


Unterrichtsmaterial zur Strahlungsphysik

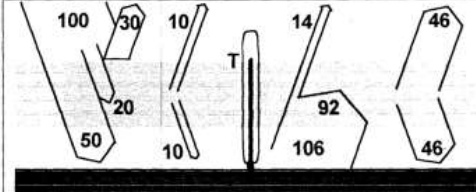
Ein Wahlmodul für den Unterricht im Jahrgang 11/G9 am Gymnasium in Niedersachsen

2017

Inhalt:

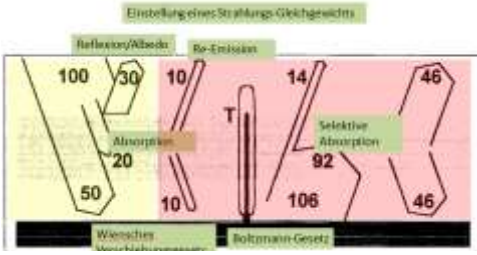
| | |
|---|----|
| Übersicht | 2 |
| Einstiegsstunde | 7 |
| Arbeitsaufträge | |
| Gruppe 1: Einstellen eines Strahlungsgleichgewichts | 10 |
| Gruppe 2: Absorption und Re-Emission | 16 |
| Gruppe 3: Selektive Absorption | 20 |
| Variante Smartphone | 24 |
| Gruppe 4: Wiensches Verschiebungsgesetz | 27 |
| Variante Smartphone | 33 |
| Variante mit IR-Sensor | 36 |
| Gruppe 5: Stefan-Boltzmannsches Strahlungsgesetz | 39 |
| Variante Solarzelle | 40 |
| Variante Smartphone | 43 |
| Mathematischer Nachtrag | 46 |
| Spannungs-Temperatur-Kennlinie | 48 |
| Strahlungsgleichgewicht, Algorithmus | 53 |
| Flussdiagramme | 54 |

| | | | |
|--|--|--|---|
| Modul Strahlungsphysik | | Zeitbedarf: ca. 16 Stunden |  |
| <p>NUN ist das Logo der Arbeitsgruppe Physik/ „Naturwissenschaftlicher Unterricht in Niedersachsen“. Diese Gruppe besteht aus etwa 30 langfristig engagierten Mitgliedern, die einmal jährlich in einer Klausurtagung Unterrichtsmaterial für den Physikunterricht an Gymnasien entwickeln. Auf dieser Basis veranstalten die Mitglieder flächendeckend regionale Lehrerfortbildungen, in denen es neben didaktischer Konzeption auch um experimentelle Gestaltung des Physikunterrichts geht.</p> <p>Schwerpunkt der Arbeit im Jahr 2017 war der Jahrgang 11 im wieder eingeführten G9. Neben der newtonschen Mechanik ist ein Wahlmodul vorgeschrieben. Eins davon – das hier dargestellte - betrifft die physikalischen Grundlagen des Treibhauseffekts.</p> <p>Kontakt : Michael Rode, Johanneum Lüneburg; CDJMRode@t-online.de</p> <p>Das hier bereitgestellte Material darf für den eigenen Unterricht benutzt werden. Eine Veröffentlichung, auch von Teilen daraus, bedarf der Zustimmung der NUN-Gruppe. Die Flussdiagramme sind mit freundlicher Erlaubnis für den Unterricht in Niedersachsen aus dem IPTS-Material 11800/96-3- entnommen.</p> | | | |
| <p>Zielsetzung: Die Behandlung der Strahlungsphysik soll die Einstellung eines Gleichgewichts der globalen Energieströme verständlich machen und dazu beitragen, die Störung dieses Gleichgewichts als eine mögliche Ursache von Klimaveränderungen zu verstehen.</p> | | | |
| Voraussetzungen: | | <ul style="list-style-type: none">• Darstellung von Energieübertragungsketten in Energiefluss-Diagrammen• Inhalte der Unterrichtseinheiten Energie sowie Energieübertragung quantitativ• Messung elektrischer Größen• Berechnung elektrischer Energiestromstärke/Leistung und Widerstandswert | |
| <p>Didaktische und methodische Hinweise:</p> <p>Da das Thema in der öffentlichen Diskussion einen breiten Raum einnimmt, weist es einen hohen Lebensweltbezug auf.</p> <p>Das Thema eignet sich besonders zur Erarbeitung im arbeitsteiligen Unterricht. Diese Unterrichtsform ermöglicht zusammen mit der hohen Aktivität der Lernenden den Erwerb prozessbezogener Kompetenzen und kann insbesondere in der Kursstufe mit Gewinn eingesetzt werden, so dass die Lernenden hier eine gute Gelegenheit haben, eine Oberstufen-gerechte Arbeitsweise kennen zu lernen. Darüber hinaus sind auf diese Weise die erforderlichen Experimentiergeräte nur in kleinerer Zahl erforderlich.</p> <p>Zu dieser Unterrichtsform findet man Ausführlicheres in Impulse Physik: <i>Arbeitsteiliges Experimentieren</i>. Stuttgart, Klett 1999 und im elektronischen Begleitmaterial zu Impulse Physik Oberstufe.</p> | | | |

| | Inhaltliche Übersicht: | | | |
|----------|---|---|---|---|
| | Thema | Ergebnisse | Kommentare / Hinweise | Lehrer-, Schülermaterialien |
| 1 | Einstieg und Problematisierung (1 DStd) | <ul style="list-style-type: none"> Die Bedeutung der Symbole in einem Übersichtsdiagramm der Form  <p>wird genannt; einzelne Vorgänge werden umgangssprachlich beschrieben und Zusammenhänge vermutet oder Fragen formuliert.</p> | | <ul style="list-style-type: none"> Übersichtsdiagramme zum Treibhauseffekt am Ende dieses Dokuments <p>S.7</p> |
| 2 | Arbeitsteilige Unterrichtsphase (3..4 DStd) | <p>Gruppe 1: Einstellung eines Strahlungsgleichgewichts S.10</p> <ul style="list-style-type: none"> Darstellung eines Strahlungsgleichgewichtes in einem Energiefluss-Diagramm Die Endtemperatur hängt von der zufließenden Energiestromstärke/Leistung ab Die Erde ist erkennbar in einem Strahlungsgleichgewicht, weil die Temperatur im Mittel konstant ist. <p>Gruppe 2: Absorption/ Re-Emission S.16</p> <ul style="list-style-type: none"> Scheinbar transparente Gegenstände absorbieren Infrarot-Strahlung; | In Untersuchungen hat sich gezeigt, dass der Ertrag arbeitsteiligen Arbeitens signifikant steigt, wenn die Lernenden erst dann das Experiment beginnen dürfen, wenn sie schriftlich bei der Lehrkraft eine Hypothese zu den erwarteten Ergebnissen vorgestellt haben. Obwohl das zu bearbeitende Thema für alle Beteiligten Neuland darstellt, ist eine Hypothesenbildung auf der | <ul style="list-style-type: none"> Ausgearbeitet liegen Materialien für fünf Gruppen vor, die im Anschluss an diese Übersicht angefügt werden. <p>Eine Doppelbesetzung von Themen ist aus Gründen der Authentizität nicht ratsam.</p> <ul style="list-style-type: none"> Weitere Aufträge können auf der Grundlage der beiliegenden Anregungen erforderlichenfalls selbst gestaltet werden. |

| | | | | |
|--|--|--|---|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • dadurch steigt ihre Temperatur • sie werden dadurch selbst zu Strahlern im infraroten Bereich • durch Bestrahlung von der Sonne her steigt die Temperatur der Erde. In der Folge strahlt sie infrarotes Licht ab. <p>Gruppe 3: Selektive Absorption S. 20</p> <ul style="list-style-type: none"> • scheinbar transparente Gegenstände absorbieren Licht verschiedener Farbe unterschiedlich stark • man kann Farbeindruck und Wellenlängenangaben miteinander in Verbindung bringen • ohne den Mechanismus genauer zu verstehen, kann man auf Grund einer Kalibrierkurve Farben eine Wellenlänge zuordnen. • Infrarotes Licht von der Erde wird in der Atmosphäre anders/stärker absorbiert als das von der Sonne kommende, überwiegend sichtbare Licht. <p>Gruppe 4: Wiensches Verschiebungsgesetz S. 27</p> <ul style="list-style-type: none"> • glühende Gegenstände erzeugen Licht verschiedener Farben • wesentliche Anteile dieses Lichtes liegen im unsichtbaren, infraroten Bereich • das Strahlungsmaximum liegt umso weiter im infraroten Bereich, je geringer die Temperatur des | <p>Basis des Übersichtsdiagramms zum Treibhauseffekt aus der Einführungsphase möglich. Für jede Arbeitsgruppe liegen zwei getrennte Arbeitsaufträge vor. Erfahrungsgemäß nimmt die Hypothesenbildung etwa 20..30 min in Anspruch.</p> <p>Zur arbeitsteiligen Phase gehört im Sinne des Erwerbs prozessbezogener Kompetenzen nicht nur das Experimentieren, sondern auch die Erarbeitung angemessener Vorträge im Unterricht. Es wird in der Regel etwa eine Doppelstunde dafür erforderlich sein.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Zu jedem ausgearbeiteten Beispiel liegen Ergebnisse und Materiallisten bei. |
|--|--|--|---|---|

| | | | | |
|---|---------------------------|--|--|--|
| | | <p>glühenden Gegenstandes ist</p> <ul style="list-style-type: none"> da die Temperatur der Erde deutlich geringer ist als die Temperatur der Sonne strahlt die Erde einen deutlich höheren Anteil infraroten Lichtes ab als sie von der Sonne bekommt. <p>Gruppe 5: Das STEFAN-BOLTZMANNSche Strahlungsgesetz S. 39</p> <ul style="list-style-type: none"> die mit dem Licht von einem glühenden Gegenstand ausgehende Energiestromstärke steigt mit dessen Temperatur diese Energiestromstärke kann man mit einfachen Mitteln messen zwischen Temperatur und Energiestromstärke besteht ein Zusammenhang der Form $P \sim T^4$ erhöht sich die Temperatur der Erde, kann sie deutlich mehr Energie abstrahlen und so wieder ins Strahlungsgleichgewicht kommen | | |
| 3 | Vortragsphase (2 DStd) | <ul style="list-style-type: none"> Die Darstellung in der Übersicht wird mit den Referaten verknüpft; Zusammenhänge können sprachlich erläutert werden. | <p>Es wird angeregt, nach jedem Vortrag einen direkten Bezug zum Übersichtsdiagramm herzustellen.</p> <p>Ein begründetes Feedback zur Präsentation ist für jede Gruppe erforderlich.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Ergebnisfolie zum Übersichtsdiagramm Material\Treibhauseffekt_Flussdiagr.docx am Ende dieses Dokuments S. 53..54 |

| | | | | |
|---|--|--|---|---|
| | |  | <p>Daraus und aus der Qualität der experimentellen Daten ergibt sich Beitrag zu sonstigen Leistungsnachweisen.</p> | |
| 4 | <p>Festigung/Modellierung (1 DStd)</p> | <ul style="list-style-type: none"> Die Auswirkung der Variation einzelner Parameter wird vermutet, im Modell überprüft und auf der Basis der Gruppenergebnisse erklärt. Material\Treibhausmodell.xlsx | <p>Zur Festigung eignet sich die Arbeit an „was wäre wenn“-Fragen. Nach der Formulierung solcher Fragen werden zunächst Hypothesen formuliert und begründet und im Anschluss an der Modellation überprüft.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Modellations-Datei in Excel mit Kommentar, möglichen Fragen und Kommentaren. Material\Treibhausmodell.xlsx Transmissionsdiagramm für die Atmosphäre Wärmebildkamera-Bilder? |

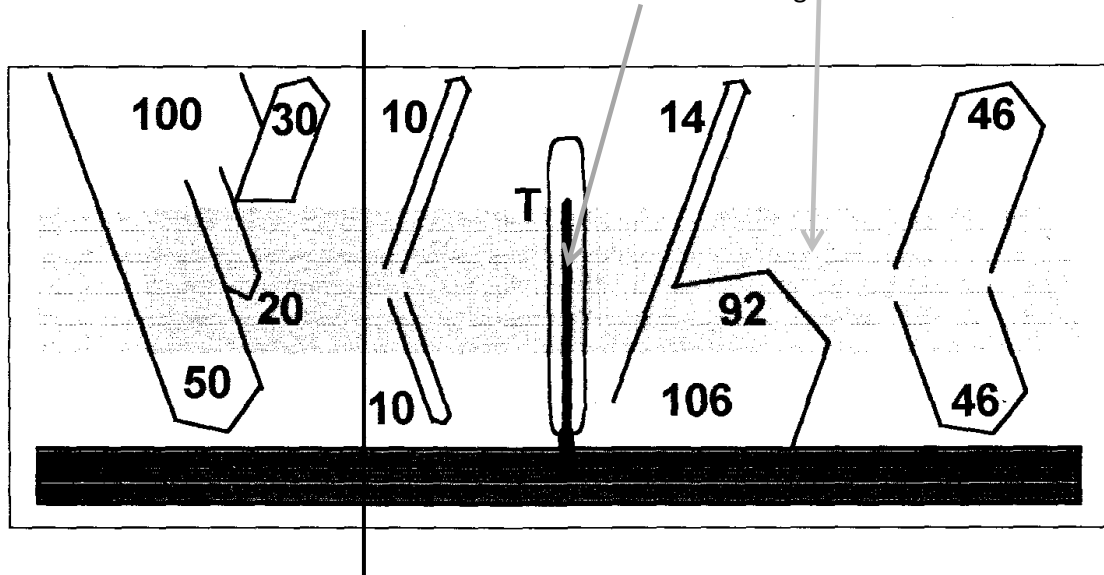
Zur Einstiegsstunde

Einstieg: Ausbreiten des Problemfeldes „Strahlungsphysik“,
z.B. an aktuellen Pressemitteilungen zum Treibhauseffekt, Daten über die
Temperatur auf anderen Planeten

Bilder von Erde und Atmosphäre

Lehrerinformation: „Man hat die Zusammenhänge verstanden, wenn man die folgende Abbildung
verstanden hat“.

- „Die Abbildung stellt die Vorgänge auf der Erde und in deren Atmosphäre „im Lichte der Sonne“ dar.
- Links von der Trennlinie geht es um sichtbares Licht, rechts um unsichtbares.
- Das grau unterlegte Band symbolisiert die Atmosphäre.
- In der Mitte des Bildes ist ein Thermometer dargestellt.



Arbeitsauftrag:

- Sehen Sie sich das Bild in Ruhe an, sprechen Sie danach mit Ihren Nachbarn darüber.
- Beschreiben Sie, was Sie wiederentdecken oder verstehen.
- Nennen Sie Beobachtungen, die Sie für wichtig halten.
- Stellen Sie Fragen, die Sie geklärt haben möchten.
- Versuchen Sie für Teile der Abbildung mögliche Erklärungen zu erfinden.

Plenumsphase:

- Sammeln von Wiederentdecktem
Energiestrompfeile; Breite ist ein Maß für die Energiestromstärke; Die Zahlen bedeuten
bestimmt %;
- Sammeln von Beobachtungen
Summen passen immer, auch wo sich Pfeile teilen; Energieerhaltung?

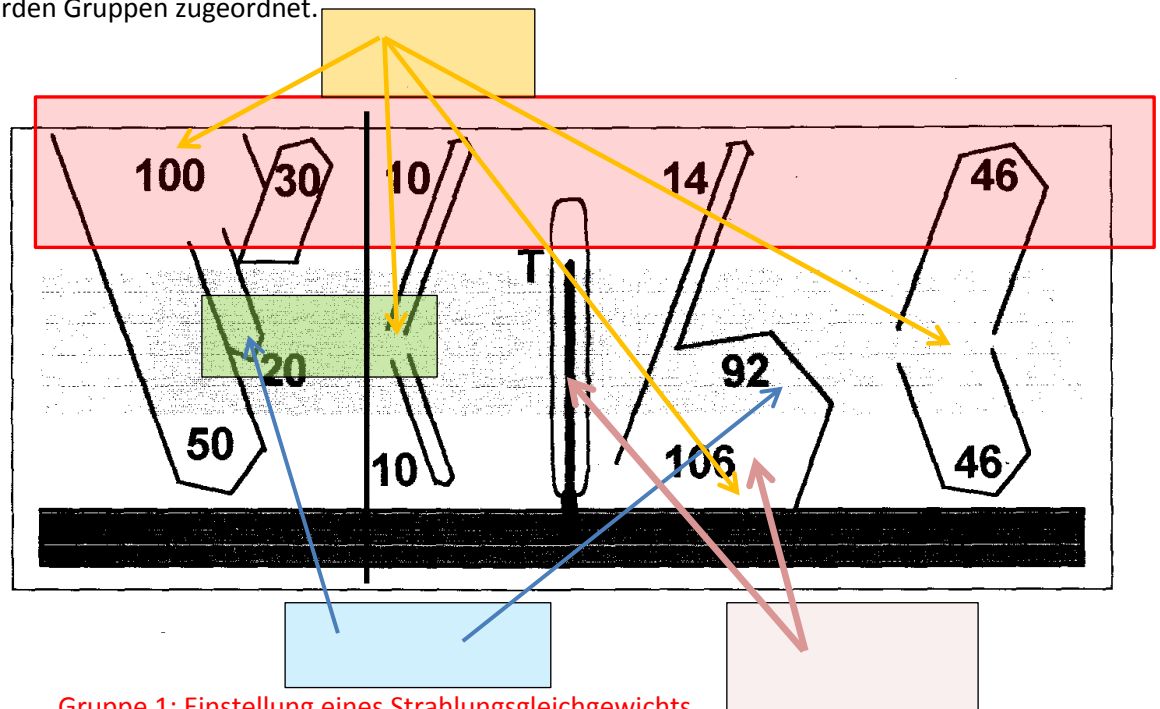
- **Notieren von Fragen, z.B. mit OHP-Folie oder an der Tafel (noch nicht klären, nur sammeln!!!)**
Aus der Erfahrung z.B. „Kann Strahlung sich teilen? Wie wird aus sichtbarem Licht unsichtbares? Wieso kann da unten ein Pfeil mit der Breite 106% sein? Wieso gehen Pfeile wieder nach oben?“

- **Sammeln möglicher Erklärungen**

Was hier passiert, hängt sehr von der Lerngruppe ab...

Aber:

- Unter Bezug auf die Beiträge wird der Plan für die arbeitsteilige Phase vorgestellt und es werden Gruppen zugeordnet.



Gruppe 1: Einstellung eines Strahlungsgleichgewichts

Gruppe 2: Absorption und Reemission

Gruppe 3: Selektive Absorption

Gruppe 4: Wiensches Verschiebungsgesetz

Gruppe 5: Stefan-Boltzmann-Gesetz

Erläuterungen für Lehrkräfte:

Gruppe 1: Einstellung eines Strahlungsgleichgewichts:

Die Summe der einfließenden Energieströme muss genau so groß sein, wie die Summe der abfließenden.

Gruppe 2: Absorption und Reemission

Licht wird von der Atmosphäre bzw. der Erde absorbiert. Dadurch werden beide zu Strahlern, die in alle Richtungen (vereinfacht: zurück zur Erde bzw. in den Weltraum) emittieren.

Gruppe 3: Selektive Absorption

Gruppe 3: Selektive Absorption

Licht wird von einem Medium, hier der Atmosphäre, je nach Wellenlänge/Farbe unterschiedlich absorbiert.

