



Grundpraktikum II

O6 - Newtonsche Ringe

Julien Kluge

15. März 2016

Student: Julien Kluge [REDACTED]
julien@physik.hu-berlin.de

Partner: [REDACTED]
[REDACTED]

Betreuer: Prof. Dr. A. Matveenko

Raum: 201

Messplatz: 1

Inhaltsverzeichnis

1	Abstract	1
2	Versuchsdurchführung	2
3	Auswertung/Fehlerberechnung	2
3.1	Bestimmung des Krümmungsradius der Linse	2
3.2	Bestimmung der Wellenlänge ausgewählter Spektren	4
4	Fehler-/Ergebniseinschätzung	5
5	Anlagen	6
5.1	Abbildungen	6
5.2	Messwerte	7
6	Literaturverzeichnis	8

1 Abstract

In diesem Versuch wurde eine plan-konvexe Linse untersucht, welche auf einer planen Glasplatte gelegt wurde. Durch ein Spiegelmechanismus und verschiedene Filter wurde Licht bestimmter Wellenlänge in das System gebracht. Durch Interferenz entstehen somit die sogenannten Newtonsche Ringe die Gegenstand dieser Untersuchung waren. Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

- Krümmungsradius der Linse: $R = (64.1 \pm 0.7)\text{cm}$
- Wellenlänge der blauen Hg-Linie: $\lambda_{Hg,blau} = (432 \pm 7)\text{nm}$
- Wellenlänge der gelben Na-D-Linie: $\lambda_{Na,Gelb} = (569 \pm 9)\text{nm}$

2 Versuchsdurchführung

Für den Versuch war die plan-konvexe Linse auf der Glasplatte fixiert. Darüber war ein halb durchlässiger Spiegel angebracht über den von der Seite Licht eingestrahlt wurde. Das Licht wurde von einer Quecksilber oder Natriumdampflampe erzeugt. Für die Quecksilberdampflampe konnte außerdem noch ein Filter zwischengeschaltet werden, der bestimmte Spektrallinien herausgefiltert hat.

Sieht man sich nun den Strahlengang an, erkennt man eine Reflexion die innerhalb der Linse stattfindet, als auch einen, bei dem der Strahl aus der Linse bricht, an der Glasplatte zurück reflektiert wird und anschließend wieder in die Linse eingebrochen wird und sich dann zusammen mit dem ersten Strahl fortbewegt. Der Gangunterschied ist in einem Minimum genau

$$d_{min} = \frac{\lambda}{2} \cdot k \quad (1)$$

mit $k \in \mathbb{N}_{\neq 0}$. Stellt man die geometrische Beziehung des Strahlengangs auf, erhält man

$$r = \sqrt{2R \cdot d - d^2} \quad (2)$$

Setzt man in diese Gleichung nun 1 für d ein erhält man

$$r(k) = \sqrt{R \cdot \lambda \cdot k - d^2} \quad (3)$$

Da $R \gg d$, gilt nach Gleichung 2, dass das d^2 dem Linken Term nach vernachlässigbar ist. Schlussendlich erhält man durch quadrieren die für diesen Versuch bestimmende Gleichung

$$r^2(k) = R \cdot \lambda \cdot k \quad (4)$$

Für die erste Messreihe wurde mithilfe einer bekannten spezifischen Wellenlänge der Radius von 14 Ordnungen vermessen und mithilfe einer Regression so der Krümmungsradius der Linse ermittelt. Für die folgenden zwei Messreihen wurden mit zwei unbekanntem Wellenlängen erneut 14 Ordnungen auf ihren Radius hin vermessen und mit dem nun bekannten Krümmungsradius konnte die Wellenlänge berechnet werden.

3 Auswertung/Fehlerberechnung

3.1 Bestimmung des Krümmungsradius der Linse

Für die Vermessung der Minima wurde jeweils links und rechts des Rings gemessen und darüber den Radius bestimmt

$$r(k) = \frac{d(k)}{2} = \frac{|x_{l,k} - x_{r,k}|}{2} \quad (5)$$

$$u_r = \sqrt{\left(\frac{u_{x(r,k)}}{2}\right)^2 + \left(\frac{u_{x(l,k)}}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} \sqrt{u_{x(r,k)}^2 + u_{x(l,k)}^2} \quad (6)$$

Dabei wurden für die Unsicherheit der Messwerte eine Ablesungenauigkeit von 0.02mm und ein systematischer Fehler von einem halben Skalenteil angenommen wodurch sich die Unsicherheit bestimmt zu $\sqrt{(0.02\text{mm})^2 + (0.005\text{mm})^2}$.

