

# O32a - Gitterspektrometer mit He-Lampe

Protokoll zum Versuch des Physikalischen Praktikums I  
von

**Maxim Gilsendegen & David Flemming**

Universität Stuttgart

Verfasser: Maxim Gilsendegen (Chemie),  
3650577

David Flemming (Chemie),  
3650295

Gruppennummer: C-004

Versuchsdatum: 24.07.2023

Betreuerin: Manya Willberg

Stuttgart, den 24.07.2023

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Versuchsziel</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Messprinzip</b>	<b>1</b>
2.1	Bestimmung der Gitterkonstante . . . . .	1
2.2	Bestimmung der Wellenlängen und Intensität der Laser . . . . .	2
2.3	Bestimmung der Wellenlängen der LEDs . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Formeln</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Messwerte</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Auswertung</b>	<b>4</b>
5.1	Diagramm Auslenkung über Wellenlängen . . . . .	4
5.2	Bestimmung der Gitterkonstante . . . . .	4
5.3	Bestimmung der Wellenlängen und Intensität der Laser . . . . .	5
5.3.1	Spektrale Auflösung . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Fehlerrechnung</b>	<b>8</b>
6.1	Fehler der Gitterkonstante . . . . .	8
6.2	Fehler der Wellenlänge . . . . .	9
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>10</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>11</b>

# 1 Versuchsziel und Versuchsmethode

Bei diesem Versuch sollten verschiedene Wellenlängen unterschiedlicher Intensität über ein Beugungsgitter untersucht werden. Dabei wurde zuerst die Gitterkonstante über die Beugung bekannter Wellenlängen bestimmt. Zuerst sollte eine Kalibrierung des Gitters, bei verwendung durchgeführt werden. Anschließend wurde mithilfe des selben Gitters die Wellenlänge sowie die Intensität zweier Laser bestimmt. Zuletzt wurde die Wellenlänge von drei Leuchtdioden an der Spaltung 0 und 1 Ordnung bestimmt.

## 2 Messprinzip

### 2.1 Bestimmung der Gitterkonstante

Eine Heliumlampe wurde auf einer Schiene in einem festem Abstand  $a$  von 0,77 m zu einem Gitter montiert. Hinter der Heliumlampe befand sich ein Maßstab. Über die anpeilung des Gitters rechts und links von der Schiene wurde der Abstand der am Gitter gebeugten Wellenlängen zum nichtgebeugt Licht bestimmt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 nochmal visualisiert.

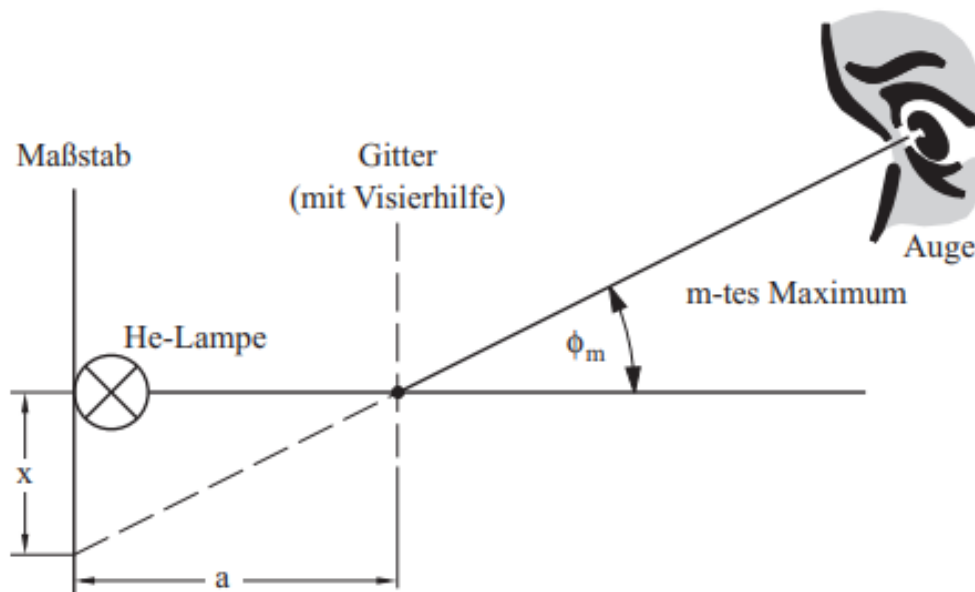


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Gitterkonstante  $D$ .<sup>[1]</sup>