Gruppe 4: Wiensches Verschiebungsgesetz

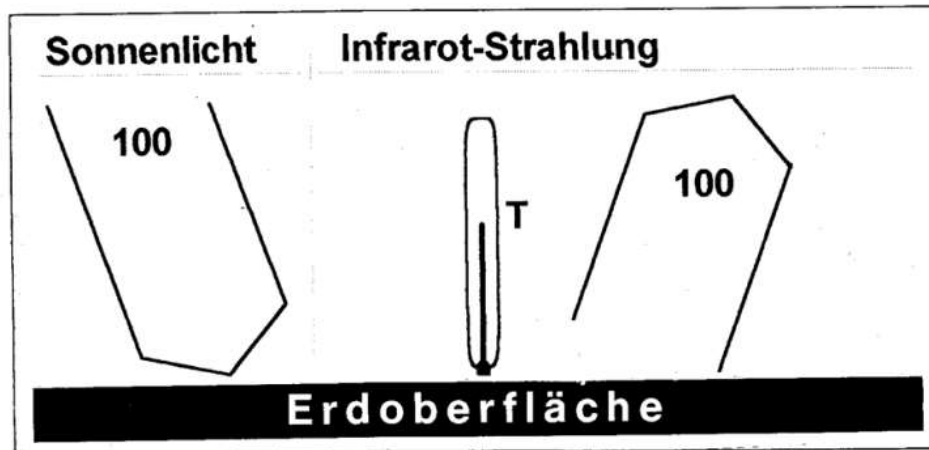
Je heißer eine Lichtquelle ist, desto weiter zum blauen Ende des Spektrums hin liegt das Maximum der Strahlungsintensität. Daher ist das Licht von der Sonne im Wesentlichen sichtbares Licht, während das Licht von der viel kälteren Erde ausschließlich infrarot ist.

Gruppe 5: Stefan-Boltzmann-Gesetz

Die Strahlungsleistung eines Gegenstandes steigt mit der Temperatur. Wenn also die Erde wegen einer stärker absorbierenden Atmosphäre mehr Strahlung abgeben muss, um ein Strahlungsgleichgewicht zu erreichen, muss dazu die Temperatur der Erde ansteigen.

Jeder bestrahlte Gegenstand erwärmt sich in Folge der Bestrahlung. Wegen seiner steigenden Temperatur wird er dabei selbst zum Strahler.

Das Verhalten der Erde im Licht der Sonne – ohne Atmosphäre – soll das nachfolgende Bild veranschaulichen:



Vorbereitung:

- Erläutern Sie, warum die beiden Energiestrom-Pfeile die gleiche Breite haben.
- Skizzieren Sie ein vergleichbares Bild für den „ersten Tag im Leben der Erde“.
- Stellen Sie eine Hypothese darüber auf, wie sich die Temperatur einer „Erde“ vom ersten Tag mit der Zeit verändert und skizzieren Sie ein t - ϑ -Diagramm.
Diskutieren Sie mögliche Veränderungen im Verlauf des Graphen, wenn Ihre „Erde“ von unterschiedlich starken „Sonnen“ bestrahlt wird.

Wenn Sie diese Aufgaben gelöst und eine Hypothese formuliert haben, zeigen Sie Ihre Ergebnisse Ihrer Lehrkraft.

Daraufhin erhalten Sie die für Ihre weitere Arbeit nötigen Materialien.

Gruppe 1: Einstellen eines Strahlungsgleichgewichtes

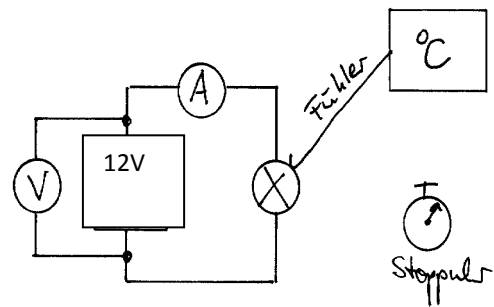
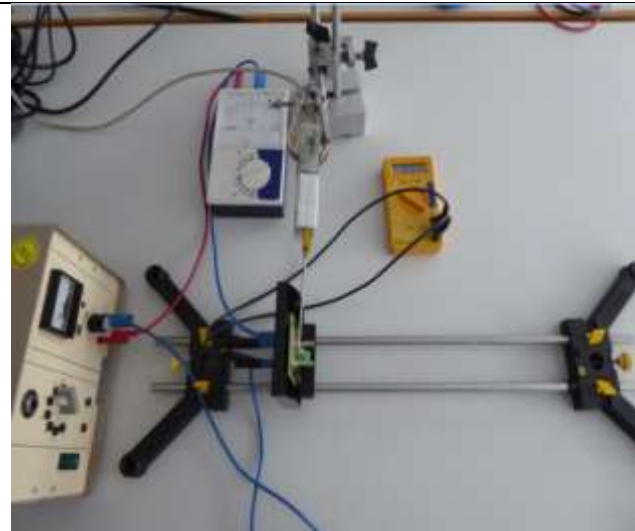
(Variante Phywe Kasten Optik)

Aufgabe Ihrer Gruppe ist es, die Einstellung eines Strahlungsgleichgewichtes experimentell zu verfolgen.

Dazu sollen Sie eine kleine Glühlampe (Halogen 12V) verwenden, deren Glas als „Erde“ fungiert. Die Temperaturmessung erfolgt mit einem Thermoelement. Mit Hilfe des am Glas befestigten Temperaturfühlers können Sie die Temperatur messen.

Zwei elektrische Messinstrumente ermöglichen es, die der Lampe zugeführte elektrische Leistung zu bestimmen.

Aufbau:



Durchführung:

- Bauen Sie den Versuch entsprechend den Abbildungen auf.
Fixieren Sie den Messfühler des Thermoelementes am Glaskolben der Lampe.
- Öffnen Sie zunächst den Stromkreis, in dem Sie ein Kabel lösen.
Stellen Sie die Quelle auf eine Spannung von 6V ein.
Messen die Temperatur T_0 am Glas der Lampe.
- Schließen Sie den Stromkreis und starten Sie gleichzeitig die Zeitmessung.
Messen Sie alle 10s die Temperatur ϑ des Glaskolbens.
- Messen Sie einmalig die Spannung U an der Lampe und die zugehörige Stromstärke I .
Bestimmen Sie daraus die von der Lampe umgesetzte Leistung P .
- Wiederholen Sie den Versuch für verschiedene Lampenspannungen.

Auswertung:

- Stellen Sie die Messergebnisse graphisch dar, in dem Sie die korrigierte Temperatur $\vartheta_{\text{korr}} = \vartheta - \vartheta_0$ gegen die Zeit t auftragen.
Bestimmen Sie - wenn möglich - die zugrunde liegenden math. Zusammenhänge.
- Vergleichen Sie die Graphen mit Ihrer Hypothese und interpretieren Sie Ihre Ergebnisse hinsichtlich der gezeichneten Energieflussdiagramme.

Es wird erwartet, dass Sie zum vereinbarten Termin Ihre Ergebnisse in einer Präsentation von 5..10 Minuten Länge vorstellen. Dabei müssen Sie sich auf die Übersichtsfolie aus der 1. Stunde beziehen. Es gelten die vereinbarten Regeln für gute Vorträge und gute Folien-Gestaltung.

Gruppe 1: Einstellen eines Strahlungsgleichgewichtes

(Variante Labormaterial)

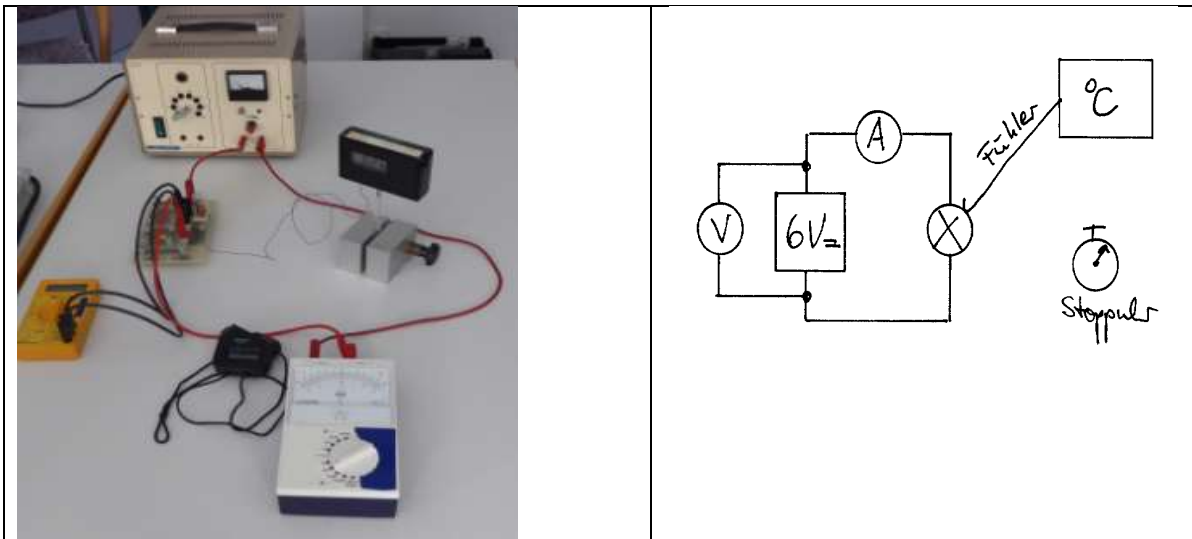
Aufgabe Ihrer Gruppe ist es, die Einstellung eines Strahlungsgleichgewichtes experimentell zu verfolgen.

Dazu sollen Sie eine kleine Glühlampe verwenden, deren Glas als „Erde“ fungiert.

Die Temperaturmessung erfolgt mit einem Thermoelement. Mit Hilfe des am Glas befestigten Temperaturfühlers können Sie die Temperatur messen.

Zwei elektrische Messinstrumente ermöglichen es, die der Lampe zugeführte elektrische Leistung zu bestimmen.

Aufbau:



Durchführung:

- Bauen Sie den Versuch entsprechend den Abbildungen auf.
Fixieren Sie den Messfühler des Thermoelementes am Glaskolben der Lampe.
- Öffnen Sie zunächst den Stromkreis, in dem Sie ein Kabel lösen.
Stellen Sie die Quelle auf eine Spannung von 6V ein.
Messen die Temperatur ϑ_0 am Glas der Lampe.
- Schließen Sie den Stromkreis und starten Sie gleichzeitig die Zeitmessung.
Messen Sie alle 10s die Temperatur ϑ des Glaskolbens.
- Messen Sie einmalig die Spannung U an der Lampe und die zugehörige Stromstärke I .
Bestimmen Sie daraus die von der Lampe umgesetzte Leistung P .
- Wiederholen Sie den Versuch für verschiedene Lampenspannungen.

Auswertung:

- Stellen Sie die Messergebnisse graphisch dar, in dem Sie die korrigierte Temperatur $\vartheta_{\text{korr}} = \vartheta - \vartheta_0$ gegen die Zeit auftragen.
Bestimmen Sie - wenn möglich – die zugrunde liegenden math. Zusammenhänge.
- Vergleichen Sie die Graphen mit Ihrer Hypothese und interpretieren Sie Ihre Ergebnisse hinsichtlich der gezeichneten Energieflussdiagramme.

Es wird erwartet, dass Sie zum vereinbarten Termin Ihre Ergebnisse in einer Präsentation von 5..10 Minuten Länge vorstellen. Dabei müssen Sie sich auf die Übersichtsfolie aus der 1. Stunde beziehen. Es gelten die vereinbarten Regeln für gute Vorträge und gute Folien-Gestaltung.

Materialien:

| Variante Labormaterial | (Variante Phywe Kasten Optik) |
|---|--|
| Aus der Sammlung <ul style="list-style-type: none">• Glühlampe 6V (mit Halterung)• Regelbares Netzteil• Stromstärkemessgerät• Spannungsmessgerät• Stoppuhr• Thermoelement (mit Anzeige)• 5 Messleitungen | Aus dem Kasten: <ul style="list-style-type: none">• Halogenlampe (12V) mit Halter• Stativmaterial Aus der Sammlung <ul style="list-style-type: none">• Regelbares Netzteil• Stromstärkemessgerät• Spannungsmessgerät• Stoppuhr• Thermoelement (mit Anzeige)• 5 Messleitungen |

Bemerkungen:

- Bitte denken Sie daran, mit den Lernenden an geeigneter Stelle Regeln für Präsentationen zu vereinbaren.

Zu den Experimenten:

- Die Messungen sind auch mit einem Temperaturmessfühler anstatt eines Thermoelementes denkbar, wenn dieser über eine ausreichend kleine Wärmekapazität verfügt.



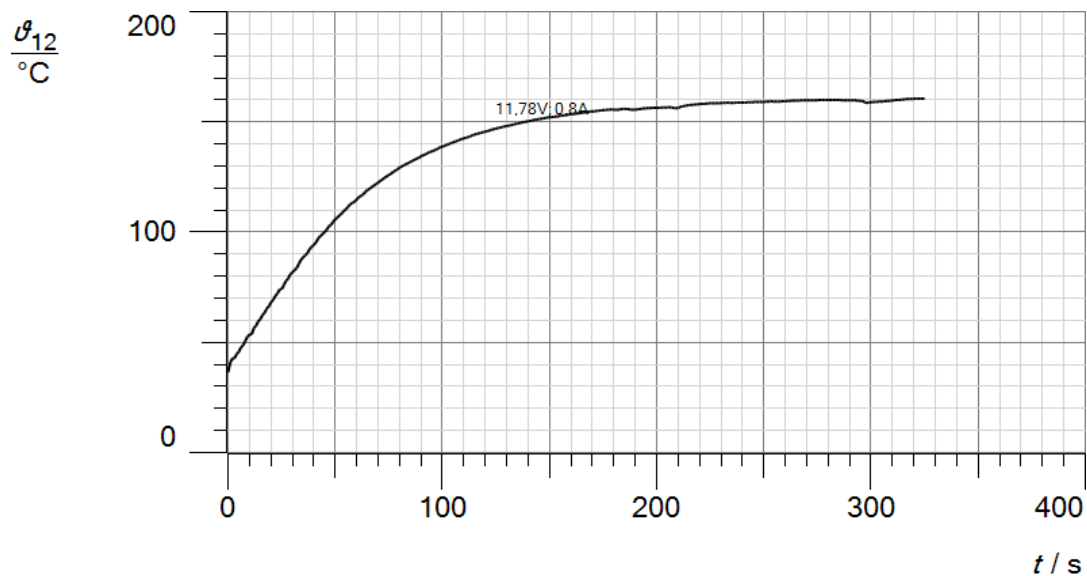
Gängige Temperaturmessfühler im Vergleich (von links nach rechts):

| | | |
|---|---|--------------------------|
| Conrad Einstechthermometer | Große Wärmekapazität | nicht geeignet |
| Cr-Ni-Temperaturmessfühler zum Cassy | Große Wärmekapazität Geht nur bis 120°C | nicht geeignet |
| Cr-Ni-Temperaturmessfühler LB52815 (MikroCassy) | Kleine Wärmekapazität Geht nur bis 120°C | Geeignet !Temperatur! |
| Thermoelement (z.B. von Greisinger) | Geringe Wärmekapazität durch Drähte | Gut geeignet |
| Temperaturmessfühler Greisinger GT130 | Geringe Wärmekapazität Spitze am Ende | Geeignet |

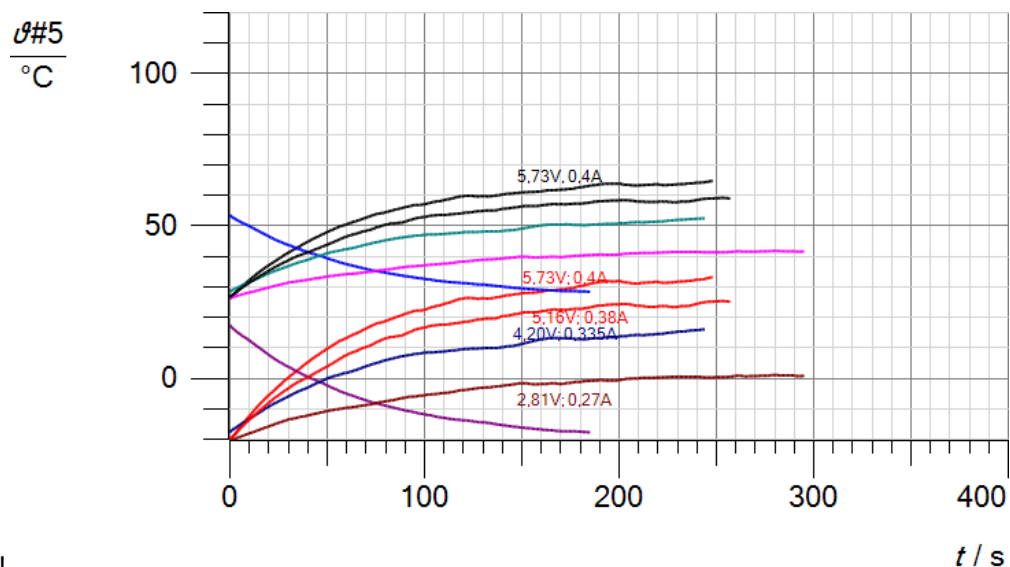
- Verschiedene Messfühler führen zu unterschiedlichen Ergebnissen.
- Die Fixierung der Temperaturmessfühler an der Glaskugel ist mit Tesafilm möglich.
- Der Ort der Fixierung am Glaskörper führt ebenfalls zu Abweichungen, da das Glas nicht gleichmäßig heiß wird.
- Die angehängten Ergebnis-Daten beziehen sich auf das Thermoelement von Greisinger.
- Achtung: Bei Benutzung der Halogenlampe aus dem Optik-Kasten sind die Temperaturen höher! Dies muss bei der Auswahl des Temperaturfühlers beachtet werden.

Zu den Ergebnissen:

Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit



Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit (bei verschiedenen Spannungen)



!

Interpretation der Ergebnisse:

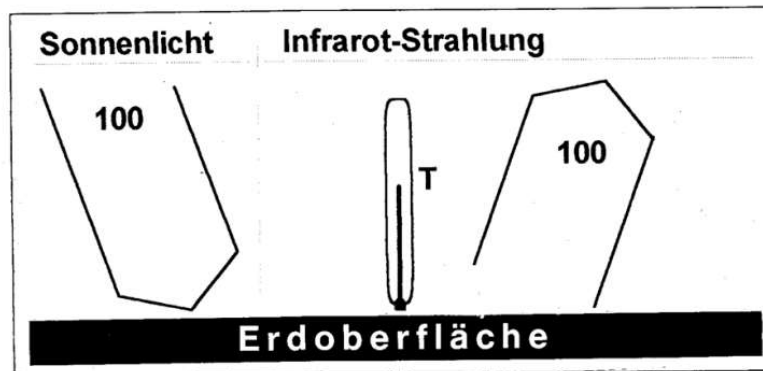
Die Diagramme zeigen Sättigungskurven,

d.h. mit zunehmender Zeit nimmt die Erwärmung ab.

Je mehr Energie eingestrahlt wird, desto mehr wird auch gleichzeitig abgegeben.

Irgendwann wird genauso viel Energie abgestrahlt wie aufgenommen und die Temperatur des Körpers bleibt konstant.

