

**LICHTTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN
EINER BILDWAND
FÜR DIE RÜCKPROJEKTION**

**Diplom-Abschlussarbeit
im Institut für Medien- und Phototechnik
an der Fachhochschule Köln**

**Autor
Jochen Schädlich
aus Jülich
Mat.-Nr. 11028204**

**Referent: Prof. Dr. C. Blendl, FH Köln
Korreferent: Prof. Dr. K. Ruelberg, FH Köln**

Köln, im November 2004

PHOTOMETRIC PROPERTIES
OF A
BACK PROJECTION SCREEN

Diploma Thesis
at the Institute of Media and Phototechnology
University of Applied Sciences Cologne

Author
Jochen Schädlich
Jülich
Mat.-Number 11028204

First Reviewer: Prof. Dr. C. Blendl, University of Applied Sciences Cologne
Second Reviewer: Prof. Dr. K. Ruelberg, University of Applied Sciences Cologne

Cologne, November 2004

Titel: **Lichttechnische Eigenschaften einer Bildwand für die Rückprojektion**

Autor: Jochen Schädlich

Referenten: Prof. Dr. C. Blendl / Prof. Dr. K. Ruelberg

Zusammenfassung:

In der Diplomarbeit wurden die lichttechnischen Eigenschaften einer Bildwand für die Rückprojektion untersucht. Die Projektion erfolgte mit einem Beamer. Die Bildwand bestand aus einer Streuscheibe und einer Fresnellinse. Die horizontale und vertikale Abstrahlcharakteristik, der Transmissionsgrad und die maximal mögliche Leuchtdichtemodulation wurden bestimmt. Die Abstrahleigenschaften der Streuscheibe und ihr Reflexionsgrad wurden gemessen. Dies ermöglicht den Einfluss von Streulicht abzuschätzen. Mit Hilfe eines Spaltes und eines selbst erstellten Computerprogramms wurde die Modulationsübertragungsfunktion in horizontaler und vertikaler Ausrichtung berechnet. Abschließend werden die Grundprinzipien für den Aufbau einer Rückprojektionseinrichtung diskutiert.

Stichwörter: Rückprojektion, Bildwand, Fresnellinse, Beamer, Modulationsübertragungsfunktion

Sperrvermerk: Die Einsicht in die vorgelegte Arbeit ist bis zum 23.11.2006 gesperrt.

Datum: 23.11.2004

Title: **Photometric Properties of a Back Projection Screen**

Author: Jochen Schädlich

Reviewers: Prof. Dr. C. Blendl / Prof. Dr. K. Ruelberg

Abstract:

The photometric properties of a back projection screen were examined in the diploma thesis. A beamer was used for projection purposes. The projection screen is composed of a diffusion screen and a fresnel lens. The characteristics of horizontal and vertical emission, the transmission factor and the best achievable modulation of luminance has been determined. The properties of emission and the reflectance of the diffusion screen has been measured to estimate the possible influence of scattered light. The modulation transfer function has been measured by means of a slit and has been calculated by a self-written computer program. Finally the general principles are discussed in order to design a back projection device.

Key words: Back Projection, Projection Screen, Fresnel Lens, Beamer, Modulation Transfer Function

Remark of closure: The thesis is closed until 2006.11.23.

Datum: 23.11.2004

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1 Einführung / Problemstellung | 6 |
| 1.1 Vergleich Auf- / Rückprojektion | 7 |
| 1.2 Anforderungen an eine Bildwand für die Rückprojektion | 7 |
| 2 Übersicht über Formelzeichen, Abkürzungen und Symbole | 9 |
| 2.1 Formelzeichen..... | 9 |
| 2.1.1 Lateinische Buchstaben | 9 |
| 2.1.2 Griechische Buchstaben | 10 |
| 2.2 Abkürzungen | 10 |
| 3 Material und Methoden | 11 |
| 3.1 Messung der Abstrahlcharakteristik der Bildwand in Transmission | 11 |
| 3.1.1 Messaufbau | 11 |
| 3.1.2 Durchführung der Messung..... | 13 |
| 3.2 Transmissionsmessung | 15 |
| 3.2.1 Messaufbau | 15 |
| 3.2.2 Vorbereitung der Messung | 15 |
| 3.2.3 Durchführung der Messung..... | 16 |
| 3.3 Messung der Modulation | 17 |
| 3.3.1 Messaufbau | 17 |
| 3.3.2 Durchführung der Messung..... | 17 |
| 3.4 Messung der Abstrahlcharakteristik der Bildwand in Reflexion | 18 |
| 3.4.1 Messaufbau | 18 |
| 3.4.2 Durchführung der Messung..... | 18 |
| 3.5 Reflexionsmessung | 19 |
| 3.5.1 Messaufbau | 19 |
| 3.5.2 Vorbereitung der Messung | 19 |
| 3.5.3 Durchführung der Messung..... | 20 |
| 3.6 Bestimmung der MTF der Bildwand | 21 |
| 3.6.1 Messaufbau | 21 |
| 3.6.2 Vorbereitung der Messung | 22 |
| 3.6.3 Durchführung der Messung..... | 23 |
| 4 Ergebnisse | 24 |
| 4.1 Abstrahlcharakteristik in Transmission..... | 24 |
| 4.2 Transmissionsgrad | 25 |
| 4.3 Modulation | 26 |
| 4.4 Abstrahlcharakteristik in Reflexion..... | 27 |
| 4.5 Reflexionsgrad | 28 |
| 4.6 MTF der Bildwand | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 5 Diskussion | 31 |
| 5.1 Abstrahlcharakteristik in Transmission..... | 31 |
| 5.2 Transmissionsgrad..... | 31 |
| 5.3 Modulation..... | 32 |
| 5.4 Abstrahlcharakteristik in Reflexion..... | 32 |
| 5.5 Reflexionsgrad..... | 33 |
| 5.6 MTF der Bildwand..... | 33 |
| 5.7 Aufbau einer Projektion..... | 35 |
| 5.7.1 <i>Das entspannte Sehen</i> | 35 |
| 5.7.2 <i>Zweck der Projektion</i> | 36 |
| 6 Zusammenfassung | 40 |
| 7 Anhang | 42 |
| 7.1 Testbilder..... | 42 |
| 7.2 Tabellen der Messwerte..... | 45 |
| 7.2.1 <i>Abstrahlcharakteristik in Transmission</i> | 45 |
| 7.2.2 <i>Messung der Transmission</i> | 46 |
| 7.2.3 <i>Modulation</i> | 50 |
| 7.2.4 <i>Abstrahlcharakteristik in Reflexion</i> | 52 |
| 7.2.5 <i>Messung der Reflexion</i> | 52 |
| 7.2.6 <i>Messung der MTF</i> | 54 |
| 7.3 Herleitung der allgemeinen Formel für die Reflexion..... | 59 |
| 7.4 Programmcode des MTF-Auswerteprogramms..... | 61 |
| 7.5 Literaturverzeichnis..... | 71 |
| 7.6 Eidesstattliche Erklärung..... | 72 |
| 7.7 Sperrvermerk..... | 72 |
| 7.8 Weitergabeerklärung..... | 72 |

1 Einführung / Problemstellung

Der Beamer wird überall dort, wo einer überschaubaren Menge von Menschen etwas präsentiert werden soll - also in Besprechungsräumen, auf Messen und in Schulen – verwendet. Er übernimmt dabei nicht nur die Rolle des Filmprojektors, um bewegte Bilder zu präsentieren, sondern im Bereich des stehenden Bildes übernimmt er die Funktion des Diaprojektors. Er wird als Ersatz für den Overhead-Projektor benutzt, wenn es um die Präsentation von Vorträgen oder von Unterrichtsstoff geht. Aber auch im Wohnzimmer gewinnt er zunehmend an Bedeutung. Für das private Heimkino, die Spielekonsole und als privater Arbeitsplatz werden neben Flachbildschirmen mit großer Diagonale zunehmend Beamer eingesetzt. In Schaltzentralen von Kabelfirmen, Überwachungsinstituten und Kraftwerken werden nach und nach die großen, analogen Schalttafeln durch Projektionssysteme ersetzt, die sich über eine Software viel leichter umstrukturieren lassen. Somit wird der Beamer zum zentralen Projektionsgerät im Bereich von stehendem oder bewegtem Bild und hat die Funktion mehrerer Geräte übernommen oder sie sogar komplett ersetzt.

Doch viele der Präsentationen finden in Räumen durch eine Aufprojektion statt. Um die Bildqualität auf der Leinwand zu verbessern, müssen nicht nur die Räume abgedunkelt werden, sondern auch andere technische Parameter, wie die Ausrichtung des Beamers zur Leinwand, der möglichst ungehindert optische Projektionsstrahlengang oder die Reflexionseigenschaften der Bildwand, müssen beachtet werden.

In dieser Diplomarbeit geht es nun darum, den Beamer nicht in Aufprojektion sondern hinter einer Bildwand in Rückprojektion zu verwenden. Im Rahmen der Diplomarbeit sollen die technischen Anforderungen, die dabei an die Bildwand zu richten sind, untersucht und damit die Eigenschaften der vorhandenen Bildwand, bestehend aus einer Streuscheibe und einer Fresnellinse, bestimmt werden.

1.1 Vergleich Auf- / Rückprojektion

Die **Vorteile** einer Rückprojektion gegenüber einer Aufprojektion sind:

- Der separate Strahlengang. Das bedeutet, der Betrachter befindet sich nicht im zur Bilderzeugung benötigten Strahlengang, da sich der Strahlengang hinter der Bildwand befindet.
- Die relative Unabhängigkeit vom Umgebungslicht, da die zum Betrachter zeigende Bildwandfläche als reflektionsarme Fläche konstruiert werden kann.
- Die größere Leuchtdichte der Rückprojektion. Rückprojektionen können schon bei normalem Tageslicht betrachtet werden.
- Keine Hell-Dunkel Adaptation des Auges. Durch die Rückprojektion bei Tageslicht, muss sich das Auge nicht erst an die Dunkelheit bei Aufprojektion gewöhnen.

Doch durch die Rückprojektion ergeben sich folgende **Nachteile**:

- Eine große Bautiefe. Durch den separaten Strahlengang wird die Bautiefe größer, da sich der Beamer in genügend großem Abstand hinter der Wand befinden muss, um ein geometrisch verzerrungsfreies Bild zu projizieren. Eine mögliche Lösung zur Reduzierung der Bautiefe bietet ein gefalteter Strahlengang, bei dem das Licht über Spiegel umgelenkt wird.
- Die geringere Lichtausbeute, da das Licht die Bildwand komplett durchdringen muss.

Die Betrachtung führt zu der anschließenden Überlegung, welche Ansprüche an eine Bildwand zu stellen sind, um die Nachteile gegenüber einer Aufprojektion zu verringern.

1.2 Anforderungen an eine Bildwand für die Rückprojektion

Die Anforderungen lassen sich grundsätzlich in zwei große Bereiche unterteilen: In die lichttechnischen und die mechanischen Anforderungen.

Zu den **lichttechnischen Anforderungen** gehören: [1, Seite 185]

- Hohes Transmissionsvermögen und dadurch ein hoher Wirkungsgrad bei niedriger Lampenleistung.

- Großer Halbwertswinkel. Dieser ist besonders wichtig beim Einsatz von Bildwänden in Räumen, in denen die komplette Vorführbreite genutzt werden soll.
- Nahtlose Oberfläche. Dies gilt besonders für große Wände. Mögliche Nähte dürfen sich nicht störend als helle oder dunkle Streifen bemerkbar machen.

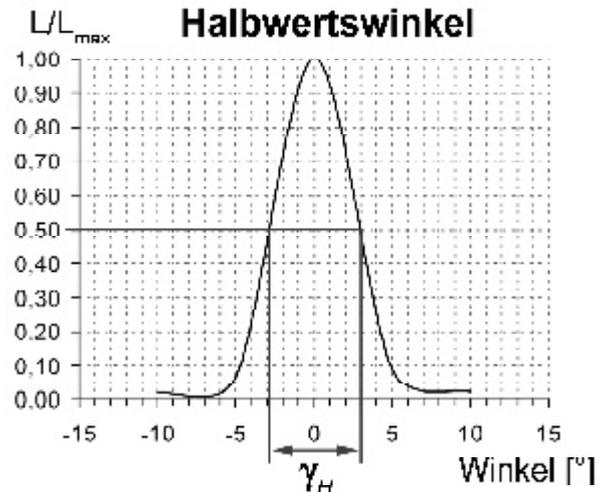


Bild 1.2.1 - Halbwertswinkel

- Gute Farbwiedergabe. Es darf kein Umsetzen der Farbwerte des projizierten Bildes durch selektive Transmission an der Bildwand eintreten.
- Reflexionsarm an den Oberflächen, damit der Lichtverlust des Projektionslichts gering gehalten wird und viel Licht zum Betrachter durchgelassen wird.
- Gute Modulationsübertragung. Das System Bildwand und seine Modulationsübertragungsfunktion sollte die örtliche Auflösung des Bildes nicht weiter reduzieren.
- Geringes Eigenrauschen. Das Eigenrauschen der Bildwand, erzeugt durch eine Körnung der Bildwand, sollte sich gerade in dunklen Bereichen nicht stark bemerkbar machen. Dadurch wird der Bildeindruck weiter verschlechtert.

Außerdem werden folgende **mechanische Anforderungen** an die Bildwand gestellt:

- Hohe Feuersicherheit
- Hohe Reißfestigkeit
- Hohe Lebensdauer
- Gute Reinigungsmöglichkeit

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden nur die lichttechnischen Anforderungen untersucht.

2 Übersicht über Formelzeichen, Abkürzungen und Symbole

2.1 Formelzeichen

2.1.1 Lateinische Buchstaben

| | |
|---------------|---|
| a | Gegenstandsweite (bezogen auf die Fresnellinse) |
| a' | Bildweite (bezogen auf die Fresnellinse) |
| AV_{vis} | Auflösungsvermögen des visuellen Systems |
| AV_{Beamer} | Auflösungsvermögen des Beamers |
| b_B | Breite des projizierten Bildes |
| b_M | Breite der Bild-Matrix |
| d | Spaltbreite |
| d_{Punkte} | Mindestabstand zweier Punkte |
| d_{Pixel} | Mindestabstand zweier Pixel |
| e_{opt} | optimale Sehentfernung |
| e_{∞} | entspannte Sehentfernung |
| E | Beleuchtungsstärke |
| f | Brennweite der Fresnellinse |
| f_{Auge} | Brennweite des Auges |
| h_B | Höhe des projizierten Bildes |
| I | Lichtstärke |
| I_0 | maximale Lichtstärke |
| k | Blende |
| L | Leuchtdichte der Bildwand |
| L_0 | Leuchtdichte in Hauptabstrahlrichtung |
| L_{max} | maximale Leuchtdichte |
| L_{min} | minimale Leuchtdichte |
| m | maximal mögliche Leuchtdichtemodulation |
| n | Exponent |
| r | Rasterweite |
| R | Ortsfrequenz auf der Bildwand |
| T | Farbtemperatur |

2.1.2 Griechische Buchstaben

| | |
|-------------------|---|
| a | horizontaler Sehwinkel |
| b | Abbildungsmaßstab |
| g_H | Halbwertswinkel |
| d | horizontaler Blickrichtungswinkel |
| d_{\max} | größter horizontaler Blickrichtungswinkel |
| e | vertikaler Blickrichtungswinkel |
| f_0 | einfallender Lichtstrom |
| f_R | reflektierter Lichtstrom |
| j | Reflexionswinkel |
| r | Reflexionsgrad |
| s | Öffnungswinkel des Beamers |
| s_{Auge} | Betrachtungswinkel |
| t | Transmissionsgrad |
| w | Raumwinkel |
| Ω_0 | Einheitsraumwinkel |

2.2 Abkürzungen

| | |
|-----|--|
| CCD | <i>Charge Coupled Device</i> (ein lichtempfindliches, ladungsgekoppeltes Bauteil) |
| DIN | Deutsches Institut für Normung e.V. |
| LCD | <i>Liquid Crystal Display</i> (deutsche Bezeichnung: Flüssigkristallbildschirm) |
| MTF | <i>Modulation Transfer Function</i> (deutsche Bezeichnung: Modulationsübertragungsfunktion) |
| TFT | <i>Thin Film Transistor</i> (deutsche Bezeichnung: Dünnschichttransistor) |
| XGA | <i>Extended Graphics Array</i> (Bildschirmauflösung: 1024×768 <i>Pixel</i>) |

3 Material und Methoden

3.1 Messung der Abstrahlcharakteristik der Bildwand in Transmission

3.1.1 Messaufbau

Der Aufbau der Projektion sieht folgendermaßen aus:

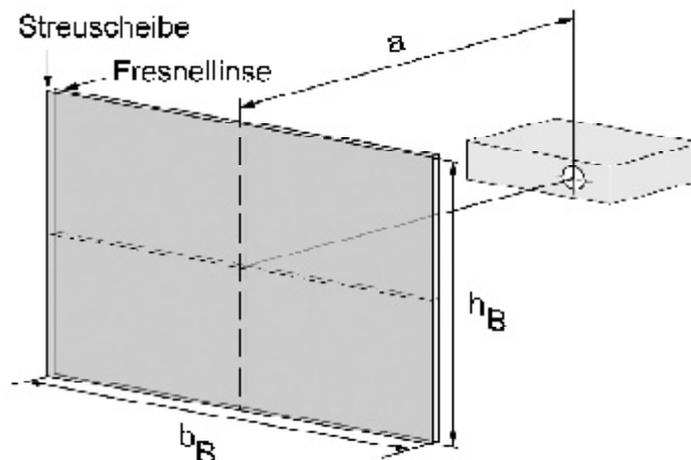


Bild 3.1.1 - Allgemeiner Projektionsaufbau

Die Projektionswand muss frei im Raum hängen, damit das Bild von hinten gegen die Wand projiziert und von vorne gemessen werden kann. Daher wurde sie in einem handelsüblichen, verwindungssteifen Bildrahmen gerahmt. Dieser Rahmen wurde an einem Gerüst, bestehend aus 2 Stativen und einem oberen Querbalken, aufgehängt. Am unteren Ende wurde der Rahmen mit Schnur an den Stativbeinen fixiert. Diese Konstruktion wurde in einer Dunkelkammer aufgebaut, um die Einflüsse von Streulicht aus den Messungen auszuschließen.

Beamereinstellung:

Am verwendeten Beamer NEC Projector VT 45 wurden folgende Einstellungen gewählt. [2]

Quellenauswahl: RGB

Bildeinstellungen: Helligkeit = 0

Kontrast = 0

Bildoptionen: Trapez = 0

Lampenbetriebsart = Normal

Farbmanagement: Gamma-Korrektur = Grafik

Farbkorrektur = sRGB

Weißabgleich (Alle Regler auf 0)

Aus diesen Angaben ergibt sich durch Messung mit dem Farbtemperaturmessgerät Minolta Color Meter II die Farbtemperatur $T = 5500 K$.

Entfernungseinstellung:

Der Beamer befindet sich im Abstand a hinter der Projektionsscheibe, die aus einer Fresnellinse und einer Streuscheibe besteht. Bei den nachfolgenden Messungen ist der Abstand $a = 1,75 m$ festgelegt. In dieser Entfernung erzeugt der Beamer ein $85,3 cm \times 64 cm$ großes Bild. Der Mittelpunkt der Projektionslinse wurde auf den Mittelpunkt der Projektionswand ausgerichtet. Zusätzlich wurde das projizierte Bild mit Hilfe des im Anhang aufgeführten Testbildes A - einem Strichgitter – auf geometrische Verzerrung, die von der Abweichung des Beamers von der optischen Achse kommen können, kontrolliert. Die Beamerposition wurde so lange feinjustiert, bis möglicherweise auftretende Verzerrungen verschwunden sind und ein symmetrisches Bild auf der Projektionsscheibe zu sehen ist. In diesem Fall spricht man von einer Senkrechtprojektion.

Schärfe-Einstellung des Bildes: [1, Seite 230 ff.]

Als nächstes erfolgte die Schärfe-Einstellung des Bildes. Dabei ist zu beachten, dass das Projektionsobjektiv alle Bildpunkte der ebenen TFT- Matrix auf einer vom Projektionsobjektiv abhängigen gewölbten Fläche scharf abbildet. Diese Abweichung der Bildfläche von einer Ebene wird „Bildfeldwölbung“ genannt. Sie ist abhängig vom Korrektionszustand des Objektivs. Da nun die Projektionsscheibe eben ist, berührt sie die gewölbte Fläche entweder nur in einem Punkt (z.B. in der Bildmitte) tangential oder schneidet sie annähernd kreisförmig. Hieraus folgt, dass beim Scharfeinstellen eines Beamers nur wenige Bildpunkte wirklich scharf abgebildet werden. Wird diese Einstellung auf die Bildmitte bezogen, so wird der Abfall der Abbildungsschärfe zu den Bildrändern bereits sehr groß. Deswegen wurde in der DIN 19045-3 [3] ein Testbild (siehe Testbild B - Einstellkreis) entwickelt, mit dessen Hilfe der Beamer auf einen Einstellkreis scharf gestellt wurde. Dieser Kreis ist so beschaffen, dass ein gleichmäßiger Schärfeabfall zur Bildmitte und zu den Bildrändern sichergestellt ist. Man spricht von der Einstellung auf beste mittlere Schärfe.

Berechnung des Abbildungsmaßstabs: [4, Seite 20]

Aus der Bildgröße und der Angaben des eingebauten TFT- Matrix- Chips lässt sich der Abbildungsmaßstab berechnen.

Es ist:

$$\mathbf{b} = \frac{b_B}{b_M} \text{ mit } b_B = 85,3 \text{ cm (Bildbreite) und } b_M = 800 \text{ Pixel (Matrixbreite)} \quad (1)$$

Der Abbildungsmaßstab wurde für die folgenden Messungen immer konstant gehalten.

Unterteilung der Projektionswand:

Für die nachfolgenden Messungen wurde die Wand mit Hilfe eines Messrasters (siehe Testbild C - Messraster) unterteilt. Die Rasterweite r in horizontaler und vertikaler Richtung ist gleich gewählt und auf $r = 5 \text{ cm}$ festgelegt. Daraus ergeben sich 13 Messpunkte in vertikaler und 17 Messpunkte in horizontaler Richtung.

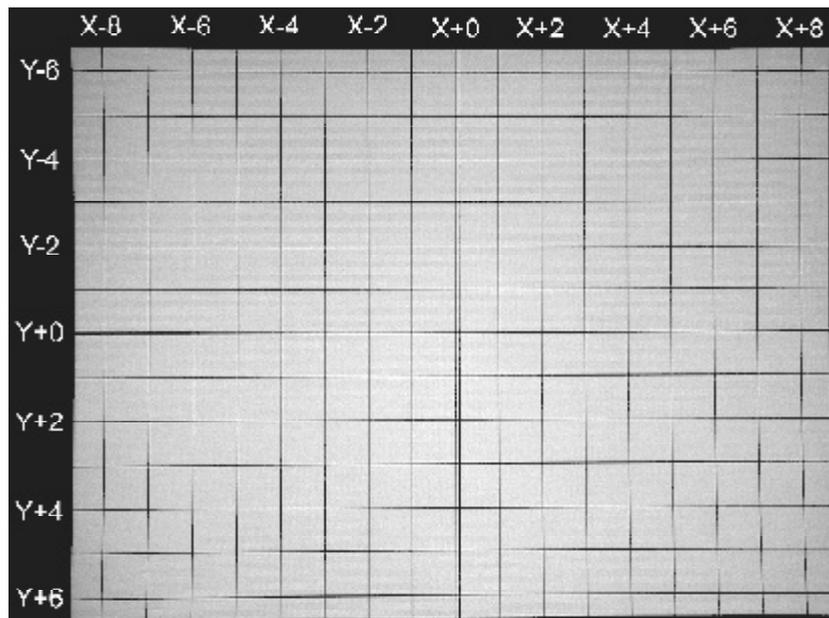


Bild 3.1.2 - Bezeichnung der Messpunkte

3.1.2 Durchführung der Messung

Horizontale Abstrahlcharakteristik:

In einer Entfernung von $a' = 1,47 \text{ m}$ wurde das Leuchtdichtemessgerät Minolta LS 100 auf einem Stativ aufgestellt. Die gewählte Entfernung ist dabei nicht beliebig, sondern ergibt sich aus der Abbildungsgleichung für die in der Bildwand verwendete Fresnellinse.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} \quad \text{mit } a = 1,75 \text{ m und } f = 800 \text{ mm} \quad (2)$$

$$\Leftrightarrow a' = \frac{f \cdot a}{a - f} = 1,47 \text{ m} \quad (3)$$

Die Höhe des Stativs wurde so gewählt, dass sich das Leuchtdichtemessgerät in der optischen Achse der Projektion befindet. Unter festgelegten horizontalen Blickrichtungswinkeln wurde die Leuchtdichte des Mittelpunktes $M(X + 0, Y + 0)$ gemessen. Dazu wurde das Messgerät mit Hilfe des Rasters ausgerichtet. Die Messung selber wurde aber nicht auf dem Raster, sondern auf einer homogenen, weißen, projizierten Fläche (siehe Testbild E - weiße, homogene Fläche) ausgeführt.

Bei der Messung wurde ein maximaler Blickrichtungswinkel von $d_{\max} = \pm 50^\circ$ nicht überschritten. Die Feinabstufung der Messwinkel betrug $\Delta d = 5^\circ$.

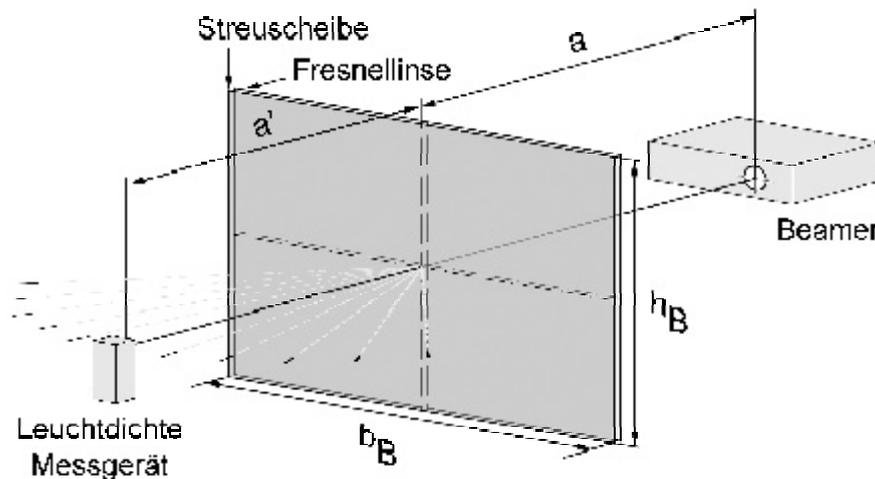


Bild 3.1.3 - Messaufbau zur Abstrahlcharakteristik

Eine Messung außerhalb dieses Bereiches ist nicht notwendig, da in der DIN 19045 [3] festgelegt wurde, dass der horizontale Blickrichtungswinkel d nicht größer als 40° sein darf. Gemessen wird der Winkel zur Bildnormalen. Ein negativer Winkel bedeutet eine Verschiebung des Stativs mit Messgerät nach links. Ein positiver Winkel eine Verschiebung nach rechts.

Die Messung wurde auch für folgende vier Punkte wiederholt. Dabei wurde die Höhe des Stativs der jeweiligen Messhöhe des Punktes angepasst.

Weitere Messpunkte:

- Links Oben am Punkt $P_{lo}(X - 7, Y - 5)$
- Links Unten am Punkt $P_{lu}(X - 7, Y + 5)$
- Rechts Oben am Punkt $P_{ro}(X + 7, Y - 5)$
- Rechts Unten am Punkt $P_{ru}(X + 7, Y + 5)$

Vertikale Abstrahlcharakteristik:

Die vertikale Abstrahlcharakteristik wurde auf ähnliche Weise wie die horizontale Abstrahlcharakteristik gemessen. Bei der Messung ist der horizontale Blickrichtungswinkel mit $d = 0^\circ$ konstant. Der vertikale Blickrichtungswinkel e wurde durch die Höhenverstellung des Stativs erreicht. Dies ist auch gleichzeitig der begrenzende Faktor. Daher waren nur Messungen der Leuchtdichte des Mittelpunktes $M(X + 0, Y + 0)$ im Bereich von $-20^\circ \leq e \leq +10^\circ$ möglich.

Gemessen wird der Winkel zur Bildnormalen. Ein negativer Winkel bedeutet, dass sich das Messgerät oberhalb der Bildmitte befindet. Bei einem positiven Winkel wird von unterhalb der Bildmitte aus gemessen. Die Messreihe beschränkt sich auf den Mittelpunkt, da bei der Betrachtung des projizierten Bildes von einer einheitlichen Betrachtungshöhe ausgegangen wurde.

3.2 Transmissionsmessung

3.2.1 Messaufbau

Der Messaufbau ist identisch zur Messung der Abstrahlcharakteristik in Transmission aufgebaut. Siehe 3.1.1.

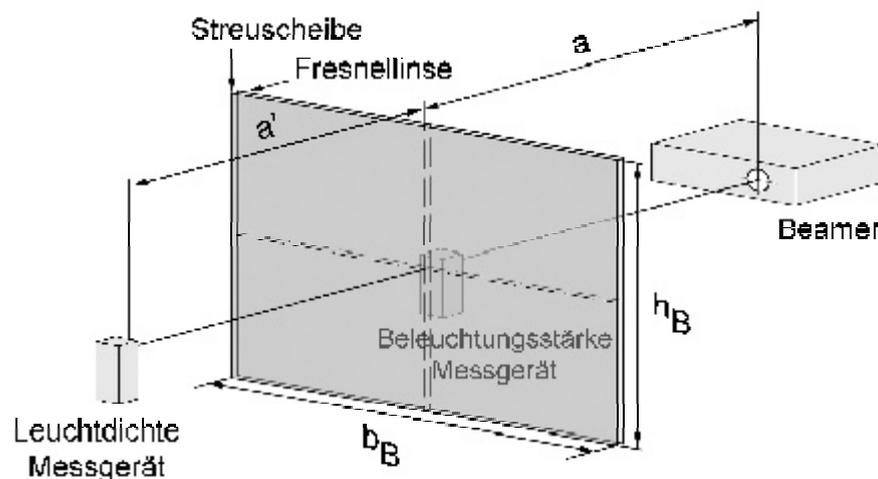


Bild 3.2.1 - Messaufbau zum Transmissionsgrad

3.2.2 Vorbereitung der Messung

Das Transmissionsvermögen einer Bildwand für die Rückprojektion steht im direkten Zusammenhang zur Bildwandleuchtdichte L und der Beleuchtungsstärke E durch den Beamer auf die Wand.

$$L = \frac{E}{p} \cdot t \quad \Leftrightarrow \quad t = \frac{L}{E} \cdot p \quad (4,5)$$

Durch diese Formel lässt sich mit Hilfe der Messung der Leuchtdichte und der Beleuchtungsstärke der Transmissionsgrad t bestimmen. Die Formel gilt aber nur unter der Voraussetzung, dass es sich bei der Abstrahlcharakteristik der Wand um einen Lambertstrahler handelt. Die allgemeine Formel für die Berechnung des Transmissionsgrads lautet:

$$t = \frac{L}{E} \cdot \frac{2}{n+1} \cdot p \quad \text{mit } n \text{ aus der Formel } I = I_0 \cdot (\cos \alpha)^n \quad (6,7)$$

Die Herleitung dieser allgemeinen Formel ist im Anhang zu finden. Die Richtungsabhängigkeit der Bildwandleuchtdichte macht es erforderlich, auf der Bildwand örtlich definierte Teilflächen zu messen. Hierbei gibt es laut DIN 19045-8 [3] drei verschiedene Messverfahren:

- Messen der Bildwandleuchtdichte mit festem Betrachterstandort
- Aufsetzen des Photometerkopfes auf den jeweiligen Messort
- Messen der Beleuchtungsstärke

Das dritte Messverfahren ist dabei für Projektionseinheiten mit kleinen transmittierenden Bildwänden (z.B. Mikrofilm-Lesegeräte) gedacht und findet insofern hier keine Anwendung.

Das erste Messverfahren bietet sich an dieser Stelle an, da schon bei der Messung für die Abstrahlcharakteristik der Bildpunkt der Abbildung durch die Fresnellinse bestimmt wurde.

3.2.3 Durchführung der Messung

Messung der Beleuchtungsstärke E :

Die Beleuchtungsstärke auf der Rückseite der Wand wurde mit Hilfe des Beleuchtungsstärkemessers Gossen Mavolux digital gemessen. An jedem Messpunkt wurde der Messkopf des Messgeräts orthogonal zur Lichtrichtung ausgerichtet, um das Messergebnis nicht durch Winkelabweichungen zu verfälschen. Um eine weitere Verfälschung durch das projizierte Raster zu vermeiden, wurde das Raster für diese Messung angepasst (Siehe Testbild D - Messraster für die Beleuchtungsstärke-Messung). Für jeden Messpunkt wurden 5 Messwerte genommen und daraus der Mittelwert gebildet.

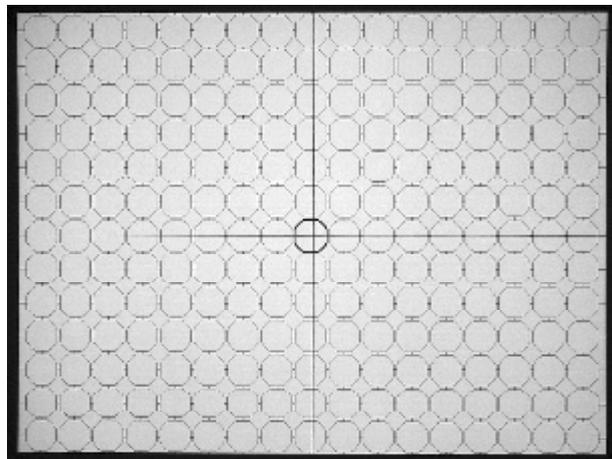


Bild 3.2.2 - Messraster für die Beleuchtungsstärke

Messung der Leuchtdichte L :

Der Bildpunkt der Abbildung durch die Fresnellinse, der sich in der Entfernung $a' = 1,47 \text{ m}$ befindet, war Ausgangspunkt für die Messung der Leuchtdichte. Von diesem Standpunkt aus wurde das Messgerät auf jeden Messpunkt des Messrasters für die Beleuchtungsstärke ausgerichtet. Für die Messung selber wurde eine weiße,

homogene Fläche eingeblendet, um eine Verfälschung der Messergebnisse durch das schwarze Raster zu vermeiden. Die Messung wurde ein zweites Mal durchgeführt, um die Genauigkeit des Messgerätes zu überprüfen.

