,20	0,00
	n_{Re}	0,50	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00
h										
0,60		1,04	0,88	0,84	0,81	0,80	0,84	0,80	0,90	0,78
1,00		1,17	0,95	0,92	0,90	0,88	0,81	0,88	0,87	0,85
1,25		1,26	1,06	1,06	0,90	0,95	0,97	0,95	0,94	0,91
1,50		1,30	1,04	1,00	1,00	0,97	0,99	0,97	0,95	0,94
2,00		1,35	1,07	1,02	1,04	1,00	1,01	0,99	0,98	0,97
2,50		1,38	1,09	1,03	1,06	1,02	1,02	1,01	0,99	0,97
3,00		1,41	1,11	1,05	1,09	1,03	1,03	1,02	1,00	0,99
4,00		1,43	1,11	1,06	1,00	1,03	1,03	1,00	1,00	0,98

Dm 0,7 Reflexion Decke
 Wm 0,7 Reflexion Wand
 Fm 0,5 Reflexion Boden

Wirkungsgrad Raum NL 1,23 aus Tabelle
 Wirkungsgrad Leuchte NR 0,6

NL*NR 0,738
 Verminderungsfaktor 0,8

Forderung E_m (lx) 300

LED betrieben mit 500mA
 Lumen Solarbulb 2.0 LED 140

LED betrieben mit 1500mA
 Lumen Solarbulb 2.0 448

n' 48,74390244
 n Anzahl Leuchten (aufgerundet) 49

n' 15,23246951
 n Anzahl Leuchten (aufgerundet) 16

E_m (lx) 301,5761821

E_m (lx) 315,1163373

Abb. 104
 Berechnung der Anzahl LEDs
 anhand der Wirkungsgradmethode



Abb. 105
Visualisierung 20 Fuß Container mit Solarbulb 2.0

11. Projektplanung

Projektmanagement

23.09.2012

Tasks

2

Vorgang	Anfang	Ende
Grundlagenermittlung	16.12.11	08.06.12
Kick-Off	16.12.11	16.12.11
Recherche Thema Masterthesis	19.12.11	15.03.12
Recherche Container	01.03.12	30.03.12
Termin CHB	15.03.12	15.03.12
Lichtmesse Light&Building Frankfurt	04.06.12	08.06.12
Vorplanung	12.03.12	08.06.12
Ist-Analyse TQ Container	12.03.12	16.03.12
Auswertung Ist-Analyse	14.03.12	23.03.12
PET-Flaschen Versuche	04.05.12	08.06.12
Entwurfsplanung	10.07.12	09.08.12
Termin FB	12.07.12	12.07.12
Messungen Himmelszustände	10.07.12	13.07.12
Termin FB	09.08.12	09.08.12
Termin CHB	07.08.12	07.08.12
Ausführungsplanung	06.08.12	17.09.12
Versuchsaufbau PET-Flaschen	17.09.12	17.09.12
Messungen PET-Flaschen	06.08.12	10.08.12
Auswertung Ergebnisse	13.08.12	20.08.12
Präsentationsvorbereitung	16.03.12	24.10.12
Dokumentation	16.03.12	14.09.12
Termin FB	20.09.12	20.09.12
Pflichttermin RG	21.09.12	21.09.12
Korrektur Text	17.09.12	24.09.12
Layout	24.09.12	24.09.12
Druck	24.09.12	25.09.12
Buchbindung	25.09.12	27.09.12
Abgabe Masterarbeit	28.09.12	28.09.12
Modellbau Präsentationsmodell	17.09.12	24.10.12
Präsentation	24.10.12	24.10.12
Umsetzung	02.07.12	31.12.12
Standortsuche Container	02.07.12	01.10.12
Kontaktaufnahme Living Dome	03.09.12	03.09.12
Umbau Container	01.10.12	31.12.12

