

# 1 Inhaltsverzeichnis

## Inhaltsverzeichnis

1 Inhaltsverzeichnis.....	1
2 Übersicht.....	3
2.1 Einleitung.....	3
2.1.1 Keratokonus .....	3
2.2 Ziel.....	3
3 Aufgabenstellung.....	4
4 Zeitplan.....	7
5 Installation Hardwareanforderungen.....	8
5.1.1 Softwareanforderungen.....	8
5.1.2 Migration auf ein anderes Betriebssystem.....	8
5.2 Hardwareinstallation.....	8
5.3 Softwareinstallation.....	8
6 Bedienungsanleitung.....	10
6.1 Graphical User Interface.....	10
6.1.1 Display 1 und 2.....	10
6.1.2 Zeitlimits.....	12
6.1.3 Zielintensitätslevel.....	12
6.1.4 UV-LED-POWER.....	12
6.1.5 Zusätzliche Einstellungen.....	13
6.1.6 Erweiterte Einstellungen.....	13
6.1.7 Quadratischer Fehler.....	14
6.1.8 Bedienelemente.....	14
6.2 Anleitung.....	15
7 Reportfile.....	16
8 Abgleich Algorithmus.....	18
8.1 Vorbereitung.....	18
8.1.1 Messplatz.....	18
8.1.2 Kameraanforderungen.....	19
8.1.3 Messungen und Erkenntnisse.....	20
8.1.4 Schlussfolgerungen/Entscheidungen.....	29
8.2 Grundprinzip.....	30
8.2.1 Kamerabilder erfassen.....	30
8.3 Abgleich-Algorithmus.....	31
8.3.1 Lineares Gleichungssystem (LGS).....	31
8.3.2 Ableitungen der LEDs erfassen.....	34
8.3.3 Fehler.....	34
8.3.4 Bildhelligkeitswerte in Intensität wandeln .....	34
8.4 Wandlung von Bildmatrix in Bildvektor.....	36
9 Test/Validierung.....	37
10 Verbesserungen/Erweiterungen.....	40
11 Quellenverzeichnis.....	41
12 Anitplagiatserklärung.....	42

13 Anhang.....	43
13.1 Messprotokolle.....	43
13.1.1 UV-LED-Messprotokoll.....	43
13.1.2 Schwarzfilter-Messprotokoll.....	67
13.1.3 UV-Filter-Messprotokoll.....	69

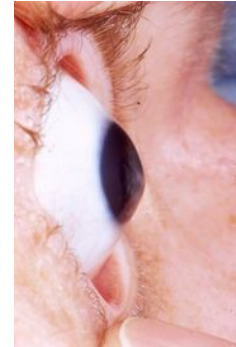
## 2 Übersicht

### 2.1 Einleitung

#### 2.1.1 Keratokonus

Die Augenkrankheit Keratokonus bezeichnet die fortschreitende Ausdünnung und kegelförmige Verformung der Hornhaut des Auges. Die Erkrankung betrifft in der Regel ausschliesslich die zentrale Hornhaut. In der Regel sind die Betroffenen kurzsichtig. Diese Kurzsichtigkeit kann allerdings nicht vollständig mit einer Brille korrigiert werden. Ab einem gewissen Stadium kann die Erkrankung nur noch mit einer Hornhauttransplantation behandelt werden.

Wird die Krankheit genug früh erkannt, kann man sie mit dem neu entwickelten Corneal-Cross-Linking-Verfahren stoppen. Dazu wird auf das Auge eine Riboflavin-Lösung aufgetragen und mit UV-Licht bestrahlt. Dadurch wird das Riboflavin mit der Hornhaut vernetzt und die Hornhaut in Folge verstärkt.



*Abbildung 1:  
Auge mit  
Keratokonius im  
Endstadium*

### 2.2 Ziel

Das von der Zürcher Firma IROC entwickelte UV-X Bestrahlungssystem erzeugt den UV-Strahl mit sieben Leuchtdioden. Um eine erfolgreiche Operation zu gewährleisten müssen die LEDs so abgestimmt werden, dass sie über die Fläche des UV-Strahls eine möglichst gleichmässige Intensität erreichen. Bis jetzt wurden die UV-LEDs manuell eingestellt. Wir haben die Aufgabe einen automatisierten Abgleich der sieben Leuchtdioden zu entwickeln.

### 3 Aufgabenstellung

Thema: Automatisierung der Intensitäts- und Homogenitätseinstellungen eines medizinischen Bestrahlungsgerätes  
Studenten: Thomas Cadalbert, Claudio Corrodi  
Betreuer: Guido Schuster  
Partner: Michael Büeler, IROC AG

#### Aufgabenstellung

- Einarbeitung in die Theorie
- Aufbau eines Messsystems mit Kamera und PC
- Implementierung der Homogenitätsmessung
- Entwicklung eines iterativen Verfahrens, welches die Homogenität automatisch optimiert.

#### Erwartete Ergebnisse

- Dokumentation der Theorie, der Soft- und Hardware
- Ein funktionsfähiger Prototyp
- Beschreibung der Messgenauigkeit
- Beschreibung der Einstellgenauigkeit
- Je ein Laborbuch

#### Arbeitsweise

- Sie führen ein persönliches Laborbuch, wo Sie aufschreiben wann Sie was für wie lange machen und was die Ergebnisse sind
- Sie schicken Herr Schuster vor jeder Sitzung eine Zusammenfassung welche dokumentiert, was Sie in der letzten Woche gemacht haben.

## Automatisierung der Intensitäts- und Homogenitätseinstellungen eines medizinischen Bestrahlungsgerätes (IROC AG, Zürich)

### Medizinischer Hintergrund

Beim so genannten Keratokonus handelt es sich um eine genetisch bedingte Erkrankung des Hornhautgewebes am Auge, welche in der Bevölkerung je nach Studie bei etwa einer von 500 bis einer von 2000 Personen auftritt. Bei den Betroffenen verliert das Gewebe zunehmend an Stabilität, wodurch sich die normalerweise sphärische Hornhaut unter dem Einfluss des Augeninnendruckes zunehmend zu einem spitzen Konus ausbildet (Abb. 1). Dabei kommt es zu einer massiven Abnahme der Sehschärfe, welche bis zur vollständigen Arbeitsunfähigkeit des Patienten führen kann. Die bisher



Abb 1: Hornhaut mit Keratokonus-Erkrankung.

einzigste Behandlungsmöglichkeit stellte die Transplantation einer menschlichen Spenderhornhaut dar. Jährlich warten jedoch alleine in den USA und in Deutschland mehr als 40'000 Betroffene auf ein entsprechendes Transplantat.

## Stand der Technik

Ein neues, in Zürich und Dresden entwickeltes Verfahren, das sog. Corneal Cross-Linking, besitzt das Potential, den Verlauf der Krankheit frühzeitig zu stoppen und damit eine Transplantation und die damit verbundenen Komplikationsrisiken zu verhindern. Studien zeigten, dass durch eine etwa 30-minütige Bestrahlung der Hornhaut mit Licht einer bestimmten Wellenlänge sowie einer vorgängigen Applikation einer Vitaminlösung als Absorber in die Hornhaut das geschwächte Gewebe verfestigt und stabilisiert werden kann (Abb. 2). Der Effekt beruht auf dem Cross-Linking von Kollagen-Molekülen und wird in ähnlicher Weise zur Verhärtung von

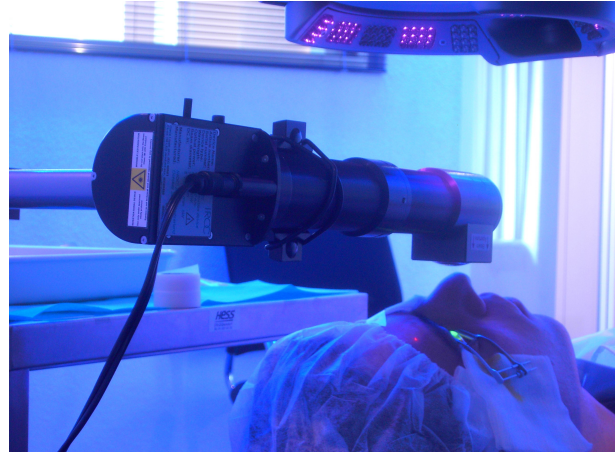


Abb 2: Cross-Linking Behandlung an einem Auge.

Kunststoffen eingesetzt. Am IROC wurde ein entsprechendes Bestrahlungssystem entwickelt, welches bereits im Rahmen einer weltweiten Studie in verschiedenen Augenzentren eingesetzt, und nun mit CE-Zertifizierung international vertrieben wird.

Die UV-Strahlung wird von 7 UV-LEDs erzeugt, welche im Gerät in einem hexagonalen Muster angeordnet sind, und deren Licht über einen speziellen optischen Strahlengang zu einem scharf begrenzten Lichtfleck gemischt wird. Dabei überlappen sich die Strahlungsbereiche einzelner LEDs teilweise stark. Homogenität und Intensität der Strahlung über dem Lichtfleck sind von grosser Bedeutung für den Erfolg der Behandlung. Beim momentanen Stand des Gerätes müssen die zwei Parameter über individuelle Einstellungen der einzelnen UV-LEDs durch „manuelle“ Slider-Bewegungen auf einem PC-Programm eingestellt werden (Abb. 3). Aufgrund von Fertigungsvariationen bei den LEDs und deren Halterung sind zum Teil stark unterschiedliche Einstellungen bei den einzelnen LEDs erforderlich, um die geforderte Homogenität des Lichtflecks zu erreichen. Diese wird über ein kalibriertes externes Lichtmeter geprüft. Der „manuelle“ Abgleich eines einzelnen Bestrahlungsgerätes kann so bis zu 20 Minuten dauern. Dies ist zu lange für eine serielle Fertigung des Gerätes.

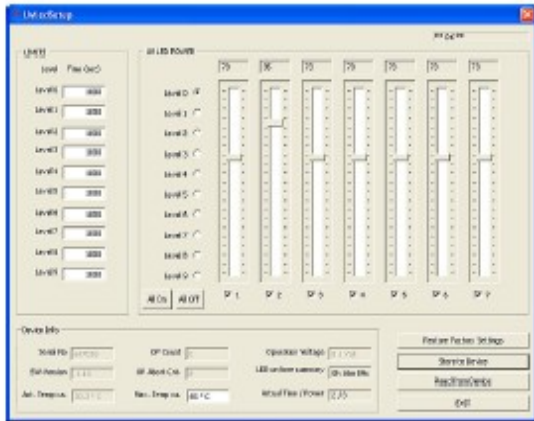


Abb. 3: PC-Programm zur Einstellung der Intensitäten der 7 UV-LEDs (links) und Übertragung der Einstellungen auf den Elektronikteil des Bestrahlungsgerätes (rechts).

### Aufgabenstellung

Die grosse Schwierigkeit bei der Homogenisierung besteht darin, dass sich die Strahlungsbereiche der einzelnen LEDs im Gesamtfleck zum Teil stark überlappen und die LED-Leistung variieren kann. Eine gute Abstimmung kann nur iterativ gefunden werden. Die bisherige „manuelle“ Homogenisierung des Lichtflecks über die 7 LEDs soll deshalb automatisiert werden.

Dies würde in einem geschlossenen Kreislauf zwischen dem Bestrahlungsgerät, einer Kamera, und einem PC geschehen (Abb. 4). Dabei müsste der Gesamtoutput des Gerätes, sowie die Lichtflecken der einzelnen LEDs sequentiell über einen halbdurchlässigen Spiegel mit einer Kamera von einem Schirm abgefilmt werden. Im Bild des Gesamtflecks müssten dann auf dem PC per Bildauswertung jene Bereiche bestimmt werden, deren Intensitätswerte ausserhalb des tolerierten

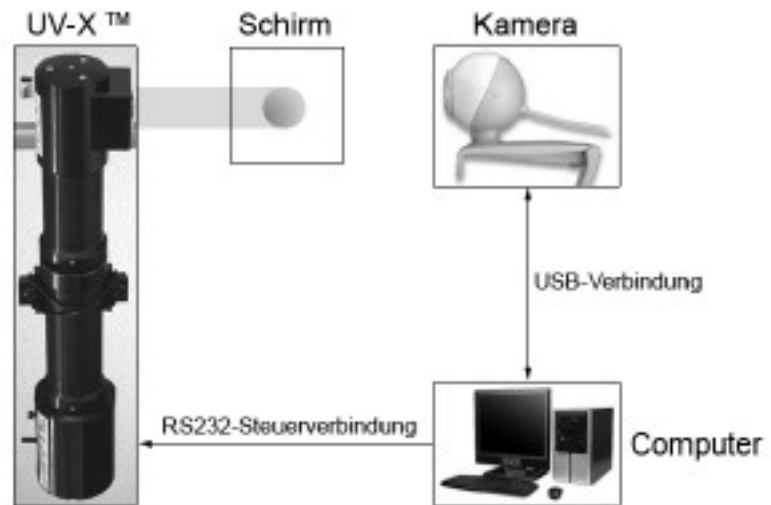


Abb. 4: Kreislauf zwischen Bestrahlungsgerät, Kamera und PC zur automatischen Homogenisierung der Strahlung.

Bereichs liegen. Aus den Bildern der Einzel-LEDs würden dann die für diese Bereiche zuständigen LEDs bestimmt, und deren Intensitätseinstellungen entsprechend inkrementell nach unten oder oben korrigiert werden. Diese neuen Einstellungen würden dann vom PC auf das Bestrahlungsgerät übertragen, und der Gesamtoutput erneut bezüglich Homogenität geprüft werden. Iterativ könnten so die besten Einstellungen für das jeweilige Gerät gefunden werden.

## 4 Zeitplan

Es wurde ein Zeitplan erstellt, aber er musste mehrmals komplett überarbeitet werden. Deshalb kamen wir zum Schluss, dass es am Sinnvollsten ist, wenn wir stattdessen die Aufgaben mit den tatsächlichen Start- und End-Datum auflisten.

<b>Aufgabe</b>	<b>Angefangen am:</b>	<b>Beendet am:</b>
<b>Hardware</b>		
Kamera auswählen	15.04.2007	10.05.2007
Kamera in Betrieb nehmen	13.05.2007	05.07.2007
Kennlinie des Schwarzfilters aufnehmen	06.05.2007	06.05.2007
Kennlinie des UV-Filters aufnehmen	29.05.2007	03.06.2007
Kennlinie der UV-LEDs aufnehmen	06.05.2007	06.05.2007
Mechanischer Aufbau	09.05.2007	14.05.2007
<b>Software</b>		
DOS-Befehle implementieren	24.04.2007	10.05.2007
Kameradaten erfassen	24.05.2007	20.06.2007
Blendendurchmesser überprüfen	29.05.2007	20.06.2007
LED-Anordnung ermitteln	18.06.2007	20.06.2007
Abgleichfunktionen programmieren	15.04.2007	06.07.2007
Auswertung der Intensität	02.07.2007	08.07.2007
Ausgabe auf GUI	15.05.2007	02.07.2007
GUI	21.04.2007	07.07.2007
Programmieren von sonstigen Hilfsfunktionen	28.04.2007	07.07.2007
Führung durch das GUI	03.06.2007	08.06.2007
Schnittstellen der Funktionen	28.05.2007	18.06.2007
Zusammenfügen der Funktionen	14.06.2007	06.07.2007
Report-File	07.06.2007	08.07.2007
Umwandlung uWatt <-> Watt/cm <sup>2</sup>	06.06.2007	08.07.2007
<b>Sonstiges</b>		
Dokumentation	01.07.2007	09.07.2007
Informieren über Thema	04.04.2007	18.04.2007
Präsentation	06.06.2007	06.07.2007

## 5 Installation Hardwareanforderungen

Die benötigten mindest Hardwareanforderungen konnten nicht genau spezifiziert werden.

Die Applikation wurde jedoch zweckmässig auf folgendem System getestet:

Fujitsu Siemens PC

- Intel Pentium 4 3,4 Ghz
- 2 GByte RAM
- USB-Anschluss
- serielle Schnittstelle

### 5.1.1 Softwareanforderungen

Das Abgleichsystem wurde mit dem Betriebssystem Microsoft Windows XP release 2 (Service Pack 2) und mit der Matlabversion 2006a realisiert. Matlab benötigt ausserdem die beiden Toolboxen „Optimation“ und „ImageProcessing“.

### 5.1.2 Migration auf ein anderes Betriebssystem

Der Matlab-Code kann mit ein paar Anpassungen auf ein anderes Betriebssystem migriert werden. Für die Kamera müsste jedoch noch ein passenderer Treiber gefunden werden, wie auch für die serielle Schnittstelle.

## 5.2 Hardwareinstallation

Schliessen Sie das serielle Kabel am PC an.

Die USB-Kamera darf erst nach Installation des USB-Kameratreiber angeschlossen werden (Anweisung aus der Installationanleitung Logitech).

## 5.3 Softwareinstallation

### 1. Installation der USB-Kamera

Führen Sie von der Logitech-Cd die Installation aus.

Bei der Installation müssen keine besonderen Einstellungen vorgenommen werden.

Führen Sie den verlangten Neustart aus.

Schliessen Sie die Kamera an.

### 2. Installation der Abgleich-Applikation

Voraussetzung: Matlab und die beiden Toolboxen, Image Processing Toolbox und Optimation Toolbox sind schon installiert. Es muss dann nur noch sichergestellt werden, dass die benötigten Files im richtigen Ordner sind.

Liste der benötigten Files:

abgleich.m	getVectorPicture.m	UvLedCmd.bat
auswertung.m	ledAnordnung.m	UvLedCmd.exe
blendendurchmesser.m	Logo HSR.bmp	UvLedSetup.exe
buildCircleMask.m	Logo IROC.bmp	UvLedSetup.ini
buildDiffWithMask.m	matrixToVector.m	UvLedSetupTestfile.ini
calcVectorPrioMask.m	report.m	UvLedTest.ini
camConfig.m	schnellAbgleich.m	vectorToMatrix.m
getDiffLed.m	snapshot.m	vfm.dll
getDiffLedSchnell.m	UvLedAutoSetup.fig	vfm.m
getSollbild.m	UvLedAutoSetup.m	

## 6 Bedienungsanleitung

### 6.1 Graphical User Interface

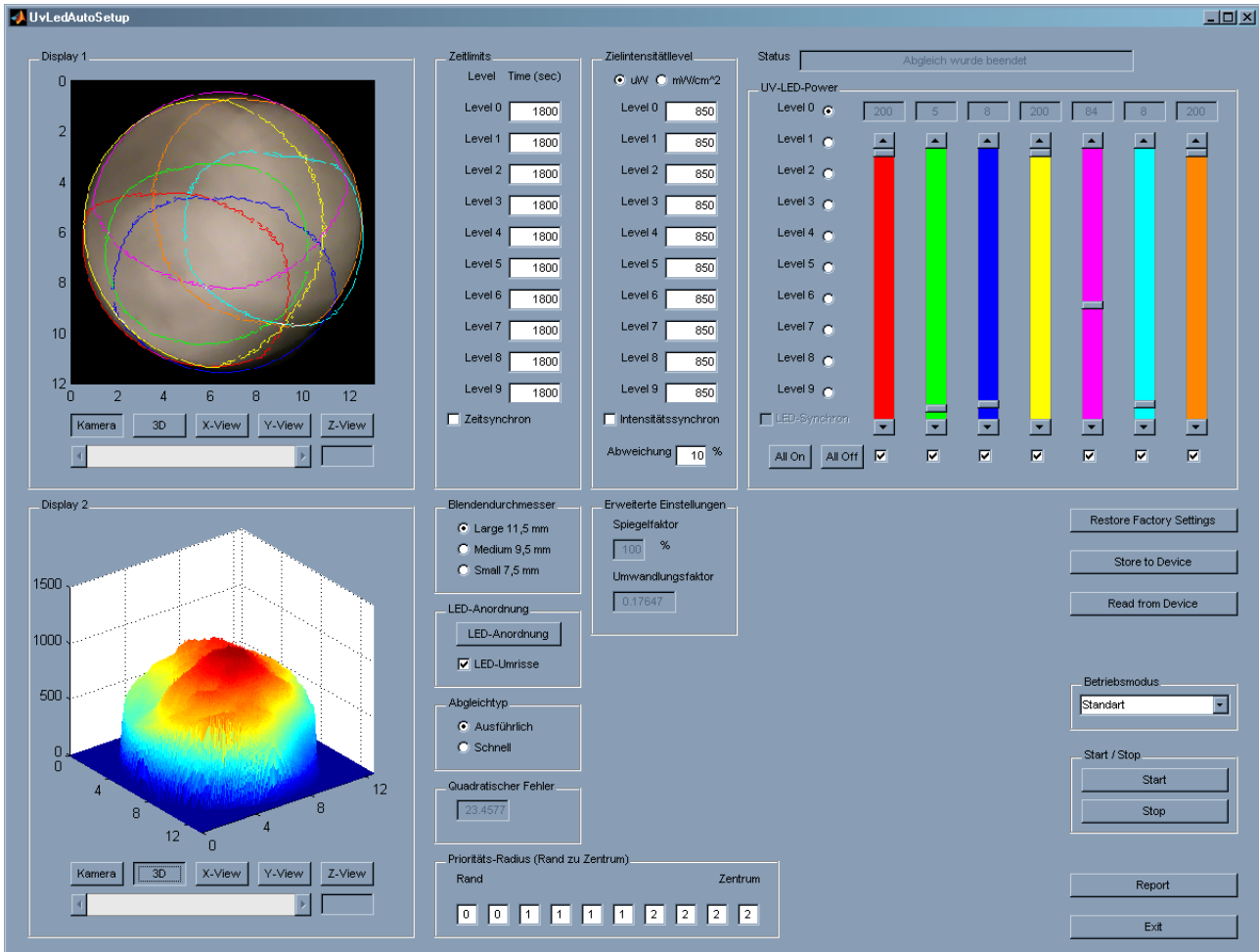


Abbildung 2: GUI

#### 6.1.1 Display 1 und 2

Die Displays haben fünf verschiedene Anzeigemodis.

