

Absorption & Reflexion

Licht wird von Materie absorbiert, und zwar meist frequenzabhängig. Bestrahlt man z.B. eine orange Oberfläche mit weißem Tageslicht, so wird nur jener Farbteil absorbiert, der nicht in Orange enthalten ist (nach additiver Farbmischung). Auf diesem Prinzip beruhen Farbfilter. Der andere Anteil wird reflektiert. Bei durchlässigen Körpern (z.B. eine Linse o.ä.) ist auch der **Transmissionsgrad** von hoher Bedeutung, er steht für die „Durchlässigkeit“ eines Körpers.

Bei der Reflexion unterscheidet man zwischen **diffuser** und **gerichteter Reflexion**, allerdings wird hier nur kurz die gerichtete Reflexion behandelt, da es für das Praktikumsbeispiel von wichtiger Bedeutung ist.

Bei einem gerichteten Lichtstrahl gilt das **Reflexionsgesetz**, d.h. der Winkel des einfallenden Strahls zum Lot ist gleich dem Winkel des ausfallenden Strahles zum Lot.

Brewster Winkel

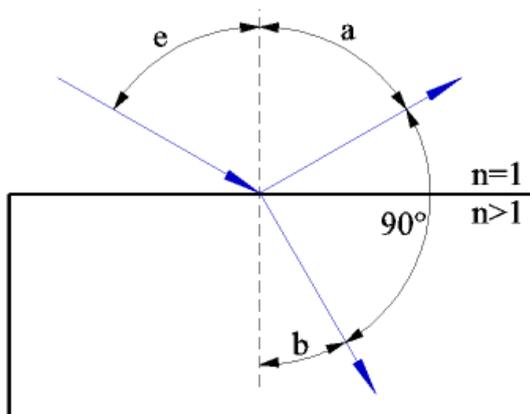


Abb.1: Abbildung zur Darstellung des Brewster-Winkels. Als erstes Medium wurde Luft angenommen, darum $n = 1$ für das erste Medium. Die Winkel a und e sind aufgrund des Reflexionsgesetzes gleich groß.

$$\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{Gesetz von Brewster})$$

Der unter dem Winkel b gebrochene Strahl steht orthogonal auf dem reflektierten, daher wird das gesamte parallel zur Einfallsebene polarisierte Licht gebrochen und nur der senkrecht zur Einfallsebene polarisierte Anteil reflektiert. Würde nämlich auch parallel zur Einfallsebene polarisiertes Licht reflektiert, so ergäbe dies eine longitudinal schwingende Lichtwelle, die aufgrund der Eigenschaften des elektromagnetischen Felds nicht existieren kann.

Optische Achse

Die optische Achse ist die Richtung in einem optisch anisotropen Medium (Kristall, doppelbrechend, die Brechzahl ist immer abhängig von der jeweiligen Raumrichtung), in der jede Polarisationskomponente eines Lichtstrahls die gleiche Brechzahl erfährt.

Doppelbrechung

In einem optisch anisotropen Material (Kristall), wird ein Lichtbündel in 2 verschiedene Teilstrahlen aufgeteilt, den **ordentlichen** und den **außerordentlichen Strahl**. Der ordentliche Strahl, dessen elektrisches Feld immer normal auf die optische Achse des Kristalls steht, breitet sich „normal“ (wie in einem nicht doppelbrechenden Material) aus. Das elektrische Feld des außerordentlichen Strahls, der senkrecht zum ordentlichen polarisiert ist, hat eine Komponente parallel zur optischen Achse, was dazu führt, dass der außerordentliche Strahl sich im doppelbrechenden Material etwas geneigt bezüglich dem ordentlichen Strahl ausbreitet.

Nicolsches Prisma

Ein **Nicolsches Prisma** ist ein Polarisator, der aus zwei Kalkspatprismen besteht, die unter Beachtung des Verlaufs der optischen Achse des Kristalls entlang ihrer Längsachse zusammengesetzt werden. An der Trennfläche wird der ordentliche Strahl unter Ausnutzung der Totalreflektion seitlich heraus reflektiert und an der geschwärzten Wand absorbiert. Der außerordentliche Strahl passiert die Trennfläche leicht parallel verschoben. Das Ergebnis ist ein polarisiert austretendes Lichtbündel.

