

O8 - Strahlungsgesetze

(Das Lambertsche Gesetz)

Julia Mariella Wiest

Gruppe A06

22.11.2024

Mit der Abgabe dieses Protokolls wird bestätigt, dass es kein Plagiat ist. Falls es dennoch eindeutig als Plagiat erkannt werden sollte, ist bekannt, dass das einen Punktabzug von 20 Punkten zur Folge, ohne Möglichkeit der Nachbearbeitung, hat. Diese Bewertung wird ausnahmslos zur Gesamtnote im Anfängerpraktikum beitragen.

1 Physikalische Grundlagen

Die nachstehenden Versuche wurden mit dem Ziel durchgeführt, das Lambertsche Gesetz und das Abstandsgesetz experimentell zu überprüfen.

Wenn wie in dem Versuch ein Lichtbündel auf eine reflektierende Oberfläche trifft, so werden die jeweiligen Lichtstrahlen entweder in unterschiedliche Richtungen oder im gleichen Winkel zurückgeworfen. Treffen die Lichtstrahlen dabei auf eine glatte Oberfläche, beispielsweise einen Spiegel, so tritt eine spekulare Reflexion auf. Treffen die Strahlen wiederrum auf eine raue Oberfläche, wie beispielsweise das im Versuch zu untersuchende Pappstück, so kommt es zu einer diffusen Reflexion, das heißt, die Lichtstrahlen werden in ganz unterschiedliche Richtungen reflektiert (vgl. Abb. 1.1). Handelt es sich um einen perfekten diffusen Reflektor, wie zum Beispiel eine mattweiße Fläche einer Leinwand (Meschede 2010, S. 587) so gilt das Lambertsche Gesetz

$$\Phi \propto \cos \varepsilon_1$$

(o.V. WiSe2024).

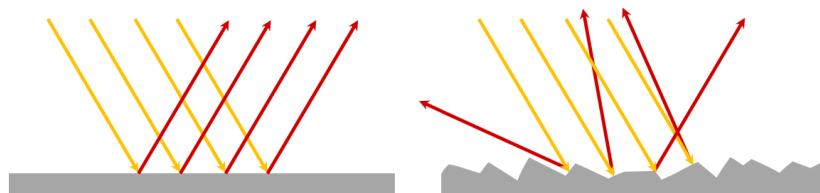


Abb. 1.1: Reflexion von Licht an einer glatten (links) und einer rauen (rechts) Oberfläche (o.V. WiSe2024).

Um das Lambertsche Gesetz herleiten zu können, werden zunächst einige photometrische Grundgrößen benötigt:

| | | |
|---------------------|--|--|
| Strahlungsfluss: | $\Phi = \frac{dQ}{dt}$ | |
| Bestrahlungsstärke: | $E = \frac{d\Phi}{dA_2}$ | mit $dA'_2 = dA_2 \cos(\varepsilon_2)$ |
| Strahlungsstärke: | $I = \frac{d\Phi}{d\Omega_2} = \frac{ER^2}{\cos(\varepsilon_2)}$ | |
| Strahlungsleistung: | $M = \frac{d\Phi}{dA_1}$ | mit $dA'_1 = dA_1 \cos(\varepsilon_1)$ |
| Strahlungsdichte: | $B = \frac{dM}{d\Omega_2} = \frac{d^2\Phi}{dA'_1 d\Omega_2}$ | |

Dabei ist dA_1 die von einer Strahleroberfläche ausgehende Strahlung, welche die Fläche dA'_2 der Kugeloberfläche durchdringt. Die Flächen dA_1 und dA_2 entsprechen den Flächenelementen dA'_1 und dA'_2 mit einer Rotation um den Winkel ε_1 beziehungsweise ε_2 .

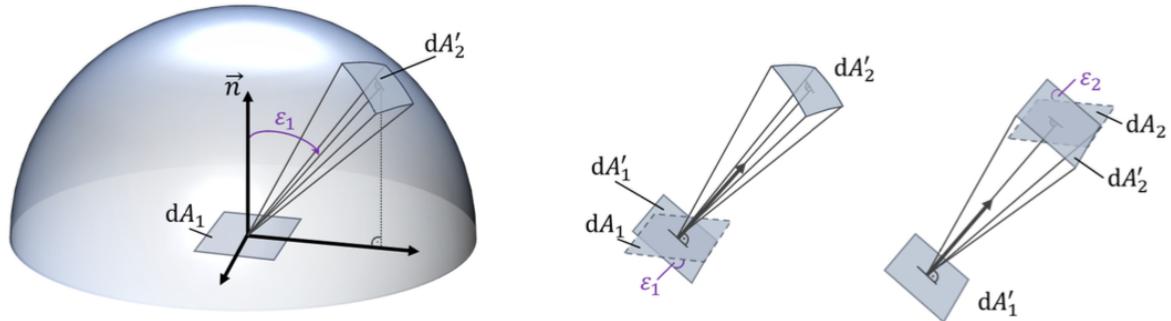


Abb. 1.2: Darstellung des Zusammenhangs einer Strahleroberfläche und ausgehender Strahlung (o.V. WiSe2024).

Damit die Richtungsabhängigkeit der Strahlungsleistung ermittelt werden kann, wird anstelle des Flächenelements dA'_2 der Kugeloberfläche, wie in Abbildung 1.2 zu sehen, das Raumwinkelement $d\Omega$ betrachtet. Für das Raumwinkelement $d\Omega$ gilt

$$d\Omega = \frac{\text{Kugeloberfläche}}{\text{Radius}^2} = \frac{d\Omega_2}{\Omega} = \frac{dA'_2}{4\pi R^2},$$

wobei $\Omega = 4\pi$ den vollen Raumwinkel der Kugel darstellt und R der Abstand des Flächenelements dA'_2 zum Strahler ist (Walcher 1994, S. 187), (o.V. WiSe2024).

Zur Ermittlung der Bestrahlungsstärke „eines jeden Flächenelements von einem Punkt der Strahlungsoberfläche“ (o.V. WiSe2024) ergibt sich folgender Zusammenhang

$$\frac{d^2\Phi}{dA_1 dA_2} = \frac{B}{R^2} \cos(\varepsilon_1) \cos(\varepsilon_2).$$

Ist die Strahlungsdichte einer Lichtquelle nicht von der Abstrahlungsrichtung abhängig, so wird diese als ein Lambert-Strahler bezeichnet. Ein Beispiel für einen perfekten Lambert-Strahler stellt die Sonne dar, welche nach allen Seiten gleich abstrahlt (Meschede 2010, S. 586).

In dem durchgeführten Experiment wird eine Photodiode als Detektor zur Messung der Strahlungsleistung verwendet. Diese Diode kann als punktförmig angesehen werden, sodass für die Fläche A_2 der Radius R konstant angenommen werden kann. Zudem wird die Photodiode direkt auf den Strahler ausgerichtet, sodass für den Winkel $\varepsilon_2 = 0 \Rightarrow \cos(\varepsilon_2) = 1$ folgt. Damit gilt insgesamt für die Bestrahlungsstärke

$$\frac{d\Phi}{dA_1} = \frac{BA_2}{R^2} \cos(\varepsilon_1).$$

Ebenfalls kann für einen großen Abstand zwischen Strahler und Diode, die Lichtquelle als punktförmig angesehen werden, womit für die Fläche A_1 gleichermaßen der Radius R als

konstant angenommen werden kann. Insgesamt ergibt sich daraus für konstante Abstrahlwinkel ε_1 das Abstandsgesetz

$$\Phi \propto \frac{1}{R^2}$$

und für konstante Abstände R das oben bereits erwähnte Lambertsche Gesetz

$$\Phi \propto \cos(\varepsilon_1)$$

(o.V. [WiSe2024](#)).