In Kameramodus sieht man das unbearbeitete Bild der Kamera. Zur besseren Orientierung, wo welche LED ihren Einflussbereich hat, kann man sich die Umriss der Leuchtdioden anzeigen lassen.

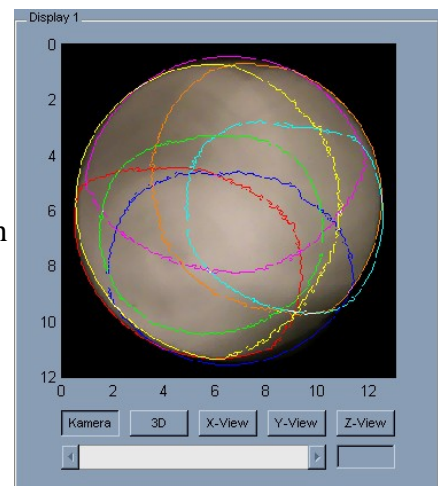
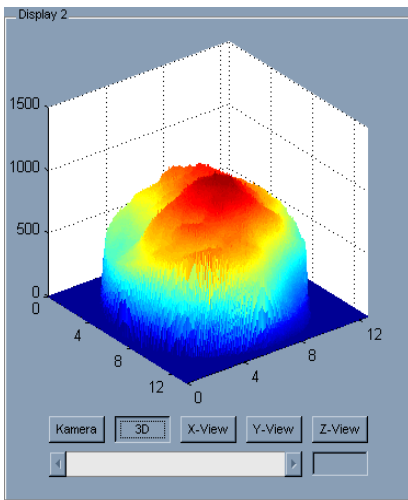


Abbildung 3: Kamera mit den Umrissen der LEDs



Der 3D-Modus zeigt die Intensität als dreidimensionalen Plot.

Abbildung 4: 3D-Intensitätsplot

In der X-View blickt man von der Seite auf die horizontale X-Achse. Mit dem zum MFD gehörenden Slider kann man der vertikalen Y-Achse entlang in 0,5 Millimeter Schritten den Verlauf des Intensitätsquerschnitts betrachten. Die Position des Querschnitts sieht man im Anzeigefeld gleich neben dem Slider.

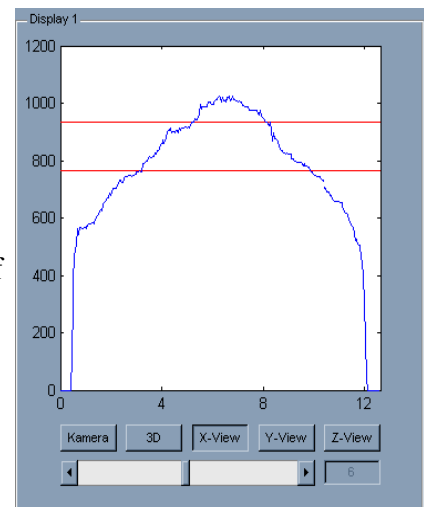
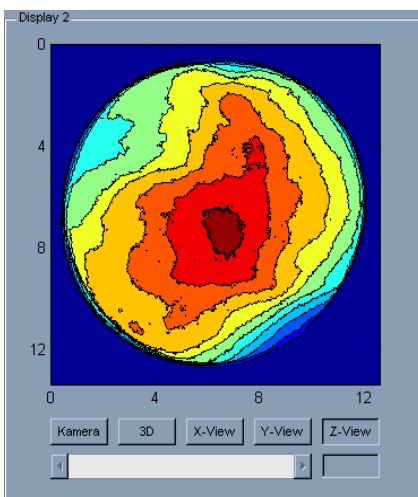


Abbildung 5: X-View

Die Y-View funktioniert gleich wie die X-View, man sieht diesmal einfach auf die vertikale Y-Achse und bewegt sich mit dem Slider der X-Achse entlang.



Wird die Z-View gewählt, sieht man wie im Kameramodus frontal auf den erzeugten UV-Strahl. Bei der Z-View wird aber nicht das rohe Kamerabild wiedergegeben, sondern man sieht die Intensität als Relief.

Abbildung 6: Z-View

Wird keiner der Displaymodis ausgewählt, werden das IROC-Firmenlogo und das HSR-Logo angezeigt.

## 6.1.2 Zeitlimits

Mit den Eingabefelder kann man die maximale Bestrahlungsdauer des UV-X Bestrahlungssystems festlegen. Standardmässig werden die Zeitlimits mit 1'800 Sekunden initialisiert, sie können aber manuell auf Werte zwischen einer und 3'600 Sekunden geändert werden.

Wird das Kontrollkästchen Zeitsynchron markiert, werden die Zeitlimits aller Levels auf den Wert von Level 0 angeglichen und übernehmen die neuen Werte, wenn das Zeitlimit von Level 0 geändert wird.

## 6.1.3 Zielintensitätslevel

Mit den beiden Radiobuttons  $\mu\text{W}$  und  $\text{mW}/\text{cm}^2$  kann man auswählen, ob man die Zielintensität lieber als Strahlungsleistung in  $\mu\text{Watt}$ , oder als Leistungsdichte in  $\text{mWatt pro Quadratcentimeter}$  anzeigen lassen will. Die Werte sind an die von IROC vorgegebenen Messgeräte LaserMate-Q von der Firma Coherent und das UV Light Meter 5085 von PeakTech angepasst. Das laserMate-Q berücksichtigt bei einer Messung nur einen eng begrenzten Spektralbereich rund um die gewünschte Wellenlänge. Hingegen misst das UV Light Meter über einen grossen spektralen Bereich. Deshalb muss noch ein konstanter Umrechnungsfaktor bei Anzeigeumwandlung berücksichtigt werden. Der Umwandlungsfaktor von  $\mu\text{Watt}$  zu  $\text{mWatt pro Quadratcentimeter}$  beträgt ca. 3,7.

In den Eingabefelder sind die Zielintensitäten für die verschiedenen Levels definierbar, wobei nur Werte zwischen 750 und 1100  $\mu\text{Watt}$ , oder 2650 und 3880 in  $\text{mWatt}/\text{cm}^2$  erlaubt sind.

Beim aktivieren des Intensitätssynchron-Kontrollkästchens Werden alle Zielintensitäten auf die Zielintensität von Level 0 gesetzt. Sie übernehmen dann automatisch die neuen Werte von Level 0.

Mit dem Abweichung-Eingabefeld lassen sich in der X- und Y-View die roten Zielintensitätshilfslinien in Prozent der Zielintensität definieren.

## 6.1.4 UV-LED-POWER

Das UV-LED-POWER-Feld wurde dem GUI, des schon existierenden UvLedSetup nachempfunden. Man kann über die Level-Radiobuttons den aktuellen Level auswählen und die dem Level entsprechenden Werte der LED-Sliderstufen werden angezeigt.

Das LED-Synchron-Kontrollkästchen synchronisiert alles Levels und damit alle LED-Sliderstufen auf die in Level 0 gespeicherten Werte.

Durch die Buttons All On und All Off lassen sich alle LEDs ein-, oder ausschalten.

Mit den sieben Checkboxes rechts von All Off kann man die einzelnen der sieben LEDs ein- oder ausschalten.

Über die sieben Slider kann man die Stufen der sieben Leuchtdioden einstellen. Die Werte bewegen sich von 0 bis auf 200, wobei Stufe 0 die unterste Position der LED-Sliders ist und 200 die Position zu Oberst. Die aktuellen Sliderwerte werden in den Ausgabefelder über den Sliders angezeigt. Die Sliders sind farbcodiert, damit man die einzelnen Umrisse der LED-Einflussbereiche besser den einzelnen LEDs zuordnen kann.

## 6.1.5 Zusätzliche Einstellungen

### Blendendurchmesser

In dem man einer der drei Radiobuttons im Blendendurchmesserfeld auswählt, wird zum Einen ermittelt, welcher Blendendurchmesser beim UV-X Bestrahlungssystem verwendet wird, zum Anderen wird gleichzeitig überprüft, ob sich der Anwender des eingestellten Blendendurchmesser bewusst ist. Es stehen die Blendendurchmessere Large, Medium und Small zur Verfügung, was einem Blendendurchmesser von 11,5 mm, 9,5 mm, oder 7,5 mm entspricht. Die Funktion der Blendendurchmesser-Ermittlung ist unabhängig von der Auflösung der Kamera und erlaubt es dem GUI auf den interessierenden Bereich des Bildes zu zoomen.

### LED-Anordnung

Durch das Betätigen des LED-Anordnung-Buttons werden die Umrisse der LED-Einflussgebiete bestimmt und entsprechend den Farben der Sliders eingefärbt. Dieses Verfahren wird angewandt, weil die LEDs bei der Montage nicht speziell ausgerichtet werden, und ihre Einflussgebiete deshalb weit von einer gleichmässigen Anordnung entfernt sind. Das hat zur Folge, dass das Ermitteln der Zugehörigkeit der einzelnen LED zu ihrem Slider sehr aufwändig und fehleranfällig wäre.

Mit der Checkbox LED-Umriss kann man den LED-Einflussgebiets-Umriss an-, oder abschalten.

### Abgleichtyp

Mit den beiden Radiobuttons lässt sich auswählen, ob der Abgleichalgorithmus schneller, oder ausführlicher ermittelt werden soll. Während beide Algorithmen ähnlich günstige Einstellungswerte erreichen sollten, kann der ausführliche Algorithmus noch bessere Werte als der schnelle Abgleich erreichen.

### Seriennummer

Hier kann man noch die Seriennummer eingegeben werden, falls sie für das Report-File benötigt wird.

### Prioritäts-Radius

Über die Eingabefelder lassen sich Teile des Radius verschieden gewichten und somit kann man bestimmen, welche Kreisringe beim Abgleich eine höhere Priorität haben.

## 6.1.6 Erweiterte Einstellungen

Die erweiterten Einstellungen werden nur im erweiterten Betriebsmodus des Programms verfügbar. Sie haben einen starken Einfluss auf die ermittelte Intensitätswerte und sollten deshalb nur in Ausnahmefällen geändert werden.

Der Spiegelfaktor wurde eingeführt, um den Intensitäts-Verlust durch Spiegel, der in dem endgültigen Aufbau vorgesehen ist, zu kompensieren. Standardmässig wird der Spiegelfaktor mit 92% initialisiert, was den heute üblichen industriellen Spiegeln entspricht.

Der Umwandlungsfaktor wird für die Umwandlung der von der Kamera empfangenen Helligkeitswerte in die Leistungswerte in  $\mu\text{Watt}$  benützt.

### **6.1.7 Quadratischer Fehler**

Dieses Feld gibt den quadratischen Fehler aus, nach dem sich der Abgleich richtet.

### **6.1.8 Bedienelemente**

#### **Restore Factory Settings**

Die Einstellungen werden aus dem UvLedSetup.ini-File gelesen und in die LED-Box gespeichert.

#### **Store to Device**

Speichert die aktuellen LED-Stufen und Zeitlimits aller 10 Levels in die LED-Box des UV-X Bestrahlungssystems.

#### **Read from Device**

Speichert die LED-Stufen und Zeitlimits aller 10 Levels aus der LED-Box in ein UvLedxxxxxx.ini-File geschrieben, wobei die Seriennummer der LED-Box anstelle der x steht.

#### **Betriebsmodus**

Der einzige unterschied zwischen dem Betriebsmodus Standard und Erweitert sind, die im erweiterten Betriebsmodus verfügbaren Einstellmöglichkeiten des Spiegel- und Umwandlungsfaktors.

#### **Start / Stop**

Der Start-Button startet den Abgleichvorgang, der sich von Level 0 bis zum Level 9 durcharbeitet.

Durch den Stop-Button wird der Abgleich nicht sofort gestoppt, sondern erst nach dem der aktuelle Abgleich beendet wurde.

#### **Report**

Wird der Report-Button gedrückt, wird ein Ordner mit einem ausführlicheren Report, als mit Read from Device, erstellt.

#### **Exit**

Durch das Drücken des Exit-Buttons werden die LEDs ausgeschaltet und das UvLedAutoSetup-Programm wird beendet.

## 6.2 Anleitung

Um unser Programm zu starten wird das File UvLedAutoSetup.m ausgeführt.

Nachdem sich das GUI geöffnet hat, muss man den Durchmesser der Blende auswählen. Wurde der gewählte Blendendurchmesser als richtig erkannt, wird nach einer kleinen Pause der LED-Anordnung-Button freigegeben.

Durch das ausführen der LED-Anordnung werden die Einflussgebiete der einzelnen LEDs ermittelt und lassen sich nachher als Umriss darstellen. Anschliessend werden die restlichen Eingabefelder frei gegeben und das Programm ist bereit zur Arbeit.

Da wir die LED-Box nur indirekt über die alte Abgleichsoftware (UvLedSetup) ansprechen können, kommt es bei der Übermittlung der neuen Einstellungen der LEDs zu Verzögerung. Deshalb waren wir gezwungen mehrere kurze Pausen in unser Programm einzubauen, um ein zu frühe Datenerfassung zu verhindern. In Folge wird unser Programm leider auch träge. Zwar versuchen wir mit einem aufwändigen Eingabeerlaubnismanagement Fehleingaben zu verhindern, aber man sollte trotzdem auf kurz hintereinander folgende Mehrfacheingaben verzichten.

## 7 Reportfile

Die vorgenommenen Einstellungen und Messdaten können in einem Reportfile hinterlegt werden. Für den generierten Report wird ein Ordner, beschriftet mit Namen und Datum, erstellt (siehe unten).

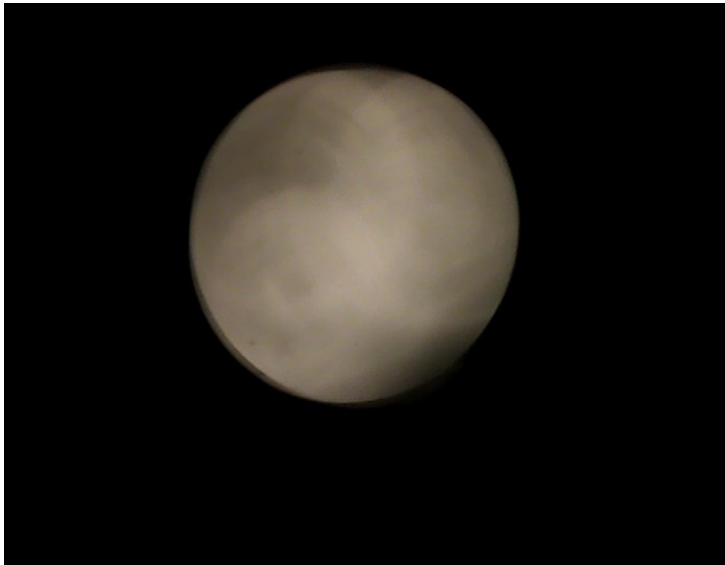
### Dateistruktur:

#### Reportordner

- Bild1
- Texfile

### Beispiel Report:

Report									
-----									
Datum:	08-Jul-2007								
UV-X Seriennummer:	0632-028								
Einstellungen:									
-----									
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	30	100	100	100	100	100	100	100
Prioritaetsvektor:	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Zielintensitaet:	850	850	850	850	850	850	850	850	850
Erlaubte Zielintensitätsabweichung:	5								
Blendendurchmesser:	L								
Spiegelfaktor:	1								
Umwandlungsfaktor:	1								
Quadratischer Fehler:	5								
Auswertungsbild befindet sich im selben Ordner:									
UV-Strahl_0632-028_08-Jul-2007_13-27-28.png									



*Abbildung 7: UV-Strahl\_0632-028\_08-Jul-2007\_13-27-28.png*

## 8 Abgleich Algorithmus

### 8.1 Vorbereitung

#### 8.1.1 Messplatz

Um mögliche Ansätze für den Abgleich zu finden, musste das Testsystem zuerst ausgemessen werden.

Unserem Industriepartner IROC schwebte folgender Aufbau vor:

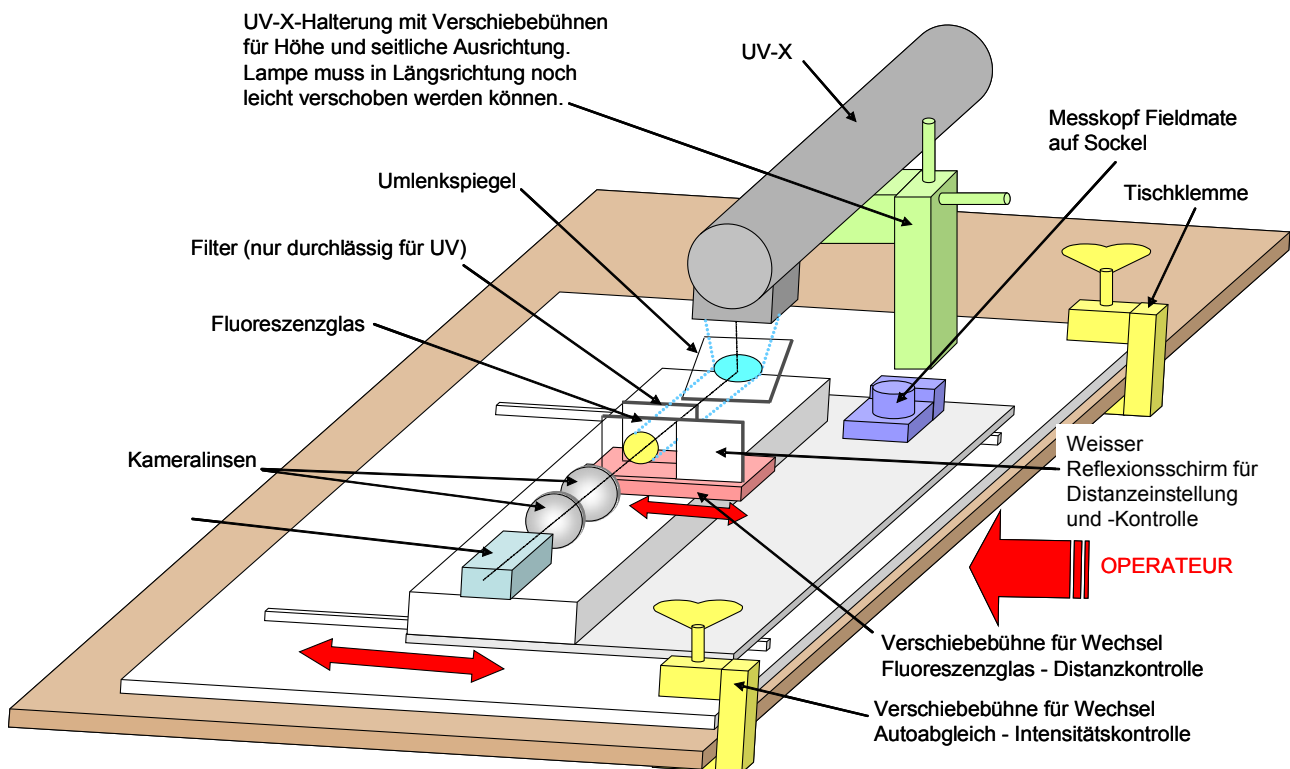


Abbildung 8: Idealer Messplatz (Vorschlag von IROC)

Bisher konnte jedoch nur ein zweckmässiger Messplatz mit den verfügbaren Werkzeugen aus dem Physiklabor aufgebaut werden, welcher folgende Kriterien erfüllte:

- fix einstellbar
- Filterabstände regulierbar
- Licht abgeschirmt

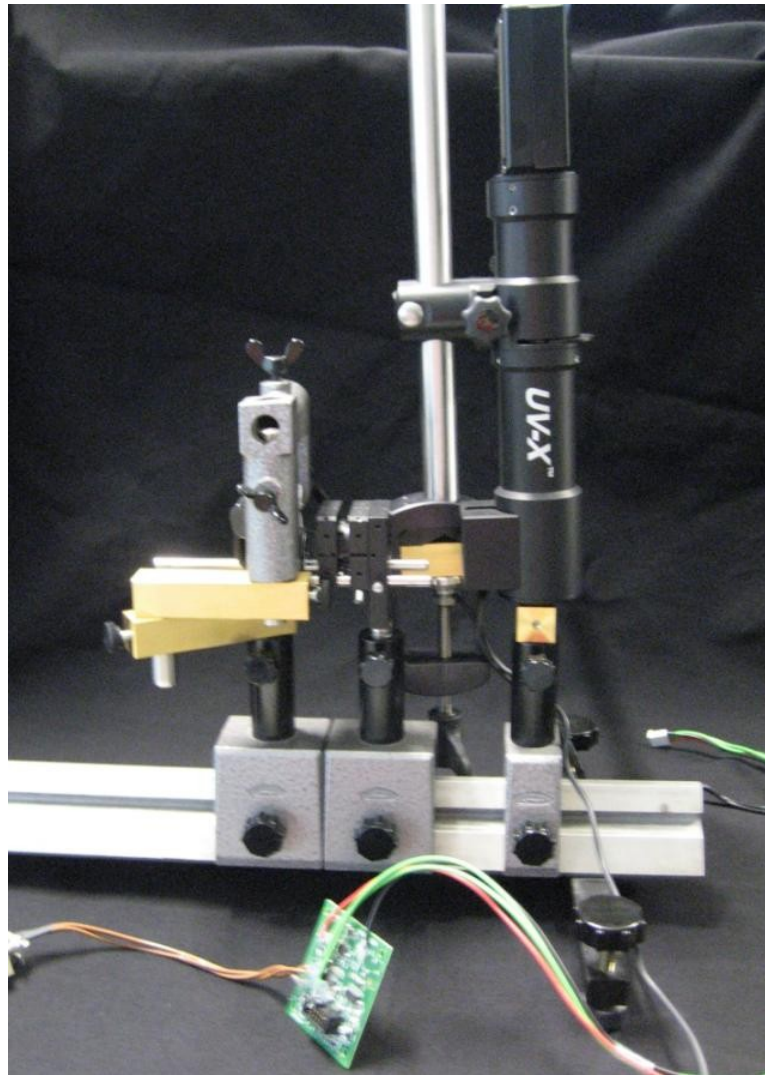


Abbildung 9: Realisierter Messplatz

### 8.1.2 Kameraanforderungen

Das Kamerabild sollte möglichst dem realen Bild entsprechen, da verloren gegangene und falsche Information direkt den Abgleichalgorithmus belasten.