3.3 Messung der Modulation

3.3.1 Messaufbau

Der Messaufbau ist identisch zur Messung der Abstrahlcharakteristik in Transmission aufgebaut. Siehe 3.1.1.

3.3.2 Durchführung der Messung

Um die maximal mögliche Leuchtdichtemodulation m zu bestimmen, muss neben der maximalen Leuchtdichte L_{\max} - gemessen auf einer weißen projizierten Fläche - auch die minimale Leuchtdichte L_{\min} - gemessen auf einer schwarzen projizierten Fläche - bekannt sein. Die Formel für die Modulation m lautet: [5, Seite 818]

$$m = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \quad (8)$$

Die maximale Leuchtdichte wurde schon zur Bestimmung des Transmissionsgrads gemessen. Um die minimale Leuchtdichte zu bestimmen, wurde das Messgerät wieder auf den Bildpunkt der Abbildung durch die Fresnellinse gestellt. Von dort wurde mit Hilfe des Messrasters für die Messung der Beleuchtungsstärke (Testbild D) das Leuchtdichtemessgerät auf den jeweiligen Messpunkt ausgerichtet. Für die Messung selber wurde das Raster ausgeblendet und durch eine schwarze homogene Fläche (siehe Testbild F - schwarze, homogene Fläche) ersetzt. Die Messung wurde ein zweites Mal durchgeführt, um die Genauigkeit des Messgerätes zu überprüfen.

3.4 Messung der Abstrahlcharakteristik der Bildwand in Reflexion

3.4.1 Messaufbau

Die Abstrahlcharakteristik der Vorderseite, d.h. der Streuscheibe, wurde auch gemessen, um mit ihrer Hilfe den Reflexionsgrad der Vorderseite zu bestimmen.

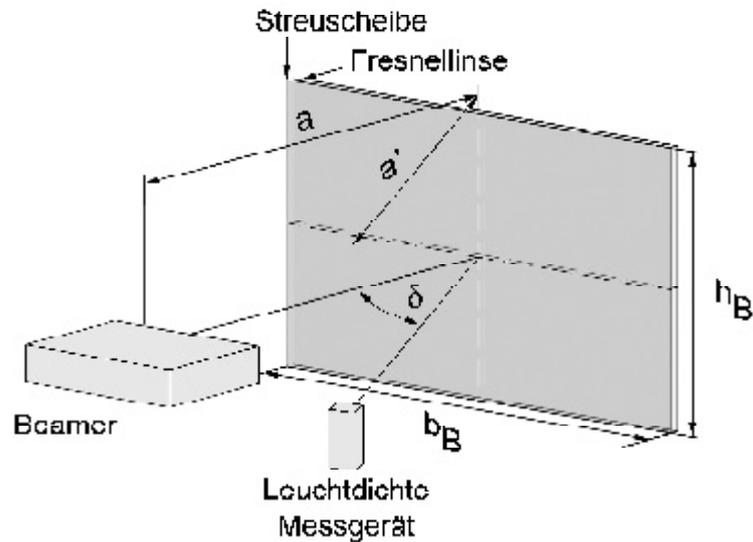


Bild 3.4.1 - Messaufbau zur Abstrahlcharakteristik in Reflexion

Zu diesem Zweck musste der Messaufbau so umgestellt werden, dass der Beamer die Vorderseite der Bildwand beleuchtete. Der restliche Messaufbau erfolgte wie unter 3.1.1 beschrieben. Eine Beleuchtung der vorderen Streuscheibe der Wand mit dem Beamer war nicht nötig. Eine einfache Lampe hätte in diesem Fall auch ausgereicht.

3.4.2 Durchführung der Messung

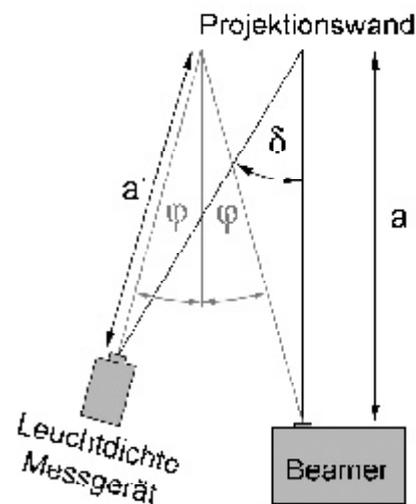
Für die Messung der Winkelabhängigkeit wurde das Leuchtdichtemessgerät in einer Entfernung $a' = 1,47 \text{ m}$ vor der Bildwand auf der gleichen vertikalen Höhe wie der Beamer positioniert. Die Entfernung spielt bei dieser Messung nicht so eine große Rolle. Sie bestimmt lediglich die Größe des Messkreises, in dem das Leuchtdichtemessgerät misst. Unter den horizontalen Blickrichtungswinkeln $d = \pm 10^\circ$ und $d = \pm 5^\circ$ wurde das Messgerät mit Hilfe des Messrasters auf den Mittelpunkt $M(X + 0, Y + 0)$ der Projektion eingestellt und danach die Leuchtdichte auf einer weißen, projizierten Fläche (Testbild E) bestimmt. Gemessen werden die Winkel jeweils zur Bildnormalen. Ein negativer Winkel bedeutet das Messgerät befindet sich auf dem Stativ links vom Beamer. Bei einem positiven Winkel steht das Stativ mit dem Messgerät rechts davon.

Messung der Leuchtdichte bei $d = \pm 0^\circ$:

Eine Messung für den horizontalen Blickrichtungswinkel $d = \pm 0^\circ$ ist nicht möglich, da das Messgerät entweder den Strahlengang des Beamers oder der Beamer den Messkreis des Messgeräts verdeckt. Daher wurde versucht, für diesen Fall einen annähernden Wert für die Leuchtdichte zu bekommen.

Zu diesem Zweck wurde das Stativ mit dem Messgerät wieder auf die Positionen gestellt, die zur Bildnormalen einen horizontalen

Blickrichtungswinkel $d_1 = -10^\circ$, $d_2 = -5^\circ$ und $d_3 = +10^\circ$ ausmachen. Beim horizontalen Blickrichtungswinkel $d_4 = +5^\circ$ konnte aufgrund der länglichen Bauform des Beamers keine Messung erstellt werden. Von den drei genannten Punkten wurde auf der homogenen, weißen, projizierten Fläche nicht der Mittelpunkt, sondern der direkte Reflexionspunkt des Lichtes und damit die



Leuchtdichte L_0 der Abstrahlkeule des Beamers gemessen. Der Mittelwert der drei Messergebnisse wurde als annähernder Wert für die Leuchtdichte L_0 unter dem Blickrichtungswinkel $d = \pm 0^\circ$ angenommen.

Bild 3.4.2 - Leuchtdichtebestimmung L_0

3.5 Reflexionsmessung

3.5.1 Messaufbau

Der Messaufbau ist identisch zur Messung der Abstrahlcharakteristik in Reflexion aufgebaut. Siehe 3.3.1.

3.5.2 Vorbereitung der Messung

Mit Hilfe einer allgemeinen Formel für die Reflexion, die vergleichbar zur allgemeinen Formel für die Transmission ist, lässt sich der Reflexionsgrad r bestimmen.

$$r = \frac{L}{E} \cdot \frac{2}{n+1} \cdot p \quad \text{mit } n \text{ aus der Formel } I = I_0 \cdot (\cos \mathbf{a})^n \quad (9,7)$$

Es muss, wie bei der Transmissionsmessung, nur die Leuchtdichte L und die Beleuchtungsstärke E unter bekannter Abstrahlcharakteristik gemessen werden.

3.5.3 Durchführung der Messung

Messung der Beleuchtungsstärke E :

Die Beleuchtungsstärke auf der Vorderseite der Wand wurde wie bei der Transmissionsmessung mit Hilfe des Beleuchtungsstärkemessers Gossen Mavolux digital gemessen. Die Reflexionsmessung wurde nur an folgenden neun Messpunkten vorgenommen.

- Oben Links am Punkt $P_{lo}(X - 7, Y - 5)$
- Oben Mitte am Punkt $P_{mo}(X + 0, Y - 5)$
- Oben Rechts am Punkt $P_{ro}(X + 7, Y - 5)$
- Mitte Links am Punkt $P_{lm}(X - 7, Y + 0)$
- Mitte Mitte am Punkt $M(X + 0, Y + 0)$
- Mitte Rechts am Punkt $P_{rm}(X + 7, Y + 0)$
- Unten Links am Punkt $P_{lu}(X - 7, Y + 5)$
- Unten Mitte am Punkt $P_{mu}(X + 0, Y + 5)$
- Unten Rechts am Punkt $P_{ru}(X + 7, Y + 5)$

An jedem dieser Messpunkt wurde der Messkopf des Messgeräts orthogonal zur Lichtrichtung ausgerichtet, um das Messergebnis nicht durch Winkelabweichungen zu verfälschen. Um eine weitere Verfälschung durch das projizierte Raster zu vermeiden, wurde das angepasste Messraster (Testbild D) verwendet.

Messung der Leuchtdichte L :

Die Messung der Leuchtdichte wurde auch für jeden dieser neun Punkte durchgeführt. Um den Ausgangspunkt der Messung festzustellen, wurde das Raster eingeblendet. Für jeden Punkt wurde im Abstand $a' = 3 \text{ m}$ der direkte Reflexionspunkt des einfallenden Lichtes bestimmt. Von diesem Punkt wurde der Leuchtdichtewert auf der weißen homogenen Fläche ermittelt.

Für den Mittelpunkt war diese Art der Messung wieder nicht möglich. Insofern wurde wieder mit der Näherung, wie bei der Messung der Abstrahlcharakteristik, gearbeitet. Dieses Mal wurden die Messwerte aus dem Abstand $a' = 3 \text{ m}$ bestimmt.

3.6 Bestimmung der MTF der Bildwand

3.6.1 Messaufbau

Hinter der Projektionswand wurde im Abstand $a = 80 \text{ cm} = f$ eine Lampe aufgebaut, so dass eine senkrechte Beleuchtung der Wand gegeben war. Der verwendete Kondensator ermöglichte dabei eine punktuelle, homogene Ausleuchtung.

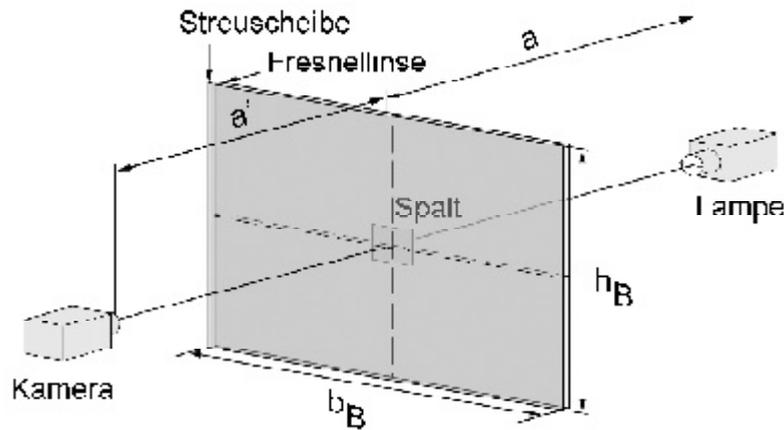


Bild 3.6.1 - Messaufbau der MTF-Messung

Auf die Rückseite der Wand wurde ein Spalt im Kontakt festgeklebt. Der Spalt wurde durch 2 Rasierklingenhälften gebildet. Diese waren unter einem Mikroskop auf die Spaltbreite $d = 45 \text{ }\mu\text{m}$ geklebt worden. Vor der Projektionswand wurde in der optischen Achse die CCD-Kamera Sony XCD-X700 aufgebaut. Sie erzeugt ein digitales, monochromes Bild der Größe $1024 \times 768 \text{ Pixel}$ mit einer Graustufenauflösung von 8 bit . Mit dieser Kamera wurde das Bild des Spaltes auf der Projektionswand aufgezeichnet. Durch einen Zwischenring wurde das Auflagemaß der Kamera so verändert, dass die Kamera eine vergrößerte Abbildung erzeugte. Der genaue Maßstab wurde mit Hilfe eines aufgezeichneten Bildes festgelegt und beträgt:

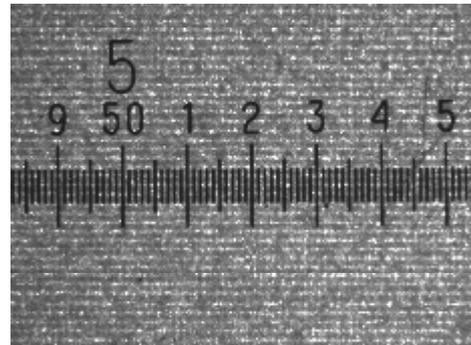


Bild 3.6.2 - Abbildungsmaßstab

$$\mathbf{b} = \frac{b_B}{b_M} \text{ mit } b_B = 7,1 \text{ mm (Bildbreite) und } b_M = 6,4 \text{ mm (Matrixbreite)} \quad (10)$$

Die Matrixbreite ergibt sich dabei durch die Multiplikation der Pixelanzahl mit der Pixelgröße [6].

$$b_M = 1024 \cdot 6,25 \text{ }\mu\text{m} = 6,4 \text{ mm} \quad (11)$$

Die Kamera war über ein Kabel mit einem PC verbunden. Durch die Steuersoftware Intellicam von Matrox konnten Einstellungen an der Kamera vorgenommen werden. Das Videobild erschien in einem Windows-Fenster auf dem PC.

3.6.2 Vorbereitung der Messung

Der Spalt wurde auf den jeweils zu messenden Ort geklebt. Die Lampe wurde auf diesen jeweiligen Messort durch Verschwenken aus dem festen Standpunkt ausgerichtet. Der Kondensator wurde so eingestellt, dass der komplette Spalt homogen ausgeleuchtet wurde. Die Kamera wurde durch horizontale und vertikale Verschiebung an die Messpunkte angepasst und war jeweils senkrecht zum Messpunkt auf der Bildwand ausgerichtet. Durch Variation des Abstandes wurde die Kamera auf den Spalt fokussiert.

Über die Steuersoftware Intellicam wurde die Verschlusszeit konstant gehalten (Shuttereinstellwert: 2715). An der Kamera selber wurde die Blende $k = 5,6$ eingestellt. Durch ein selbst erstelltes Rechen-Programm - Quelltext siehe Anhang - wurde das aufgenommene Bild ausgewertet.

Aufbau des Auswerteprogramms

Im ersten Schritt wurde ein Histogramm des aufgenommenen Bildes erstellt. Zusätzlich wurde online die Anzahl der Pixel mit einem Helligkeitswert über 240 ausgegeben. Um eine Verfälschung der MTF durch ungewolltes Clipping zu vermeiden, wurde die Spannung der Lampe und damit die Helligkeit soweit variiert, bis die Anzahl der Pixel über dem Helligkeitswert von 240 unter die Marke von 60 Pixeln gefallen war. Die nächste Programmroutine unterdrückte das Pixelrauschen in einzelnen Pixeln. Dies war wichtig, damit im nächsten Schritt die spaltenweisen Schwerpunkte korrekt ausgerechnet werden konnten. Aus den Schwerpunkten wurde eine Geradengleichung bestimmt, deren Steigung ebenfalls online ausgegeben wurde. Mit ihrer Hilfe wurde der Spalt so lange ausgerichtet, bis die Steigung der Gerade ungefähr Null betrug. Im nächsten Schritt wird im Programm über mehrere Pixel zeilenweise gemittelt, daher war die korrekte waagerechte Ausrichtung notwendig. Die Mittelung führt zu einer Unterdrückung des Rauschens der Messwerte. Im nächsten Schritt wurde das gemittelte Spaltbild fourier-transformiert und danach die Amplitudenwerte auf 1 normiert. Aus dem neuen Bild - einem Produkt der MTF und der Übertragungsfunktion des Spaltes - konnten die Amplitudenwerte der MTF bestimmt werden. Die Übertragungsfunktion des Spaltes, die Sinc-Funktion, hat durch die Wahl der Spaltbreite $d = 45 \text{ } \mu\text{m}$ in dem untersuchten Bereich ($0 - 13 \text{ Linien/mm}$) keinen großen Einfluss auf die MTF der Bildwand. (Erste Nullstelle der Sinc-Funktion bei $R = 22 \text{ Linien/mm}$)

3.6.3 Durchführung der Messung

Die Messung wurde an den neun Punkten P_{lo} , P_{mo} , P_{ro} , P_{lm} , M , P_{rm} , P_{lu} , P_{mu} und P_{ru} jeweils einmal in senkrechter und waagerechter Orientierung des Spaltes ausgeführt. Da das Auswerteprogramm nur waagerechte Spaltverläufe auswerten kann, wurde die Kamera bei den senkrechten Aufnahmen jeweils um 90° gekippt. Die Lampe wurde jeweils aus dem festen Standpunkt verschwenkt, um den neuen Messpunkt zu beleuchten. Die Kamera wurde parallel zum Messpunkt versetzt.

4 Ergebnisse

4.1 Abstrahlcharakteristik in Transmission

Horizontal:

Aus den Messwerten der Leuchtdichte ergeben sich folgende Mittelwerte:

| Horizontal | -50 | -45 | -40 | -35 | -30 | -25 | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mitte-Mitte | 162,88 | 201,10 | 244,88 | 293,34 | 348,74 | 422,32 | 509,54 | 628,58 | 748,22 | 856,82 | 890,88 | 816,62 | 716,04 | 604,16 | 495,46 | 404,64 | 341,62 | 275,00 | 223,56 | 178,84 | 147,20 |
| Links-Oben | 45,41 | 60,66 | 74,09 | 89,04 | 110,32 | 136,82 | 168,02 | 205,64 | 262,60 | 320,82 | 387,64 | 432,24 | 449,52 | 431,64 | 391,18 | 343,96 | 295,58 | 253,34 | 215,38 | 190,34 | 164,60 |
| Links-Unten | 42,48 | 52,11 | 64,59 | 77,38 | 95,12 | 118,92 | 145,54 | 178,50 | 225,20 | 273,26 | 326,52 | 365,24 | 381,66 | 371,82 | 342,12 | 306,28 | 265,02 | 228,90 | 196,30 | 173,08 | 150,14 |
| Rechts-Oben | 249,36 | 275,08 | 307,32 | 344,64 | 384,56 | 414,26 | 433,46 | 432,62 | 404,74 | 355,18 | 293,60 | 240,80 | 187,32 | 149,34 | 114,74 | 89,61 | 71,29 | 56,68 | 45,21 | | |
| Rechts-Unten | 217,22 | 238,96 | 264,10 | 293,00 | 324,88 | 347,28 | 359,54 | 356,00 | 332,82 | 292,38 | 249,08 | 203,32 | 161,00 | 130,86 | 101,96 | 79,93 | 64,02 | 51,46 | 41,79 | | |

Tabelle 4.1.1 - Mittelwerte der Leuchtdichte-Messung

Das zugehörige Diagramm zeigt, dass es sich bei der Wand um keinen Lambertstrahler handelt. Es ist eine deutliche Ausrichtung der Abstrahleigenschaften zu

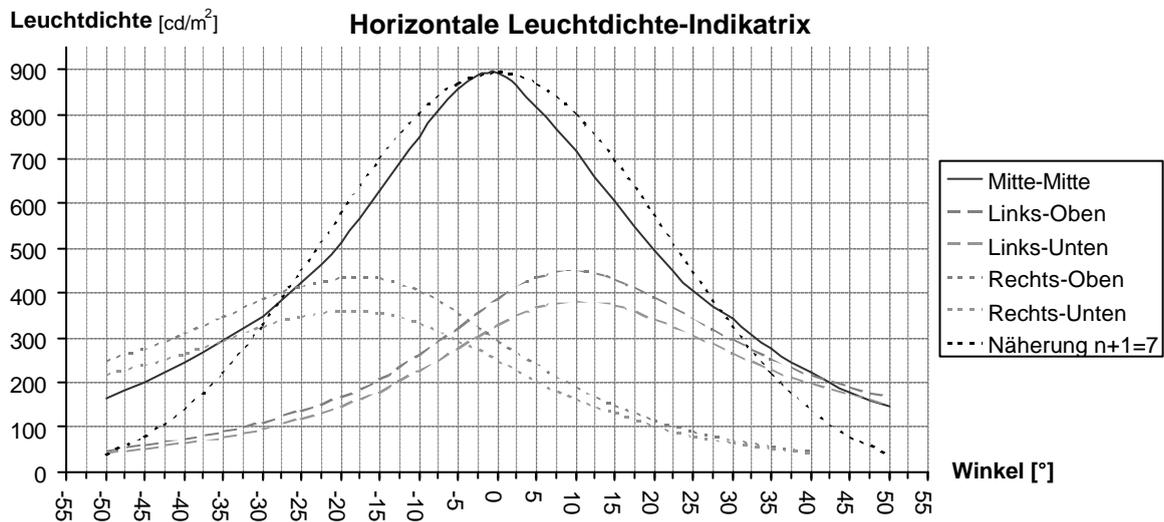


Diagramm 4.1.1 - Horizontale Leuchtdichte-Indikatrix und Näherung

sehen. Der Halbwertswinkel der Wand liegt bei ca. $g_H = 44^\circ$. Auch die Abbildungseigenschaft der Fresnellinse macht sich in dem Diagramm bemerkbar. Sie sorgt dafür, dass die Maxima der Eckpunkte nicht bei einem Messwinkel von $d = 0^\circ$, sondern in die jeweils andere Richtung um $\Delta d = 10^\circ$ verschoben sind.

Vertikal:

| | | | | | | | |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Vertikal | -20 | -15 | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 |
| Mitte-Mitte | 125,28 | 253,66 | 475,90 | 768,28 | 890,88 | 623,60 | 389,28 |

Tabelle 4.1.2 - Mittelwerte der Leuchtdichte-Messung

Auch in vertikaler Messrichtung zeigt sich eine deutliche Ausrichtung der Abstrahlungseigenschaften. Der Halbwertswinkel in vertikaler Abstrahlung ist wesentlich kleiner. Er liegt bei etwa $g_H = 14^\circ$.

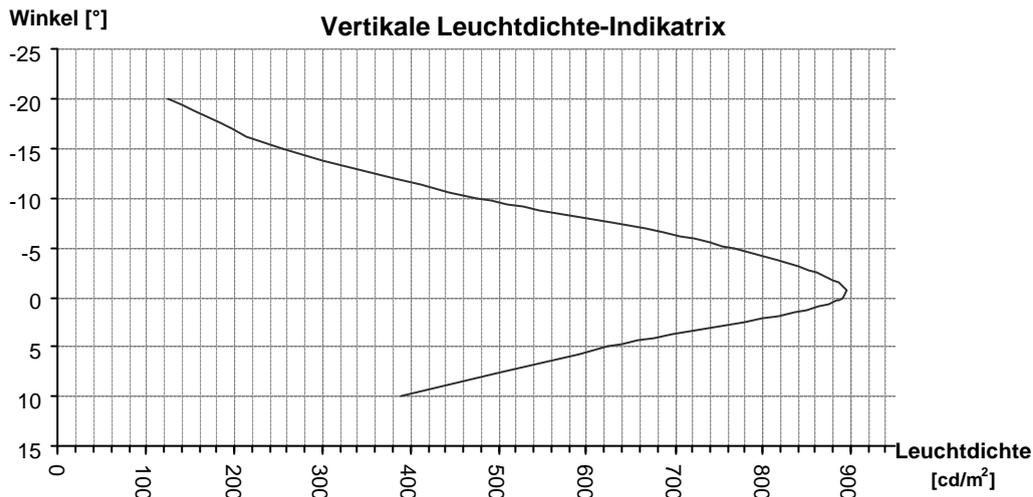


Diagramm 4.1.2 - Vertikale Leuchtdichte-Indikatrix

4.2 Transmissionsgrad

Nach der jeweiligen Mittelwertbildung aller Messwerte für die Beleuchtungsstärke ergab sich folgendes Diagramm. Daraus wird ersichtlich, dass der Beamer einen starken Helligkeitsabfall zum Rand hin besitzt.

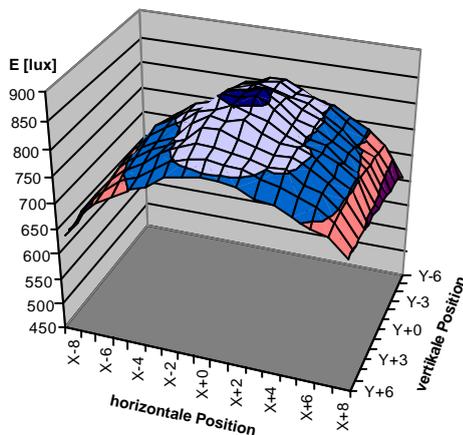


Diagramm 4.2.1 - Beleuchtungsstärke

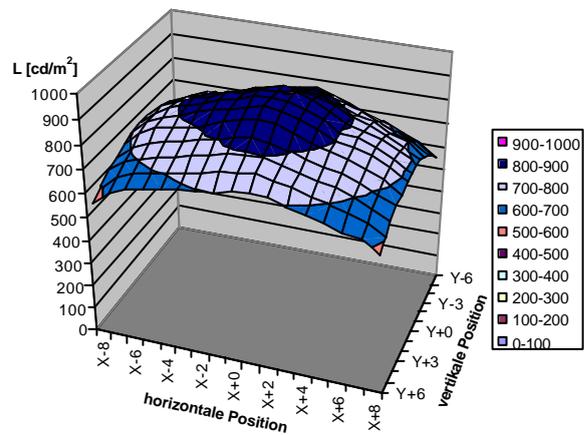


Diagramm 4.2.2 - Leuchtdichte

In gleicher Weise wurde auch mit den Messwerten für die Leuchtdichte verfahren. Auch hier zeigt sich im Diagramm der Helligkeitsabfall des Beamers.

Aus einer Näherung für die horizontale Abstrahlcharakteristik ergab sich der Exponent $n+1=7$. Aus der allgemeinen Formel (6) konnte nun der Transmissionsgrad bestimmt werden. Aus der Darstellung der berechneten Werte ergab sich das Diagramm 4.2.3. Es zeigt sich, dass der Transmissionsgrad über die gesamte Fläche nahezu konstant ist. Der arithmetische mittlere Transmissionsgrad liegt bei $t = 0,88$. Das heißt 88% des Lichtes werden im Mittel durchgelassen.

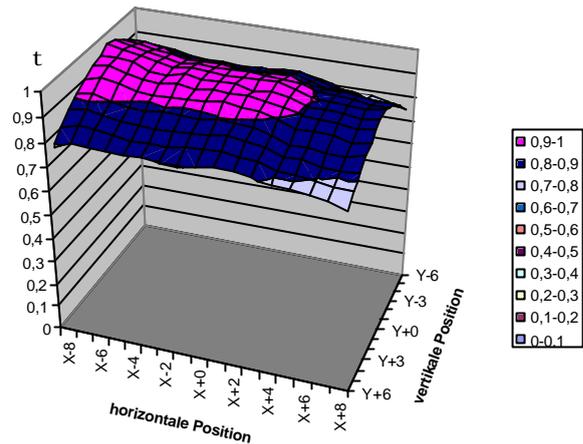


Diagramm 4.2.3 - Transmissionsgrad

4.3 Modulation

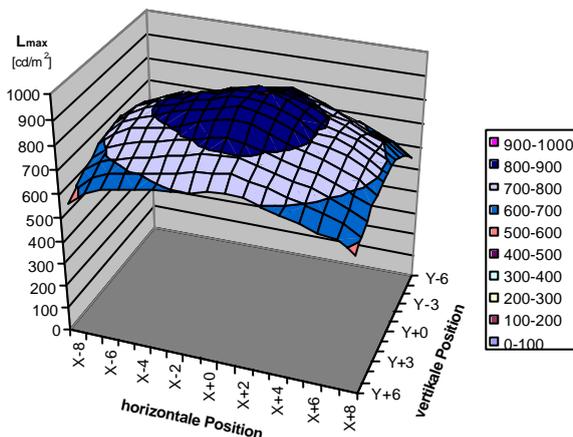


Diagramm 4.3.1 - maximale Leuchtdichte

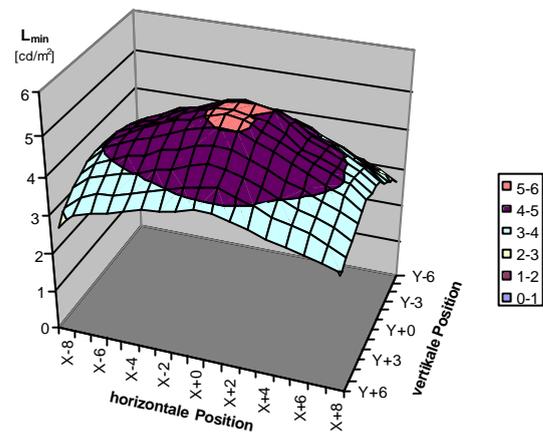


Diagramm 4.3.2 - minimale Leuchtdichte

Neben den Mittelwerten für die maximale Leuchtdichte der weißen, homogenen Fläche (siehe Diagramm 4.3.1), wurde aus den minimalen Leuchtdichtewerten der homogenen schwarzen Fläche für den jeweiligen Messpunkt ebenfalls der Mittelwert berechnet (siehe Diagramm 4.3.2).

Aus den jeweiligen Mittelwertpaaren wurde mit Hilfe der Formel (8) die maximal mögliche Leuchtdichtemodulation berechnet.

Im Diagramm 4.3.3 zeigt sich, dass die Modulation in den Ecken geringfügig besser ist. Insgesamt ist die Modulation mit $m = 0,989$ aber relativ hoch.

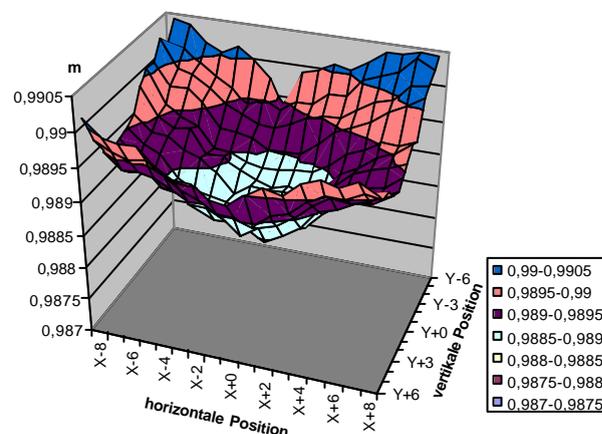


Diagramm 4.3.3 - Modulation

4.4 Abstrahlcharakteristik in Reflexion

Horizontal:

Bevor eine Aussage über die Abstrahleigenschaften der Streuscheibe getroffen werden konnte, musste mit Hilfe der Näherung die maximale Leuchtdichte L_0 in direkter Reflexionsrichtung am Mittelpunkt bestimmt werden. Dazu wurden die an den 3 Messpunkten gesammelten Werte jeweils gemittelt. Die 3 Mittelwerte ihrerseits wurden dann zum Helligkeitswert des Mittelpunktes zusammengefasst.

Darauf wurden die Messwerte der Abstrahlcharakteristik zusammengefasst. Aus den Messwerten der Leuchtdichte ergaben sich folgende Mittelwerte:

| Horizontal | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 |
|-------------|-------|--------|---------|--------|-------|
| Mitte-Mitte | 46,98 | 156,24 | 2447,27 | 213,46 | 53,24 |

Tabelle 4.4.1 - Leuchtdichte der Streuscheibe in Reflexion

Das zugehörige Diagramm zeigt, dass es sich bei der Streuscheibe der Wand auch um keinen Lambertstrahler handelt. Es ist eine deutliche Ausrichtung der Abstrahleigenschaften zu sehen. Der Halbwertswinkel der Streuscheibe liegt bei ca. $g_H = 6^\circ$.

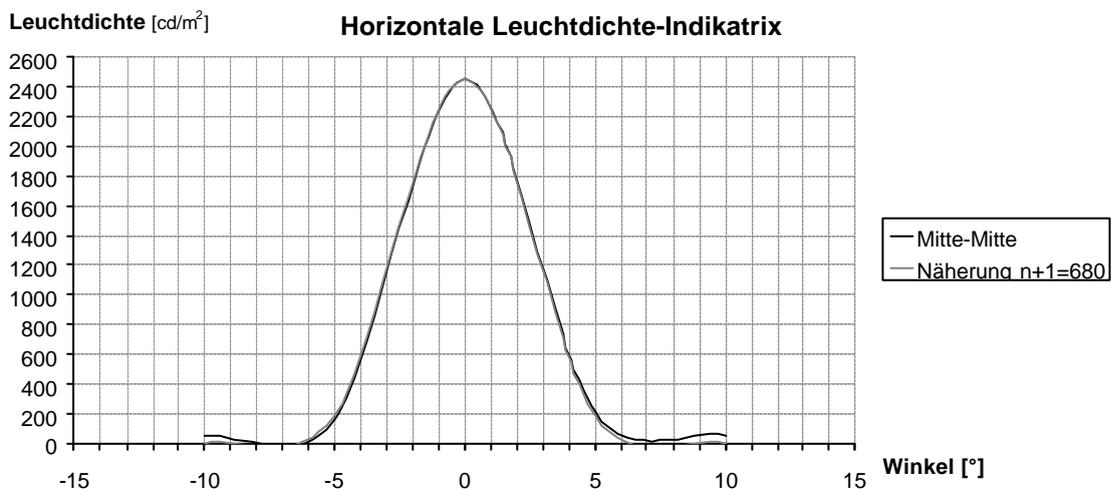


Diagramm 4.4.1 - Horizontale Leuchtdichte-Indikatrix und Näherung

4.5 Reflexionsgrad

Nach der jeweiligen Mittelwertbildung aller Messwerte für die Beleuchtungsstärke ergab sich folgendes Diagramm.