Zur Messung der Strahlungsleistung wird die bereits erwähnte Photodiode verwendet. Diese besteht aus einem p- und n-dotierten Halbleiter, wobei der n-dotierte Halbleiter einen Elektronenüberschuss und der p-dotierte Halbleiter freibewegliche Lücken aufweist. Die Elektronen bewegen sich dabei so zwischen den Halbleiterschichten, dass die Elektronen zur n-Seite und die Löcher zur p-Seite beschleunigt werden. Dadurch entsteht eine entgegengesetzte Bewegung und die elektrische Feldstärke innerhalb der Raumladungszone zwischen den Leitern erhöht sich, wodurch ein Stromfluss entsteht. Dieser Vorgang kann durch Lichteinstrahlung in Gang gesetzt werden, sodass Elektronen aus der p-dotierten Seite angeregt und herausgelöst werden. Diese durch diesen Vorgang entstehende Spannung wird von der Diode abgegriffen und kann mittels eines Voltmeters abgelesen werden, um damit die Strahlungsleistung bestimmen zu können ([Universität Göttingen 2014](#)).

2 Lambert Strahler

2.1 Versuchsaufbau- und durchführung

Wie in Abbildung 2.1 zu sehen, sind verschiedene Instrumente hintereinander auf einer Schiene angebracht. Ganz links befindet sich die Lichtquelle, welche in Richtung der Probenhalterung strahlt. In circa 20 cm Abstand zur Lichtquelle befindet sich eine Irisblende. Durch einen Hebel an der Seite der Lochblende kann durch Schieben die Öffnung vergrößert beziehungsweise verkleinert werden, sodass mehr oder weniger Licht hindurchfallen kann. Wiederum circa 27 cm von der Irisblende entfernt ist eine Sammellinse auf der Schiene angeschraubt. Mittels der Linse wird das Licht auf dem Probenschirm fokussiert. Dieser dadurch resultierende Lichtpunkt kann als Lambert-Strahler aufgefasst werden.

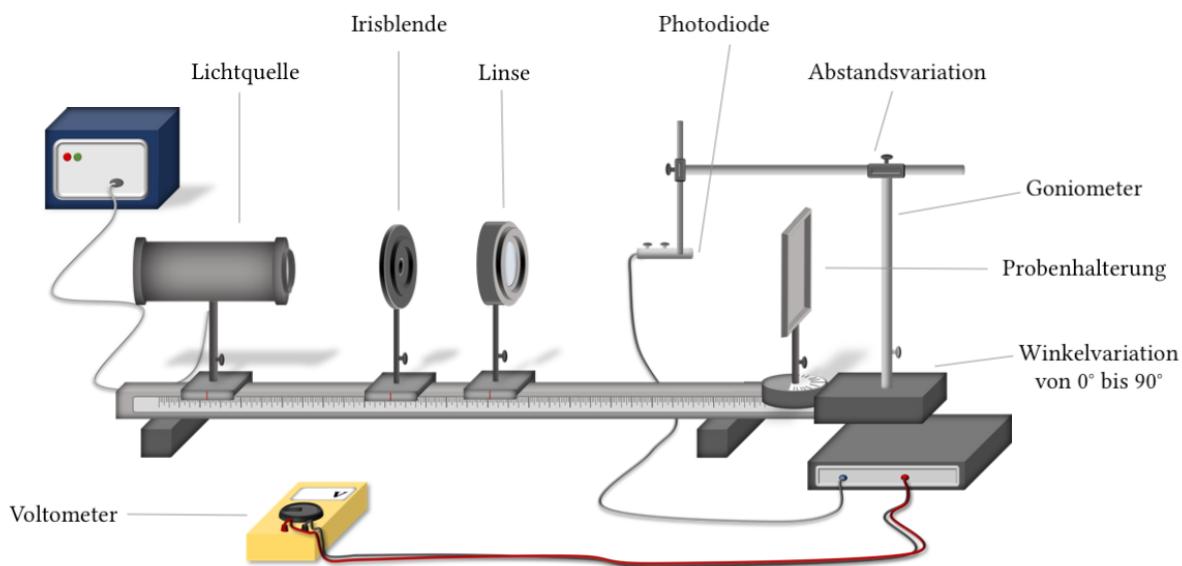


Abb. 2.1: Darstellung des Versuchsaufbaus (o.V. WiSe2024).

An einem drehbaren Gestell, auch Goniometer genannt, ist rechts von der Sammellinse eine Photodiode angebracht. Über diese Photodiode kann die Lichtintensität gemessen werden. Der Schwenkarm lässt sich insgesamt um 180° drehen, wobei die Skala in der Mitte bei 0° beginnt, und damit die Photodiode sich in einer Linie mit dem Lichtstrahl befindet. Deswegen ist eine Messung bei 0° Auslenkung unbrauchbar, da die Photodiode die Lichtquelle blockiert. Wird das Goniometer nach rechts oder links ausgelenkt, so lassen sich jeweils in Zehnerschritten die Winkelvariationen bis 90° einstellen, wobei bei einer Auslenkung von 90° die Photodiode sich seitlich parallel zur Probenhalterung befindet. Gleichzeitig lässt sich über eine Stellschraube

am Goniometer der Abstand der Diode zwischen der Probenhalterung und der Linse einstellen. Hierbei ist an dem durch eine Stellschraube zu verschiebenden Teil des Goniometers eine Skala in 0,5 cm Schritten angezeichnet. Der Schirm, auf welchem die Probe angebracht wird, befindet sich, wie in Abbildung 2.1 gezeigt, zwischen der Photodiode und der schwenkbaren Halterung. Die Diode ist zudem an ein Voltmeter angeschlossen, um die von der Photodiode gemessene Spannung ablesen zu können. Wichtig hierbei ist, dass das Voltmeter auf Gleichspannung in einem Messbereich von 2 V eingestellt wird. Der Versuchsraum wurde vor den Messungen komplett abgedunkelt.

Zur Durchführung der ersten Messreihe wird auf dem Probentisch eine Pappscheibe befestigt. Die Photodiode wird für die erste Messung auf den geringstmöglichen Abstand vom Schirm eingestellt. Im vorherrschenden Versuchsaufbau war dies bei 5,0 cm der Fall. Nachdem die Diode auf einen Winkel von 10° ausgelenkt wurde, wird die Irisblende so lange erweitert beziehungsweise verengt, bis das Voltmeter ein Messsignal zwischen 1,5 V und 1,9 V anzeigt. Dies ist der Startwert für die Messreihe mit einem Abstand von 5,0 cm. Nun wird die Photodiode in 10° Schritten bis 90° ausgelenkt und jedes Mal der angezeigte Messwert des Voltmeters im Versuchsprotokoll festgehalten. Dieses Vorgehen wird nun für zehn unterschiedliche Abstände R wiederholt. Das heißt, der Abstand wird durch Verschieben des Messstabes am Goniometer nach und nach vergrößert, der Winkel wieder auf 10° zurückgesetzt und über die Lochblende abermals ein Startwert zwischen 1,5 V und 1,9 V eingestellt. Mit diesen Voraussetzungen kann nun abermals die Spannung für die Winkel von 10° bis 90° am Voltmeter abgelesen werden.