Bezogen auf das Energieflussdiagramm zu Beginn:



Tag 1:

100% Einstrahlung (=Pfeil der Breite a) / 0% Abstrahlung (=kein Pfeil) / Temperatur steigt an

Tag X:

100% Einstrahlung (=Pfeil der Breite a) / 100% Abstrahlung(=gleiche Pfeilbreite wie bei der Einstrahlung) / Temperatur bleibt konstant.

Dies nennt man thermisches Gleichgewicht.

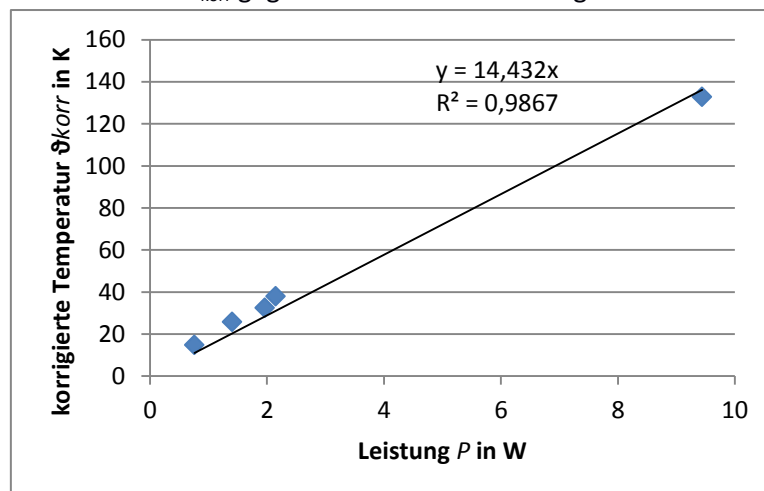
Tage dazwischen:

100% Einstrahlung (=Pfeil der Breite a) / ?% Abstrahlung(=Pfeil der Breite ? / Temperatur nimmt zu.

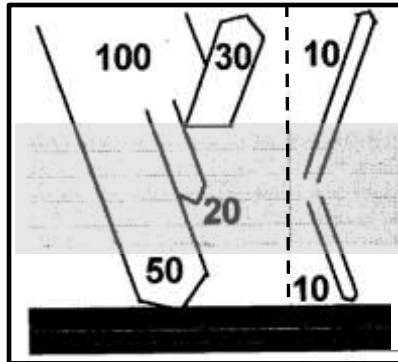
Ergänzung:

Trägt man die korrigierte Temperatur ϑ_{kor} gegen die ermittelte Leistung P auf, erhält man eine Gerade – im scheinbaren Gegensatz zum T^4 – Gesetz nach Stefan-Boltzmann.

ϑ_{kor} gegen die ermittelte Leistung P :



Eine erste Annäherung an die Strahlungs-Prozesse „rund um die Erde“ muss die Atmosphäre einbeziehen. Das wurde mit dem zweiten Bild unserer Reihe versucht.



Vorbereitung:

- Beschreiben Sie die Bedeutung des "kleinen Pfeils" (links von der gestrichelten Linie), der in der "Atmosphäre" endet,
- Stellen Sie eine Hypothese darüber auf, woher die Strahlung, die durch die beiden "rechten Pfeile" symbolisiert wird, stammt. Begründen Sie mithilfe der angegebenen Zahlen.

Wenn Sie die Hypothese formuliert haben, zeigen Sie Ihr Ergebnis Ihrer Lehrkraft. Daraufhin erhalten Sie die für Ihre weitere Arbeit nötigen Materialien.

In Ihrem Modell-Experiment verwenden Sie einen LötKolben als Strahlungsquelle (ACHTUNG HEISS !), ein Messgerät für Wärmestrahlung sowie verschieden farbige Plexiglasplatten und Aluminiumfolie. Der Strahlungsfühler liefert hierbei als Maß eine Spannung, die proportional zur Strahlungsleistung ist.

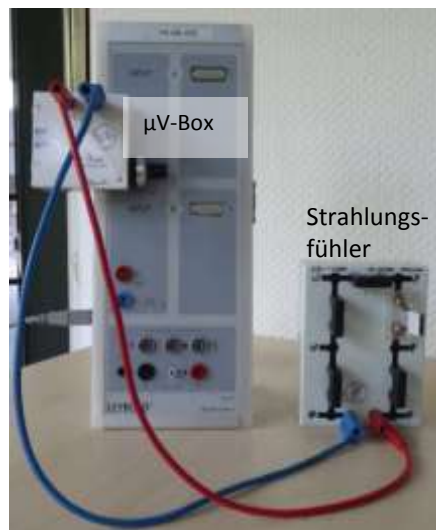
Achtung: auch von Ihnen selbst geht Wärmestrahlung aus. Deswegen müssen Sie gut überlegen, wie Sie den Versuch aufbauen, damit Sie keine „falsche“ Strahlungsquelle angucken.

Nochmals Achtung: der Strahlungsfühler ist etwas träge, er muss sich erst sowohl auf die Bestrahlung als auch auf deren Ende einstellen!

Aufbau I:

In diesem Experiment wird die Wärmestrahlung mithilfe des Cassy-Systems gemessen.

- schließen Sie den Strahlungsfühler an die " μ V-Box", die sich im Eingang A des "Sensor-Cassys" befindet, an (siehe Bild)
- verbinden Sie "Sensor-Cassy" mit der Stromversorgung und mit dem PC
- rufen Sie am PC das Programm "Cassy-Lab" auf
- öffnen Sie anschließend die Datei "Strahlung_Gruppe 2"



Aufbau II:

Bauen Sie den Versuch entsprechend der nebenstehenden Prinzipskizze auf.



Durchführung

Teil 1:

- zur Vorbereitung des Experimentes markieren Sie auf dem Experimentiertisch zunächst einen "Messort" für den Sensor (vergleichbare Werte). Der Abstand dieses Ortes vom Lötkolben sollte ca. 5cm betragen.
- verbinden Sie den Lötkolben mit der Stromversorgung. Der Aufheizvorgang dauert ca. 3 – 5 Minuten. Achten Sie darauf, dass der Strahlungssensor während dieser Zeit nicht zu dicht beim Lötkolben steht.
- positionieren Sie den Sensor am Messort und starten Sie **gleichzeitig** die Messwerterfassung (linker Mausklick auf das "Stoppuhr-Symbol").
- positionieren Sie nach 50 Sekunden die orangene Plexiglasplatte zwischen Sensor und Lötkolben, ohne die laufende Messung zu unterbrechen.
- stoppen Sie nach 100 Sekunden die Messung, entfernen Sie den Sensor und die Plexiglasplatte vom Lötkolben.
- bevor Sie mit der nächsten Messung beginnen können, muss sich der Sensor wieder auf die Ausgangssituation "einstellen". Warten Sie deswegen 2 – 3 Minuten.
- wiederholen Sie die vorherige Messung – verwenden Sie nun allerdings die "blaue" Plexiglasplatte, dann die gefaltete Aluminiumfolie (zwei matte Seiten) und abschließend die "einfache" Aluminiumfolie (eine matte und eine glänzende Seite).

Teil 2:

- positionieren Sie die orangene Plexiglasplatte für 3 Minuten in der Nähe des Lötkolbens
- entfernen Sie die Platte vom Lotkolben
- messen Sie (zügig) die von der Plexiglasplatte ausgehende Strahlung an der Seite, die vorher dem Lötkolben zugewandt war. Bringen Sie hierfür die Plexiglasplatte in die Nähe des Strahlungssensors und starten Sie gleichzeitig die Messwerterfassung

Weitere Aufgaben

- deuten Sie, was Sie beobachtet haben und setzen Sie es mit der Abbildung von oben in Beziehung, indem Sie über Licht von der Sonne die Atmosphäre reden.
- deuten Sie den Verlauf der Messkurven auch hinsichtlich der Frage, was die Absorption von Strahlung beeinflusst

Es wird erwartet, dass Sie zum vereinbarten Termin Ihre Ergebnisse in einer Präsentation von 5..10 Minuten Länge vorstellen.

Dabei müssen Sie sich auf die Übersichtsfolie aus der 1. Stunde beziehen. Es gelten die vereinbarten Regeln für gute Vorträge und gute Folien-Gestaltung.

Materialien:

Aus der Sammlung

- Sensor Cassy (LD 524013)
- μ V-Box (LD 524040)
- Lötkolben
- Peltierelement (TEC1 017 03, 13x15qmm, 13,40€ von Reichelt Elektronik, Elektronikring 1, Sande)
- Plexiglasplatte blau/orange (Phywe-Optikkasten, 09851-22/09851-20)
- Aluminiumfolie
- 2 Experimentierkabel

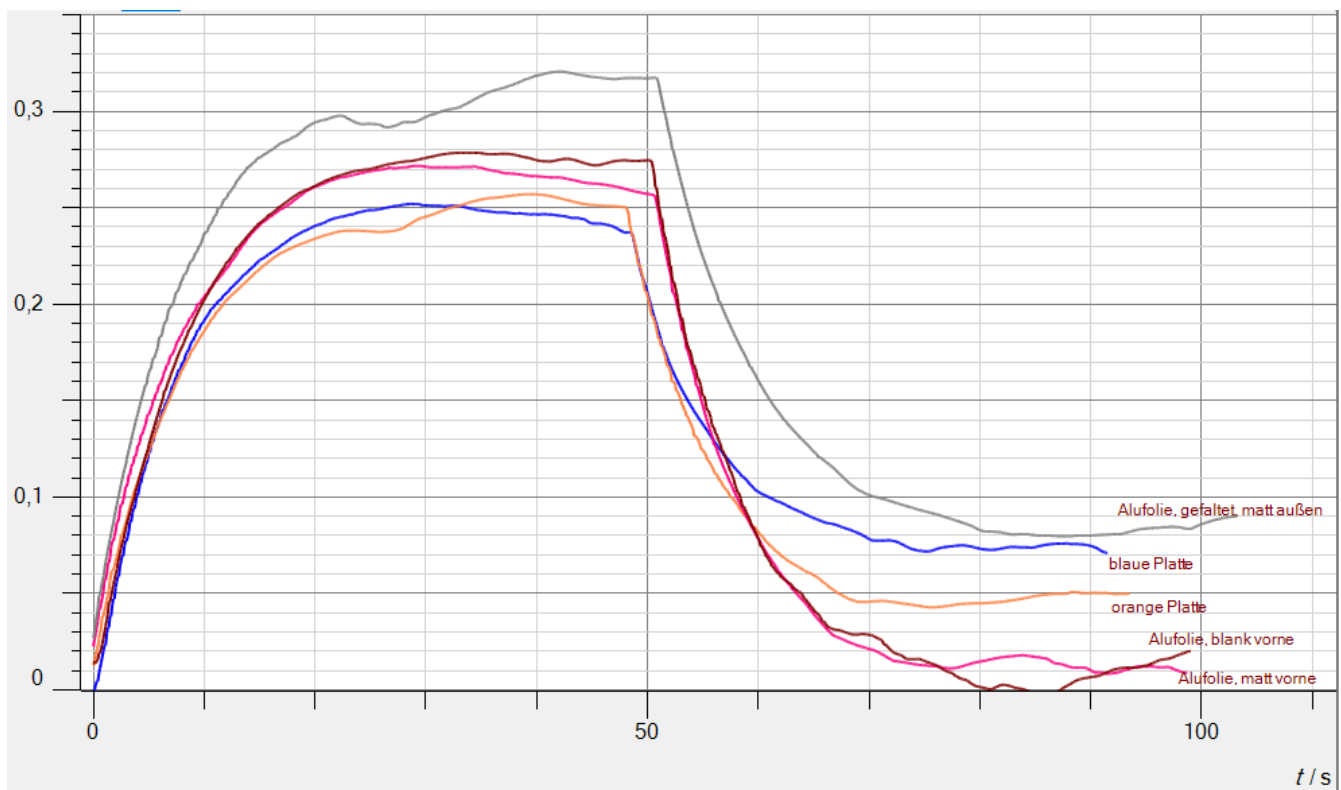
Zusätzlich:

- Einstellungsdatei [Material\Gruppe 2.labx](#)

Bemerkungen:

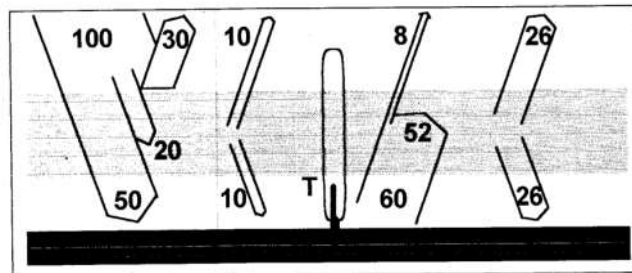
- Bitte denken Sie daran, mit den Lernenden an geeigneter Stelle Regeln für Präsentationen zu vereinbaren

- Typische Messkurven



Eine brauchbare Annäherung an die Strahlungs-Prozesse „rund um die Erde“ muss die Wirkung der Atmosphäre auf das Licht der Sonne genauso einbeziehen, wie die Wirkung auf die von der Erde selbst abgegebene Strahlung. Das darzustellen wurde mit dem folgenden Bild versucht.

Ihre Untersuchung bezieht sich dabei auf den Unterschied in der Absorption verschiedenartigen Lichtes. Im Bild ist dies links das Licht der Sonne, rechts das von der Erde abgestrahlte infrarote Licht.



Vorbereitung:

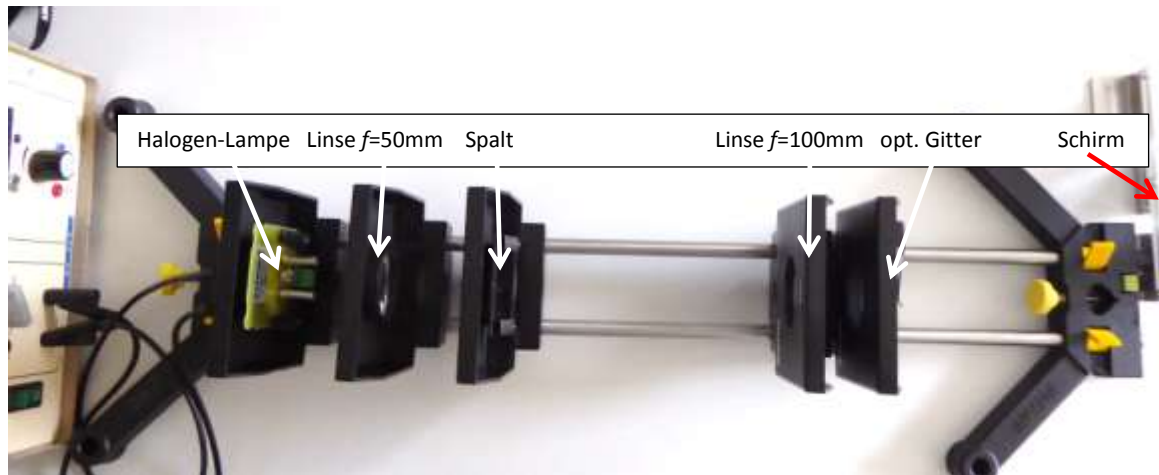
- Beschreiben Sie, wo in den beiden Teilen der Abbildung Absorption dargestellt ist. Beschreiben Sie auf der Grundlage der Abbildungen die unterschiedliche absorbierende Wirkung der Atmosphäre auf Sonnenlicht bzw. infrarotes Licht.
- In der folgenden Abbildung sehen Sie das farbige Spektrum des Lichtes einer Glühlampe. Stellen Sie eine Hypothese darüber auf, wie sich das Einbringen einer gefärbten Plexiglasplatte zwischen einer Lampe (Wärmestrahlungs-Quelle) und einem Lichtsensor auf dieses Spektrum auswirken wird, wenn die Platte „selektiv absorbiert“.



Der erwartete Unterschied rührt von der verschiedenen Wellenlänge des Lichtes und der daher veränderten Wechselwirkung mit den Molekülen der Atmosphäre her. Man nennt den Vorgang „selektive Absorption“.

Wenn Sie die Hypothese formuliert haben, zeigen Sie Ihr Ergebnis Ihrer Lehrkraft. Daraufhin erhalten Sie die für Ihre weitere Arbeit nötigen Materialien.

Sie können die selektive Absorption mit einer Lichtquelle, verschiedenen geeigneten Plättchen und Ihrem Auge bzw. einer Kamera genauer beobachten. Dazu benötigen Sie den folgenden Aufbau:



- Stellen Sie die Linse mit der Aufschrift 50 im Abstand 50mm von der Lampe auf.
- Direkt vor die Linse stellen Sie einen Spalt 09851.12 in einem Halter 09851.02 in aufrechter Position.
- Ganz rechts, außerhalb des Statives, stellen Sie den weißen Schirm auf.
Bitte berühren Sie dessen matte Seite möglichst nicht mit den Fingern!
- Mit der Linse +100 erzeugen Sie auf dem weißen Schirm ein scharfes Bild, indem Sie diese Linse vorsichtig hin- und her schieben.
- Stellen Sie das optische Gitter 09851.16 im Abstand 165 mm vor dem Schirm auf.

Subjektive Beobachtungen:

- Halten Sie der Reihe nach eins der Farbplättchen zwischen Spalt und Linse 100. Notieren Sie Ihre Beobachtungen und fertigen Sie einige Fotos für die Präsentation an. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen mit dem Begriff „Absorption“.

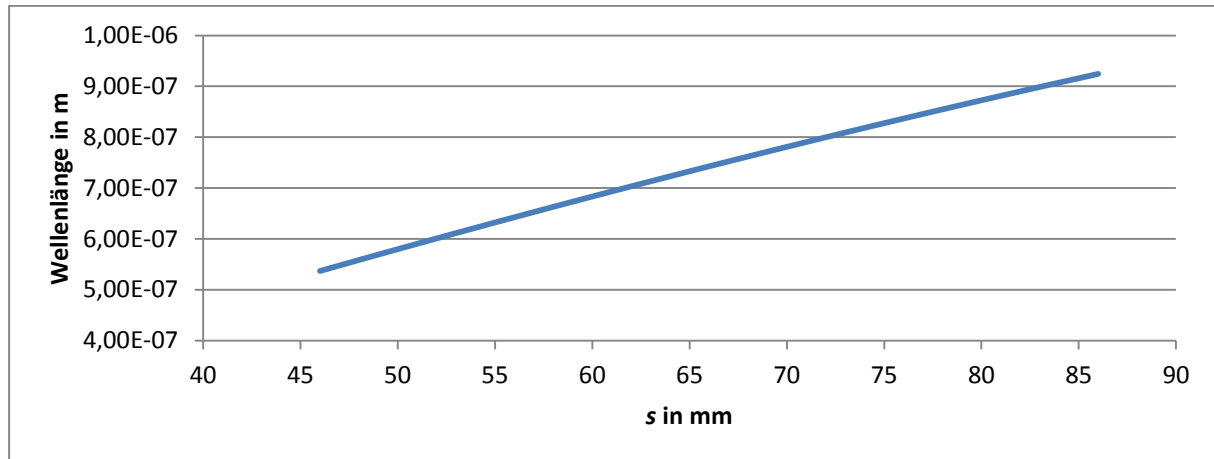
Quantitative Messungen:

In wissenschaftlichen Aussagen zum Thema beschreibt man Licht statt durch einen Farbeindruck präziser durch die Angabe der so genannten Wellenlänge. Mit Hilfe des Diagramms auf der folgenden Seite können Sie für Ihren Schirm eine Wellenlängen-Skala herstellen. **Bitte benutzen Sie zum Aufkleben die glatte Seite des Schirms, keinesfalls die raue!**

Die von Ihnen anzufertigende Skala erhält ihren Nullpunkt dort, wo das scharfe, weiß erscheinende Bild des Spaltes liegt. So entsteht eine Skala, die Sie auf den Schirm kleben und mitfotografieren.