Projektmanagement

23.09.2012

Gantt-Diagramm

4

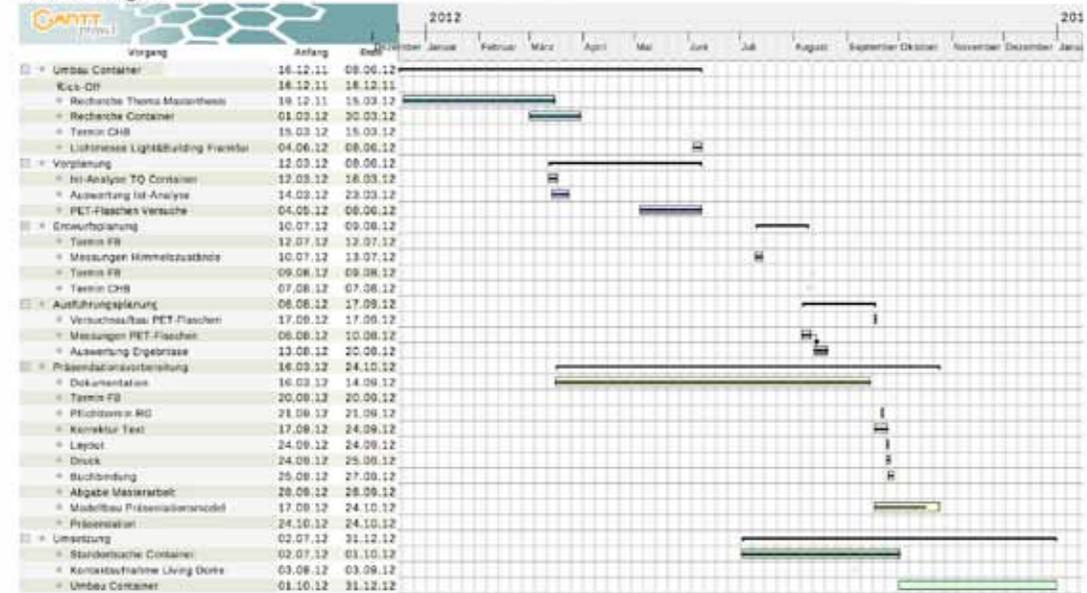


Abb. 106+107
Projektplanung

20-Fuß-Container	1 Stk.		2'000 €
Transportkosten	CN-CH		1'000 €
			3'000 €
1 Arbeitsstunde pro Solarbulb	50 Stk.	40€/h	2'000 €
Wasser	100 l		1 €
Bleichmittel	10 l		20 €
Abdeckelement	50 Stk.	5 €	300 €
Dichtungskleber	5 kg		50 €
Schleifpapier			10 €
			2'381 €
LED Samsung 3535 3V	50 Stk.	5 €	250 €
Linse 54° Ledil TINA-W	50 Stk.	2 €	100 €
Kühlkörper	50 Stk.	5 €	250 €
Konstantstromquelle 30V	5 Stk.	30 €	150 €
Div. Kleinmaterial			200 €
			950 €
Photovoltaikanlage	1 Stk.	1'000 €	1'000 €
Akku	3 Stk.	250 €	750 €
Spannungswandler	1 Stk.	300 €	300 €
			2'050 €
Total			8'381 €

Abb. 108
Kostenberechnung

12. Kosten

Die Kosten sind in vier Abschnitte unterteilt, je nach Ausgangslage, gewünschter Anforderung und Budget.

Um einen Frachtcontainer nutzen zu können, braucht man erstmals einen. Darum beginnt hier meine Kostenrechnung. Für 3000 Euro bekommt man einen gegen Witterungseinflüsse geschützten Raum. Damit im Innern auch bei bedecktem Himmel und geschlossenen Türen, ein mittlerer Beleuchtungswert von 300 Lux erreicht wird, benötigt man rund 50 Solarbulbs 2.0 in der Decke.