Für die Erstellung einer weiteren Messreihe wird anschließend das Pappestück durch eine Aluminiumfolie ersetzt. Die Versuchsdurchführung der Folie erfolgt analog. Allerdings genügt es hierbei, für die Messung der Winkelabhängigkeit und der Strahlungsleistung, Werte für drei verschiedene Abstände R zu ermitteln.

2.2 Auswertung der Messergebnisse

Auf Grundlage der im vorherigen Kapitel beschriebenen Versuchsdurchführung werden die damit erlangten Messeregebnisse nun ausgewertet.

Dunkelstromkorrektur

Zuallererst wird an den Messwerten für Pappe in Tabelle 2.1 eine Dunkelstromkorrektur durchgeführt. Hierfür wird die bei 90° gemessene Spannung einer Messreihe jeweils von allen anderen Spannungswerten dieser Messreihe subtrahiert. Das heißt, am Beispiel der Messreihe von 5,0 cm, wird der Wert von 90° mit 0,03 V von allen anderen Werten zwischen 10° und 80° abgezogen. Analog erfolgt dies mit allen weiteren Spalten. Das Ergebnis der Dunkelstromkorrektur ist in Tabelle 2.1 zu sehen.

Per Definition wird „als Dunkelstrom ein Strom bezeichnet, welcher an der Photodiode auftritt, obwohl kein Licht des zu untersuchenden Strahlers auf die Diode trifft“ (o.V. WiSe2024). Das heißt, das bei einer Auslenkung von 90° von der Pappe eigentlich kein Licht mehr reflektiert werden dürfte. Somit muss der von der Photodiode erfasste Strom aus einer anderen Quelle als von der Abstrahlung der Pappe stammen.

Mögliche Gründe für die Erfassung eines Dunkelstroms könnten dabei sein:

- Der Versuchsräum war nicht vollständig abgedunkelt. Obwohl Verdunklungsjalousien an den Fenstern herabgelassen wurden und alle Türen geschlossen waren, konnte durch die eingelassene Glasscheibe an zwei Türen geringfügig Licht vom Flur in den Raum fallen. Zudem befanden sich noch zwei weitere Versuchsgruppen im Raum. Trotz schwarzer Trennwände zwischen den Versuchsaufbauten konnte auch so durch dafür benötigte Lichtquellen ein gewisser Grad an Lichtverschmutzung stattfinden.
- Der Dunkelstrom an lichtempfindlichen Zellen wie einer Photodiode ist zudem temperaturabhängig. Im Versuchsräum herrschte zum Versuchszeitpunkt vermutlich eine konstante Raumtemperatur vor, doch durch das Verändern des Auslenkungswinkels der Diode ist es durchaus möglich, dass die Körperwärme durch das Näherkommen leichte Temperaturänderungen mit sich zog.

Für die Messwerte der Aluminiumfolie (Tabelle 2.4) war eine Dunkelstromkorrektur nicht nötig, da die Werte für 90° bereits 0,0 V waren.

| Winkel \ Abstand | 5,0 cm | 5,5 cm | 6,0 cm | 6,5 cm | 7,0 cm | 7,5 cm | 8,0 cm | 9,0 cm | 10,0 cm | 12,0 cm |
|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 10° | 1,65 | 1,69 | 1,70 | 1,78 | 1,77 | 1,76 | 1,73 | 1,72 | 1,83 | 1,75 |
| 20° | 1,37 | 1,46 | 1,51 | 1,61 | 1,58 | 1,51 | 1,49 | 1,49 | 1,59 | 1,56 |
| 30° | 1,10 | 1,26 | 1,33 | 1,45 | 1,38 | 1,32 | 1,28 | 1,28 | 1,37 | 1,36 |
| 40° | 0,89 | 1,07 | 1,14 | 1,25 | 1,19 | 1,11 | 1,10 | 1,06 | 1,15 | 1,14 |
| 50° | 0,66 | 0,83 | 0,90 | 1,03 | 0,95 | 0,91 | 0,87 | 0,83 | 0,88 | 0,91 |
| 60° | 0,42 | 0,60 | 0,66 | 0,80 | 0,68 | 0,68 | 0,61 | 0,61 | 0,64 | 0,66 |
| 70° | 0,20 | 0,33 | 0,42 | 0,53 | 0,42 | 0,42 | 0,38 | 0,39 | 0,39 | 0,41 |
| 80° | 0,05 | 0,14 | 0,17 | 0,25 | 0,23 | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,15 |
| 90° | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |

Tabelle 2.1: Messwerte von Pappe in Volt.

| Winkel \ Abstand | 5,0 cm | 5,5 cm | 6,0 cm | 6,5 cm | 7,0 cm | 7,5 cm | 8,0 cm | 9,0 cm | 10,0 cm | 12,0 cm |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 10° | 1,62 | 1,68 | 1,69 | 1,75 | 1,76 | 1,76 | 1,73 | 1,72 | 1,83 | 1,74 |
| 20° | 1,34 | 1,45 | 1,50 | 1,58 | 1,57 | 1,51 | 1,49 | 1,49 | 1,59 | 1,55 |
| 30° | 1,07 | 1,25 | 1,32 | 1,42 | 1,37 | 1,32 | 1,28 | 1,28 | 1,37 | 1,35 |
| 40° | 0,86 | 1,06 | 1,13 | 1,22 | 1,18 | 1,11 | 1,10 | 1,06 | 1,15 | 1,13 |
| 50° | 0,63 | 0,82 | 0,89 | 1,00 | 0,94 | 0,91 | 0,87 | 0,83 | 0,88 | 0,90 |
| 60° | 0,39 | 0,59 | 0,65 | 0,77 | 0,67 | 0,68 | 0,61 | 0,61 | 0,64 | 0,65 |
| 70° | 0,17 | 0,32 | 0,41 | 0,50 | 0,41 | 0,42 | 0,38 | 0,39 | 0,39 | 0,40 |
| 80° | 0,02 | 0,13 | 0,16 | 0,22 | 0,22 | 0,20 | 0,17 | 0,15 | 0,13 | 0,14 |
| 90° | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Dunkelstromkorrektur | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| U(40°) | 0,86 | 1,06 | 1,13 | 1,22 | 1,18 | 1,11 | 1,1 | 1,06 | 1,15 | 1,13 |

Tabelle 2.2: Messwerte von Pappe in Volt mit Dunkelstromkorrektur.

Winkelabhängigkeit des Lambertschen Gesetzes

Alle durchgeführten Messungen wurden für verschiedene konstante Abstände R vorgenommen. Somit kann für das Lambertsche Gesetz eine direkte Proportionalität der Lichtintensität zum eingestellten Winkel angenommen werden. Kurz: $\Phi \propto \cos \varepsilon$. Für aussagekräftigere Ergebnisse erfolgt eine Normierung auf die bei $\varepsilon = 40^\circ$ gemessenen Werte. Hierfür kann der aus dem Lambertschen Gesetz abgeleitete Zusammenhang von

$$\frac{U(\varepsilon)}{U(40^\circ)} = \frac{\cos(\varepsilon)}{\cos(40^\circ)} \Rightarrow U(\varepsilon) = U(40^\circ) \cdot \frac{\cos(\varepsilon)}{\cos(40^\circ)}$$

genutzt werden. Dabei entspricht $U(\varepsilon)$ den Messwerten, wobei die Normierung auf $U(40^\circ)$ der Zeile 40° zu entnehmen ist und festgehalten wird. In den Zähler $\cos(\varepsilon)$ wird der jeweilige zugehörige Winkel eingetragen. So ergibt sich beispielsweise für die Messreihe mit dem Abstand $R = 5,0 \text{ cm}$ bei einem Winkel von 10°

$$\cos(10^\circ) \cdot \frac{U_{5,0 \text{ cm}}(10^\circ)}{U_{5,0 \text{ cm}}(40^\circ)} = \cos(10^\circ) \cdot \frac{1,62 \text{ V}}{0,86 \text{ V}} = 1,883721.$$

Alle weiteren normierten Werte werden analog berechnet und sind in Tabelle 2.3 zu finden. Als Grundlage für die Normierung wurden die Dunkelstromkorrigierten Messwerte für Pappe herangezogen.