- Fertigen Sie eine Skala an, die in 5mm-Schritten jedem Abstand s von dieser Linie einen Wert für die Wellenlänge zuordnet.



- Ermitteln Sie mit Hilfe Ihrer Skala und dem Licht Ihrer Lampe ohne absorbierendes Material im Lichtweg Wellenlängenangaben zu den „typischen Regenbogenfarben“.
- Fotografieren Sie die Spektren für alle vorhandenen absorbierenden Plättchen und ggf. weiteres Material.
- Bestimmen Sie die Wellenlängenbereiche, die absorbiert werden.
- Erläutern Sie, was Ihr Ergebnis mit der Physik der Atmosphäre zu tun haben könnte.
- Stellen Sie eine Hypothese darüber auf, welche Folgen eine Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre haben könnte.

Es wird erwartet, dass Sie zum vereinbarten Termin Ihre Ergebnisse in einer Präsentation von 5..10 Minuten Länge vorstellen.

Dabei müssen Sie sich auf die Übersichtsfolie aus der 1. Stunde beziehen. Es gelten die vereinbarten Regeln für gute Vorträge und gute Folien-Gestaltung.

Materialien:

Phywe-Kasten Optik

insbesondere die folgenden Absorber



Aus der Sammlung

- Netzteil
- 2 Messleitungen
- Klebeband
- Ggf. weitere Absorber. Gut geeignet wäre eine Küvette mit Wasser, in die man einige Minuten lang Textmarker hält. Man kann sich so schöne Absorber erzeugen.

Zusätzlich:

- Smartphone oder Kamera

Bemerkungen:

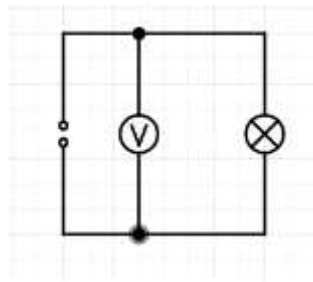
- Bitte denken Sie daran, mit den Lernenden an geeigneter Stelle Regeln für Präsentationen zu vereinbaren
- Typisches Messergebnis mit Neophanglas, links und zum Vergleich das Glühlicht-Spektrum (rechts):

Gruppe 3: Selektive Absorption – Variante Smartphone

Sie können die selektive Absorption mit einer Lichtquelle, verschiedenen geeigneten Plättchen und der Kamera ihres Smartphones, zusammen mit der App Color Grab, erkunden.

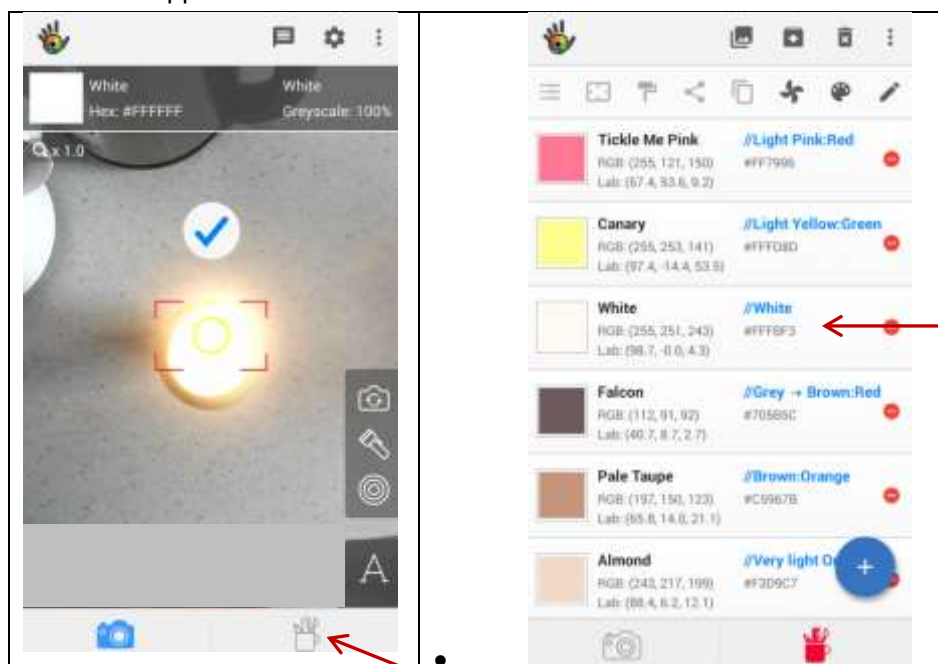
Ihre Gruppe wird diesen Zusammenhang genauer untersuchen. Dazu verwenden Sie Ihr Smartphone und eine App, die Licht den drei Bereichen Rot, Grün, Blau zuordnet und für jeden Bereich dessen Helligkeit mit Werten zwischen 0 und 255 angibt.

Sie benötigen dazu eine kleine Glühlampe, die Sie an 4V anschließen, und verschiedene Farbfilter.



Gehen Sie zur Messung in folgenden Schritten vor:

- Starten Sie die App Color Grab und richten Sie die Linse der Kamera auf die Glühlampe.

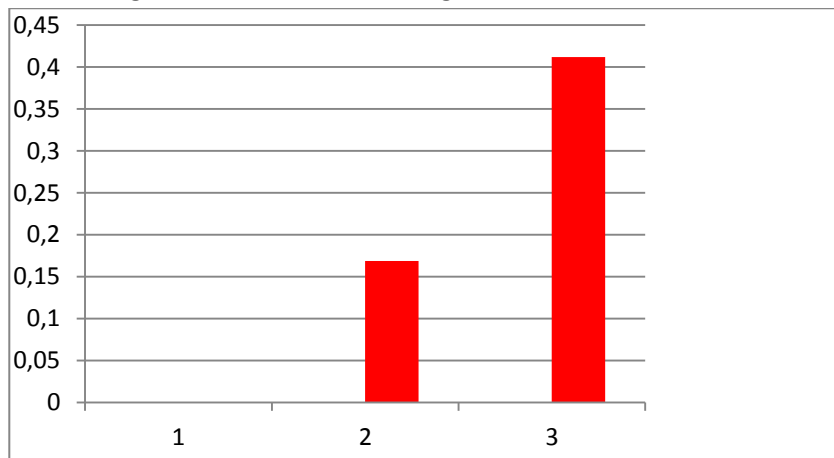


- Zielen Sie mit dem Suchfeld auf die Lampe. Nachdem der rotierende Farbkreis verschwunden ist, drücken Sie auf das „Häkchen-Symbol“ über dem Suchfeld. Nun werden im Smartphone automatisch durch die App die Messdaten bestimmt. Sie können diese Daten auslesen, indem Sie auf das „Malerwerkzeug“-Symbol am unteren Bildrand klicken. Dann öffnet sich der rechts dargestellte Bildschirm.
- In Ihrer ersten Messung werden Sie die Daten aus der oben mit einem Pfeil gekennzeichneten Zeile „White“ bekommen, die bei Ihnen in der obersten Zeile stehen sollte. Die im Beispiel bestimmten Messwerte (255, 251, 243) kennzeichnen, von links nach rechts gelesen, die Helligkeiten in den Bereichen R, G, B ohne ein Filter.

Diese drei Werte dienen uns zum Vergleich mit allen anderen Messungen.

- Wenn man ein Filter einsetzt, erhält man möglicherweise die drei Werte (120, 140, 60). Hieraus berechnen Sie die Anteile des in jedem Farbbereich absorbierten Lichtes:

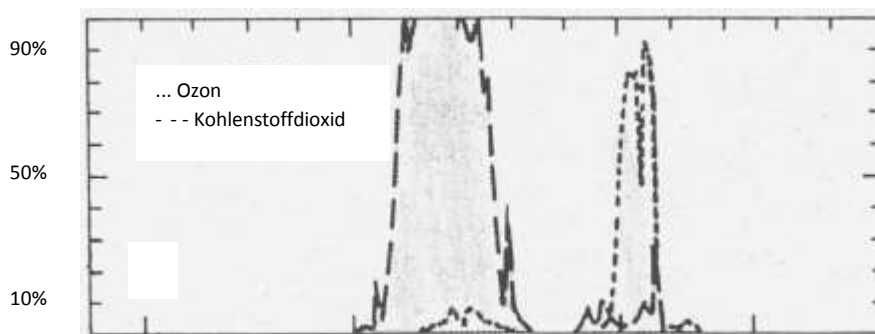
$$R_a = \frac{255-120}{255} = 0,529; \quad G_a = \frac{251-140}{251} \text{ usw.}$$
Das bedeutet: im roten Bereich wird 52,9% der Strahlung vom Filter absorbiert.
- Stellen Sie Ihr Ergebnis in einem Balkendiagramm dar:



Die 1 auf der Rechtsachse kennzeichnet den Bereich R, die 2 den Bereich G, die 3 den Bereich B.

Aufträge:

- Beschreiben Sie die Aussage des Beispiel-Diagramms mit eigenen Worten.
- Erstellen Sie gleichartige Balkendiagramme für verschiedene Farbfilter.
- Erklären Sie in Ihrem Vortrag die Gedanken hinter den Berechnungen.
- Deuten Sie diese Diagramme im Vergleich.
- In wissenschaftlichen Darstellungen findet man Diagramme wie dieses. Hier ist auf der Rechtsachse die Wellenlänge des Lichtes dargestellt, auf der Hochachse die Absorption in %.



Wellenlänge des Lichtes, links kurzwelliges Infrarot, rechts langwelliges Infrarot

- Formulieren Sie die Aussage dieses Diagramms und vergleichen Sie mit Ihren Messergebnissen.
- Erläutern Sie auf dieser Grundlage, was Ihr Ergebnis mit der Physik der Atmosphäre zu tun haben könnte.
- Stellen Sie eine Hypothese darüber auf, welche Folgen eine Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre haben könnte.

Es wird erwartet, dass Sie zum vereinbarten Termin Ihre Ergebnisse in einer Präsentation von 5..10 Minuten Länge vorstellen.

Dabei müssen Sie sich auf die Übersichtsfolie aus der 1. Stunde beziehen. Es gelten die vereinbarten Regeln für gute Vorträge und gute Folien-Gestaltung.

Materialien:

Aus dem Phywe-Kasten Optik in dieser Variante nur die folgenden Absorber:



Aus der Sammlung

- Netzteil
- Messgerät für die Betriebsspannung
- 2 Messleitungen
- Glühlampe 6V, 50 mA
- Ggf. weitere Absorber. Gut geeignet wäre z.B. eine Küvette mit Wasser, in die man einige Minuten lang die Spitze eines Textmarkers hält. Man kann sich so schöne Absorber erzeugen.

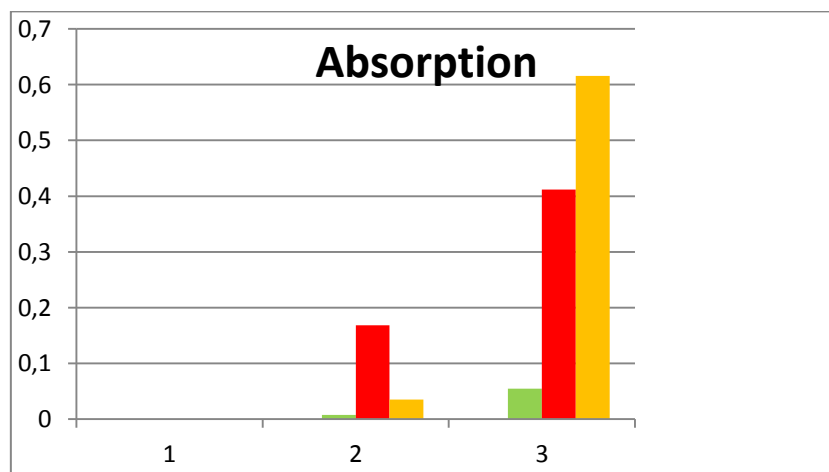
Zusätzlich:

- Smartphone mit der App Color Grab (Android)

Bemerkungen:

- Bitte denken Sie daran, mit den Lernenden an geeigneter Stelle Regeln für Präsentationen zu vereinbaren.

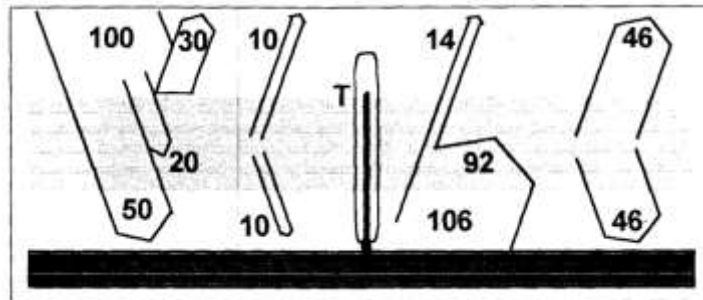
Typisches Messergebnis:



Auf der Rechtsachse sind von links nach rechts die drei Bereiche R, G, B dargestellt.

Auf der Hochachse ist die Absorption dargestellt. Die Farbe der Balken kennzeichnet die „Nennfarbe“ der benutzten Filter.

Eine brauchbare Annäherung an die Strahlungsprozesse „rund um die Erde“ muss neben der Strahlung der Sonne auch die von der Erde selbst abgegebene Strahlung einbeziehen. Dabei muss man bedenken, dass die Oberflächen der Sonne und Erde deutlich verschiedene Temperaturen haben.



Vorbereitung:

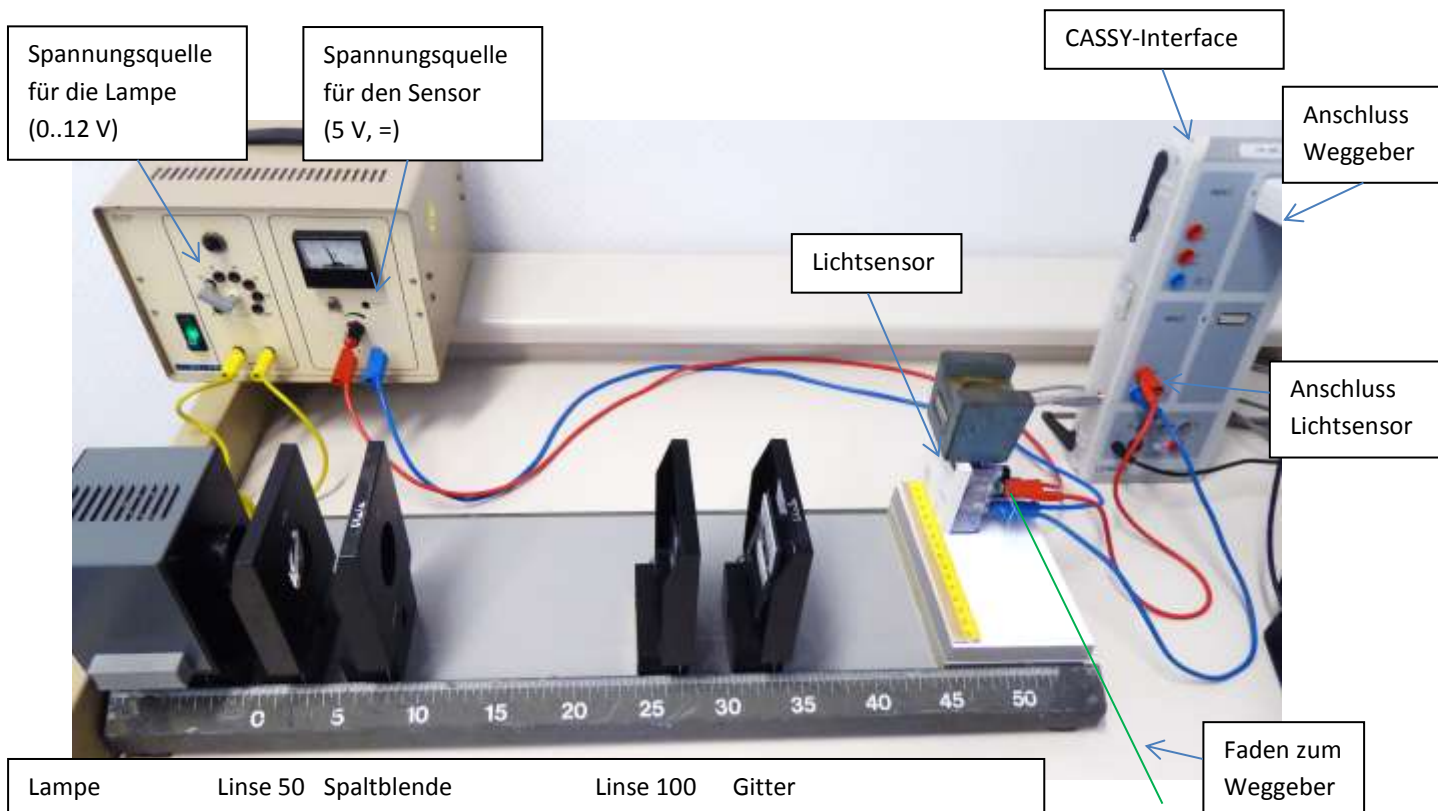
- Kennzeichnen Sie im Bild jeweils die von der Sonne und die von der Erde abgegebene Strahlung.
- Stellen Sie eine Hypothese darüber auf, wie sich eine Veränderung der Temperatur auf die „farbliche“ Zusammensetzung der abgegebenen Strahlung auswirkt. Vielleicht gelingt es Ihnen, Ihre Hypothese an einem Beispiel aus dem Alltag zu erläutern.
- Recherchieren Sie, welche Temperaturen man für die Oberfläche von Sonne und Erde veranschlagen sollte.

Wenn Sie die Hypothese formuliert haben, zeigen Sie Ihr Ergebnis Ihrer Lehrkraft. Daraufhin erhalten Sie die für Ihre weitere Arbeit nötigen Materialien.

Gruppe 4: Das WIENSE Verschiebungsgesetz

Der Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Gegenstandes und der „farblichen“ Zusammensetzung der von ihm abgegebenen Strahlung ist nach seinem Entdecker WILHELM WIEN benannt.

Ihre Gruppe wird diesen Zusammenhang genauer untersuchen. Dazu zerlegen Sie das Licht einer Glühlampe mit dem folgenden Aufbau in seine verschiedenen „farbigen“ Anteile. Mit einem sehr kleinen Strahlungssensor können Sie diese Anteile einzeln registrieren.



Für gute Messergebnisse ist eine sorgfältige Einrichtung des Aufbaus wichtig! Gehen Sie dazu in folgenden Schritten vor:

- Stellen Sie die Linse mit der Aufschrift 50 genau 50 mm hinter der Lampe auf.
- Stellen Sie den Halter mit der Spaltblende direkt hinter die Linse.
- Der Lichtsensor wird rechts auf der Unterlage direkt hinter der Führungsleiste aufgestellt. Das aufgelegte Massestück sorgt für einen soliden Stand des Sensors.
- Die Linse mit der Aufschrift 100 muss so aufgestellt werden, dass auf der Sensorfläche ein scharfes Bild der hellen Spaltöffnung zu sehen ist. Dazu müssen Sie die Linse vorsichtig hin- und her schieben.
- Schließlich stellen Sie das sogenannte Gitter 09851.16 so auf, dass das farbige „Spektrum“ des Lampenlichts etwa in der Mitte des Verschiebebereichs liegt.