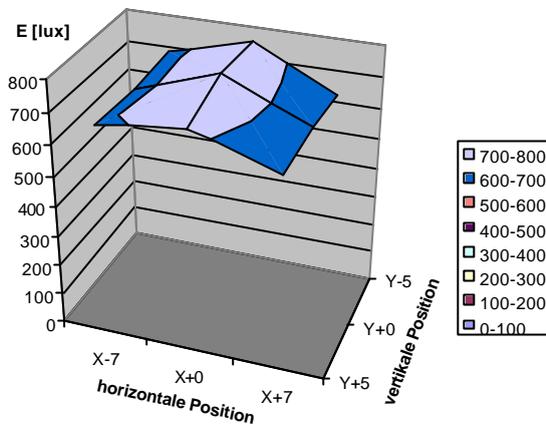


Diagramm 4.5.1 - Beleuchtungsstärke

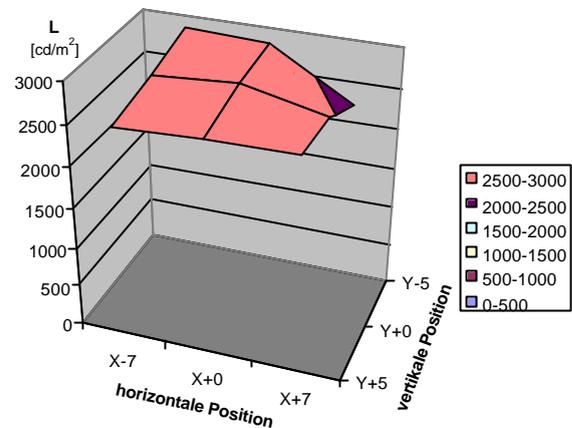


Diagramm 4.5.2 - Leuchtdichte

Im Diagramm 4.5.1 ist der Helligkeitsabfall des Beamers zum Rand hin aufgrund der wenigen Messpunkte nicht mehr ganz so stark ausgeprägt.

In gleicher Weise wurde auch mit den Messwerten für die Leuchtdichte verfahren (siehe Diagramm 4.5.2).

Aus einer Näherung für die horizontale Abstrahlcharakteristik ergab sich der Exponent $n+1 = 680$. Aus der allgemeinen Formel (9) konnte nun der Reflexionsgrad bestimmt werden. Aus der Darstellung der berechneten Werte ergab sich das folgende Diagramm.

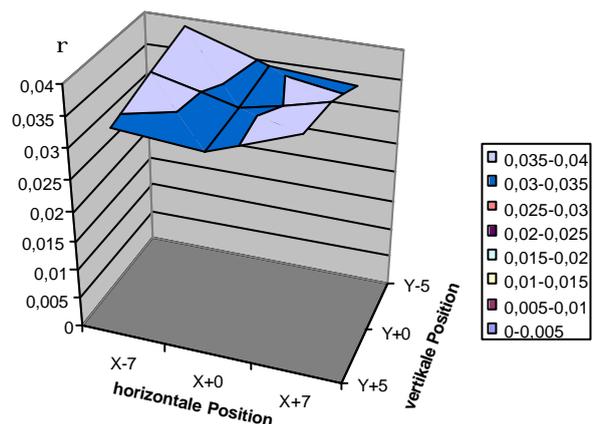


Diagramm 4.5.3 - Reflexionsgrad

Es zeigt sich, dass auch der Reflexionsgrad über die gesamte Fläche nahezu konstant ist. Der arithmetische mittlere Reflexionsgrad liegt bei $r = 0,04$. Das heißt, dass im Mittel nur 4% des einfallenden Lichtes reflektiert werden.

4.6 MTF der Bildwand

Aus den aufgenommenen Bildern wurden mit Hilfe des Auswerteprogramms die normierten Amplitudenkoeffizienten der einzelnen Frequenzen und damit die MTF bestimmt.

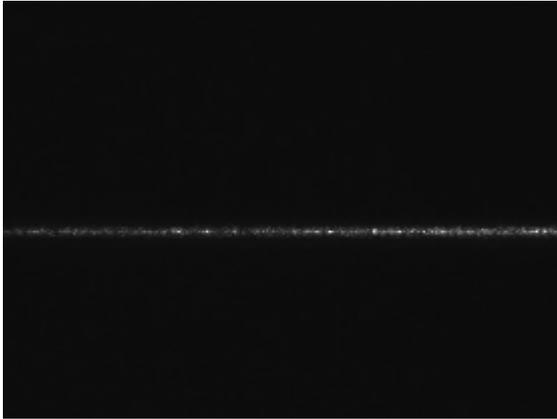


Bild 4.6.1 - Spaltbild senkrecht

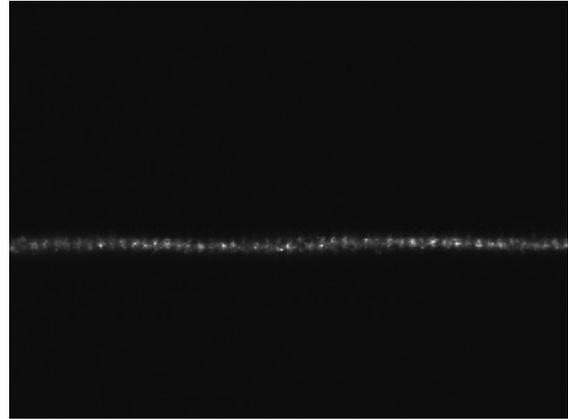


Bild 4.6.2 - Spaltbild waagrecht

Dabei gibt das Programm nur die Anzahl der Schwingungen bezogen auf die Höhe der CCD-Matrix in der Kamera aus. Diese Schwingungen lassen sich in örtliche Frequenzen auf dem CCD-Chip umrechnen. Um die örtlichen Frequenzen R auf der Bildwand zu bekommen, muss noch der Abbildungsmaßstab mit berücksichtigt werden. Daher ergibt sich folgende Formel:

$$R = \frac{\text{Anzahl der Schwingungen}}{\mathbf{b} \cdot b_H} \text{ mit } b_H = 4,8 \text{ mm (Matrixhöhe) und } \mathbf{b} \text{ aus (10)} \quad (12)$$

Die Matrixhöhe ergibt sich dabei durch die Multiplikation der Pixelanzahl mit der Pixelgröße [6].

$$b_H = 768 \cdot 6,25 \text{ mm} = 4,8 \text{ mm} \quad (13)$$

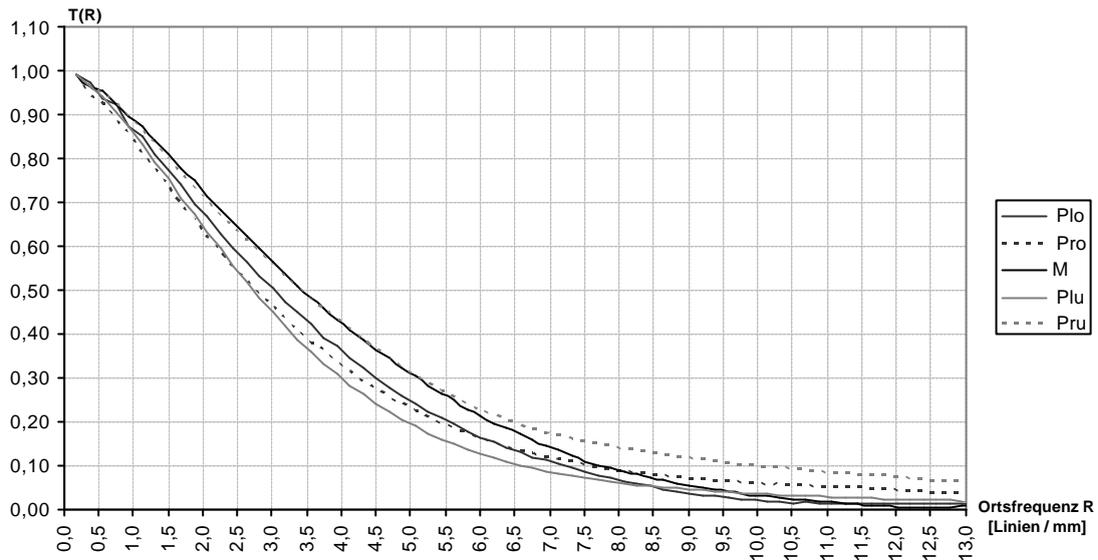


Diagramm 4.6.1 - MTF der Bildwand aus waagerechten Spaltverläufen.

Im Diagramm für die waagerechten Spaltverläufe zeigt sich, dass die MTF an allen gemessenen Punkten ungefähr gleich verläuft. (Mit Rücksicht auf die Übersichtlichkeit wurde im Diagramm die MTF von nur 5 Punkten dargestellt.) Es findet also an jedem Punkt die gleiche Modulationsübertragung statt.

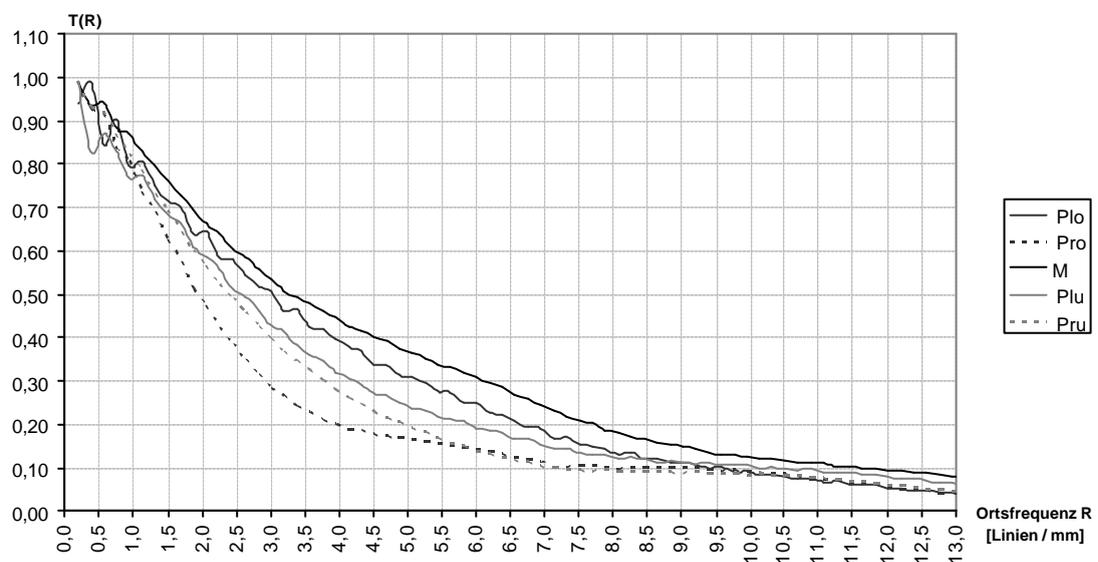


Diagramm 4.6.2 - MTF der Bildwand aus senkrechten Spaltverläufen.

Im Diagramm für die senkrechten Spaltverläufe zeigen sich starke Abweichungen der Kurven untereinander. Die MTF-Kurven sind im Vergleich zum Diagramm mit den waagerechten Spaltverläufen auch längst nicht so glatt, sondern schwanken gerade im oberen Teil sehr stark.

5 Diskussion

5.1 Abstrahlcharakteristik in Transmission

Die Wand zeigt eine deutliche Ausrichtung der Abstrahleigenschaften. Der horizontale Halbwertswinkel von $g_H = 44^\circ$ weist darauf hin, dass diese Projektionswand nicht auf der kompletten Betrachterfläche verwendet werden kann. Mit der Betrachterfläche [3] ist der Bereich innerhalb eines horizontalen Seh winkels von $d = \pm 40^\circ$ gemeint. Durch den Halbwertswinkel wird dieser Bereich stark eingeschränkt, da nur innerhalb des Halbwertswinkels ein relativ helles Bild zu sehen ist. Die Abweichung der Maxima an den gemessenen Eckpunkten deutet darauf hin, dass die Linse einen starken Einfluss auf die Abstrahleigenschaften der Wand hat. Insofern sollte vor dem Aufbau der Projektion der Zweck dieser bestimmt werden. Soll vielen Menschen etwas präsentiert werden (Vortrag, Präsentation, etc.), dann sollte der Abstand vom Beamer zur Wand gerade der Brennweite der Fresnellinse entsprechen. Dadurch entstehen diffus, parallele Strahlen vor der Wand und man erhält von mehreren Positionen den gleichen Helligkeitseindruck der Wand. Allerdings macht sich auch der Helligkeitsabfall zum Rand stärker bemerkbar.

Geht man jedoch von einem festen Betrachtungspunkt aus, so ist die Wand zwischen dem Beamer und dem Betrachter so zu positionieren, dass sie sich vom Betrachtungspunkt in optimaler Sehentfernung befindet. Die optimale Sehentfernung ist durch die DIN 19045-1 [3] folgendermaßen festgelegt: $e_{opt} = 4,5 \cdot b_B$ (in m).

Durch den sehr geringen vertikalen Halbwertswinkel wird der Verwendungszweck der Wand weiter eingeschränkt. Dieser lässt nur eine einheitliche Betrachtungshöhe zu. Daraus folgt, dass der Projektionsaufbau nur für ein stehendes *oder* sitzendes Publikum optimiert werden kann.

5.2 Transmissionsgrad

Aus dem Diagramm für die Beleuchtungsstärke wird schnell ersichtlich, dass der Beamer an sich schon einen starken Randabfall produziert. Dies liegt zum großen Teil an der Vignettierung [5, Seite 268] durch das Objektiv. Einen weiteren Beitrag liefern die Unterschiede im Abstand von der Lichtquelle zur Bildwand in der Mitte im Vergleich zu den Rändern. Anwendung findet hier das photometrische Entfernungsgesetz [7, Seite 41].

Dieser Randabfall setzt sich in den Werten der Leuchtdichte fort. Doch mit einer Leuchtdichte von $L = 900 \text{ cd/m}^2$ in der Mitte ist die Bildwand vergleichbar hell wie ein Plasmadisplay mit einer vergleichbaren Bilddiagonale von 42“ [8]. Im Vergleich zu einem LCD-Monitor mit einer Bilddiagonale von 40“ strahlt die Bildwand sogar doppelt so hell [9].

Dabei ist die Leuchtdichte der Wand stark abhängig von dem Lichtstrom des Beamers. Sie begünstigt nur durch den sehr hohen Transmissionsgrad, dass wenig Licht durch Absorption verloren geht. Erstaunlich ist, dass der Transmissionsgrad aus dem festen Betrachterpunkt nahezu konstant über die ganze Fläche ist. Nur zum unteren und oberen Rand fällt er leicht ab. Dies kann daran liegen, dass der sagittale und meridionale Schnittpunkt der Strahlen nicht genau übereinander liegen (Astigmatismus)[7, Seite 56/57] und sich der Messpunkt nur im meridionalen Schnittpunkt befand.

Insgesamt ist der Transmissionsgrad sehr hoch.

5.3 Modulation

Auf der einen Seite strahlt die Wand helle Farben (weiß) mit großer Leuchtdichte ab. Auf der anderen Seite produziert sie bei dunklen Farben nur eine geringe Leuchtdichte. In einem komplett abgedunkelten Raum fällt die Leuchtdichte von schwarz natürlich schon negativ auf. Jedoch bei Tageslichtbetrieb entspricht die geringe Leuchtdichte durch die Grundhelligkeit einem natürlichen Schwarz und wird als nicht störend empfunden.

Die daraus entstehende Modulation [10, Seite 145] ist sehr hoch, so dass projizierte Bilder kontrastreich mit vielen Abstufungen präsentiert werden können.

5.4 Abstrahlcharakteristik in Reflexion

Die Abstrahleigenschaften der Streuscheibe sind durch den geringen Halbwertswinkel optimal. Es bedeutet, dass von vorne auf die Streuscheibe auftreffendes Licht nur in direktem Reflexionswinkel und einem Kegel mit der Öffnung des Halbwertswinkels reflektiert wird. Dadurch stört auftreffendes Streulicht nur den Betrachter, der in direkter Reflexionsrichtung sitzt. Dieser empfindet die Störung aber umso stärker, da das komplette Streulicht reflektiert wird. Für die anderen Betrachtungspunkte bleibt das Streulicht unbemerkt, da es nur zu einer geringfügigen gleichmäßigen Erhellung der Bildwand führt. Diese Grundhelligkeit hebt den Schwarzwertlevel der Bildwand an und führt zu einer geringen Kontrastreduzierung.

5.5 Reflexionsgrad

Das Diagramm für die Beleuchtungsstärke entspricht den Erwartungen. Auch hier zeigt sich der Randabfall in der Helligkeit.

Im Vergleich zum Diagramm der Leuchtdichteverteilung in Transmission setzt sich der Randabfall aber nicht in den Werten der Leuchtdichte für die Reflexion fort. Das Diagramm für Reflexion zeigt einen eher homogenen Verlauf der Leuchtdichtewerte. Durch die starke Keulenform der Abstrahlung des auftreffenden Lichtes ergibt sich der geringe arithmetische mittlere Reflexionsgrad. Aufgrund der homogenen Leuchtdichteverteilung ist der Reflexionsgrad in der Mitte sogar etwas besser als am Rand.

Grundsätzlich ist der Reflexionsgrad mit 4% so klein, dass die Streuscheibe als reflexionsarm bzw. fast reflexionsfrei bezeichnet werden kann.

5.6 MTF der Bildwand

Das Diagramm für waagerechte Spaltverläufe zeigt, dass die *Modulation Transfer Function* (MTF) über die komplette Bildwand nahe zu einheitlich ist. Es lassen sich keine markanten Unterschiede feststellen. Bei dem Diagramm der MTF für senkrechte Spaltverläufe zeigen sich allerdings ganz klar Unterschiede. Gerade die Schwankungen im oberen Teil der MTF-Kurven sind unerwartet.

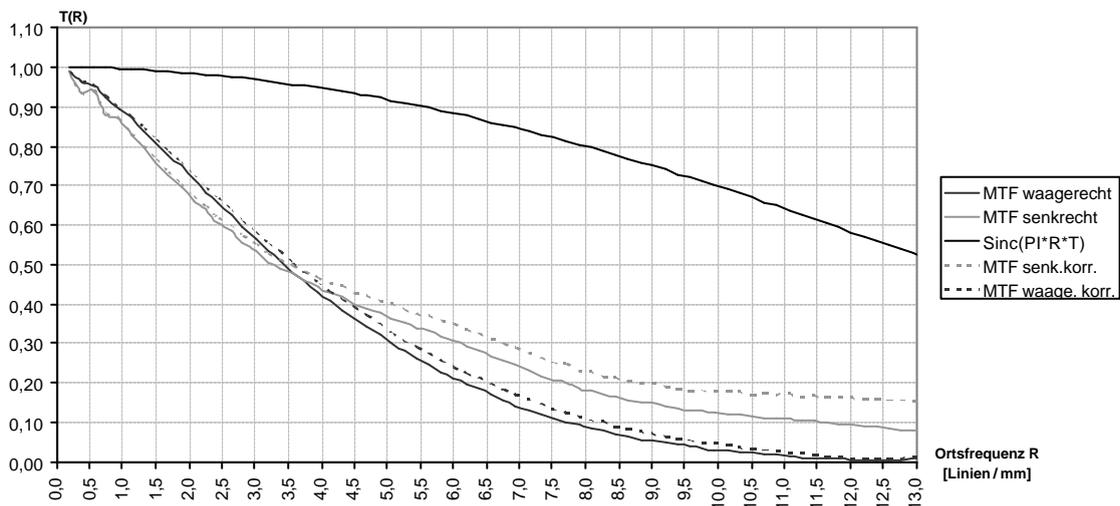


Diagramm 5.6.1 - Vergleich der MTF's und Sinc-Funktion

Wenn man die beiden Kurventypen miteinander vergleicht, zeigt sich, dass die beiden MTF's nahezu gleich verlaufen. Die korrigierten Kurven im Diagramm zeigen außerdem, dass der Einfluss der Sinc-Funktion gerade im Bereich $0 \text{ Linien/mm} \leq R \leq 9 \text{ Linien/mm}$ keine Rolle spielt.

Die Funktionsvorschrift für die Sinc-Funktion lautet: [5, Seite 455/456]

$$f(R) = \text{sinc}(\mathbf{p} \cdot R \cdot T) \quad \text{mit } T = 45 \text{ mm} \quad (14)$$

Die bei dem Messaufbau zur Transmissionsmessung größte mögliche Frequenz beträgt aber gerade mal $R \approx 0,5 \text{ Linien/mm}$. Sie würde durch den kontinuierlichen Wechsel zwischen schwarzen und weißen Pixeln erzeugt. Zwei Pixel würden dabei einer Wellenlänge entsprechen. Die Breite eines Pixelpaars auf der Wand lässt sich mit Hilfe des Abbildungsmaßstabs aus Formel (1) berechnen. Aus dem Kehrwert der Breite ergibt sich dann die örtliche Frequenz auf der Wand.

Eine Erklärung für die starken Abweichungen bei den senkrechten Spaltverläufen ist die nicht homogene, vertikal angeordnete Struktur der Bildwand. Sie ist deutlich in den aufgezeichneten Bildern (siehe Bild 3.6.2, Bild 4.6.1 und Bild 4.6.2) zu sehen. Diese Struktur verhindert, dass die MTF an einer Kante oder einem inversen Spalt, erzeugt durch einen Draht, gemessen werden kann. Daher wurden die Messungen an einem Spalt durchgeführt. Wenn der Spalt nun im senkrechten Fall nicht genau parallel zu der Struktur der Bildwand ausgerichtet ist, führt die Mittelung der Messwerte im Auswerteprogramm zu starken Unterschieden in der MTF. Würde die Mittelung in diesem Fall weggelassen, wären die Messergebnisse zu stark verrauscht. Bei den waagerechten Spaltverläufen wird über diese nicht homogene Struktur gemittelt, daher hat sie keinen Einfluss auf die MTF.

Ein weiteres Phänomen, das die präzise Messung der MTF mit Hilfe eines Spaltes verhindert, ist die Tatsache, dass an bestimmten Messpunkten auf der Bildwand die Fresnellinse das Spaltbild so stark beugt, dass aus dem parallelen Spalt ein geschwungenes Spaltbild wird. (siehe Bild 5.6.1) Auch hier verursacht die Mittelung im Auswerteprogramm eine Verschlechterung der MTF. Insofern muss hier ein Mittelweg zwischen verrauschten und durch Mittelung verschlechterten Messergebnissen gefunden werden.

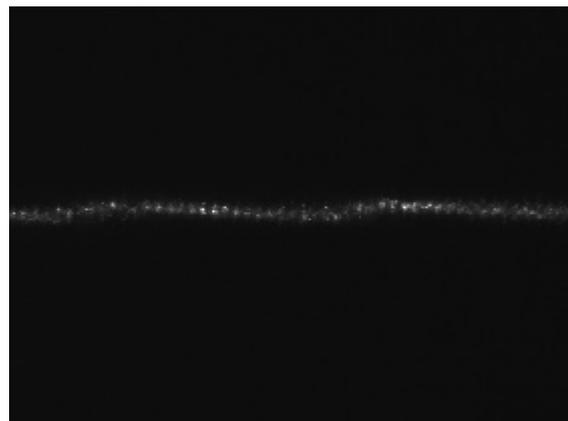


Bild 5.6.1 - gewelltes Spaltbild

5.7 Aufbau einer Projektion

Aus den Messergebnissen wird ersichtlich, dass die Fresnellinse einen großen Einfluss auf den Aufbau einer Rückprojektion hat. So kann die Wand nicht beliebig aufgestellt werden, sondern die optischen Abbildungseigenschaften müssen beachtet werden. Daher muss vor jedem Projektionsaufbau der Zweck der Projektion bestimmt werden. Aus dem Zweck und den Vorgaben des Beamers (Brennweite, Auflösungsvermögen, etc.) lässt sich dann die notwendige Bildgröße, die Brennweite der Fresnellinse und die Position des Beamers und der Bildwand im Raum berechnen.

5.7.1 Das entspannte Sehen

Das menschliche Auge [5, Seite 310] kann mit Hilfe des Ziliarmuskels auf Objekte in unterschiedlichen Entfernungen fokussieren. Man spricht von der Akkommodation des Auges. Die dauerhafte Anspannung des Ziliarmuskels beim Sehen in kurzer Distanz führt zu Ermüdungserscheinungen. Daher ist entspanntes Sehen nur bei Entspannung des Ziliarmuskels möglich. Das Auge akkommodiert dann auf Objekte, die sich im Unendlichen befinden. Eine entspannte Sehentfernung ist dann erreicht, wenn sich das Objekt in der Entfernung $e_\infty \geq 6 \text{ m}$ befindet [11, Seite 45/46]. Bezogen auf die Brennweite des Auges [4, Seite 90] ergibt sich:

$$e_\infty \approx 6 \text{ m} = 6000 \text{ mm} = 261 \cdot f_{\text{Auge}} \quad \text{mit } f_{\text{Auge}} = 23 \text{ mm} \quad (15)$$

Das bedeutet: Für ein entspanntes Sehen müsste die Bildwand in mindestens 6 Metern Entfernung aufgebaut werden. Aus der Formel für die optimale Sehentfernung $e_{\text{opt}} = 4,5 \cdot b_B$ (in m) [3] ergibt sich dann eine Bildbreite von:

$$b_B = \frac{e_\infty}{4,5} = 1,33 \text{ m} \quad (16)$$

Da das Auflösungsvermögen des visuellen Systems [4, Seite 92] auf einen Winkel von einer Bogenminute ($AV_{\text{vis}} = 1'$) beschränkt ist, müssten zwei Punkte auf der Bildwand einen Mindestabstand d_{Punkte} haben.

$$d_{\text{Punkte}} = e_\infty \cdot \tan(AV_{\text{vis}}) = 1,75 \text{ mm} \quad (17)$$

Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Auflösungsvermögen stark von der Form der Objekte, dem Kontrast und der Beleuchtungsstärke bzw. Leuchtdichte abhängt.

5.7.2 Zweck der Projektion

Nach den allgemeinen Betrachtungen zum entspannten Sehen folgen nun die Überlegungen zu der Bildwand für die Rückprojektion. Dabei müssen zwei Grenzfälle betrachtet werden.

Fall A - Ein Betrachter

Für einen einzelnen Betrachter reicht die Fokussierung durch die Fresnellinse auf einen festen Betrachtungspunkt (wie im Messaufbau geschehen).

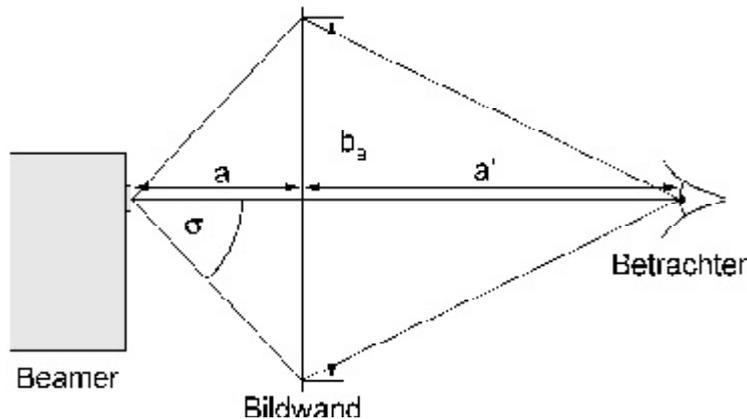


Bild 5.7.1 - Aufsicht auf einen Projektionsaufbau für Fall A

Wenn die Bedingungen für entspanntes Sehen eingehalten werden sollen, so ergibt sich für die Fresnellinse die Bildweite $a' = 6 \text{ m}$.

Die Gegenstandsweite a , also der Abstand vom Beamer zu Wand, hängt von der Projektionsoptik des Beamers ab.

Öffnungswinkel:

Je größer der Öffnungswinkel s des Beamers ist, desto näher kann der Beamer an die Wand gestellt werden. Umgekehrt gilt: Je kleiner der Öffnungswinkel ist, desto weiter weg muss der Beamer gestellt werden, um ein gleich großes Bild zu projizieren. Der Öffnungswinkel ergibt sich nach der Formel:

$$s = \arctan\left(\frac{\frac{1}{2} \cdot b_B}{a}\right) \quad (18)$$

Für den hier verwendeten Beamer ergibt sich aus $a = 1,75 \text{ m}$ und $b_B = 85,3 \text{ cm}$ ein Öffnungswinkel von $s = 13,69^\circ$.

Auflösungsvermögen:

Im Hinblick auf das Auflösungsvermögen des Auges lässt sich auch das Auflösungsvermögen des Beamers AV_{Beamer} berechnen. Mit dem Auflösungsvermögen des Beamers ist der Winkel gemeint, den der Beamer mit zwei benachbarten, projizierten Pixeln der CCD-Matrix einschließt.

$$AV_{\text{Beamer}} = \arctan\left(\frac{b_B}{b_M \cdot a}\right) \quad (19)$$

Für den hier verwendeten Beamer ergibt sich aus $a = 1,75 \text{ m}$, $b_B = 85,3 \text{ cm}$ und $b_M = 800 \text{ Pixel}$ ein Auflösungsvermögen von zwei Bogenminuten ($AV_{\text{Beamer}} = 2'$).

Gegenstandsweite:

Aus den Eigenschaften der Beamer-Optik und der berechneten Bildbreite für entspanntes Sehen lässt sich mit folgender Formel die notwendige Gegenstandsweite a bestimmen:

$$a = \frac{\frac{1}{2} \cdot b_B}{\tan(\mathbf{s})} \quad \text{mit } b_B = 1,33 \text{ m} \quad (20)$$

Die Gegenstandsweite für den hier verwendeten Beamer beträgt demnach $a = 2,73 \text{ m}$.

Pixelabstand:

Bei dieser Gegenstandsweite haben zwei Pixel einen Abstand d_{Pixel} zueinander. Dieser Abstand berechnet sich nach folgender Formel:

$$d_{\text{Pixel}} = a \cdot \tan(AV_{\text{Beamer}}) \quad (21)$$

Für dieses Beispiel ist der Abstand $d_{\text{Pixel}} = 1,59 \text{ mm}$.

Brennweite der Fresnellinse:

Damit dieser Projektionsaufbau aber wie berechnet funktioniert, muss die Abbildung durch die Fresnellinse und damit ihre Brennweite stimmen. Sie ergibt sich aus der allgemeinen Abbildungsgleichung:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a'} \quad (2)$$

Für diesen Beamer und diese Projektion mit entspanntem Sehen wird eine Fresnellinse mit der Brennweite $f = 1,876 \text{ m} = 1876 \text{ mm}$ benötigt.

Auswertung / Analyse:

Vergleicht man den Abstand $d_{\text{Pixel}} = 1,59 \text{ mm}$ (aus (21)) mit dem Abstand $d_{\text{Punkte}} = 1,75 \text{ mm}$ (aus (17)), den das Auge auflösen kann, so zeigt sich, dass für die Projektion beim entspannten Sehen für einen einzelnen Betrachter das Auflösungsvermögen dieses Beamers völlig ausreichend ist.

Auf der Bildwand entsprechen die Abstände einer örtlichen Frequenz von $R \approx 0,6 \text{ Linien/mm}$. Diese Modulations-Frequenz würde durch die Bildwand sehr gut übertragen.

Fall B - Mehrere Betrachter

Für mehrere Betrachter sollte sich der Beamer im Brennpunkt der Fresnellinse befinden. Dadurch entstehen auf der Betrachterseite der Wand parallele Strahlen.

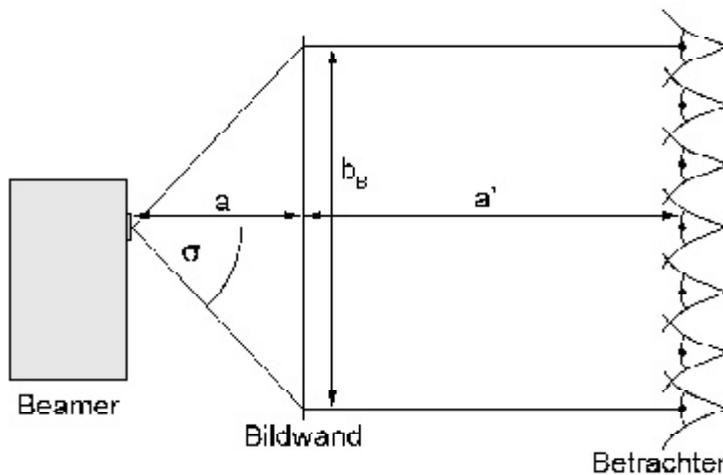


Bild 5.7.2 - Aufsicht auf einen Projektionsaufbau für Fall B

Das bedeutet, dass auch alle Abstrahlkeulen von jedem Punkt auf der Wand parallel ausgerichtet sind. Dies führt dazu, dass der Betrachter einen Randabfall der Helligkeit wahrnimmt. Dieser erklärt sich dadurch, dass von jedem festen Betrachtungspunkt jeder Bildpunkt der Wand unter einem anderen Winkel er-

scheint. Die Betrachtung unter einem anderen Winkel führt aber zu geringeren Helligkeiten der Bildpunkte aufgrund der Abstrahlcharakteristik. Je größer die Betrachtungswinkel werden, desto deutlicher macht sich der Randabfall bei dieser Art des Projektionsaufbaus bemerkbar.

Betrachtungswinkel:

Der größte Winkel bei einer Betrachtung, der auftreten kann, lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$s_{\text{Auge}} = \arctan\left(\frac{\frac{1}{2} \cdot b_B}{a'}\right) \quad (22)$$

Für die Betrachtung beim entspannten Sehen ergibt sich mit $a' = 6 \text{ m}$ und $b_B = 1,33 \text{ m}$ ein relativ kleiner Winkel von $s_{\text{Auge}} = 6,3^\circ$. Bei diesem Winkel ist der Abfall der Leuchtdichte aber so gering (siehe Diagramm 4.1.1), dass er vom menschlichen Betrachter nicht registriert wird.