Die ermittelten normierten Werte werden nun im Folgenden als Funktion $\frac{U(\varepsilon)}{U(40^\circ)}$ über dem Winkel ε als Grafik aufgetragen. Dies erfolgt jeweils für zwei Messreihen mit unterschiedlichem Abstand R und dem Graphen einer Kosinusfunktion, welche ungefähr dem theoretisch erwarteten Verlauf eines Lambert-Strahlers entspricht. Diese Aufteilung erfolgt deswegen, da ein Diagramm mit allen zehn Messreihen und der Kosinusfunktion zu unübersichtlich werden würde. Die bereits genannte Kosinusfunktion, welche dem Lambert-Gesetz $\Phi \propto \cos \varepsilon$ entspricht, wurde folgendermaßen konstruiert: Die Kosinusfunktion für alle gemessenen Winkel von 10° bis 90° wurde mithilfe der Formel

$$\cos\left(\frac{\varepsilon \cdot 2\pi}{360^\circ}\right)$$

vom Gradmaß ins Bogenmaß überführt. Der für die Normierung angewandte Winkel $\varepsilon = 40^\circ$ entspricht im Bogenmaß dem Wert $\frac{2}{9}\pi$. Somit ergibt sich insgesamt für die dem Lambert-Strahler entsprechende Kosinusfunktion:

$$\frac{\cos\left(\frac{\varepsilon \cdot 2\pi}{360^\circ}\right)}{\cos\left(\frac{2}{9}\pi\right)}.$$

Die daraus resultierenden Werte können aus Tabelle 2.3 entnommen werden.

| Winkel \ Abstand | 5,0 cm | 5,5 cm | 6,0 cm | 6,5 cm | 7,0 cm | 7,5 cm | 8,0 cm | 9,0 cm | 10,0 cm | 12,0 cm | $\frac{\cos(\epsilon)}{\cos(40^\circ)}$ |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
| 10° | 1,883721 | 1,584906 | 1,495575 | 1,434426 | 1,491525 | 1,585586 | 1,572727 | 1,622642 | 1,591304 | 1,539823 | 1,285575 |
| 20° | 1,558140 | 1,367925 | 1,327434 | 1,295082 | 1,330508 | 1,360360 | 1,354545 | 1,405660 | 1,382609 | 1,371681 | 1,226682 |
| 30° | 1,244186 | 1,179245 | 1,168142 | 1,163934 | 1,161017 | 1,189189 | 1,163636 | 1,207547 | 1,191304 | 1,194690 | 1,130516 |
| 40° | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 | 1,000000 |
| 50° | 0,732558 | 0,773585 | 0,787611 | 0,819672 | 0,796610 | 0,819820 | 0,790909 | 0,783019 | 0,765217 | 0,796460 | 0,839100 |
| 60° | 0,453488 | 0,556604 | 0,575221 | 0,631148 | 0,567797 | 0,612613 | 0,554545 | 0,575472 | 0,556522 | 0,575221 | 0,652704 |
| 70° | 0,197674 | 0,301887 | 0,362832 | 0,409836 | 0,347458 | 0,378378 | 0,345455 | 0,367925 | 0,339130 | 0,353982 | 0,446476 |
| 80° | 0,023256 | 0,122642 | 0,141593 | 0,180328 | 0,186441 | 0,180180 | 0,154545 | 0,141509 | 0,113043 | 0,123894 | 0,226682 |
| 90° | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 | 0,000000 |

Tabelle 2.3: Normierte Messwerte von Pappe mit Dunkelstromkorrektur.

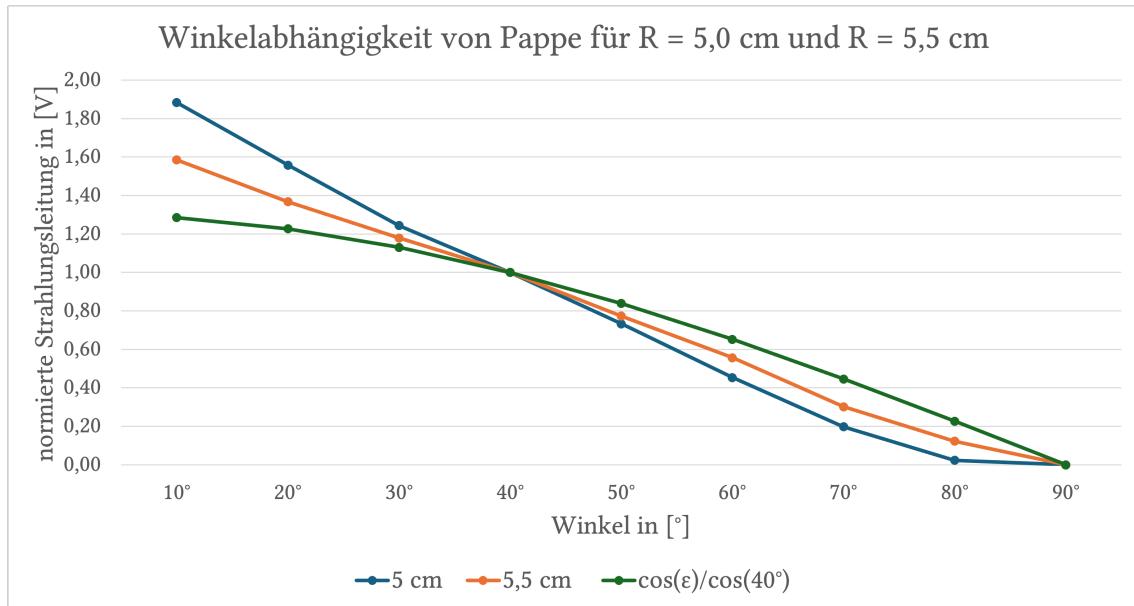


Abb. 2.2: Normierte Intensität als Funktion des Winkels für Pappe für die Abstände $R = 5,0 \text{ cm}$ und $R = 5,5 \text{ cm}$.