- Befestigen Sie den Weggeber so, dass der Faden parallel zur Verschiebestrecke des Lichtsensors verläuft.

Zur Messung der Verschiebestrecke und der Sensorspannung wird das Messwerterfassungssystem CASSY verwendet. Starten Sie dazu die vorbereitete Datei „Wien-Drehbewsensor.labx“.

Bei der Durchführung der Messung hilft Ihnen die dem Versuch beiliegende Anleitung.

Aufträge:

- Stellen Sie die Betriebsspannung der Leuchte zunächst auf 12 V ein.
- Stellen Sie den Lichtsensor zunächst in das helle Schirmbild und stellen Sie die gemessene Verschiebung auf Null.
Bringen Sie dann den Sensor an eine Stelle in der Mitte zwischen dem hellen Spaltbild und dem Beginn des farbigen Spektrums. Regeln Sie die am Sensor gemessene Spannung auf Null.
- Starten Sie nun die Messwertaufnahme und schieben den Sensor langsam durch das farbige Spektrum und deutlich darüber hinaus. Neben dem roten Bereich ist noch eine Menge los!
- Verfahren Sie nun genau so für kleinere Spannungen, etwa 10 V, 8 V, 6 V. Zeichnen Sie die jeweiligen Messgraphen in einem gemeinsamen Diagramm auf.
- Jede der Messkurven weist ein Maximum auf. Beschreiben Sie, welchen Einfluss die Betriebsspannung der Lampe auf die Lage dieses Maximums hat.
Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem, was Sie in Ihrem Schulbuch zum WIENSchen Verschiebungsgesetz finden.
Nutzen Sie die dem Versuch beiliegende Abbildung, um eine Verbindung zwischen der Wellenlänge und der Farbe des Lichtes herzustellen.
- Erläutern Sie, wieso die Sonne vor allem sichtbares Licht abgibt, die Erde hingegen infrarot strahlt.
Stellen Sie eine Hypothese darüber auf, welche Folgen eine geringe Temperatur-Erhöhung der Erde für die von ihr ausgehende Strahlung haben wird.

Es wird erwartet, dass Sie zum vereinbarten Termin Ihre Ergebnisse in einer Präsentation von 5..10 Minuten Länge vorstellen.

Dabei müssen Sie sich auf die Übersichtsfolie aus der 1. Stunde beziehen. Es gelten die vereinbarten Regeln für gute Vorträge und gute Folien-Gestaltung.

Materialien:

Geräteliste:

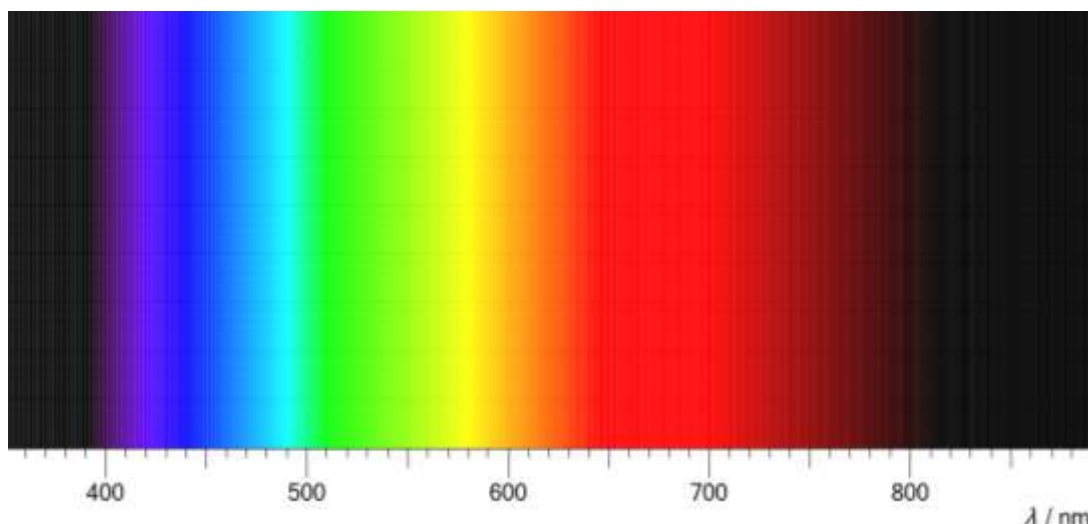
- Halogenlampe (12 V, 10 W)
 - Spaltblende
 - Linse +50 mm
 - Linse +100 mm
 - Gitter, 500/mm [09851.16](#)
 - Lichtsensor TSL 250 (erhältlich bei Conrad, 5,48 €) im Gehäuse/Halter
 - Unterlage mit Führungsschiene
 - Netzgerät 4..12 V für Halogenlampe
 - Netzgerät 5 V, = für den Sensor
 - Drehbewegungssensor von Leybold mit Faden und kleinem Massestück (ca. 20 g)
 - Cassy S-Modul zur Messwerterfassung, PC
 - 6 Messleitungen
- } sind enthalten im
Experimentierkasten
Optik von Phywe

Der Aufbau lässt sich alternativ auch mit dem [Experimentierkasten Optik von Phywe](#) realisieren: Dabei muss der Halter mit dem Lichtsensor hinter der optischen Bank angeordnet werden, damit er rechtwinklig dazu verschoben werden kann. Ein am Tisch befestigtes Lineal kann dann als Führungsschiene dienen.

Um die Messkurven hinreichend genau vergleichen zu können, ist es wichtig, die Verschiebestrecke möglichst kleinschrittig zu verändern. Daher ist eine elektronische Messung mittels eines Weggebers für die Erzeugung belastbarer Messdaten wesentlich. Statt des Drehbewegungssensors kann auch ein Bewegungsmesswandler von Leybold oder ein ähnlich genauer Weggeber (Ortsauflösung ≤ 1 mm) mit zugehörigem Messwerterfassungssystem verwendet werden.

Zusätzliches Schülermaterial:

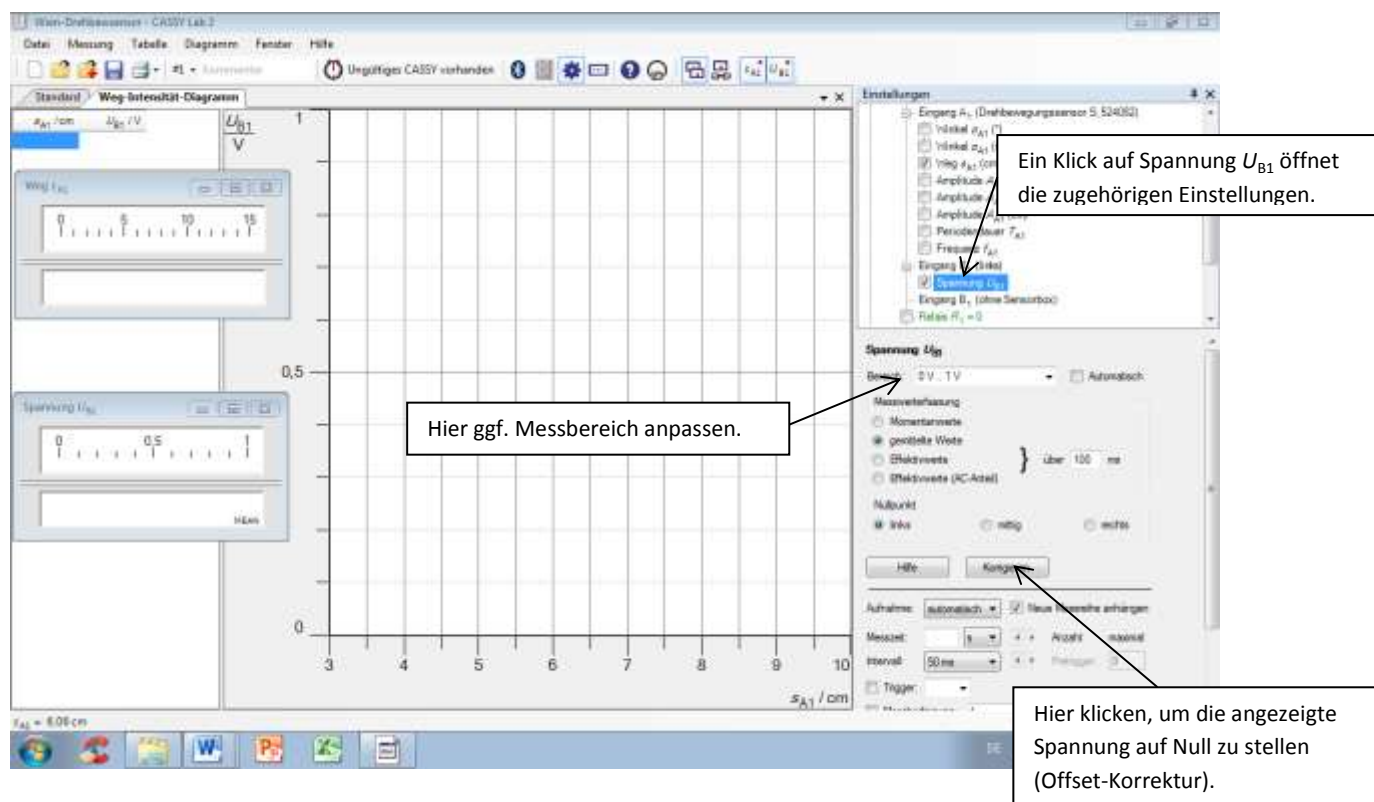
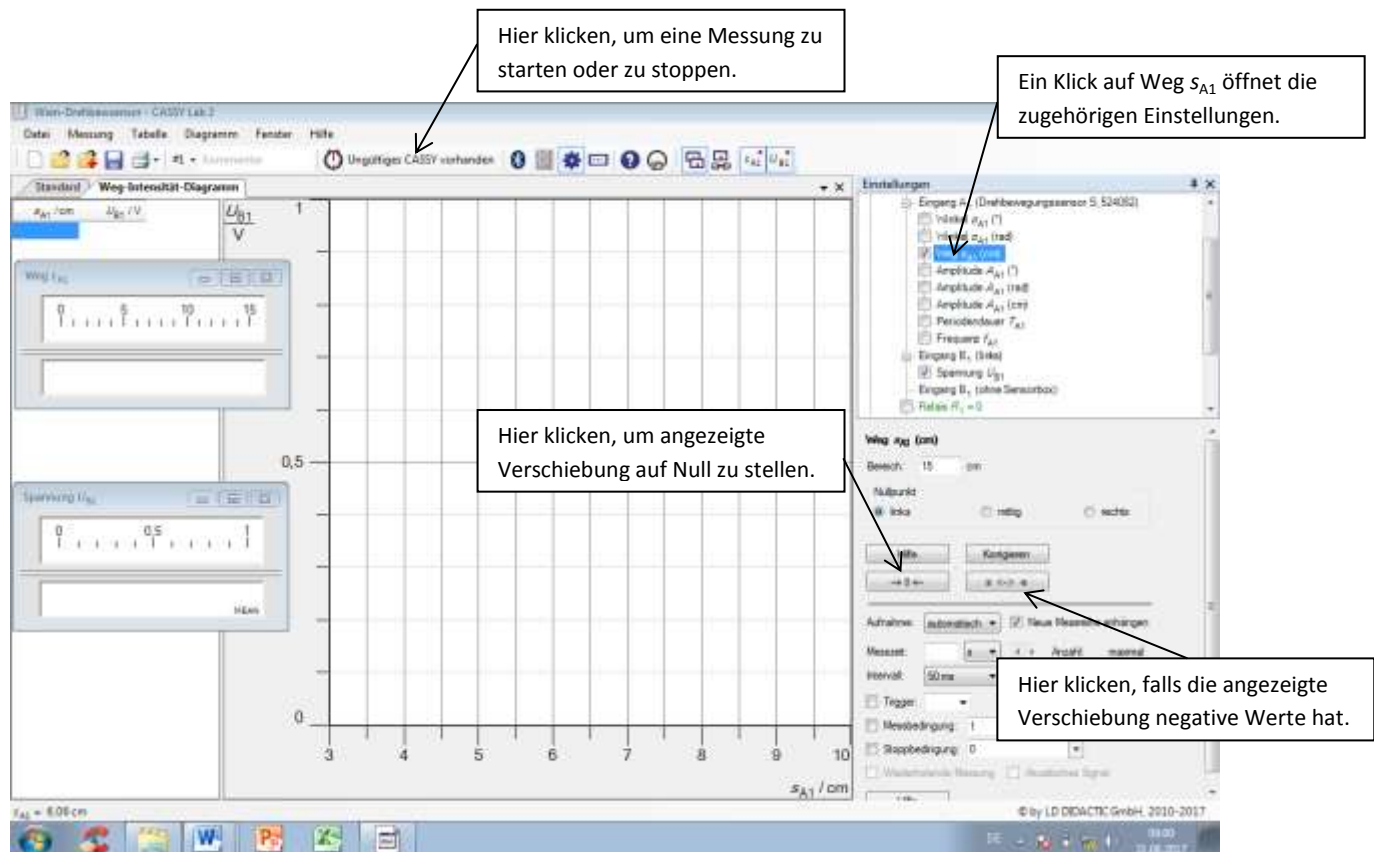
Kennzeichnung der Lichtfarbe durch die sogenannte Wellenlänge



Die Abbildung zeigt die Farben des für das Auge sichtbaren Lichtes. Schwarze Bereiche kennzeichnen für das Auge nicht sichtbare (ultraviolette bzw. infrarote) Strahlung.

Auf der Skala sind die zugehörigen Werte für die Wellenlänge angegeben. Die Einheit ist 1 nm (Nanometer) = $1 \cdot 10^{-9}$ m.

Anleitung zum Einsatz von CASSYLab

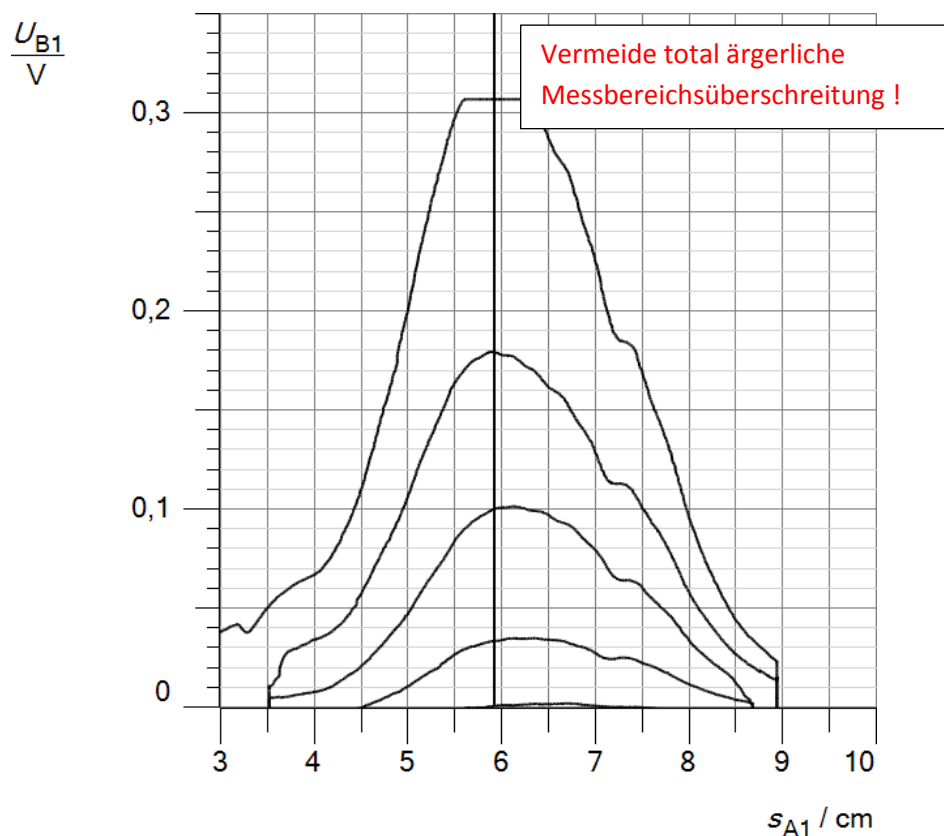


Anzeigen einer senkrechten Geraden im Diagramm-Fenster (zum Vergleichen der Messgraphen):
Menü Diagramm – Markierung setzen – senkrechte Linie (oder Tastenkürzel Alt+S)

Bemerkungen:

- Eine Spannungsquelle mit einem Satz schnell auswählbarer, fester Betriebsspannungen ist bei der Durchführung der Messungen praktisch.
- Für eine schnelle Durchführung der Messungen kann man sowohl beim Hin- wie auch beim Zurückschieben Werte aufzuzeichnen.
- Wichtig für die Auswertung ist, dass sich die Lage des Nullpunkts der Verschiebestrecke nicht verändert, etwa durch Rutschen des Fadens auf dem Rad des Sensors. Es empfiehlt sich, die Nulllage mit dem Sensor gelegentlich zu prüfen.
Auch den Nullabgleich für die Sensorspannung (u.a. für den Ausgleich von Umgebungslicht) sollte man zwischen den Messungen prüfen und ggf. nachregeln, um Schwierigkeiten bei der Interpretation der Messgraphen zu vermeiden.
- Eine quantitative Auswertung sollte nicht angestrebt werden: Die wellenlängenabhängige Empfindlichkeit des Sensors beeinflusst die Lage der Maxima in den Messgraphen, so dass man aus ihnen nicht die wirkliche Wellenlänge λ_{\max} entnehmen kann. Daher erhält man auch keinen antiproportionalen T - λ_{\max} - Zusammenhang.
- Mit den Lernenden sollten Kriterien für eine gelungene Präsentation vereinbart worden sein.

Typisches Messergebnis:



Als Ergebnis könnte man z. B. formulieren:

„Bei steigender Temperatur verschiebt sich das Maximum nach links, also in Richtung „blau“. In dieser Richtung wird die Wellenlänge kleiner. D.h. bei steigender Temperatur sinkt die Wellenlänge.“

Oder:

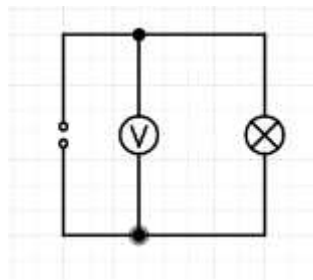
„Je kleiner die Temperatur, desto größer ist der Anteil des infraroten Lichtes mit großer Wellenlänge.“

Der Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Gegenstandes und der „farblichen Zusammensetzung“ der von ihm abgegebenen Strahlung ist nach seinem Entdecker WILHELM WIEN benannt.

Ihre Gruppe wird diesen Zusammenhang genauer untersuchen. Dazu können Sie Ihr Smartphone und eine App benutzen, die Licht den drei Bereichen Rot, Grün, Blau zuordnet und für jeden Bereich dessen Helligkeit mit Werten zwischen 0 und 255 angibt.