Die eigentlichen Kosten für eine Solarbulb sind gering. PET-Flaschen als Ausgangsprodukte sind zu Genüge vorhanden. Die effektiven Kosten fallen für Abdichtungsmaterial, und die Arbeitszeit des Menschen an, der sie herstellt.

Möchte man den Container-Innenraum auch nachts für Tätigkeiten nutzen, so benötigt jede Flasche ein LED-Modul.

Um den Container autark und CO₂-neutral zu betreiben, kann man die LED-Beleuchtung mit einer Photovoltaik-Anlage speisen.

13. Fazit

Ein Beleuchtungskonzept für den Innenraum eines Frachtcontainers zu entwerfen, von dem aufgrund der manigfaltigen Möglichkeiten ihn umzunutzen, weder der zukünftige Standort, minder die neue Nutzung bekannt ist. Dies war die Ausgangslage.

Damit das Konzept für Zwischennutzungen attraktiv wird, habe ich eine Lichtlösung angestrebt welche aus einfach zugänglichen Materialien besteht und unkompliziert umsetzbar ist.

Aus einem Frachtcontainer und Cola-Flaschen, zwei Produkte der Globalisierung, entsteht in Kombination mit Wasser und Tageslicht ein beleuchteter Nutz- und Schutzraum.

Der Innenraum wird mit der Solarbulb 2.0 realisiert. Diese Beleuchtungsart ist bei Tage kostenlos und CO2 Neutral.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass

die ursprüngliche Solarbulb eine grosartige Innovation ist.

Aber durch ihre Optik bedingt kommt es besonders bei tiefen Sonnenständen zur Blendung durch direkte Sonnen Ein-sicht., was eine physiologische Störung darstellt.

Reduce to the max.

Meine Version der Tageslichtleuchte Solarbulb – Solarbulb 2.0 bringt besonders bei tiefen Sonnenständen mehr Licht auf die Horizontale Nutzebene und ist dadurch wesentlich ausgeblendeter.

Die Herstellung für den Upgrade benötigt weniger Wasser und ein paar Arbeitsschritte mehr, Anschleifen des Flaschenbodens unten und außen am Flaschenhals.

Aufgrund das sie Solarbulb 2.0 mit dem veränderten Füllstand ein liquides opti-

sche System darstellt, bedingt sie, dass der Wasserspiegel horizontal bündig mit der Decke eingebaut werden kann. Dies ist bei Fracht-Containern gegeben.

Der von mir durchgerechnete Fall geht von einer Nutzung bei bedecktem Himmel und geschlossenen Türen aus. Um bei diesem Zustand die angestrebten 300 Lux im Innern eines 20-Fuß-Containers zu erreichen sind rund 50 Solarbulbs 2.0 notwendig.

Würde man die Nutzung für einen Sonnentag auslegen, so wären dafür noch rund 16 Solarbulbs 2.0 nötig um etwa das gleiche Beleuchtungsniveau zu erreichen.

Für die Nutzung des Containers bei Nacht wurde die Solarbulb 2.0 einem LED-Modul mit 2700 Kelvin Farbtemperatur ausgestattet. Diese werden über eine Photovoltaik-Anlage CO2-neutral mit Strom versorgt.

Um die Anzahl benötigter Solarbulbs bei bedecktem Himmel zu reduzieren, könnte man zukünftig im LED-Modul eine LED mit entsprechender Leistung und einstellbarer Farbtemperatur "tunable white" einbauen. Damit könnte man die Kunstlicht-Beleuchtung auch am Tag mit der entsprechenden Tageszeit bedingten Farbtemperatur dazu schalten und damit das von der Norm geforderte Beleuchtungsniveau zu erreichen.

Mir ist bewusst, dass bei Nutzungen in ärmeren Gebieten die Erfüllung einer Norm nicht Vordergründig sind. Erstmals geht es um ein viel grundlegenderes Bedürfnis, überhaupt Licht in einem Raum zu haben. Das Licht einer einzelnen Solarbulb reicht bereits aus, um in einem zuvor dunkeln Raum, lesen und schreiben zu können.