Polarisator

Ein **Polarisator** trennt Licht verschiedener linearer Polarisation.

Hauptgleichung der Spannungsoptik

$$\delta = \frac{C}{\lambda} \cdot (\sigma_1 - \sigma_2) \cdot d$$

C ist hier eine Konstante, σ_1 und σ_2 sind die Hauptspannungen des Kristalls, d die Dicke des Kristalls bzw. die Wegstrecke, die das Licht durch den Kristall zurücklegt, λ die Wellenlänge des Lichtes und δ ist die Phasenverschiebung in vielfachem von 2π .

Spannungsoptische Konstante

Des weiteren ist es auch interessant, die spannungsoptische Konstante eines Kristalls zu wissen. Sie ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$S = \lambda / C$$

S ist die Spannungsoptische Konstante, λ die Wellenlänge des Lichtes und C ist die Konstante aus der Hauptgleichung der Spannungsoptik.

Isoklinen

Bei Isoklinen handelt es sich um Kurven gleicher Neigung. In der Spannungsoptik werden damit die Richtungsgleichen bezeichnet, und es sind dunkle Linien, welche Punkte einer Probe verbinden in der die Hauptspannungen die gleiche Richtung wie die Polarisationsrichtung haben.

Isochromaten

Isochromaten sind Linien gleicher Farbe. Im Zusammenhang mit der Spannungsoptik handelt es sich um dunkle Linien, welche bei ganzzahligen relativen Phasenverschiebungen und gleicher Hauptspannungsdifferenz auftreten. Die Phasenverschiebung gibt dann auch zugleich die Ordnung der Isochromate an.

Polarisationsebene

Die Polarisationsebene ist die Schwingungsebene bei linear polarisierten Wellen. Sie kann einem Polarisationsfilter festgelegt und auch damit verändert werden. Die Polarisationsebene steht normal auf die Ausrichtung der Gitter(Spalten)-Struktur des Polarisationsfilters.

Halbschattenpolarimeter

Mit Hilfe dieses Gerätes ist man in der Lage, die optische Aktivität bzw. den Drehwert einer chemischen Substanz zu bestimmen. Es wird zwischen zwei gekreuzten ($=90^\circ$ Winkel) Polarisatoren eine Probesubstanz eingebracht. Normalerweise würde kein Licht durch diese beiden Filter dringen, doch die Substanz kann dies verändern und man kann daraus den Drehwert der Probesubstanz ermitteln. Der zweite Polarisator (auch Analysator genannt) ist drehbar und bei einem Halbschattenpolarimeter wird ein Teil des polarisierten Lichtes nach dem ersten Polarisator mittels eines Hilfsprismas leicht gedreht. Folglich erscheint ein Teil des Lichts am Ende heller als der andere, wo kein Hilfsprisma eingebracht ist.