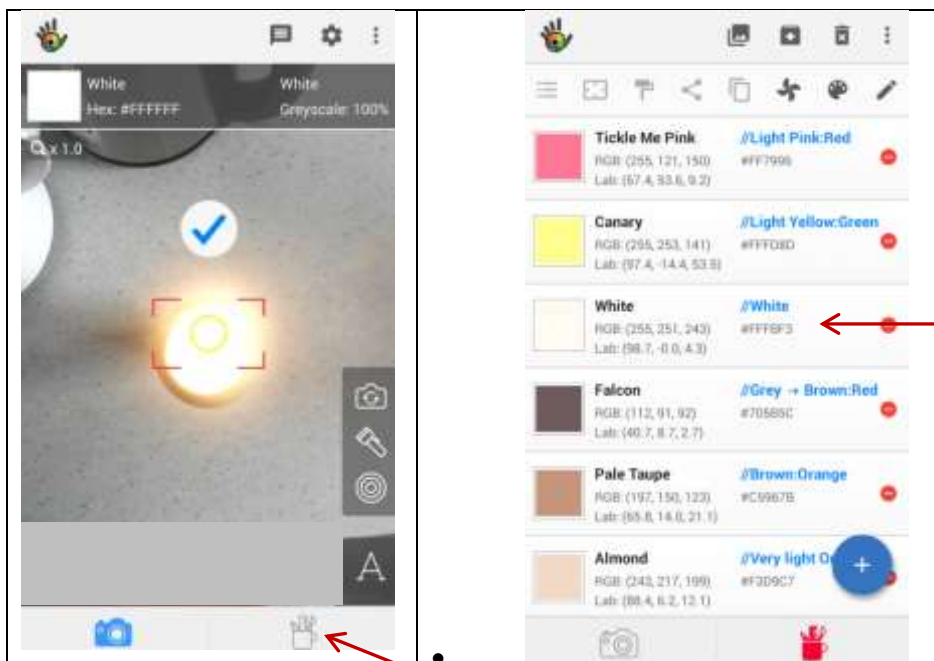
Ihr Versuch ist sehr einfach:

- Bauen Sie die kleine Glühlampe auf. Schließen Sie sie an eine regelbare Spannungsquelle an und legen Sie zunächst 4,0 V an.



Gehen Sie zur Messung in folgenden Schritten vor:

- Starten Sie die App Color Grab und richten Sie die Linse der Kamera auf die Glühlampe.



- Zielen Sie mit dem Suchfeld auf die Lampe. Nachdem der rotierende Farbkreis verschwunden ist, drücken Sie auf das „Häkchen-Symbol“ über dem Suchfeld. Nun werden im Smartphone automatisch durch die App die Messdaten bestimmt. Sie können diese Daten ablesen, indem Sie auf das „Malerwerkzeug“-Symbol am unteren Bildrand klicken. Dann öffnet sich der rechts dargestellte Bildschirm.
- In Ihrer ersten Messung werden Sie die Daten aus der oben mit einem Pfeil gekennzeichneten Zeile „White“ bekommen, die auf Ihrem Bildschirm in der obersten Zeile stehen sollte.

Die im Beispiel bestimmten Messwerte (255, 251, 243) kennzeichnen, von links nach rechts gelesen, die Helligkeiten in den Bereichen R, G, B.

- Es ist sinnvoll, die jeweiligen Messdaten in einem Streifendiagramm darzustellen. Dazu berechnen Sie zunächst die Summe aller Werte: 749.

Hieraus berechnen Sie die Prozentanteile der drei Farbbereiche:

$$R_{\%} = \frac{255}{749} = 0,340, G_{\%} = \frac{251}{749} \text{ usw.}$$

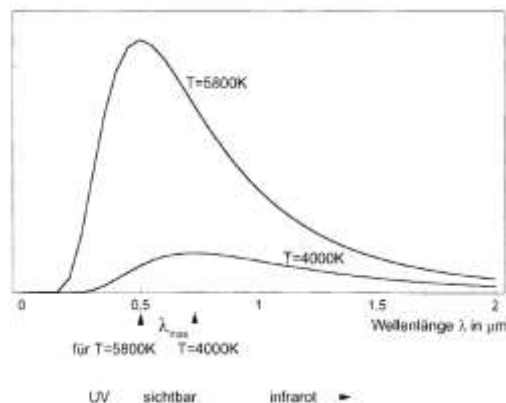
Das bedeutet: mit Licht im roten Bereich wird 34% der insgesamt auf den Sensor in der Kamera übertragenen Energie transportiert.

- Stellen Sie Ihr Ergebnis in einem Streifendiagramm der Länge 10 cm (also: 1cm bedeuten 10%) dar, z.B. so:



Aufträge:

- Erstellen Sie Streifendiagramme für verschiedene Betriebsspannungen der Lampe. Bewährt haben sich Spannungen zwischen 0,5V und 4V. Eine Schrittweite von 0,5 V ist sicher sachgerecht.
- Deuten Sie diese Diagramme im Vergleich.
- Lesen Sie in einem Physikbuch über das WIENSche Verschiebungsgesetz nach. Vergleichen Sie Ihr Messergebnis mit der Aussage aus dem Buch.
- In wissenschaftlichen Darstellungen zum Verschiebungsgesetz findet man Graphen wie diesen. Auf der Rechtsachse ist die Wellenlänge des emittierten Lichtes, auf der Hochachse ist die mit dieser Wellenlänge übertragene Energiestromstärke dargestellt.



Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit dieser Darstellung. Gehen Sie dabei insbesondere darauf ein, was in diesem Diagramm mehr dargestellt ist, als Sie es herausfinden konnten.

- Stellen Sie auf der Grundlage Ihrer Deutungen eine Hypothese darüber auf, wieso die Sonne vor allem sichtbares Licht abgibt, die Erde hingegen infrarot strahlt.
- Stellen Sie eine Hypothese darüber auf, welche Folgen eine geringe Temperatur-Erhöhung der Erde für die von ihr ausgehende Strahlung haben wird.

Es wird erwartet, dass Sie zum vereinbarten Termin Ihre Ergebnisse in einer Präsentation von 5..10 Minuten Länge vorstellen.

Dabei müssen Sie sich auf die Übersichtsfolie aus der 1. Stunde beziehen. Es gelten die vereinbarten Regeln für gute Vorträge und gute Folien-Gestaltung.

Materialien:**Geräteliste:**

- Glühlampe (6 V, 50mA)
- Smartphone mit der App Color Grab (Android)
- Netzgerät 0..6 V für Lampe
- Spannungs-Messgerät
- 2 Messleitungen

Untersuchung des WIENSchen Verschiebungsgesetzes mit einem IR-Sensor

Aufbau:

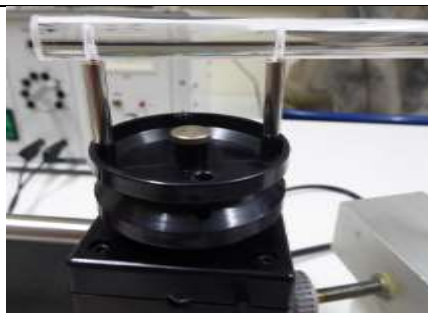


Gesamtansicht; Lichtbox auf Holz-Unterlage; zwei Pocket-Cassy; Drehbewegungs-Sensor, Plattenhalter, Gitter 600/mm; Elwe-Netzteil; Spannung mit Multimeter messen.

IR-Sensor für Pocket-Cassy 02/6



Gitter direkt vor die Lichtbox



Drehbewegungs-Sensor

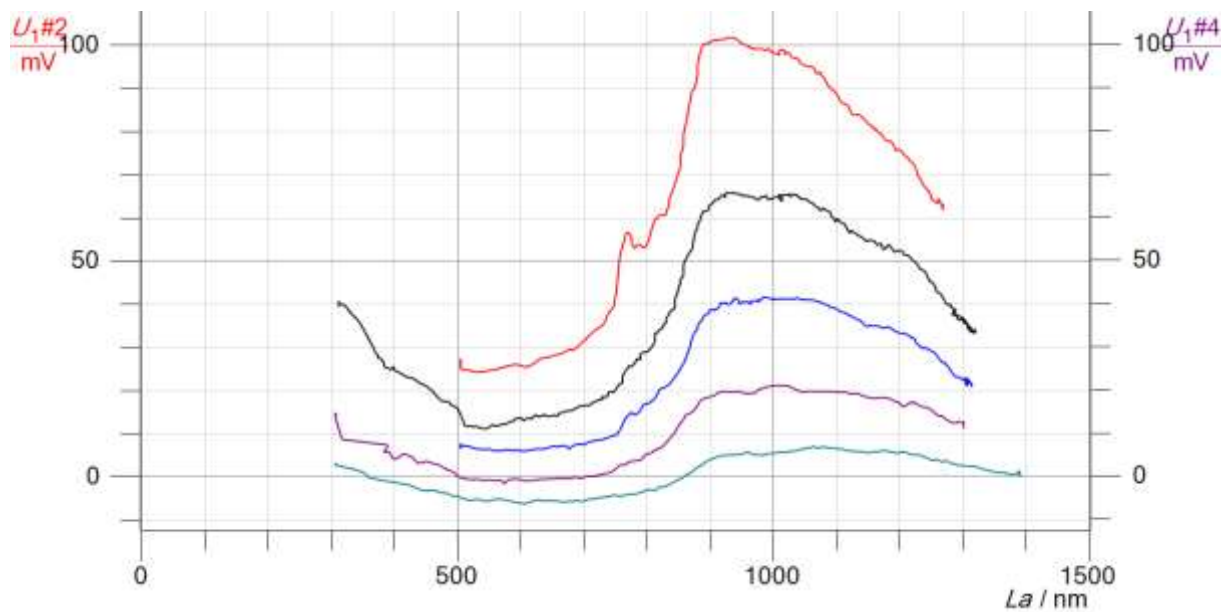


Linse aus der
Lichtbox entfernen

Programm [Wien_IR_12V.labx](#) laden.

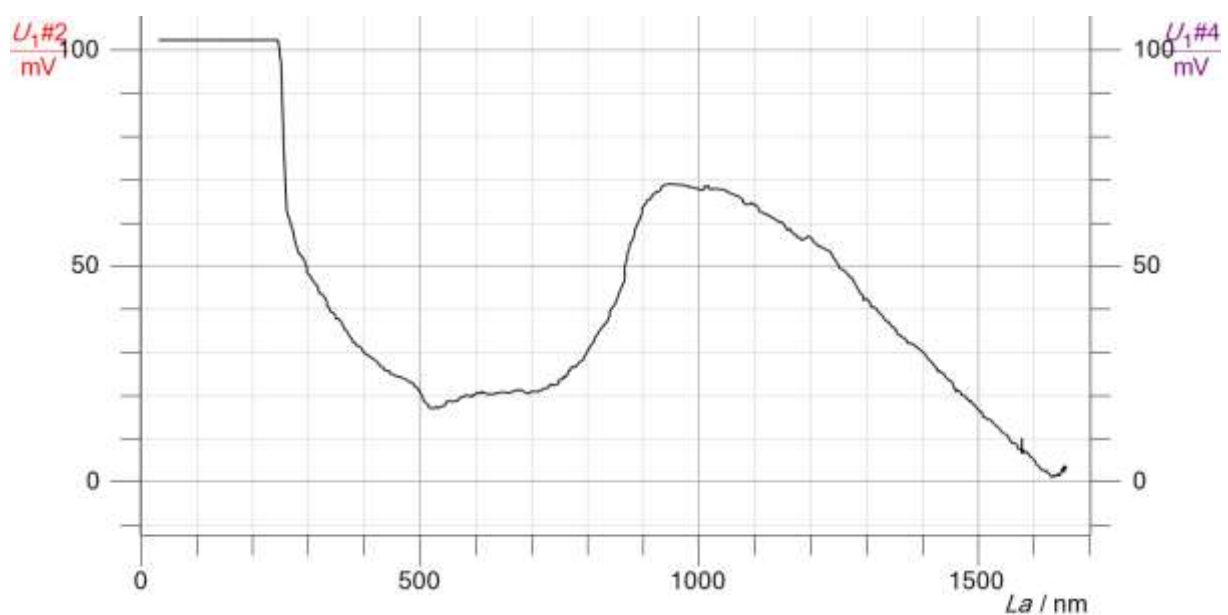
- Umgebungshelligkeit reduzieren.
- Spannung zwischen 6V und 15 V einstellen.
- Durch Rechtsklick auf das Winkel-Messinstrument Menü aufrufen und im Hauptmaximum auf 0° einstellen.
- Sensor von Hand drehen, jeweils neue Messung anhängen.

Messergebnis:



Von oben nach unten nominell nach Anzeige am Elwe-Netzteil: 15V; 12V; 10V; 8V; 6V. Die tatsächlichen Werte müssen durch Nachmessen bestimmt werden.

Ein vollständiges WIEN-Spektrum sieht so aus:

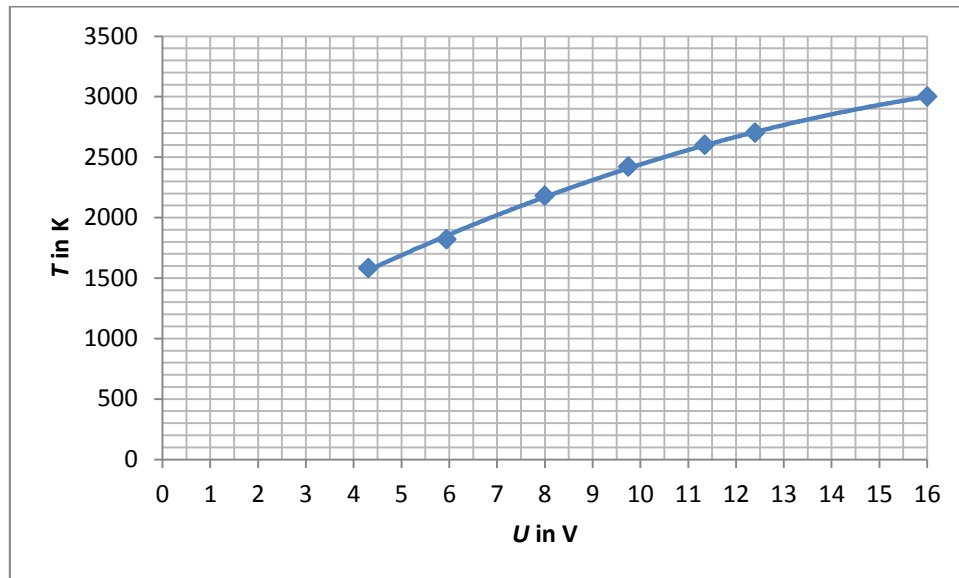


Der verwendete Lichtsensor erkennt Licht zwischen 900 nm und 1700 nm. Das erste Maximum für IR liegt ganz im zweiten Maximum sichtbaren Lichtes. Man erkennt aber beim Durchfahren des ersten sichtbaren Maximums, dass dort so gut wie kein Licht angezeigt wird.

Auswertung:

Zur Auswertung liest man aus dem beigegeführten U - T -Diagramm die zu jeder eingestellten Spannung gehörige Wendel-Temperatur ab. Diese Diagramme sind im Optik-Oberstufen-Ordner abgelegt.

Die Maxima der Strahlungs-Kurven bestimmt man entweder durch Augenmaß oder mit dem „Peak-Schwerpunkt“-Werkzeug von CassyLab.

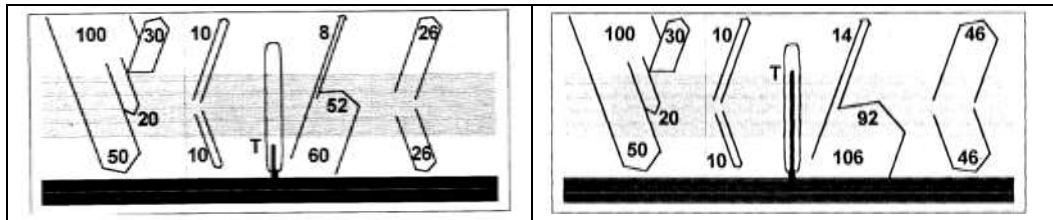


U - T -Kennlinie für die 12V; 20W-Lampe in der LD-Lichtbox.

| T in K | Lambda in nm | Produkt |
|----------|-------------------|----------------|
| 3000 | 950 | 2850000 |
| 2750 | 980 | 2695000 |
| 2550 | 1050 | 2677500 |
| 2400 | 1100 | 2640000 |
| | Mittelwert | 2715625 |
| | | |

Messergebnisse und deren Produkte zeigen recht ordentlich eine Antiproportionalität, nahezu mit dem theoretisch erwarteten Wert aus dem Verschiebungsgesetz.

Die Erde als Himmelskörper im Lichte der Sonne ist im Strahlungsgleichgewicht. In diesem Zustand wird genau so viel Energie von einem Gegenstand abgestrahlt, wie er aus der Umgebung empfängt. Im linken der beiden Bilder ist das nicht der Fall, es werden nur 74% der eingestrahnten Energie wieder abgestrahlt.



Vorbereitung:

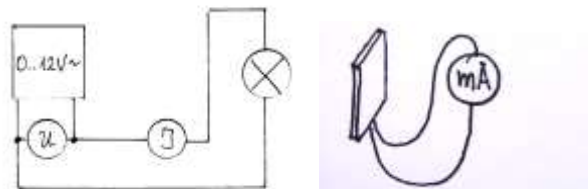
- Nennen Sie die im rechten Bild dargestellten Veränderungen bei Temperatur und abgestrahlter Energie und prüfen Sie, ob ein Strahlungsgleichgewicht vorliegt.
- Stellen Sie eine Hypothese darüber auf, wie sich eine Veränderung der Temperatur der Erde auf die abgestrahlte Energiestromstärke auswirkt. Vielleicht gelingt es Ihnen, Ihre Hypothese an einem Beispiel aus dem Alltag zu erläutern.

Wenn Sie die Hypothese formuliert haben, zeigen Sie Ihr Ergebnis Ihrer Lehrkraft. Daraufhin erhalten Sie die für Ihre weitere Arbeit nötigen Materialien.

Den Zusammenhang zwischen Temperatur und Strahlungsleistung nennt man nach den Entdeckern JOSEF STEFAN und LUDWIG BOLTZMANN.

Ihre Gruppe wird den Zusammenhang untersuchen. Als Strahlungssensor benutzen Sie eine Solarzelle.

Solarzelle



- Bestimmen Sie bei ausgeschalteter Glühlampe die Stromstärke I_{SO} durch die Solarzelle. Diese Stromstärke („Nulleffekt“) muss von den Messwerten bei eingeschalteter Glühlampe jeweils subtrahiert werden.
- Schalten Sie die Glühlampe bei 8V ein.
Bestimmen Sie für diese Einstellung den Messwert für die elektrische Stromstärke I_S an der Solarzelle (rechtes Schaltbild). Die Differenz ΔI aus I_S und I_{SO} ist ein direktes Maß für die von der Lampe empfangene Strahlungsleistung P .
- Bestimmen Sie U und I_L im Stromkreis der Lampe (linkes Schaltbild).
Berechnen Sie daraus den elektrischen Widerstand R der Lampe.
Mit Hilfe des beiliegenden Graphen können Sie aus dem Widerstandswert R die jeweils zugehörige Temperatur der Glühwendel bestimmen.
- Erhöhen Sie die Spannung U an der Lampe in Schritten von etwa 0,5 V bis höchstens 12,5 V und bestimmen Sie jeweils U , I_L , R , T und ΔI .
- Fertigen Sie auf dieser Grundlage ein $T - \Delta I$ -Graphen an.
- Untersuchen Sie auf die im Unterricht erarbeitete Weise den mathematischen Zusammenhang zwischen beiden Größen T und ΔI an der Solarzelle.
- Vergleichen Sie das Ergebnis mit der Schulbuch-Formulierung des STEFAN-BOLTZMANNschen Strahlungsgesetzes.

Es wird erwartet, dass Sie zum vereinbarten Termin Ihre Ergebnisse in einer Präsentation von 5..10 Minuten Länge vorstellen.

