

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.

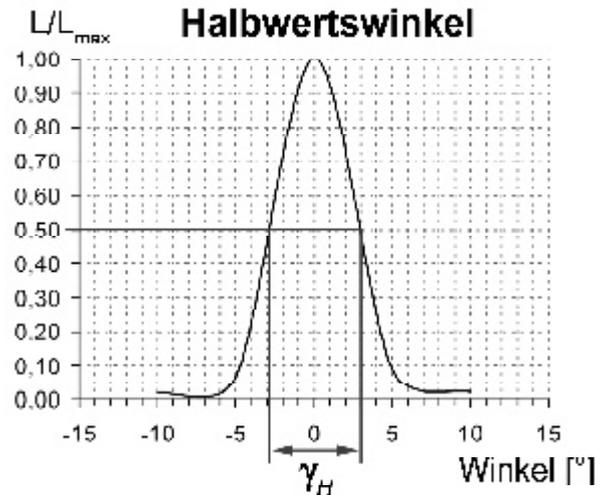


Bild 1.2.1 - Halbwertswinkel

- 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:

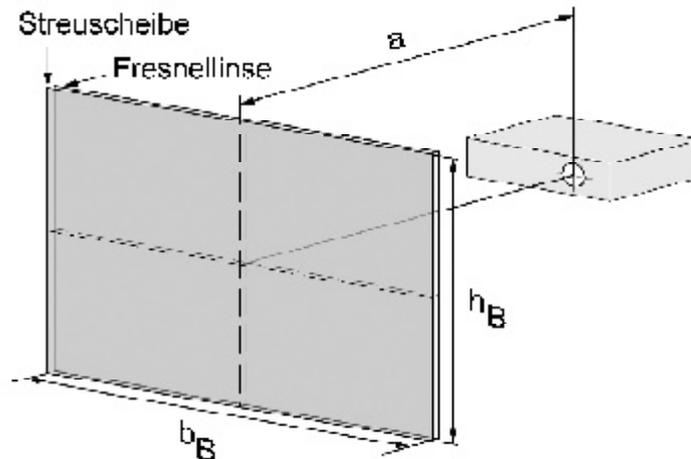


Bild 3.1.1 - Allgemeiner Projektionsaufbau

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.

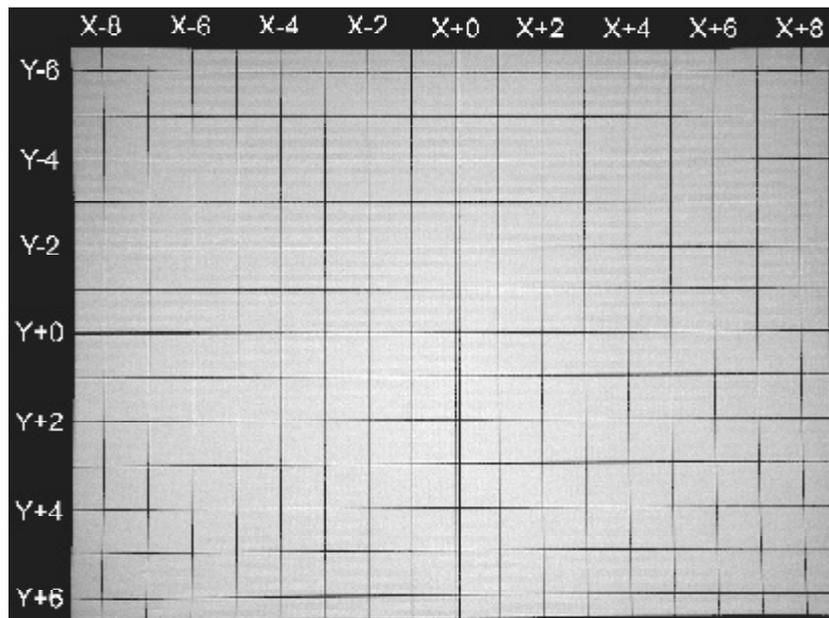


Bild 3.1.2 - Bezeichnung der Messpunkte

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 $\Delta d = 5^\circ$.

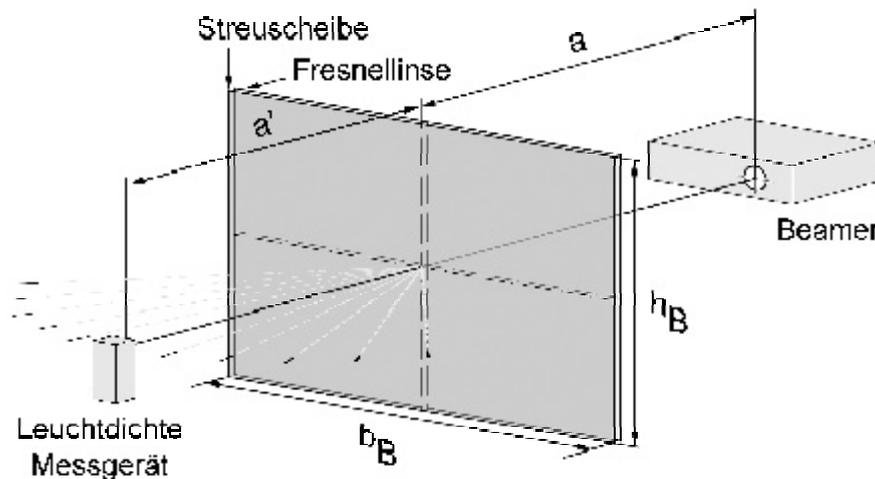


Bild 3.1.3 - Messaufbau zur Abstrahlcharakteristik

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.