Weitere Anforderungen sind:

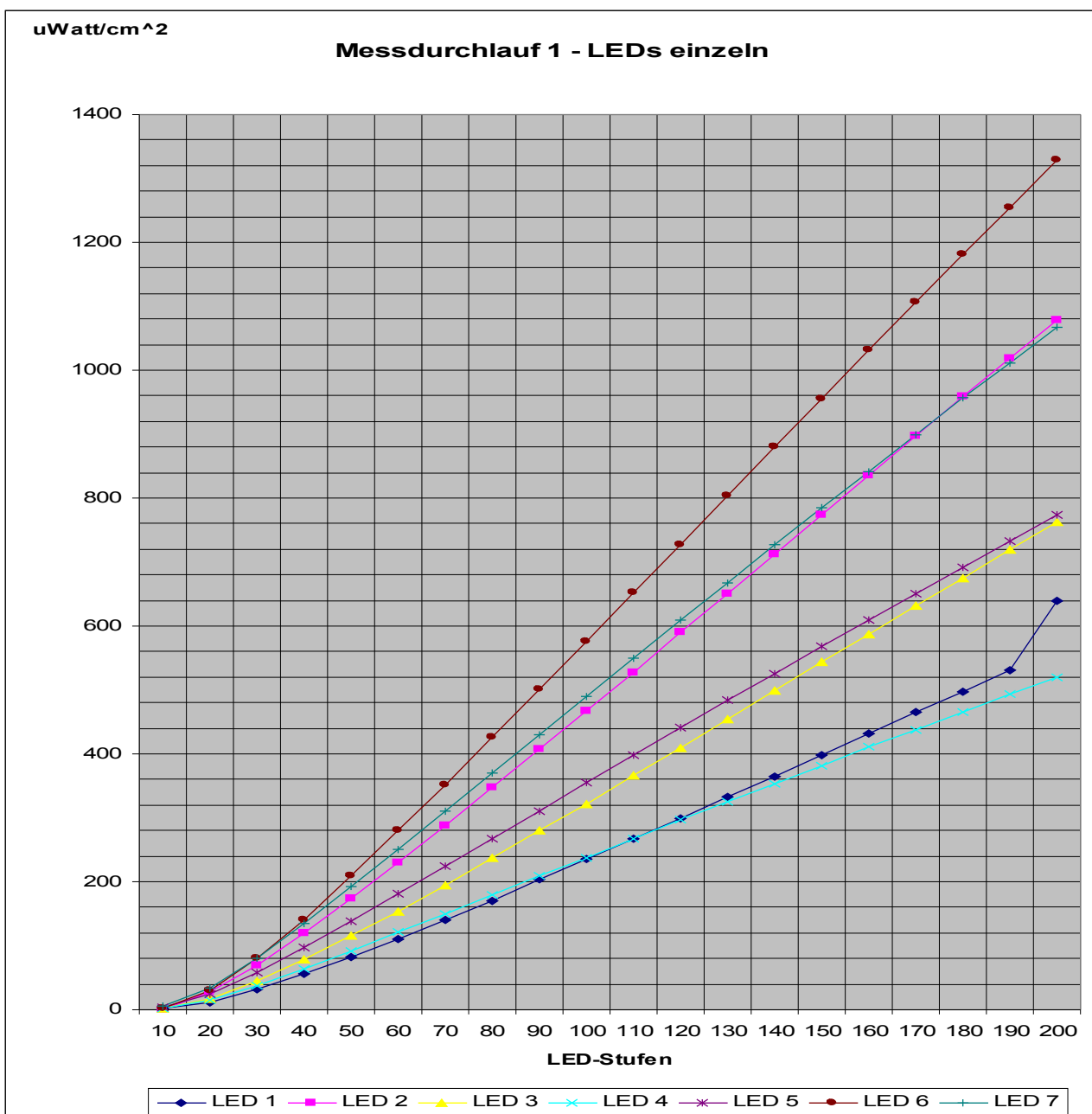
- VGA-Kamera 640 x 480
- Abschalten des automatischen Helligkeitsabgleich
- gute Optik
- USB
- gut montierbar

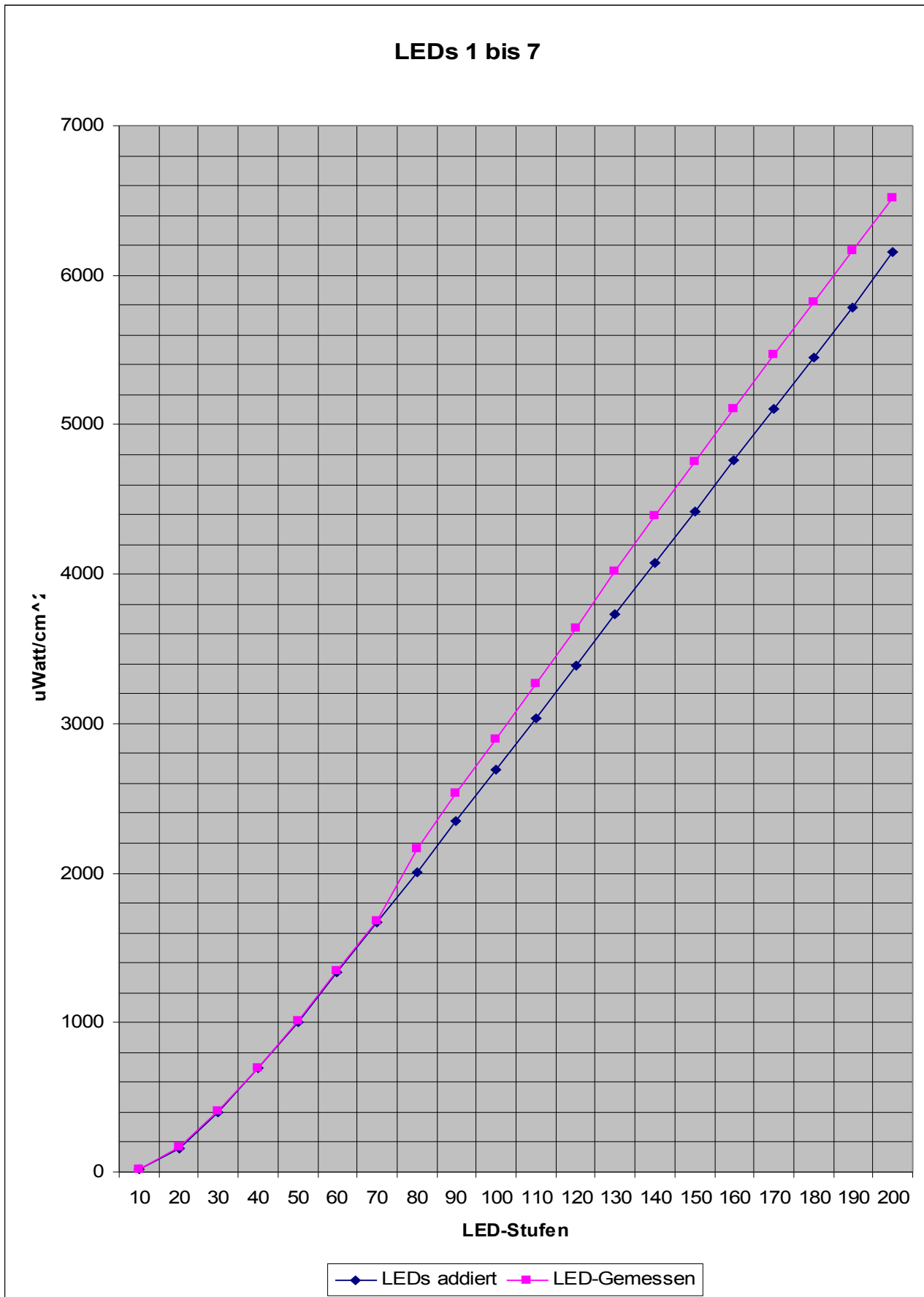
### 8.1.3 Messungen und Erkenntnisse

Damit wir einen sinnvollen Abgleichalgorithmus entwickeln konnten, mussten wir zuerst das Verhalten der LEDs und die dazwischen geschalteten Elemente ermitteln. Es wurden die Kennlinien der Leuchtdioden, des Schwarzfilters und des UV-Filters ermittelt. In diesem Kapitel werden nur die wichtigsten Kennlinien und die daraus folgenden Erkenntnisse wiedergegeben. Die kompletten Messberichte befindet sich im Anhang.

#### 1. UV-Leuchtdioden Kennlinien

Mit dem Erfassen der UV-Leuchtdioden Kennlinie soll das grundsätzliche Verhalten der LEDs ermittelt werden. Besonders von Interesse ist der Nachweis, dass sich die LEDs annäherungsweise linear verhalten und sich die Intensitäten der einzelnen LEDs addieren lassen.





### **Schlussfolgerungen:**

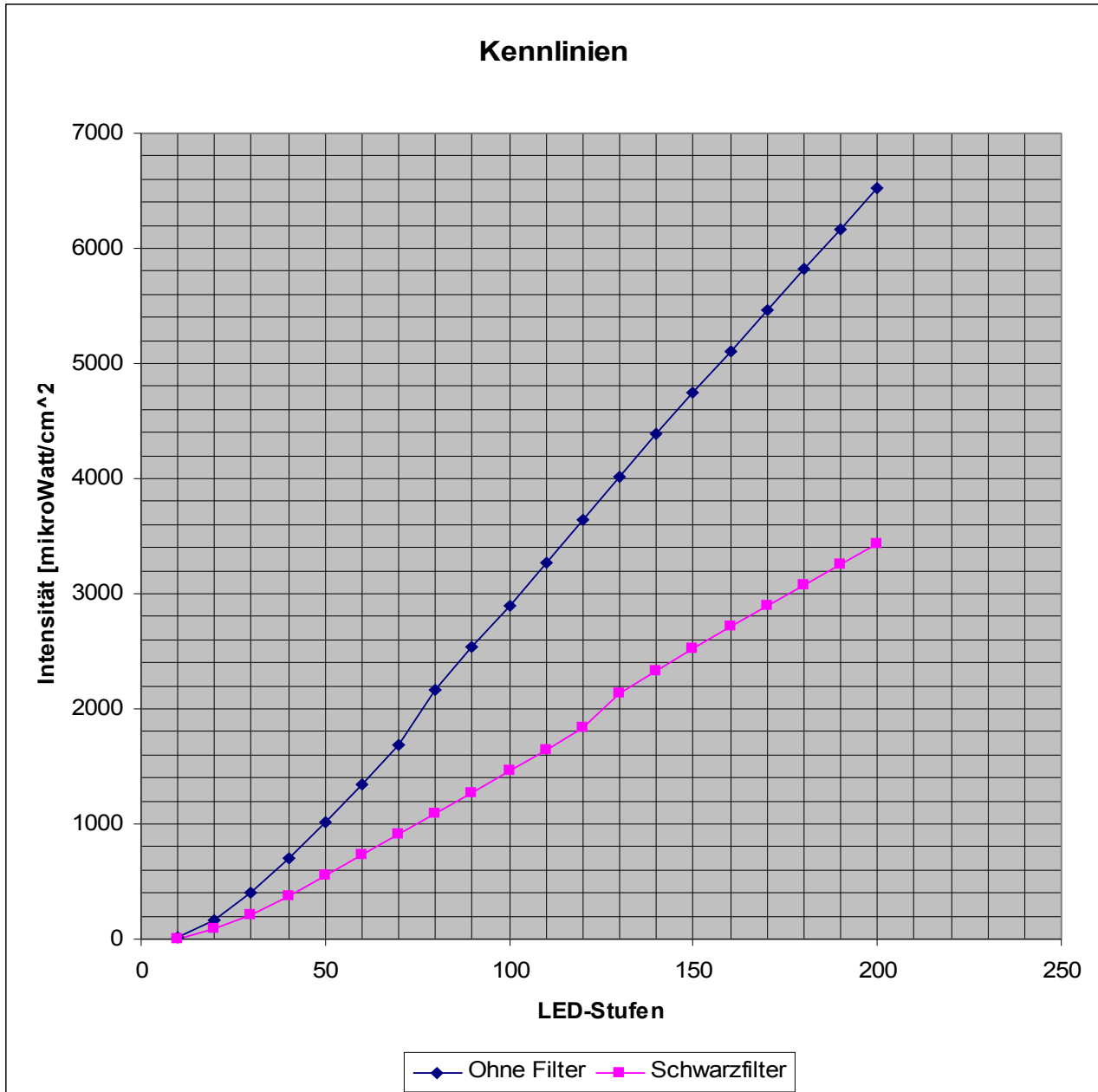
Die LEDs verhalten sich annähernd linear. Nur in den untersten Intensitätsstufen weichen sie davon ab, was kein Problem darstellen sollte, weil in diesem Bereich die LEDs nach dem Abgleich voraussichtlich nicht arbeiten werden.

Die Leistungen der einzelnen LEDs lassen sich einfach addieren, da die Unterschiede von der addierten LED-Leistungen zu den gemessenen Werten vernachlässigbar klein ist. Zwar gibt es bei  $2 \text{ mWatt/cm}^2$  einen Sprung bei der Messung, dieser wird aber durch das Messgerät erzeugt, das ab  $2 \text{ mW/cm}^2$  in einen tieferen Empfindlichkeitsbereich geschaltet werden muss. Dies hat zur Folge, dass das Messgerät erhöhte Werte misst, die aber ansonsten das gleiche lineare und additive Verhalten aufweisen.

Im Messdurchlauf 1 tritt bei der LED 1 auf der LED-Stufe 200 eine nichtlineare Überhöhung der Leistung auf. Da diese Erhöhung im zweiten Messdurchlauf nicht mehr gemessen wurde und auch dem allgemeinen Verhalten der LED widerspricht, kann dieser Ausreisser als Fehlmessung identifiziert werden.

## 2. Kennlinie des Schwarzfilters

Mit dem Schwarzfilter wird der ungewollte Anteil vom sichtbare Licht heraus gefiltert und somit die Gefahr einer allfälligen Verfälschung der Messdaten durch sichtbares Licht stark reduziert.



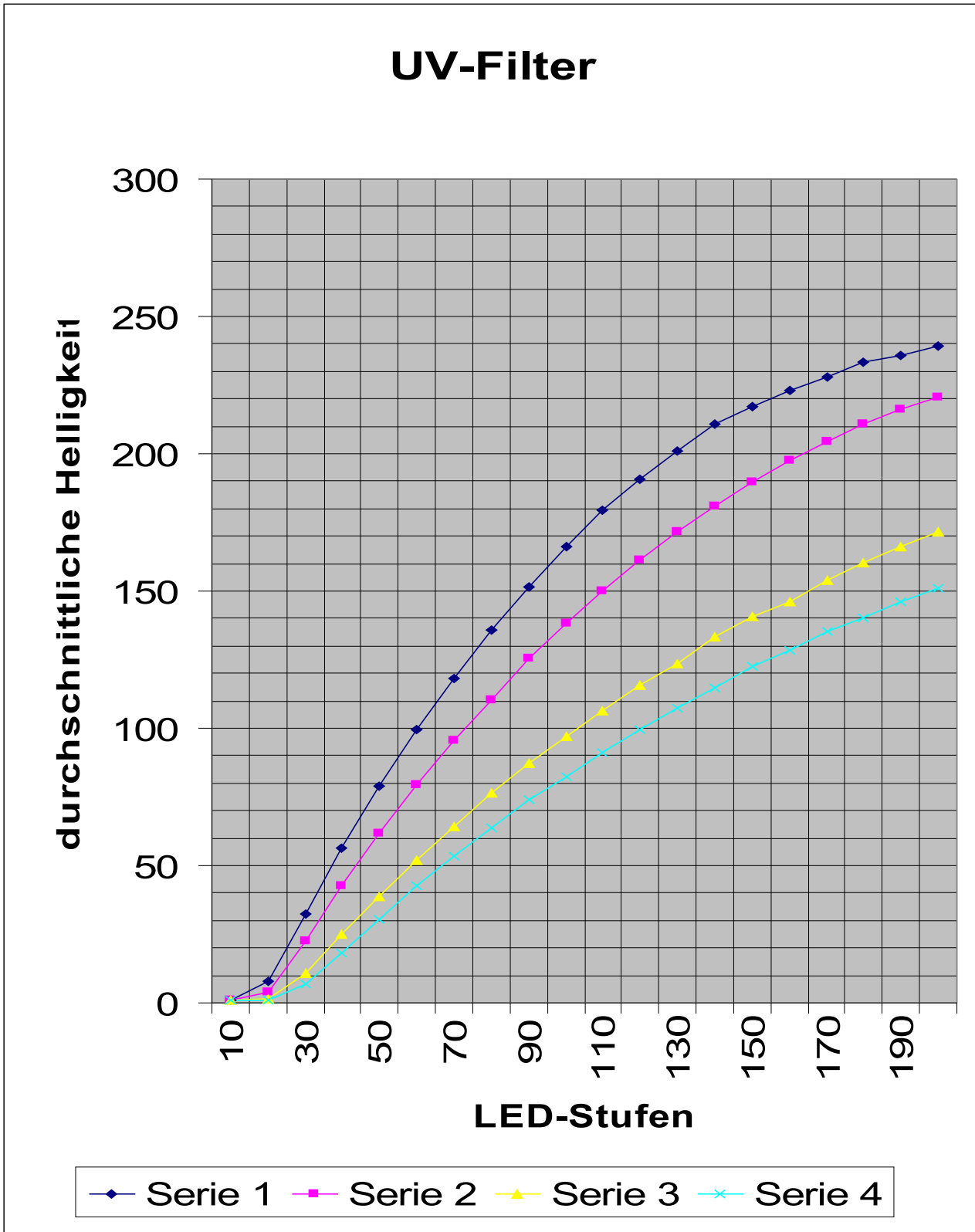
### Schlussfolgerungen:

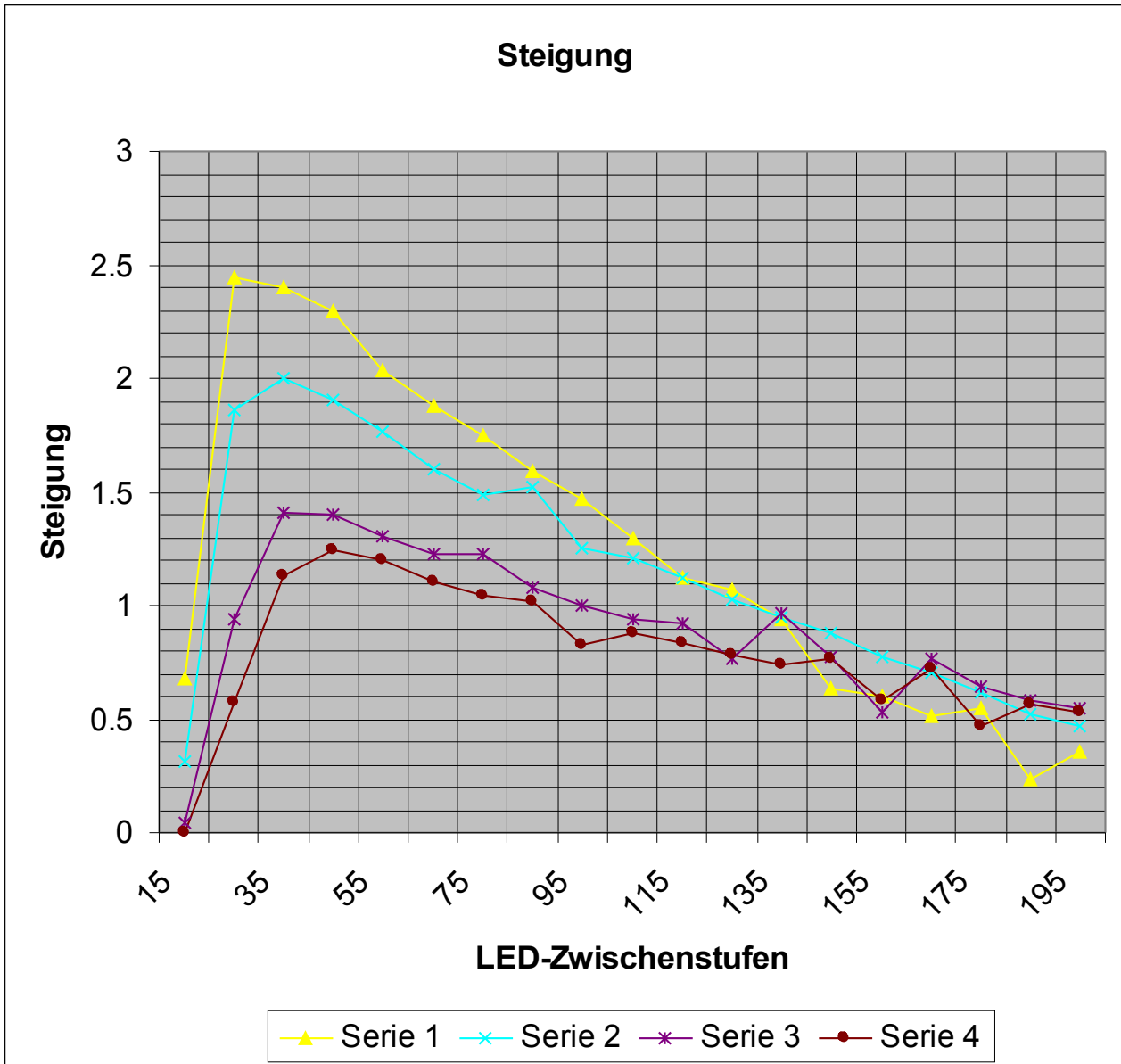
Das Verhalten der LEDs kann grob als linear betrachtet werden. Ab einem Gesamtintensitätswert von 2000 µWatt/cm², musste das Messgerät in einen tieferen Empfindlichkeitsbereich wechseln. Dadurch wird die Genauigkeit der Messung reduziert, trotzdem kann man das Verhalten als linear betrachten.