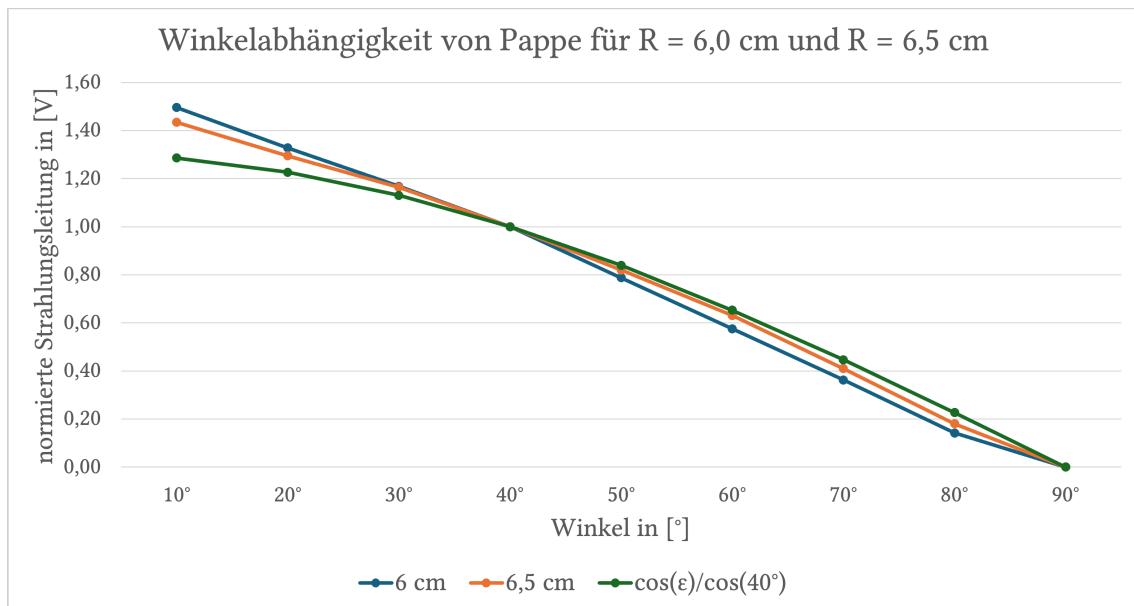


Abb. 2.3: Normierte Intensität als Funktion des Winkels für Pappe für die Abstände $R = 6,0 \text{ cm}$ und $R = 6,5 \text{ cm}$.

Der Vergleich aller Abbildungen von Abbildung 2.2 bis 2.6 zeigt eine sehr große Ähnlichkeit zwischen allen Graphen, weswegen die Messwerte auch nicht in einem großen Diagramm visualisiert wurden, sondern und mehreren kleinen, da sonst zu viele Überlagerungen eine genaue Zuordnung einer Messreihe unmöglich machen würden. Die grundsätzlich in jeder Abbildung grün gefärbte Kosinusfunktion schmiegt sich bei fast allen Messreihen an die Messkurven an, sodass die Winkelabhängigkeit des Lambertschen Gesetzes wahrnehmbar wird. Vor allem in Abbildung 2.3 und 2.4 sind alle drei Kurven bis auf geringfügige Abstände sehr nahe. In den Abbildungen 2.5 und 2.6 fallen die Messreihen zunächst stärker als die Kosinusfunktion, nähern sich allerdings nach der Normierung bei 40° stark an diese an. Am größten sind die

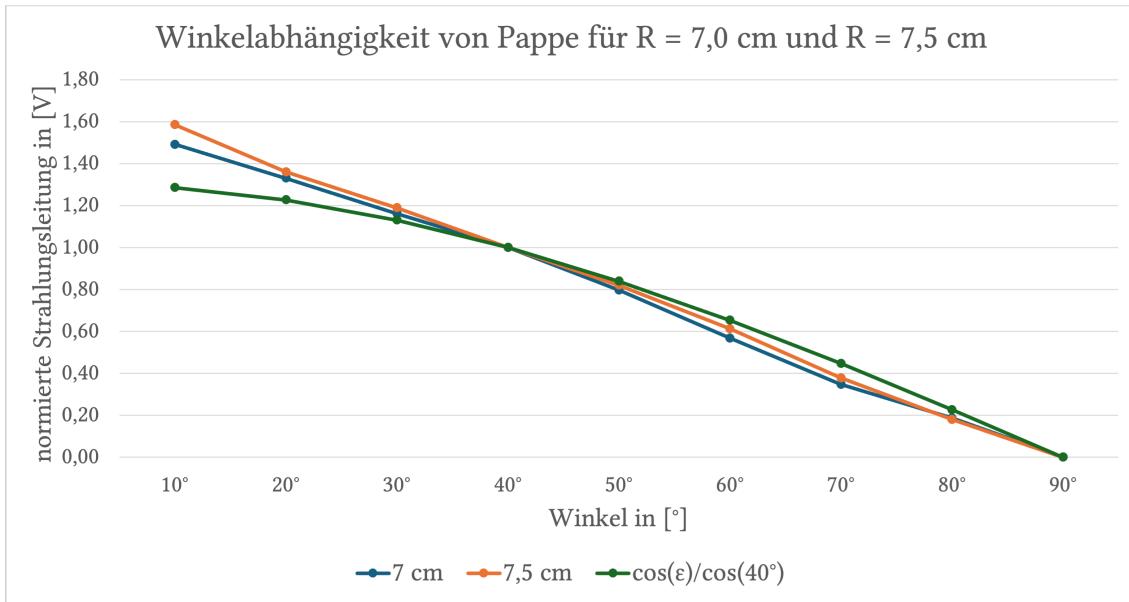


Abb. 2.4: Normierte Intensität als Funktion des Winkels für Pappe für die Abstände $R = 7,0 \text{ cm}$ und $R = 7,5 \text{ cm}$.

Unterschiede der Kurven in Abbildung 2.2 zu sehen. Während die Kosinusfunktion einen eher flacheren Verlauf nimmt, starten die Messreihen $R = 5,0 \text{ cm}$ und $R = 5,5 \text{ cm}$ deutlich steiler und fallen demnach auch stärker ab. Dadurch befinden sich die Kurven zuerst oberhalb der Kosinusfunktion und verlaufen nach dem Schnittpunkt bei 40° aufgrund der Normierung aller Funktionen unterhalb der grünen Kurve. Es fällt auf, dass bei den meisten Graphen ein leichter Knick bei 80° erkennbar ist. Bei den Messreihen mit den Abständen $R = 7,0 \text{ cm}$ und $R = 7,5 \text{ cm}$ (Abb. 2.4) ist der Knick bereits bei 70° erfolgt. Insgesamt lässt sich festhalten, dass es sich bei dem Pappstück nicht um einen idealen Lambert-Strahler handelt, diese dem allerdings schon ziemlich nahe kommt. Vor allem bei kleineren und größeren Auslenkungen, durch einen steileren Abfall oder Knicke, ergeben sich Abweichungen.

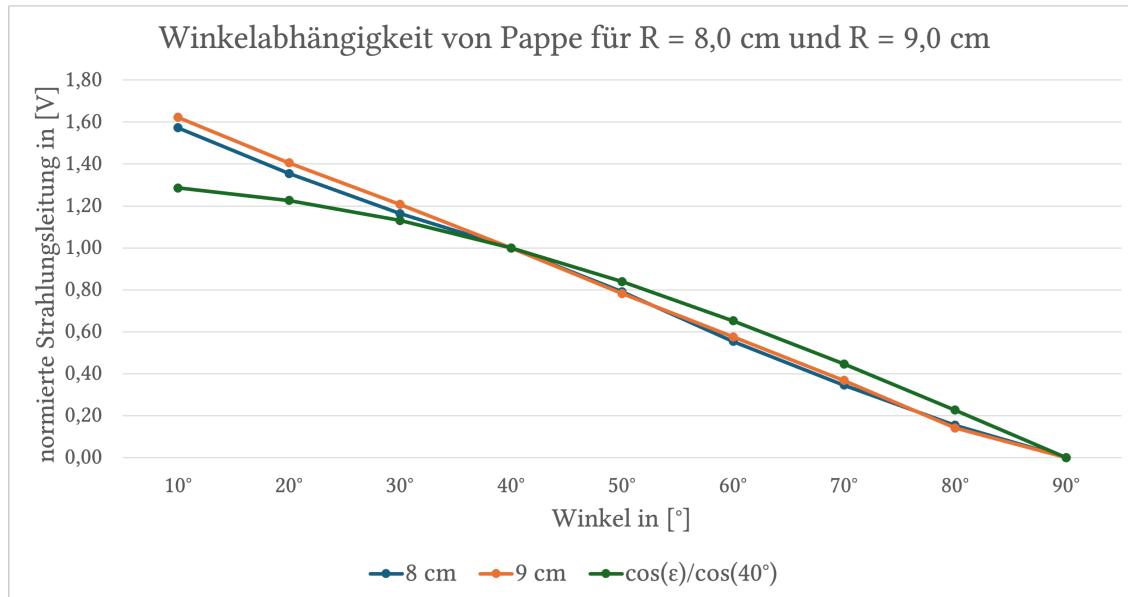


Abb. 2.5: Normierte Intensität als Funktion des Winkels für Pappe für die Abstände $R = 8,0 \text{ cm}$ und $R = 9,0 \text{ cm}$.