## 2.2 Bestimmung der Wellenlängen und Intensität der Laser

Der Abstand zwischen Gitter und Maßstab wurde aus den vorherigen Versuch übernommen, lediglich hinter das Gitter wurde einmal ein Neon-Helium-Laser sowie ein grüner Laser montiert. Auch bei diesem Versuch wurde der Abstand der gebeugten Laser 1. Ordnung zum nichtgebeugten Laser bestimmt.

## 2.3 Bestimmung der Wellenlängen der LEDs

Der Aufbau sowie die Messung erfolgte analog zur Bestimmung der Wellenlängen der Laser, lediglich mit drei unterschiedlichen LEDs.

## 3 Formeln

Die Gitterkonstante  $D$  wird über folgende Gleichung berechne:

$$D = \lambda \cdot m \sqrt{1 + \frac{a^2}{x^2}} \quad (3.1)$$

wobei  $\lambda$  für die Wellenlänge,  $m$  für die Ordnung,  $a$  für den Abstand zwischen Gitter und Maßstab und  $x$  für den Abstand zwischen der Bündelung 0. Ordnung und 1. Ordnung steht. Desweiteren gilt für das spektrale Auflösungsvermögen  $A$  folgender Zusammenhang:

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = m \cdot p = \frac{m \cdot d}{D} \quad (3.2)$$

wobei  $d$  für die angeleuchteten Gitterbereich,  $p$  für die Anzahl der angeleuchteten Striche steht.

## 4 Messwerte

In Tabelle 1 sind die Messwerte zu dem Versuchsteil der Bestimmung der Gitterkonstante mit der He-Lampe aufgeführt.

Tabelle 1: Abstand der gebeugten Wellenlängen 1. Ordnung zu den gebündelten Wellenlängen 0. Ordnung so wie der berechnete Mittelwert.

Wellenlänge [ $10^{-9}\text{m}$ ]	Abstand links [m]	Abstand rechts [m]	Mittelwert [m]
438,8	0,160	0,167	0,163
447,1	0,203	0,194	0,199
492,2	0,211	0,205	0,208
501,6	0,215	0,218	0,217
504,8	0,226	0,224	0,225
587,6	0,262	0,264	0,263
667,8	0,272	0,310	0,291
706,5	0,340	0,330	0,335

Tabelle 2 beinhaltet die Messwerte zu den Abständen links und Rechts vom jeweiligen Mittelpunkt aus, bei den verschiedenen Lasern und LEDs. Bei den LEDs sind die Intensitätsmaxima, so wie die oberen und unteren Ränder der Spektren einzeln aufgelistet, wobei der obere Rand näher am Zentrum lag und der Untere weiter entfernt

Tabelle 2: Abstand der gebeugten Wellenlängen 1. Ordnung zu den gebündelten Wellenlängen 0. Ordnung und der jeweilige Mittelwert der verschiedenen Lichtquellen.

Lichtquelle	Abstand links [m]	Abstand rechts [m]	Mittelwert [m]
Roter Laser	0,298	0,287	0,2925
Grüner Laser	0,242	0,238	0,24
LED rot Oben	0,296	0,285	0,2905
LED rot Maximum	0,305	0,289	0,297
LED rot Unten	0,308	0,296	0,302
LED grün Oben	0,233	0,233	0,233
LED grün Maximum	0,236	0,237	0,2365
LED grün Unten	0,241	0,244	0,2425
LED blau Oben	0,200	0,202	0,201
LED blau Maximum	0,204	0,207	0,2055
LED blau Unten	0,211	0,214	0,2125

## 5 Auswertung

### 5.1 Diagramm Auslenkung über Wellenlängen

In Abbildung 2 sind die Auslenkungen der jeweiligen Wellenlängen graphisch dargestellt, rein rechnerisch müsste kein linearer Zusammenhang vorliegen, graphisch jedoch, sofern Abweichungen, die in der Fehlerbetrachtung näher erklärt werden, berücksichtigt werden, kann eine lineare Fitgerade durch die Messwerte gezogen werden.