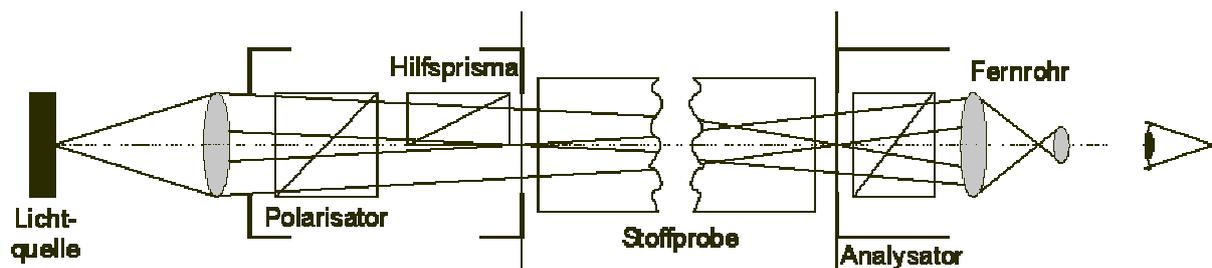
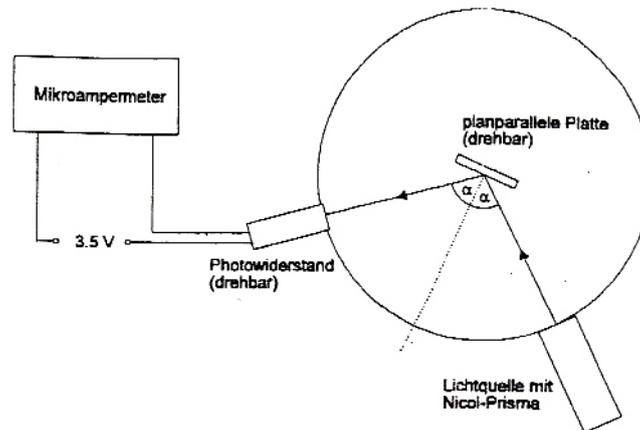


Abb.: Funktionsskizze eines Halbschattenpolarimeters

Durchführung

1. Experiment: Brewster-Winkel & Brechungsindex

Es war der Brewster Winkel einer durchsichtigen Platte zu bestimmen und deren Brechungsindex zu berechnen. Die Messanordnung folgendermaßen aus:



Mit Hilfe des Nicol-Prismas können wir polarisiertes Licht, dessen Polarisationsebene parallel zur Einfallsebene liegt, auf die Platte werfen. Die Intensität des reflektierten Lichtes messen wir mit Hilfe eines Photowiderstandes und eines Mikroamperemeters. Bei gegebener Spannung ist die gemessene elektrische Stromstärke proportional zur Strahlungsflussdichte.

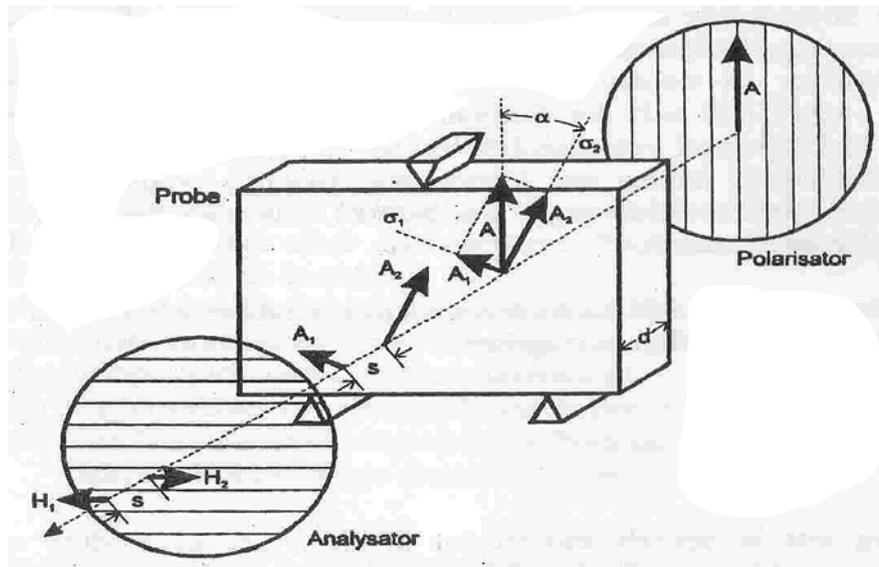
Nun haben wir für Einfallswinkel zwischen 35° und 65° die Stromstärke gemessen.

Wie eingangs erwähnt, ist der Brewster-Winkel jener Winkel, bei dem der reflektierte Strahl vollständig polarisiert ist. Lässt man jedoch linear polarisiertes Licht, dessen Polarisationsebene parallel zu Einfallsebene liegt, unter diesem Winkel auf das Medium fallen, so muss der reflektierte Lichtstrahl verschwinden und darum ergibt sich der Brewster Winkel aus dem Minimum der Kurve in der Grafik.