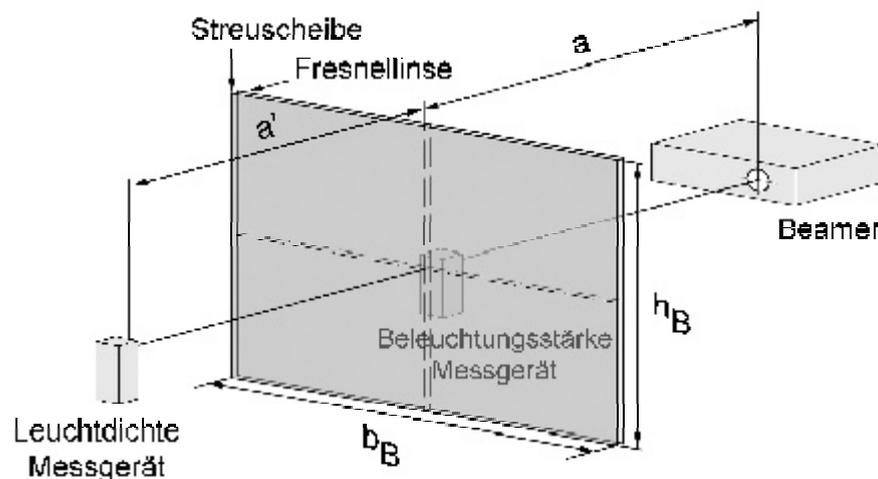


Bild 3.2.1 - Messaufbau zum Transmissionsgrad

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.

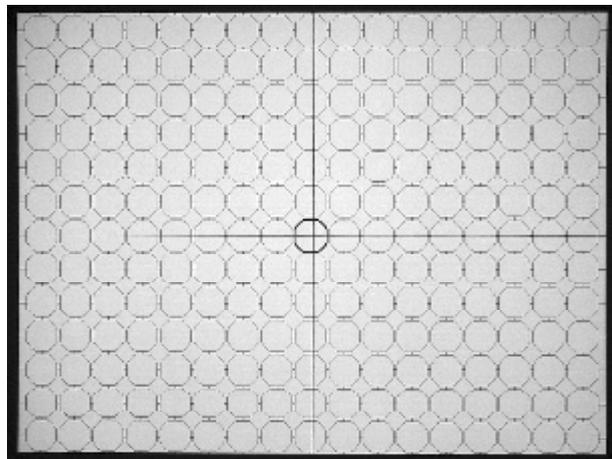


Bild 3.2.2 - Messraster für die Beleuchtungsstärke

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.

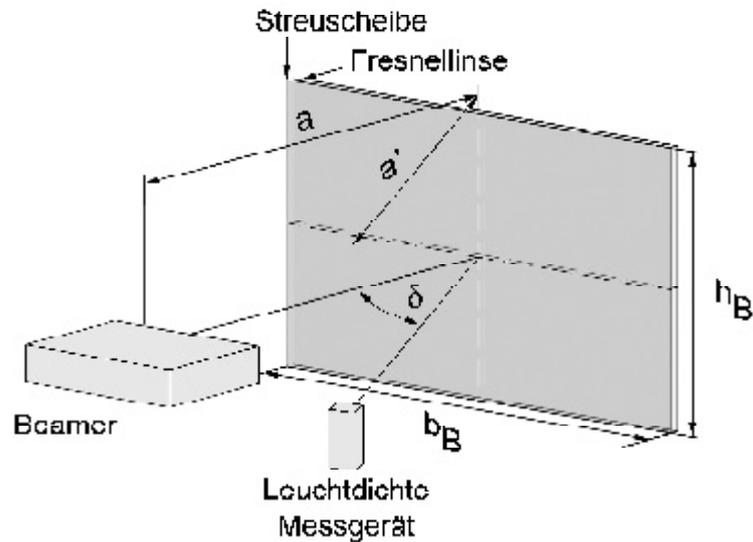


Bild 3.4.1 - Messaufbau zur Abstrahlcharakteristik in Reflexion

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

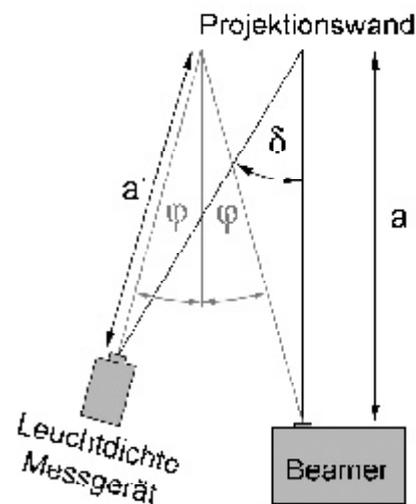
Für die Messung der Winkelabhängigkeit wurde das Leuchtdichtemessgerät in einer Entfernung $a' = 1,47 \text{ m}$ vor der Bildwand auf der gleichen vertikalen Höhe wie der Beamer positioniert. Die Entfernung spielt bei dieser Messung nicht so eine große Rolle. Sie bestimmt lediglich die Größe des Messkreises, 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.

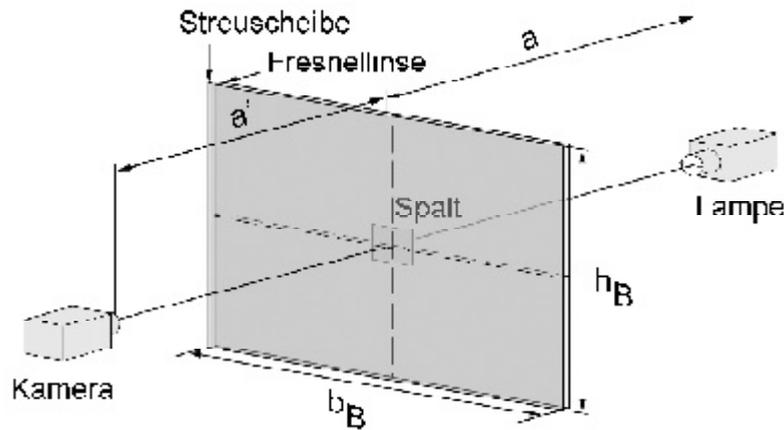


Bild 3.6.1 - Messaufbau der MTF-Messung

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:

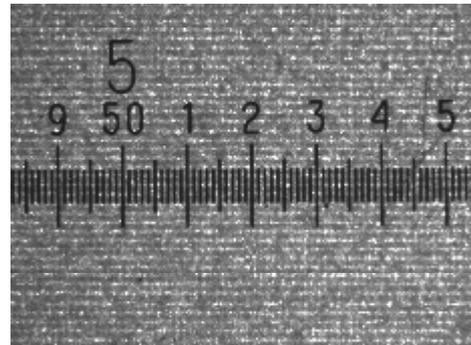


Bild 3.6.2 - Abbildungsmaßstab

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

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 ($0 - 13 \text{ Linien}/\text{mm}$) keinen großen Einfluss auf die MTF der Bildwand. (Erste Nullstelle der Sinc-Funktion bei $R = 22 \text{ Linien}/\text{mm}$)

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

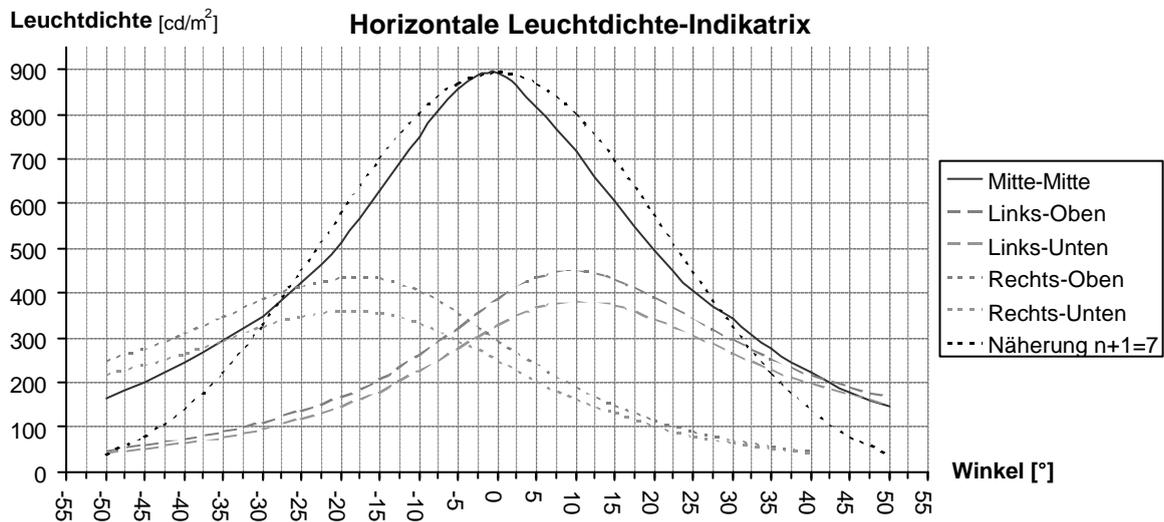


Diagramm 4.1.1 - Horizontale Leuchtdichte-Indikatrix und Näherung

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 $g_H = 14^\circ$.

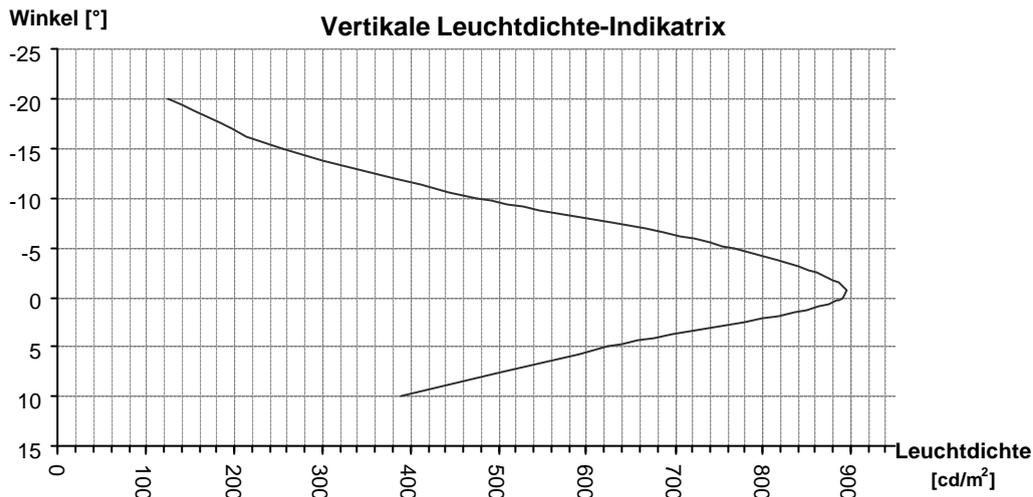


Diagramm 4.1.2 - Vertikale Leuchtdichte-Indikatrix

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.

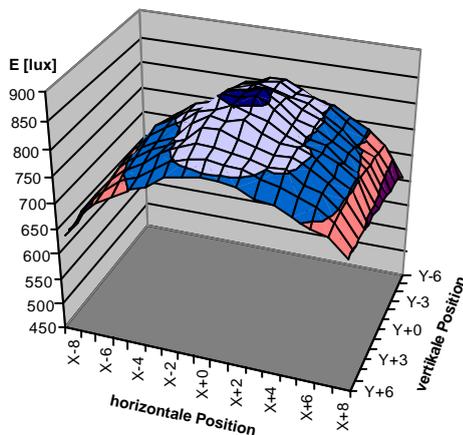


Diagramm 4.2.1 - Beleuchtungsstärke

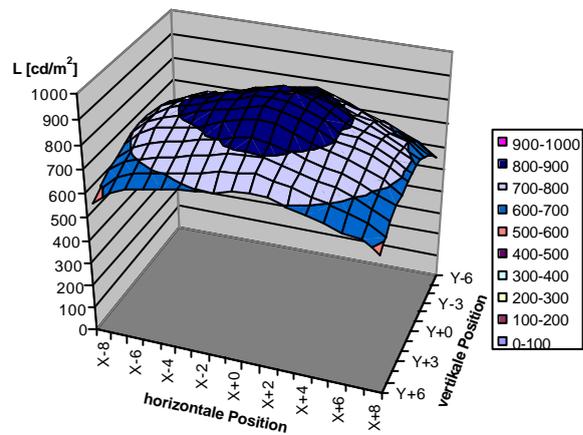


Diagramm 4.2.2 - Leuchtdichte

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.