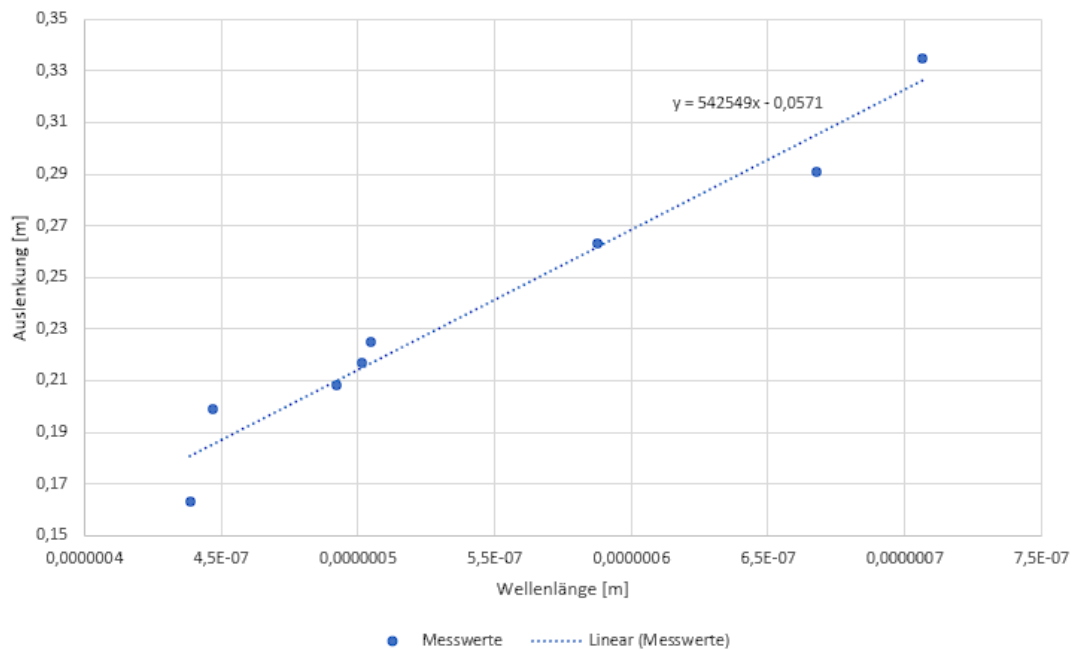


Abbildung 2: Auslenkungen der verschiedenen Wellenlängen graphisch dargestellt.

### 5.2 Bestimmung der Gitterkonstante

In Tabelle 1 wurde der Abstand der gebeugten Wellenlängen 1. Ordnung zu dem gebündelten Wellenlängen 0. Ordnung festgehalten.

Mithilfe Formel 3.1 wird die Gitterkonstante berechnet. Damit ergibt sich für die

Wellenlänge der lilanen Farbe (438,8 nm) folgende Gitterkonstante:

$$D = 438,8 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 1 \sqrt{1 + \frac{(0,77 \text{ m})^2}{(0,163 \text{ m})^2}} = 2,119 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

In Tabelle 3 sind die restlichen berechneten Gitterkonstanten aufgelistet:

Tabelle 3: Abstand der gebeugten Wellenlängen 1. Ordnung zu dem gebündelten Wellenlängen 0. Ordnung sowie Mittelwert sowie deren Mittelwerte

Wellenlänge [ $10^{-9} \text{ m}$ ]	Gitterkonstante [ $10^{-6} \text{ m}$ ]
706,5	1,770
667,8	1,889
587,6	1,817
504,8	1,779
501,6	1,849
492,2	1,887
447,1	1,786
438,8	2,119

Der Mittelwert der Gitterkonstante lässt sich mit folgender Formel berechnen, wobei  $i$  als Index für die verschiedenen Gitterkonstanten gilt.