Da für entspanntes Sehen - wie im Fall A - die gleiche Bildbreite $b_B = 1,33 \text{ m}$ benötigt wird und nach wie vor mit dem gleichen Beamer das Bild projiziert werden soll, bleiben die Angaben des Öffnungswinkels ($s = 13,69^\circ$), des Auflösungsvermögens ($AV_{\text{Beamer}} = 2'$), der Gegenstandsweite ($a = 2,73 \text{ m}$) und des Pixelabstands ($d_{\text{Pixel}} = 1,59 \text{ mm}$) identisch. Das bedeutet, dass auch bei einer Projektion mit entspanntem Sehen für mehrere Betrachter das Auflösungsvermögen dieses Beamers völlig ausreichend ist. Die örtliche Frequenz von $R \approx 0,6 \frac{\text{Linien}}{\text{mm}}$ auf der Leinwand würde auch in diesem Fall durch die gute MTF der Bildwand übertragen.

Brennweite der Fresnellinse:

Allerdings ändert sich - gegenüber Fall A - die für die vorgegebene Abbildung benötigte Brennweite der Fresnellinse. In diesem Fall entspricht die Brennweite der Gegenstandsweite. Daher wird für diesen Beamer und diesen Fall der Projektion mit entspanntem Sehen eine Fresnellinse mit der Brennweite $f = a = 2,735 \text{ m} = 2735 \text{ mm}$ benötigt.

Grundsätzlich ist bei beiden Grenzfällen, die den Aufbau einer Rückprojektion mit dieser Projektionswand beschreiben, zu berücksichtigen, dass die Betrachterpunkte im horizontalen Abstrahlwinkel von $g_H = 44^\circ$ liegen sollten, um ein einigermaßen helles Bild zu sehen. Außerdem sollte die Wandmitte mit dem Beamer und den Augen der Betrachter eine Gerade bilden.

Ein weiterer Einfluss, der hier zu beachten ist, ist die Gesetzmäßigkeit, dass die Beleuchtungsstärke des Beamers auf der Bildwand und damit die Helligkeit des Bildes mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. Insofern kann bei großen Entfernungen auch ein lichtstärkerer Beamer notwendig sein.

6 Zusammenfassung

Aus den Messreihen wird ersichtlich, dass die Bildwand - bestehend aus einer Streuscheibe und einer Fresnellinse sehr gut für die Rückprojektion mit Beamern einsetzbar ist. Ihr gutes Transmissionsvermögen, das kaum Lichtverlust zulässt, und ihr hoher Modulationskontrast führen zu sehr hellen und kontrastreichen Bildern. Auch das geringe Reflexionsvermögen der Streuscheibe trägt dazu bei, dass die Bilder selbst bei Tageslicht kontrastreich bleiben. Aus den Ergebnissen der MTF wird ersichtlich, dass selbst höhere Frequenzen (bis $R = 3,5 \text{ Linien/mm}$) noch sehr gut aufgelöst werden können. Dadurch kann entweder der Abstand der Wand zum Beamer verkürzt oder ein Beamer mit einer größeren Bildmatrix verwendet werden.

Der horizontale Halbwertswinkel schränkt dagegen die Betrachtungspunkte der Wand in dem hier verwendeten Messaufbau stark ein. Nur in dem Betrachtungswinkel von $d = \pm 22^\circ$ erscheint das projizierte Bild ausreichend hell. Der geringe vertikale Halbwertswinkel schränkt die Betrachtungspunkte sogar noch weiter ein. So lässt die Wand nur eine einzige geeignete Betrachtungshöhe zu.

Dennoch führt gerade der hohe Transmissionsgrad dazu, dass in der Gegenstandsweite von $a = 1,75 \text{ m}$ der verwendete Beamer von NEC, mit einer Leuchtstärke von 1000 Ansi-Lumen [12], ein $85,3 \text{ cm} \times 64 \text{ cm}$ großes Bild erzeugt, das vergleichbar hell zu dem Bild eines Plasmadisplay mit einer vergleichbaren Bilddiagonalen von 42 inch ist. Doch gegenüber dem Plasmadisplay lässt sich bei diesem Display die Bildgröße und die Bildhelligkeit durch Abstandsvariation bzw. lichtstärkere Beamer viel leichter verbessern. Zwar benötigt der Aufbau dann mehr Platz, aber durch einen gefalteten Strahlengang lässt sich das Problem lösen. Auch die horizontale und vertikale Auflösung lässt sich durch den Austausch der CCD-Matrix gegen eine größere CCD-Matrix weiter verbessern. So sind heute schon Beamer auf dem Markt zu finden, die mit einer Matrix in XGA ($1024 \times 768 \text{ Pixel}$) ausgestattet sind. [13]

Wenn man das komplette System der Rückprojektion betrachtet, gibt es mehrere Faktoren, die hier zusammenhängen. So spielen neben den lichttechnischen Eigenschaften der Bildwand auch die lichttechnischen Eigenschaften des Beamers (Lichtausbeute, Öffnungswinkel der Projektionsoptik, MTF des Beamers, Größe der Bildmatrix) und der Abstand vom Beamer zur Bildwand eine große Rolle.

Da diese Eigenschaften beim jedem Projektionsaufbau anders zusammenwirken, ist die Erstellung einer universalen Bildwand für die Rückprojektion, bestehend aus einer Streuscheibe und einer Fresnellinse, nicht möglich.

Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. Christian Blendl für die klärenden Vorgespräche bei der Themenfindung, die Überlassung der Messgeräte, die hilfreiche kritische Begleitung meiner Messungen, sowie für die intensive Diskussion der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit.

Des Weiteren danke ich Herrn Prof. Dr. Klaus Ruelberg für die Übernahme des Korreferats und die Bereitstellung der Bildwand.

Mein Dank gilt aber auch Herrn Prof. Dr. Lionel Magloire, sowie Herrn Prof. Dr. Jörg Gutjahr aus dem Institut für Angewandte Optik und Elektronik für die Bereitstellung des jeweiligen Arbeitsraumes.

Insbesondere bedanke ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Anton Kraus aus dem Institut für Angewandte Optik und Elektronik für die Überlassung weiterer Messgeräte und hilfreichen Hinweise bei optischen und phototechnischen Fragen.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern und allen anderen, die mich während meines Studiums in vielfältiger Weise unterstützt haben und somit am erfolgreichen Abschluss meines Studiums beteiligt sind.

7 Anhang

7.1 Testbilder

Testbild A - Strichgitter

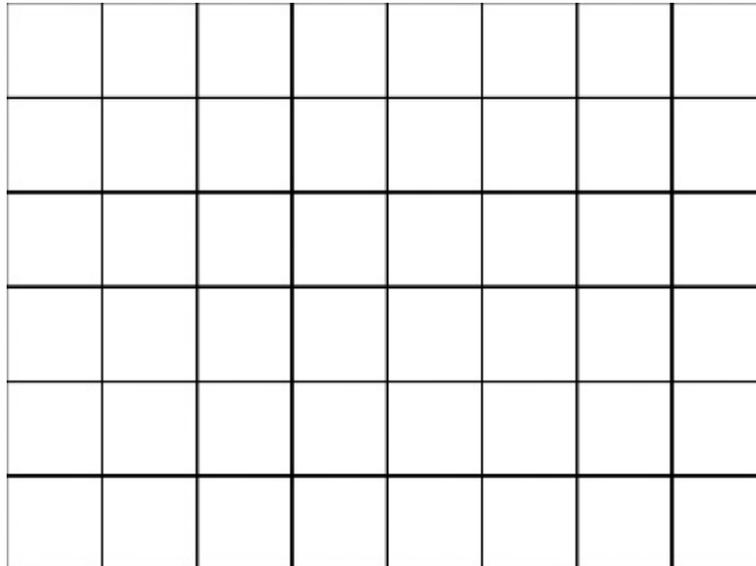


Bild 7.1.1 - Testbild A - Strichgitter

Testbild B - Einstellkreis

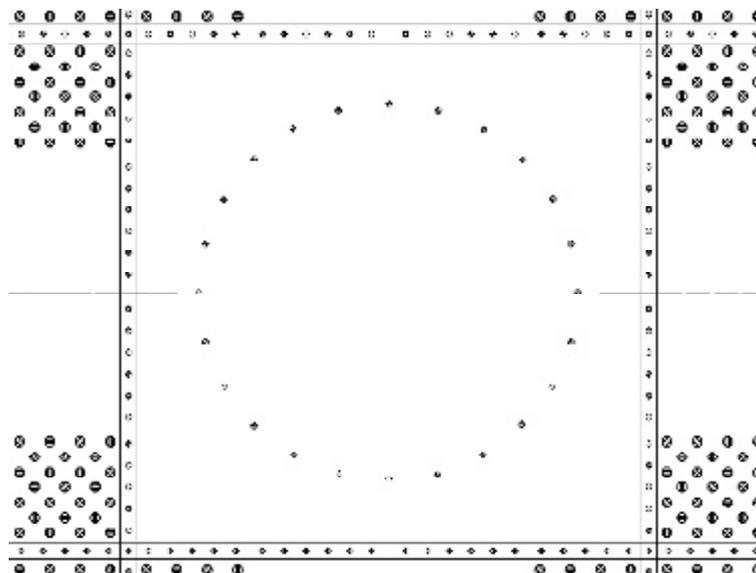


Bild 7.1.2 - Testbild B - Einstellkreis

Testbild C - Messraster

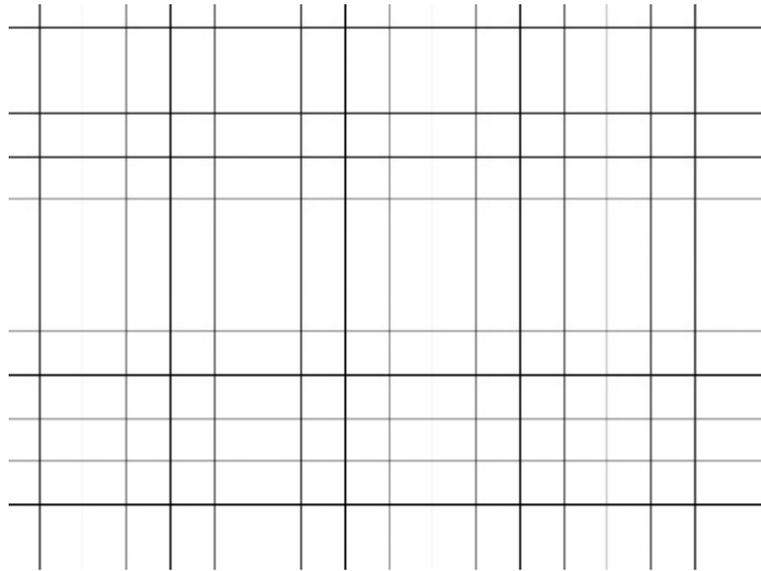


Bild 7.1.3 - Testbild C - Messraster

Testbild D - Messraster für die Beleuchtungsstärke-Messung

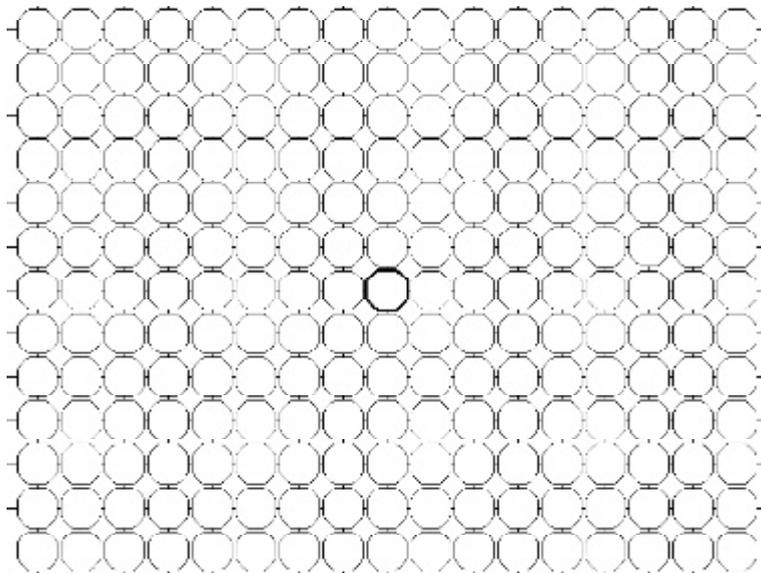


Bild 7.1.4 - Testbild D- Messraster für die Beleuchtungsstärke-Messung

Testbild E - weiße, homogene Fläche

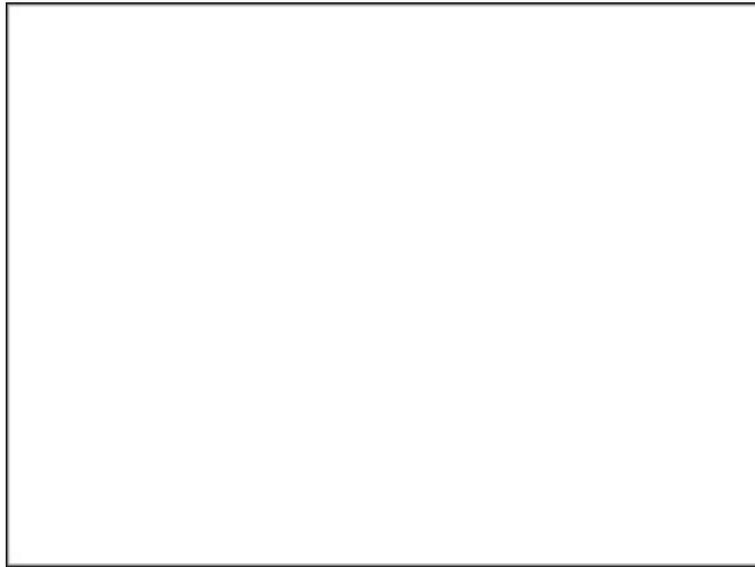


Bild 7.1.5 - Testbild E - weiße, homogene Fläche

Testbild F - schwarze, homogene Fläche

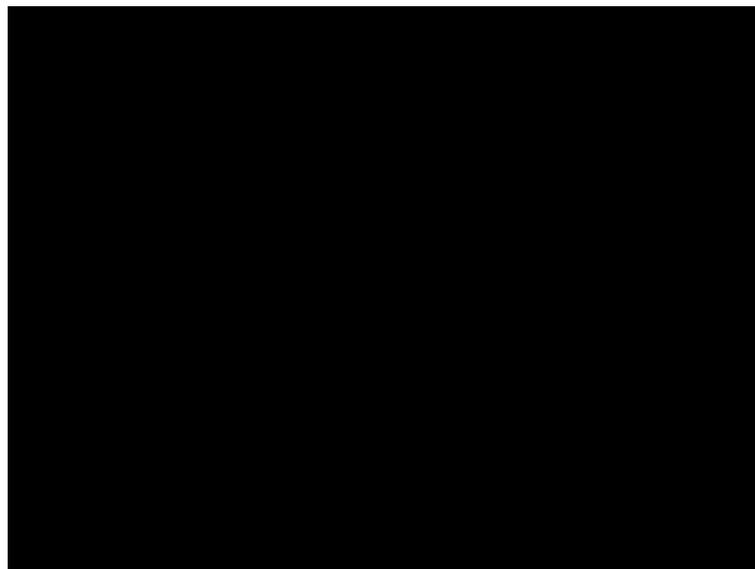


Bild 7.1.6 - Testbild F - schwarze, homogene Fläche

7.2 Tabellen der Messwerte

7.2.1 Abstrahlcharakteristik in Transmission

Horizontal:

| | -50° | -45° | -40° | -35° | -30° | -25° | -20° | -15° | -10° | -5° | 0° | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° | 30° | 35° | 40° | 45° | 50° |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mitte Mitte | 162,8 | 201,2 | 244,7 | 293,0 | 348,4 | 422,3 | 509,3 | 628,8 | 748,1 | 856,7 | 888,5 | 816,6 | 713,8 | 603,8 | 495,4 | 404,5 | 341,0 | 274,8 | 223,6 | 178,8 | 147,0 |
| | 163,0 | 201,0 | 244,8 | 293,5 | 348,9 | 422,3 | 509,8 | 628,6 | 747,9 | 856,9 | 891,0 | 817,5 | 716,1 | 603,9 | 497,5 | 404,5 | 341,6 | 274,7 | 224,0 | 178,8 | 147,1 |
| | 162,9 | 201,1 | 245,0 | 293,5 | 348,6 | 422,1 | 510,8 | 628,8 | 748,1 | 857,2 | 892,2 | 817,3 | 716,8 | 604,3 | 494,7 | 404,7 | 342,0 | 275,2 | 223,4 | 178,8 | 147,2 |
| | 162,8 | 201,1 | 245,0 | 293,2 | 348,9 | 422,3 | 508,8 | 628,1 | 749,1 | 855,9 | 892,0 | 816,4 | 717,1 | 604,5 | 495,1 | 405,0 | 342,0 | 275,6 | 223,2 | 178,9 | 147,3 |
| | 162,9 | 201,1 | 244,9 | 293,5 | 348,9 | 422,6 | 509,0 | 628,6 | 747,9 | 857,4 | 890,7 | 815,3 | 716,4 | 604,3 | 494,6 | 404,5 | 341,5 | 274,7 | 223,6 | 178,9 | 147,4 |
| MW | 162,88 | 201,10 | 244,88 | 293,34 | 348,74 | 422,32 | 509,54 | 628,58 | 748,22 | 856,82 | 890,88 | 816,62 | 716,04 | 604,16 | 495,46 | 404,64 | 341,62 | 275,00 | 223,56 | 178,84 | 147,20 |
| σ | 0,0837 | 0,0707 | 0,1304 | 0,2302 | 0,2302 | 0,1789 | 0,7987 | 0,2864 | 0,5020 | 0,5805 | 1,4755 | 0,8701 | 1,3088 | 0,2966 | 1,1845 | 0,2191 | 0,4147 | 0,3937 | 0,2966 | 0,0548 | 0,1581 |
| V | 0,0005 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0008 | 0,0007 | 0,0004 | 0,0016 | 0,0005 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0017 | 0,0011 | 0,0018 | 0,0005 | 0,0024 | 0,0005 | 0,0012 | 0,0014 | 0,0013 | 0,0003 | 0,0011 |
| Links Oben | 45,3 | 60,5 | 74,1 | 89,0 | 109,9 | 137,0 | 168,0 | 205,9 | 262,2 | 321,1 | 387,3 | 431,8 | 448,9 | 431,2 | 390,1 | 345,5 | 295,0 | 253,6 | 215,8 | 189,8 | 164,7 |
| | 45,2 | 60,5 | 74,0 | 89,4 | 110,5 | 137,0 | 168,2 | 206,2 | 262,8 | 320,4 | 387,8 | 431,3 | 449,7 | 433,4 | 391,1 | 344,9 | 295,2 | 253,1 | 215,5 | 189,8 | 164,4 |
| | 45,4 | 60,8 | 74,2 | 88,8 | 110,4 | 136,6 | 168,3 | 205,2 | 263,2 | 320,6 | 387,7 | 433,6 | 450,5 | 430,1 | 390,6 | 344,7 | 295,6 | 253,4 | 214,1 | 190,6 | 164,7 |
| | 45,4 | 60,7 | 74,0 | 89,0 | 110,5 | 136,5 | 168,0 | 205,5 | 262,1 | 321,5 | 387,8 | 431,7 | 449,1 | 431,6 | 392,2 | 342,2 | 295,9 | 253,3 | 215,5 | 190,7 | 164,4 |
| | 45,8 | 60,8 | 74,1 | 89,0 | 110,3 | 137,0 | 167,6 | 205,4 | 262,7 | 320,5 | 387,6 | 432,8 | 449,4 | 431,9 | 391,9 | 342,5 | 296,2 | 253,3 | 216,0 | 190,8 | 164,8 |
| MW | 45,41 | 60,66 | 74,09 | 89,04 | 110,32 | 136,82 | 168,02 | 205,64 | 262,60 | 320,82 | 387,64 | 432,24 | 449,52 | 431,64 | 391,18 | 343,96 | 295,58 | 253,34 | 215,38 | 190,34 | 164,60 |
| σ | 0,2038 | 0,1706 | 0,0646 | 0,2024 | 0,2490 | 0,2490 | 0,2683 | 0,4037 | 0,4528 | 0,4658 | 0,2074 | 0,9397 | 0,6261 | 1,1971 | 0,8758 | 1,5027 | 0,4919 | 0,1817 | 0,7463 | 0,4980 | 0,1871 |
| V | 0,0045 | 0,0028 | 0,0009 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0018 | 0,0016 | 0,0020 | 0,0017 | 0,0015 | 0,0005 | 0,0022 | 0,0014 | 0,0028 | 0,0018 | 0,0044 | 0,0017 | 0,0007 | 0,0035 | 0,0026 | 0,0011 |
| Links Unten | 42,4 | 52,1 | 64,6 | 77,5 | 95,0 | 119,0 | 145,5 | 178,5 | 224,9 | 271,8 | 326,6 | 365,1 | 381,7 | 373,1 | 342,5 | 306,0 | 265,3 | 228,1 | 196,8 | 173,3 | 150,2 |
| | 42,6 | 52,1 | 64,7 | 77,2 | 95,3 | 119,0 | 145,6 | 177,9 | 225,1 | 274,5 | 326,4 | 366,5 | 381,7 | 371,6 | 342,9 | 306,2 | 265,5 | 228,4 | 196,7 | 173,0 | 150,1 |
| | 42,4 | 52,0 | 64,6 | 77,3 | 95,1 | 118,6 | 145,5 | 178,2 | 225,3 | 273,3 | 326,6 | 364,9 | 381,7 | 372,0 | 342,1 | 306,2 | 263,9 | 228,8 | 196,0 | 173,0 | 150,2 |
| | 42,6 | 52,1 | 64,7 | 77,5 | 95,2 | 119,0 | 145,5 | 179,1 | 225,6 | 273,2 | 325,1 | 363,6 | 381,7 | 372,2 | 341,3 | 306,3 | 265,2 | 229,8 | 196,5 | 173,0 | 150,2 |
| | 42,5 | 52,3 | 64,5 | 77,4 | 95,1 | 119,0 | 145,6 | 178,8 | 225,1 | 273,5 | 327,9 | 366,1 | 381,5 | 370,2 | 341,8 | 306,7 | 265,2 | 229,4 | 195,5 | 173,1 | 150,0 |
| MW | 42,48 | 52,11 | 64,59 | 77,38 | 95,12 | 118,92 | 145,54 | 178,50 | 225,20 | 273,26 | 326,52 | 365,24 | 381,66 | 371,82 | 342,12 | 306,28 | 265,02 | 228,90 | 196,30 | 173,08 | 150,14 |
| σ | 0,0939 | 0,0862 | 0,0627 | 0,1156 | 0,0926 | 0,1789 | 0,0548 | 0,4743 | 0,2646 | 0,9659 | 0,9935 | 1,1349 | 0,0894 | 1,0592 | 0,6181 | 0,2588 | 0,6380 | 0,7000 | 0,5431 | 0,1304 | 0,0894 |
| V | 0,0022 | 0,0017 | 0,0010 | 0,0015 | 0,0010 | 0,0015 | 0,0004 | 0,0027 | 0,0012 | 0,0035 | 0,0030 | 0,0031 | 0,0002 | 0,0028 | 0,0018 | 0,0008 | 0,0024 | 0,0031 | 0,0028 | 0,0008 | 0,0006 |
| Rechts Oben | 248,6 | 275,4 | 307,3 | 345,4 | 384,4 | 414,2 | 433,1 | 433,3 | 404,4 | 354,8 | 292,6 | 240,4 | 187,3 | 148,9 | 115,0 | 89,8 | 71,3 | 56,8 | 45,2 | | |
| | 249,3 | 275,6 | 307,0 | 344,5 | 385,0 | 414,5 | 433,7 | 433,5 | 405,5 | 356,2 | 293,9 | 241,5 | 187,3 | 149,1 | 114,7 | 89,5 | 71,2 | 56,9 | 45,3 | | |
| | 248,9 | 275,0 | 307,6 | 343,6 | 384,7 | 415,1 | 433,0 | 432,9 | 404,3 | 355,6 | 294,7 | 240,0 | 187,0 | 149,4 | 114,9 | 89,4 | 71,7 | 56,6 | 45,3 | | |
| | 250,4 | 274,7 | 307,5 | 344,5 | 384,2 | 414,2 | 434,0 | 433,2 | 403,9 | 354,2 | 293,1 | 241,1 | 187,5 | 149,8 | 114,3 | 89,9 | 71,1 | 56,6 | 44,9 | | |
| | 249,6 | 274,7 | 307,2 | 345,2 | 384,5 | 413,3 | 433,5 | 430,2 | 405,6 | 355,1 | 293,7 | 241,0 | 187,5 | 149,5 | 114,8 | 89,5 | 71,1 | 56,7 | 45,4 | | |
| MW | 249,36 | 275,08 | 307,32 | 344,64 | 384,56 | 414,26 | 433,46 | 432,62 | 404,74 | 355,18 | 293,60 | 240,80 | 187,32 | 149,34 | 114,74 | 89,61 | 71,29 | 56,68 | 45,21 | | |
| σ | 0,6950 | 0,4087 | 0,2387 | 0,7092 | 0,3050 | 0,6504 | 0,4159 | 1,3700 | 0,7635 | 0,7629 | 0,8000 | 0,5958 | 0,2049 | 0,3507 | 0,2702 | 0,2352 | 0,2327 | 0,1293 | 0,2160 | | |
| V | 0,0028 | 0,0015 | 0,0008 | 0,0021 | 0,0008 | 0,0016 | 0,0010 | 0,0032 | 0,0019 | 0,0021 | 0,0027 | 0,0025 | 0,0011 | 0,0023 | 0,0024 | 0,0026 | 0,0033 | 0,0023 | 0,0048 | | |
| Rechts Unten | 217,2 | 238,7 | 264,1 | 293,3 | 324,3 | 347,7 | 360,9 | 355,9 | 332,6 | 293,6 | 248,9 | 203,2 | 161,7 | 131,0 | 102,0 | 79,8 | 64,0 | 51,5 | 41,7 | | |
| | 217,2 | 238,9 | 264,4 | 293,4 | 324,3 | 347,4 | 359,8 | 355,9 | 331,6 | 291,9 | 249,1 | 204,1 | 161,0 | 130,5 | 102,2 | 79,8 | 64,0 | 51,3 | 41,9 | | |
| | 217,3 | 239,2 | 264,1 | 292,4 | 325,1 | 346,8 | 359,7 | 355,4 | 333,0 | 292,3 | 249,4 | 202,7 | 161,2 | 130,8 | 101,8 | 80,0 | 63,8 | 51,4 | 41,7 | | |
| | 216,8 | 239,0 | 264,2 | 292,7 | 325,4 | 346,8 | 359,7 | 356,4 | 333,1 | 291,8 | 249,2 | 203,4 | 160,5 | 130,7 | 101,9 | 80,2 | 64,2 | 51,4 | 41,9 | | |
| | 217,6 | 239,0 | 263,7 | 293,2 | 325,3 | 347,7 | 357,6 | 356,4 | 333,8 | 292,3 | 248,8 | 203,2 | 160,6 | 131,3 | 101,9 | 79,9 | 64,2 | 51,6 | 41,8 | | |
| MW | 217,22 | 238,96 | 264,10 | 293,00 | 324,88 | 347,28 | 359,54 | 356,00 | 332,82 | 292,38 | 249,08 | 203,32 | 161,00 | 130,86 | 101,96 | 79,93 | 64,02 | 51,46 | 41,79 | | |
| σ | 0,2864 | 0,1817 | 0,2550 | 0,4301 | 0,5404 | 0,4550 | 1,1971 | 0,4183 | 0,8075 | 0,7190 | 0,2387 | 0,5070 | 0,4848 | 0,3050 | 0,1517 | 0,1636 | 0,1506 | 0,1139 | 0,1205 | | |
| V | 0,0013 | 0,0008 | 0,0010 | 0,0015 | 0,0017 | 0,0013 | 0,0033 | 0,0012 | 0,0024 | 0,0025 | 0,0010 | 0,0025 | 0,0030 | 0,0023 | 0,0015 | 0,0020 | 0,0024 | 0,0022 | 0,0029 | | |

Tabelle 7.2.1.1 - Messwerte der Leuchtdichte für die horizontale Abstrahlcharakteristik in Transmission

Vertikal:

| | Mitte - Mitte | | | | | MW | σ | V |
|------|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|--------|
| -20° | 125,3 | 125,4 | 125,3 | 125,4 | 125,0 | 125,28 | 0,1643 | 0,0013 |
| -15° | 254,6 | 254,3 | 252,9 | 253,2 | 253,3 | 253,66 | 0,7436 | 0,0029 |
| -10° | 476,4 | 476,7 | 475,1 | 476,4 | 474,9 | 475,90 | 0,8337 | 0,0018 |
| -5° | 766,8 | 769,3 | 767,1 | 770,4 | 767,8 | 768,28 | 1,5287 | 0,0020 |
| 0° | 888,5 | 891,0 | 892,2 | 892,0 | 890,7 | 890,88 | 1,4755 | 0,0017 |
| 5° | 622,2 | 623,1 | 623,6 | 622,6 | 626,5 | 623,60 | 1,7044 | 0,0027 |
| 10° | 388,1 | 388,7 | 390,2 | 390,2 | 389,2 | 389,28 | 0,9257 | 0,0024 |

Tabelle 7.2.1.2 - Messwerte der Leuchtdichte für die vertikale Abstrahlcharakteristik in Transmission