Mit dem Gesetz von Brewster (Theorie Abschnitt) lässt sich schließlich der Brechungsindex der Platte berechnen. Für den Brechungsindex von Luft gilt näherungsweise $n_1 \sim 1$.

2. Experiment: Spannungsoptik

In diesem Experiment war die Spannungsoptische Konstante eines Kristalls zu bestimmen, bzw. die Konstante der Hauptgleichung der Spannungsoptik. Schematisch sah der Aufbau wie folgt aus:



Zuerst haben die Lichtquelle eingeschaltet, da es einige Zeit dauerte, bis sie ein konstantes Lichtsignal schickte. Dann haben wir die Fläche des Kristalls vermessen, um später berechnen zu können, was für ein Druck auf den Kristall wirkt. Als nächstes wurden Polarisator und Analysator so gedreht, dass sie in einem Winkel von 90° aufeinander stehen. Dann wurde der Kristall in die „Presse“ eingelegt, diese hatte eine Anzeige, von der man den Druck auf die Pressflächen ablesen konnte und über die Messung der Fläche des Kristalls konnte nun der tatsächliche, auf den Kristall wirkende Druck bestimmt werden.

Nun wurde der Druck solange erhöht, bis eine Isokline zu sehen war, dies geschah für die ersten 4 Ordnung, für alle weiteren Ordnungen wäre mehr Druck nötig gewesen als vorgesehen war. (Gefährliche Grenze bei etwa 15 bar). Da der Kristall nur in einer Achse belastet wurde, war $\sigma_2 = 0$.

3. Optische Aktivität

Es waren zwei Messungen zu machen, die erste beschäftigte sich mit dem Drehsinn von 3 unterschiedlich dicken Quarzstücken, die zweite sollte die Abhängigkeit des Drehwinkels der Polarisationsebene von der Konzentration eines Zucker-Wasser-Gemischs zeigen.

Der Drehsinn von Quarz wurde in einem Halbschattenpolarimeter gemessen. Der Aufbau ähnelt stark dem der spannungsoptischen Messung, bis auf die Tatsache, dass kein Druck auf das Quarzstück wirkt.

Wir verwendeten weißes Licht einer gewöhnlichen Glühlampe in diesem Versuch. Jene Richtung, in die wir den Analysator drehen mussten, um die Farbfolge grün – blau – rot – gelb zu erhalten, war zugleich die Drehrichtung des jeweiligen Quarzstückes.

Die Farbabfolge grün – blau – rot – gelb entspricht genau einer Auslöschung der zugehörigen Komplementärfarben rot – gelb – grün – blau; die kurzen Wellenlängen werden also am weitesten gedreht, damit ist die Drehrichtung mit der man die Farben grün – blau – rot - gelb gleich dem Drehsinn der Quarzstücke.

Bei der zweiten Messung wurde ebenfalls ein Halbschattenpolarimeter verwendet, welches allerdings eine Öffnung hatte, in die man ein Glasrohr einlegen konnte. In dieses Glasrohr wurde destilliertes Wasser eingefüllt und zusätzlich ein wenig Zucker. Wichtig war, das

möglichst wenige Luftblasen im Gefäß waren, da dies die Messung verfälschen würde, was sich allerdings als geringes Problem herausstellte.

Als erstes wurde der Nullpunkt des Halbschattenpolarimeters gemessen, da sich dieser im Laufe der Zeit verschoben hat. Danach wurden für verschiedene Konzentrationen zwischen 0 und 10% die jeweiligen Drehwinkel der Polarisationssebene gemessen. Bei höherer Konzentration nimmt die optische Dicke der Flüssigkeit zu (es wird „trüber“) und damit nimmt die Helligkeit zwar ab, dies wirkt sich jedoch nicht auf den Drehwinkel aus.

Auswertung

Brewster-Winkel

Wir trugen die Einfallswinkel gegen die dabei gemessene Stromstärke in einen Diagramm auf.