$$\begin{aligned} \bar{D} &= \frac{\sum_{i=1}^8 D_i}{8} \\ &= \frac{1,770 + 1,889 + 1,817 + 1,779 + 1,849 + 1,887 + 1,786 + 2,119}{8} \cdot 10^{-6} \text{ m} \\ &= 1,862 \cdot 10^{-6} \text{ m} \end{aligned}$$

Der Mittelwert der Gitterkonstante beträgt damit  $1,862 \cdot 10^{-6} \text{ m}$

### 5.3 Bestimmung der Wellenlängen und Intensität der Laser

Mithilfe der Umstellung von Formel 3.1 nach der Wellenlänge  $\lambda$  lässt sich die Wellenlänge der Laser berechnen. Somit ergibt sich für den grünen Laser folgende Wellenlänge:

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{1,862 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{1 \cdot \sqrt{1 + \frac{(0,77 \text{ m})^2}{(0,24 \text{ m})^2}}} \\ &= 554 \cdot 10^{-9} \text{ m} \end{aligned}$$

Die Wellenlängen für die restlichen Lichtquellen aus Tabelle 2 sind in Tabelle 4 festgehalten.

Tabelle 4: Berechnete Wellenlängen der verschiedenen Lichtquellen

Lichtquelle	Wellenlänge [ $10^{-9}\text{m}$ ]
Roter Laser	661
Grüner Laser	554
LED rot Oben	657
LED rot Maximum	670
LED rot Unten	680
LED grün Oben	539
LED grün Maximum	547
LED grün Unten	559
LED blau Oben	470
LED blau Maximum	480
LED blau Unten	495

Der rote He-Ne-Laser emittiert ein Licht mit der Wellenlänge  $\lambda = 633\text{ nm}^{[2]}$ , das emittierte Licht des grünen Lasers wird auf  $\lambda = 532\text{ nm}^{[3]}$  geschätzt. Somit ergeben sich für die beiden Laser folgende Abweichungen vom Literaturwert.

$$d_r = \frac{661\text{ nm} - 633\text{ nm}}{661\text{ nm}} = 4,24\%$$

$$d_g = \frac{554\text{ nm} - 532\text{ nm}}{554\text{ nm}} = 3,97\%$$



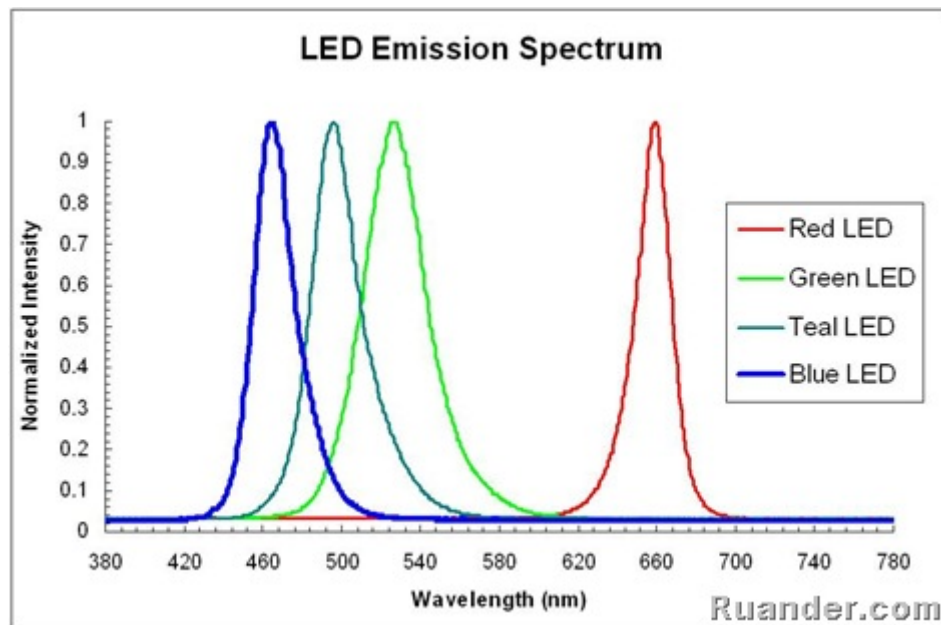


Abb.3: Emissionsspektren der grünen, blauen und roten (sowie der nicht verwendeten blaugrünen) LED.<sup>[4]</sup>

In Tabelle 5 werden die berechneten Werte mit denen, die aus Abbildung 3 hervorgehen, verglichen.

