

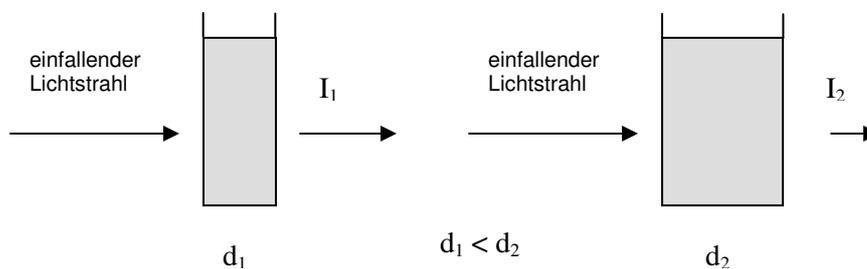
Viele Getränke sind aus rein optischen Gründen mit Lebensmittelfarbstoffen angefärbt. So auch „Blue-curacao“. Der Likör enthält den Lebensmittelfarbstoff E 133. (Erioglaucin A (Brillant Blau FCF, C.I.Nr. 42090)).

Um die gesundheitlichen Gefahren abschätzen zu können, die von solchen Farbstoffzusätzen ausgehen können, muss man wissen, wie hoch die Konzentration des Farbstoffes in dem Getränk ist. Dies soll Aufgabe der folgenden Kapitel sein.

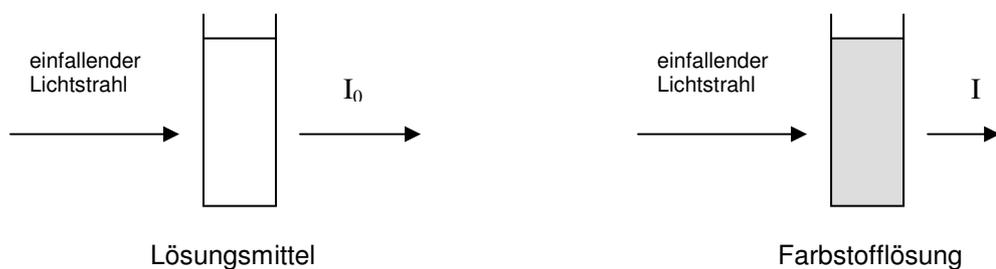
Grundlagen der Messmethode

Allein schon der optische Vergleich verschieden konzentrierter Vergleichslösungen mit dem Getränk lässt schon eine grobe Abschätzung des Farbstoffgehaltes zu. Man muss allerdings darauf achten, dass bei einem Farbvergleich alle Proben in identischen Gefäßen betrachtet werden, denn unterschiedliche Schichtdicken würden einen Vergleich stören.

Die durchgelassene Lichtintensität I ist bei konstanter Konzentration von der Schichtdicke abhängig:



Die durchgelassene Lichtintensität ist bei konstanter Schichtdicke von der Konzentration abhängig:



Ziel der folgenden Messungen soll sein, eine Messgröße zu finden, die proportional zur Konzentration des Farbstoffes in der Lösung ist.

Man schickt zu diesem Zweck einen Lichtstrahl (Leuchtdiode) durch eine mit Wasser gefüllte Küvette mit der Schichtdicke $d = 1$ cm. Man misst dann die durchgelassene Lichtintensität I_0 . Sodann ersetzt man das reine Lösungsmittel Wasser durch eine Farbstofflösung mit bekannter Konzentration β . Die zugehörige Lichtintensität ist I . Die gesamte Messanordnung ist in einem LED-Fotometer (s.u.) angeordnet.

Grundlage dieses Messverfahrens ist die Wechselwirkung von elektromagnetischen Wellen mit Materie.

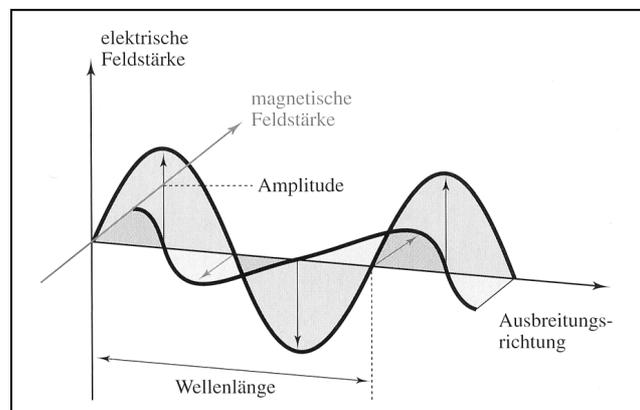


Abb.1

Elektromagnetische Wellen lassen sich durch den elektrischen Feldstärkevektor und den magnetischen Feldstärkevektor beschreiben. Betrag und Richtung dieser Vektoren ändern sich periodisch mit fortschreitender Welle (s. Abb.1).