Messwerte

Messung	Einfallswinkel [°]	Reflexionswinkel [°]	Strom [μA]
1	35	70	8,5
2	37	74	7,9
3	39	78	6,3
4	41	82	5,5
5	43	86	4,5
6	45	90	4,0
7	47	94	3,0
8	49	98	2,0
9	51	102	1,5
10	53	106	1,0
11	55	110	0,5
12	57	114	0,5
13	59	118	1,0
14	61	122	2,2
15	63	126	3,5
16	65	130	7,0

Die Genauigkeit der Winkelmessung betrug $0,5^\circ$ und die Genauigkeit der Strommessung lag bei $0,1\mu\text{A}$.

Wir suchten dann eine geeigneten Fit um ein Minimum in unsere Messkurve möglichst genau zu finden. Am besten bot sich ein Polynomfit 4. Grades an, welcher

$$\text{Winkel} = 265,35337 - 22,06022 \cdot \text{Strom} + 0,72558 \cdot \text{Strom}^2 - 0,01084 \cdot \text{Strom}^3 + 6,08636 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Strom}^4$$

lautet.

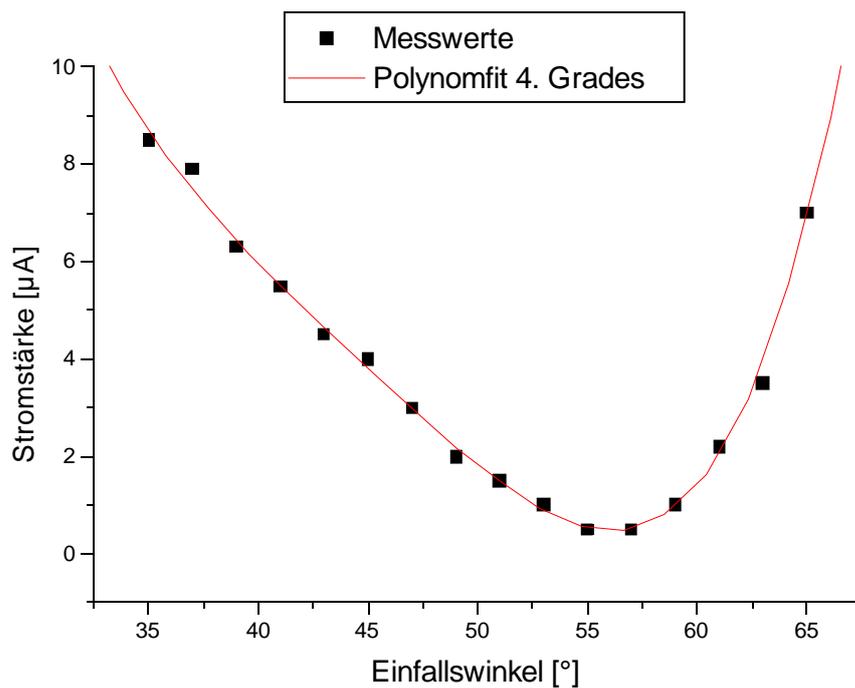


Abb.: Messwerte in ein Diagramm Einfallswinkel gegen Stromstärke aufgetragen und mit Polynom 4. Grades

Durch differenzieren und Null setzen fanden wir ein geeignetes Minimum, welches unserem Brewster-Winkel entspricht bei

$$(56,2 \pm 0,5)^\circ.$$

Daraus folgt wenn man von 90° den Brewster-Winkel subtrahiert der brechende Winkel von

$$(33,7 \pm 0,5)^\circ$$

Unter der Annahme, dass Luft einen Brechungsindex von 1 hat ergibt sich aus dem Tangens des Brewster-Winkel die Brechzahl des Mediums von

$$1,50 \pm 0,03$$

Die Brechzahl und somit auch die anderen bestimmten Endgrößen liegen bei für Glas vernünftigen Größen.