Den ausgewerteten Ergebnissen von Pappe werden nun die Messergebnisse der Aluminiumfolie entgegengestellt. Hierfür wurden die Messwerte zuerst ebenfalls auf $\epsilon = 40^\circ$ normiert.

| Winkel \ Abstand | 5,0 cm | 9,5 cm | 24,0 cm |
|------------------|--------|--------|---------|
| 10° | 1,63 | 1,86 | 1,77 |
| 20° | 0,26 | 0,42 | 0,67 |
| 30° | 0,05 | 0,07 | 0,22 |
| 40° | 0,02 | 0,02 | 0,07 |
| 50° | 0,01 | 0,01 | 0,03 |
| 60° | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| 70° | 0,00 | 0,00 | 0,01 |
| 80° | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 90° | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $U(40^\circ)$ | 0,02 | 0,02 | 0,07 |

Tabelle 2.4: Messwerte von Aluminium in Volt.

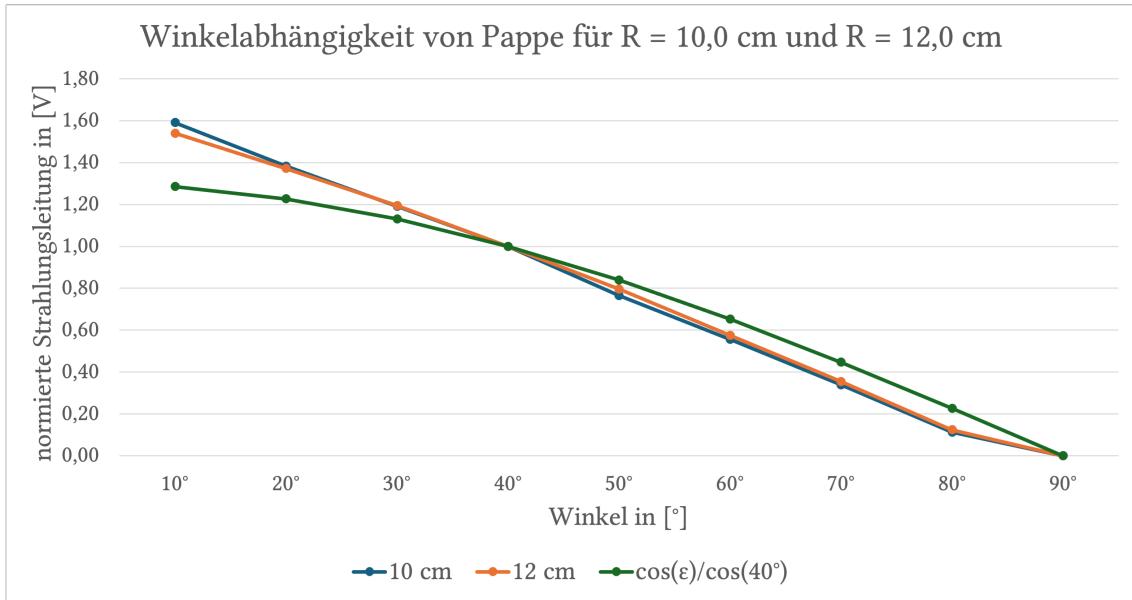


Abb. 2.6: Normierte Intensität als Funktion des Winkels für Pappe für die Abstände $R = 10,0\text{ cm}$ und $R = 12,0\text{ cm}$.

| Winkel \ Abstand | 5,0 cm | 9,5 cm | 24,0 cm | $\frac{\cos(\epsilon)}{\cos(40^\circ)}$ |
|------------------|--------|--------|---------|---|
| Winkel | | | | |
| 10° | 81,50 | 93,00 | 25,29 | 1,285575 |
| 20° | 13,00 | 21,00 | 9,57 | 1,226682 |
| 30° | 2,50 | 3,50 | 3,14 | 1,130516 |
| 40° | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,000000 |
| 50° | 0,50 | 0,50 | 0,43 | 0,839100 |
| 60° | 0,00 | 0,00 | 0,29 | 0,652704 |
| 70° | 0,00 | 0,00 | 0,14 | 0,446476 |
| 80° | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,226682 |
| 90° | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,000000 |

Tabelle 2.5: Normierte Messwerte von Aluminium.

Die Messwerte werden analog zu denen der Pappe in einem Diagramm der Form $\frac{U(\epsilon)}{U(40^\circ)}$ über den Winkel ϵ aufgetragen. Gleichermaßen wird die oben bereits berechnete Kosinusfunktion zum Vergleich mit in das Diagramm eingezeichnet.

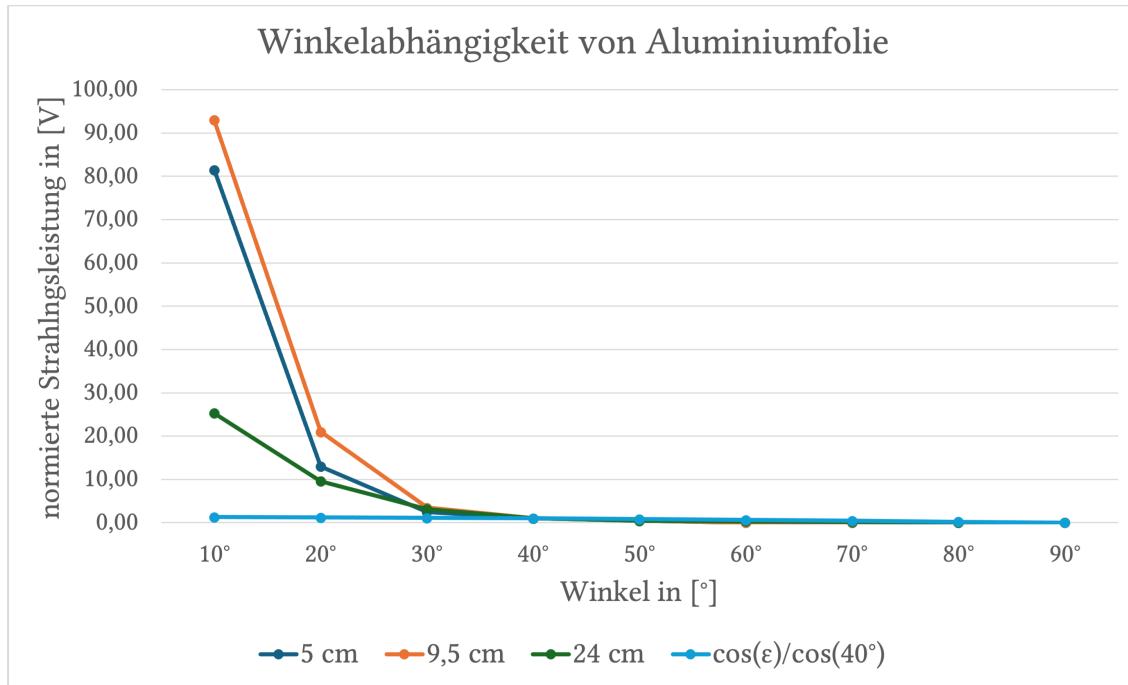


Abb. 2.7: Normierte Intensität als Funktion des Winkels für Aluminium für die Abstände $R = 5,0$ cm, $R = 9,5$ cm und $R = 24,0$ cm.