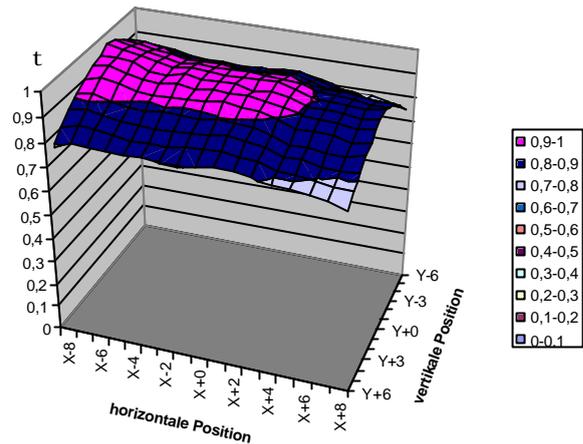


Diagramm 4.2.3 - Transmissionsgrad

4.3 Modulation

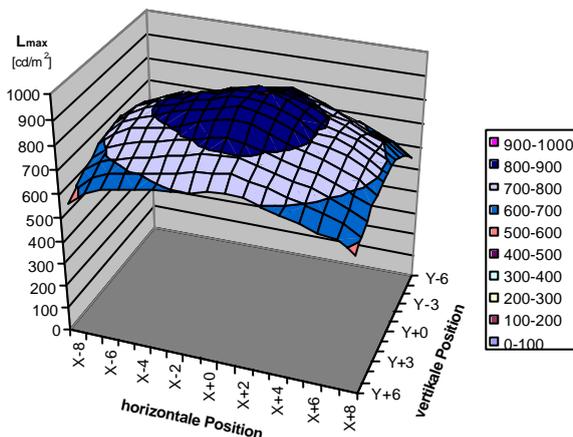


Diagramm 4.3.1 - maximale Leuchtdichte

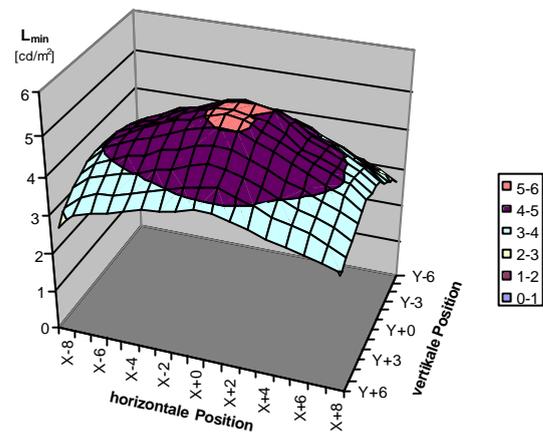


Diagramm 4.3.2 - minimale Leuchtdichte

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.

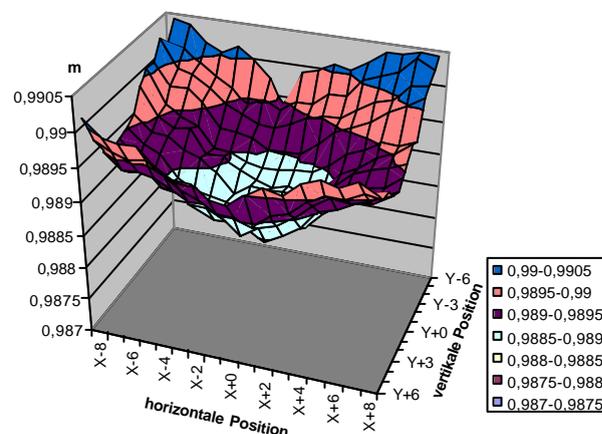


Diagramm 4.3.3 - Modulation

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. $g_H = 6^\circ$.