Spannungsoptik

Die belastete Fläche des Kristalls wird aus dem Produkt der beiden kurzen Seitenlängen berechnet. Wobei die durchsichtige Seite eine Länge von

$$(10065 \pm 5) \mu\text{m}$$

hat und die undurchsichtige Seite eine Länge von

$$(10060 \pm 5) \mu\text{m}$$

hat. Daraus ergibt sich ein Fläche von:

$$(101,25 \pm 0,01) \text{mm}^2$$

Die Wellenlänge verwendeten Lichtes der Gasdampfampe betrug 590nm.

Der am Gerät angegebne Zylinderdurchmesser beträgt

$$75 \text{mm}$$

und daraus folgt eine Zylinderfläche von

$$4420 \text{mm}^2.$$

Das Verhältnis der beiden Flächen lag bei

$$43,632 \pm 0,003$$

Somit können wir uns aus dem am Instrument angezeigten Druck den tatsächlichen Druck auf den Kristall ausrechnen.

Messwerte

Relative Phasenverschiebung δ	Druck abgelesen [bar]	Druck auf Kristall σ [Pa]
1	3,3	$1,44 \cdot 10^7$
2	6,8	$2,97 \cdot 10^7$
3	10,4	$4,54 \cdot 10^7$
4	14,4	$6,28 \cdot 10^7$

Die Genauigkeit der Druckmessung betrug 0,1 bar.

Anhand dieser Formel

$$\sigma = \frac{\lambda}{C \cdot d} \delta$$

sieht man, dass zwischen dem Druck auf den Kristall σ und der relativen Phasenverschiebung δ ein linearen Zusammen besteht. Die Konstant zwischen den beiden wird durch die Wellenlänge λ , die Dicke d und unsere gesuchte Materialkonstante C gebildet. Somit kann

man sich aus der Steigung einer linearen Regression durch unsere Messwerte die spannungsoptische Konstante C berechnen.

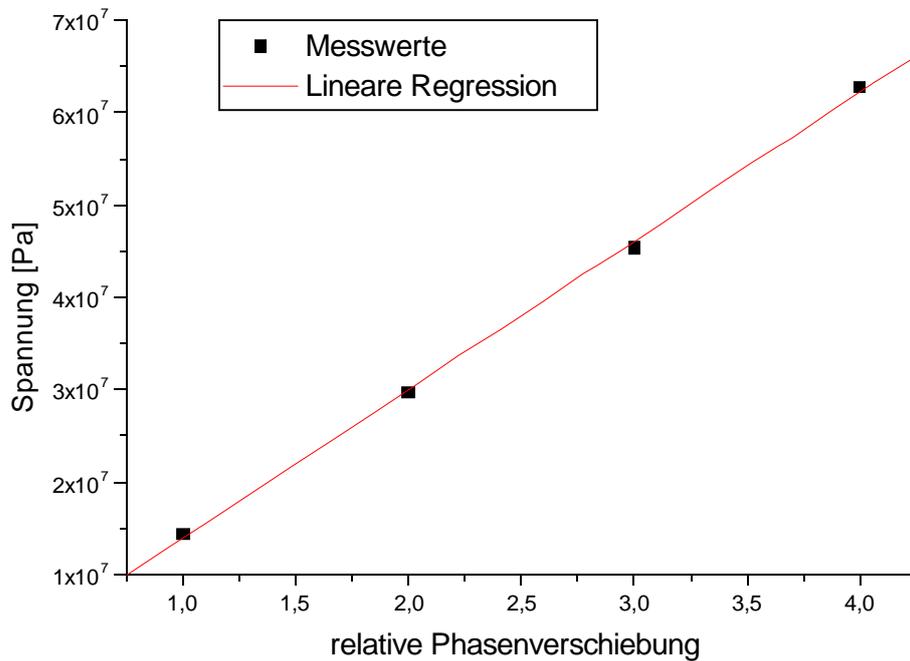


Abb.: Das Diagramm zeigt schön den linearen Zusammenhang zwischen Spannung gegen relative Phasenverschiebung

Wir erhalten aus der Steigung der Linearen Regression eine spannungsoptische Konstante von

$(3,65 \cdot 10^{-12} \pm 8 \cdot 10^{-14}) \text{ Pa}^{-1}$.