Dabei müssen Sie sich auf die Übersichtsfolie aus der 1. Stunde beziehen. Es gelten die vereinbarten Regeln für gute Vorträge und gute Folien-Gestaltung.

Materialien: Variante Solarzelle

Z.B. aus dem Phywe-Kasten Optik:

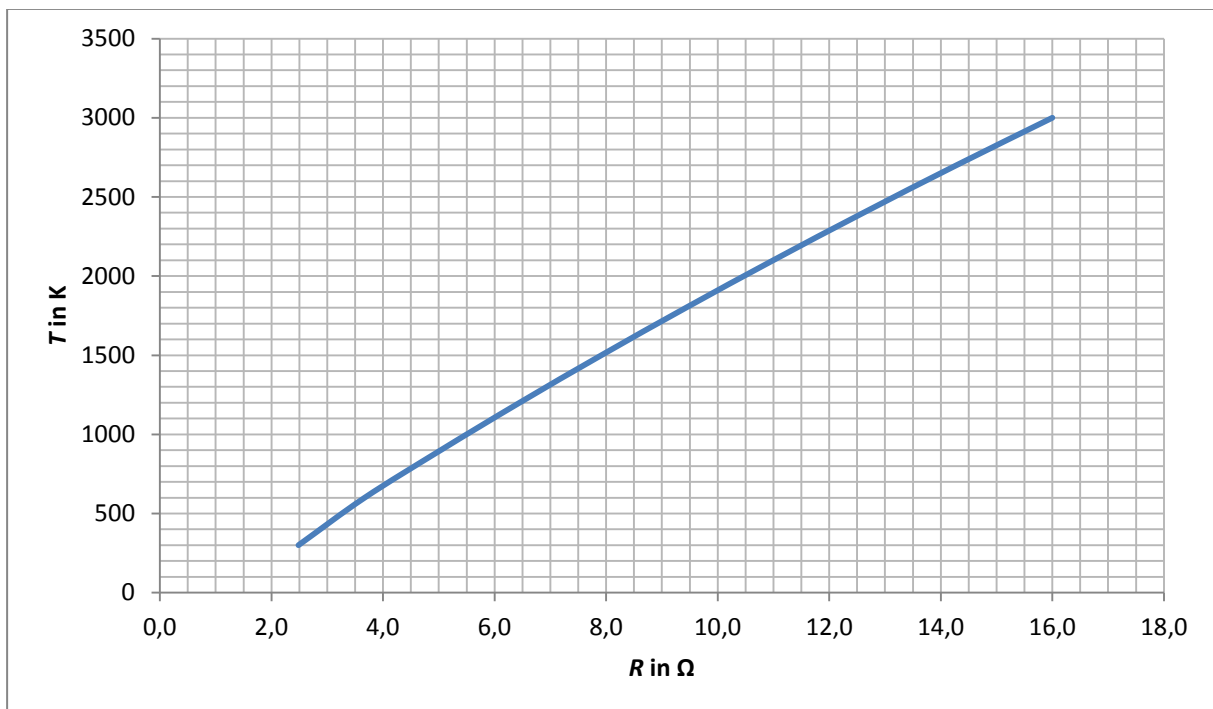
- Solarzelle
- Halogenleuchte in Halterung (12V, 10W)

Aus der Sammlung

- Regelbares Netzteil
- Messgerät (10..60 mA) zur Messung des Kurzschluss-Stroms durch die Solarzelle.
- Messgerät für die Stromstärke (0,5..2A) durch die Lampe. Diese Stromstärke sollte unbedingt digital mit mindestens 2 Nachkommastellen gemessen werden, damit man den Widerstandswert hinreichend genau berechnen kann.
- Spannungsmessgerät für den Lampenstromkreis, 8..12V, keine besonderen Anforderungen.
- 7 Messleitungen

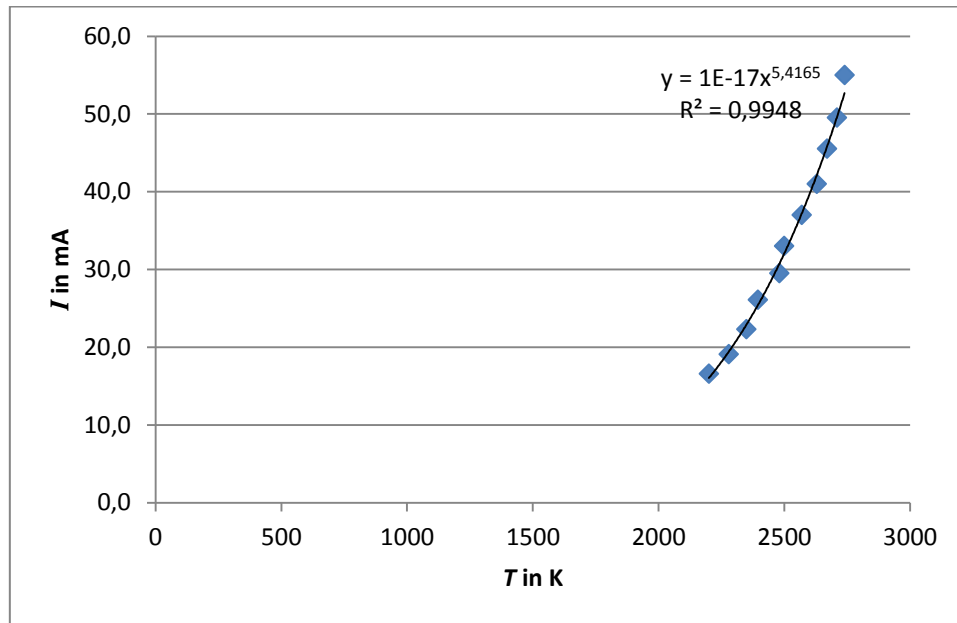
Zusätzlich:

- Kalibrierkurve (eingebettet! Bei Bedarf öffnen mit Mausklick)



Bemerkungen:

- Bitte denken Sie daran, mit den Lernenden an geeigneter Stelle Regeln für Präsentationen zu vereinbaren
- Typisches Messergebnis [Variante Solarzelle:](#)

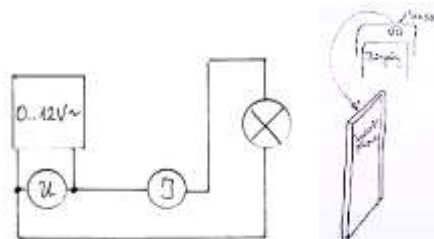


Auf Grund der spektralen Empfindlichkeit der Solarzelle und der Eigenschaften von Halogenlampen ist ein exaktes T^4 -Gesetz nicht zu erwarten.

Gruppe 5: Das STEFAN-BOLTZMANNsche Strahlungsgesetz (Variante Smartphone)

Den Zusammenhang zwischen Temperatur und Strahlungsleistung nennt man nach den Entdeckern JOSEF STEFAN und LUDWIG BOLTZMANN.

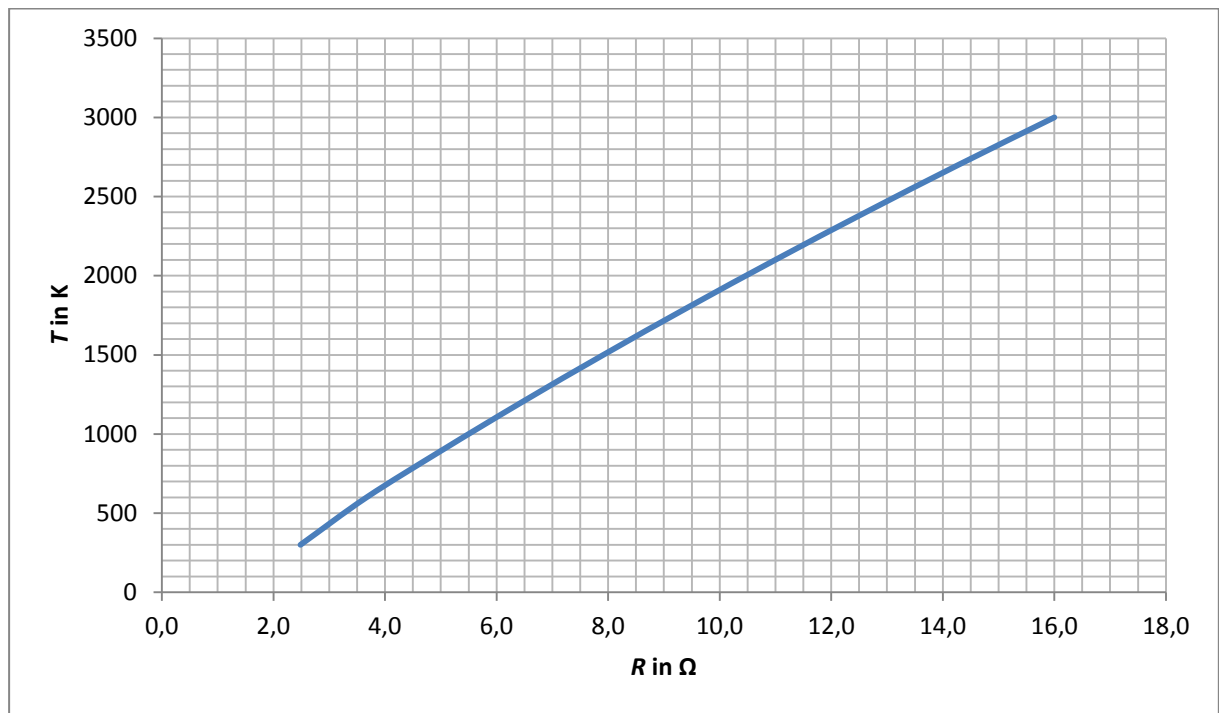
Ihre Gruppe wird den Zusammenhang untersuchen. Als Strahlungssensor benutzen Sie ein Smartphone mit der App PhyPhox und der Funktion Lichtmessung.



- Bestimmen Sie bei ausgeschalteter Glühlampe die Beleuchtungsstärke E_0 in lx („Lux“). Dieser Wert („Nulleffekt“) muss von den Messwerten bei eingeschalteter Glühlampe jeweils subtrahiert werden.
- Schalten Sie die Glühlampe bei 8V ein. Bestimmen Sie für diese Einstellung den Messwert für E_s (rechtes Schaltbild). Die Differenz ΔE aus E_s und E_0 ist ein direktes Maß für die von der Lampe empfangene Strahlungsleistung P .
- Bestimmen Sie U und I_L an der Lampe (linkes Schaltbild). Berechnen Sie daraus den elektrischen Widerstand R der Lampe. Mit Hilfe des beiliegenden Graphen können Sie aus dem Widerstandswert R die jeweils zugehörige Temperatur der Glühwendel bestimmen.
- Erhöhen Sie die Spannung U an der Lampe in Schritten von etwa 0,5 V bis höchstens 12,5 V und bestimmen Sie jeweils U , I_L , R , T und ΔE .
- Fertigen Sie auf dieser Grundlage ein $T - \Delta E$ -Graphen an.
- Untersuchen Sie auf die im Unterricht erarbeitete Weise den mathematischen Zusammenhang zwischen beiden Größen T und ΔE .
- Vergleichen Sie das Ergebnis mit der Schulbuch-Formulierung des STEFAN-BOLTZMANNschen Strahlungsgesetzes.

Es wird erwartet, dass Sie zum vereinbarten Termin Ihre Ergebnisse in einer Präsentation von 5..10 Minuten Länge vorstellen.

Dabei müssen Sie sich auf die Übersichtsfolie aus der 1. Stunde beziehen. Es gelten die vereinbarten Regeln für gute Vorträge und gute Folien-Gestaltung.



Materialien: Variante Smartphone

Z.B. aus dem Phywe-Kasten Optik:

- Halogenleuchte in Halterung (12V, 10W)

Aus der Sammlung

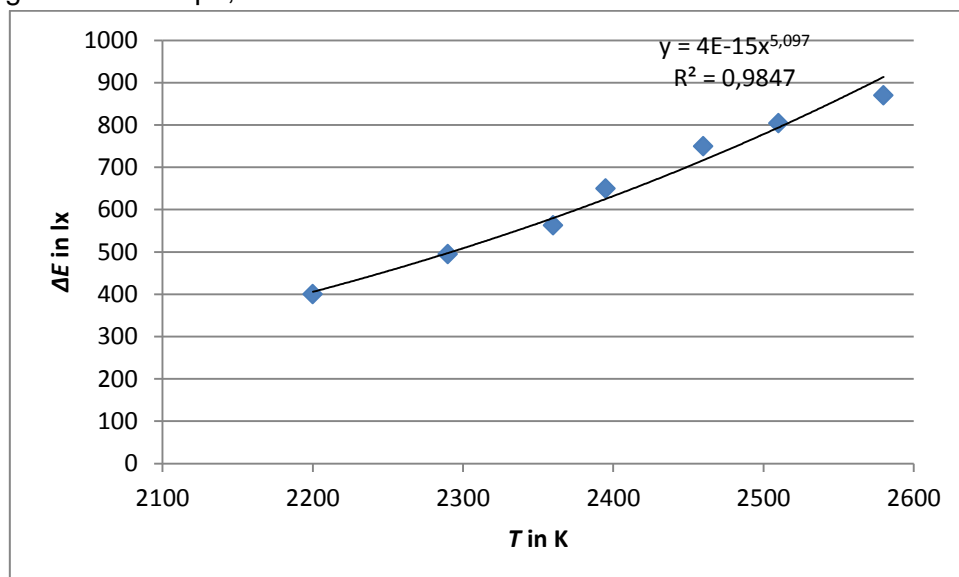
- Regelbares Netzteil
- Messgerät für die Stromstärke (0,5..2A) durch die Lampe. Diese Stromstärke sollte unbedingt digital mit mindestens 2 Nachkommastellen gemessen werden, damit man den Widerstandswert hinreichend genau berechnen kann.
- Spannungsmessgerät für den Lampenstromkreis, 8..12V, keine besonderen Anforderungen.
- 5 Messleitungen

Zusätzlich:

- Smartphone mit der App PhyPhox, Funktion Lichtmessung „Einfach“

Bemerkungen:

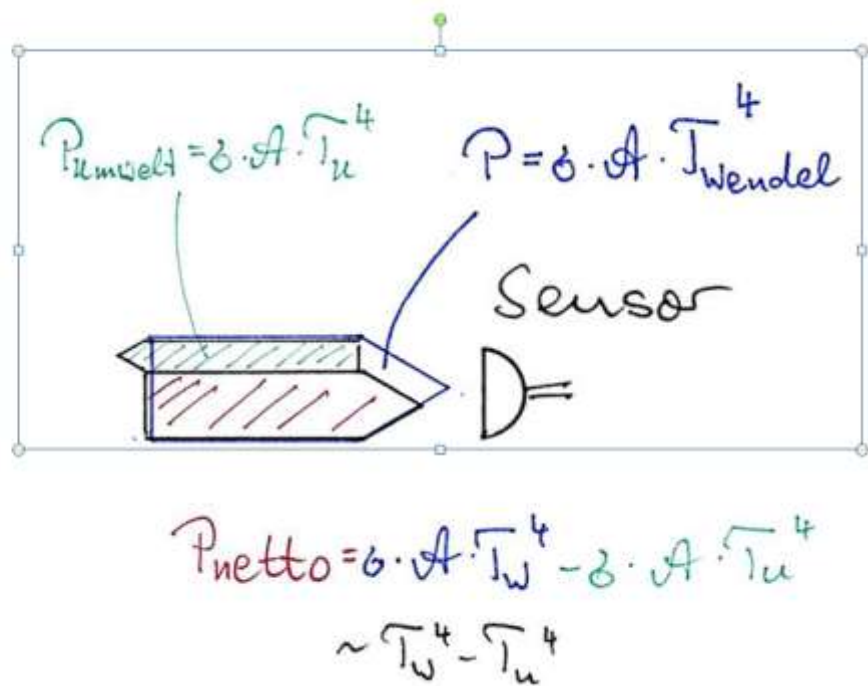
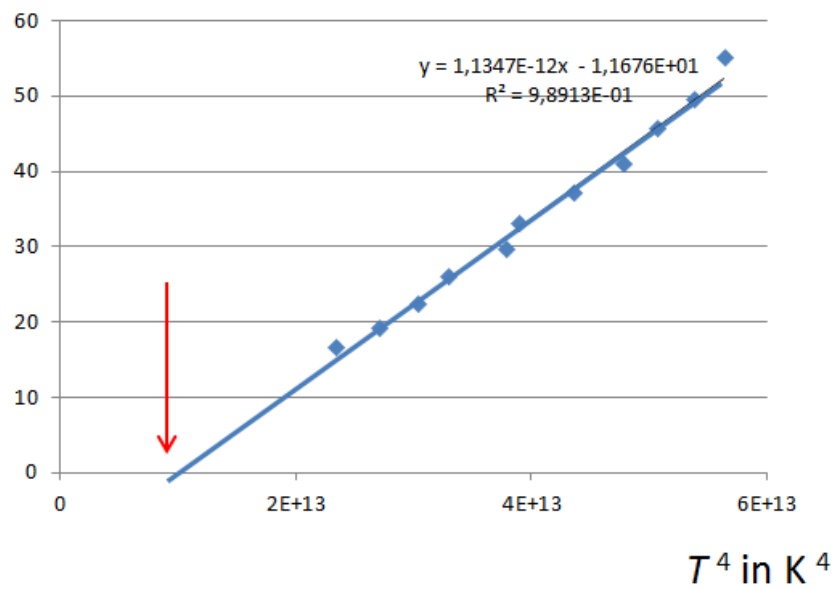
- Bitte denken Sie daran, mit den Lernenden an geeigneter Stelle Regeln für Präsentationen zu vereinbaren.
- Die Anzeige am Smartphone wechselt sehr schnell. Nach wenigen Minuten ist man aber in der Lage, jeweils einen vernünftigen Mittelwert abzuschätzen.
- Typisches Messergebnis [Variante Smartphone](#):
Eingebetteter Graph, bei Bedarf Öffnen durch Mausklick

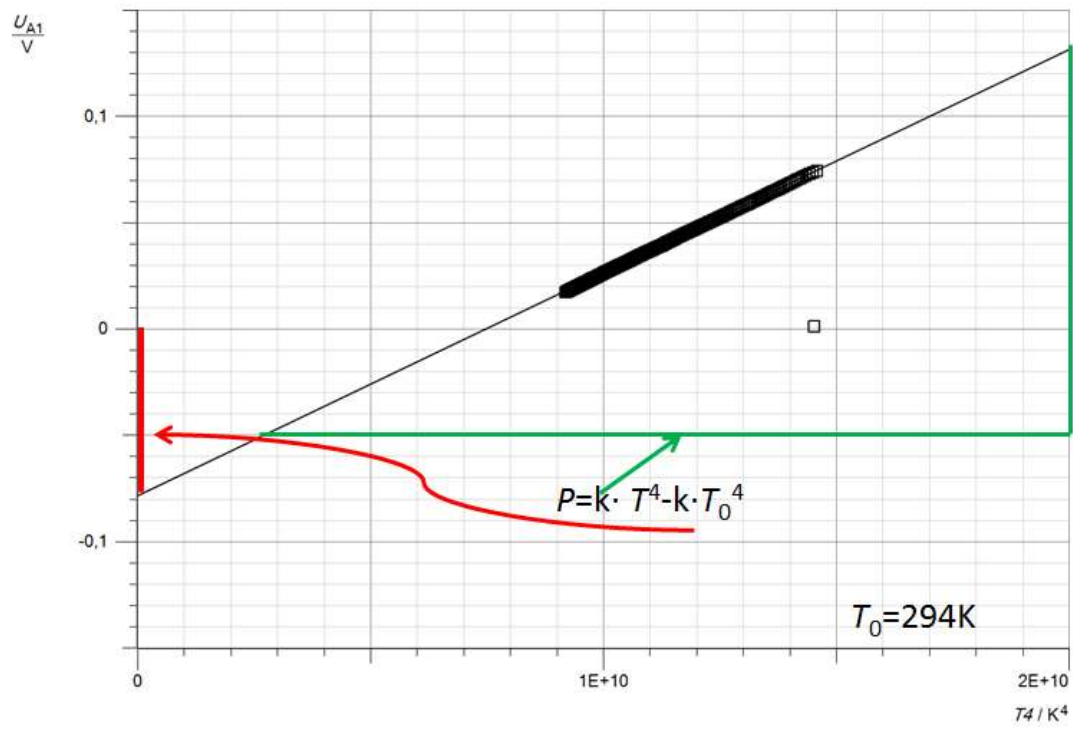


Auf Grund der spektralen Empfindlichkeit der Sensoren im Smartphone und der Eigenschaften von Halogenlampen ist eine bessere Annäherung an ein T^4 -Gesetz wohl nicht zu erwarten.