Es fällt sofort auf, dass die nunmehr in hellblau abgetragene Kosinusfunktion in Abbildung 2.7 bis zur Normierung bei 40° in keinster Weise zum Verlauf der Messkurven von Alufolie passt. Die Messreihen des Alustücks erinnern eher an einen exponentiellen Verlauf, sodass gefolgt werden kann, dass es sich bei Alufolie um keinen Lambert-Strahler handelt. Vergleicht man die Verläufe von Alufolie mit denen der Pappe, welche der Kosinusfunktion fast entsprachen, so ergibt sich auch hier kein Zusammenhang zwischen den beiden Probestücken.

Abstandsabhängigkeit des Lambertschen Gesetzes

Wird nun die gemessene Strahlungsleistung an der Pappe für alle Winkel ε gegen $\frac{1}{R^2}$ aufgetragen, so lässt sich das Abstandsgesetz $\Phi \propto \frac{1}{R^2}$ überprüfen. Hierfür werden die Messwerte von Pappe nochmals angepasst (2.6), wobei die Werte über 90° nicht aufgezeichnet werden, da diese aufgrund der Dunkelstromkorrektur konstant null sind.

| Abstand | $1/R^2$ | Winkel | | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° |
|---------|-------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| | | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | | |
| 5,0 cm | 40,00000000 | 1,62 | 1,34 | 1,07 | 0,86 | 0,63 | 0,39 | 0,17 | 0,02 | | |
| 5,5 cm | 33,05785124 | 1,68 | 1,45 | 1,25 | 1,06 | 0,82 | 0,59 | 0,32 | 0,13 | | |
| 6,0 cm | 27,77777778 | 1,69 | 1,50 | 1,32 | 1,13 | 0,89 | 0,65 | 0,41 | 0,16 | | |
| 6,5 cm | 23,66863905 | 1,75 | 1,58 | 1,42 | 1,22 | 1,00 | 0,77 | 0,50 | 0,22 | | |
| 7,0 cm | 20,40816327 | 1,76 | 1,57 | 1,37 | 1,18 | 0,94 | 0,67 | 0,41 | 0,22 | | |
| 7,5 cm | 17,77777778 | 1,76 | 1,51 | 1,32 | 1,11 | 0,91 | 0,68 | 0,42 | 0,20 | | |
| 8,0 cm | 15,62500000 | 1,73 | 1,49 | 1,28 | 1,10 | 0,87 | 0,61 | 0,38 | 0,17 | | |
| 9,0 cm | 12,34567901 | 1,72 | 1,49 | 1,28 | 1,06 | 0,83 | 0,61 | 0,39 | 0,15 | | |
| 10,0 cm | 10,00000000 | 1,83 | 1,59 | 1,37 | 1,15 | 0,88 | 0,64 | 0,39 | 0,13 | | |
| 12,0 cm | 6,94444444 | 1,74 | 1,55 | 1,35 | 1,13 | 0,90 | 0,65 | 0,40 | 0,14 | | |

Tabelle 2.6: Abstandsabhängigkeit der Intensität von Pappe.

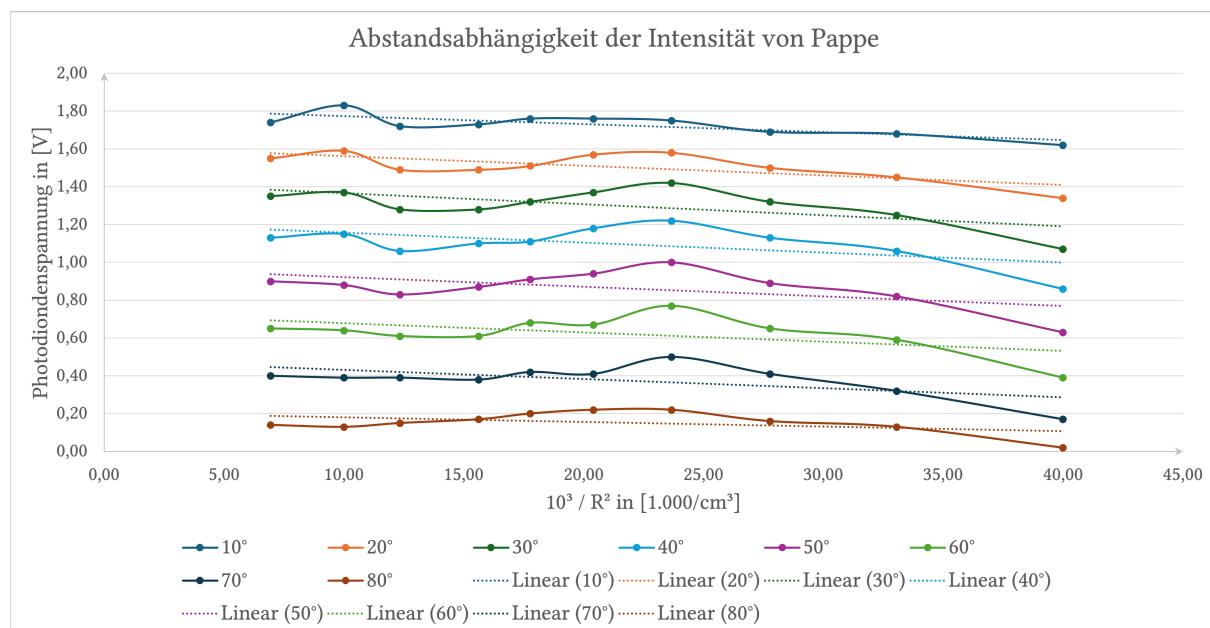


Abb. 2.8: Abstandsabhängigkeit der Intensität von Pappe.

Aus dem Abstandsgesetz $\Phi \propto \frac{1}{R^2}$ folgt, dass die Graphen in Abbildung 2.8 Geraden mit Steigung m abhängig vom Winkel ε ergeben. Für jede Gerade wurde mittels des Programms Excel

eine gepunktet dargestellte Ausgleichsgerade eingezeichnet. Insgesamt verhalten sich die Messpunkte bis auf kleinere Ausreißer als linear. Ebenso fällt auf, dass alle Messgerade von 10° bis 90° fast parallel verlaufen. Bei den Ausreißern handelt es sich vermutlich um kleinere Messfehler welche im Folgenden nochmals näher beleuchtet werden sollen. Insgesamt lässt sich mit dem Probestück Pappe die Abstandsabhängigkeit des Lambertschen Gesetzes nachweisen. Dasselbe wird nun mit den Messwerten von Aluminium wiederholt.

| Abstand | $1/R^2$ | Winkel | | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° |
|---------|-----------|--------|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | | |
| 5,0 cm | 40,00000 | 1,63 | 0,26 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 9,5 cm | 11,080332 | 1,86 | 0,42 | 0,07 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 24,0 cm | 1,736111 | 1,77 | 0,67 | 0,22 | 0,07 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabelle 2.7: Abstandsabhängigkeit der Intensität von Aluminium.