Dies entspricht einem S (wird auch als spannungsoptische Konstante bezeichnet, obwohl es eigentlich der auf die Wellenlänge bezogene Kehrwert ist) von

$(162 \pm 3) \text{ N/mm}$

Optische Aktivität

Drehsinn von Quarzstücken

Die 2 der 3 untersuchten Quarzstücke waren linksdrehend (die beiden dickeren) und eines rechtsdrehend (das dünnste). Wir erhalten somit zugleich auch neben den beobachteten Drehsinn die Drehrichtung, da die spezifische Drehung der Polarisationssebene von der Wellenlänge abhängig ist.

Abhängigkeit des Drehwinkels von der Konzentration einer Zuckerlösung

Der Nullpunkt unseres Messgerätes wurde bei

$$(-3,5 \pm 0,1)^\circ$$

gefunden, wobei negativ Werte links des Nullpunkts lagen.

Messwerte

Messung	Konzentration [%]	gemessener Winkel [°]	Drehwinkel [°]
1	1,7	-2,2	1,3
2	3,5	0,2	3,7
3	5,6	2,2	5,7
4	6,8	4,6	8,1
5	9,1	7,0	10,5

Die Genauigkeit der Winkelmessung lag hier bei $0,1^\circ$ und bei der Konzentration bei $0,1\%$.

$$\alpha = P \cdot C$$

Wie man in der obigen Formel sieht nimmt der Drehwinkel α linear mit der Konzentration C zu und so erhält man aus der Steigung der Geraden den Proportionalitätsfaktor P . Diese beträgt:

$$(1,25 \pm 0,05) \text{ } ^\circ/\%$$

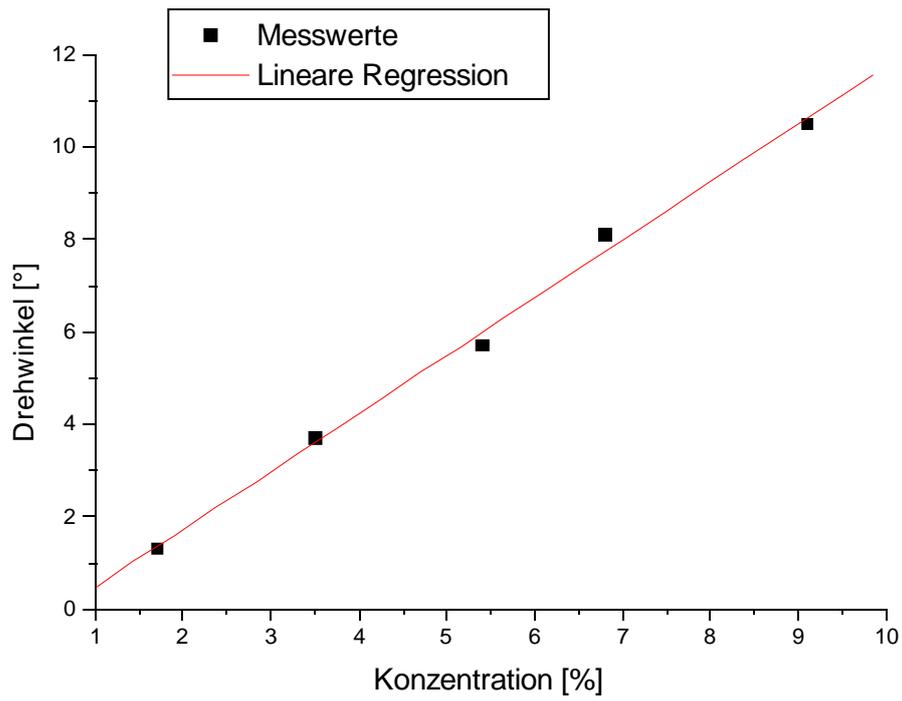


Abb.: lineare Abhängigkeit des Drehwinkels von der Konzentration der Lösung