Da in Gleichung 4 zusätzlich noch quadriert wurde, muss das ebenfalls in die Fehlerbetrachtung einbezogen werden mit $u_{r^2} = |2 \cdot r \cdot u_r|$.

Addiert man zu Gleichung 4 noch eine Mögliche systematische Abweichung s hinzu und substituiert $A = R \cdot \lambda$ erhält man die Regressionsgleichung für diesen Versuch.

$$r^2(k) = A \cdot k + s \quad (7)$$

Mit dieser lässt sich ein linearer Fit durchführen um A und s zu bestimmen. Für die gemessene, grüne Quecksilberspektrallinie ergibt sich damit folgende Abbildung

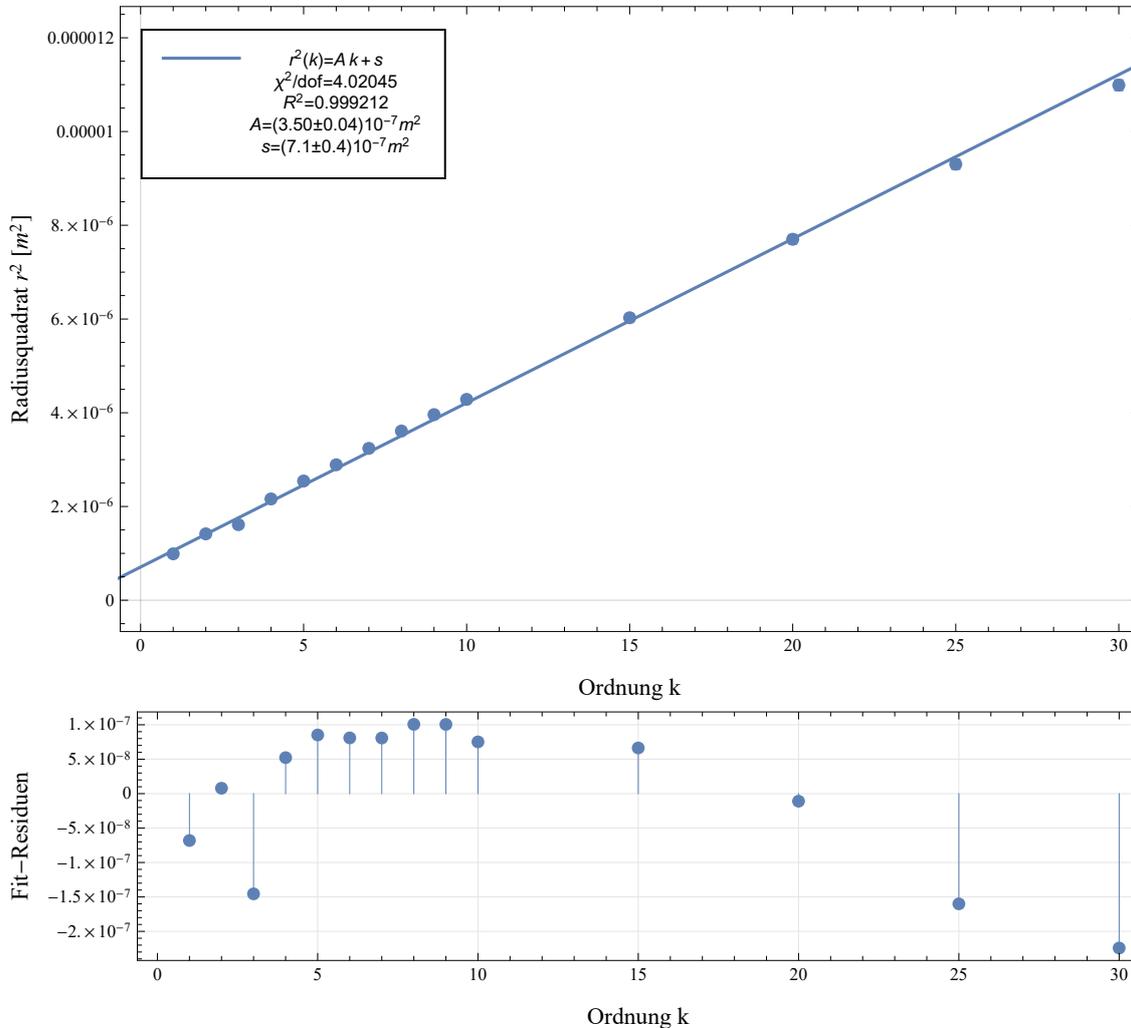


Abbildung 1: Abhängigkeit der gemessenen Radien im Quadrat zur jeweiligen Ordnung und Fit nach Gleichung 7 zur Bestimmung des Krümmungsradius R

Die spezifische Wellenlänge für die grüne Spektrallinie von Quecksilber wurde angegeben mit $\lambda = (546.074 \pm 0.001) \text{ nm}$. Für den Krümmungsradius gilt nach der Substitution demnach

$$R = \frac{A}{\lambda} \quad (8)$$

$$u_R = \sqrt{\left(\frac{u_A}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u_\lambda \cdot A}{\lambda^2}\right)^2} \quad (9)$$

Mit der Regression folgt so sofort das Ergebnis

$$R = (64.1 \pm 0.7) \text{ cm} \quad (10)$$

In der Fehlerfortpflanzung bemerkt man ebenfalls gleich, dass der Term mit der Unsicherheit der Wellenlänge vollständig vernachlässigt werden kann, da er nur circa $2 \cdot 10^{-6}\%$ der gesamten Unsicherheit ausmacht. Der nahezu gesamte Fehler stammt also von der Regressionsvariable.

3.2 Bestimmung der Wellenlänge ausgewählter Spektren

Für die Quecksilberlampe wurde die blaue Spektrallinie gewählt. Für die Natriumlampe selbstverständlich die gelbe D-Linie. Die Unsicherheiten wurden wie oben abgeschätzt und der Fit kann ebenfalls über Gleichung 7 geführt werden. Mit den Messwerten ergibt sich also folgende Abbildung