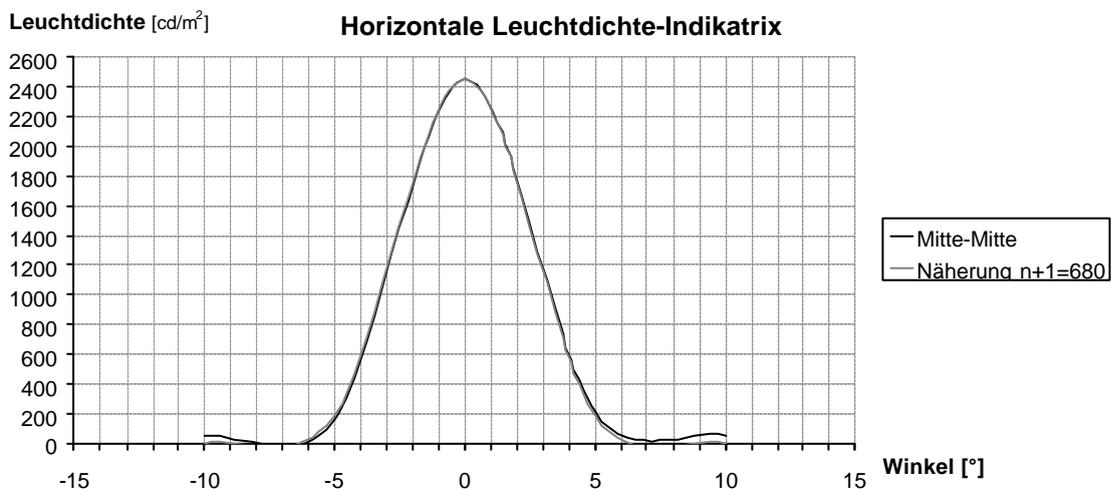


Diagramm 4.4.1 - Horizontale Leuchtdichte-Indikatrix und Näherung

4.5 Reflexionsgrad

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

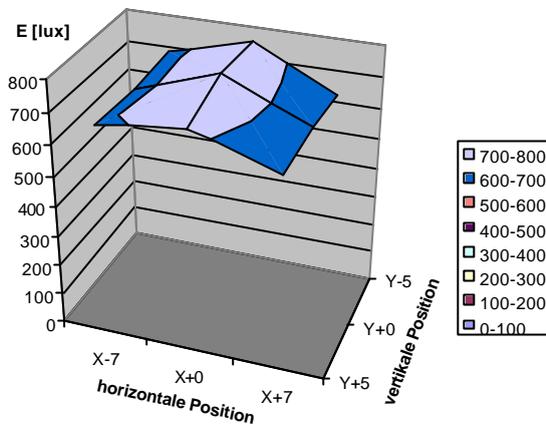


Diagramm 4.5.1 - Beleuchtungsstärke

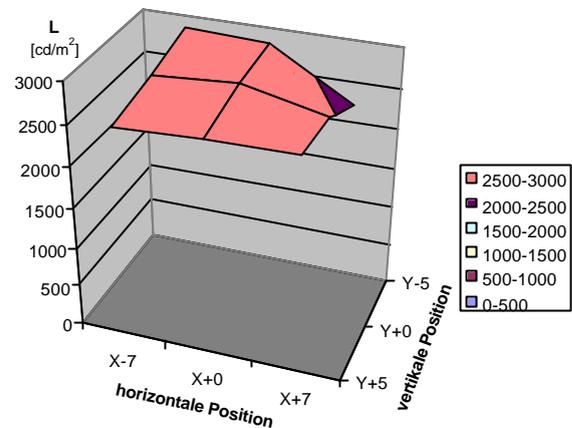


Diagramm 4.5.2 - Leuchtdichte

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.

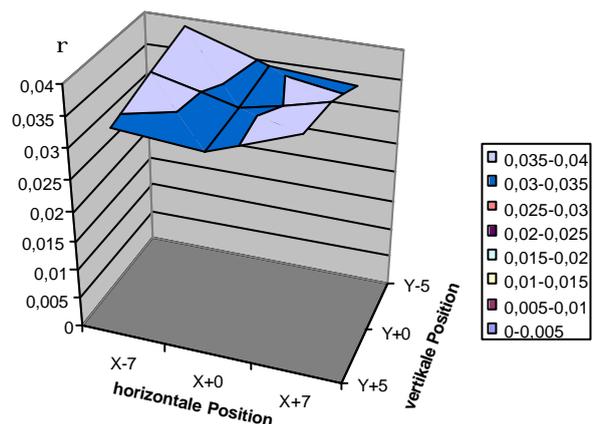


Diagramm 4.5.3 - Reflexionsgrad

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.

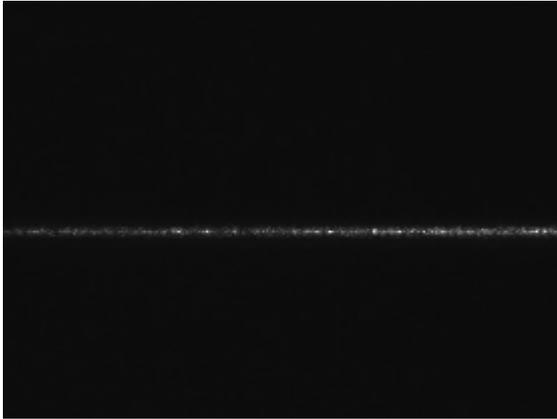


Bild 4.6.1 - Spaltbild senkrecht

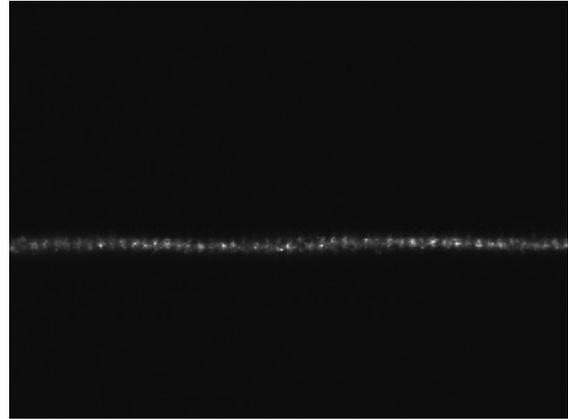


Bild 4.6.2 - Spaltbild waagrecht

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].