Tabelle 5: Vergleich der berechneten Wellenlängen mit den Wellenlängen, die aus Abbildung 3 für die LEDs hervorgehen.

Farbe	Berechnete Werte		Aus Abbildung 3	
	Maximum [nm]	Spektrum [nm]	Maximum [nm]	Spektrum [nm]
Rot	670	657 - 680	660	610 - 690
Grün	547	539 - 559	535	490 - 600
Blau	480	470 - 495	465	430 - 510

Die sichtbaren Spektren, die berechnet wurden, liegen für alle LEDs in den theoretischen Grenzen. Die Abweichungen der Intensitätsmaxima wird wie bei den Lasern berechnet und liefert für die rote LED 1,49 %, für die grüne LED 2,19 % und für die blaue LED 3,13 %.

### 5.3.1 Spektrale Auflösung

Die spektrale Auflösung  $A$  lässt sich mithilfe von Gleichung 3.2 berechnen. Für die spektrale Auflösung  $A$  bei der Bestimmung der Gitterkonstante ergibt sich mit Ordnung  $m = 1$ , der Gitterbreite  $d = 0,035 \text{ m}$  und einer Gitterkonstante von  $D = 1,862 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ :

$$\begin{aligned} A &= \frac{m \cdot d}{D} \\ &= \frac{0,035 \text{ m}}{1,862 \cdot 10^{-6} \text{ m}} \\ &= 18792,99 \end{aligned}$$

Für den grünen Laser mit  $d = 0,004 \text{ m}$  ergibt sich eine spektrale Auflösung von  $A = 2148,23$  und für den roten Laser mit  $d = 0,002 \text{ m}$  eine spektrale Auflösung von  $A = 1074,11$

## 6 Fehlerrechnung

### 6.1 Fehler der Gitterkonstante

Ein großes Problem stellte bei diesem Versuch die Sichtbarkeit der unterschiedlichen Wellenlängen auf dem Maßstab aufgrund der schlechten Lichtverhältnisse. Der Größtfehler der Gitterkonstante berechnet sich über folgende Gleichung:

$$\Delta D = \frac{a^2}{a^2 + x^2} \cdot \left[ \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta x}{x} \right] \cdot D$$

Dabei wurde für  $x = 0,001 \text{ m}$  und für  $a = 0,001 \text{ m}$  als Größtfehler angenommen, da beide Maßstäbe eine Millimeterskala besitzen und der Größtfehler bei der Ablesung maximal  $0,001 \text{ m}$  betragen kann. Damit ergibt sich für die Gitterkonstante bei der violetten Farbe  $438,8 \text{ nm}$  folgender Größtfehler:

$$\Delta D = \frac{(0,77 \text{ m})^2}{(0,77 \text{ m})^2 + (0,163 \text{ m})^2} \cdot \left[ \frac{0,001 \text{ m}}{0,77 \text{ m}} + \frac{0,001 \text{ m}}{0,163 \text{ m}} \right] \cdot 2,119 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,508 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

Tabelle 6: Fehler der Gitterkonstante bei den einzelnen Wellenlängen

Wellenlänge [nm]	$\Delta D [10^{-8} \text{m}]$
438,8	1,507
447,1	1,059
492,2	1,074
501,6	1,012
504,8	0,941
587,6	0,830
667,8	0,783
706,5	0,638

Damit ergibt sich ein mittlerer Fehler der Gitterkonstante über folgende Gleichung:

$$\begin{aligned}
 \bar{D} &= \frac{\sum_{i=1}^8 D_i}{8} \\
 &= \frac{1,507 + 1,059 + 1,074 + 1,012 + 0,941 + 0,830 + 0,783 + 0,638}{8} \cdot 10^{-8} \text{ m} \\
 &= 0,981 \cdot 10^{-8} \text{ m}
 \end{aligned}$$