7.2.2 Messung der Transmission

Beleuchtungsstärke auf der Rückseite der Bildwand

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Zeile Y-6 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 577 | 628 | 667 | 704 | 734 | 748 | 758 | 787 | 799 | 791 | 789 | 768 | 759 | 747 | 725 | 697 | 653 |
| | 575 | 628 | 665 | 702 | 737 | 749 | 766 | 791 | 799 | 796 | 789 | 770 | 758 | 749 | 727 | 700 | 652 |
| | 573 | 626 | 667 | 697 | 734 | 748 | 763 | 792 | 801 | 796 | 789 | 768 | 761 | 746 | 722 | 702 | 655 |
| | 576 | 627 | 670 | 701 | 739 | 749 | 765 | 790 | 801 | 794 | 789 | 768 | 759 | 751 | 726 | 704 | 658 |
| | 579 | 627 | 669 | 699 | 739 | 749 | 768 | 790 | 798 | 799 | 788 | 767 | 756 | 748 | 725 | 698 | 652 |
| MW | 576,00 | 627,20 | 667,60 | 700,60 | 736,60 | 748,60 | 764,00 | 790,00 | 799,60 | 795,20 | 788,80 | 768,20 | 758,60 | 748,20 | 725,00 | 700,20 | 654,00 |
| σ | 2,2361 | 0,8367 | 1,9494 | 2,7019 | 2,5100 | 0,5477 | 3,8079 | 1,8708 | 1,3416 | 2,9496 | 0,4472 | 1,0954 | 1,8166 | 1,9235 | 1,8708 | 2,8636 | 2,5495 |
| V | 0,0039 | 0,0013 | 0,0029 | 0,0039 | 0,0034 | 0,0007 | 0,0050 | 0,0024 | 0,0017 | 0,0037 | 0,0006 | 0,0014 | 0,0024 | 0,0026 | 0,0026 | 0,0041 | 0,0039 |
| Zeile Y-5 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 593 | 657 | 691 | 729 | 753 | 761 | 792 | 804 | 823 | 826 | 808 | 796 | 791 | 772 | 752 | 728 | 669 |
| | 595 | 657 | 695 | 734 | 755 | 761 | 790 | 805 | 825 | 824 | 807 | 791 | 789 | 769 | 753 | 728 | 669 |
| | 595 | 660 | 691 | 730 | 755 | 761 | 794 | 811 | 827 | 822 | 808 | 790 | 786 | 769 | 753 | 729 | 669 |
| | 592 | 656 | 697 | 732 | 756 | 762 | 793 | 808 | 822 | 822 | 808 | 796 | 786 | 769 | 752 | 726 | 672 |
| | 594 | 658 | 692 | 728 | 756 | 762 | 786 | 807 | 821 | 823 | 807 | 795 | 789 | 771 | 753 | 726 | 671 |
| MW | 593,80 | 657,60 | 693,20 | 730,60 | 755,00 | 761,40 | 791,00 | 807,00 | 823,60 | 823,40 | 807,60 | 793,60 | 788,20 | 770,00 | 752,60 | 727,40 | 670,00 |
| σ | 1,3038 | 1,5166 | 2,6833 | 2,4083 | 1,2247 | 0,5477 | 3,1623 | 2,7386 | 2,4083 | 1,6733 | 0,5477 | 2,8810 | 2,1679 | 1,4142 | 0,5477 | 1,3416 | 1,4142 |
| V | 0,0022 | 0,0023 | 0,0039 | 0,0033 | 0,0016 | 0,0007 | 0,0040 | 0,0034 | 0,0029 | 0,0020 | 0,0007 | 0,0036 | 0,0028 | 0,0018 | 0,0007 | 0,0018 | 0,0021 |
| Zeile Y-4 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 600 | 665 | 711 | 744 | 763 | 777 | 794 | 823 | 830 | 830 | 816 | 811 | 802 | 778 | 758 | 727 | 675 |
| | 601 | 663 | 712 | 744 | 763 | 778 | 795 | 822 | 827 | 833 | 815 | 812 | 802 | 778 | 755 | 725 | 675 |
| | 601 | 663 | 709 | 744 | 763 | 779 | 792 | 823 | 830 | 835 | 813 | 815 | 799 | 778 | 755 | 726 | 673 |
| | 605 | 662 | 705 | 743 | 758 | 780 | 792 | 824 | 829 | 834 | 814 | 814 | 801 | 779 | 751 | 724 | 673 |
| | 600 | 654 | 710 | 745 | 760 | 778 | 791 | 824 | 829 | 834 | 818 | 811 | 801 | 774 | 752 | 724 | 673 |
| MW | 601,40 | 661,40 | 709,40 | 744,00 | 761,40 | 778,40 | 792,80 | 823,20 | 829,00 | 833,20 | 815,20 | 812,60 | 801,00 | 777,40 | 754,20 | 725,20 | 673,80 |
| σ | 2,0736 | 4,2778 | 2,7019 | 0,7071 | 2,3022 | 1,1402 | 1,6432 | 0,8367 | 1,2247 | 1,9235 | 1,9235 | 1,8166 | 1,2247 | 1,9494 | 2,7749 | 1,3038 | 1,0954 |
| V | 0,0034 | 0,0065 | 0,0038 | 0,0010 | 0,0030 | 0,0015 | 0,0021 | 0,0010 | 0,0015 | 0,0023 | 0,0024 | 0,0022 | 0,0015 | 0,0025 | 0,0037 | 0,0018 | 0,0016 |
| Zeile Y-3 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 611 | 669 | 721 | 752 | 765 | 783 | 808 | 830 | 838 | 832 | 824 | 813 | 801 | 777 | 749 | 738 | 675 |
| | 615 | 665 | 723 | 751 | 765 | 784 | 810 | 831 | 841 | 834 | 821 | 817 | 797 | 775 | 749 | 737 | 671 |
| | 613 | 668 | 721 | 754 | 767 | 788 | 808 | 830 | 839 | 833 | 821 | 815 | 796 | 776 | 745 | 734 | 671 |
| | 607 | 672 | 720 | 757 | 765 | 791 | 808 | 830 | 839 | 829 | 821 | 817 | 797 | 775 | 750 | 730 | 673 |
| | 611 | 671 | 724 | 755 | 769 | 789 | 803 | 832 | 838 | 830 | 823 | 812 | 797 | 773 | 748 | 734 | 675 |
| MW | 611,40 | 669,00 | 721,80 | 753,80 | 766,20 | 787,00 | 807,40 | 830,60 | 839,00 | 831,60 | 822,00 | 814,80 | 797,60 | 775,20 | 748,20 | 734,60 | 673,00 |
| σ | 2,9665 | 2,7386 | 1,6432 | 2,3875 | 1,7889 | 3,3912 | 2,6077 | 0,8944 | 1,2247 | 2,0736 | 1,4142 | 2,2804 | 1,9494 | 1,4832 | 1,9235 | 3,1305 | 2,0000 |
| V | 0,0049 | 0,0041 | 0,0023 | 0,0032 | 0,0023 | 0,0043 | 0,0032 | 0,0011 | 0,0015 | 0,0025 | 0,0017 | 0,0028 | 0,0024 | 0,0019 | 0,0026 | 0,0043 | 0,0030 |
| Zeile Y-2 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 620 | 682 | 725 | 758 | 782 | 791 | 814 | 841 | 844 | 846 | 832 | 817 | 803 | 783 | 760 | 733 | 682 |
| | 619 | 684 | 729 | 755 | 786 | 793 | 813 | 844 | 846 | 845 | 834 | 817 | 804 | 781 | 760 | 731 | 678 |
| | 620 | 684 | 725 | 761 | 784 | 793 | 811 | 840 | 843 | 845 | 836 | 818 | 802 | 779 | 762 | 731 | 685 |
| | 618 | 683 | 727 | 758 | 785 | 795 | 813 | 838 | 849 | 848 | 833 | 819 | 806 | 781 | 760 | 733 | 682 |
| | 620 | 685 | 726 | 758 | 783 | 794 | 814 | 838 | 849 | 844 | 836 | 819 | 805 | 785 | 762 | 735 | 680 |
| MW | 619,40 | 683,60 | 726,40 | 758,00 | 784,00 | 793,20 | 813,00 | 840,20 | 846,20 | 845,60 | 834,20 | 818,00 | 804,00 | 781,80 | 760,80 | 732,60 | 681,40 |
| σ | 0,8944 | 1,1402 | 1,6733 | 2,1213 | 1,5811 | 1,4832 | 1,2247 | 2,4900 | 2,7749 | 1,5166 | 1,7889 | 1,0000 | 1,5811 | 2,2804 | 1,0954 | 1,6733 | 2,6077 |
| V | 0,0014 | 0,0017 | 0,0023 | 0,0028 | 0,0020 | 0,0019 | 0,0015 | 0,0030 | 0,0033 | 0,0018 | 0,0021 | 0,0012 | 0,0020 | 0,0029 | 0,0014 | 0,0023 | 0,0038 |
| Zeile Y-1 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 632 | 689 | 721 | 765 | 790 | 811 | 821 | 843 | 852 | 860 | 840 | 814 | 802 | 783 | 768 | 739 | 684 |
| | 629 | 690 | 723 | 768 | 787 | 815 | 817 | 848 | 850 | 858 | 839 | 812 | 800 | 779 | 767 | 738 | 687 |
| | 632 | 692 | 724 | 769 | 791 | 812 | 819 | 849 | 850 | 860 | 839 | 812 | 802 | 783 | 766 | 742 | 686 |
| | 632 | 689 | 724 | 768 | 791 | 815 | 822 | 847 | 854 | 861 | 840 | 813 | 805 | 785 | 769 | 741 | 687 |
| | 629 | 690 | 720 | 768 | 790 | 816 | 819 | 850 | 851 | 859 | 837 | 811 | 804 | 784 | 767 | 740 | 688 |
| MW | 630,80 | 690,00 | 722,40 | 767,60 | 789,80 | 813,80 | 819,60 | 847,40 | 851,40 | 859,60 | 839,00 | 812,40 | 802,60 | 782,80 | 767,40 | 740,00 | 686,40 |
| σ | 1,6432 | 1,2247 | 1,8166 | 1,5166 | 1,6432 | 2,1679 | 1,9494 | 2,7019 | 1,6733 | 1,1402 | 1,2247 | 1,1402 | 1,9494 | 2,2804 | 1,1402 | 1,5811 | 1,5166 |
| V | 0,0026 | 0,0018 | 0,0025 | 0,0020 | 0,0021 | 0,0027 | 0,0024 | 0,0032 | 0,0020 | 0,0013 | 0,0015 | 0,0014 | 0,0024 | 0,0029 | 0,0015 | 0,0021 | 0,0022 |

Tabelle 7.2.2.1 - Messwerte der Beleuchtungsstärke auf der Rückseite der Bildwand

(Fortsetzung nächste Seite)

| Zeile Y+0 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 642 | 691 | 732 | 774 | 792 | 812 | 822 | 854 | 851 | 860 | 840 | 813 | 797 | 789 | 768 | 748 | 689 |
| 641 | 691 | 732 | 777 | 789 | 812 | 822 | 854 | 852 | 860 | 839 | 816 | 797 | 787 | 765 | 748 | 688 | |
| 643 | 691 | 734 | 775 | 791 | 812 | 826 | 849 | 851 | 863 | 842 | 817 | 797 | 788 | 762 | 743 | 690 | |
| 643 | 692 | 732 | 772 | 791 | 809 | 828 | 855 | 853 | 864 | 842 | 816 | 797 | 789 | 763 | 744 | 692 | |
| 643 | 692 | 732 | 775 | 793 | 809 | 827 | 859 | 851 | 864 | 844 | 815 | 801 | 790 | 765 | 739 | 690 | |
| MW | 642,40 | 691,40 | 732,40 | 774,60 | 791,20 | 810,80 | 825,00 | 854,20 | 851,60 | 862,20 | 841,40 | 815,40 | 797,80 | 788,60 | 764,60 | 744,40 | 689,80 |
| σ | 0,8944 | 0,5477 | 0,8944 | 1,8166 | 1,4832 | 1,6432 | 2,8284 | 3,5637 | 0,8944 | 2,0494 | 1,9494 | 1,5166 | 1,7889 | 1,1402 | 2,3022 | 3,7815 | 1,4832 |
| V | 0,0014 | 0,0008 | 0,0012 | 0,0023 | 0,0019 | 0,0020 | 0,0034 | 0,0042 | 0,0011 | 0,0024 | 0,0023 | 0,0019 | 0,0022 | 0,0014 | 0,0030 | 0,0051 | 0,0022 |
| Zeile Y+1 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 647 | 695 | 734 | 771 | 793 | 802 | 830 | 837 | 854 | 845 | 829 | 814 | 803 | 791 | 778 | 755 | 694 |
| 647 | 694 | 736 | 770 | 792 | 806 | 832 | 838 | 853 | 842 | 833 | 812 | 800 | 791 | 775 | 755 | 691 | |
| 648 | 694 | 737 | 770 | 789 | 808 | 831 | 845 | 850 | 844 | 834 | 812 | 800 | 792 | 776 | 754 | 696 | |
| 650 | 694 | 740 | 769 | 790 | 805 | 829 | 843 | 848 | 845 | 831 | 814 | 801 | 791 | 776 | 754 | 693 | |
| 646 | 695 | 738 | 768 | 791 | 807 | 828 | 838 | 848 | 843 | 832 | 815 | 798 | 789 | 776 | 753 | 692 | |
| MW | 647,60 | 694,40 | 737,00 | 769,60 | 791,00 | 805,60 | 830,00 | 840,20 | 850,60 | 843,80 | 831,80 | 813,40 | 800,40 | 790,80 | 776,20 | 754,20 | 693,20 |
| σ | 1,5166 | 0,5477 | 2,2361 | 1,1402 | 1,5811 | 2,3022 | 1,5811 | 3,5637 | 2,7928 | 1,3038 | 1,9235 | 1,3416 | 1,8166 | 1,0954 | 1,0954 | 0,8367 | 1,9235 |
| V | 0,0023 | 0,0008 | 0,0030 | 0,0015 | 0,0020 | 0,0029 | 0,0019 | 0,0042 | 0,0033 | 0,0015 | 0,0023 | 0,0016 | 0,0023 | 0,0014 | 0,0014 | 0,0011 | 0,0028 |
| Zeile Y+2 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 652 | 690 | 732 | 765 | 778 | 788 | 825 | 843 | 836 | 847 | 827 | 813 | 810 | 799 | 769 | 752 | 694 |
| 650 | 689 | 733 | 763 | 778 | 793 | 824 | 843 | 840 | 843 | 823 | 811 | 812 | 798 | 769 | 754 | 693 | |
| 650 | 689 | 733 | 762 | 779 | 793 | 825 | 839 | 839 | 844 | 828 | 812 | 813 | 797 | 771 | 753 | 690 | |
| 650 | 689 | 734 | 764 | 779 | 789 | 821 | 842 | 837 | 844 | 826 | 813 | 812 | 796 | 768 | 752 | 690 | |
| 650 | 688 | 734 | 764 | 776 | 790 | 825 | 839 | 838 | 844 | 825 | 815 | 813 | 798 | 769 | 753 | 692 | |
| MW | 650,40 | 689,00 | 733,20 | 763,60 | 778,00 | 790,60 | 824,00 | 841,20 | 838,00 | 844,40 | 825,80 | 812,80 | 812,00 | 797,60 | 769,20 | 752,80 | 691,80 |
| σ | 0,8944 | 0,7071 | 0,8367 | 1,1402 | 1,2247 | 2,3022 | 1,7321 | 2,0494 | 1,5811 | 1,5166 | 1,9235 | 1,4832 | 1,2247 | 1,1402 | 1,0954 | 0,8367 | 1,7889 |
| V | 0,0014 | 0,0010 | 0,0011 | 0,0015 | 0,0016 | 0,0029 | 0,0021 | 0,0024 | 0,0019 | 0,0018 | 0,0023 | 0,0018 | 0,0015 | 0,0014 | 0,0014 | 0,0011 | 0,0026 |
| Zeile Y+3 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 644 | 687 | 734 | 761 | 783 | 793 | 811 | 832 | 837 | 825 | 814 | 812 | 810 | 794 | 774 | 748 | 702 |
| 643 | 690 | 736 | 762 | 781 | 793 | 806 | 834 | 839 | 823 | 814 | 810 | 809 | 793 | 774 | 745 | 702 | |
| 643 | 689 | 736 | 757 | 775 | 789 | 806 | 834 | 835 | 824 | 816 | 807 | 810 | 793 | 774 | 747 | 701 | |
| 643 | 688 | 737 | 757 | 778 | 792 | 809 | 836 | 835 | 825 | 816 | 805 | 809 | 794 | 774 | 747 | 702 | |
| 645 | 690 | 734 | 758 | 782 | 793 | 809 | 832 | 836 | 823 | 818 | 810 | 810 | 794 | 776 | 750 | 697 | |
| MW | 643,60 | 688,80 | 735,40 | 759,00 | 779,80 | 792,00 | 808,20 | 833,60 | 836,40 | 824,00 | 815,60 | 808,80 | 809,60 | 793,60 | 774,40 | 747,40 | 700,80 |
| σ | 0,8944 | 1,3038 | 1,3416 | 2,3452 | 3,2711 | 1,7321 | 2,1679 | 1,6733 | 1,6733 | 1,0000 | 1,6733 | 2,7749 | 0,5477 | 0,5477 | 0,8944 | 1,8166 | 2,1679 |
| V | 0,0014 | 0,0019 | 0,0018 | 0,0031 | 0,0042 | 0,0022 | 0,0027 | 0,0020 | 0,0020 | 0,0012 | 0,0021 | 0,0034 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0012 | 0,0024 | 0,0031 |
| Zeile Y+4 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 654 | 690 | 726 | 752 | 770 | 791 | 809 | 823 | 823 | 814 | 813 | 800 | 803 | 783 | 770 | 745 | 705 |
| 657 | 688 | 721 | 754 | 769 | 794 | 808 | 823 | 819 | 817 | 812 | 803 | 803 | 782 | 771 | 747 | 700 | |
| 655 | 692 | 729 | 755 | 767 | 790 | 808 | 819 | 822 | 817 | 809 | 801 | 805 | 782 | 775 | 744 | 702 | |
| 650 | 690 | 726 | 755 | 769 | 791 | 809 | 818 | 823 | 814 | 811 | 802 | 804 | 779 | 775 | 744 | 699 | |
| 653 | 692 | 726 | 752 | 767 | 792 | 809 | 818 | 817 | 813 | 811 | 802 | 804 | 782 | 772 | 743 | 706 | |
| MW | 653,80 | 690,40 | 725,60 | 753,60 | 768,40 | 791,60 | 808,60 | 820,20 | 820,80 | 815,00 | 811,20 | 801,60 | 803,80 | 781,60 | 772,60 | 744,60 | 702,40 |
| σ | 2,5884 | 1,6733 | 2,8810 | 1,5166 | 1,3416 | 1,5166 | 0,5477 | 2,5884 | 2,6833 | 1,8708 | 1,4832 | 1,1402 | 0,8367 | 1,5166 | 2,3022 | 1,5166 | 3,0496 |
| V | 0,0040 | 0,0024 | 0,0040 | 0,0020 | 0,0017 | 0,0019 | 0,0007 | 0,0032 | 0,0033 | 0,0023 | 0,0018 | 0,0014 | 0,0010 | 0,0019 | 0,0030 | 0,0020 | 0,0043 |
| Zeile Y+5 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 640 | 688 | 721 | 745 | 761 | 776 | 798 | 807 | 813 | 809 | 807 | 795 | 789 | 773 | 761 | 739 | 701 |
| 640 | 689 | 718 | 740 | 756 | 779 | 801 | 809 | 812 | 810 | 808 | 796 | 789 | 776 | 765 | 741 | 696 | |
| 645 | 686 | 719 | 743 | 759 | 777 | 797 | 807 | 813 | 809 | 806 | 793 | 788 | 777 | 764 | 742 | 697 | |
| 644 | 686 | 719 | 745 | 763 | 781 | 797 | 805 | 813 | 810 | 808 | 798 | 789 | 776 | 763 | 743 | 697 | |
| 633 | 689 | 718 | 746 | 762 | 774 | 797 | 804 | 811 | 810 | 806 | 796 | 789 | 775 | 762 | 744 | 699 | |
| MW | 640,40 | 687,60 | 719,00 | 743,80 | 760,20 | 777,40 | 798,00 | 806,40 | 812,40 | 809,60 | 807,00 | 795,60 | 788,80 | 775,40 | 763,00 | 741,80 | 698,00 |
| σ | 4,7223 | 1,5166 | 1,2247 | 2,3875 | 2,7749 | 2,7019 | 1,7321 | 1,9494 | 0,8944 | 0,5477 | 1,0000 | 1,8166 | 0,4472 | 1,5166 | 1,5811 | 1,9235 | 2,0000 |
| V | 0,0074 | 0,0022 | 0,0017 | 0,0032 | 0,0037 | 0,0035 | 0,0022 | 0,0024 | 0,0011 | 0,0007 | 0,0012 | 0,0023 | 0,0006 | 0,0020 | 0,0021 | 0,0026 | 0,0029 |
| Zeile Y+6 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 641 | 684 | 716 | 732 | 753 | 763 | 784 | 793 | 796 | 792 | 792 | 774 | 772 | 759 | 744 | 735 | 701 |
| 641 | 684 | 716 | 732 | 750 | 764 | 786 | 793 | 796 | 791 | 793 | 779 | 773 | 760 | 743 | 733 | 704 | |
| 643 | 683 | 717 | 732 | 754 | 761 | 788 | 793 | 796 | 796 | 790 | 776 | 772 | 753 | 743 | 731 | 701 | |
| 640 | 684 | 715 | 731 | 752 | 762 | 784 | 789 | 796 | 794 | 790 | 778 | 773 | 757 | 739 | 735 | 700 | |
| 640 | 682 | 717 | 732 | 751 | 765 | 787 | 790 | 793 | 797 | 796 | 778 | 774 | 758 | 742 | 734 | 705 | |
| MW | 641,00 | 683,40 | 716,20 | 731,80 | 752,00 | 763,00 | 785,80 | 791,60 | 795,40 | 794,00 | 792,20 | 777,00 | 772,80 | 757,40 | 742,20 | 733,60 | 702,20 |
| σ | 1,2247 | 0,8944 | 0,8367 | 0,4472 | 1,5811 | 1,5811 | 1,7889 | 1,9494 | 1,3416 | 2,5495 | 2,4900 | 2,0000 | 0,8367 | 2,7019 | 1,9235 | 1,6733 | 2,1679 |
| V | 0,0019 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0006 | 0,0021 | 0,0021 | 0,0023 | 0,0025 | 0,0017 | 0,0032 | 0,0031 | 0,0026 | 0,0011 | 0,0036 | 0,0026 | 0,0023 | 0,0031 |

Leuchtdichte der weißen, homogenen Fläche in Transmission

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Zeile Y-6 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 537,9 | 604,8 | 636,4 | 650,9 | 672,7 | 695,0 | 704,0 | 725,1 | 737,1 | 739,6 | 729,9 | 698,0 | 670,2 | 652,6 | 628,3 | 595,5 | 542,1 | |
| | 537,9 | 599,8 | 630,9 | 649,6 | 669,4 | 693,3 | 704,0 | 723,8 | 734,9 | 735,1 | 728,3 | 698,3 | 667,9 | 651,6 | 626,1 | 596,5 | 544,9 | |
| | 535,6 | 599,0 | 630,4 | 647,9 | 670,9 | 693,3 | 703,5 | 723,3 | 734,4 | 737,4 | 728,3 | 696,8 | 668,9 | 653,4 | 628,1 | 594,8 | 544,1 | |
| | 536,9 | 596,3 | 632,1 | 649,4 | 670,2 | 694,3 | 701,8 | 723,1 | 736,4 | 737,4 | 728,3 | 697,3 | 668,9 | 652,9 | 627,8 | 596,0 | 543,9 | |
| | 534,6 | 601,3 | 632,6 | 647,1 | 699,2 | 696,0 | 703,3 | 724,1 | 737,6 | 737,1 | 727,6 | 696,5 | 669,4 | 652,6 | 629,9 | 594,5 | 540,1 | |
| MW | 536,58 | 600,24 | 632,48 | 648,98 | 676,48 | 694,38 | 703,32 | 723,88 | 736,48 | 737,32 | 728,48 | 697,38 | 669,06 | 652,62 | 628,04 | 595,46 | 543,02 | |
| σ | 1,4550 | 3,1294 | 2,3637 | 1,4957 | 12,7592 | 1,1563 | 0,9039 | 0,7887 | 1,0183 | 1,5959 | 0,8497 | 0,7662 | 0,8385 | 0,6573 | 1,3557 | 0,8264 | 1,9267 | |
| V | 0,0027 | 0,0052 | 0,0037 | 0,0023 | 0,0189 | 0,0017 | 0,0013 | 0,0011 | 0,0014 | 0,0022 | 0,0012 | 0,0011 | 0,0013 | 0,0010 | 0,0022 | 0,0014 | 0,0035 | |
| Zeile Y-5 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 575,0 | 641,1 | 675,0 | 699,3 | 706,0 | 725,1 | 746,6 | 765,4 | 789,5 | 796,0 | 777,2 | 749,4 | 724,6 | 698,3 | 667,9 | 637,4 | 587,0 | |
| | 576,5 | 644,6 | 676,2 | 699,8 | 708,8 | 723,3 | 746,9 | 766,2 | 788,0 | 795,3 | 778,2 | 748,4 | 722,8 | 698,0 | 668,4 | 637,1 | 586,7 | |
| | 579,5 | 643,9 | 676,2 | 699,8 | 708,8 | 725,6 | 746,9 | 766,2 | 787,7 | 796,5 | 779,0 | 750,1 | 723,8 | 697,8 | 667,9 | 637,9 | 585,6 | |
| | 578,5 | 645,1 | 677,2 | 699,5 | 707,3 | 725,6 | 747,4 | 766,7 | 786,5 | 796,5 | 777,5 | 750,9 | 723,6 | 700,0 | 668,2 | 637,9 | 586,8 | |
| | 579,0 | 644,1 | 676,7 | 699,5 | 708,5 | 725,8 | 748,4 | 766,2 | 787,5 | 795,3 | 779,5 | 749,6 | 722,8 | 704,0 | 668,2 | 637,6 | 588,5 | |
| MW | 577,70 | 643,76 | 676,26 | 699,58 | 707,88 | 725,08 | 747,24 | 766,14 | 787,84 | 795,92 | 778,28 | 749,68 | 723,52 | 699,62 | 668,12 | 637,58 | 586,92 | |
| σ | 1,8908 | 1,5582 | 0,8173 | 0,2168 | 1,2194 | 1,0281 | 0,7092 | 0,4669 | 1,0854 | 0,6017 | 0,9731 | 0,9203 | 0,7563 | 2,5985 | 0,2168 | 0,3421 | 1,0378 | |
| V | 0,0033 | 0,0024 | 0,0012 | 0,0003 | 0,0017 | 0,0014 | 0,0009 | 0,0006 | 0,0014 | 0,0008 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0010 | 0,0037 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0018 | |
| Zeile Y-4 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 620,1 | 684,5 | 721,6 | 739,6 | 753,1 | 772,4 | 781,7 | 807,3 | 821,8 | 819,3 | 807,3 | 781,5 | 756,2 | 729,6 | 693,8 | 666,9 | 616,8 | |
| | 622,3 | 682,5 | 719,3 | 736,6 | 745,4 | 766,2 | 779,0 | 805,5 | 821,1 | 819,3 | 804,0 | 781,2 | 758,2 | 732,4 | 699,0 | 666,2 | 621,1 | |
| | 621,20 | 683,50 | 720,45 | 738,10 | 749,25 | 769,30 | 780,35 | 806,40 | 821,45 | 819,30 | 805,65 | 781,35 | 757,20 | 731,00 | 696,40 | 666,55 | 618,95 | |
| | σ | 1,5556 | 1,4142 | 1,6263 | 2,1213 | 5,4447 | 4,3841 | 1,9092 | 1,2728 | 0,4950 | 0,0000 | 2,3335 | 0,2121 | 1,4142 | 1,9799 | 3,6770 | 0,4950 | 3,0406 |
| V | 0,0025 | 0,0021 | 0,0023 | 0,0029 | 0,0073 | 0,0057 | 0,0024 | 0,0016 | 0,0006 | 0,0000 | 0,0029 | 0,0003 | 0,0019 | 0,0027 | 0,0053 | 0,0007 | 0,0049 | |
| Zeile Y-3 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 646,4 | 705,5 | 750,1 | 778,5 | 780,2 | 802,5 | 825,6 | 836,9 | 845,6 | 841,6 | 834,4 | 810,3 | 777,5 | 762,2 | 725,6 | 700,3 | 645,4 | |
| | 648,4 | 706,8 | 751,4 | 772,9 | 777,7 | 799,5 | 821,6 | 834,1 | 839,9 | 840,1 | 833,1 | 803,0 | 773,2 | 755,7 | 724,1 | 701,5 | 645,1 | |
| | MW | 647,40 | 706,15 | 750,75 | 775,70 | 778,95 | 801,00 | 823,60 | 835,50 | 842,75 | 840,85 | 833,75 | 806,65 | 775,35 | 758,95 | 724,85 | 700,90 | 645,25 |
| | σ | 1,4142 | 0,9192 | 0,9192 | 3,9598 | 1,7678 | 2,1213 | 2,8284 | 1,9799 | 4,0305 | 1,0607 | 0,9192 | 5,1619 | 3,0406 | 4,5962 | 1,0607 | 0,8485 | 0,2121 |
| V | 0,0022 | 0,0013 | 0,0012 | 0,0051 | 0,0023 | 0,0026 | 0,0034 | 0,0024 | 0,0048 | 0,0013 | 0,0011 | 0,0064 | 0,0039 | 0,0061 | 0,0015 | 0,0012 | 0,0003 | |
| Zeile Y-2 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 671,4 | 736,9 | 770,4 | 788,0 | 808,5 | 822,3 | 845,1 | 870,0 | 884,5 | 873,7 | 857,9 | 831,9 | 800,3 | 777,7 | 750,1 | 715,8 | 668,9 | |
| | 681,2 | 738,6 | 771,9 | 790,0 | 808,8 | 822,1 | 844,1 | 868,5 | 884,0 | 875,0 | 859,2 | 836,4 | 801,8 | 778,2 | 749,9 | 711,1 | 664,9 | |
| | MW | 676,30 | 737,75 | 771,15 | 789,00 | 808,65 | 822,20 | 844,60 | 869,25 | 884,25 | 874,35 | 858,55 | 834,15 | 801,05 | 777,95 | 750,00 | 713,45 | 666,90 |
| | σ | 6,9296 | 1,2021 | 1,0607 | 1,4142 | 0,2121 | 0,1414 | 0,7071 | 1,0607 | 0,3536 | 0,9192 | 0,9192 | 3,1820 | 1,0607 | 0,3536 | 0,1414 | 3,3234 | 2,8284 |
| V | 0,0102 | 0,0016 | 0,0014 | 0,0018 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0008 | 0,0012 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0011 | 0,0038 | 0,0013 | 0,0005 | 0,0002 | 0,0047 | 0,0042 | |
| Zeile Y-1 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 699,0 | 749,1 | 777,2 | 807,8 | 824,6 | 854,9 | 861,2 | 886,5 | 894,8 | 903,5 | 877,5 | 836,4 | 804,8 | 784,0 | 765,4 | 732,6 | 689,2 | |
| | 697,5 | 754,4 | 779,7 | 811,1 | 824,1 | 858,4 | 861,7 | 883,5 | 889,7 | 901,8 | 881,0 | 842,1 | 807,3 | 780,2 | 763,9 | 730,6 | 683,7 | |
| | MW | 698,25 | 751,75 | 778,45 | 809,45 | 824,35 | 856,65 | 861,45 | 885,00 | 892,25 | 902,65 | 879,25 | 839,25 | 806,05 | 782,10 | 764,65 | 731,60 | 686,45 |
| | σ | 1,0607 | 3,7477 | 1,7678 | 2,3335 | 0,3536 | 2,4749 | 0,3536 | 2,1213 | 3,6062 | 1,2021 | 2,4749 | 4,0305 | 1,7678 | 2,6870 | 1,0607 | 1,4142 | 3,8891 |
| V | 0,0015 | 0,0050 | 0,0023 | 0,0029 | 0,0004 | 0,0029 | 0,0004 | 0,0024 | 0,0040 | 0,0013 | 0,0028 | 0,0048 | 0,0022 | 0,0034 | 0,0014 | 0,0019 | 0,0057 | |
| Zeile Y+0 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 694,3 | 750,9 | 785,5 | 809,5 | 824,6 | 855,4 | 865,4 | 894,3 | 895,8 | 887,5 | 873,5 | 837,1 | 796,5 | 787,0 | 759,4 | 730,6 | 683,2 | |
| | 699,8 | 755,4 | 788,0 | 813,3 | 828,1 | 858,7 | 864,9 | 897,0 | 897,3 | 889,2 | 874,0 | 840,6 | 798,3 | 790,0 | 762,2 | 732,6 | 685,0 | |
| | MW | 697,05 | 753,15 | 786,75 | 811,40 | 826,35 | 857,05 | 865,15 | 895,65 | 896,55 | 888,35 | 873,75 | 838,85 | 797,40 | 788,50 | 760,80 | 731,60 | 684,10 |
| | σ | 3,8891 | 3,1820 | 1,7678 | 2,6870 | 2,4749 | 2,3335 | 0,3536 | 1,9092 | 1,0607 | 1,2021 | 0,3536 | 2,4749 | 1,2728 | 2,1213 | 1,9799 | 1,4142 | 1,2728 |
| V | 0,0056 | 0,0042 | 0,0022 | 0,0033 | 0,0030 | 0,0027 | 0,0004 | 0,0021 | 0,0012 | 0,0014 | 0,0004 | 0,0030 | 0,0016 | 0,0027 | 0,0026 | 0,0019 | 0,0019 | |
| Zeile Y+1 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 693,0 | 750,1 | 777,2 | 799,8 | 818,8 | 845,4 | 859,9 | 873,5 | 887,2 | 881,0 | 859,4 | 827,3 | 799,8 | 783,2 | 762,7 | 732,1 | 684,0 | |
| | 692,3 | 754,1 | 784,2 | 802,8 | 823,8 | 845,6 | 858,2 | 876,5 | 892,0 | 879,7 | 859,4 | 830,9 | 800,5 | 786,5 | 765,2 | 733,1 | 684,2 | |
| | MW | 692,65 | 752,10 | 780,70 | 801,30 | 821,30 | 845,50 | 859,05 | 875,00 | 889,60 | 880,35 | 859,40 | 829,10 | 800,15 | 784,85 | 763,95 | 732,60 | 684,10 |
| | σ | 0,4950 | 2,8284 | 4,9497 | 2,1213 | 3,5355 | 0,1414 | 1,2021 | 2,1213 | 3,3941 | 0,9192 | 0,0000 | 2,5456 | 0,4950 | 2,3335 | 1,7678 | 0,7071 | 0,1414 |
| V | 0,0007 | 0,0038 | 0,0063 | 0,0026 | 0,0043 | 0,0002 | 0,0014 | 0,0024 | 0,0038 | 0,0010 | 0,0000 | 0,0031 | 0,0006 | 0,0030 | 0,0023 | 0,0010 | 0,0002 | |