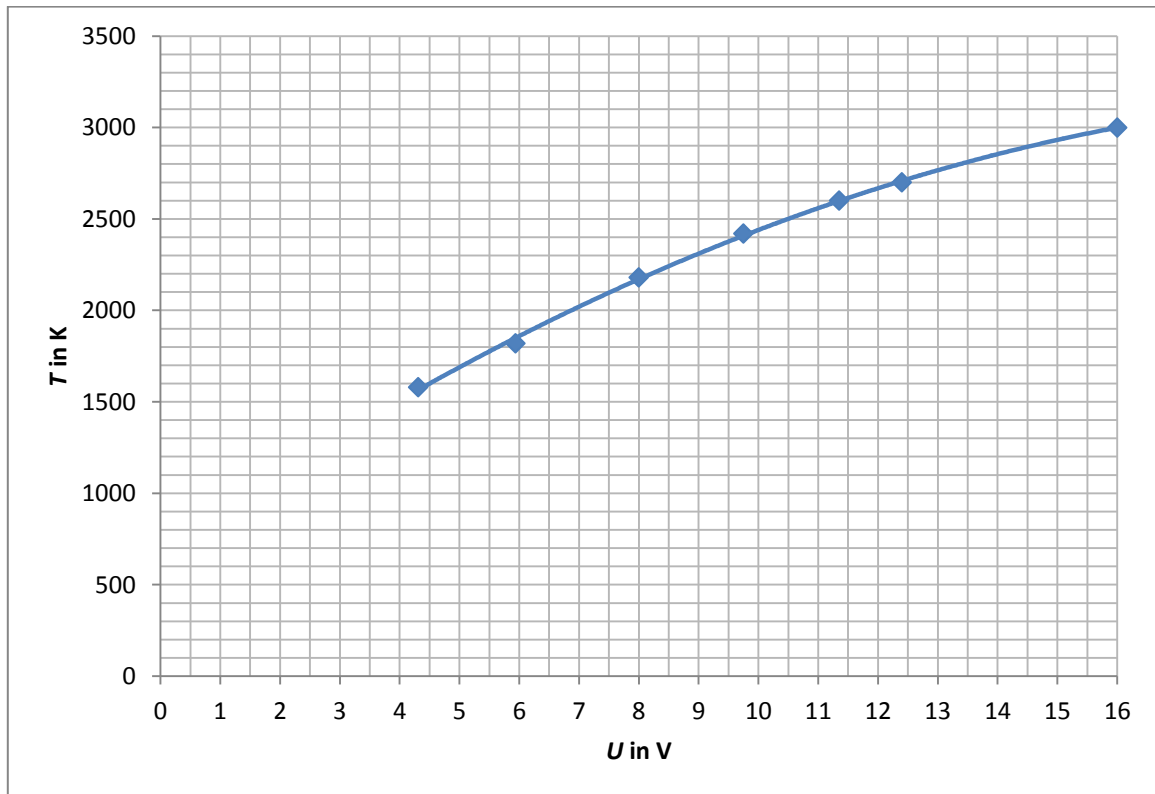
Es ist sachgerecht, die Strahlungsleistung über T^4 darzustellen, dann ergibt sich eine Gerade!

P in mW





Halogenleuchte LD-Lichtbox – 12V; 20W; U - T -Kennlinie



Zum Experiment „Stefan-Boltzmann“: Widerstand und Temperatur

Der Temperaturbestimmung in unserem Experiment liegt eine Widerstands-Temperatur-Kennlinie zugrunde. Die Grundlagen dafür habe ich (M.R.) vor langer Zeit einmal versucht, zu durchdringen und konnte auf Nachfragen in Bad Nenndorf nicht mehr alles genau erinnern.

Darum habe ich mich noch mal drangesetzt und denke, dass ich jetzt einigermaßen fundiert antworten kann.

1. Es scheint so, dass alle heutigen Hersteller ausschließlich Wolfram als Glühfäden verwenden.
2. Die Hersteller geben an, dass die Solltemperatur ihrer Fäden bei Nennleistung ziemlich genau 3000 K beträgt.
3. Dem von uns verwendeten Messverfahren liegt eine Gleichung der Form

$$R(T) = R(T_0) \cdot (1 + \beta(T - T_0))$$

zugrunde.

Die ist aber nicht sonderlich hilfreich, da β selbst auch noch ein wenig temperaturabhängig ist. Daher ist es geschickter, auf Tabellen, z.B. aus dem CRC Handbook of Chemistry and Physics zurückzugreifen. (73rd edition, page 10-305)

So eine Tabelle liefert einen Zusammenhang zwischen Temperatur und spezifischem Widerstand.

In den linken beiden Spalten von Tabelle 1 steht ein Ausschnitt zwischen 300K und 3000K. Weil spezifische Widerstände angegeben sind, normiere ich die Werte in Spalte C so, dass der Wert für 3000K gleich 100% gesetzt wird.

Daraus ergibt sich **Tabelle 1**:

| T in K | Spez.Widerstand_Wendel q in willkürlichen Einheiten | q normiert |
|---------------|--|-------------------|
| 300 | 5,65 | 0,06138635 |
| 600 | 13,23 | 0,14374185 |
| 900 | 21,94 | 0,23837462 |
| 1200 | 30,98 | 0,33659279 |
| 1500 | 40,36 | 0,438505 |
| 1800 | 50,05 | 0,54378531 |
| 2100 | 60,06 | 0,65254237 |
| 2400 | 70,39 | 0,76477618 |
| 2700 | 81,04 | 0,88048674 |
| 3000 | 92,04 | 1 |

4. Zur Kalibrierung braucht man nun gar nicht einmal mehr die Lampe zu knacken, denke ich. Bei Zimmertemperatur messe ich den Widerstand $R_{G,Zimmer}$ zwischen den beiden Anschluss-Steckern des kompletten Stromkreises einschließlich Zuleitungen, Lampe und Stromstärkemessgerät direkt am Netzgerät. Dazu braucht man ein einigermaßen gutes Multimeter. Ich erhalte für die in Rede stehende Lampe etwa $R_{G,Zimmer} \approx 1,6\Omega$.

Diese Messung ist heikel – viele Messleitungen zeigen erschreckend große Widerstände. R_{Wendel} ist gegenüber den anderen Beiträgen zu R_G bei Zimmertemperatur fast vernachlässigbar. Das sieht man z.B. in der ersten Zeile der Tabelle 1.

Jetzt messe ich den Widerstand $R_{G,\text{heiß}}$ bei angelegter Nennspannung. Der gemessene Wert ist

$$R_{G,3000} = R_{\text{Wendel},3000} + R_{G,\text{Zimmer}} .$$

So ergibt sich

$$R_G(3000\text{K}) = 14,4\Omega + 1,6\Omega = 16,0\Omega .$$

Dabei ist $14,4\Omega$ der Widerstandswert der Wendel, berechnet aus $P = 10\text{W}$ und $U = 12\text{V}$, den Nenndaten der Lampe. Dieser Wert entspricht dem normierten Wert $q_{\text{normiert}} = 1$ in der letzten Spalte von Tabelle 1.

Jetzt kann man einen Zusammenhang zwischen gemessenem Widerstandswert $R_G(T)$ und der Temperatur T herstellen, indem man in der rechten Spalte von **Tabelle 2** ansetzt

$$R_G(T) = 14,4\Omega \cdot q_{\text{normiert}}(T) + 1,6\Omega .$$

| T in K | spez R_Wendel | | | |
|---------------|---|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | q in $\Omega \cdot m$ | q normiert | RW(T) in Ω | RG(T) in Ω |
| 300 | 5,65 | 0,06138635 | | |
| 600 | 13,23 | 0,14374185 | 3,78239896 | 5,4 |
| 900 | 21,94 | 0,23837462 | 4,95584528 | 6,4 |
| 1200 | 30,98 | 0,33659279 | 6,17375054 | 7,6 |
| 1500 | 40,36 | 0,438505 | 7,43746197 | 9,0 |
| 1800 | 50,05 | 0,54378531 | 8,74293785 | 10,3 |
| 2100 | 60,06 | 0,65254237 | 10,0915254 | 11,7 |
| 2400 | 70,39 | 0,76477618 | 11,4832247 | 14,0 |
| 2700 | 81,04 | 0,88048674 | 12,9180356 | 14,5 |
| 3000 | 92,04 | 1 | 14,4 | 16,0 |

Daraus ergibt sich jetzt eine, wie ich hoffe, angemessen begründbare Kalibrierkurve, auf deren Rechtsachse R_G aufgetragen ist, denn nur diesen Wert kann man von außen messen:

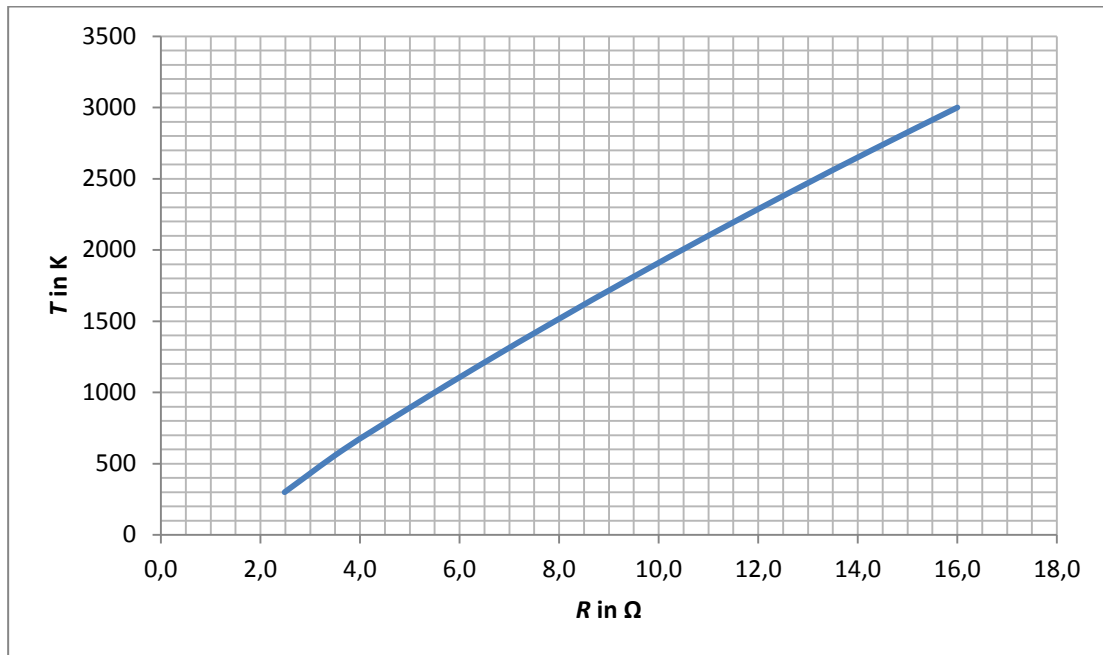


Abb.1: Kalibrierkurve für die 12V-10W-Halogenlampe aus dem Lüneburger Phywe-Kasten.

Mit dieser Kalibrierkurve erhalte ich aus unseren Bad-Nenndorfer Messdaten für die *Variante Smartphone* die folgende Auswertung für den STEFAN-BOLTZMANN-Zusammenhang:

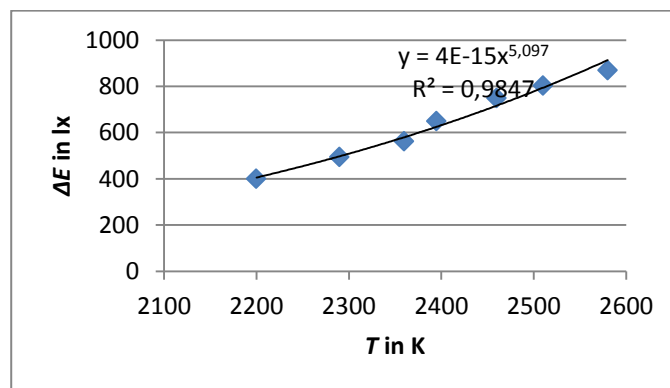


Abb.2: T-Beleuchtungsstärke-Zusammenhang, gemessen mit dem Smartphone.

Wenn man die vielen Unsicherheiten bedenkt, braucht man sich nicht zu schämen, denke ich.

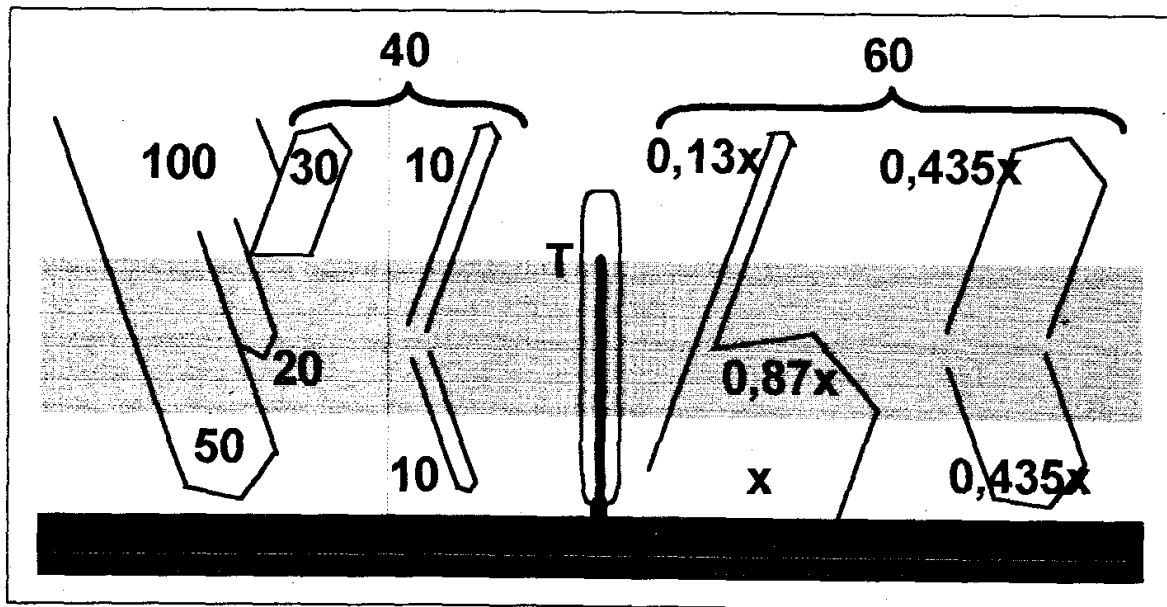


Abbildung 5d

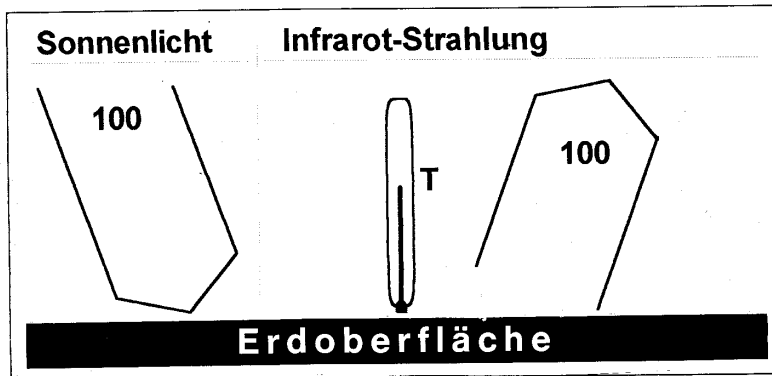


Abbildung 5a

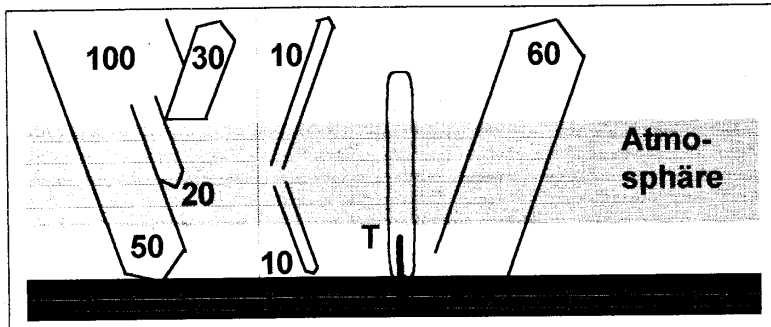


Abbildung 5b

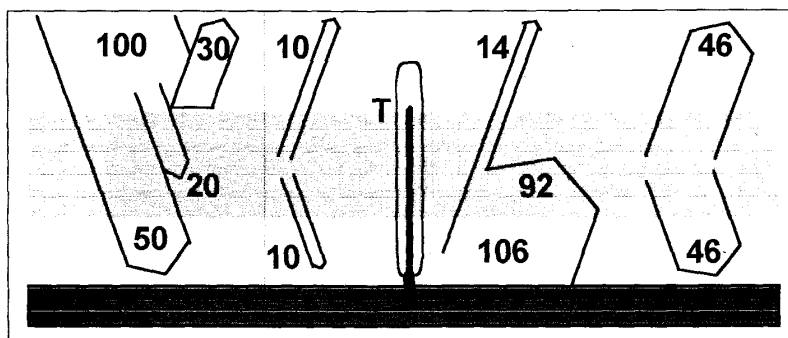
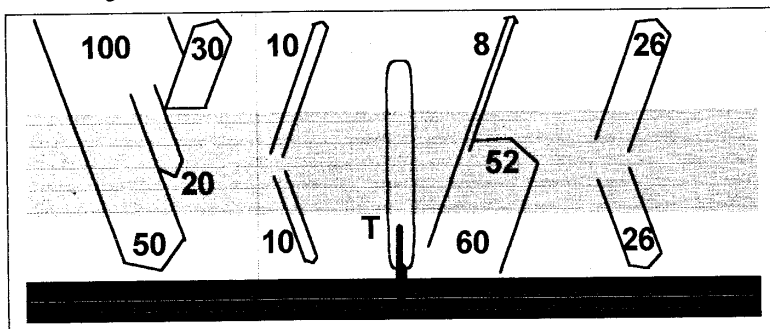


Abbildung 5e