14. Glossar

Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke (Kurzzeichen: E, Maßeinheit: Lux) definiert, wie viel Licht – lichttechnisch genauer wie viel Lichtstrom (in Lumen) – auf eine bestimmte Fläche fällt: Sie beträgt ein Lux, wenn der Lichtstrom von einem Lumen einen Quadratmeter Fläche gleichmäßig ausleuchtet. Ein Beispiel: Eine normale Kerzenflamme hat im Abstand von einem Meter ungefähr ein Lux Beleuchtungsstärke. Die Beleuchtungsstärke wird mit einem Luxmeter auf horizontalen und vertikalen Flächen gemessen. Sie beschreibt allerdings nicht präzise den Helligkeitseindruck eines Raumes, da dieser wesentlich von den Reflexionseigenschaften der Raumflächen abhängt. So erscheint ein weißer Raum bei gleicher Beleuchtungsstärke heller als ein dunkler. Weil die Lichtverteilung einer normalen

Beleuchtung nicht absolut gleichmäßig ist, geben Normen in der Regel die mittlere Beleuchtungsstärke an. Sie berücksichtigt die Ungleichmäßigkeiten rechnerisch: Die mittlere Beleuchtungsstärke ist das gewichtete arithmetische Mittel aller Beleuchtungsstärken im Raum.

Blendung

Blendung kann das Sehen erheblich erschweren: Sie vermindert die Sehleistung (physiologische Blendung) und den Sehkomfort (psychologische Blendung). Zu unterscheiden sind direkte und indirekte Blendung: Direktblendung geht von Leuchten oder anderen Flächen mit zu hoher Leuchtdichte aus, wie zum Beispiel Fenstern. Reflexblendung wirkt indirekt, erzeugt von Reflexen durch Spiegelung auf glänzenden Oberflächen.

Zur Blendungsbegrenzung wird die Blendquelle abgeschirmt.

Circadianer Rhythmus

Licht hat eine chronobiologische Wirkung auf den menschlichen Rhythmus. So startet zum Beispiel ein spezieller Empfänger in der Netzhaut des Auges das Schlafhormon Melatonin. Licht beeinflusst und synchronisiert die „innere Uhr“ des Menschen, den circadianen Rhythmus. Er wird durch den Wechsel von Tag und Nacht sowie durch die Jahreszeiten gesteuert und regelt aktive und passive Phasen.

Die „innere Uhr“ des Menschen ist auf einen periodischen Tagesrhythmus von etwa 24 Stunden eingestellt kann aber durch die Zugabe von Licht verändert werden. Insbesondere Licht kürzerer

Wellenlängen, das von den lichtempfindlichen Ganglienzellen in der Netzhaut des Auges aufgenommen wird, wirkt sich auf den aktuellen Aktivitätszustand und den circadianen Rhythmus aus.

DIN

Deutsches Institut für Normung

DIN 5035

Vor Einführung der europäischen Normen (EN), die in der gesamten Europäischen Union gelten, war DIN 5035 „Beleuchtung mit künstlichem Licht“ die zentrale nationale Beleuchtungsnorm. Von den acht Teilen dieser Norm gelten einige unverändert oder in überarbeiteter Form weiter. Dazu die Übersicht:

DIN 5035

Beleuchtung mit künstlichem Licht

DIN EN 12464

„Licht und Beleuchtung, Teil 1: Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen“

(kurz: DIN EN 12464-1) ersetzt als europäische Beleuchtungsnorm seit März 2003 wesentliche Teile der nationalen DIN 5035. DIN EN 12464-2 Licht und Beleuchtung.

Direkte Beleuchtung

Direkt ist die Beleuchtung, wenn Leuchten ihr Licht direkt in den Raum und auf die Nutzebenen oder auf Plätze lenken, wo Licht gebraucht wird.