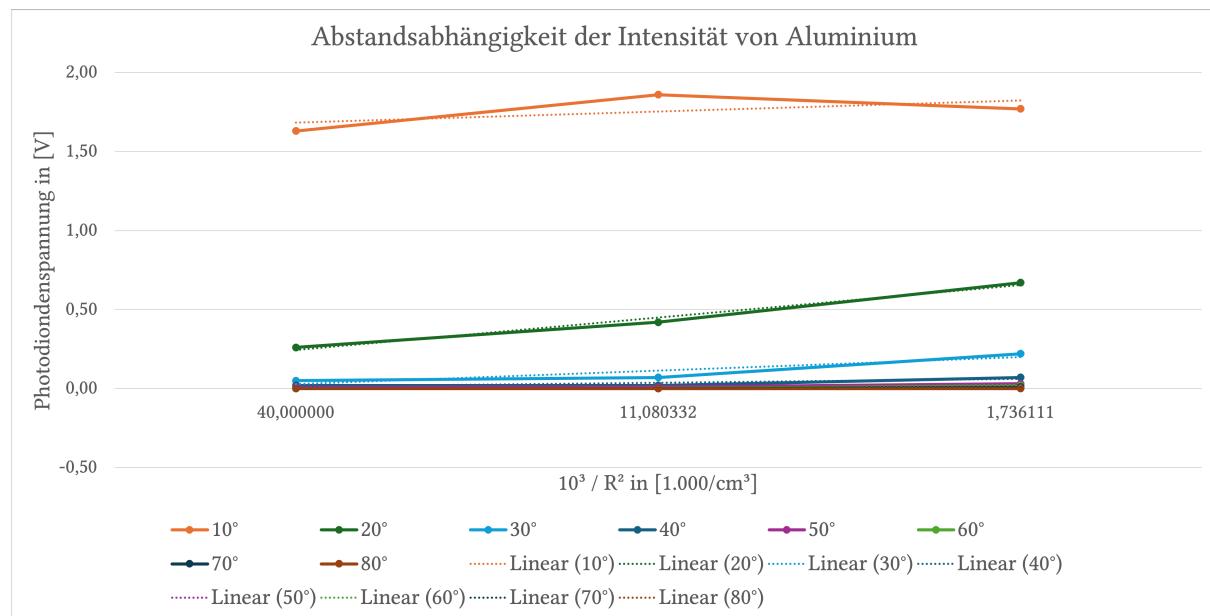


Abb. 2.9: Abstandsabhängigkeit der Intensität von Aluminium.

Aus Abbildung 2.9 lässt sich ableiten, dass das Abstandsgesetz auch für Aluminium gilt, obwohl die Aluminiumprobe definitiv kein Lambert-Strahler ist. Dies ist deswegen möglich, da sich das Lambertsche Gesetz aus dem Abstandsgesetz folgt, und die Messwerte für Aluminium die Voraussetzungen für konstante Abstände erfüllt.

Fehlerbetrachtung

Während der Durchführung des Versuchs sind mehrere Fehlerquellen möglich. Wie bereits im Teilkapitel der Dunkelstromkorrektur erwähnt, kann es aufgrund der Raumgegebenheit zu diverser Lichtverschmutzung kommen, wodurch der Versuch verfälscht werden kann. Ebenfalls könnte die Messausrüstung beschädigt sein. Beispielsweise die Photodiode könnte Defekte aufweisen, sodass sich etwaige Messungenauigkeiten dadurch ergeben. Generell begünstigt der gesamte Versuchsaufbau Ablesefehler. So ist das Auslenken der Photodiode in 10° Schritten ganz exakt von Hand fast unmöglich, da diese Exaktheit visuell anhand der Skala schwer einzuschätzen ist, sodass es hierbei vermutlich zu einem Messfehler von $\Delta\epsilon = 2^\circ$ bis 4° kommen kann. Zudem ist vermutlich auch die Probenhalterung nicht passgenau parallel zu den 0° ausgerichtet.

Literatur

- Meschede, Dieter (2010). *Gerthsen Physik*. 24. Aufl. Berlin: Springer.
- o.V. (WiSe2024). *Versuchsanleitung - O8 Strahlungsgesetze (Lambertsches Gesetz)*.
- Universität Göttingen (2014). *Die Photodiode*. URL: <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/4741> (besucht am 28. 11. 2024).
- Walcher, Wilhelm (1994). *Praktikum Der Physik*. 7. Aufl. Stuttgart: B.G. Teubner.

| Versuch 1 | | Pappe | | | | | | | | | |
|-----------|------------|-------------------------------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | | 9cm bis zum ersten Strich insgesamt | | | | | | | | | |
| Winkel ° | Abstand cm | 5cm | 5,5 cm | 6 cm | 6,5 cm | 7 cm | 7,5 cm | 8 cm | 9 cm | 10 cm | 12 cm |
| 10° | 5cm | 1,65V | 1,69V | 1,70V | 1,78V | 1,77V | 1,76V | 1,73V | 1,72eV | 1,83V | 1,75eV |
| 20° | 5cm | 1,37V | 1,46V | 1,51V | 1,61V | 1,58V | 1,51V | 1,49V | 1,49V | 1,59V | 1,56V |
| 30° | 5cm | 1,10V | 1,26V | 1,33V | 1,45V | 1,38V | 1,32V | 1,28V | 1,28V | 1,37V | 1,36V |
| 40° | 5cm | 0,89V | 1,07V | 1,14V | 1,25V | 1,19V | 1,11V | 1,10V | 1,06V | 1,15V | 1,14V |
| 50° | 5cm | 0,66V | 0,83V | 0,90V | 1,03V | 0,95V | 0,91V | 0,87V | 0,83V | 0,88V | 0,91V |
| 60° | 5cm | 0,42V | 0,60V | 0,66V | 0,80V | 0,68V | 0,68V | 0,61V | 0,61V | 0,64V | 0,66V |
| 70° | 5cm | 0,20V | 0,33V | 0,42V | 0,53V | 0,42V | 0,42V | 0,38V | 0,39V | 0,39V | 0,41V |
| 80° | 5cm | 0,05V | 0,14V | 0,17V | 0,25V | 0,23V | 0,20V | 0,17V | 0,15V | 0,13V | 0,15V |
| 90° | 5cm | 0,03V | 0,01V | 0,01V | 0,03V | 0,01V | 0V | 0V | 0V | 0V | 0,01V |

→ Abstand $\Delta l = \pm 0,5\text{cm}$

→ Winkelgenauigkeit

Versuch 2

Gruppe 106
22.11.24

1. Schritt

Aluminiumfolie

| Winkel ° | Abstand cm | 5 cm | 24 cm | 9,5 cm |
|----------|------------|--------|--------|---------|
| 10° | | 1,63 V | 1,77 V | 1,86 V |
| 20° | | 0,26 V | 0,67 V | 0,42 V |
| 30° | | 0,05 V | 0,22 V | 0,107 V |
| 40° | | 0,02 V | 0,07 V | 0,02 V |
| 50° | | 0,01 V | 0,03 V | 0,01 V |
| 60° | | 0 V | 0,02 V | 0 V |
| 70° | | 0 V | 0,01 V | 0 V |
| 80° | | 0 V | 0 V | 0 V |
| 90° | | 0 V | 0 V | 0 V |

Platte mit Versuchsstück nicht exakt 0°