Durch den Einsatz des Schwarzfilters wird die Strahlleistung des UV-Strahl auf Etwas mehr als 52% reduziert.

### 3. Kennlinie des UV-Filters

Beim UV-Filter lag das Hauptaugenmerk auch auf dem Verifizieren einer möglichst linearen Kennlinie. Des weiteren mussten wir noch nachweisen, dass der UV-Filter beim fluoreszieren keinen, oder zumindest nur einen kleinen Sättigungsbereich aufweist.





**Schlussfolgerungen:**

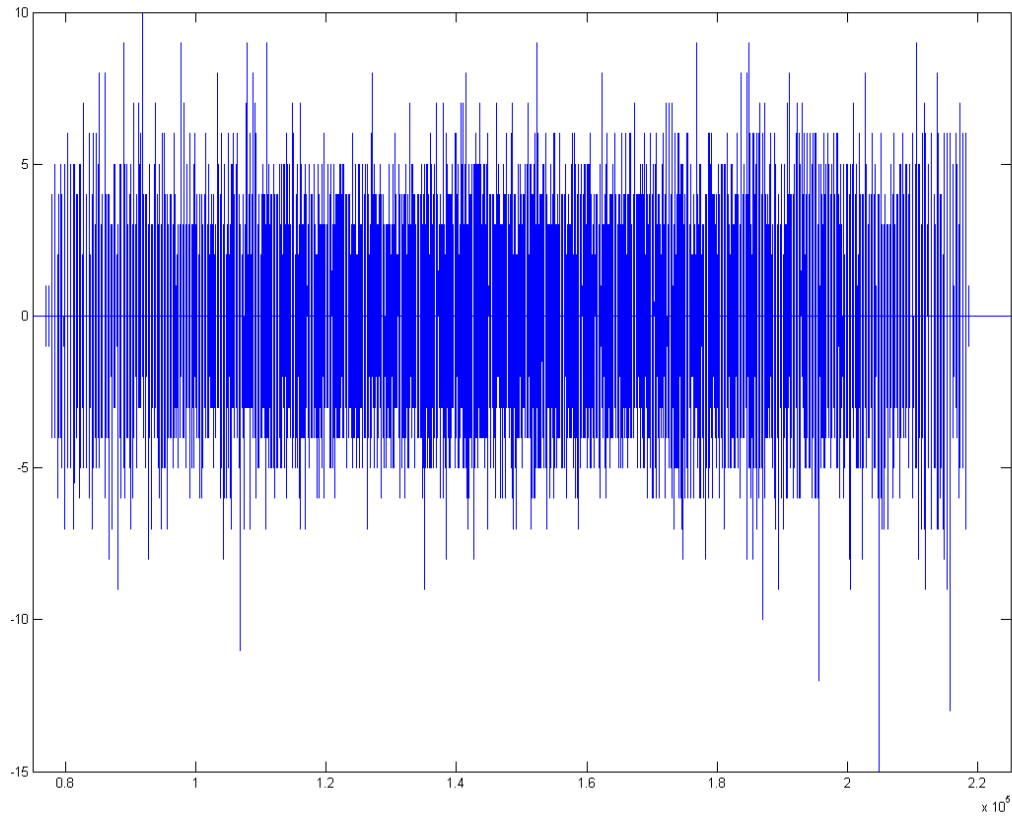
Die Messung ergibt, dass die erfasste Helligkeit sich nicht linear verhält. Die ermittelten Steigungen variieren im Arbeitsbereich aber nur begrenzt, weshalb ein lineares Modell für den Anfang sicher vertretbar ist. Es sind aber noch weitere

Durch das variieren der Verstärkungseinstellungen der Kamera zeigt sich, dass die Linearität der Empfangen Werte sich verbessert, wenn die Kameraverstärkung nicht zu gross gewählt wird und die Kamera somit weniger in ihren Sättigungsbereich arbeitet.

#### 4. Bildrauschen

Um Bildrauschen möglichst zu reduzieren, wird die Verschlusszeit auf den maximalen und die Verstärkung auf den minimalen Wert geschaltet. Bei der Logitech-Kamera konnte Null als die Verstärkung und 1/5 sec als Verschlusszeit gewählt werden.

Das untere Bild demonstriert das Rauschen durch die Differenz zwei erfasster Bilder als RGB-Bilder. (Werte 0-255)



## Negative Berreiche

Zu erwähnen ist auch folgende Problematik.

Bei den Differenzen für die Ableitungen entstanden negative Bereiche, welche bis zu 30 % des Bildes ausmachten.

## Testfall:

Es werden 2 Bilder erfasst mit den LED-Stufen

Bild1: [LED1=100, LED2=100, LED3=100, LED4=100, LED5=100, LED6=100, LED7=100]

Bild2: [LED1=110, LED2=100, LED3=100, LED4=100, LED5=100, LED6=100, LED7=100]

Bild\_diff = Bild2 - Bild1

Bei Bil2 wird die LED-Stufe 1 um 10 erhöht, nun sollte Bild2 minus Bild1 nur positive Werte ergeben. Messungen ergaben jedoch, dass dies nicht zutrifft und zusätzlich ändert sich noch der Einflussbereich der LED.

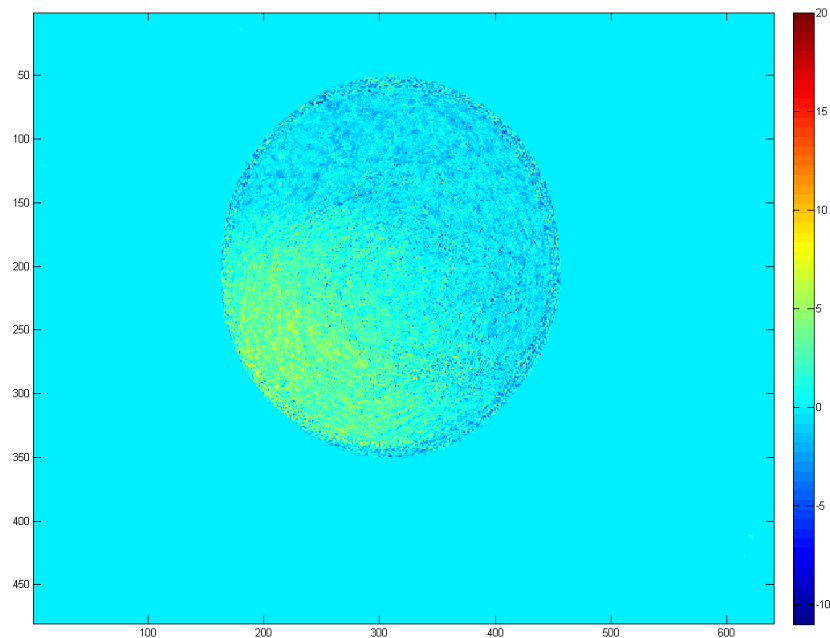
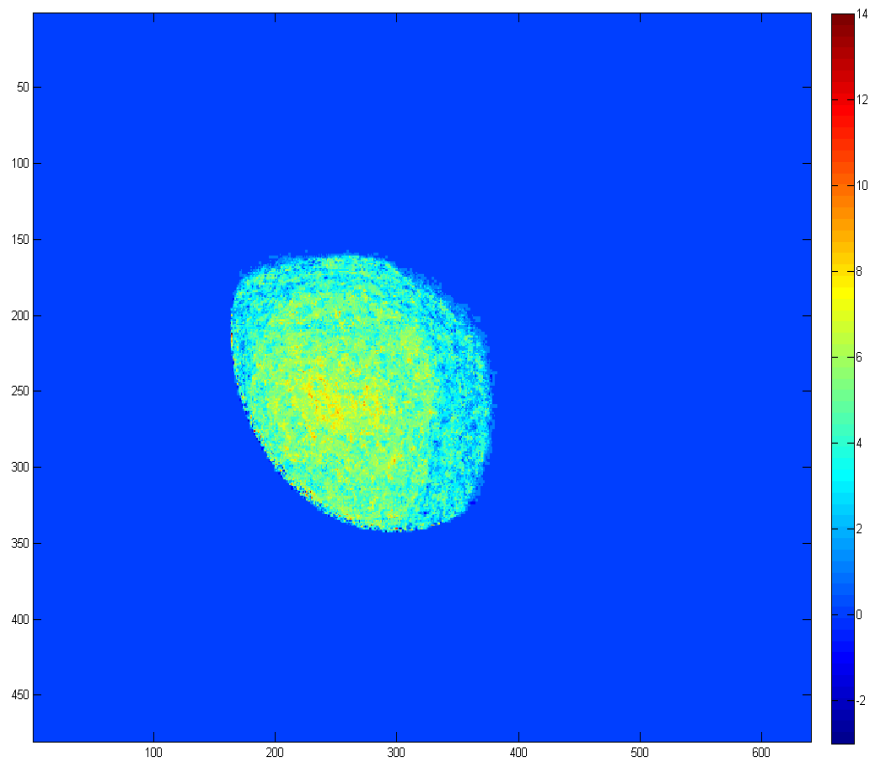


Abbildung 10: Einflussbereich einer einzelnen LED im Betrieb mit anderen LED's



*Abbildung 11: Einflussbereich einer einzelnen LED im Einzelbetrieb*

Oben kann man erkennen das beim Betrieb aller LEDs der Einflussbereich einer einzelnen LED verändert wird. Dieser zusätzlicher Einflussbereich darf nicht in das lineare Gleichungssystem fließen, da diese immer individuell sind und nicht spezifiziert werken können.

Wir vermuten, dass diese Einflussbereiche der Verstärker Elektronik durch Abhängigkeiten entstehen. Wenn nun bei einer LED die Intensitätstärke erhöht wird, fällt der Strom der übrigen LEDs ein bisschen zusammen.

Nun stellte sich die Frage ob die Ableitungen mit abgestellten LEDs zu besseren Resultate führen würde. Test widerlegten diese Annahme,

deshalb wurde immer nur der positive Bereich der Differenzen übernommen.

### **8.1.4 Schlussfolgerungen/Entscheidungen**

Ausmessungen und Erfassen der Kennlinien ergaben, dass der Abgleich mit einem linearen Ansatz gelöst werden kann. Die Nichtlinearitäten können durch Approximieren und setzen von Schranken umgehen werden.

## 8.2 Grundprinzip

Für jede LED wird zuerst die Ableitung bestimmt. Mit den Ableitungen stellt man ein lineares Gleichungssystem für jeden Pixel auf. Nun wird damit die fehlende Abweichung zum Sollpunkt berechnet, welche zur Lösung dazu addiert wird.

Da die Gleichung über bestimmt ist und es somit keine Lösung gibt, sucht man das bestmögliche Resultat. Im Lastenheft wurde definiert, dass grössere Abweichungen zum Sollwert eher zu vermeiden sind, als mehrere Kleinere. Somit entschieden wir uns für den kleinsten Fehler im Quadrat.

### 8.2.1 Kamerabilder erfassen

Die für den Abgleich benötigten Daten werden hauptsächlich aus dem Kamerabild bezogen. Die Funktion `vfm('grab', 1)` liefert das Bild mit einer RGB-Matrix zurück. Da nur die Helligkeitswerte benötigt werden, berechnet man aus dem Farbbild das Graustufenbild.

Das Graustufenbild entspricht dem Helligkeitsbild und wird aus dem Mittelwert von Rot, Grün und Blau gebildet. Diese Wandlung in ein Graustufenbild kann mit folgendem Matlab Befehl vorgenommen werden:

```
<rgb2gray(farbbild)>
```

Um Bildrauschen möglichst zu reduzieren, wird die Verschlusszeit auf den maximalen und die Verstärkung auf den minimalen Wert geschaltet. Bei der Logitech-Kamera konnte Null als Verstärkung und 1/5 sec als Verschlusszeit gewählt werden.

(Siehe auch Kapitel Messungen und Erkenntnisse unter Rauschen)

Vereinzelt wurden höhere Spitzen in den Bildern gemessen.

Für zusätzliche Rauschunterdrückung werden die Bilder mit einer linearen Faltung tiefpassgefiltert .

Dabei wird folgender Faltungskern benutzt:

$$\text{Faltungskern} = \begin{pmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{pmatrix}$$

In Matlab wurde diese Faltung mit den folgenden Funktionen realisiert.

```
faltungskern=[1/9 1/9 1/9;1/9 1/9 1/9;1/9 1/9 1/9];
neueBildmatrix=conv2(Bildmatrix,faltungskern)
neueBildmatrix=neueBildmatrix(2:size(neueBildmatrix,1),2:size(neueBildmatrix,2)) % Faltung
vergrössert die Dimension
```

## 8.3 Abgleich-Algorithmus

Für den Abgleich wurden zwei verschiedene Algorithmen programmiert, der Ausführliche und der schnelle Abgleich. Beim schnellen Abgleich werden die Ableitungen anders erfasst, ansonsten sind sie gleich. Der Unterschied ist im Kapitel Ableitungen zu finden.

### 8.3.1 Lineares Gleichungssystem (LGS)

Das Sollbild besteht aus einer Bildmatrix mit den angestrebten Helligkeitswerten.

Das Istbild ist das momentane Ergebnis, somit bekommt man mit Sollbild minus Istbild die noch fehlende Differenz (Differenzbild).

$$Bild_{soll} - Bild_{ist} = \Delta Bild$$

Für die noch bestehende Abweichung zum Sollwert wird ein lineares Gleichungssystem (LGS) aufgestellt.

Um das Gleichungssystem aufzustellen werden die Ableitungen für jede LED bestimmt.

Die Ableitung ist die Helligkeitsänderung der LED-Stufe von 1.

(Siehe auch Kapitel Ableitungen)

$$x_1 * \Delta_{Led1} + x_2 * \Delta_{Led2} + x_3 * \Delta_{Led3} + x_4 * \Delta_{Led4} + x_5 * \Delta_{Led5} + x_6 * \Delta_{Led6} + x_7 * \Delta_{Led7} = \Delta Bild$$

Diese Ableitungen, so auch das Differenzbild enthalten jeden Pixel des gesamten erfassten Bildes. Es wird somit je eine Gleichung für jeden Pixel erstellt.

Für das Aufstellen des Gleichungssystem müssen die Bildmatrixen in Vektoren gewandelt werden.

(Siehe Kapitel Wandlung Bildmatrix in Bildvektor)

Gewandelt in Vektoren wird das LGS wie unten dargestellt aufgestellt.

$$\begin{pmatrix} \Delta_{Led1} & \Delta_{Led2} & \Delta_{Led3} & \Delta_{Led4} & \Delta_{Led5} & \Delta_{Led6} & \Delta_{Led7} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{pmatrix} = \Delta Bild$$

$$\Delta_{LED1} = \begin{pmatrix} P1_{LED1} \\ P2_{LED1} \\ P3_{LED1} \\ P4_{LED1} \\ P5_{LED1} \\ P6_{LED1} \\ \dots \\ \dots \\ n_{LED1} \end{pmatrix}$$

Abbildung 12:  
LED1 Ableitung  
als Vektor

$$\Delta_{Bild} = \begin{pmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \\ P6 \\ \dots \\ \dots \\ n \end{pmatrix}$$

Abbildung 13:  
Differenzbild  
als Vektor

$$\begin{pmatrix} P1_{LED1} & P1_{LED2} & P1_{LED3} & P1_{LED4} & P1_{LED5} & P1_{LED6} & P1_{LED7} \\ P2_{LED1} & P2_{LED2} & P2_{LED3} & P2_{LED4} & P2_{LED5} & P2_{LED6} & P2_{LED7} \\ P3_{LED1} & P3_{LED2} & P3_{LED3} & P3_{LED4} & P3_{LED5} & P3_{LED6} & P3_{LED7} \\ P4_{LED1} & P4_{LED2} & P4_{LED3} & P4_{LED4} & P4_{LED5} & P4_{LED6} & P4_{LED7} \\ P5_{LED1} & P5_{LED2} & P5_{LED3} & P5_{LED4} & P5_{LED5} & P5_{LED6} & P5_{LED7} \\ P6_{LED1} & P6_{LED2} & P6_{LED3} & P6_{LED4} & P6_{LED5} & P6_{LED6} & P6_{LED7} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_{LED1} & n_{LED2} & n_{LED3} & n_{LED4} & n_{LED5} & n_{LED6} & n_{LED7} \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P1_{\Delta Bild} \\ P2_{\Delta Bild} \\ P3_{\Delta Bild} \\ P4_{\Delta Bild} \\ P5_{\Delta Bild} \\ P6_{\Delta Bild} \\ \dots \\ \dots \\ n_{\Delta Bild} \end{pmatrix}$$

Abbildung 14: LGS

$n = \text{Bildpixelgrösse}$

Die berechneten x-Werte geben mit den Ableitungen multipliziert und addiert zum Istbild eine Approximation für das Sollbild.

$$Bild_{ist} + \Delta_{Bild} \approx Bild_{soll}$$

$$Bild_{ist} + (x_1 * \Delta_{LED1} + x_2 * \Delta_{LED2} + x_3 * \Delta_{LED3} + x_4 * \Delta_{LED4} + x_5 * \Delta_{LED5} + x_6 * \Delta_{LED6} + x_7 * \Delta_{LED7}) \approx Bild_{soll}$$

Da die Ableitungen jedoch als Näherung über den dx-Bereich bestimmt wurden, kann die Approximation beim erneuten Bestimmen der Ableitungen und Lösen des LGS durch Minimierung des dx-Bereich noch verbessert werden. Die neu ermittelten Ableitungen sind für Änderungen im unmittelbare Nähe genauer.

Für das erneute aufstellen des LGS wird ein neues Istbild mit den ermittelten x-Werten generiert. Dabei werden die x-Werte den LED-Stufenwerten (k-Werte) des vorherigen Istbildes hinzu addiert.

$$k1_{neu} = k1_{alt} + x_1$$

$$k2_{neu} = k2_{alt} + x_2$$

$$k3_{neu} = k3_{alt} + x_3$$

$$k4_{neu} = k4_{alt} + x_4$$

$$k5_{neu} = k5_{alt} + x_5$$

$$k6_{neu} = k6_{alt} + x_6$$

$$k7_{neu} = k7_{alt} + x_7$$

Die neuen k-Werte werden als Led-Stufenwerte für das neue Istbild eingestellt und es wird wieder das Differenzbild (Sollbild – Istbild) berechnet.

Die Ableitungen für das nun neue LGS werden über einen kleineren dx-Bereich erstellt und zwar über die maximale vorgenommene Änderung von den x-Werten. Das hat den Vorteil das der Abgleich mit Variation noch so lange ein besseres Resultat finden kann, bis er sich selbst einschränkt. Das erneute Lösen des LGS wiederholt sich nun so lange bis alle x-Werte kleiner als 3 sind. Falls dies eintritt ist der Abgleich abgeschlossen.

Wie im Kapitel Grundprinzip erwähnt wird das LGS nach dem kleinsten Fehler im Quadrat berechnet. Zusätzlich müssen beim Lösen des LGS noch andere Anforderungen erfüllt werden.