Farbtemperatur

Die Lichtfarbe einer Lampe wird beschrieben durch die Farbtemperatur in Kelvin (K). Die gebräuchlichen Lampen haben Farbtemperaturen in den Größenordnungen von unter 3.300 Kelvin (Warmweiß), 3.300 bis 5.300 Kelvin (Neutralweiß) bis über 5.300 Kelvin (Tageslichtweiß).

Die Farbtemperatur der Farbe einer Lichtquelle wird durch den Vergleich mit der Farbe eines „Schwarzen Strahlers“ bestimmt. Dieser ist ein „idealisiert“

Körper, zum Beispiel aus Platin, der alles auf ihn fallende Licht schluckt, dessen Reflexionsstrahlung somit gleich Null ist. Wenn ein „Schwarzer Strahler“ langsam erhitzt wird, durchläuft er eine Farbskala von Dunkelrot, Rot, Orange, Gelb, Weiß bis zum Hellblau. Je höher die Temperatur ist, desto weißer wird die Farbe. Die Temperatur des „Scharzen Strahlers“, bei der mit der zu bestimmenden Lichtquelle Farbgleichheit besteht, ist die ähnlichste Farbtemperatur der Lampe.

Farbwiedergabe

Die Farbwiedergabe einer Lampe kennzeichnet die farbliche Wirkung, die ihr Licht auf farbigen Gegenständen oder Personen hervorruft. Sie wird mit dem allgemeinen Farbwiedergabe-Index Ra bewertet. Er gibt an, wie natürlich Farben im Licht einer Lampe wiedergegeben werden.

Der Farbwiedergabe-Index ist von acht häufig vorkommenden Testfarben abgeleitet. Ra = 100 steht für den

besten Wert; je niedriger der Index, umso schlechter sind die Farbwiedergabeeigenschaften. Lampen mit einem Ra-Index kleiner als 80 sollten in Innenräumen, in denen Menschen für längere Zeit arbeiten oder sich aufhalten, nicht verwendet werden.

Sonnenlicht hat $R_a = 100$

Gleichmäßige Beleuchtung

Um die Sehaufgabe erbringen zu können, ist außer dem notwendigen Beleuchtungsniveau in vielen Fällen die gleichmäßige Verteilung der Helligkeit wichtig: auf einigen Straßen die Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte, bei allen anderen Anwendungen eine gleichmäßige Beleuchtungsstärke.

ISO

Die Internationale Organisation für Normung

ISO-Container

Das sind weltweit nach ISO 668 genorm-

te Großraumbehälter mit denen das Verladen, Befördern, Lagern und Entladen von Gütern vereinfacht und beschleunigt wird.

LEDs

LEDs oder Leuchtdioden – das Kürzel steht für Licht Emittierende Dioden bzw. Light Emitting Diodes – sind elektronische Halbleiter-Bauelemente, die unter Spannung Licht in den Farben Rot, Grün, Gelb oder Blau abgeben. Mit Hilfe einer zusätzlichen internen Leuchtschicht können blau leuchtende LEDs auch weißes Licht erzeugen. Weißlicht lässt sich außerdem durch Farbmischung erzeugen. Die Vorteile der LEDs sind hohe Lebensdauer, Wartungsfreiheit, IR/UV-Freiheit des Lichts, geringer Energieverbrauch, Farbstabilität und Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen. LEDs gibt es in unterschiedlichen Bauformen.

LEDs wurden zunächst vor allem für Orientierungsleuchten verwendet. Schon bald erzeugten sie zudem in der Außen-

und in der Innenbeleuchtung farbdynamisches Licht nach dem Prinzip der RGB-Farbmischung. Inzwischen ist die LED in fast allen Lichtanwendungen zu finden, auch in der Allgemeinbeleuchtung.

LEDs werden mit Niederspannung betrieben. In der Regel bilden mehrere Dioden ein Modul.