Tabelle 7.2.2.2 - Messwerte der Leuchtdichte der weißen, homogenen Fläche in Transmission
(Fortsetzung nächste Seite)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Zeile Y+2 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 673,7 | 727,8 | 760,4 | 775,7 | 788,0 | 804,5 | 836,9 | 857,4 | 861,7 | 865,4 | 837,6 | 808,3 | 785,2 | 772,9 | 743,1 | 713,8 | 668,9 |
| | 683,5 | 734,9 | 769,4 | 785,7 | 797,3 | 815,1 | 845,4 | 867,5 | 872,2 | 874,2 | 846,6 | 814,3 | 789,5 | 776,7 | 745,9 | 716,6 | 668,7 |
| MV | 678,60 | 731,35 | 764,90 | 780,70 | 792,65 | 809,80 | 841,15 | 862,45 | 866,95 | 869,80 | 842,10 | 811,30 | 787,35 | 774,80 | 744,50 | 715,20 | 668,80 |
| σ | 6,9296 | 5,0205 | 6,3640 | 7,0711 | 6,5761 | 7,4953 | 6,0104 | 7,1418 | 7,4246 | 6,2225 | 6,3640 | 4,2426 | 3,0406 | 2,6870 | 1,9799 | 1,9799 | 0,1414 |
| V | 0,0102 | 0,0069 | 0,0083 | 0,0091 | 0,0083 | 0,0093 | 0,0071 | 0,0083 | 0,0086 | 0,0072 | 0,0076 | 0,0052 | 0,0039 | 0,0035 | 0,0027 | 0,0028 | 0,0002 |
| Zeile Y+3 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 647,6 | 700,3 | 733,1 | 748,4 | 762,2 | 780,7 | 793,0 | 818,2 | 833,1 | 819,6 | 802,0 | 781,0 | 759,4 | 746,4 | 719,1 | 688,5 | 659,7 |
| | 654,9 | 707,0 | 741,9 | 753,9 | 771,4 | 789,0 | 801,5 | 827,3 | 837,9 | 822,3 | 805,8 | 785,5 | 762,9 | 753,4 | 721,1 | 692,0 | 661,9 |
| MV | 651,25 | 703,65 | 737,50 | 751,15 | 766,80 | 784,85 | 797,25 | 822,75 | 835,50 | 820,95 | 803,90 | 783,25 | 761,15 | 749,90 | 720,10 | 690,25 | 660,80 |
| σ | 5,1619 | 4,7376 | 6,2225 | 3,8891 | 6,5054 | 5,8690 | 6,0104 | 6,4347 | 3,3941 | 1,9092 | 2,6870 | 3,1820 | 2,4749 | 4,9497 | 1,4142 | 2,4749 | 1,5556 |
| V | 0,0079 | 0,0067 | 0,0084 | 0,0052 | 0,0085 | 0,0075 | 0,0075 | 0,0078 | 0,0041 | 0,0023 | 0,0033 | 0,0041 | 0,0033 | 0,0066 | 0,0020 | 0,0036 | 0,0024 |
| Zeile Y+4 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 634,1 | 682,5 | 705,5 | 721,8 | 735,4 | 755,2 | 771,4 | 785,0 | 793,0 | 798,0 | 783,5 | 758,9 | 743,6 | 722,8 | 698,3 | 673,0 | 635,9 |
| | 635,9 | 682,5 | 707,3 | 724,8 | 737,4 | 754,7 | 770,4 | 787,5 | 791,5 | 796,0 | 781,2 | 760,4 | 743,1 | 727,8 | 700,8 | 673,5 | 636,4 |
| MV | 635,00 | 682,50 | 706,40 | 723,30 | 736,40 | 754,95 | 770,90 | 786,25 | 792,25 | 797,00 | 782,35 | 759,65 | 743,35 | 725,30 | 699,55 | 673,25 | 636,15 |
| σ | 1,2728 | 0,0000 | 1,2728 | 2,1213 | 1,4142 | 0,3536 | 0,7071 | 1,7678 | 1,0607 | 1,4142 | 1,6263 | 1,0607 | 0,3536 | 3,5355 | 1,7678 | 0,3536 | 0,3536 |
| V | 0,0020 | 0,0000 | 0,0018 | 0,0029 | 0,0019 | 0,0005 | 0,0009 | 0,0022 | 0,0013 | 0,0018 | 0,0021 | 0,0014 | 0,0005 | 0,0049 | 0,0025 | 0,0005 | 0,0006 |
| Zeile Y+5 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 597,3 | 652,4 | 678,7 | 692,3 | 702,5 | 718,6 | 731,9 | 752,1 | 762,9 | 766,4 | 754,1 | 735,9 | 710,3 | 698,5 | 678,0 | 651,1 | 606,8 |
| | 596,3 | 652,9 | 678,0 | 692,3 | 701,8 | 720,3 | 730,6 | 747,4 | 758,7 | 763,4 | 752,1 | 736,1 | 712,8 | 698,0 | 676,0 | 647,6 | 604,8 |
| MV | 596,80 | 652,65 | 678,35 | 692,30 | 702,15 | 719,45 | 731,25 | 749,75 | 760,80 | 764,90 | 753,10 | 736,00 | 711,55 | 698,25 | 677,00 | 649,35 | 605,80 |
| σ | 0,7071 | 0,3536 | 0,4950 | 0,0000 | 0,4950 | 1,2021 | 0,9192 | 3,3234 | 2,9698 | 2,1213 | 1,4142 | 0,1414 | 1,7678 | 0,3536 | 1,4142 | 2,4749 | 1,4142 |
| V | 0,0012 | 0,0005 | 0,0007 | 0,0000 | 0,0007 | 0,0017 | 0,0013 | 0,0044 | 0,0039 | 0,0028 | 0,0019 | 0,0002 | 0,0025 | 0,0005 | 0,0021 | 0,0038 | 0,0023 |
| Zeile Y+6 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| | 563,2 | 621,1 | 650,1 | 662,7 | 674,7 | 686,2 | 698,5 | 700,8 | 719,3 | 725,6 | 717,1 | 695,3 | 680,0 | 665,2 | 639,9 | 624,1 | 580,5 |
| | 563,4 | 619,8 | 650,1 | 659,9 | 674,2 | 686,2 | 697,0 | 702,5 | 715,8 | 728,6 | 722,1 | 698,3 | 682,0 | 666,7 | 642,1 | 628,3 | 583,5 |
| MV | 563,30 | 620,45 | 650,10 | 661,30 | 674,45 | 686,20 | 697,75 | 701,65 | 717,55 | 727,10 | 719,60 | 696,80 | 681,00 | 665,95 | 641,00 | 626,20 | 582,00 |
| σ | 0,1414 | 0,9192 | 0,0000 | 1,9799 | 0,3536 | 0,0000 | 1,0607 | 1,2021 | 2,4749 | 2,1213 | 3,5355 | 2,1213 | 1,4142 | 1,0607 | 1,5556 | 2,9698 | 2,1213 |
| V | 0,0003 | 0,0015 | 0,0000 | 0,0030 | 0,0005 | 0,0000 | 0,0015 | 0,0017 | 0,0034 | 0,0029 | 0,0049 | 0,0030 | 0,0021 | 0,0016 | 0,0024 | 0,0047 | 0,0036 |

Berechnete Werte des Transmissionsgrades

| t | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X+0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Y-6 | 0,8362 | 0,8590 | 0,8504 | 0,8315 | 0,8243 | 0,8326 | 0,8263 | 0,8225 | 0,8267 | 0,8323 | 0,8290 | 0,8148 | 0,7917 | 0,7829 | 0,7776 | 0,7633 | 0,7453 |
| Y-5 | 0,8733 | 0,8787 | 0,8757 | 0,8595 | 0,8416 | 0,8548 | 0,8479 | 0,8522 | 0,8586 | 0,8676 | 0,8650 | 0,8479 | 0,8239 | 0,8156 | 0,7968 | 0,7868 | 0,7863 |
| Y-4 | 0,9271 | 0,9276 | 0,9116 | 0,8905 | 0,8833 | 0,8871 | 0,8835 | 0,8793 | 0,8894 | 0,8826 | 0,8871 | 0,8631 | 0,8485 | 0,8440 | 0,8288 | 0,8250 | 0,8245 |
| Y-3 | 0,9504 | 0,9474 | 0,9336 | 0,9237 | 0,9125 | 0,9136 | 0,9156 | 0,9029 | 0,9016 | 0,9076 | 0,9104 | 0,8886 | 0,8726 | 0,8788 | 0,8696 | 0,8564 | 0,8606 |
| Y-2 | 0,9801 | 0,9687 | 0,9529 | 0,9343 | 0,9258 | 0,9304 | 0,9325 | 0,9286 | 0,9380 | 0,9281 | 0,9238 | 0,9153 | 0,8943 | 0,8932 | 0,8849 | 0,8741 | 0,8785 |
| Y-1 | 0,9936 | 0,9779 | 0,9672 | 0,9465 | 0,9369 | 0,9449 | 0,9434 | 0,9374 | 0,9407 | 0,9426 | 0,9407 | 0,9273 | 0,9015 | 0,8968 | 0,8944 | 0,8874 | 0,8977 |
| Y+0 | 0,9740 | 0,9778 | 0,9642 | 0,9402 | 0,9375 | 0,9488 | 0,9413 | 0,9412 | 0,9450 | 0,9248 | 0,9321 | 0,9234 | 0,8971 | 0,8975 | 0,8931 | 0,8822 | 0,8902 |
| Y+1 | 0,9600 | 0,9722 | 0,9508 | 0,9346 | 0,9320 | 0,9421 | 0,9290 | 0,9348 | 0,9388 | 0,9365 | 0,9274 | 0,9149 | 0,8973 | 0,8908 | 0,8834 | 0,8719 | 0,8858 |
| Y+2 | 0,9365 | 0,9528 | 0,9364 | 0,9177 | 0,9145 | 0,9194 | 0,9163 | 0,9203 | 0,9286 | 0,9246 | 0,9153 | 0,8959 | 0,8703 | 0,8719 | 0,8688 | 0,8528 | 0,8678 |
| Y+3 | 0,9083 | 0,9169 | 0,9002 | 0,8883 | 0,8826 | 0,8895 | 0,8854 | 0,8859 | 0,8966 | 0,8943 | 0,8847 | 0,8692 | 0,8439 | 0,8482 | 0,8347 | 0,8290 | 0,8464 |
| Y+4 | 0,8718 | 0,8873 | 0,8738 | 0,8615 | 0,8602 | 0,8560 | 0,8557 | 0,8604 | 0,8664 | 0,8778 | 0,8657 | 0,8506 | 0,8301 | 0,8329 | 0,8127 | 0,8116 | 0,8129 |
| Y+5 | 0,8365 | 0,8520 | 0,8469 | 0,8354 | 0,8291 | 0,8307 | 0,8225 | 0,8345 | 0,8406 | 0,8480 | 0,8376 | 0,8304 | 0,8097 | 0,8083 | 0,7964 | 0,7857 | 0,7790 |
| Y+6 | 0,7888 | 0,8149 | 0,8148 | 0,8111 | 0,8050 | 0,8072 | 0,7970 | 0,7956 | 0,8097 | 0,8220 | 0,8153 | 0,8050 | 0,7910 | 0,7892 | 0,7752 | 0,7662 | 0,7440 |

Tabelle 7.2.2.3 - Berechnete Werte des Transmissionsgrades

7.2.3 Modulation

Leuchtdichte der schwarzen, homogenen Fläche in Transmission

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Zeile Y-6 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 2,614 | 2,896 | 3,132 | 3,249 | 3,360 | 3,497 | 3,639 | 3,883 | 3,735 | 3,722 | 3,641 | 3,487 | 3,291 | 3,130 | 3,040 | 2,853 | 2,607 | |
| | 2,533 | 2,906 | 3,139 | 3,249 | 3,338 | 3,490 | 3,620 | 3,896 | 3,723 | 3,712 | 3,619 | 3,486 | 3,298 | 3,172 | 3,034 | 2,866 | 2,615 | |
| | MW | 2,57 | 2,90 | 3,14 | 3,25 | 3,35 | 3,49 | 3,63 | 3,89 | 3,73 | 3,72 | 3,63 | 3,49 | 3,29 | 3,15 | 3,04 | 2,86 | 2,61 |
| | σ | 0,0573 | 0,0071 | 0,0049 | 0,0000 | 0,0156 | 0,0049 | 0,0134 | 0,0092 | 0,0085 | 0,0071 | 0,0156 | 0,0007 | 0,0049 | 0,0297 | 0,0042 | 0,0092 | 0,0057 |
| V | 0,0223 | 0,0024 | 0,0016 | 0,0000 | 0,0046 | 0,0014 | 0,0037 | 0,0024 | 0,0023 | 0,0019 | 0,0043 | 0,0002 | 0,0015 | 0,0094 | 0,0014 | 0,0032 | 0,0022 | |
| Zeile Y-5 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 2,845 | 3,199 | 3,414 | 3,603 | 3,682 | 3,860 | 3,935 | 4,085 | 4,128 | 4,178 | 4,008 | 3,862 | 3,625 | 3,475 | 3,284 | 3,056 | 2,856 | |
| | 2,857 | 3,201 | 3,421 | 3,599 | 3,698 | 3,862 | 3,929 | 4,090 | 4,139 | 4,176 | 4,006 | 3,860 | 3,619 | 3,476 | 3,277 | 3,065 | 2,852 | |
| | MW | 2,85 | 3,20 | 3,42 | 3,60 | 3,69 | 3,86 | 3,93 | 4,09 | 4,13 | 4,18 | 4,01 | 3,86 | 3,62 | 3,48 | 3,28 | 3,06 | 2,85 |
| | σ | 0,0085 | 0,0014 | 0,0049 | 0,0028 | 0,0113 | 0,0014 | 0,0042 | 0,0035 | 0,0078 | 0,0014 | 0,0014 | 0,0014 | 0,0042 | 0,0007 | 0,0049 | 0,0064 | 0,0028 |
| V | 0,0030 | 0,0004 | 0,0014 | 0,0008 | 0,0031 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0009 | 0,0019 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0012 | 0,0002 | 0,0015 | 0,0021 | 0,0010 | |
| Zeile Y-4 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,015 | 3,463 | 3,677 | 3,834 | 3,957 | 4,106 | 4,217 | 4,364 | 4,402 | 4,331 | 4,229 | 4,103 | 3,919 | 3,729 | 3,533 | 3,288 | 3,040 | |
| | 3,030 | 3,458 | 3,671 | 3,826 | 3,962 | 4,105 | 4,214 | 4,366 | 4,399 | 4,337 | 4,248 | 4,102 | 3,925 | 3,728 | 3,516 | 3,289 | 3,055 | |
| | MW | 3,02 | 3,46 | 3,67 | 3,83 | 3,96 | 4,11 | 4,22 | 4,37 | 4,40 | 4,33 | 4,24 | 4,10 | 3,92 | 3,73 | 3,52 | 3,29 | 3,05 |
| | σ | 0,0106 | 0,0035 | 0,0042 | 0,0057 | 0,0035 | 0,0007 | 0,0021 | 0,0014 | 0,0021 | 0,0042 | 0,0134 | 0,0007 | 0,0042 | 0,0007 | 0,0120 | 0,0007 | 0,0106 |
| V | 0,0035 | 0,0010 | 0,0012 | 0,0015 | 0,0009 | 0,0002 | 0,0005 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0010 | 0,0032 | 0,0002 | 0,0011 | 0,0002 | 0,0034 | 0,0002 | 0,0035 | |
| Zeile Y-3 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,229 | 3,641 | 3,867 | 4,058 | 4,219 | 4,349 | 4,494 | 4,615 | 4,652 | 4,627 | 4,504 | 4,274 | 4,073 | 3,948 | 3,691 | 3,527 | 3,197 | |
| | 3,229 | 3,642 | 3,871 | 4,071 | 4,223 | 4,351 | 4,497 | 4,616 | 4,654 | 4,632 | 4,517 | 4,279 | 4,074 | 3,941 | 3,687 | 3,529 | 3,198 | |
| | MW | 3,23 | 3,64 | 3,87 | 4,06 | 4,22 | 4,35 | 4,50 | 4,62 | 4,65 | 4,63 | 4,51 | 4,28 | 4,07 | 3,94 | 3,69 | 3,53 | 3,20 |
| | σ | 0,0000 | 0,0007 | 0,0028 | 0,0092 | 0,0028 | 0,0014 | 0,0021 | 0,0007 | 0,0014 | 0,0035 | 0,0092 | 0,0035 | 0,0007 | 0,0049 | 0,0028 | 0,0014 | 0,0007 |
| V | 0,0000 | 0,0002 | 0,0007 | 0,0023 | 0,0007 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0008 | 0,0020 | 0,0008 | 0,0002 | 0,0013 | 0,0008 | 0,0004 | 0,0002 | |
| Zeile Y-2 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,367 | 3,859 | 4,090 | 4,244 | 4,456 | 4,550 | 4,711 | 4,864 | 4,950 | 4,884 | 4,789 | 4,591 | 4,320 | 4,154 | 3,951 | 3,759 | 3,479 | |
| | 3,370 | 3,872 | 4,091 | 4,238 | 4,462 | 4,541 | 4,715 | 4,876 | 4,958 | 4,868 | 4,784 | 4,594 | 4,317 | 4,164 | 3,942 | 3,759 | 3,481 | |
| | MW | 3,37 | 3,87 | 4,09 | 4,24 | 4,46 | 4,55 | 4,71 | 4,87 | 4,95 | 4,88 | 4,79 | 4,59 | 4,32 | 4,16 | 3,95 | 3,76 | 3,48 |
| | σ | 0,0021 | 0,0092 | 0,0007 | 0,0042 | 0,0042 | 0,0064 | 0,0028 | 0,0085 | 0,0057 | 0,0113 | 0,0035 | 0,0021 | 0,0021 | 0,0071 | 0,0064 | 0,0000 | 0,0014 |
| V | 0,0006 | 0,0024 | 0,0002 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0014 | 0,0006 | 0,0017 | 0,0011 | 0,0023 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0017 | 0,0016 | 0,0000 | 0,0004 | |
| Zeile Y-1 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,540 | 3,960 | 4,160 | 4,305 | 4,535 | 4,711 | 4,799 | 4,973 | 5,065 | 5,091 | 5,005 | 4,720 | 4,419 | 4,241 | 4,069 | 3,854 | 3,552 | |
| | 3,550 | 3,971 | 4,164 | 4,310 | 4,536 | 4,717 | 4,821 | 4,998 | 5,070 | 5,085 | 5,009 | 4,720 | 4,419 | 4,237 | 4,054 | 3,858 | 3,548 | |
| | MW | 3,55 | 3,97 | 4,16 | 4,31 | 4,54 | 4,71 | 4,81 | 4,99 | 5,07 | 5,09 | 5,01 | 4,72 | 4,42 | 4,24 | 4,06 | 3,86 | 3,55 |
| | σ | 0,0071 | 0,0078 | 0,0028 | 0,0035 | 0,0007 | 0,0042 | 0,0156 | 0,0177 | 0,0035 | 0,0042 | 0,0028 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0028 | 0,0106 | 0,0028 | 0,0028 |
| V | 0,0020 | 0,0020 | 0,0007 | 0,0008 | 0,0002 | 0,0009 | 0,0032 | 0,0035 | 0,0007 | 0,0008 | 0,0006 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0007 | 0,0026 | 0,0007 | 0,0008 | |
| Zeile Y+0 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,650 | 4,033 | 4,201 | 4,402 | 4,522 | 4,774 | 4,944 | 5,045 | 5,058 | 4,999 | 4,915 | 4,672 | 4,405 | 4,259 | 4,066 | 3,887 | 3,584 | |
| | 3,639 | 4,007 | 4,207 | 4,409 | 4,517 | 4,773 | 4,935 | 5,044 | 5,046 | 5,001 | 4,918 | 4,666 | 4,377 | 4,246 | 4,061 | 3,883 | 3,594 | |
| | MW | 3,64 | 4,02 | 4,20 | 4,41 | 4,52 | 4,77 | 4,94 | 5,04 | 5,05 | 5,00 | 4,92 | 4,67 | 4,39 | 4,25 | 4,06 | 3,89 | 3,59 |
| | σ | 0,0078 | 0,0184 | 0,0042 | 0,0049 | 0,0035 | 0,0007 | 0,0064 | 0,0007 | 0,0085 | 0,0014 | 0,0021 | 0,0042 | 0,0198 | 0,0092 | 0,0035 | 0,0028 | 0,0071 |
| V | 0,0021 | 0,0046 | 0,0010 | 0,0011 | 0,0008 | 0,0001 | 0,0013 | 0,0001 | 0,0017 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0009 | 0,0045 | 0,0022 | 0,0009 | 0,0007 | 0,0020 | |
| Zeile Y+1 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,647 | 4,029 | 4,239 | 4,470 | 4,644 | 4,803 | 4,915 | 5,044 | 5,143 | 5,088 | 4,873 | 4,675 | 4,465 | 4,283 | 4,129 | 3,947 | 3,638 | |
| | 3,647 | 4,043 | 4,237 | 4,479 | 4,649 | 4,791 | 4,894 | 5,029 | 5,157 | 5,084 | 4,873 | 4,699 | 4,466 | 4,287 | 4,150 | 3,948 | 3,613 | |
| | MW | 3,65 | 4,04 | 4,24 | 4,47 | 4,65 | 4,80 | 4,90 | 5,04 | 5,15 | 5,09 | 4,87 | 4,69 | 4,47 | 4,29 | 4,14 | 3,95 | 3,63 |
| | σ | 0,0000 | 0,0099 | 0,0014 | 0,0064 | 0,0035 | 0,0085 | 0,0148 | 0,0106 | 0,0099 | 0,0028 | 0,0000 | 0,0170 | 0,0007 | 0,0028 | 0,0148 | 0,0007 | 0,0177 |
| V | 0,0000 | 0,0025 | 0,0003 | 0,0014 | 0,0008 | 0,0018 | 0,0030 | 0,0021 | 0,0019 | 0,0006 | 0,0000 | 0,0036 | 0,0002 | 0,0007 | 0,0036 | 0,0002 | 0,0049 | |
| Zeile Y+2 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,592 | 3,968 | 4,207 | 4,350 | 4,504 | 4,655 | 4,819 | 4,928 | 5,033 | 5,008 | 4,844 | 4,637 | 4,394 | 4,258 | 4,065 | 3,857 | 3,566 | |
| | 3,594 | 4,013 | 4,213 | 4,358 | 4,509 | 4,646 | 4,815 | 4,927 | 5,033 | 5,017 | 4,851 | 4,640 | 4,415 | 4,260 | 4,061 | 3,862 | 3,570 | |
| | MW | 3,59 | 3,99 | 4,21 | 4,35 | 4,51 | 4,65 | 4,82 | 4,93 | 5,03 | 5,01 | 4,85 | 4,64 | 4,40 | 4,26 | 4,06 | 3,86 | 3,57 |
| | σ | 0,0014 | 0,0318 | 0,0042 | 0,0057 | 0,0035 | 0,0064 | 0,0028 | 0,0007 | 0,0000 | 0,0064 | 0,0049 | 0,0021 | 0,0148 | 0,0014 | 0,0028 | 0,0035 | 0,0028 |
| V | 0,0004 | 0,0080 | 0,0010 | 0,0013 | 0,0008 | 0,0014 | 0,0006 | 0,0001 | 0,0000 | 0,0013 | 0,0010 | 0,0005 | 0,0034 | 0,0003 | 0,0007 | 0,0009 | 0,0008 | |

Tabelle 7.2.3.1 - Messwerte der Leuchtdichte der schwarzen, homogenen Fläche in Transmission
(Fortsetzung nächste Seite)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Zeile Y+3 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,467 | 3,842 | 4,009 | 4,163 | 4,265 | 4,439 | 4,555 | 4,697 | 4,786 | 4,767 | 4,606 | 4,420 | 4,194 | 4,084 | 3,892 | 3,725 | 3,498 | |
| | 3,459 | 3,842 | 4,003 | 4,162 | 4,264 | 4,440 | 4,548 | 4,696 | 4,793 | 4,774 | 4,609 | 4,418 | 4,186 | 4,103 | 3,895 | 3,710 | 3,506 | |
| | MW | 3,46 | 3,84 | 4,01 | 4,16 | 4,26 | 4,44 | 4,55 | 4,70 | 4,79 | 4,77 | 4,61 | 4,42 | 4,19 | 4,09 | 3,89 | 3,72 | 3,50 |
| | σ | 0,0057 | 0,0000 | 0,0042 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0049 | 0,0007 | 0,0049 | 0,0049 | 0,0021 | 0,0014 | 0,0057 | 0,0134 | 0,0021 | 0,0106 | 0,0057 |
| V | 0,0016 | 0,0000 | 0,0011 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0011 | 0,0002 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0005 | 0,0003 | 0,0014 | 0,0033 | 0,0005 | 0,0029 | 0,0016 | |
| Zeile Y+4 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,349 | 3,684 | 3,815 | 3,904 | 4,016 | 4,172 | 4,258 | 4,422 | 4,524 | 4,499 | 4,372 | 4,188 | 4,011 | 3,852 | 3,738 | 3,562 | 3,311 | |
| | 3,335 | 3,680 | 3,789 | 3,906 | 4,044 | 4,204 | 4,296 | 4,414 | 4,522 | 4,482 | 4,372 | 4,181 | 4,014 | 3,855 | 3,721 | 3,567 | 3,308 | |
| | MW | 3,34 | 3,68 | 3,80 | 3,91 | 4,03 | 4,19 | 4,28 | 4,42 | 4,52 | 4,49 | 4,37 | 4,18 | 4,01 | 3,85 | 3,73 | 3,56 | 3,31 |
| | σ | 0,0099 | 0,0028 | 0,0184 | 0,0014 | 0,0198 | 0,0226 | 0,0269 | 0,0057 | 0,0014 | 0,0120 | 0,0000 | 0,0049 | 0,0021 | 0,0021 | 0,0120 | 0,0035 | 0,0021 |
| V | 0,0030 | 0,0008 | 0,0048 | 0,0004 | 0,0049 | 0,0054 | 0,0063 | 0,0013 | 0,0003 | 0,0027 | 0,0000 | 0,0012 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0032 | 0,0010 | 0,0006 | |
| Zeile Y+5 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 3,072 | 3,394 | 3,552 | 3,605 | 3,723 | 3,874 | 3,977 | 4,143 | 4,199 | 4,252 | 4,106 | 3,980 | 3,781 | 3,655 | 3,552 | 3,358 | 3,155 | |
| | 3,056 | 3,389 | 3,547 | 3,615 | 3,723 | 3,874 | 3,967 | 4,128 | 4,199 | 4,244 | 4,108 | 3,985 | 3,771 | 3,650 | 3,537 | 3,368 | 3,132 | |
| | MW | 3,06 | 3,39 | 3,55 | 3,61 | 3,72 | 3,87 | 3,97 | 4,14 | 4,20 | 4,25 | 4,11 | 3,98 | 3,78 | 3,65 | 3,54 | 3,36 | 3,14 |
| | σ | 0,0113 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0071 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0071 | 0,0106 | 0,0000 | 0,0057 | 0,0014 | 0,0035 | 0,0071 | 0,0035 | 0,0106 | 0,0071 | 0,0163 |
| V | 0,0037 | 0,0010 | 0,0010 | 0,0020 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0018 | 0,0026 | 0,0000 | 0,0013 | 0,0003 | 0,0009 | 0,0019 | 0,0010 | 0,0030 | 0,0021 | 0,0052 | |
| Zeile Y+6 | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X-0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 | |
| | 2,767 | 3,112 | 3,296 | 3,336 | 3,474 | 3,607 | 3,675 | 3,743 | 3,846 | 3,824 | 3,731 | 3,638 | 3,484 | 3,371 | 3,272 | 3,160 | 2,973 | |
| | 2,775 | 3,142 | 3,280 | 3,346 | 3,494 | 3,592 | 3,658 | 3,746 | 3,854 | 3,834 | 3,733 | 3,630 | 3,477 | 3,376 | 3,260 | 3,152 | 2,971 | |
| | MW | 2,77 | 3,13 | 3,29 | 3,34 | 3,48 | 3,60 | 3,67 | 3,74 | 3,85 | 3,83 | 3,73 | 3,63 | 3,48 | 3,37 | 3,27 | 3,16 | 2,97 |
| | σ | 0,0057 | 0,0212 | 0,0113 | 0,0071 | 0,0141 | 0,0106 | 0,0120 | 0,0021 | 0,0057 | 0,0071 | 0,0014 | 0,0057 | 0,0049 | 0,0035 | 0,0085 | 0,0057 | 0,0014 |
| V | 0,0020 | 0,0068 | 0,0034 | 0,0021 | 0,0041 | 0,0029 | 0,0033 | 0,0006 | 0,0015 | 0,0018 | 0,0004 | 0,0016 | 0,0014 | 0,0010 | 0,0026 | 0,0018 | 0,0005 | |

Berechnete Werte der Modulation

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| m | X-8 | X-7 | X-6 | X-5 | X-4 | X-3 | X-2 | X-1 | X+0 | X+1 | X+2 | X+3 | X+4 | X+5 | X+6 | X+7 | X+8 |
| Y-6 | 0,9905 | 0,9904 | 0,9901 | 0,9900 | 0,9901 | 0,9900 | 0,9897 | 0,9893 | 0,9899 | 0,9900 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9902 | 0,9904 | 0,9904 | 0,9904 | 0,9904 |
| Y-5 | 0,9902 | 0,9901 | 0,9899 | 0,9898 | 0,9896 | 0,9894 | 0,9895 | 0,9894 | 0,9896 | 0,9896 | 0,9898 | 0,9898 | 0,9900 | 0,9901 | 0,9902 | 0,9904 | 0,9903 |
| Y-4 | 0,9903 | 0,9899 | 0,9899 | 0,9897 | 0,9895 | 0,9894 | 0,9893 | 0,9892 | 0,9893 | 0,9895 | 0,9895 | 0,9896 | 0,9897 | 0,9899 | 0,9899 | 0,9902 | 0,9902 |
| Y-3 | 0,9901 | 0,9897 | 0,9897 | 0,9896 | 0,9892 | 0,9892 | 0,9891 | 0,9890 | 0,9890 | 0,9890 | 0,9892 | 0,9895 | 0,9895 | 0,9897 | 0,9899 | 0,9900 | 0,9901 |
| Y-2 | 0,9901 | 0,9896 | 0,9894 | 0,9893 | 0,9890 | 0,9890 | 0,9889 | 0,9889 | 0,9889 | 0,9889 | 0,9889 | 0,9890 | 0,9893 | 0,9894 | 0,9895 | 0,9895 | 0,9896 |
| Y-1 | 0,9899 | 0,9895 | 0,9894 | 0,9894 | 0,9891 | 0,9891 | 0,9889 | 0,9888 | 0,9887 | 0,9888 | 0,9887 | 0,9888 | 0,9891 | 0,9892 | 0,9894 | 0,9895 | 0,9897 |
| Y+0 | 0,9896 | 0,9894 | 0,9894 | 0,9892 | 0,9891 | 0,9889 | 0,9886 | 0,9888 | 0,9888 | 0,9888 | 0,9888 | 0,9889 | 0,9890 | 0,9893 | 0,9894 | 0,9894 | 0,9896 |
| Y+1 | 0,9895 | 0,9893 | 0,9892 | 0,9889 | 0,9887 | 0,9887 | 0,9886 | 0,9886 | 0,9885 | 0,9885 | 0,9887 | 0,9888 | 0,9889 | 0,9891 | 0,9892 | 0,9893 | 0,9895 |
| Y+2 | 0,9895 | 0,9891 | 0,9891 | 0,9889 | 0,9887 | 0,9886 | 0,9886 | 0,9886 | 0,9885 | 0,9885 | 0,9886 | 0,9886 | 0,9889 | 0,9891 | 0,9891 | 0,9893 | 0,9894 |
| Y+3 | 0,9894 | 0,9891 | 0,9892 | 0,9890 | 0,9889 | 0,9888 | 0,9886 | 0,9886 | 0,9886 | 0,9884 | 0,9886 | 0,9888 | 0,9891 | 0,9891 | 0,9892 | 0,9893 | 0,9895 |
| Y+4 | 0,9895 | 0,9893 | 0,9893 | 0,9893 | 0,9891 | 0,9890 | 0,9890 | 0,9888 | 0,9886 | 0,9888 | 0,9889 | 0,9890 | 0,9893 | 0,9894 | 0,9894 | 0,9895 | 0,9896 |
| Y+5 | 0,9898 | 0,9897 | 0,9896 | 0,9896 | 0,9895 | 0,9893 | 0,9892 | 0,9890 | 0,9890 | 0,9890 | 0,9892 | 0,9892 | 0,9894 | 0,9896 | 0,9896 | 0,9897 | 0,9897 |
| Y+6 | 0,9902 | 0,9900 | 0,9899 | 0,9899 | 0,9897 | 0,9896 | 0,9895 | 0,9894 | 0,9893 | 0,9895 | 0,9897 | 0,9896 | 0,9898 | 0,9899 | 0,9899 | 0,9900 | 0,9898 |

Tabelle 7.2.3.2 - Berechnete Werte der Modulation

7.2.4 Abstrahlcharakteristik in Reflexion

Bestimmung der Leuchtdichte L_0

| Messpunkte zur Leuchtdichte des Mittelpunkts | $L_0 (-10^\circ)$ | $L_0 (-5^\circ)$ | $L_0 (+10^\circ)$ |
|--|-------------------|------------------|-------------------|
| | 2647 | 2435 | 2333 |
| | 2609 | 2357 | 2328 |
| | 2653 | 2374 | 2332 |
| | 2649 | 2359 | 2311 |
| | 2628 | 2353 | 2341 |
| MW | 2637,20 | 2375,60 | 2329,00 |
| σ | 18,472 | 34,144 | 11,113 |
| V | 0,007 | 0,014 | 0,005 |

Tabelle 7.2.4.1 - Messwerte der Leuchtdichte für die Bestimmung von L_0 im Mittelpunkt

Horizontal:

| Mitte-Mitte | -10° | -5° | 0° | $+5^\circ$ | $+10^\circ$ |
|-------------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|
| | 47,30 | 156,90 | 2637,20 | 215,40 | 54,07 |
| | 47,25 | 154,10 | 2375,60 | 213,90 | 53,20 |
| | 46,55 | 156,50 | 2329,00 | 220,20 | 52,28 |
| | 47,08 | 158,30 | - | 209,90 | 53,18 |
| | 46,73 | 155,40 | - | 207,90 | 53,45 |
| MW | 46,98 | 156,24 | 2447,27 | 213,46 | 53,24 |
| σ | 0,329 | 1,584 | 166,129 | 4,821 | 0,644 |
| V | 0,007 | 0,010 | 0,068 | 0,023 | 0,012 |

Tabelle 7.2.4.2 - Messwerte der Leuchtdichte für die horizontale Abstrahlcharakteristik in Reflexion

7.2.5 Messung der Reflexion

Beleuchtungsstärke auf der Vorderseite der Bildwand

| Messpunkte | X-7 / Y-5 | X+0 / Y-5 | X+7 / Y-5 | X-7 / Y+0 | X+0 / Y+0 | X+7 / Y+0 | X-7 / Y+5 | X+0 / Y+5 | X+7 / Y+5 |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 681 | 758 | 621 | 675 | 765 | 645 | 684 | 725 | 636 |
| | 679 | 759 | 622 | 674 | 767 | 644 | 683 | 724 | 632 |
| | 680 | 754 | 619 | 678 | 765 | 642 | 687 | 723 | 632 |
| | 681 | 757 | 623 | 674 | 766 | 644 | 687 | 723 | 634 |
| | 681 | 755 | 624 | 679 | 765 | 643 | 684 | 723 | 632 |
| MW | 680,40 | 756,60 | 621,80 | 676,00 | 765,60 | 643,60 | 685,00 | 723,60 | 633,20 |
| σ | 0,8944 | 2,0736 | 1,9235 | 2,3452 | 0,8944 | 1,1402 | 1,8708 | 0,8944 | 1,7889 |
| V | 0,0013 | 0,0027 | 0,0031 | 0,0035 | 0,0012 | 0,0018 | 0,0027 | 0,0012 | 0,0028 |

Tabelle 7.2.5.1 - Messwerte der Beleuchtungsstärke auf der Vorderseite der Bildwand

Leuchtdichte der weißen, homogenen Fläche in Reflexion

Messabstand: 3 Meter

Bestimmung der Leuchtdichte L_0

| Messpunkte zur Leuchtdichte des Mittelpunkts | $L_0 (-10^\circ)$ | $L_0 (-5^\circ)$ | $L_0 (+10^\circ)$ |
|--|-------------------|------------------|-------------------|
| | 2855 | 2929 | 2645 |
| | 2867 | 2878 | 2629 |
| | 2822 | 2877 | 2609 |
| | 2818 | 2867 | 2595 |
| | 2817 | 2870 | 2595 |
| MW | 2835,80 | 2884,20 | 2614,60 |
| σ | 23,4670 | 25,4696 | 21,9727 |
| V | 0,0083 | 0,0088 | 0,0084 |

Tabelle 7.2.5.2 - Messwerte der Leuchtdichte für die Bestimmung von L_0 im Mittelpunkt