## 6.2 Fehler der Wellenlänge

$$\Delta \lambda = \left| \frac{\delta \lambda}{\delta D} \right| \cdot \Delta D + \left| \frac{\delta \lambda}{\delta x} \right| \cdot \Delta x + \left| \frac{\delta \lambda}{\delta a} \right| \cdot \Delta a$$

$$\Delta \lambda = \left| \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{a^2}{x^2}}} \right| \cdot \Delta D + \left| \frac{a^2 \cdot D}{x^3 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{x^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right| \cdot \Delta x + \left| \frac{-D \cdot a}{x^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{x^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right| \cdot \Delta a$$

Somit ergibt sich für den grünen Laser folgenden Fehler bei der Wellenlänge:

$$\begin{aligned}
 \Delta \lambda &= \left| \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{(0,77 \text{ m})^2}{(0,24 \text{ m})^2}}} \right| \cdot 0,981 \cdot 10^{-8} \text{ m} + \left| \frac{(0,77 \text{ m})^2 \cdot 1,862 \cdot 10^{-6} \text{ m}}{(0,24 \text{ m})^3 \cdot \left(1 + \frac{(0,77 \text{ m})^2}{(0,24 \text{ m})^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right| \cdot 0,001 \text{ m} \\
 &+ \left| \frac{-1,862 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 0,77 \text{ m}}{(0,24 \text{ m})^2 \cdot \left(1 + \frac{(0,77 \text{ m})^2}{(0,24 \text{ m})^2}\right)^{\frac{3}{2}}} \right| \cdot 0,001 \text{ m} = 5,678 \cdot 10^{-9} \text{ m}
 \end{aligned}$$

Der Fehler der Wellenlänge des roten Lasers beträgt dabei  $\Delta \lambda = 6,209 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

## 7 Zusammenfassung

Es wurde mit der He-Lampe eine Gitterkonstante  $D$  von  $D = 1,862 \cdot 10^{-6} \pm 0,981 \cdot 10^{-8} \text{ m}$  bestimmt, damit konnten dann die Wellenlängen der verschiedenen Lichtquellen berechnet werden. Hierbei handelt es sich beim roten Laser um eine Wellenlänge von  $\lambda = 661 \cdot 10^{-9} \pm 6,209 \cdot 10^{-9} \text{ m}$  und beim grünen Laser um eine Wellenlänge von  $\lambda = 554 \pm 5,678 \cdot 10^{-9} \text{ m}$ . Die LEDs emittierten Licht in verschiedenen Bereichen, der Bereich der roten LED lag bei 657 - 680 nm, bei der grünen LED im Bereich von 539 - 559 nm und bei der blauen LED in einem Bereich von 470 - 495 nm. Das Intensitätsmaximum lag bei der roten LED bei 670 nm, bei der grünen bei 547 nm und bei der blauen LED bei 480 nm.

## 8 Literatur

- [1] Versuchsanleitung zu O32 (Zuletzt abgerufen am 04.08.2023)
- [2] <https://www.leifiphysik.de/atomphysik/laser/versuche/helium-neon-laser> (Zuletzt abgerufen am 04.08.2023)
- [3] [https://microsites.pearl.de/i/76/nc5000\\_2.jpg](https://microsites.pearl.de/i/76/nc5000_2.jpg) (Zuletzt abgerufen am 04.08.2023)
- [4] <https://www.ruander.com/2009/10/emission-spectrum.html> (Zuletzt abgerufen am 04.08.2023)

## 9 Anhang

M. Lampe

$\alpha = 81 - 4 = 77 \text{ cm}$

He bei 11.

#	$x_2$	$x_1$	$x_m$
1	34 cm	66,7 cm	50 cm
2	<del>29,7</del>	69,4	
3	28,9	70,5	
4	28,5	71,8	
5	27,4	72,4	
6	25,8	76,4	
7	22,8	81	
8	16	83	
9			

Poker Laser

m	L	r
49,3	19,5	78

grüne Laser

m	L	r
49,9	25,7	73,7

LED

	m	L	r	$\Delta 1$	$\Delta 2$
rot	53,3	22,8	82,2	29,6	28,5
grün	53,3	29,7	77	23,8	23,3
blau	53,1	32,7	73,8	20,0	18,0

29,6 28,5 29,8 29,6  
24,1 24,4  
24,1 24,4