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte (Kurzzeichen: L) ist das Maß für den Helligkeitseindruck, den das Auge von einer leuchtenden oder beleuchteten Fläche hat. Gemessen wird die Leuchtdichte in Candela pro Flächeneinheit (cd/m^2), bei Lampen meist in cd/cm^2 .

Die Leuchtdichte beschreibt die physiologische Wirkung des Lichts auf das Auge und wird in der Außenbeleuchtung als Planungsgröße verwendet.

Licht

Als Licht wird die vom menschlichen Auge wahrnehmbare sichtbare Strah-

lung bezeichnet. Dabei handelt es sich um einen kleinen Ausschnitt des elektromagnetischen Strahlungsspektrums, das neben dem sichtbaren Licht auch die Gamma-, Röntgen, Infrarotstrahlung sowie die UV-Strahlung und die Radiowellen umfasst. Der Spektralbereich des Lichts reicht von 380 bis 780 Nanometer Wellenlänge. Innerhalb dieses Bereiches unterteilt sich das Spektrum in die verschiedenen Farben von Violett über Blau, Grün, Gelb nach Rot. Außerhalb dieses Bereiches kann das menschliche Auge keine Strahlung „sehen“. Einige andere Bereiche des elektromagnetischen Spektrums sind zwar für das Auge nicht sichtbar, werden aber trotzdem wahrgenommen: IR-Strahlung wärmt, UV-A-Strahlung bräunt.

Lichtstärke

Die Lichtstärke (Kurzzeichen: I) ist der Teil des Lichtstroms, der in eine bestimmte Richtung strahlt. Sie wird in Candela (cd)

gemessen.

Die räumliche Verteilung der Lichtstärke (Lichtstärkeverteilung) charakterisiert die Lichtausstrahlung von Leuchten und Reflektorlampen. Die Lichtstärkeverteilung wird grafisch in Form von Kurven dargestellt, den Lichtstärkeverteilungskurven (LVK).

Lichtstärkeverteilung

Die Lichtstärkeverteilung beschreibt die räumliche Verteilung der Lichtstärke. Form und Symmetrie der Lichtstärkeverteilung kennzeichnen tief- und breitstrahlende bzw. symmetrisch und asymmetrisch strahlende Leuchten oder Reflektorlampen.

Zur Darstellung dient die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK): Sie entsteht, wenn die in Polarkoordinaten dargestellten Lichtstärken einer Leuchte oder Reflektorlampe in ihren verschiedenen Ausstrahlungsrichtungen miteinander zu einem Kurvenzug verbunden werden.

Lichtstrom

Der Lichtstrom – gemessen in Lumen (lm) – ist die Lichtleistung einer Lampe. Er beschreibt die von der Lichtquelle in alle Richtungen abgestrahlte Leistung im sichtbaren Bereich.

Sonnenhöhenwinkel

Der Winkel zwischen der Geraden vom Beobachtungspunkt zur Sonne und der Horizontalen ist der Sonnenhöhenwinkel.

TEU

Twenty-foot Equivalent Unit (Abkürzung TEU, deutsch Standardcontainer) ist eine international standardisierte Einheit zur Zählung von ISO-Containern verschiedener Größen und zur Beschreibung der Ladekapazität von Schiffen und des Umschlags von Terminals beim Containertransport. Ein 20-Fuß-ISO-Container ist gleich 1 TEU, ein 40-Fuß-ISO-Container entspricht 2 TEU. Zur Zählung von 40-Fuß-ISO-Containern wird auch die Einheit FEU (Forty-foot Equivalent Unit)

verwendet. 1 FEU entspricht 2 TEU.
Wikipedia, 14.04.12

Totalreflexion

Tritt ein Lichtstrahl aus einem optisch dichteren Medium (z.B. Glas) in ein optisch weniger dichtes Medium (Luft), so tritt er nahezu ungehindert aus, wenn er im rechten Winkel auf die Grenzfläche trifft. Je schräger ein Lichtstrahl auf die Grenzfläche Glas/Luft trifft, umso weniger Licht tritt nach außen und umso mehr Licht wird intern reflektiert. Ab einem kritischen Winkel tritt Totalreflexion auf, d.h. alles Licht wird an der Grenzfläche reflektiert.