Die oben beschriebenen k-Werte müssen sich im Bereich von 0-200 befinden.

Mit der Matlabfunktion lsqin hat man die Möglichkeit lineare Gleichungssysteme zu optimieren, also mit zusätzlichen Bedingungen zu lösen.

$x = \text{lsqin}(a, b, [], [], [], [], lb, ub);$

$$a = (\Delta_{Led1} \quad \Delta_{Led2} \quad \Delta_{Led3} \quad \Delta_{Led4} \quad \Delta_{Led5} \quad \Delta_{Led6} \quad \Delta_{Led7})$$

$$b = \Delta \text{ Bild}$$

„lb“ und „ub“ sind Zeilenvektoren. „lb“ gibt den unteren Bereich für x und „ub“ den oberen Bereich an.

### 8.3.2 Ableitungen der LEDs erfassen

Am Anfang werden die Ableitungen der einzelnen LEDs um der Helligkeitswert 100 berechnet. Die Ableitungen werden folgendermassen erzeugt. Man generiert 4 Bilder mit aufsteigenden Helligkeitswerten.

Dabei ist die Variabel Delta massgebend für den variierenden Bereich.

Das erste Bild wird bei  $I-\Delta/2$  geschossen, das 2. Bild bei  $I-\Delta/6$ , das 3. Bild bei  $I+\Delta/6$  und das 4. Bild bei  $I+\Delta/2$ .

Die Funktion sGolay erzeugt aus den erfassten Bilder die Ableitung.

Der schnelle Abgleich bestimmt die Ableitung nur aus einem Bild.

### 8.3.3 Fehler

Wie schon im Kapitel Grundprinzip erwähnt, suchen wird nach dem kleinsten Fehler im Quadrat. Das hat den Vorteil das mehrere kleinere Abweichung weniger ins Gewicht fallen als eine grosse Abweichung. In Matlab fanden wird ausserdem nur eine Funktion mit dieser Lösungsbedingung für ein überbestimmtes lineares Gleichungssystem.

### 8.3.4 Bildhelligkeitswerte in Intensität wandeln

Mit der Kamera bekommt man mit einer Graustufenwandlung das Bild mit den Helligkeitswerte 0-255.

Die Messgerätwerte, nach denen wir uns richten müssen, geben jedoch die Intensität (Energie pro Zeit pro Fläche) an. Um die Helligkeitswerte mit der Intensität zu vergleichen müssen wird die Kennlinie erfassen und daraus die entsprechende Gleichung erzeugen.

Testablauf:

Die LEDs werden mit den Ledstufen 0,25,50,100,125,150 nach oben geschaltet.

Der Messkopf des Intensitätsmessgerätes wird für Messung 5cm entfernt fix positioniert.

ledstufe	Helligkeitswert Kamera	Intensität Messkopf
50	45	230
75	79	407
100	108	590
125	131	772
150	150	954

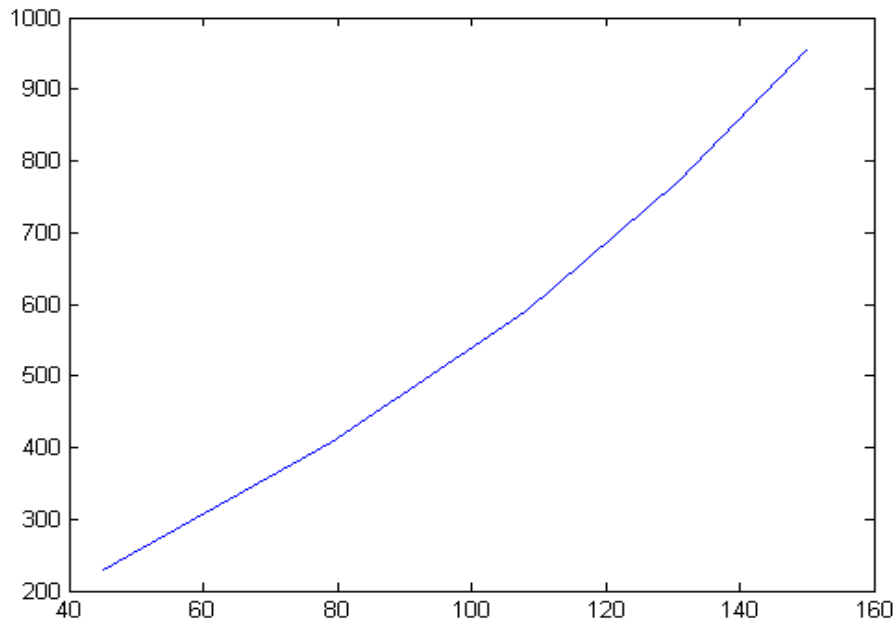


Abbildung 15: Kennlinie, x-Achse=Helligkeit, y-Achse=Intensität

Aus den erfassten Werte bekommt folgende Gleichung:

$$\text{Intensität} = 6.9 \times \text{Helligkeit}$$

### 8.4 Wandlung von Bildmatrix in Bildvektor

Für die bessere Handhabung und für das Gleichungssystem werden die Bilder nach der gängigen Methode in ein Vektor gewandelt.

Dabei werden die Spalten des Bildes von links nach rechts unten angefügt.

Ein Vektor hat nun die Länge von Bildbreite \* Bildlänge.

$$\begin{pmatrix} P1 & P4 & P7 \\ P2 & P5 & P8 \\ P3 & P6 & P9 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \\ P5 \\ P6 \\ P7 \\ P8 \\ P9 \end{pmatrix}$$

## 9 Test/Validierung

Folgende Test wurden durchgeführt:

- RS-232 Ansteuerung Dosfunktionen
- ausführlicher Abgleich, Test mit Messkopf
- schneller Abgleich, Test mit Messkopf
- Funktion für die Ermittlung des Blendendurchmesser testen
- ausführlicher Abgleich verglichen mit einem manuellen Abgleich
- schneller Abgleich verglichen mit einem manuellen Abgleich
- Reportfunktion

Test: RS-232 Ansteuerung, Dosfunktionen	
Testdefinierung	erfüllt/Bemerkung
Schalten der LEDs auf voller Leistung. Prüfung von Auge.	i.O
Anschalten aller LEDs auf volle Leistung 200 Prüfen von Auge.	i.O
schalten der LEDs auf die Intensitätswerte 0, 50, 100, 150 , 200. Prüfen von Auge.	i.O

Test: Ausführlicher Abgleich für Intensität 850 Prioritätsmaske [0 0 1 1 1 1 2 2 2 2], Messkopf Das Resultat des „ausführlichen Abgleich“ wird mit dem Messkopf ausgemessen. Dabei wird der Messkopf bei einer Entfernung von 5 cm in einem abgedunkelten Raum im Ledstrahl von Hand bewegt. Die folgenden Tests können deshalb nicht genau nachvollzogen werden.	
Testsdefinierung	erfüllt
Maximal erfasster Intensitätswert mit Messkopf. Prüfung von Hand.	880
Minimal erfasster Intensitätswert mit Messkopf. Prüfung von Hand.	825
Durchschnitts erfasster Intensitätswert mit Messkopf. Prüfung von Hand.	850

Test: ausführlicher Abgleich verglichen mit einem manuellen Abgleich	
Testsdefinierung	erfüllt
Das Resultat sollte besser als der manuelle Abgleich sein	i.O
Um wie viel ist das Resultat besser als das Manuelle	i.O

Test: schneller Abgleich für Intensität 850 Prioritätsmaske [0 0 1 1 1 1 2 2 2 2], Messkopf  
Das Resultat des „ausführlichen Abgleich“ wird mit dem Messkopf ausgemessen.  
Dabei wird der Messkopf bei einer Entfernung von 5 cm in einem abgedunkelten Raum im  
Ledstrahl von Hand bewegt.  
Die folgenden Tests können deshalb nicht genau nachvollzogen werden.

Testsdefinierung	erfüllt
Maximal erfasster Intensitätswert mit Messkopf. Prüfung von Hand.	890
Minimal erfasster Intensitätswert mit Messkopf. Prüfung von Hand.	820
Durchschnitts erfasster Intensitätswert mit Messkopf. Prüfung von Hand.	850

Test: schneller Abgleich verglichen mit einem manuellen Abgleich

Testsdefinierung	erfüllt
Das Resultat sollte besser als der manuelle Abgleich sein	i.O
Um wie viel ist das Resultat besser als das Manuelle	i.O

Test: Funktion für die Ermittlung des Blendendurchmesser testen  
Dabei wird geprüft ob die Blendeneinstellungen S, M und L jeweils richtig  
erkannt wird. Dies wird 3mal getestet. Zwischen den Tests wird der Ledstrahl ein bisschen  
verschoben um eine andere Prüfsituation zu erhalten.

Testabläufe	erfüllt
1. Test	
S	i.O
M	i.O
L	i.O
2. Test	
S	i.O
M	i.O
L	i.O
3. Test	
S	i.O
M	i.O
L	i.O

Test: Reportfunktion	
Testsdefinierung	erfüllt
Ordner mit Namen, Versionsnummer und Datum für die Reportdaten werden richtig erstellt.	i.O
Ledbild wird hinzugefügt.	i.O
Textfile wird erzeugt.	i.O
Die Konfigdaten sind im Textfile korrekt.	i.O
Die Zieleinstellungen sind im Textfile korrekt.	i.O

## 10 Verbesserungen/Erweiterungen

Bei den Tests mit dem GUI ist uns aufgefallen, dass das ganze System relativ träge reagiert. Durch ein direktes Ansprechen der LED-Box, ohne das ansprechen des UvLedSetup-Programmes via Dos-Befehlen könnte eine nicht unbeachtliche Geschwindigkeitssteigerung erzielt werden.

Herr Schuster hat noch vorgeschlagen, dass man über eine drehende Optik, den UV-Strahl um seine eigenen Achse drehen lassen könnte. Das hätte auch zur Folge, dass die zum Teil grossen Unterschiede in der Strahlintensität vermindert werden kann.

Verbesserte Montag der LEDs auf der Platine würde das zum Teil sehr starke Überlappen der einzelnen LEDs reduzieren..

## 11 Quellenverzeichnis

**Bücher:** Matlab-Simulink-Stateflow; 4. Auflage 2005; ISBN 3-486-57719-0;  
von Anne Angermann, Michael Beuschel, Martin Rau und Ulrich Wohlfahrt.  
Graphics and GUIs with Matlab, 2. Auflage 1999; von Patrick Marchand

**Internet:** [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)

## 12 Anitplagiatserklärung

Wir erklären, sämtliche Quellen erwähnt und gemäss gängigen wissenschaftlichen Regeln korrekt zitiert zu haben.

Die Studenten:

Thomas Cadalbert

Claudio Corrodi

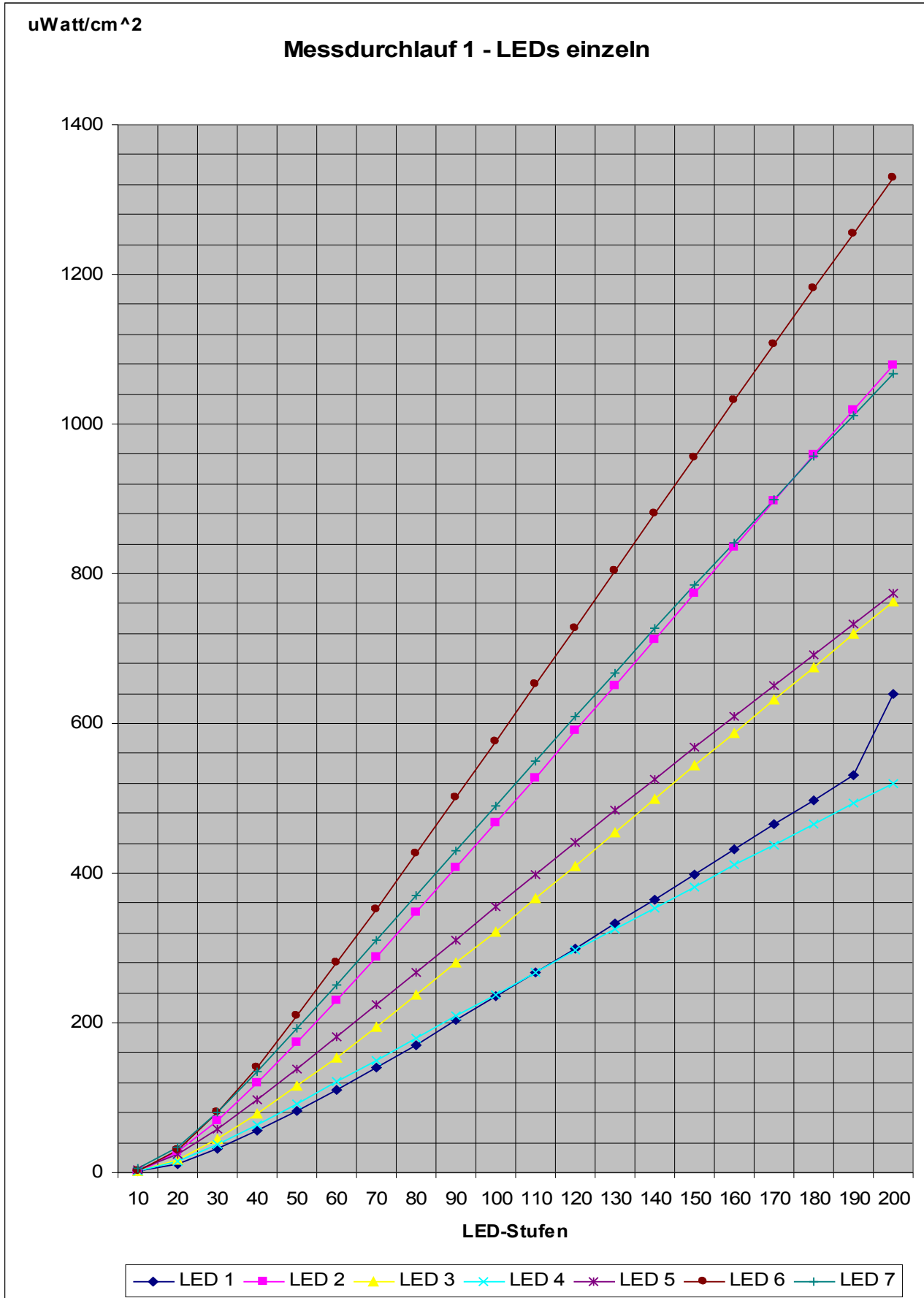
## 13 Anhang

### 13.1 Messprotokolle

#### 13.1.1 UV-LED-Messprotokoll

- Ziel:** Es wird das grundlegende Verhalten der UV-LEDs ermittelt.
- Aufbau:** Die LEDs werden über die übliche Fokusdistanz des UV-X-Strahlers von ca. 50 mm gemessen.  
Der Strahlengang wird abgeschirmt, damit die Messung nicht durch einfallendes Licht verfälscht wird.  
Verwendetes Messgerät: UV Light Meter von PeakTech 5085; Ser.Nr: Q145125  
Es werden nur den UV-Anteil des von den UV-LEDs erzeugte Lichtstrahl gemessen  
Blendengröße L (large) => Durchmesser ca. 11.5mm  
LED-Box-Ser.Nr.: 0712-031
- Vorgehen:** Jede LED wird gleichmässig in 10er Schritten auf der UvLedSetup-Programm bis auf einen maximalen Wert von 200 gefahren. Dabei werden die LEDs im UV-Spektrum mit einer Wellenlänge von 365 nanoMeter erfasst.
- Messung:** Alle Angaben in  $\mu\text{Watt}/\text{cm}^2$ :

Messdurchlauf 1								
LED-Nr:		1	2	3	4	5	6	7
LED-Stufen:	10	1	0	2	2	3	2	5
	20	12	28	17	15	24	29	34
	30	31	69	44	38	58	80	81
	40	56	119	78	64	98	141	135
	50	82	173	115	92	139	209	192
	60	111	229	154	121	182	280	251
	70	141	287	195	150	225	352	310
	80	171	347	237	179	268	426	370
	90	203	407	280	209	311	501	430
	100	235	467	322	238	355	576	490
	110	267	528	366	268	398	652	549
	120	300	590	410	297	441	728	609
	130	332	651	455	325	484	804	668
	140	365	712	499	354	526	880	727
	150	398	774	543	382	568	955	785
	160	432	836	587	411	610	1031	842
	170	465	897	631	438	651	1106	900
	180	498	958	675	466	692	1181	957
	190	531	1018	719	493	732	1255	1012
	200	640	1079	763	520	773	1329	1067
Start Temperatur:		29.6	29.5	29.5	29.4	29.5	29.5	29.6
End Temperatur:		29.5	30	29.4	29.5	29.5	29.6	30

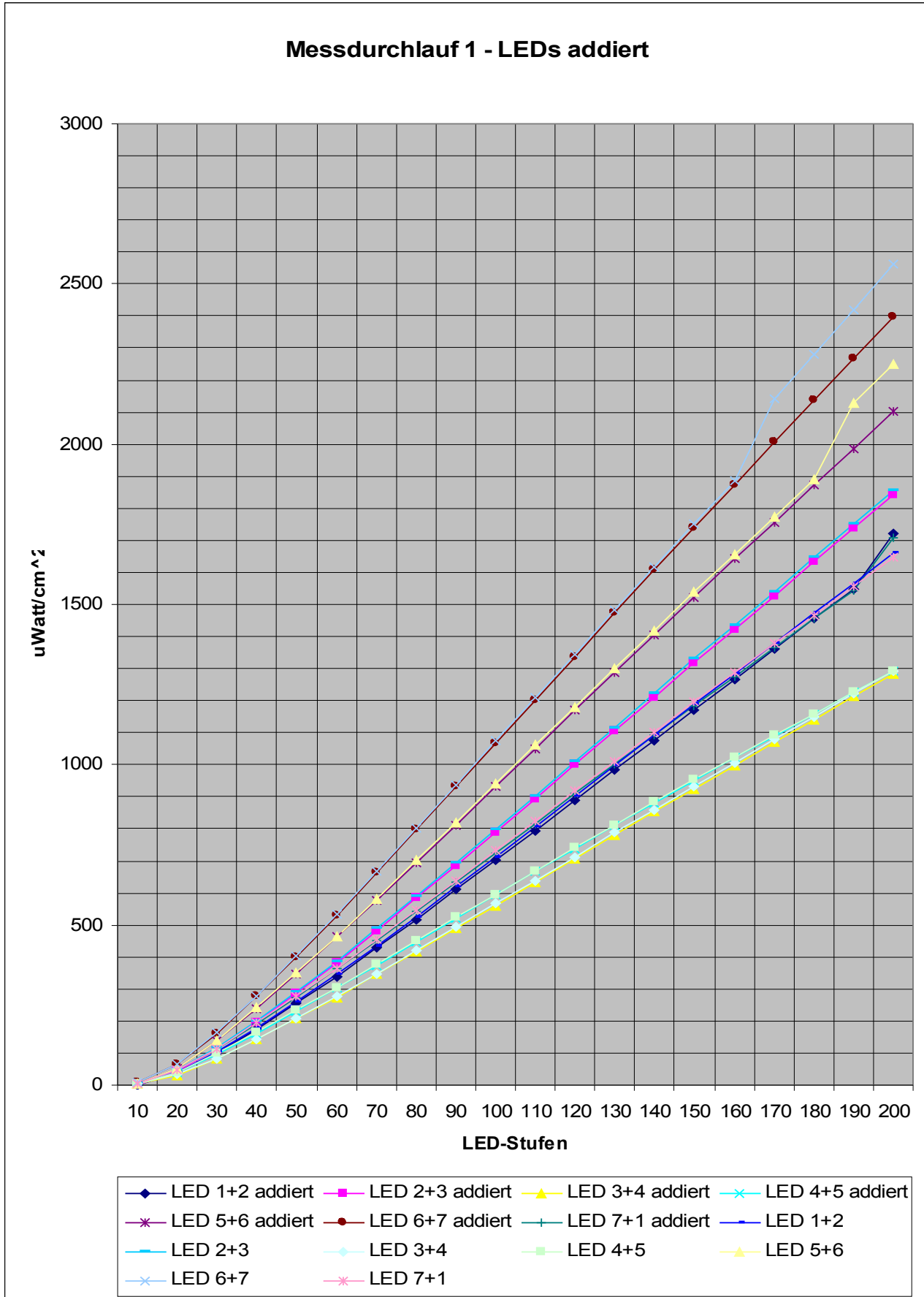


**Addiert:**

LED-Nr:		1+ 2	2 + 3	3 + 4	4 + 5	5 + 6	6 + 7	7 + 1
LED-Stufen:	10	1	2	4	5	5	7	6
	20	40	45	32	39	53	63	46
	30	100	113	82	96	138	161	112
	40	175	197	142	162	239	276	191
	50	255	288	207	231	348	401	274
	60	340	383	275	303	462	531	362
	70	428	482	345	375	577	662	451
	80	518	584	416	447	694	796	541
	90	610	687	489	520	812	931	633
	100	702	789	560	593	931	1066	725
	110	795	894	634	666	1050	1201	816
	120	890	1000	707	738	1169	1337	909
	130	983	1106	780	809	1288	1472	1000
	140	1077	1211	853	880	1406	1607	1092
	150	1172	1317	925	950	1523	1740	1183
	160	1268	1423	998	1021	1641	1873	1274
	170	1362	1528	1069	1089	1757	2006	1365
	180	1456	1633	1141	1158	1873	2138	1455
	190	1549	1737	1212	1225	1987	2267	1543
	200	1719	1842	1283	1293	2102	2396	1707