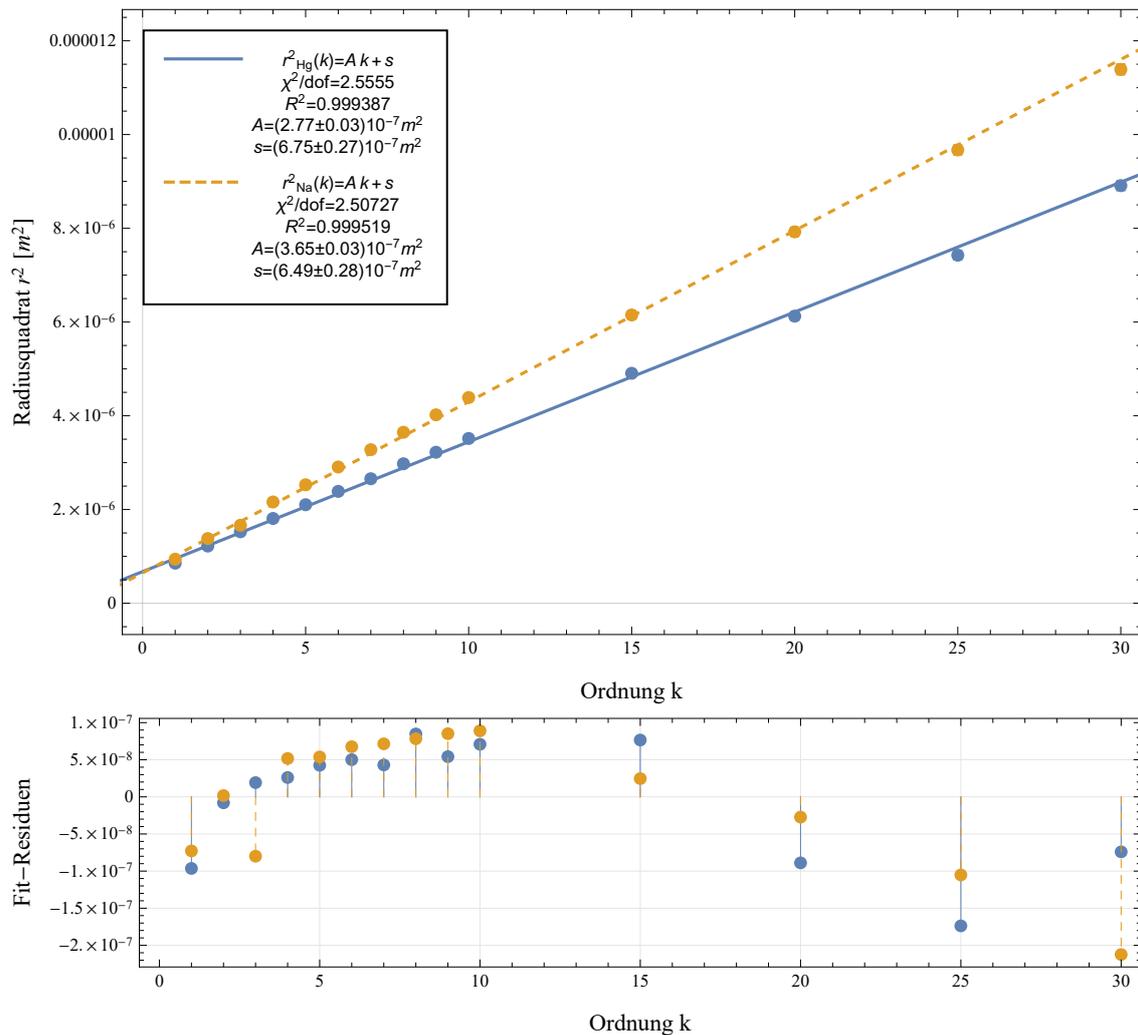


Abbildung 2: Abhängigkeit der gemessenen Radien im Quadrat zur jeweiligen Ordnung von der blauen Quecksilberspektrallinie und der gelben Natrium-D-Linie und Fit nach Gleichung 7 zur Bestimmung von λ

Mit der Substitution ergibt sich sofort die Gleichung zur Bestimmung der Wellenlänge

mithilfe des Fitparameters

$$\lambda = \frac{A}{R} \quad (11)$$

$$u_\lambda = \sqrt{\left(\frac{u_A}{R}\right)^2 + \left(\frac{u_R \cdot A}{R^2}\right)^2} \quad (12)$$

Setzt man nun die Ergebnisse des Fits in die Gleichungen ein, erhält man die jeweiligen Wellenlängen.

$$\lambda_{Hg,Blau} = (432 \pm 7) \text{ nm} \quad (13)$$

$$\lambda_{Na,Gelb} = (569 \pm 9) \text{ nm} \quad (14)$$

4 Fehler-/Ergebniseinschätzung

Der Krümmungsradius scheint aus Erfahrung vorhergehender Versuche in einem akzeptablen Bereich zu sein. Es fällt aber auf, dass die Unsicherheit vollständig durch die Unsicherheit des Fits bestimmt ist und die geschätzte Unsicherheit für die Wellenlänge nicht signifikant ins Ergebnis eingeht und somit vernachlässigt werden kann. Das impliziert, dass hierbei nur durch gesteigerte Messgenauigkeit der Minima das Ergebnis verbessert werden könnte. Durch die Unschärfe und damit verbundene Schwierigkeit allerdings die Minima nach Augenmaß perfekt unter dem Mikroskop einzustellen ergibt sich, dass ohne zusätzliches Gerät (bspw. eine Photodiode mit lateraler Fahrstrecke) der Wert bestmöglich bestimmt wurde. Interessant scheint weiter der Vergleich mit der erweiterten Messung bis Ordnung 100 in Abbildung 3. Hier wurde über die Rechte Seite hinaus bis weit in die hundertste Ordnung gemessen. Da dabei aber die Unsicherheiten wieder größer werden und Messfehler durch verzählen oder unscharfe Einstellung wahrscheinlicher werden, wurde dieser Fit nicht zur endgültigen Berechnung des Krümmungsradius herangezogen. Trotz dessen kann mithilfe dieser Abbildung der Krümmungsradius in seiner Größenordnung bestätigt gesehen werden auch wenn sich die Fehlerintervalle nicht überlappen.