Ist das Grundprinzip von Lichtleitern wie Glasfasern oder Lichtrohren

Transmissionsgrad

Verhältnis durchgelassenes Licht zum aufgestrahlten Licht.

UGR

Das Verfahren des „Unified Glare Rating“ (UGR) wurde von der Internationalen Be-

leuchtungskommission CIE (Commission International de l’Eclairage) entwickelt, um die Bewertung der Blendung weltweit zu vereinheitlichen.

Im Gegensatz zu bisherigen Verfahren, bei denen die Blendung durch die Leuchtdichten einer einzelnen Leuchten beurteilt wurde, wird beim UGR-Verfahren die Blendung der gesamten Beleuchtungsanlage für eine definierte Beobachterposition berechnet. DIN EN 12464-1 gibt den UGR-Referenzwert für einen Standardraum an. Moderne Lichtplanungsprogramme ermöglichen eine genaue Berechnung des UGR-Wertes für eine definierte Beobachterposition im Raum.

Je niedriger der UGR-Wert, desto geringer ist die Blendung. Zusätzlich erfolgt die Angabe des Elevationswinkels 65°, 75° oder 85° für Leuchtdichten < 1.000 Candela/Quadratmeter (Verhältnis Lichtstärke/Fläche). Hierbei handelt es sich um den Grenzwinkel, oberhalb dessen die Leuchte rundum eine Leuchtdichte

von 1.000 Candela/Quadratmeter hat.

Transmissionsgrad

Verhältnis durchgelassenes Licht zum aufgestrahlten Licht.

(Quellen licht.de, wikipedia.de 27.09.12)

18. Literaturnachweis (Links erneut geprüft am 27.09.2012)

- 1 Naber, Gerd: Containerhandbuch; Band I. 2012, GDV
- 2 Hausladen, Gerhard; de Saldanha, Michael; Liedl, Petra: KlimaSkin – Konzepte für Gebäudehüllen, die mit wenig Energie mehr leisten; 2006, Callwey Verlag; S. 67
- 3 Rosenberg Tina: Innovations in light, The New York Times
<http://opinionator.blogs.nytimes.com/2012/02/02/innovations-in-light/>
- 4 F. Voegeli: Schweizer erhellen Slums von Bogotá, 20 Minuten
<http://www.20min.ch/wissen/news/story/19545624>
- 5 vgl. Bartenbach, Christian: Bauen mit Tageslicht – Bauen mit Kunstlicht; Braunschweig / Wiesbaden, 1998, Der Verlag Vieweg; S. 136

19. Bildquellen

(Links erneut geprüft am 27.09.2012)