**Gemessen:**

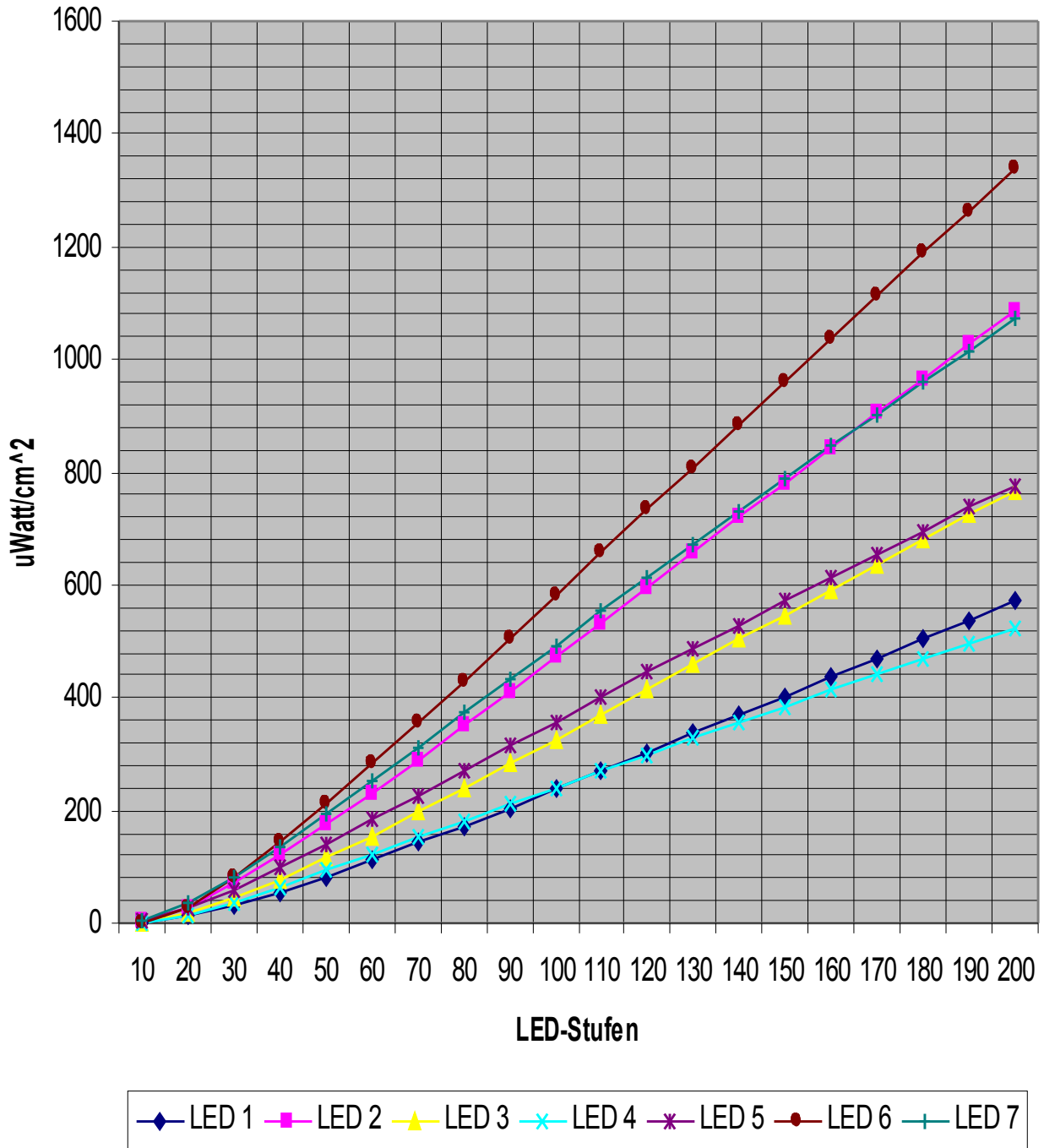
LED-Nr:		1+2	2+3	3+4	4+5	5+6	6+7	7+1
LED-Stufen:	10	5	5	4	5	6	7	6
	20	41	46	33	41	54	64	47
	30	103	116	84	98	140	163	114
	40	178	200	144	164	242	279	193
	50	260	292	210	234	352	404	278
	60	346	388	278	305	466	534	366
	70	434	488	348	377	582	667	456
	80	526	590	421	450	701	802	547
	90	618	694	493	523	820	938	639
	100	711	798	566	596	939	1073	732
	110	806	903	639	669	1060	1210	825
	120	901	1010	713	741	1180	1346	918
	130	996	1116	787	812	1299	1482	1010
	140	1091	1222	860	883	1419	1617	1103
	150	1187	1329	933	953	1537	1751	1195
	160	1282	1435	1006	1022	1655	1885	1286
	170	1377	1540	1078	1091	1772	2140	1377
	180	1472	1646	1150	1159	1889	2280	1467
	190	1566	1751	1222	1226	2130	2420	1557
	200	1661	1856	1293	1293	2250	2560	1646
Start Temperatur:		30.1	29.4	29.8	29.8	29.5	29.5	29.5
End Temperatur:		35	30.3	29.9	29.4	29.4	29.8	30.3



**Messdurchlauf 2**

LED-Nr:		1	2	3	4	5	6	7
LED-Stufen:	10	1	3	2	2	3	2	5
	20	12	28	17	15	25	29	35
	30	31	70	44	38	59	81	82
	40	56	120	78	65	99	143	136
	50	83	174	116	93	141	211	194
	60	112	232	155	122	183	282	253
	70	142	290	197	151	226	355	312
	80	173	350	239	181	270	430	372
	90	205	411	282	211	314	505	433
	100	237	472	325	240	357	581	492
	110	270	533	369	269	401	656	553
	120	303	595	414	299	444	733	612
	130	336	657	458	327	487	809	671
	140	370	719	503	356	529	885	730
	150	403	781	547	385	572	961	788
	160	437	843	591	413	614	1037	846
	170	470	905	636	441	655	1113	903
	180	504	966	680	469	696	1188	960
	190	537	1027	725	496	737	1263	1016
	200	571	1088	768	523	777	1338	1074
Start Temperatur:		30.1	30.6	29.7	30	30	30.1	30.4
End Temperatur:		30.6	30	30	30	30	30.3	29.5

### Messdurchlauf 2 - LEDs einzeln

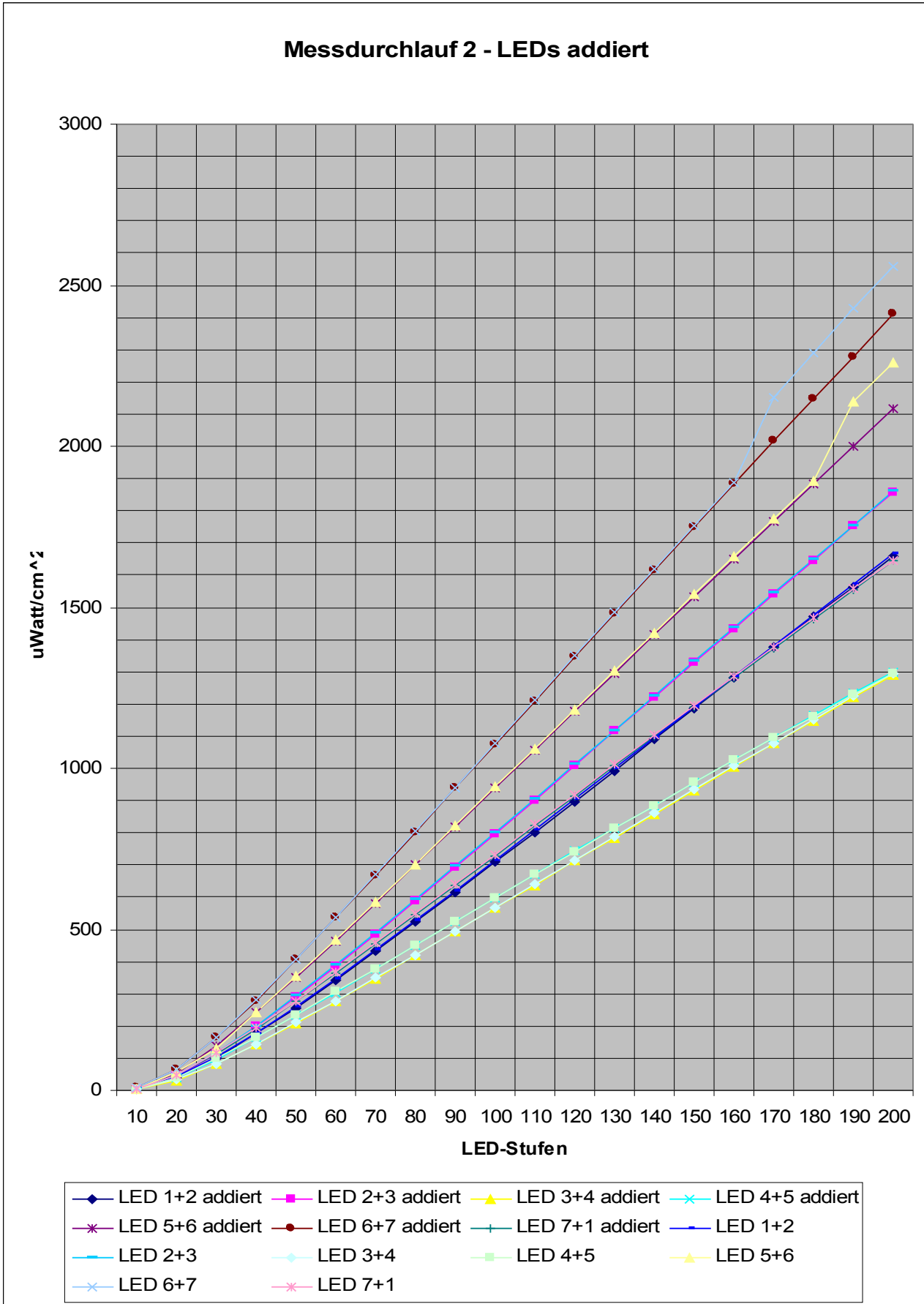


**Addiert:**

LED-Nr:		1+ 2	2 + 3	3 + 4	4 + 5	5 + 6	6 + 7	7 + 1
LED-Stufen:	10	4	5	4	5	5	7	6
	20	40	45	32	40	54	64	47
	30	101	114	82	97	140	163	113
	40	176	198	143	164	242	279	192
	50	257	290	209	234	352	405	277
	60	344	387	277	305	465	535	365
	70	432	487	348	377	581	667	454
	80	523	589	420	451	700	802	545
	90	616	693	493	525	819	938	638
	100	709	797	565	597	938	1073	729
	110	803	902	638	670	1057	1209	823
	120	898	1009	713	743	1177	1345	915
	130	993	1115	785	814	1296	1480	1007
	140	1089	1222	859	885	1414	1615	1100
	150	1184	1328	932	957	1533	1749	1191
	160	1280	1434	1004	1027	1651	1883	1283
	170	1375	1541	1077	1096	1768	2016	1373
	180	1470	1646	1149	1165	1884	2148	1464
	190	1564	1752	1221	1233	2000	2279	1553
	200	1659	1856	1291	1300	2115	2412	1645

**Gemessen:**

LED-Nr:		1 + 2	2 + 3	3 + 4	4 + 5	5 + 6	6 + 7	7 + 1
LED-Stufen:	10	5	5	4	6	6	8	6
	20	42	46	33	41	55	65	48
	30	104	117	84	99	130	164	115
	40	179	201	145	165	243	281	194
	50	261	293	211	235	353	406	279
	60	347	390	279	306	467	537	367
	70	436	489	349	378	584	669	457
	80	527	592	422	452	703	804	548
	90	620	696	494	525	822	940	640
	100	714	800	567	597	942	1076	733
	110	808	906	641	670	1062	1213	826
	120	903	1013	715	742	1183	1349	919
	130	999	1119	788	814	1302	1485	1011
	140	1095	1226	862	885	1421	1620	1104
	150	1190	1332	935	955	1540	1755	1196
	160	1286	1439	1008	1025	1659	1888	1287
	170	1381	1544	1080	1094	1775	2150	1378
	180	1476	1650	1153	1162	1893	2290	1469
	190	1570	1754	1224	1229	2140	2430	1558
	200	1665	1860	1296	1296	2260	2560	1647
Start Temperatur:		29.5	29.5	30.1	30.1	29.8	29.8	30.2
End Temperatur:		35.2	35.2	30.1	29.8	29.8	30.2	35.5



**Gemittelte Werte:**

**LEDs einzeln:**

LED-Nr:		1	2	3	4	5	6	7
LED-Stufen:	10	1	2	2	2	3	2	5
	20	12	28	17	15	25	29	35
	30	31	70	44	38	59	81	82
	40	56	120	78	65	99	142	136
	50	83	174	116	93	140	210	193
	60	112	231	155	122	183	281	252
	70	142	289	196	151	226	354	311
	80	172	349	238	180	269	428	371
	90	204	409	281	210	313	503	432
	100	236	470	324	239	356	579	491
	110	269	531	368	269	400	654	551
	120	302	593	412	298	443	731	611
	130	334	654	457	326	486	807	670
	140	368	716	501	355	528	883	729
	150	401	778	545	384	570	958	787
	160	435	840	589	412	612	1034	844
	170	468	901	634	440	653	1110	902
	180	501	962	678	468	694	1185	959
	190	534	1023	722	495	735	1259	1014
	200	606	1084	766	522	775	1334	1071

**Addiert:**

LED-Nr:		1 + 2	2 + 3	3 + 4	4 + 5	5 + 6	6 + 7	7 + 1
LED-Stufen:	10	3	4	4	5	5	7	5
	20	40	45	32	40	54	64	35
	30	101	114	82	97	139	162	82
	40	176	198	143	163	241	278	136
	50	256	289	208	233	350	403	193
	60	342	385	276	304	464	533	252
	70	430	485	347	376	579	665	311
	80	521	587	418	449	697	799	371
	90	613	690	491	523	816	935	432
	100	706	793	563	595	935	1070	491
	110	799	898	636	668	1054	1205	551
	120	894	1005	710	741	1173	1341	611
	130	988	1111	783	812	1292	1476	670
	140	1083	1217	856	883	1410	1611	729
	150	1178	1323	929	954	1528	1745	787
	160	1274	1429	1001	1024	1646	1878	844
	170	1369	1535	1073	1093	1763	2011	902
	180	1463	1640	1145	1162	1879	2143	959
	190	1557	1745	1217	1229	1994	2273	1014
	200	1689	1849	1287	1297	2109	2404	1071

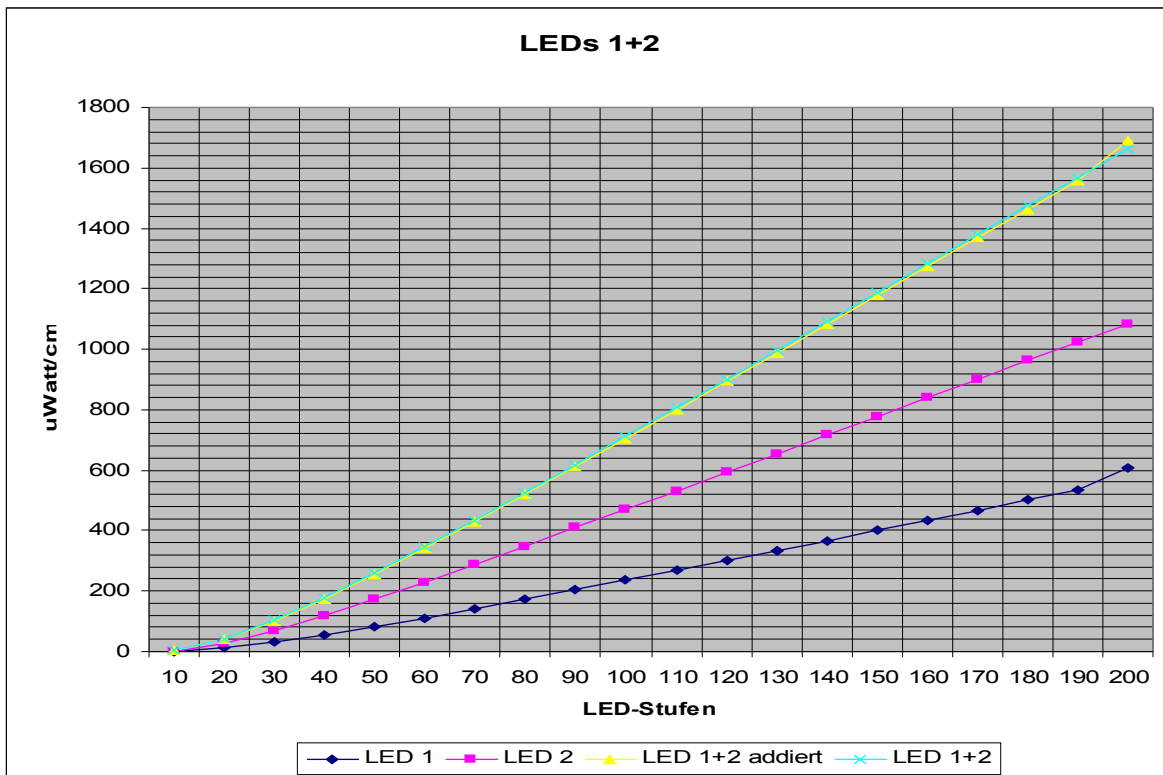
**Gemessen:**

LED-Nr:		1 + 2	2 + 3	3 + 4	4 + 5	5 + 6	6 + 7	7 + 1
LED-Stufen:	10	5	5	4	6	6	8	6
	20	42	46	33	41	55	65	48
	30	104	117	84	99	135	164	115
	40	179	201	145	165	243	280	194
	50	261	293	211	235	353	405	279
	60	347	389	279	306	467	536	367
	70	435	489	349	378	583	668	457
	80	527	591	422	451	702	803	548
	90	619	695	494	524	821	939	640
	100	713	799	567	597	941	1075	733
	110	807	905	640	670	1061	1212	826
	120	902	1012	714	742	1182	1348	919
	130	998	1118	788	813	1301	1484	1011
	140	1093	1224	861	884	1420	1619	1104
	150	1189	1331	934	954	1539	1753	1196
	160	1284	1437	1007	1024	1657	1887	1287
	170	1379	1542	1079	1093	1774	2145	1378
	180	1474	1648	1152	1161	1891	2285	1468
	190	1568	1753	1223	1228	2135	2425	1558
	200	1663	1858	1295	1295	2255	2560	1647

**LEDs 1 + 2**

**addiert**

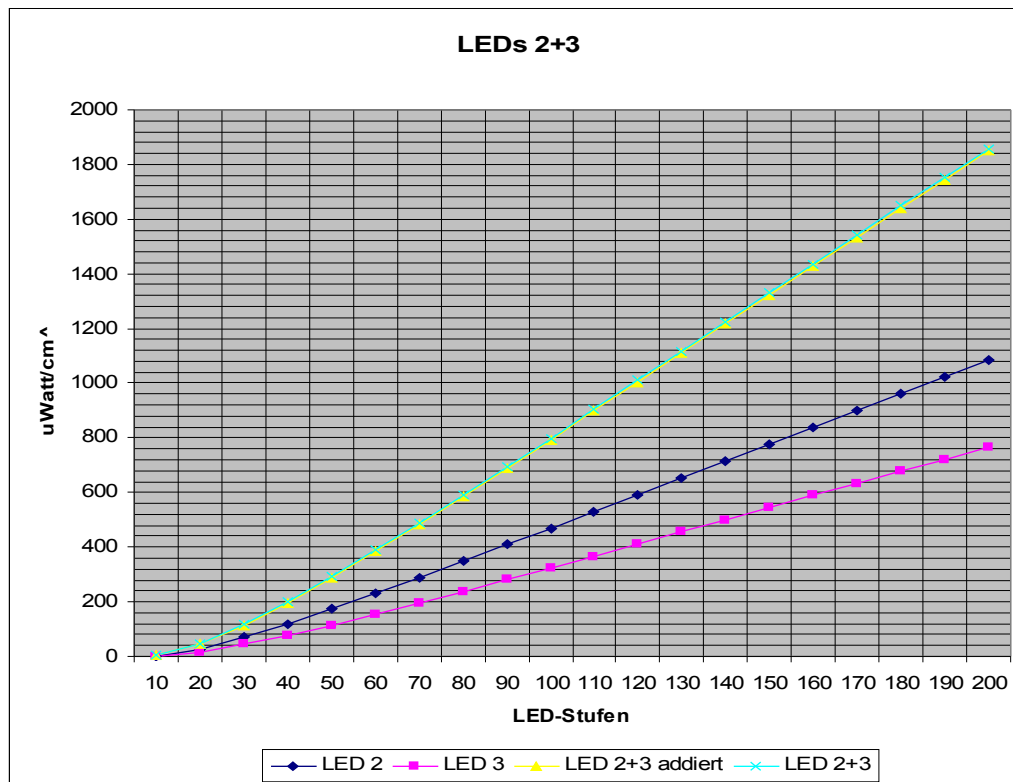
	1	2	1+ 2	1+ 2
10	1	2	3	5
20	12	28	40	42
30	31	70	101	104
40	56	120	176	179
50	83	174	256	261
60	112	231	342	347
70	142	289	430	435
80	172	349	521	527
90	204	409	613	619
100	236	470	706	713
110	269	531	799	807
120	302	593	894	902
130	334	654	988	998
140	368	716	1083	1093
150	401	778	1178	1189
160	435	840	1274	1284
170	468	901	1369	1379
180	501	962	1463	1474
190	534	1023	1557	1568
200	606	1084	1689	1663