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

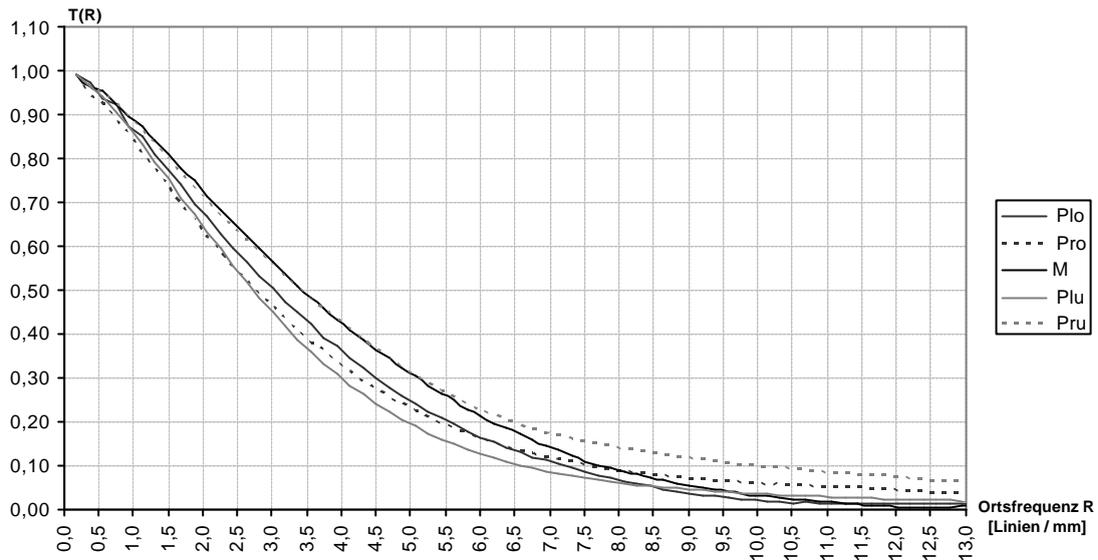


Diagramm 4.6.1 - MTF der Bildwand aus waagerechten Spaltverläufen.

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.

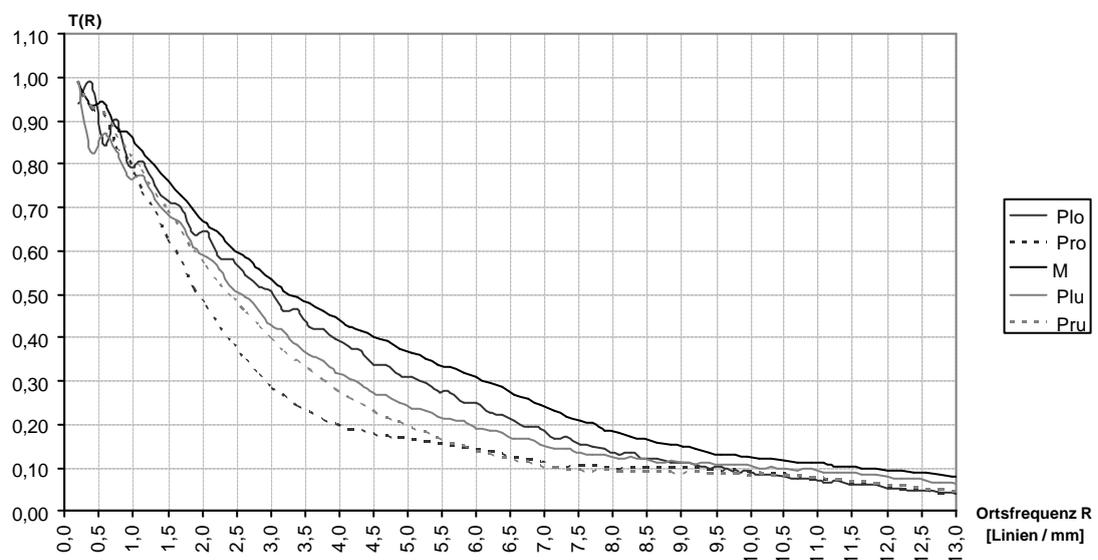


Diagramm 4.6.2 - MTF der Bildwand aus senkrechten Spaltverläufen.

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.

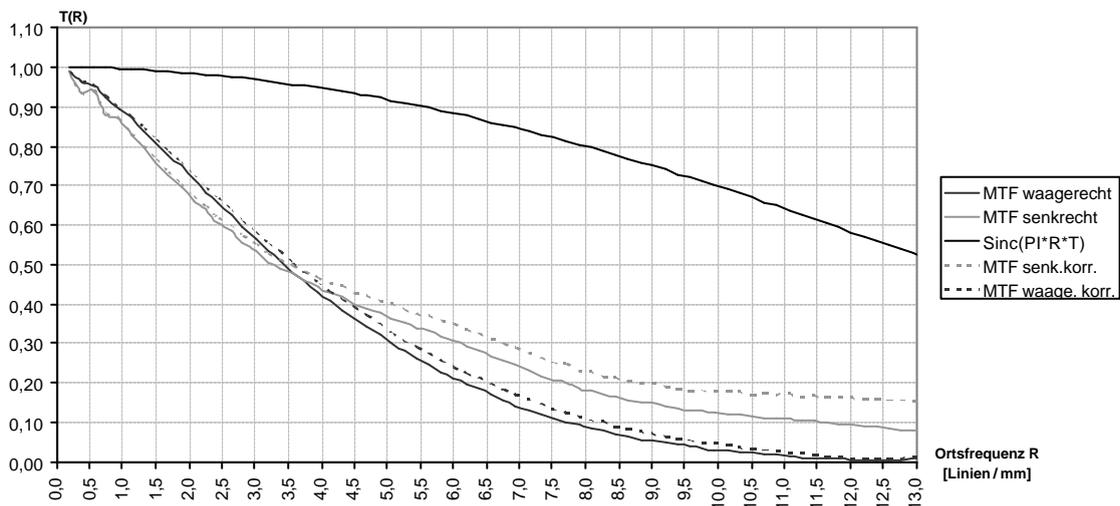


Diagramm 5.6.1 - Vergleich der MTF's und Sinc-Funktion

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.

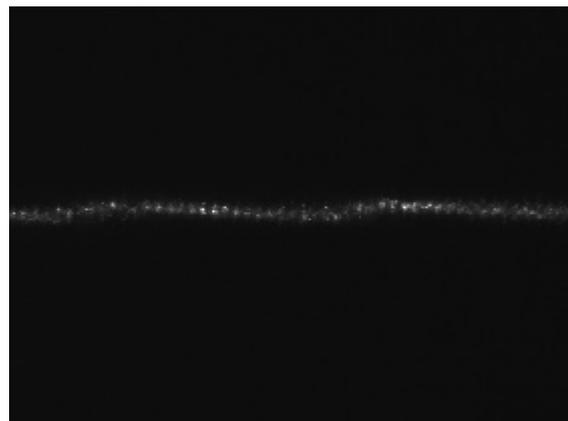


Bild 5.6.1 - gewelltes Spaltbild

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:

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

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).