- Abb. 1 <http://www.gnsstracking.eu/en/mentore-trials/>
2-4 <http://www.havenopleidingen.nl/page/havenwerk-container>
5 <http://www.freitag.ch/media/stores/zurich> by Roland Tännler
6 http://www.thepolisblog.org/2011_08_01_archive.html
7 google sketch up by Mathias Stich
8, 9 <http://www.residentialshippingcontainerprimer.com/Shipping%20Container%20Models%20and%20Drawings>
10 <http://www.prweb.com/releases/2012/containersfirst/prweb9787818.htm>
11-12 Fotos by Mathias Stich
13 TQ Verlauf Mathias Stich
14 <http://www.jedinstvo.com/de/container/wohncontainer/>
15 <http://glamox.com/de/products/>
16 <http://glamox.com/de/products/>
17 <http://www.containerking.co.uk/buy-cabins/index.php?cPath=23>
18 <http://www.jedinstvo.com/de/container/wohncontainer/>
19 <http://www.supercubes.com/blog/category/hunting/>
20 <http://isanglitrongliwanag.org/giftoflight/give.php?imageid=19>
21 <http://isanglitrongliwanag.org/gallery/cebu-welcomes-isang-litrong-liwanag-2/>
22 <http://isanglitrongliwanag.org/gallery/1st-first-step-of-building-a-solar-bulb-city-make-an-office-2/>
23 <http://isanglitrongliwanag.org/>
24 <http://isanglitrongliwanag.org/>
25-33 <http://isanglitrongliwanag.org/gallery/how-to-build-a-solar-bottle-bulb-2/>
34-95 Fotos und Grafiken by Mathias Stich
96- <http://afritekt.wordpress.com/2012/01/13/a-liter-of-light-too-good-for-only-slums/>
97 Unterlagen Bartenbach
97-99 Dialux Auswertungen Mathias Stich
100 qLumedit Mathias Stich
101-104 Fotos by Mathias Stich
105 www.deixis.ch Matthias Pfäffli
106-107 www.ganttproject.biz Mathias Stich
108 Berechnungen Mathias Stich
109 <http://www.meretmarine.com/fr/dossier/ap-moller-maersk?page=2>

20. Danksagung

Prof. Dr. h.c. Ing. Christian Bartenbach

Frank Bunte MAS

Ing. Robert Gratzel MAS

Thomas Fiedrich

Mahmoud Abdelraouf

Guido und Silvia Stich-Probst

Marisa, Nima und Giula Gentinetta

Ralf Neubauer

Dr. Jakub Samochowiec

Brigitte Fässler BA

Klaus Bernhard BA

Roman Bichsel

Matthias Pfäffli

Roman Bichsel

Carol Burri

Alfredo Moser

Mag. Julia Rinderer

Fässler & Horst

Dock5

Liter of Light Switzerland

Living Dome / Frame



Abb. 109 Containerschiff Eugen Maersk

21. Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Mathias Stich
Geburtsdatum	15. Februar 1980
Adresse	Hammerstrasse 151 CH-4057 Basel
Telefon	+41 (0)79 663 60 49
E-Mail	mathias.stich@neuerordner.ch
Homepages	www.neuerordner.ch www.itsalwaysnight.com
Nationalität	Schweizer
Heimatort	Kleinlützel, CH
Zivilstand	ledig
Sprachen	Deutsch, Englisch, Französisch
Fahrausweis	Kategorie B
Jugendarbeit	J & S Leiter, LS 1+2

Ausbildung

2010-2012	Lichtakademie Bartenbach, Universität Innsbruck, AUT
2007-2010	Institut HyperWerk, HGK FHNW Basel, CH

2000	Rekrutenschule, Uem Sdt/Kdo Pz Fhr, Bière, CH
1996-2000	Berufslehre Elektroniker, Novartis Services AG, Basel, CH
1992-1996	Bezirksschule Bättwil, CH
1987-1992	Primarschule Metzleren, CH

Abschlüsse

2012	Master of Light and Lighting (MLL)
2010	Bachelor of Arts in Postindustrial Design (BA)
2000	Elektroniker mit technischer Berufsmaturität

Berufserfahrung

2006-Heute	Selbstständig Erwerbender Fotograf Lichtgestalter Mietstudio und Verleih von Fotolicht-Equipment Workshopleitung über Digitalfotografie und Beleuchtungstechnik
2006	Assistenz bei Klaus Tiedge, Fotograf, Kapstadt, SA
2004-2005	Praktikum bei Christoph Läser, Modedefotograf, Basel, CH
2003-2004	Assistent Service Manager, Bron Elektronik, Allschwil, CH
2001-2003	Service Techniker, Bron Elektronik, Allschwil, CH
2001	Elektroniker bei Sauter AG, Basel, CH