**LEDs 2 + 3**

**addiert**

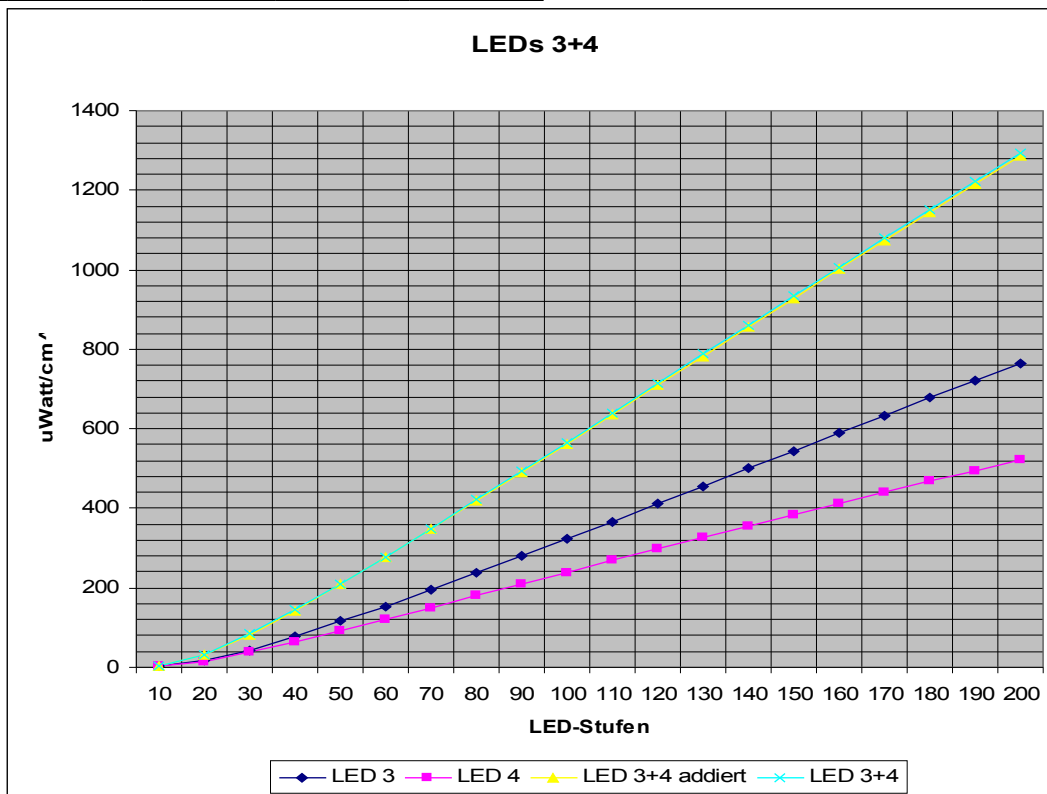
	2	3	2 + 3	2 + 3
10	2	2	4	5
20	28	17	45	46
30	70	44	114	117
40	120	78	198	201
50	174	116	289	293
60	231	155	385	389
70	289	196	485	489
80	349	238	587	591
90	409	281	690	695
100	470	324	793	799
110	531	368	898	905
120	593	412	1005	1012
130	654	457	1111	1118
140	716	501	1217	1224
150	778	545	1323	1331
160	840	589	1429	1437
170	901	634	1535	1542
180	962	678	1640	1648
190	1023	722	1745	1753
200	1084	766	1849	1858



**LEDs 3+4**

**addiert**

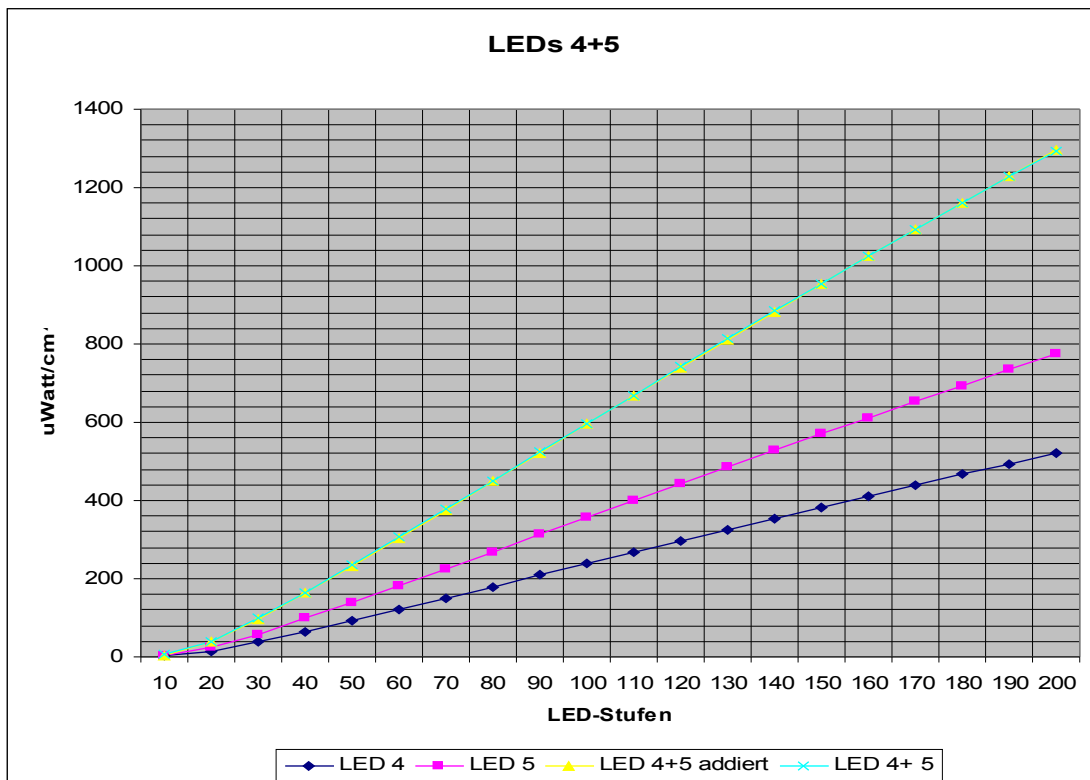
	3	4	3 + 4	3 + 4
10	2	2	4	4
20	17	15	32	33
30	44	38	82	84
40	78	65	143	145
50	116	93	208	211
60	155	122	276	279
70	196	151	347	349
80	238	180	418	422
90	281	210	491	494
100	324	239	563	567
110	368	269	636	640
120	412	298	710	714
130	457	326	783	788
140	501	355	856	861
150	545	384	929	934
160	589	412	1001	1007
170	634	440	1073	1079
180	678	468	1145	1152
190	722	495	1217	1223
200	766	522	1287	1295



**LEDs 4+5**

**addiert**

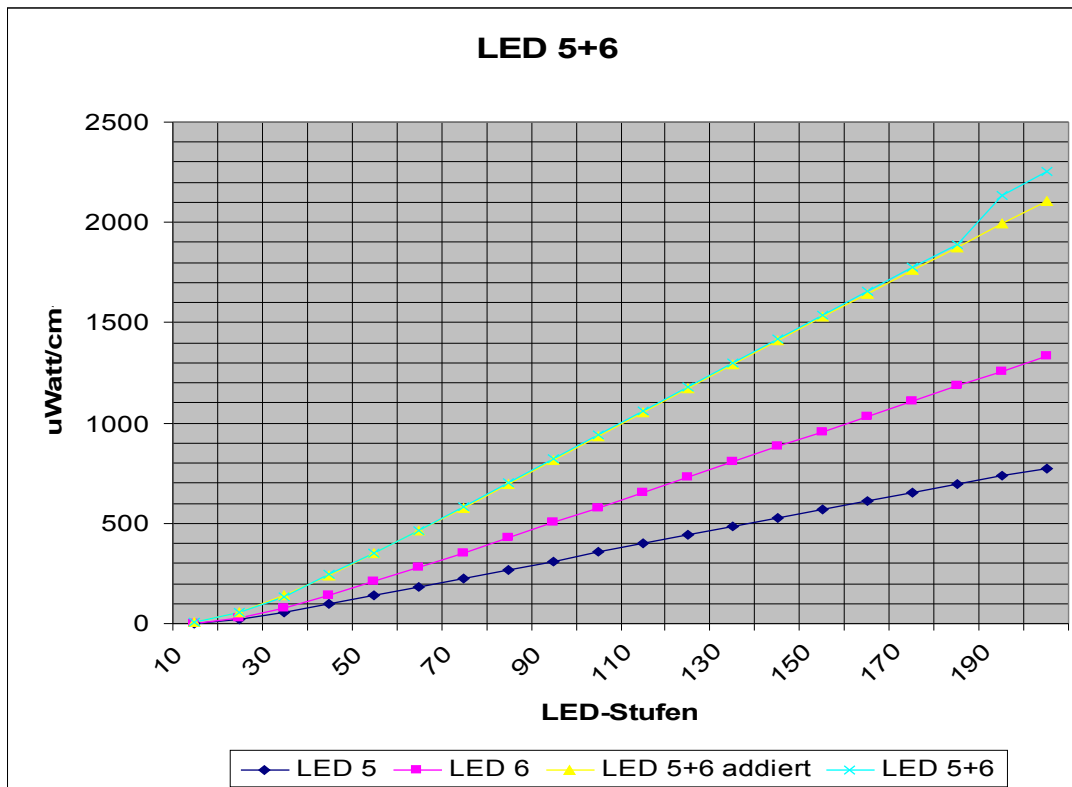
	4	5	4 + 5	4 + 5
10	2	3	5	6
20	15	25	40	41
30	38	59	97	99
40	65	99	163	165
50	93	140	233	235
60	122	183	304	306
70	151	226	376	378
80	180	269	449	451
90	210	313	523	524
100	239	356	595	597
110	269	400	668	670
120	298	443	741	742
130	326	486	812	813
140	355	528	883	884
150	384	570	954	954
160	412	612	1024	1024
170	440	653	1093	1093
180	468	694	1162	1161
190	495	735	1229	1228
200	522	775	1297	1295



**LEDs 5+6**

**addiert**

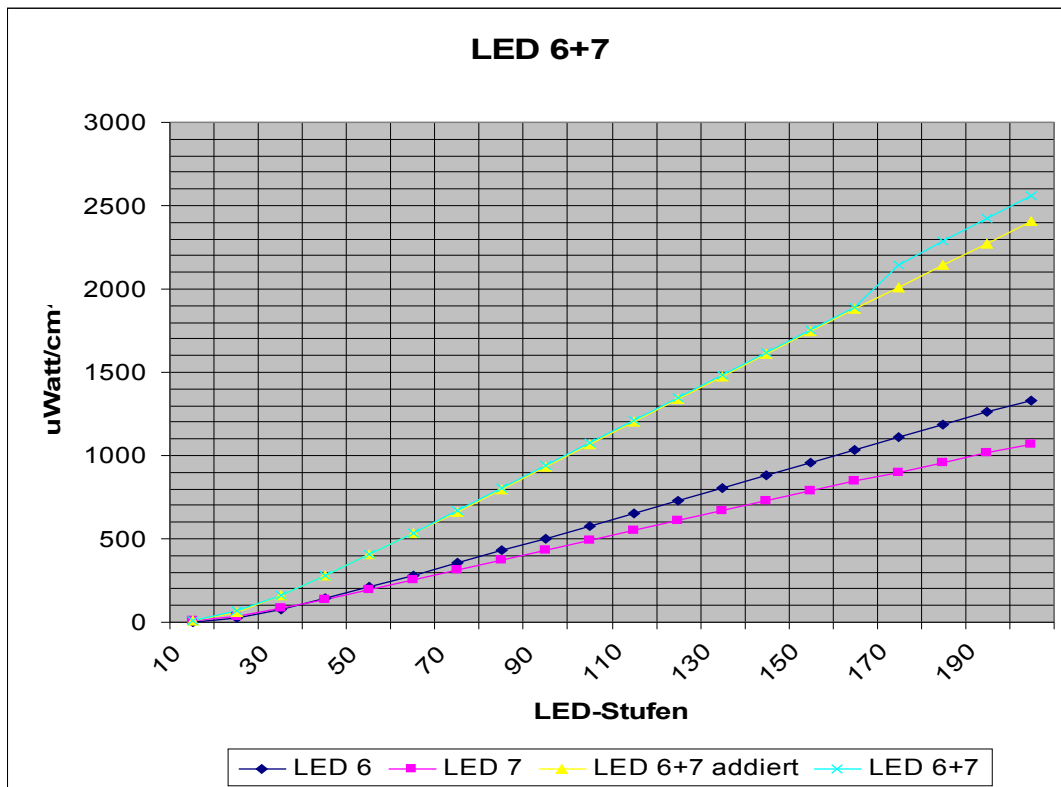
	5	6	5 + 6	5 + 6
10	3	2	5	6
20	25	29	54	55
30	59	81	139	135
40	99	142	241	243
50	140	210	350	353
60	183	281	464	467
70	226	354	579	583
80	269	428	697	702
90	313	503	816	821
100	356	579	935	941
110	400	654	1054	1061
120	443	731	1173	1182
130	486	807	1292	1301
140	528	883	1410	1420
150	570	958	1528	1539
160	612	1034	1646	1657
170	653	1110	1763	1774
180	694	1185	1879	1891
190	735	1259	1994	2135
200	775	1334	2109	2255



**LEDs 6+7**

**addiert**

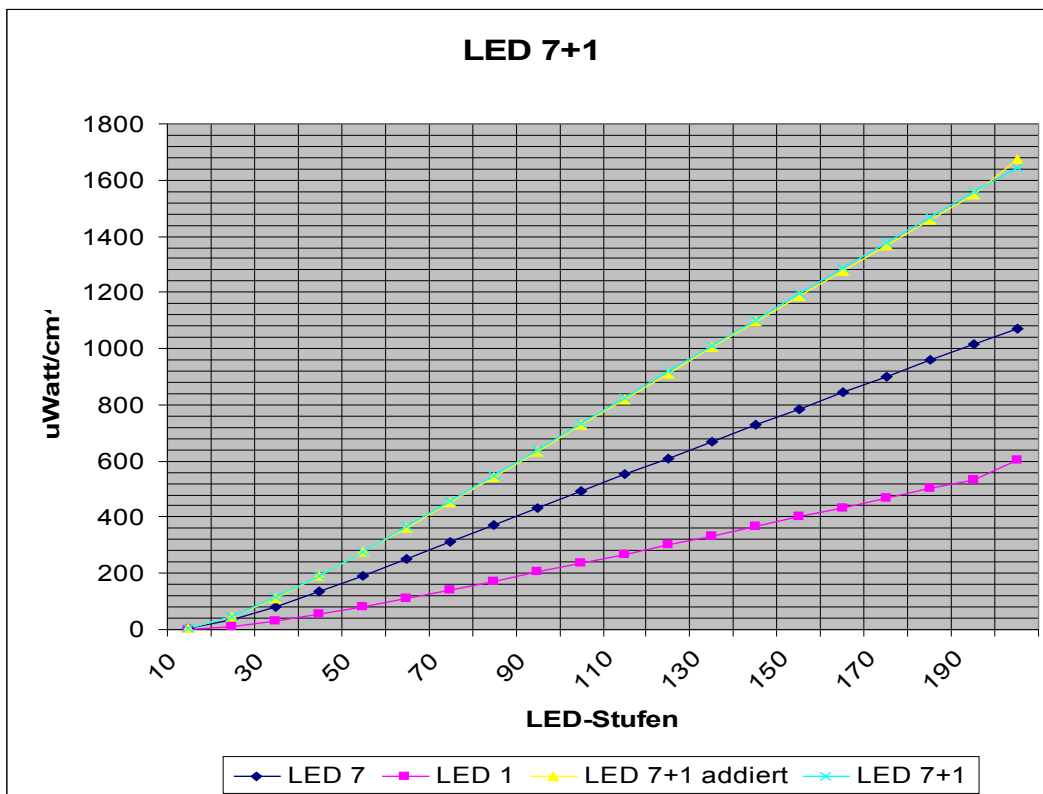
	6	7	6 + 7	6 + 7
10	2	5	7	8
20	29	35	64	65
30	81	82	162	164
40	142	136	278	280
50	210	193	403	405
60	281	252	533	536
70	354	311	665	668
80	428	371	799	803
90	503	432	935	939
100	579	491	1070	1075
110	654	551	1205	1212
120	731	611	1341	1348
130	807	670	1476	1484
140	883	729	1611	1619
150	958	787	1745	1753
160	1034	844	1878	1887
170	1110	902	2011	2145
180	1185	959	2143	2285
190	1259	1014	2273	2425
200	1334	1071	2404	2560



**LEDs 7+1**

**addiert**

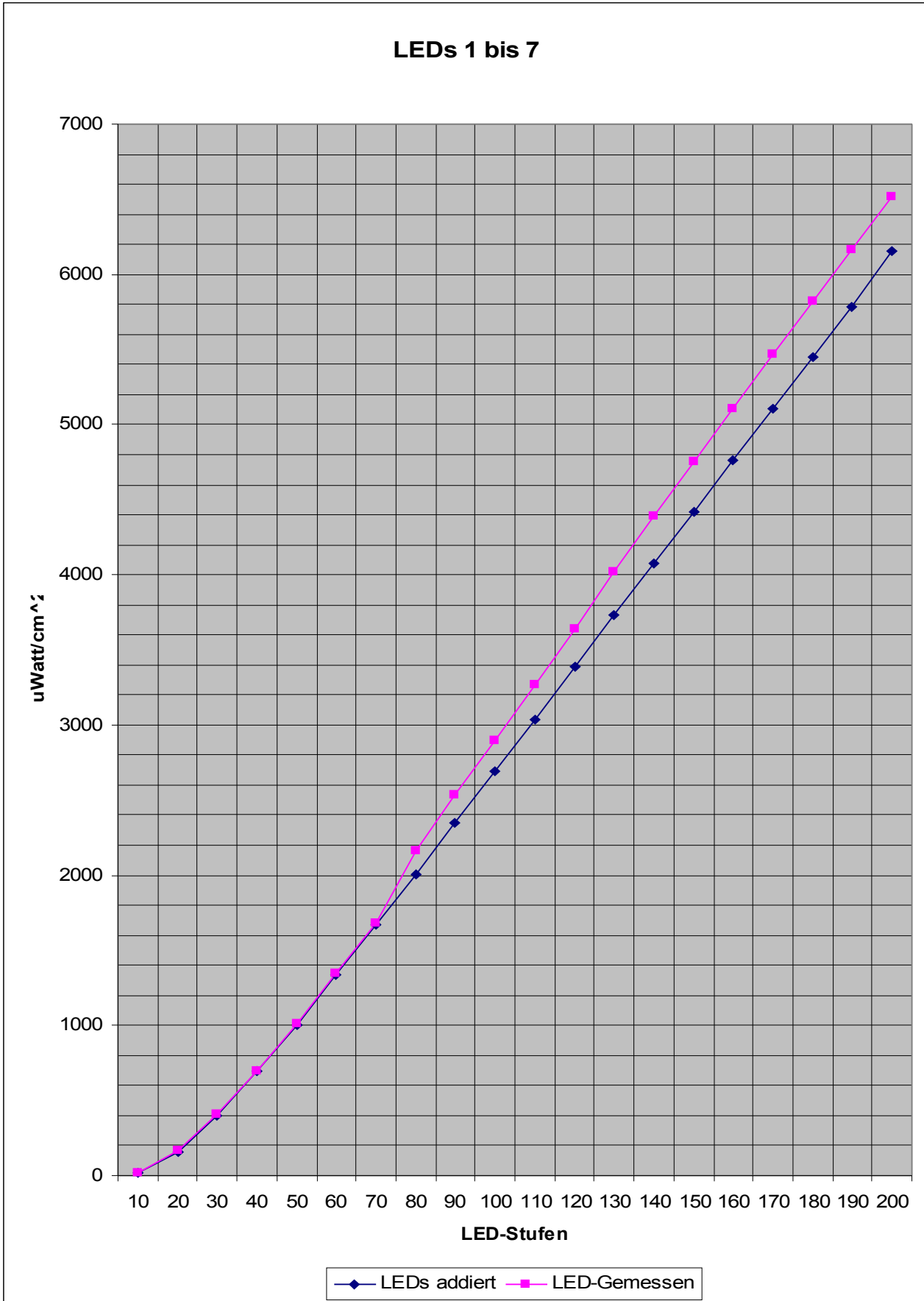
	7	1	7 + 1	7 + 1
10	5	1	6	6
20	35	12	47	48
30	82	31	113	115
40	136	56	192	194
50	193	83	276	279
60	252	112	364	367
70	311	142	453	457
80	371	172	543	548
90	432	204	636	640
100	491	236	727	733
110	551	269	820	826
120	611	302	912	919
130	670	334	1004	1011
140	729	368	1096	1104
150	787	401	1187	1196
160	844	435	1279	1287
170	902	468	1369	1378
180	959	501	1460	1468
190	1014	534	1548	1558
200	1071	606	1676	1647



**LEDs 1-7 zusammen**

**addiert      Messung vom 6.05.2007**

<b>LED-Nr:</b>		1 bis 7	1 bis 7
<b>LED-Stufen:</b>	10	17	21
	20	160	164
	30	403	407
	40	694	698
	50	1007	1015
	60	1334	1346
	70	1667	1685
	80	2007	2160
	90	2351	2530
	100	2694	2900
	110	3040	3270
	120	3388	3640
	130	3732	4020
	140	4078	4390
	150	4421	4750
	160	4765	5110
	170	5106	5470
	180	5445	5820
	190	5781	6160
	200	6155	6520



**Schlussfolgerungen:**

Die LEDs verhalten sich annähernd linear. Nur in den untersten Intensitätsstufen weichen sie davon ab, was kein Problem darstellen sollte, weil in diesem Bereich die LEDs nach dem Abgleich voraussichtlich nicht arbeiten werden.