Leuchtdichte der weißen, homogenen Fläche in Reflexion

| Messpunkte | X-7 / Y-5 | X+0 / Y-5 | X+7 / Y-5 | X-7 / Y+0 | X+0 / Y+0 | X+7 / Y+0 | X-7 / Y+5 | X+0 / Y+5 | X+7 / Y+5 |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2847 | 2840 | 2245 | 2707 | 2835,8 | 2544 | 2694 | 2262 | 2545 |
| | 2855 | 2818 | 2236 | 2695 | 2884,2 | 2547 | 2454 | 2823 | 2696 |
| | 2845 | 2817 | 2214 | 2691 | 2614,6 | 2556 | 2415 | 2809 | 2700 |
| | 2848 | 2805 | 2212 | 2725 | - | 2557 | 2585 | 2761 | 2466 |
| | 2852 | 2798 | 2223 | 2678 | - | 2549 | 2592 | 2357 | 2695 |
| MW | 2849,40 | 2815,60 | 2226,00 | 2699,20 | 2778,20 | 2550,60 | 2548,00 | 2602,40 | 2620,40 |
| σ | 4,037 | 16,009 | 14,230 | 17,754 | 143,734 | 5,683 | 113,077 | 270,460 | 108,560 |
| V | 0,0014 | 0,0057 | 0,0064 | 0,0066 | 0,0517 | 0,0022 | 0,0444 | 0,1039 | 0,0414 |

Tabelle 7.2.5.3 - Messwerte der Leuchtdichte der weißen, homogenen Fläche in Reflexion

Berechnete Werte des Reflexionsgrades

| r | X-7 | X+0 | X+7 |
|-----|--------|--------|--------|
| Y-5 | 0,0387 | 0,0344 | 0,0331 |
| Y+0 | 0,0369 | 0,0335 | 0,0366 |
| Y+5 | 0,0344 | 0,0332 | 0,0382 |

Tabelle 7.2.5.4 - Berechnete Werte des Reflexionsgrades

7.2.6 Messung der MTF

Ausgegebene Messwerte des Programms für die senkrechte Anordnung des Spaltes

| Frequenz | X-7 / Y-5 | X+0 / Y-5 | X+7 / Y-5 | X-7 / Y+0 | X+0 / Y+0 | X+7 / Y+0 | X-7 / Y+5 | X+0 / Y+5 | X+7 / Y+5 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | 0,0000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0,1878 | 9488 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| 2 | 0,3756 | 10000 | 9900 | 9374 | 9199 | 9465 | 9600 | 8377 | 9444 |
| 3 | 0,5634 | 8525 | 9363 | 9255 | 9430 | 9505 | 9562 | 8796 | 8961 |
| 4 | 0,7512 | 9145 | 9297 | 8495 | 8632 | 8918 | 9126 | 8394 | 8750 |
| 5 | 0,9390 | 8032 | 8754 | 8153 | 8547 | 8777 | 8787 | 7766 | 8266 |
| 6 | 1,1268 | 8140 | 8481 | 7428 | 7960 | 8372 | 8469 | 7801 | 7615 |
| 7 | 1,3146 | 7574 | 8023 | 6979 | 7706 | 8057 | 8038 | 7256 | 7074 |
| 8 | 1,5023 | 7220 | 7680 | 6317 | 7213 | 7682 | 7627 | 6902 | 6563 |
| 9 | 1,6901 | 7072 | 7318 | 5822 | 6900 | 7342 | 7290 | 6703 | 5919 |
| 10 | 1,8779 | 6456 | 6909 | 5183 | 6525 | 7039 | 6961 | 6168 | 5385 |
| 11 | 2,0657 | 6513 | 6639 | 4799 | 6151 | 6694 | 6498 | 5921 | 4942 |
| 12 | 2,2535 | 5902 | 6241 | 4268 | 5953 | 6463 | 6287 | 5659 | 4458 |
| 13 | 2,4413 | 5867 | 5992 | 3916 | 5539 | 6111 | 5943 | 5180 | 3888 |
| 14 | 2,6291 | 5502 | 5656 | 3527 | 5352 | 5925 | 5740 | 5005 | 3540 |
| 15 | 2,8169 | 5235 | 5416 | 3187 | 5026 | 5622 | 5449 | 4647 | 3174 |
| 16 | 3,0047 | 5104 | 5182 | 2873 | 4897 | 5416 | 5341 | 4325 | 2772 |
| 17 | 3,1925 | 4683 | 4925 | 2690 | 4580 | 5137 | 5129 | 4183 | 2505 |
| 18 | 3,3803 | 4697 | 4752 | 2435 | 4409 | 4970 | 4924 | 3848 | 2337 |
| 19 | 3,5681 | 4276 | 4510 | 2303 | 4197 | 4828 | 4828 | 3624 | 2060 |
| 20 | 3,7559 | 4238 | 4344 | 2138 | 3969 | 4637 | 4635 | 3502 | 1862 |
| 21 | 3,9437 | 4003 | 4125 | 2031 | 3844 | 4499 | 4566 | 3224 | 1785 |
| 22 | 4,1315 | 3803 | 3991 | 1910 | 3590 | 4303 | 4405 | 3090 | 1663 |
| 23 | 4,3192 | 3713 | 3840 | 1893 | 3493 | 4218 | 4289 | 2957 | 1501 |
| 24 | 4,5070 | 3424 | 3667 | 1789 | 3254 | 4038 | 4152 | 2732 | 1508 |
| 25 | 4,6948 | 3424 | 3533 | 1732 | 3162 | 3948 | 4045 | 2694 | 1470 |
| 26 | 4,8826 | 3154 | 3374 | 1688 | 2962 | 3800 | 3923 | 2529 | 1362 |
| 27 | 5,0704 | 3114 | 3267 | 1663 | 2887 | 3695 | 3746 | 2392 | 1304 |
| 28 | 5,2582 | 2969 | 3144 | 1623 | 2723 | 3564 | 3625 | 2355 | 1270 |
| 29 | 5,4460 | 2782 | 3024 | 1589 | 2592 | 3425 | 3484 | 2202 | 1196 |
| 30 | 5,6338 | 2768 | 2889 | 1525 | 2506 | 3352 | 3353 | 2129 | 1113 |
| 31 | 5,8216 | 2533 | 2790 | 1481 | 2355 | 3227 | 3218 | 2087 | 1073 |
| 32 | 6,0094 | 2507 | 2688 | 1438 | 2314 | 3117 | 3101 | 1923 | 1036 |
| 33 | 6,1972 | 2294 | 2546 | 1402 | 2164 | 2971 | 2923 | 1889 | 980 |
| 34 | 6,3850 | 2224 | 2466 | 1336 | 2114 | 2871 | 2891 | 1820 | 897 |
| 35 | 6,5728 | 2104 | 2331 | 1256 | 2012 | 2713 | 2706 | 1671 | 848 |
| 36 | 6,7606 | 1951 | 2240 | 1201 | 1963 | 2603 | 2559 | 1672 | 794 |
| 37 | 6,9484 | 1918 | 2136 | 1156 | 1877 | 2475 | 2430 | 1549 | 744 |
| 38 | 7,1362 | 1703 | 2037 | 1029 | 1814 | 2341 | 2307 | 1461 | 683 |
| 39 | 7,3239 | 1710 | 1936 | 1025 | 1826 | 2207 | 2227 | 1460 | 725 |
| 40 | 7,5117 | 1560 | 1870 | 1066 | 1730 | 2089 | 2112 | 1356 | 694 |
| 41 | 7,6995 | 1505 | 1806 | 1035 | 1763 | 2041 | 2015 | 1315 | 632 |
| 42 | 7,8873 | 1450 | 1721 | 1027 | 1691 | 1872 | 1998 | 1302 | 718 |
| 43 | 8,0751 | 1333 | 1714 | 978 | 1688 | 1836 | 1902 | 1221 | 724 |
| 44 | 8,2629 | 1360 | 1625 | 1026 | 1648 | 1718 | 1868 | 1244 | 723 |
| 45 | 8,4507 | 1208 | 1589 | 998 | 1670 | 1672 | 1852 | 1200 | 761 |
| 46 | 8,6385 | 1220 | 1538 | 1010 | 1647 | 1583 | 1747 | 1150 | 793 |
| 47 | 8,8263 | 1139 | 1511 | 990 | 1608 | 1525 | 1739 | 1169 | 774 |
| 48 | 9,0141 | 1121 | 1465 | 1014 | 1616 | 1519 | 1751 | 1133 | 783 |
| 49 | 9,2019 | 1090 | 1421 | 1011 | 1566 | 1432 | 1684 | 1093 | 809 |
| 50 | 9,3897 | 991 | 1391 | 975 | 1594 | 1375 | 1676 | 1115 | 834 |
| 51 | 9,5775 | 1014 | 1354 | 931 | 1523 | 1305 | 1584 | 1069 | 826 |
| 52 | 9,7653 | 910 | 1329 | 952 | 1519 | 1305 | 1597 | 1060 | 832 |
| 53 | 9,9531 | 938 | 1274 | 913 | 1483 | 1246 | 1530 | 1071 | 794 |
| 54 | 10,1408 | 843 | 1266 | 903 | 1465 | 1232 | 1555 | 1003 | 798 |
| 55 | 10,3286 | 835 | 1213 | 866 | 1443 | 1209 | 1508 | 1013 | 754 |
| 56 | 10,5164 | 805 | 1177 | 859 | 1378 | 1158 | 1438 | 987 | 786 |
| 57 | 10,7042 | 741 | 1153 | 820 | 1388 | 1147 | 1376 | 962 | 772 |
| 58 | 10,8920 | 767 | 1085 | 753 | 1342 | 1117 | 1359 | 967 | 712 |
| 59 | 11,0798 | 672 | 1067 | 744 | 1348 | 1110 | 1325 | 909 | 710 |
| 60 | 11,2676 | 686 | 1019 | 718 | 1281 | 1033 | 1293 | 891 | 704 |
| 61 | 11,4554 | 623 | 1015 | 652 | 1272 | 1041 | 1247 | 896 | 633 |
| 62 | 11,6432 | 620 | 945 | 627 | 1214 | 992 | 1225 | 836 | 564 |
| 63 | 11,8310 | 597 | 922 | 649 | 1212 | 984 | 1156 | 839 | 583 |
| 64 | 12,0188 | 541 | 879 | 566 | 1170 | 955 | 1082 | 815 | 544 |
| 65 | 12,2066 | 542 | 859 | 522 | 1136 | 921 | 1057 | 754 | 482 |
| 66 | 12,3944 | 467 | 829 | 513 | 1112 | 897 | 1042 | 760 | 446 |
| 67 | 12,5822 | 499 | 780 | 495 | 1060 | 873 | 979 | 710 | 429 |
| 68 | 12,7700 | 414 | 747 | 424 | 1058 | 844 | 943 | 662 | 379 |
| 69 | 12,9577 | 408 | 731 | 430 | 1013 | 820 | 902 | 658 | 336 |
| 70 | 13,1455 | 370 | 678 | 360 | 992 | 789 | 853 | 585 | 313 |

Tabelle 7.2.6.1 - Messwerte der MTF für die senkrechte Anordnung des Spaltes

Normierte Messwerte des Programms für die senkrechte Anordnung des Spaltes

| Frequenz | X-7 / Y-5 | X+0 / Y-5 | X+7 / Y-5 | X-7 / Y+0 | X+0 / Y+0 | X+7 / Y+0 | X-7 / Y+5 | X+0 / Y+5 | X+7 / Y+5 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0,1878 | 0,9394 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 |
| 2 | 0,3756 | 0,9901 | 0,9802 | 0,9281 | 0,9108 | 0,9371 | 0,9505 | 0,8294 | 0,9350 |
| 3 | 0,5634 | 0,8441 | 0,9270 | 0,9163 | 0,9337 | 0,9411 | 0,9467 | 0,8709 | 0,8872 |
| 4 | 0,7512 | 0,9054 | 0,9205 | 0,8411 | 0,8547 | 0,8830 | 0,9036 | 0,8311 | 0,8663 |
| 5 | 0,9390 | 0,7952 | 0,8667 | 0,8072 | 0,8462 | 0,8690 | 0,8700 | 0,7689 | 0,8184 |
| 6 | 1,1268 | 0,8059 | 0,8397 | 0,7354 | 0,7881 | 0,8289 | 0,8385 | 0,7724 | 0,7540 |
| 7 | 1,3146 | 0,7499 | 0,7944 | 0,6910 | 0,7630 | 0,7977 | 0,7958 | 0,7184 | 0,7004 |
| 8 | 1,5023 | 0,7149 | 0,7604 | 0,6254 | 0,7142 | 0,7606 | 0,7551 | 0,6834 | 0,6498 |
| 9 | 1,6901 | 0,7002 | 0,7246 | 0,5764 | 0,6832 | 0,7269 | 0,7218 | 0,6637 | 0,5860 |
| 10 | 1,8779 | 0,6392 | 0,6841 | 0,5132 | 0,6460 | 0,6969 | 0,6892 | 0,6107 | 0,5332 |
| 11 | 2,0657 | 0,6449 | 0,6573 | 0,4751 | 0,6090 | 0,6628 | 0,6434 | 0,5862 | 0,4893 |
| 12 | 2,2535 | 0,5844 | 0,6179 | 0,4226 | 0,5894 | 0,6399 | 0,6225 | 0,5603 | 0,4414 |
| 13 | 2,4413 | 0,5809 | 0,5933 | 0,3877 | 0,5484 | 0,6050 | 0,5884 | 0,5129 | 0,3850 |
| 14 | 2,6291 | 0,5448 | 0,5600 | 0,3492 | 0,5299 | 0,5866 | 0,5683 | 0,4955 | 0,3505 |
| 15 | 2,8169 | 0,5183 | 0,5362 | 0,3155 | 0,4976 | 0,5566 | 0,5395 | 0,4601 | 0,3143 |
| 16 | 3,0047 | 0,5053 | 0,5131 | 0,2845 | 0,4849 | 0,5362 | 0,5288 | 0,4282 | 0,2745 |
| 17 | 3,1925 | 0,4637 | 0,4876 | 0,2663 | 0,4535 | 0,5086 | 0,5078 | 0,4142 | 0,2480 |
| 18 | 3,3803 | 0,4650 | 0,4705 | 0,2411 | 0,4365 | 0,4921 | 0,4875 | 0,3810 | 0,2314 |
| 19 | 3,5681 | 0,4234 | 0,4465 | 0,2280 | 0,4155 | 0,4780 | 0,4780 | 0,3588 | 0,2040 |
| 20 | 3,7559 | 0,4196 | 0,4301 | 0,2117 | 0,3930 | 0,4591 | 0,4589 | 0,3467 | 0,1844 |
| 21 | 3,9437 | 0,3963 | 0,4084 | 0,2011 | 0,3806 | 0,4454 | 0,4521 | 0,3192 | 0,1767 |
| 22 | 4,1315 | 0,3765 | 0,3951 | 0,1891 | 0,3554 | 0,4260 | 0,4361 | 0,3059 | 0,1647 |
| 23 | 4,3192 | 0,3676 | 0,3802 | 0,1874 | 0,3458 | 0,4176 | 0,4247 | 0,2928 | 0,1486 |
| 24 | 4,5070 | 0,3390 | 0,3631 | 0,1771 | 0,3222 | 0,3998 | 0,4111 | 0,2705 | 0,1493 |
| 25 | 4,6948 | 0,3390 | 0,3498 | 0,1715 | 0,3131 | 0,3909 | 0,4005 | 0,2667 | 0,1455 |
| 26 | 4,8826 | 0,3123 | 0,3341 | 0,1671 | 0,2933 | 0,3762 | 0,3884 | 0,2504 | 0,1349 |
| 27 | 5,0704 | 0,3083 | 0,3235 | 0,1647 | 0,2858 | 0,3658 | 0,3709 | 0,2368 | 0,1291 |
| 28 | 5,2582 | 0,2940 | 0,3113 | 0,1607 | 0,2696 | 0,3529 | 0,3589 | 0,2332 | 0,1257 |
| 29 | 5,4460 | 0,2754 | 0,2994 | 0,1573 | 0,2566 | 0,3391 | 0,3450 | 0,2180 | 0,1184 |
| 30 | 5,6338 | 0,2741 | 0,2860 | 0,1510 | 0,2481 | 0,3319 | 0,3320 | 0,2108 | 0,1102 |
| 31 | 5,8216 | 0,2508 | 0,2762 | 0,1466 | 0,2332 | 0,3195 | 0,3186 | 0,2066 | 0,1062 |
| 32 | 6,0094 | 0,2482 | 0,2661 | 0,1424 | 0,2291 | 0,3086 | 0,3070 | 0,1904 | 0,1026 |
| 33 | 6,1972 | 0,2271 | 0,2521 | 0,1388 | 0,2143 | 0,2942 | 0,2894 | 0,1870 | 0,0970 |
| 34 | 6,3850 | 0,2202 | 0,2442 | 0,1323 | 0,2093 | 0,2843 | 0,2862 | 0,1802 | 0,0888 |
| 35 | 6,5728 | 0,2083 | 0,2308 | 0,1244 | 0,1992 | 0,2686 | 0,2679 | 0,1654 | 0,0840 |
| 36 | 6,7606 | 0,1932 | 0,2218 | 0,1189 | 0,1944 | 0,2577 | 0,2534 | 0,1655 | 0,0786 |
| 37 | 6,9484 | 0,1899 | 0,2115 | 0,1145 | 0,1858 | 0,2450 | 0,2406 | 0,1534 | 0,0737 |
| 38 | 7,1362 | 0,1686 | 0,2017 | 0,1019 | 0,1796 | 0,2318 | 0,2284 | 0,1447 | 0,0676 |
| 39 | 7,3239 | 0,1693 | 0,1917 | 0,1015 | 0,1808 | 0,2185 | 0,2205 | 0,1446 | 0,0718 |
| 40 | 7,5117 | 0,1545 | 0,1851 | 0,1055 | 0,1713 | 0,2068 | 0,2091 | 0,1343 | 0,0687 |
| 41 | 7,6995 | 0,1490 | 0,1788 | 0,1025 | 0,1746 | 0,2021 | 0,1995 | 0,1302 | 0,0626 |
| 42 | 7,8873 | 0,1436 | 0,1704 | 0,1017 | 0,1674 | 0,1853 | 0,1978 | 0,1289 | 0,0711 |
| 43 | 8,0751 | 0,1320 | 0,1697 | 0,0968 | 0,1671 | 0,1818 | 0,1883 | 0,1209 | 0,0717 |
| 44 | 8,2629 | 0,1347 | 0,1609 | 0,1016 | 0,1632 | 0,1701 | 0,1850 | 0,1232 | 0,0716 |
| 45 | 8,4507 | 0,1196 | 0,1573 | 0,0988 | 0,1653 | 0,1655 | 0,1834 | 0,1188 | 0,0753 |
| 46 | 8,6385 | 0,1208 | 0,1523 | 0,1000 | 0,1631 | 0,1567 | 0,1730 | 0,1139 | 0,0785 |
| 47 | 8,8263 | 0,1128 | 0,1496 | 0,0980 | 0,1592 | 0,1510 | 0,1722 | 0,1157 | 0,0766 |
| 48 | 9,0141 | 0,1110 | 0,1450 | 0,1004 | 0,1600 | 0,1504 | 0,1734 | 0,1122 | 0,0775 |
| 49 | 9,2019 | 0,1079 | 0,1407 | 0,1001 | 0,1550 | 0,1418 | 0,1667 | 0,1082 | 0,0801 |
| 50 | 9,3897 | 0,0981 | 0,1377 | 0,0965 | 0,1578 | 0,1361 | 0,1659 | 0,1104 | 0,0826 |
| 51 | 9,5775 | 0,1004 | 0,1341 | 0,0922 | 0,1508 | 0,1292 | 0,1568 | 0,1058 | 0,0818 |
| 52 | 9,7653 | 0,0901 | 0,1316 | 0,0943 | 0,1504 | 0,1292 | 0,1581 | 0,1050 | 0,0824 |
| 53 | 9,9531 | 0,0929 | 0,1261 | 0,0904 | 0,1468 | 0,1234 | 0,1515 | 0,1060 | 0,0786 |
| 54 | 10,1408 | 0,0835 | 0,1253 | 0,0894 | 0,1450 | 0,1220 | 0,1540 | 0,0993 | 0,0790 |
| 55 | 10,3286 | 0,0827 | 0,1201 | 0,0857 | 0,1429 | 0,1197 | 0,1493 | 0,1003 | 0,0747 |
| 56 | 10,5164 | 0,0797 | 0,1165 | 0,0850 | 0,1364 | 0,1147 | 0,1424 | 0,0977 | 0,0778 |
| 57 | 10,7042 | 0,0734 | 0,1142 | 0,0812 | 0,1374 | 0,1136 | 0,1362 | 0,0952 | 0,0764 |
| 58 | 10,8920 | 0,0759 | 0,1074 | 0,0746 | 0,1329 | 0,1106 | 0,1346 | 0,0957 | 0,0705 |
| 59 | 11,0798 | 0,0665 | 0,1056 | 0,0737 | 0,1335 | 0,1099 | 0,1312 | 0,0900 | 0,0703 |
| 60 | 11,2676 | 0,0679 | 0,1009 | 0,0711 | 0,1268 | 0,1023 | 0,1280 | 0,0882 | 0,0697 |
| 61 | 11,4554 | 0,0617 | 0,1005 | 0,0646 | 0,1259 | 0,1031 | 0,1235 | 0,0887 | 0,0627 |
| 62 | 11,6432 | 0,0614 | 0,0936 | 0,0621 | 0,1202 | 0,0982 | 0,1213 | 0,0828 | 0,0558 |
| 63 | 11,8310 | 0,0591 | 0,0913 | 0,0643 | 0,1200 | 0,0974 | 0,1145 | 0,0831 | 0,0577 |
| 64 | 12,0188 | 0,0536 | 0,0870 | 0,0560 | 0,1158 | 0,0946 | 0,1071 | 0,0807 | 0,0539 |
| 65 | 12,2066 | 0,0537 | 0,0850 | 0,0517 | 0,1125 | 0,0912 | 0,1047 | 0,0747 | 0,0477 |
| 66 | 12,3944 | 0,0462 | 0,0821 | 0,0508 | 0,1101 | 0,0888 | 0,1032 | 0,0752 | 0,0442 |
| 67 | 12,5822 | 0,0494 | 0,0772 | 0,0490 | 0,1050 | 0,0864 | 0,0969 | 0,0703 | 0,0425 |
| 68 | 12,7700 | 0,0410 | 0,0740 | 0,0420 | 0,1048 | 0,0836 | 0,0934 | 0,0655 | 0,0375 |
| 69 | 12,9577 | 0,0404 | 0,0724 | 0,0426 | 0,1003 | 0,0812 | 0,0893 | 0,0651 | 0,0333 |
| 70 | 13,1455 | 0,0366 | 0,0671 | 0,0356 | 0,0982 | 0,0781 | 0,0845 | 0,0579 | 0,0310 |
| Normierungsfaktor | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 |

Tabelle 7.2.6.2 - Normierte Messwerte der MTF für die senkrechte Anordnung des Spaltes

Ausgegebene Messwerte des Programms für die waagerechte Anordnung des Spaltes

| Frequenz | X-7 / Y-5 | X+0 / Y-5 | X+7 / Y-5 | X-7 / Y+0 | X+0 / Y+0 | X+7 / Y+0 | X-7 / Y+5 | X+0 / Y+5 | X+7 / Y+5 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | 0,0000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0,1878 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| 2 | 0,3756 | 9857 | 9779 | 9555 | 9678 | 9731 | 9585 | 9729 | 9749 |
| 3 | 0,5634 | 9451 | 9241 | 9365 | 9586 | 9631 | 9425 | 9495 | 9503 |
| 4 | 0,7512 | 9338 | 9114 | 8965 | 9226 | 9342 | 9081 | 9163 | 9241 |
| 5 | 0,9390 | 8847 | 8488 | 8624 | 8903 | 9057 | 8686 | 8819 | 8910 |
| 6 | 1,1268 | 8585 | 8258 | 8222 | 8626 | 8811 | 8378 | 8431 | 8546 |
| 7 | 1,3146 | 8198 | 7638 | 7846 | 8240 | 8498 | 7952 | 8006 | 8212 |
| 8 | 1,5023 | 7794 | 7383 | 7465 | 7895 | 8196 | 7572 | 7631 | 7816 |
| 9 | 1,6901 | 7484 | 6860 | 7022 | 7477 | 7872 | 7165 | 7191 | 7462 |
| 10 | 1,8779 | 7043 | 6646 | 6707 | 7163 | 7579 | 6745 | 6815 | 7049 |
| 11 | 2,0657 | 6742 | 6183 | 6259 | 6767 | 7238 | 6399 | 6371 | 6695 |
| 12 | 2,2535 | 6341 | 5927 | 5954 | 6385 | 6917 | 5958 | 6011 | 6387 |
| 13 | 2,4413 | 6033 | 5569 | 5588 | 6065 | 6622 | 5628 | 5594 | 5965 |
| 14 | 2,6291 | 5701 | 5297 | 5297 | 5685 | 6309 | 5261 | 5238 | 5665 |
| 15 | 2,8169 | 5391 | 5025 | 4927 | 5395 | 6011 | 4912 | 4885 | 5332 |
| 16 | 3,0047 | 5089 | 4680 | 4676 | 5033 | 5710 | 4618 | 4524 | 5027 |
| 17 | 3,1925 | 4772 | 4462 | 4341 | 4775 | 5425 | 4280 | 4229 | 4747 |
| 18 | 3,3803 | 4526 | 4095 | 4116 | 4481 | 5168 | 4020 | 3912 | 4444 |
| 19 | 3,5681 | 4239 | 3919 | 3830 | 4188 | 4866 | 3720 | 3625 | 4201 |
| 20 | 3,7559 | 3958 | 3572 | 3642 | 3961 | 4631 | 3465 | 3342 | 3961 |
| 21 | 3,9437 | 3743 | 3366 | 3371 | 3682 | 4366 | 3234 | 3103 | 3719 |
| 22 | 4,1315 | 3460 | 3082 | 3168 | 3466 | 4124 | 2995 | 2857 | 3479 |
| 23 | 4,3192 | 3237 | 2883 | 2944 | 3240 | 3892 | 2762 | 2641 | 3255 |
| 24 | 4,5070 | 3030 | 2636 | 2787 | 3043 | 3682 | 2551 | 2434 | 3067 |
| 25 | 4,6948 | 2805 | 2443 | 2570 | 2854 | 3466 | 2360 | 2238 | 2847 |
| 26 | 4,8826 | 2614 | 2252 | 2424 | 2639 | 3242 | 2179 | 2061 | 2666 |
| 27 | 5,0704 | 2426 | 2041 | 2273 | 2490 | 3046 | 1982 | 1894 | 2462 |
| 28 | 5,2582 | 2251 | 1917 | 2131 | 2301 | 2837 | 1829 | 1735 | 2328 |
| 29 | 5,4460 | 2087 | 1741 | 1977 | 2152 | 2657 | 1654 | 1593 | 2115 |
| 30 | 5,6338 | 1941 | 1654 | 1858 | 1983 | 2491 | 1530 | 1484 | 2007 |
| 31 | 5,8216 | 1793 | 1474 | 1738 | 1832 | 2304 | 1382 | 1361 | 1825 |
| 32 | 6,0094 | 1658 | 1423 | 1635 | 1708 | 2163 | 1243 | 1283 | 1691 |
| 33 | 6,1972 | 1550 | 1271 | 1524 | 1580 | 1980 | 1146 | 1160 | 1573 |
| 34 | 6,3850 | 1423 | 1238 | 1457 | 1476 | 1873 | 1028 | 1087 | 1447 |
| 35 | 6,5728 | 1327 | 1117 | 1358 | 1348 | 1713 | 946 | 997 | 1343 |
| 36 | 6,7606 | 1205 | 1050 | 1276 | 1285 | 1577 | 872 | 932 | 1219 |
| 37 | 6,9484 | 1119 | 994 | 1208 | 1186 | 1448 | 802 | 866 | 1134 |
| 38 | 7,1362 | 1042 | 915 | 1139 | 1080 | 1344 | 735 | 815 | 1036 |
| 39 | 7,3239 | 932 | 893 | 1093 | 1042 | 1236 | 684 | 767 | 952 |
| 40 | 7,5117 | 869 | 793 | 1013 | 939 | 1112 | 624 | 708 | 866 |
| 41 | 7,6995 | 762 | 791 | 974 | 893 | 1021 | 630 | 669 | 835 |
| 42 | 7,8873 | 706 | 712 | 919 | 848 | 942 | 566 | 627 | 753 |
| 43 | 8,0751 | 640 | 694 | 882 | 795 | 852 | 549 | 596 | 712 |
| 44 | 8,2629 | 569 | 629 | 856 | 772 | 800 | 518 | 558 | 668 |
| 45 | 8,4507 | 523 | 621 | 808 | 702 | 713 | 504 | 535 | 599 |
| 46 | 8,6385 | 444 | 561 | 780 | 690 | 660 | 500 | 493 | 569 |
| 47 | 8,8263 | 420 | 569 | 743 | 652 | 588 | 453 | 472 | 535 |
| 48 | 9,0141 | 354 | 505 | 710 | 628 | 532 | 451 | 432 | 474 |
| 49 | 9,2019 | 321 | 512 | 681 | 605 | 487 | 436 | 443 | 478 |
| 50 | 9,3897 | 287 | 491 | 676 | 551 | 443 | 407 | 407 | 438 |
| 51 | 9,5775 | 258 | 454 | 659 | 558 | 406 | 396 | 398 | 406 |
| 52 | 9,7653 | 239 | 453 | 616 | 536 | 354 | 372 | 355 | 374 |
| 53 | 9,9531 | 198 | 410 | 626 | 517 | 324 | 353 | 345 | 356 |
| 54 | 10,1408 | 187 | 417 | 582 | 474 | 297 | 332 | 346 | 336 |
| 55 | 10,3286 | 177 | 367 | 586 | 486 | 249 | 308 | 327 | 324 |
| 56 | 10,5164 | 126 | 381 | 556 | 479 | 228 | 298 | 313 | 296 |
| 57 | 10,7042 | 157 | 338 | 561 | 448 | 206 | 253 | 303 | 266 |
| 58 | 10,8920 | 134 | 322 | 527 | 434 | 186 | 242 | 304 | 268 |
| 59 | 11,0798 | 126 | 313 | 529 | 409 | 154 | 214 | 274 | 232 |
| 60 | 11,2676 | 148 | 318 | 504 | 417 | 127 | 172 | 266 | 193 |
| 61 | 11,4554 | 125 | 280 | 512 | 382 | 120 | 146 | 255 | 202 |
| 62 | 11,6432 | 126 | 270 | 491 | 379 | 75 | 110 | 265 | 164 |
| 63 | 11,8310 | 135 | 263 | 481 | 395 | 70 | 110 | 232 | 114 |
| 64 | 12,0188 | 124 | 224 | 431 | 367 | 53 | 80 | 238 | 152 |
| 65 | 12,2066 | 121 | 240 | 429 | 361 | 51 | 97 | 222 | 102 |
| 66 | 12,3944 | 126 | 217 | 411 | 342 | 48 | 69 | 208 | 112 |
| 67 | 12,5822 | 133 | 210 | 371 | 333 | 51 | 92 | 197 | 87 |
| 68 | 12,7700 | 118 | 183 | 382 | 344 | 56 | 103 | 204 | 64 |
| 69 | 12,9577 | 111 | 187 | 376 | 328 | 72 | 129 | 189 | 80 |
| 70 | 13,1455 | 128 | 160 | 350 | 327 | 87 | 133 | 174 | 52 |