Für Die Berechnung der Wellenlängen fällt die Abweichung zu den Literaturwerten stark auf. Während die Grüne Quecksilberlinie mit ihrer Unsicherheit mit dem Literaturwert³ übereinstimmt ($\approx 436\text{nm}$), ist der Unterschied bei der Natriumdampflampe⁴ mit 20nm außerhalb der Fehlergrenzen ($\approx 589\text{nm}$). Da beide Abweichungen gleich gerichtet sind, wird von einem Wellenlängenabhängigen systematische Fehler ausgegangen. Es gibt aber sonst kein stichhaltigen Anhaltspunkt für diese Vermutung und diese Abweichung kann so damit nicht vollständig zufriedenstellend erklärt werden. Eine weitere Möglichkeit der Erklärung bietet die Verschiebung $s = (0.677 \pm 0.018)\text{mm}^2$ aus den Regressionen. Zieht man das Radiusquadrat des ersten Minimum ab, erhält man immernoch einen Wert größer null mit $\approx (0.152 \pm 0.021)\text{mm}^2$. Dieser Wert kann mehrere Ursachen haben. Einerseits kann die Linse eventuell nicht perfekt aufliegen und einen winzigen Spalt aufzeigen. Andererseits könnte er komplett über zufällige Messabweichungen erklärt werden.

Über die χ^2 -Tests kann man zur Aussage kommen, dass die Fehler zu klein eingeschätzt wurden. Das unterstreicht nur noch mehr die Aussage, dass die Minima nicht perfekt nach Augenmaß eingestellt werden konnten.

Ein weiterer Fehler bestand im Versuchsaufbau. Die Sehne welche Fahrbar verändert werden konnte, durchlief nicht genau die Mitte der Ringe sondern leicht darüber. Das führt effektiv zur Verkürzung der Radien und kann damit sehr gut die systematische Form der Residuen erklären. Für den Anstieg gilt aber eine Näherung durch Mittlung weshalb sich das nicht sehr stark auf den Selbigen ausgewirkt haben dürfte. Aber es ist eventuell eine

andere Möglichkeit die nicht zu null werdende Verschiebung s zu erklären. Schlussendlich lässt sich sagen, dass der Krümmungsradius bestmöglich bestimmt wurde, die Wellenlängen aber kritisch betrachtet werden sollten.