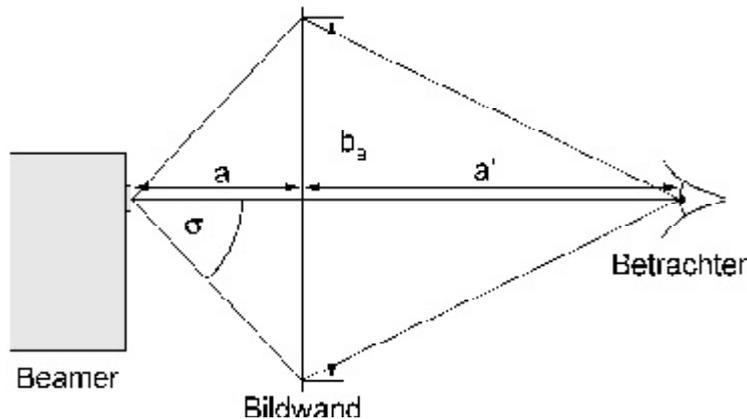


Bild 5.7.1 - Aufsicht auf einen Projektionsaufbau für Fall A

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.

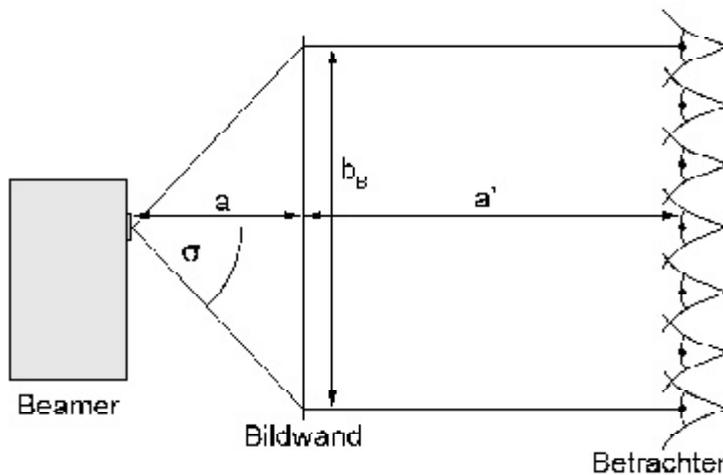


Bild 5.7.2 - Aufsicht auf einen Projektionsaufbau für Fall B

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

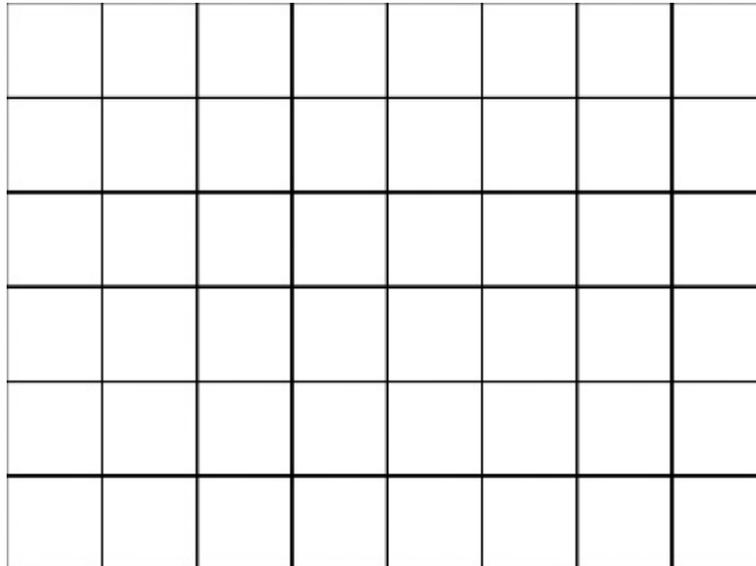


Bild 7.1.1 - Testbild A - Strichgitter

Testbild B - Einstellkreis

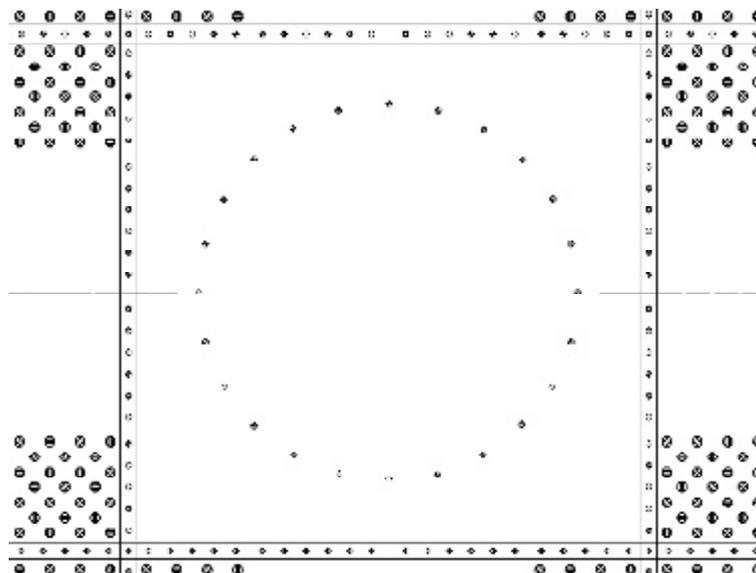


Bild 7.1.2 - Testbild B - Einstellkreis

Testbild C - Messraster

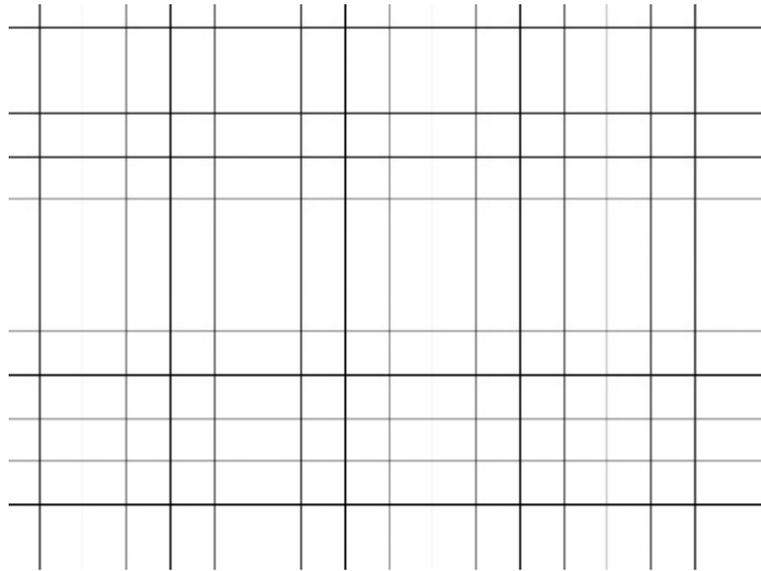


Bild 7.1.3 - Testbild C - Messraster

Testbild D - Messraster für die Beleuchtungsstärke-Messung

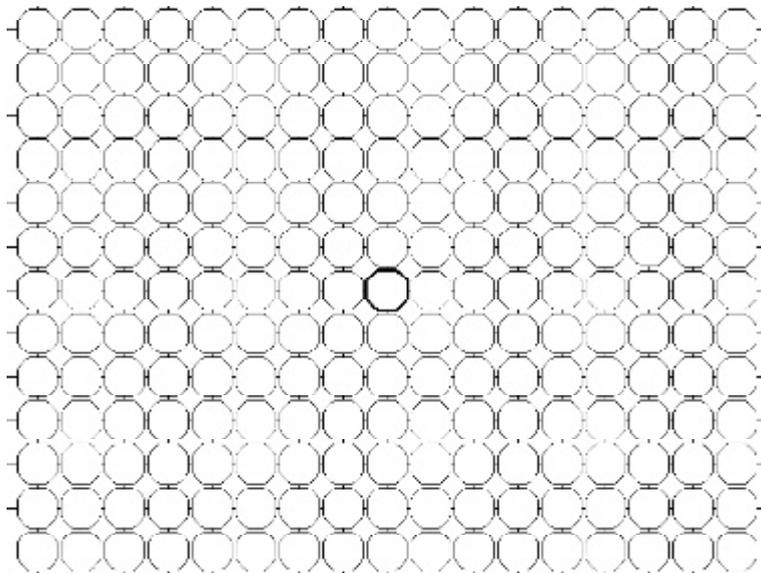


Bild 7.1.4 - Testbild D- Messraster für die Beleuchtungsstärke-Messung

Testbild E - weiße, homogene Fläche



Bild 7.1.5 - Testbild E - weiße, homogene Fläche

Testbild F - schwarze, homogene Fläche

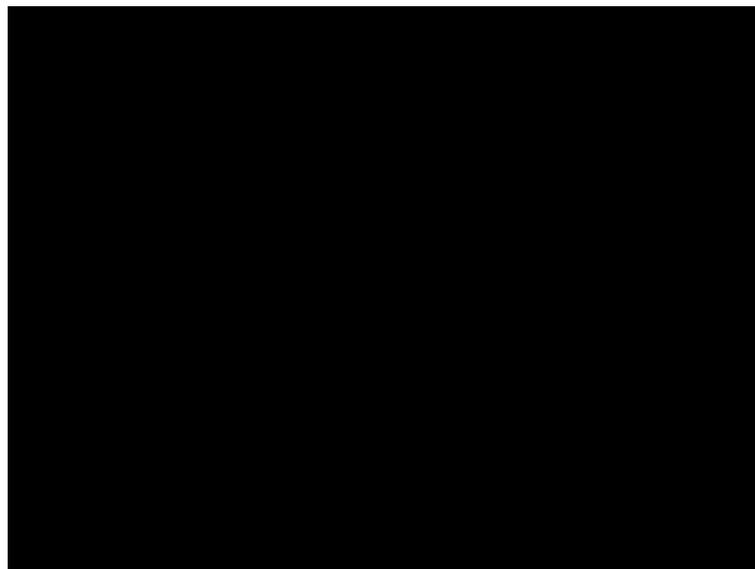


Bild 7.1.6 - Testbild F - schwarze, homogene Fläche

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	736,4	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