Die Leistungen der einzelnen LEDs lassen sich einfach addieren, da die Unterschiede von der addierten LED-Leistungen zu den gemessenen Werten vernachlässigbar klein ist. Zwar gibt es bei  $2000 \text{ uWatt/cm}^2$  einen Sprung bei der Messung, dieser wird aber durch das Messgerät erzeugt, das ab  $2 \text{ mW/cm}^2$  in einen tieferen Empfindlichkeitsbereich geschaltet werden muss. Dies hat zur Folge, dass das Messgerät erhöhte Werte misst, die aber ansonsten das gleiche lineare und additive Verhalten aufweisen.

Im Messdurchlauf 1 tritt bei der LED 1 auf der LED-Stufe 200 eine nichtlineare Überhöhung der Leistung auf. Da diese Erhöhung im zweiten Messdurchlauf nicht mehr gemessen wurde und auch dem allgemeinen Verhalten der LED widerspricht, kann dieser Ausreisser als Fehlmessung identifiziert werden.

Datum: 15.05.2007

Zeit: Messdurchlauf 1: 10.30 – 11.55

Ausführender: Claudio Corrodi

Messdurchlauf 2: 13.35 – 14.30

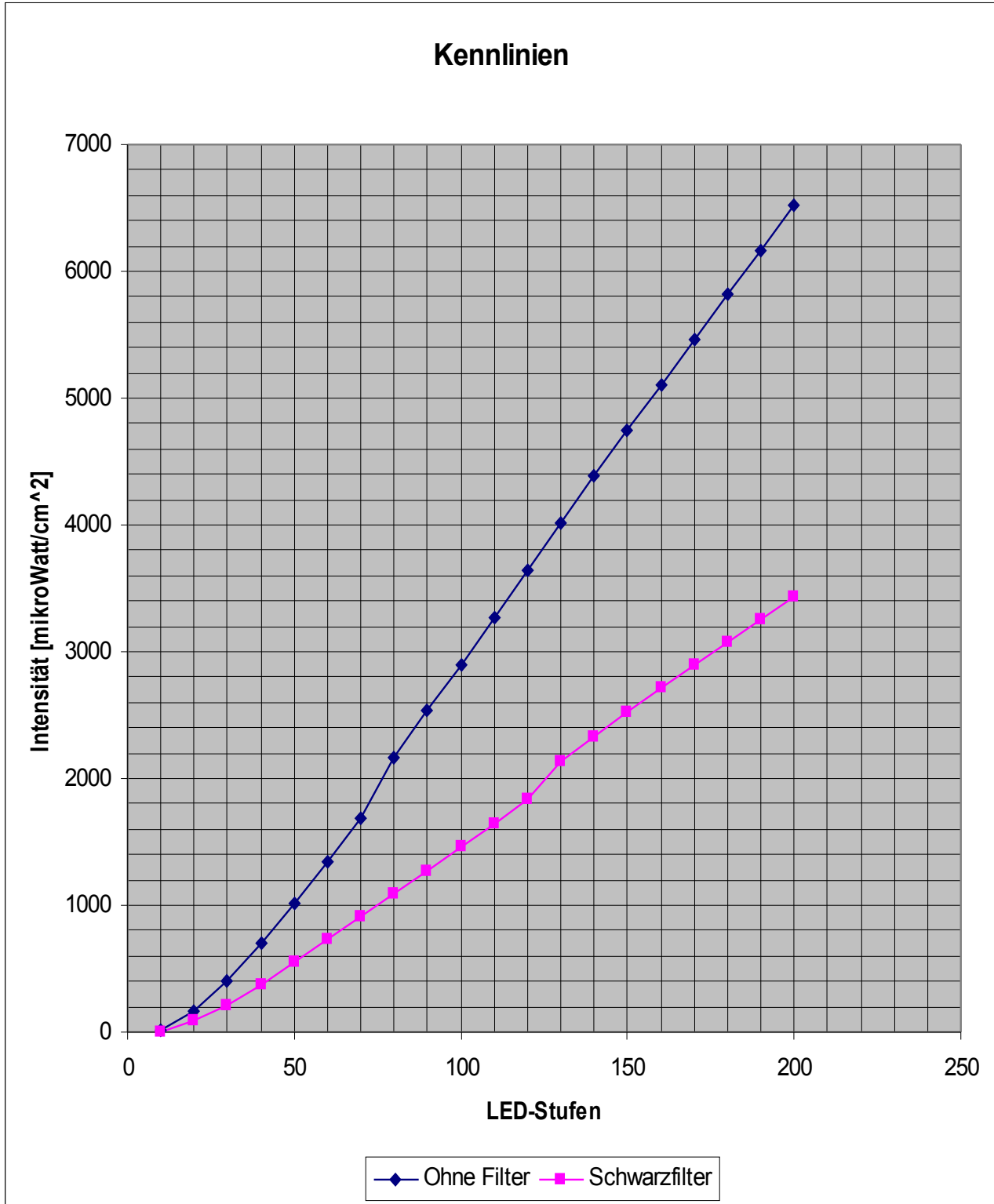
### 13.1.2 Schwarzfilter-Messprotokoll

- Ziel:** Es wird das grundlegend Verhalten des Schwarz-Filters ermittelt.
- Aufbau:** Der UV-Filter wird auf die übliche Fokusdistanz des UV-X-Strahlers von ca. 50 mm gesetzt  
 Der Strahlengang wird abgeschirmt, damit die Messung nicht durch einfallendes Licht verfälscht wird.  
 Verwendetes Messgerät: UV Light Meter von PeakTech 5085; Ser.Nr: Q145125  
 Blendendurchmesser L (large) => Durchmesser ca. 11.5mm  
 LED-Box-Ser.Nr.: 0712-031
- Vorgehen:** Alle sieben LEDs werden gleichmässig in 10er Schritten auf der UvLedSetup-Programm bis auf einen maximalen Wert von 200 gefahren. Dabei werden die LEDs im UV-Spektrum mit einer Wellenlänge von 365 nanoMeter erfasst.  
 Nach dieser ersten Messung wird in einem zweiten Durchlauf der Schwarzfilter-Filter dazwischen geschaltet und die Messung wiederholt.
- Messung:** Alle Angaben in  $\mu\text{Watt}/\text{cm}^2$ :

Art der Messung:		Reines UV	Mit Schwarzfilter	Verhältnis
LED-Stufen:	10	21	0	0
	20	164	84	0.512195122
	30	407	216	0.530712531
	40	698	374	0.535816619
	50	1015	546	0.537931034
	60	1346	724	0.537890045
	70	1685	905	0.537091988
	80	2160	1090	0.50462963
	90	2530	1276	0.504347826
	100	2900	1461	0.503793103
	110	3270	1647	0.503669725
	120	3640	1830	0.502747253
	130	4020	2140	0.532338308
	140	4390	2330	0.530751708
	150	4750	2520	0.530526316
	160	5110	2710	0.530332681
	170	5470	2890	0.52833638
180	5820	3070	0.527491409	
190	6160	3250	0.527597403	
200	6520	3430	0.52607362	

**Start Temperatur:** 30.9° C                      30.6° C  
**End Temperatur:** 35.5° C                      35.1° C

**Verhältnisdurchschnitt:** 0.523382774



**Schlussfolgerung:**

Das Verhalten der LEDs kann grob als linear betrachtet werden. Ab einem Gesamtintensitätswert von  $2000 \text{ uWatt/cm}^2$ , musste das Messgerät in einen tieferen Empfindlichkeitsbereich wechseln. Dadurch wird die Genauigkeit der Messung reduziert, aber man kann trotzdem das Verhalten als linear betrachten.

Durch den Einsatz des Schwarzfilters wird die Strahlleistung des UV-Strahl auf Etwas mehr als 52% reduziert.

Datum: 06.05.2007

Ausführender: Claudio Corrodi

**13.1.3 UV-Filter-Messprotokoll**

**Ziel:** Es wird das grundlegend Verhalten des UV-Filters ermittelt und somit geklärt, ob er sich linear verhält und ob er einen Sättigungsbereich hat.

**Aufbau:** Der UV-Filter wird auf die übliche Fokusdistanz des UV-X-Strahlers von ca. 50 mm gesetzt.

Der Strahlengang wird abgeschirmt, damit die Messung nicht durch einfallendes Licht verfälscht wird.

**Verwendetes Messgerät:** Da der UV Light Meter von PeakTech nicht für Messungen im sichtbaren Spektrum geeignet ist, verwenden wir die QuickCam Deluxe von Logitech.

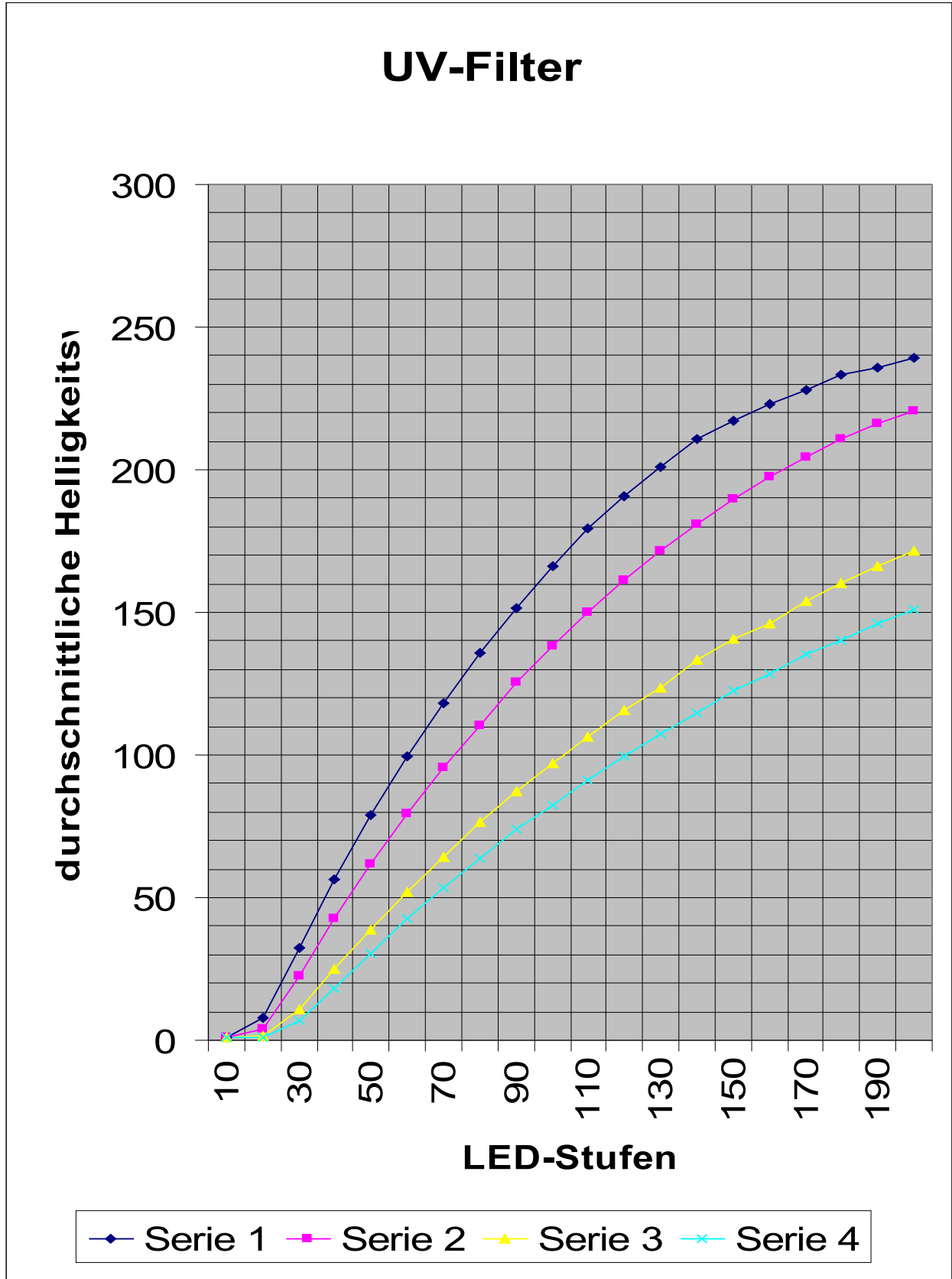
Blendengröße L (large) => Durchmesser ca. 11.5mm

LED-Box-Ser.Nr.: 0712-031

**Vorgehen:** Alle sieben LEDs werden gleichmässig in 10er Schritten auf der UvLedSetup-Programm bis auf einen maximalen Wert von 200 gefahren. Mit der Kamera wird die durchschnittliche Helligkeit erfasst

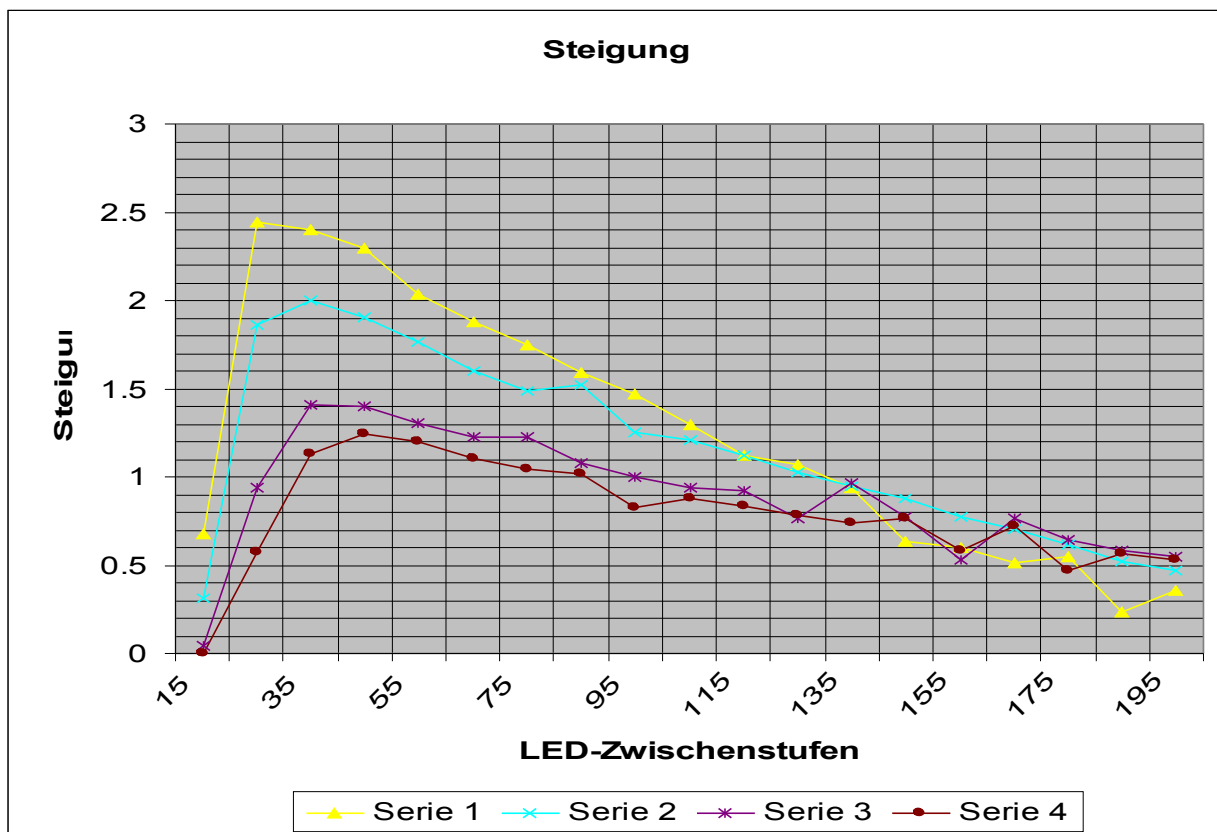
**Messung:** Zahlenwerte der durchschnittlichen Helligkeit

<b>Art der Messung:</b>		<b>Mit UV-Filter</b>			
<b>LED-Stufen:</b>	10	1	1	1	1
	20	7.746	4.1048	1.4511	1.0207
	30	32.1586	22.6973	10.8143	6.7337
	40	56.1769	42.6971	24.8791	18.0714
	50	79.1409	61.7806	38.889	30.5237
	60	99.4811	79.4514	51.9144	42.5089
	70	118.2486	95.4516	64.1657	53.523
	80	135.7053	110.3044	76.4573	63.9513
	90	151.6606	125.514	87.2473	74.135
	100	166.39	138.0739	97.2295	82.39
	110	179.3622	150.1626	106.6082	91.1669
	120	190.5655	161.3733	115.7882	99.538
	130	201.222	171.6095	123.4685	107.3979
	140	210.6088	181.1019	133.1434	114.7994
	150	216.9189	189.8499	140.913	122.4911
	160	222.9225	197.6316	146.2015	128.2894
	170	228.026	204.6545	153.858	135.4969
	180	233.5192	210.8404	160.298	140.1507
	190	235.834	216.0742	166.1438	145.8361
	200	239.3815	220.7828	171.6019	151.1038
<b>Start Temperatur:</b>		34.9	35.2	35.1	35.2
<b>End Temperatur:</b>		40	40.7	39.6	39.8
<b>Exposure:</b>		1/10 s	1/10 s	1/10s	1/10s
<b>Gain</b>		945	551	315	157
<b>Durchmesser</b>		70%	70%	100%	100%



Steigung:

	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
15	0.6746	0.31048	0.04511	0.00207
25	2.44126	1.85925	0.93632	0.5713
35	2.40183	1.99998	1.40648	1.13377
45	2.2964	1.90835	1.40099	1.24523
55	2.03402	1.76708	1.30254	1.19852
65	1.87675	1.60002	1.22513	1.10141
75	1.74567	1.48528	1.22916	1.04283
85	1.59553	1.52096	1.079	1.01837
95	1.47294	1.25599	0.99822	0.8255
105	1.29722	1.20887	0.93787	0.87769
115	1.12033	1.12107	0.918	0.83711
125	1.06565	1.02362	0.76803	0.78599
135	0.93868	0.94924	0.96749	0.74015
145	0.63101	0.8748	0.77696	0.76917
155	0.60036	0.77817	0.52885	0.57983
165	0.51035	0.70229	0.76565	0.72075
175	0.54932	0.61859	0.644	0.46538
185	0.23148	0.52338	0.58458	0.56854
195	0.35475	0.47086	0.54581	0.52677



**Auswertung:**

Die Messung ergibt, dass die erfasste Helligkeit sich nicht linear verhält. Die ermittelten Steigungen variieren im Arbeitsbereich aber nur begrenzt, weshalb ein lineares Modell für den Anfang sicher vertretbar ist. Es sind aber noch weitere Abklärungen nötig. So sollte die RGB-Auswirkung auf die Helligkeit auch noch untersucht werden. Der UV-Filter fluoresziert im orangen Teil des Farbspektrums und enthält somit kaum blaue Farbanteile. Auch die grünen Farbanteile haben einen kleineren Einfluss, als die Roten. Andererseits wird zum erstellen eines Graustufenbildes aus einem RGB-Bild, der grüne Farbanteil etwa doppelt so stark wie der rote Farbanteil gewichtet. Somit vermindern sich die Effekte Farbanteile und der Helligkeitsgewichtung gegenseitig und die Helligkeit lässt sich in diesem speziellen Fall als eine Addition der ungewichteten Farbanteile des RGB-Bildes annähern. Durch das variieren der Verstärkungeinstellungen der Kamera zeigt sich, dass die Linearität der Empfangen Werte sich verbessert, wenn die Kameraverstärkung nicht zu gross gewählt wird und die Kamera somit weniger in ihren Sättigungsbereich kommt.

Alles in allem wäre ein reines Graustufenbild aber sicher besser geeignet, um die Helligkeit zu ermitteln.

Datum:	29.05.2007	Zeit:	15.15 - 15.30	16.00 - 16.13
Ausführender:	Claudio Corrodi		16.15 - 16.25	16.30 - 16.40