5 Anlagen

5.1 Abbildungen

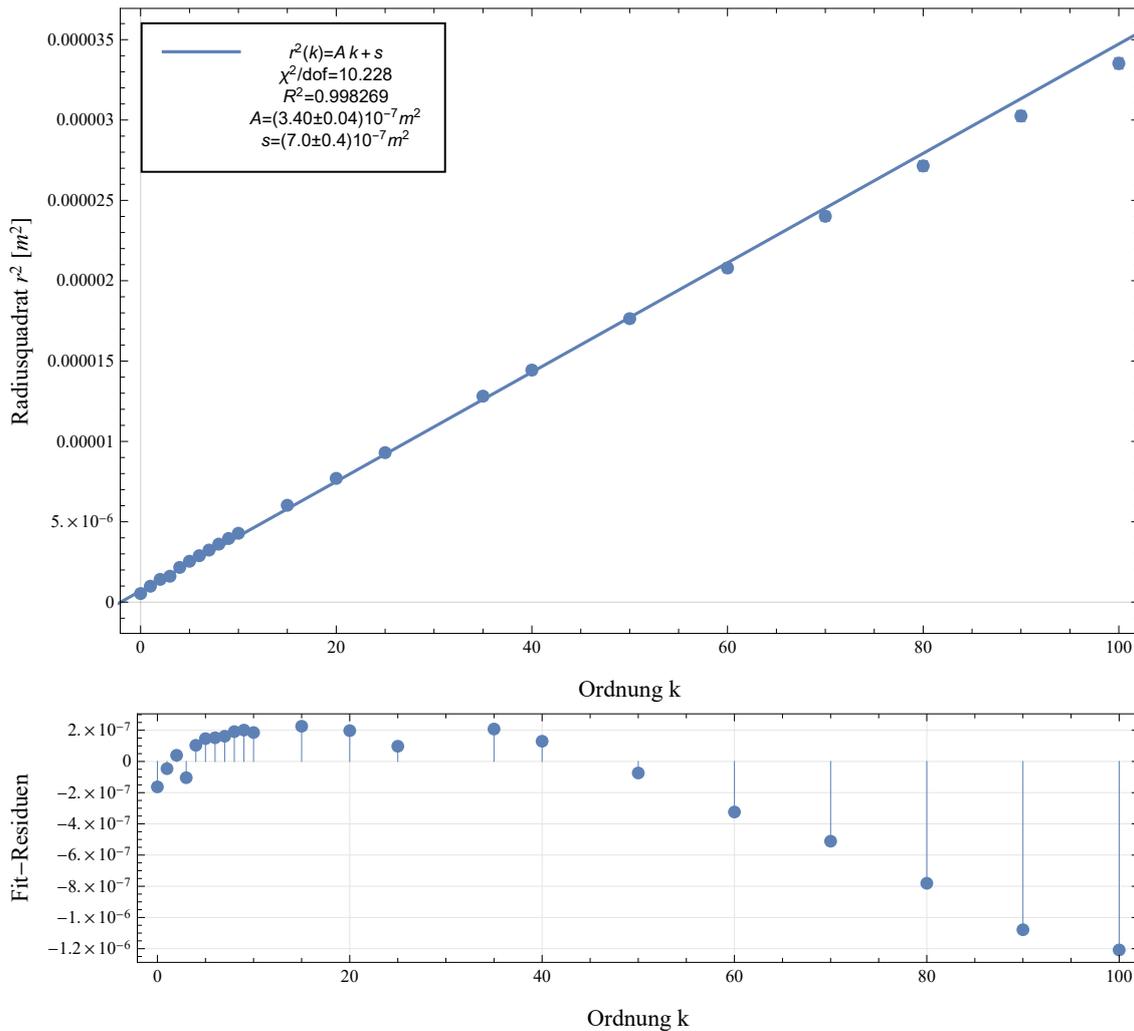


Abbildung 3: Abhängigkeit der gemessenen Radien im Quadrat zur jeweiligen Ordnung bis zur hundersten und Fit nach Gleichung 7 - Krümmungsradius: $R = (62.3 \pm 0.7) \text{ cm}$

5.2 Messwerte

Hg Grün					
K	d	K	d	Hg Blau	
-30	30,95	80	22,45	-30	30,59
-25	30,67	90	22,76	-25	30,36
-20	30,40	100	21,87	-20	30,11
-15	30,09			-15	29,87
-10	29,70			-10	29,49
-9	29,62			-9	29,58
-8	29,53			-8	29,51
-7	29,43			-7	29,43
-6	29,33			-6	29,36
-5	29,23			-5	29,26
-4	29,10			-4	29,18
-3	28,98			-3	29,08
-2	28,83			-2	28,98
-1	28,63			-1	28,88
0	[28,39 26,93]			0	[28,37 26,93]
1	26,64			1	26,73
2	26,45			2	26,59
3	26,29			3	26,41
4	26,16			4	26,29
5	26,04			5	26,18
6	25,93			6	26,09
7	25,83			7	26,00
8	25,73			8	25,91
9	25,64			9	25,84
10	25,56			10	25,76
15	25,18			15	25,44
20	24,85			20	25,16
25	24,57			25	24,91
30	24,32			30	24,68
35	24,08				
40	23,86				
50	23,46				
60	23,10				
70	22,76				

Abbildung 4: Messdatenprotokoll - Seite 1

k	d
-30	31,61
-25	30,74
-20	30,44
-15	30,11
-10	29,72
-9	29,63
-8	29,54
-7	29,44
-6	29,34
-5	29,22
-4	29,11
-3	28,97
-2	28,81
-1	28,61
0	[28,39 26,99]
1	26,67
2	26,46
3	26,39
4	26,17
5	26,04
6	25,93
7	25,82
8	25,72
9	25,62
10	25,53
15	25,15
20	24,81
25	24,52
30	24,26

15.03.16

Abbildung 5: Messdatenprotokoll - Seite 2

6 Literaturverzeichnis

- [1] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Elektrodynamik und Optik*, 2010
- [2] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik*, 2007
(mit Korrekturen *Einführungsscript 2007* von P. Schäfer, 2016)
- [3] <http://www.spektrum.de/lexikon/physik/quecksilberdampf Lampe/11944>
(abgerufen: 15. März 2016 um 23:13 Uhr)
- [4] <http://www.spektrum.de/lexikon/physik/natriumdampf Lampe/10132>
(abgerufen: 15. März 2016 um 23:11 Uhr)