		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
MW	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
	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
		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
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
	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
		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
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
	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
		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
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
	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
		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
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
	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
		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
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

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

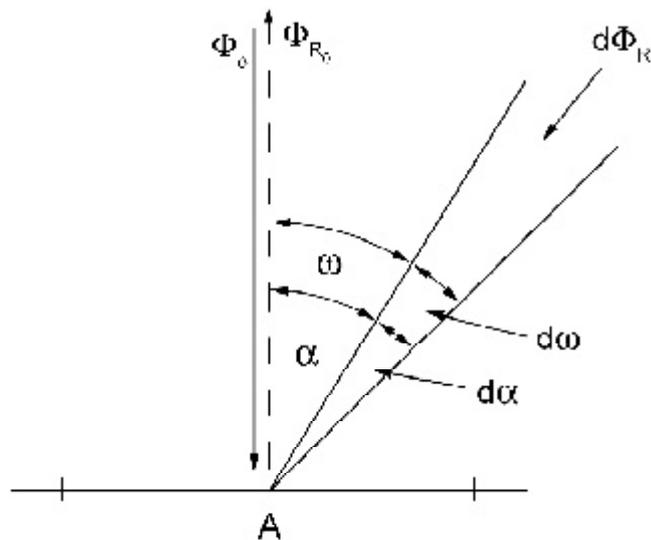


Bild 7.3.1 - Skizze zur Herleitung

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)