Tabelle 7.2.6.3 - Messwerte der MTF für die waagerechte Anordnung des Spaltes

Normierte Messwerte des Programms für die waagerechte Anordnung des Spaltes

| Frequenz | X-7 / Y-5 | X+0 / Y-5 | X+7 / Y-5 | X-7 / Y+0 | X+0 / Y+0 | X+7 / Y+0 | X-7 / Y+5 | X+0 / Y+5 | X+7 / Y+5 |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0,1878 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 | 0,9901 |
| 2 | 0,3756 | 0,9759 | 0,9682 | 0,9460 | 0,9582 | 0,9635 | 0,9490 | 0,9633 | 0,9652 |
| 3 | 0,5634 | 0,9357 | 0,9150 | 0,9272 | 0,9491 | 0,9536 | 0,9332 | 0,9401 | 0,9409 |
| 4 | 0,7512 | 0,9246 | 0,9024 | 0,8876 | 0,9135 | 0,9250 | 0,8991 | 0,9072 | 0,9150 |
| 5 | 0,9390 | 0,8759 | 0,8404 | 0,8539 | 0,8815 | 0,8967 | 0,8600 | 0,8732 | 0,8822 |
| 6 | 1,1268 | 0,8500 | 0,8176 | 0,8141 | 0,8541 | 0,8724 | 0,8295 | 0,8348 | 0,8461 |
| 7 | 1,3146 | 0,8117 | 0,7562 | 0,7768 | 0,8158 | 0,8414 | 0,7873 | 0,7927 | 0,8131 |
| 8 | 1,5023 | 0,7717 | 0,7310 | 0,7391 | 0,7817 | 0,8115 | 0,7497 | 0,7555 | 0,7739 |
| 9 | 1,6901 | 0,7410 | 0,6792 | 0,6952 | 0,7403 | 0,7794 | 0,7094 | 0,7120 | 0,7388 |
| 10 | 1,8779 | 0,6973 | 0,6580 | 0,6641 | 0,7092 | 0,7504 | 0,6678 | 0,6748 | 0,6979 |
| 11 | 2,0657 | 0,6675 | 0,6122 | 0,6197 | 0,6700 | 0,7166 | 0,6336 | 0,6308 | 0,6629 |
| 12 | 2,2535 | 0,6278 | 0,5868 | 0,5895 | 0,6322 | 0,6849 | 0,5899 | 0,5951 | 0,6324 |
| 13 | 2,4413 | 0,5973 | 0,5514 | 0,5533 | 0,6005 | 0,6556 | 0,5572 | 0,5539 | 0,5906 |
| 14 | 2,6291 | 0,5645 | 0,5245 | 0,5245 | 0,5629 | 0,6247 | 0,5209 | 0,5186 | 0,5609 |
| 15 | 2,8169 | 0,5338 | 0,4975 | 0,4878 | 0,5342 | 0,5951 | 0,4863 | 0,4837 | 0,5279 |
| 16 | 3,0047 | 0,5039 | 0,4634 | 0,4630 | 0,4983 | 0,5653 | 0,4572 | 0,4479 | 0,4977 |
| 17 | 3,1925 | 0,4725 | 0,4418 | 0,4298 | 0,4728 | 0,5371 | 0,4238 | 0,4187 | 0,4700 |
| 18 | 3,3803 | 0,4481 | 0,4054 | 0,4075 | 0,4437 | 0,5117 | 0,3980 | 0,3873 | 0,4400 |
| 19 | 3,5681 | 0,4197 | 0,3880 | 0,3792 | 0,4147 | 0,4818 | 0,3683 | 0,3589 | 0,4159 |
| 20 | 3,7559 | 0,3919 | 0,3537 | 0,3606 | 0,3922 | 0,4585 | 0,3431 | 0,3309 | 0,3922 |
| 21 | 3,9437 | 0,3706 | 0,3333 | 0,3338 | 0,3646 | 0,4323 | 0,3202 | 0,3072 | 0,3682 |
| 22 | 4,1315 | 0,3426 | 0,3051 | 0,3137 | 0,3432 | 0,4083 | 0,2965 | 0,2829 | 0,3445 |
| 23 | 4,3192 | 0,3205 | 0,2854 | 0,2915 | 0,3208 | 0,3853 | 0,2735 | 0,2615 | 0,3223 |
| 24 | 4,5070 | 0,3000 | 0,2610 | 0,2759 | 0,3013 | 0,3646 | 0,2526 | 0,2410 | 0,3037 |
| 25 | 4,6948 | 0,2777 | 0,2419 | 0,2545 | 0,2826 | 0,3432 | 0,2337 | 0,2216 | 0,2819 |
| 26 | 4,8826 | 0,2588 | 0,2230 | 0,2400 | 0,2613 | 0,3210 | 0,2157 | 0,2041 | 0,2640 |
| 27 | 5,0704 | 0,2402 | 0,2021 | 0,2250 | 0,2465 | 0,3016 | 0,1962 | 0,1875 | 0,2438 |
| 28 | 5,2582 | 0,2229 | 0,1898 | 0,2110 | 0,2278 | 0,2809 | 0,1811 | 0,1718 | 0,2305 |
| 29 | 5,4460 | 0,2066 | 0,1724 | 0,1957 | 0,2131 | 0,2631 | 0,1638 | 0,1577 | 0,2094 |
| 30 | 5,6338 | 0,1922 | 0,1638 | 0,1840 | 0,1963 | 0,2466 | 0,1515 | 0,1469 | 0,1987 |
| 31 | 5,8216 | 0,1775 | 0,1459 | 0,1721 | 0,1814 | 0,2281 | 0,1368 | 0,1348 | 0,1807 |
| 32 | 6,0094 | 0,1642 | 0,1409 | 0,1619 | 0,1691 | 0,2142 | 0,1231 | 0,1270 | 0,1674 |
| 33 | 6,1972 | 0,1535 | 0,1258 | 0,1509 | 0,1564 | 0,1960 | 0,1135 | 0,1149 | 0,1557 |
| 34 | 6,3850 | 0,1409 | 0,1226 | 0,1443 | 0,1461 | 0,1854 | 0,1018 | 0,1076 | 0,1433 |
| 35 | 6,5728 | 0,1314 | 0,1106 | 0,1345 | 0,1335 | 0,1696 | 0,0937 | 0,0987 | 0,1330 |
| 36 | 6,7606 | 0,1193 | 0,1040 | 0,1263 | 0,1272 | 0,1561 | 0,0863 | 0,0923 | 0,1207 |
| 37 | 6,9484 | 0,1108 | 0,0984 | 0,1196 | 0,1174 | 0,1434 | 0,0794 | 0,0857 | 0,1123 |
| 38 | 7,1362 | 0,1032 | 0,0906 | 0,1128 | 0,1069 | 0,1331 | 0,0728 | 0,0807 | 0,1026 |
| 39 | 7,3239 | 0,0923 | 0,0884 | 0,1082 | 0,1032 | 0,1224 | 0,0677 | 0,0759 | 0,0943 |
| 40 | 7,5117 | 0,0860 | 0,0785 | 0,1003 | 0,0930 | 0,1101 | 0,0618 | 0,0701 | 0,0857 |
| 41 | 7,6995 | 0,0754 | 0,0783 | 0,0964 | 0,0884 | 0,1011 | 0,0624 | 0,0662 | 0,0827 |
| 42 | 7,8873 | 0,0699 | 0,0705 | 0,0910 | 0,0840 | 0,0933 | 0,0560 | 0,0621 | 0,0746 |
| 43 | 8,0751 | 0,0634 | 0,0687 | 0,0873 | 0,0787 | 0,0844 | 0,0544 | 0,0590 | 0,0705 |
| 44 | 8,2629 | 0,0563 | 0,0623 | 0,0848 | 0,0764 | 0,0792 | 0,0513 | 0,0552 | 0,0661 |
| 45 | 8,4507 | 0,0518 | 0,0615 | 0,0800 | 0,0695 | 0,0706 | 0,0499 | 0,0530 | 0,0593 |
| 46 | 8,6385 | 0,0440 | 0,0555 | 0,0772 | 0,0683 | 0,0653 | 0,0495 | 0,0488 | 0,0563 |
| 47 | 8,8263 | 0,0416 | 0,0563 | 0,0736 | 0,0646 | 0,0582 | 0,0449 | 0,0467 | 0,0530 |
| 48 | 9,0141 | 0,0350 | 0,0500 | 0,0703 | 0,0622 | 0,0527 | 0,0447 | 0,0428 | 0,0469 |
| 49 | 9,2019 | 0,0318 | 0,0507 | 0,0674 | 0,0599 | 0,0482 | 0,0432 | 0,0439 | 0,0473 |
| 50 | 9,3897 | 0,0284 | 0,0486 | 0,0669 | 0,0546 | 0,0439 | 0,0403 | 0,0403 | 0,0434 |
| 51 | 9,5775 | 0,0255 | 0,0450 | 0,0652 | 0,0552 | 0,0402 | 0,0392 | 0,0394 | 0,0402 |
| 52 | 9,7653 | 0,0237 | 0,0449 | 0,0610 | 0,0531 | 0,0350 | 0,0368 | 0,0351 | 0,0370 |
| 53 | 9,9531 | 0,0196 | 0,0406 | 0,0620 | 0,0512 | 0,0321 | 0,0350 | 0,0342 | 0,0352 |
| 54 | 10,1408 | 0,0185 | 0,0413 | 0,0576 | 0,0469 | 0,0294 | 0,0329 | 0,0343 | 0,0333 |
| 55 | 10,3286 | 0,0175 | 0,0363 | 0,0580 | 0,0481 | 0,0247 | 0,0305 | 0,0324 | 0,0321 |
| 56 | 10,5164 | 0,0125 | 0,0377 | 0,0550 | 0,0474 | 0,0226 | 0,0295 | 0,0310 | 0,0293 |
| 57 | 10,7042 | 0,0155 | 0,0335 | 0,0555 | 0,0444 | 0,0204 | 0,0250 | 0,0300 | 0,0263 |
| 58 | 10,8920 | 0,0133 | 0,0319 | 0,0522 | 0,0430 | 0,0184 | 0,0240 | 0,0301 | 0,0265 |
| 59 | 11,0798 | 0,0125 | 0,0310 | 0,0524 | 0,0405 | 0,0152 | 0,0212 | 0,0271 | 0,0230 |
| 60 | 11,2676 | 0,0147 | 0,0315 | 0,0499 | 0,0413 | 0,0126 | 0,0170 | 0,0263 | 0,0191 |
| 61 | 11,4554 | 0,0124 | 0,0277 | 0,0507 | 0,0378 | 0,0119 | 0,0145 | 0,0252 | 0,0200 |
| 62 | 11,6432 | 0,0125 | 0,0267 | 0,0486 | 0,0375 | 0,0074 | 0,0109 | 0,0262 | 0,0162 |
| 63 | 11,8310 | 0,0134 | 0,0260 | 0,0476 | 0,0391 | 0,0069 | 0,0109 | 0,0230 | 0,0113 |
| 64 | 12,0188 | 0,0123 | 0,0222 | 0,0427 | 0,0363 | 0,0052 | 0,0079 | 0,0236 | 0,0150 |
| 65 | 12,2066 | 0,0120 | 0,0238 | 0,0425 | 0,0357 | 0,0050 | 0,0096 | 0,0220 | 0,0101 |
| 66 | 12,3944 | 0,0125 | 0,0215 | 0,0407 | 0,0339 | 0,0048 | 0,0068 | 0,0206 | 0,0111 |
| 67 | 12,5822 | 0,0132 | 0,0208 | 0,0367 | 0,0330 | 0,0050 | 0,0091 | 0,0195 | 0,0086 |
| 68 | 12,7700 | 0,0117 | 0,0181 | 0,0378 | 0,0341 | 0,0055 | 0,0102 | 0,0202 | 0,0063 |
| 69 | 12,9577 | 0,0110 | 0,0185 | 0,0372 | 0,0325 | 0,0071 | 0,0128 | 0,0187 | 0,0079 |
| 70 | 13,1455 | 0,0127 | 0,0158 | 0,0347 | 0,0324 | 0,0086 | 0,0132 | 0,0172 | 0,0051 |
| Normierungsfaktor | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 | 10100 |

Tabelle 7.2.6.4 - Normierte Messwerte der MTF für die waagerechte Anordnung des Spaltes

Korrigierte Messwerte der MTF und Funktionswerte der Sinc-Funktion

| | Frequenz | Sinc-Funktion | Korr. MTF - waagerecht | Korr. MTF - senkrecht |
|----|----------|---------------|------------------------|-----------------------|
| 1 | 0,1878 | 0,9999 | 0,9902 | 0,9902 |
| 2 | 0,3756 | 0,9995 | 0,9639 | 0,9376 |
| 3 | 0,5634 | 0,9989 | 0,9546 | 0,9421 |
| 4 | 0,7512 | 0,9981 | 0,9267 | 0,8846 |
| 5 | 0,9390 | 0,9971 | 0,8994 | 0,8716 |
| 6 | 1,1268 | 0,9958 | 0,8761 | 0,8324 |
| 7 | 1,3146 | 0,9943 | 0,8462 | 0,8023 |
| 8 | 1,5023 | 0,9925 | 0,8176 | 0,7663 |
| 9 | 1,6901 | 0,9905 | 0,7869 | 0,7339 |
| 10 | 1,8779 | 0,9883 | 0,7593 | 0,7052 |
| 11 | 2,0657 | 0,9858 | 0,7269 | 0,6723 |
| 12 | 2,2535 | 0,9832 | 0,6966 | 0,6509 |
| 13 | 2,4413 | 0,9803 | 0,6688 | 0,6172 |
| 14 | 2,6291 | 0,9771 | 0,6393 | 0,6004 |
| 15 | 2,8169 | 0,9738 | 0,6112 | 0,5716 |
| 16 | 3,0047 | 0,9702 | 0,5827 | 0,5527 |
| 17 | 3,1925 | 0,9664 | 0,5558 | 0,5263 |
| 18 | 3,3803 | 0,9624 | 0,5317 | 0,5113 |
| 19 | 3,5681 | 0,9581 | 0,5028 | 0,4989 |
| 20 | 3,7559 | 0,9537 | 0,4808 | 0,4814 |
| 21 | 3,9437 | 0,9490 | 0,4555 | 0,4694 |
| 22 | 4,1315 | 0,9441 | 0,4325 | 0,4513 |
| 23 | 4,3192 | 0,9390 | 0,4104 | 0,4448 |
| 24 | 4,5070 | 0,9337 | 0,3904 | 0,4282 |
| 25 | 4,6948 | 0,9282 | 0,3697 | 0,4211 |
| 26 | 4,8826 | 0,9225 | 0,3480 | 0,4079 |
| 27 | 5,0704 | 0,9165 | 0,3290 | 0,3992 |
| 28 | 5,2582 | 0,9104 | 0,3085 | 0,3876 |
| 29 | 5,4460 | 0,9041 | 0,2910 | 0,3751 |
| 30 | 5,6338 | 0,8976 | 0,2748 | 0,3698 |
| 31 | 5,8216 | 0,8909 | 0,2561 | 0,3586 |
| 32 | 6,0094 | 0,8840 | 0,2423 | 0,3491 |
| 33 | 6,1972 | 0,8769 | 0,2236 | 0,3355 |
| 34 | 6,3850 | 0,8696 | 0,2132 | 0,3269 |
| 35 | 6,5728 | 0,8622 | 0,1967 | 0,3116 |
| 36 | 6,7606 | 0,8546 | 0,1827 | 0,3016 |
| 37 | 6,9484 | 0,8468 | 0,1693 | 0,2894 |
| 38 | 7,1362 | 0,8388 | 0,1586 | 0,2763 |
| 39 | 7,3239 | 0,8307 | 0,1473 | 0,2631 |
| 40 | 7,5117 | 0,8224 | 0,1339 | 0,2515 |
| 41 | 7,6995 | 0,8139 | 0,1242 | 0,2483 |
| 42 | 7,8873 | 0,8053 | 0,1158 | 0,2302 |
| 43 | 8,0751 | 0,7965 | 0,1059 | 0,2282 |
| 44 | 8,2629 | 0,7876 | 0,1006 | 0,2160 |
| 45 | 8,4507 | 0,7785 | 0,0907 | 0,2126 |
| 46 | 8,6385 | 0,7693 | 0,0849 | 0,2037 |
| 47 | 8,8263 | 0,7600 | 0,0766 | 0,1987 |
| 48 | 9,0141 | 0,7505 | 0,0702 | 0,2004 |
| 49 | 9,2019 | 0,7409 | 0,0651 | 0,1914 |
| 50 | 9,3897 | 0,7311 | 0,0600 | 0,1862 |
| 51 | 9,5775 | 0,7213 | 0,0557 | 0,1791 |
| 52 | 9,7653 | 0,7113 | 0,0493 | 0,1817 |
| 53 | 9,9531 | 0,7012 | 0,0457 | 0,1759 |
| 54 | 10,1408 | 0,6910 | 0,0426 | 0,1765 |
| 55 | 10,3286 | 0,6807 | 0,0362 | 0,1759 |
| 56 | 10,5164 | 0,6702 | 0,0337 | 0,1711 |
| 57 | 10,7042 | 0,6597 | 0,0309 | 0,1721 |
| 58 | 10,8920 | 0,6491 | 0,0284 | 0,1704 |
| 59 | 11,0798 | 0,6384 | 0,0239 | 0,1721 |
| 60 | 11,2676 | 0,6276 | 0,0200 | 0,1630 |
| 61 | 11,4554 | 0,6168 | 0,0193 | 0,1671 |
| 62 | 11,6432 | 0,6058 | 0,0123 | 0,1621 |
| 63 | 11,8310 | 0,5948 | 0,0117 | 0,1638 |
| 64 | 12,0188 | 0,5837 | 0,0090 | 0,1620 |
| 65 | 12,2066 | 0,5726 | 0,0088 | 0,1593 |
| 66 | 12,3944 | 0,5613 | 0,0085 | 0,1582 |
| 67 | 12,5822 | 0,5501 | 0,0092 | 0,1571 |
| 68 | 12,7700 | 0,5388 | 0,0103 | 0,1551 |
| 69 | 12,9577 | 0,5274 | 0,0135 | 0,1539 |
| 70 | 13,1455 | 0,5160 | 0,0167 | 0,1514 |

Tabelle 7.2.6.5 - Korrigierte Messwerte der MTF und Funktionswerte der Sinc-Funktion

7.3 Herleitung der allgemeinen Formel für die Reflexion

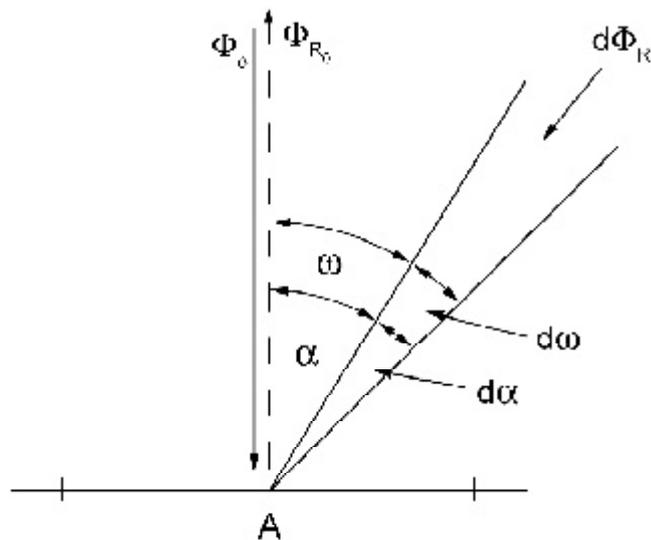


Bild 7.3.1 - Skizze zur Herleitung

Winkelberechnung:

$$\mathbf{w} = 2\mathbf{p} (1 - \cos \mathbf{a}) \cdot \Omega_0 \quad \Omega_0 = \text{Einheitsraumwinkel}$$

$$d\mathbf{w} = 2\mathbf{p} \sin \mathbf{a} d\mathbf{a} \cdot \Omega_0$$

Lichtstärke:

$$I = \frac{d\mathbf{f}_R}{d\mathbf{w}}$$

$$d\mathbf{f}_R = I \cdot d\mathbf{w} = I_0 \cdot (\cos \mathbf{a})^n \cdot d\mathbf{w}$$

$$d\mathbf{f}_R = I_0 \cdot (\cos \mathbf{a})^n \cdot 2\mathbf{p} \sin \mathbf{a} \cdot d\mathbf{a} \cdot \Omega_0$$

Integration über den ganzen Winkel:

$$\mathbf{f}_R = 2\mathbf{p} \cdot I_0 \cdot \int_0^{\pi/2} (\cos \mathbf{a})^n \cdot \sin \mathbf{a} \, d\mathbf{a} \cdot \Omega_0$$

$$u = \cos \mathbf{a}$$

$$u' = \frac{du}{d\mathbf{a}} = -\sin \mathbf{a}$$

$$du = -\sin \mathbf{a} \, d\mathbf{a}$$

$$\mathbf{f}_R = 2\mathbf{p} \cdot I_0 \cdot \int_0^1 -(u)^n \, du \cdot \Omega_0$$

$$= -2\mathbf{p} \cdot I_0 \cdot \left[\frac{1}{n+1} \cdot u^{(n+1)} \right]_0^1 \cdot \Omega_0$$

$$= -\frac{2}{n+1} \cdot \mathbf{p} \cdot I_0 \cdot \Omega_0$$

Andererseits:

$$\mathbf{f}_R = \mathbf{r} \cdot \mathbf{f}_0 = -\frac{2}{n+1} \cdot \mathbf{p} \cdot I_0 \cdot \Omega_0 \quad | \div A$$

$$\mathbf{r} \cdot \frac{\mathbf{f}_0}{A} = -\frac{2}{n+1} \cdot \mathbf{p} \cdot \frac{I_0}{A} \cdot \Omega_0$$

$$\mathbf{r} \cdot E = -\frac{2}{n+1} \cdot \mathbf{p} \cdot L \cdot \Omega_0$$

$$\mathbf{r} = \frac{L}{E} \cdot \left(-\frac{2}{n+1} \cdot \mathbf{p} \right) \cdot \Omega_0$$

$$|\mathbf{r}| = \frac{L}{E} \cdot \frac{2}{n+1} \cdot \mathbf{p}$$

Daher muss die Leuchtdichte genau in Reflexionsrichtung gemessen werden. Die Formel für die Transmission kann analog hierzu hergeleitet werden.

7.4 Programmcode des MTF-Auswerteprogramms

```
/* File name: mgrab.c
 * Synopsis: This program grabs an image from the camera.
 */
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <stdlib.h>
#include <mil.h>
#include <conio.h>
#include <windows.h>

#define nx 1024
#define ny 768
#define gx 400
#define gy 256
#define fMax 85
#define IMAGE_DEPTH 8
#define BreitePixel 100

unsigned char Bild[ny][nx];
unsigned char Graph[ny][nx];
unsigned char rauschfrei[ny][nx];

unsigned char gBild1[gy][gx];
unsigned char gBild2[gy][gx];
unsigned char gBild3[gy][gx];

double histo[256];
double histmax,m,b;
double schwerpunkt[nx];

int mittelwert[nx];
long iZeile[nx];
double dZeile[nx];
long kZeile[nx];

int alt1[nx];
int alt3[nx];
```

```
int altRE[nx];
```

```
int altLI[nx];
```

```
MIL_ID MilApplication, //Application identifier. /
```

```
  MilSystem,          // System identifier. /
```

```
  MilDisplay,         // Display identifier. /
```

```
  MilDigitizer,      //Digitizer identifier. /
```

```
  MilImage,
```

```
    Bildpuffer0,
```

```
    Bildpuffer1,
```

```
    Bildpuffer2,
```

```
    Bildpuffer3,
```

```
    Fenster0,
```

```
    Fenster1,
```

```
    Fenster2,
```

```
    Fenster3;          //image buffer identifier./
```

```

void ini (void) {
    int x;
    MappAllocDefault(M_SETUP, &MilApplication, &MilSystem,
        &MilDisplay, &MilDigitizer, &MilImage);

    MbufAlloc2d(MilSystem,gx,gy,IMAGE_DEPTH+M_UNSIGNED,
        M_IMAGE + M_GRAB + M_PROC + M_DISP,&Bildpuffer0);
    MbufAlloc2d(MilSystem,gx,gy,IMAGE_DEPTH+M_UNSIGNED,
        M_IMAGE + M_GRAB + M_PROC + M_DISP,&Bildpuffer1);
    MbufAlloc2d(MilSystem,gx,gy,IMAGE_DEPTH+M_UNSIGNED,
        M_IMAGE + M_GRAB + M_PROC + M_DISP,&Bildpuffer2);
    MbufAlloc2d(MilSystem,nx,ny,IMAGE_DEPTH+M_UNSIGNED,
        M_IMAGE + M_GRAB + M_PROC + M_DISP,&Bildpuffer3);

    MdispAlloc(MilSystem, M_DEV1, "M_DEFAULT",M_OVR+M_WINDOWED,
        &Fenster0);
    MdispAlloc(MilSystem, M_DEV2, "M_DEFAULT", M_OVR+M_WINDOWED,
        &Fenster1);
    MdispAlloc(MilSystem, M_DEV3, "M_DEFAULT", M_OVR+M_WINDOWED,
        &Fenster2);
    MdispAlloc(MilSystem, M_DEV4, "M_DEFAULT", M_OVR+M_WINDOWED,
        &Fenster3);

    MdispSelect(Fenster0, Bildpuffer0);
    MdispSelect(Fenster1, Bildpuffer1);
    MdispSelect(Fenster2, Bildpuffer2);
    MdispSelect(Fenster3, Bildpuffer3);

    MdispZoom(MilDisplay, -2, -2);
    MdispZoom(Fenster3, -2, -2);

    for (x=0;x<nx;x++) {
        alt1[x]=0;
        alt3[x]=0;
        altRE[x]=0;
        altLI[x]=0;
    }
}

```

```

void Grab 0 {
    /* Grab an image. */
    MdigGrab(MilDigitizer, MillImage);
    MbufGet2d(MillImage,0,0,nx,ny,Bild);
}

void histogramm 0 {
    double zuhell;
    histmax=0;
    zuhell=0;

    for (int z=0; z<256; z++)          // Die vorigen Einträge im Histogramm
        histo[z] = 0;                 // werden gelöscht.

    for (int x=0;x<nx;x++) {
        for (int y=0;y<ny;y++)          // „histo“ wird an der Stelle, die der Hellig-
            histo[(int)Bild[y][x]]++;   // keit des Bildpunkts entspricht, um 1 erhöht
    }

    for (int i=0; i<256; i++) {
        if (i>240) zuhell=zuhell+histo[i];
        histo[i] /= (nx*ny);           // Das Histogramm wird auf die
        if (histmax<=histo[i]) histmax=histo[i]; //Summe 1 normiert.
    }
    printf(„Anzahl der Pixel ueber 240: %d\n“, (int)zuhell);
}

void HistoLinie (void) {
    int y;
    double punkt;

    for (y=0; y<256; y++) {
        punkt=(255-(254/histmax)*histo[y]);
        gBild1[alt1[int(y*1.5)]][int(y*1.5)]=0;
        gBild1[(int)punkt][int(y*1.5)]=255;
        alt1[int(y*1.5)]=(int)punkt;
    }
    MbufPut2d(Bildpuffer0,0,0,gx,gy,gBild1);
}

```

```

void Spaltenmittel (void) {
    for (int x=0;x<nx;x++) {
        for (int y=0;y<ny;y++) {
            mittelwert[x]=mittelwert[x] + Bild[y][x];
        }
        mittelwert[x]=mittelwert[x]/ny;
    }
}

```

```

void rauschentf (void) {
    Spaltenmittel();
    for (int y=0;y<ny;y++) {
        for (int x=0;x<nx;x++) {
            if (Bild[y][x]-mittelwert[x]<=0) rauschfrei[y][x]=0;
            else rauschfrei[y][x]=Bild[y][x]-mittelwert[x];
        }
    }
}

```

```

void Schwerpunkt (void) {
    int zaehler, nenner;

    for (int x=0;x<nx;x++) {
        for (int y=0;y<ny;y++) {
            zaehler=zaehler + (y * rauschfrei[y][x]);
            nenner=nenner + rauschfrei[y][x];
        }
        if (nenner<=0) nenner=1;
        schwerpunkt[x]= (double) zaehler/nenner;
        zaehler=0;
        nenner=0;
    }
}

```

```

void Geradengleichung (int steigung1,int achsenabschnitt,int steigung2) {
    double dy,y0=0,y1=0,y2=0;
    int dx,x0,x1,x2;
    int s=0;

    x0 = achsenabschnitt; //Berechnung x-Werte
    x1 = steigung1;
    x2 = steigung2;

    for (s=(x2-5);s<(x2+5);s++) y2=y2+schwerpunkt[s]; //Berechnung y-Werte
    for (s=(x1-5);s<(x1+5);s++) y1=y1+schwerpunkt[s];
    for (s=(x0-5);s<(x0+5);s++) y0=y0+schwerpunkt[s];
    y2=y2/10;
    y1=y1/10;
    y0=y0/10;

    dx = (x2-x1); //Berechnung Steigung
    dy = (y2-y1);
    printf(«dx: %d, dy: %f \n»,dx,dy);
    m=(double)dy/dx;
    printf(„Steigung: %f \n“,m);

    b=y0-m*(double)x0; //Berechnung Achsenabschnitt
    printf(„Achsenabschnitt: %f \n“,b);
}

```

```

void Graphik (void) {
    double punkt=0;
    for (int y=0;y<ny;y++) {
        for (int x=0;x<nx;x++) {
            if (m*x>=-b) punkt=m*x+b;
            Graph[y][x]=(int)(0.5*rauschfrei[y][x]);
            Graph[(int)punkt][x]=225;
        }
    }
    MbufPut2d(Bildpuffer3,0,0,nx,ny,Graph);
}

```

```
void ZeilenMitteln (int Start, int Delta) {
```

```
    int x,y;
```

```
    int x0,dx;
```

```
    long Summe;
```

```
    x0= Start;
```

```
    dx= Delta;
```

```
    for (y=0;y<ny;y++) {
```

```
        Summe=0;
```

```
        for (x=x0;x<x0+dx;x++) {
```

```
            Summe =Summe + Bild[y][x];
```

```
        }
```

```
        iZeile[y]=Summe;
```

```
    }
```

```
}
```

```
void Waagerechte (void) {
```

```
    int y;
```

```
    int rechts, links;
```

```
    long rZeile[nx];
```

```
    long lZeile[nx];
```

```
    ZeilenMitteln(20,50);
```

```
    for (y=0; y<ny; y++) lZeile[y]=iZeile[y];
```

```
    ZeilenMitteln(950,50);
```

```
    for (y=0; y<ny; y++) rZeile[y]=iZeile[y];
```

```
    for (y=0; y<ny; y=y+2) {
```

```
        links=int(255-lZeile[y]/BreitePixel);
```

```
        rechts=int(255-rZeile[y]/BreitePixel);
```

```
        gBild2[altLI[int(y/2)]][int(y/2)]=0;
```

```
        gBild2[altRE[int(y/2)]][int(y/2)]=0;
```

```
        gBild2[links][int(y/2)]=255;
```

```
        gBild2[rechts][int(y/2)]=125;
```

```
        altLI[int(y/2)]=links;
```

```
        altRE[int(y/2)]=rechts;
```

```
    }
```

```
    MbufPut2d(Bildpuffer1,0,0,gx,gy,gBild2);
```

```
}
```

```

void ZeileTransformieren (void) {
    int y,f;
    double SS,CS;
    int fGrenz=fMax;
    double pi=3.1415;
    double a;

    for (f=0;f<fGrenz;f++) {
        SS=0; CS=0;
        for (y=0;y<ny-1;y++) {
            SS=SS-iZeile[y]*sin(2*pi*f*y/(ny-1));
            CS=CS+iZeile[y]*cos(2*pi*f*y/(ny-1));
        }
        a=sqrt(SS*SS+CS*CS);
        dZeile[f]=a;
    }
}

```

```

void NormierungTransformierte (void) {
    int y;
    double Max=-10000000;

    for (y=1;y<fMax;y++) {
        if (dZeile[y]>Max) Max=dZeile[y];
    }
    for (y=1;y<fMax;y++) {
        iZeile[y]=(int)(dZeile[y]/Max*255);
        kZeile[y]=(int)(dZeile[y]/Max*10000);
    }
    iZeile[0]=255;
}

```

```

void TransLinie (void) {
    int f;
    int punkt;

    for (f=0; f<fMax; f++) {
        punkt=(255-iZeile[f]);
        gBild3[alt3[f*4]][f*4]=0;
        gBild3[punkt][f*4]=255;
        alt3[f*4]=punkt;
    }
    MbufPut2d(Bildpuffer2,0,0,gx,gy,gBild3);
}

```

```

void TransformierteSpeichern (void) {
    int f;
    char Name[20];
    char Pfad[20]="d:\\Mtf\\";

    FILE *outf;
    printf(„Gib den Dateinamen fuer die MTF ein „);

    scanf(„%s“,Name);
    strcat (Pfad,Name);
    printf(“%s\n”,Pfad);

    outf=fopen(Pfad,“wt”);

    for (f=0; f<fMax ;f++) {
        fprintf(outf,“%d “,f);
        fprintf(outf,“%d\n”,kZeile[f]);
    }
    fclose(outf);
}

```

```

void Schluss (void) {
    MdispFree(Fenster0);
    MdispFree(Fenster1);
    MdispFree(Fenster2);
    MdispFree(Fenster3);
    MbufFree(Bildpuffer0);
    MbufFree(Bildpuffer1);
    MbufFree(Bildpuffer2);
    MbufFree(Bildpuffer3);
    MappFreeDefault(MilApplication, MilSystem, MilDisplay,
        MilDigitizer, MilImage);
}

```

```

void Ablauf (void) {
    Grab();
    histogramm();
    HistoLinie();
    rauschentf();
    Schwerpunkt();
    Geradengleichung(256,512,768);
    Graphik();
    Waagerechte();
    ZeilenMitteln(200,100);
    ZeileTransformieren();
    NormierungTransformierte();
    TransLinie();
    printf(«\n»);
}

```

```

void main(void) {
    ini();
    do{
        Ablauf();
    }
    while (!_kbhit());

    TransformierteSpeichern();
    Schluss();
}

```

7.5 Literaturverzeichnis

- [1] WOLFGANG GRAU. *Technik der optischen Projektion, Kommentar zu DIN 19045*. 1. Auflage 1994, Beuth Verlag GmbH.
- [2] NEC. *Users Manual VT 45 Gebrauchsanweisung des Gerätes*.
- [3] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. *Projektion von Steh- und Laufbild*. DIN 19045, 1997.
- [4] GOTTFRIED SCHRÖDER. *Technische Optik*. 6. Auflage 1987, Vogel Buchverlag Würzburg.
- [5] EUGEN HECHT. *Optik*. 3. Auflage 2001, Oldenbourg Verlag München.
- [6] SONY. *XCD-X700 User's Guide (Ver. 1.1) - English* - <http://www.sony.net/Products/ISP/pdf/guide/GXCDSX900E.pdf>
- [7] GERHARD TEICHER. *Handbuch der Fototechnik*. 8. Auflage 1983, VEB Fotokinoverlag.
- [8] PLASMAMONITOR. *Vergleich & Test: 42 Zoll High-Resolution - Plasmas von LCDmedia*. <http://www.beamer.de/produkte/plasmabildschirme/plasma2.asp>
- [9] LCD MONITOR. *Vergleich & Test: Großformat LCDs von LCDmedia*. <http://www.beamer.de/produkte/lcd/lcd1.asp>
- [10] GOTTFRIED SCHRÖDER. *Technische Fotografie*. 1. Auflage 1981, Vogel Buchverlag Würzburg.
- [11] CLARENCE H. GRAHAM. *Vision and Visual Perception*. 1965, John Wiley & Sons Inc. New York.
- [12] NEC. *Pressemitteilung April 2002*. http://www.de.nec.de/pressfiles/pm_vt45_heimkino.pdf
- [13] GROßPROJEKTOR. *Vergleich & Test: Event Beamer für Großprojektionen*. <http://www.beamer.de/produkte/beamer/xga5.asp>

7.6 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, die vorgelegte Arbeit in dem gemeldeten Zeitraum ohne fremde Hilfe verfasst und mich keiner anderen als der angegebenen Hilfsmittel und Quellen bedient zu haben

Köln, den 23.11.2004

Unterschrift
(Jochen Schädlich)

7.7 Sperrvermerk

Die Einsicht in die vorgelegte Arbeit ist bis zum 23.11.2006 gesperrt.

7.8 Weitergabeerklärung

Ich erkläre hiermit mein Einverständnis, dass das vorliegende Exemplar meiner Abschlussarbeit oder eine Kopie hiervon für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden darf.

Köln, den 23.11.2004

Unterschrift
(Jochen Schädlich)