Angaben zur Charakterisierung von Wellen:

1. Frequenz: f [Hz] $1 \text{ [Hz]} = 1 \text{ s}^{-1}$
2. Wellenlänge: λ [nm] $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$
3. Lichtgeschwindigkeit: $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ m}$
4. $c = \lambda \cdot f$

In der Abb. 2 ist der gesamte Bereich der elektromagnetischen Strahlung aufgezeigt. Der sichtbare Bereich umfasst dabei nur einen kleinen Ausschnitt.

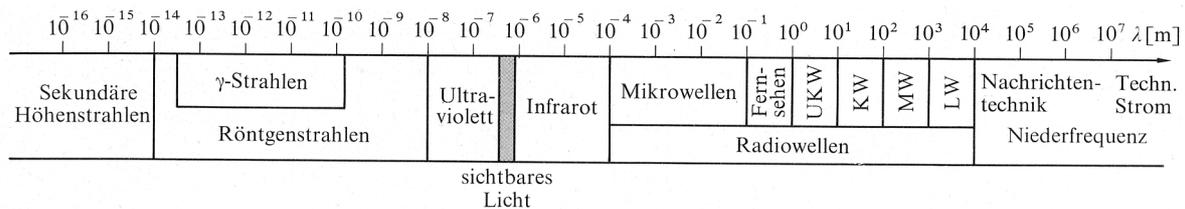


Abb.2 Spektrum der elektromagnetischen Strahlung

Wird eine Substanz mit einem Ausschnitt aus dem elektromagnetischen Spektrum bestrahlt, so kann in gewissen Bereichen eine Wechselwirkung zwischen der Strahlung und der Materie eintreten. Diese Wechselwirkung kann in Abhängigkeit von der Wellenlänge der Strahlung unterschiedliche Ursachen haben. Die Intensität der elektromagnetischen Strahlen wird beim Durchgang durch die Probe abgeschwächt, da die Substanz durch die Wechselwirkung Energie der Welle aufnimmt. Die aufgenommene Energie kann Rotationen, Schwingungen oder Elektronensprünge bewirken.

Für die Energieänderung ΔE gilt:

$$E = h \cdot f \quad (h = \text{Plancksches Wirkungsquantum} = 6.6256 \cdot 10^{-34} \text{ Js})$$

Jeder Absorption bei einer bestimmten Frequenz liegt ein Übergang von einem niedrigeren zu einem höheren Energieniveau zugrunde, dessen Energieunterschied ΔE beträgt.

Die Photometrie

In der Photometrie, dem Verfahren zur Konzentrationsermittlung, wird die Absorption monochromatischer Strahlung, also Strahlung einer bestimmten Wellenlänge, untersucht.

Die Photometrie wird im infraroten, im sichtbaren und ultravioletten Bereich durchgeführt. Die Ermittlung der Konzentration farbiger Stoffe, also die Photometrie im sichtbaren Bereich, ist apparativ am einfachsten.

Farblose Stoffe werden daher oft mit geeigneten Reagentien in farbige Verbindungen überführt.

In einem Photometer leitet man einen monochromatischen Lichtstrahl durch die Probelösung und vergleicht mit einer Photozelle die ursprüngliche Lichtintensität I_0 und die Lichtintensität I nach Durchgang durch die Lösung.

Am Gerät wird meist direkt die Extinktion E , ein Maß für die Absorption, oder die Durchlässigkeit (auch Transmission) D abgelesen.

$$\text{Extinktion } E = \log I_0/I$$

$$\text{Durchlässigkeit } D = I/I_0$$

$$\text{Transmission } T = I/I_0 \cdot 100\%$$

Zur Messung wählt man die Wellenlänge aus, bei der die absorbierende Substanz ein Absorptionsmaximum besitzt. Nach dem Gesetz von **Lambert** und **Beer** ist die Extinktion der Konzentration c und der

Schichtdicke d der Probelösung proportional:

$$\log \frac{I_0}{I} = E \quad E = \varepsilon \cdot c \cdot d$$

Der stark von der Wellenlänge abhängige Proportionalitätsfaktor ε wird als spektraler, **molarer Extinktionskoeffizient** bezeichnet, ε hat die Einheit $\text{cm} \cdot \text{mmol}$ und besitzt für jede Substanz einen charakteristischen Zahlenwert.

Die Proportionalität zwischen E und c gilt allerdings nur in sehr verdünnten Lösungen ($<10^{-2}$ mol/L) und nur dann, wenn die gelöste Substanz sich beim Verdünnen nicht ändert.

Die Genauigkeit der Messungen ist am größten, wenn E zwischen 0,1 und 1,0 liegt, was einer Transmission von 80% bis 10% entspricht.

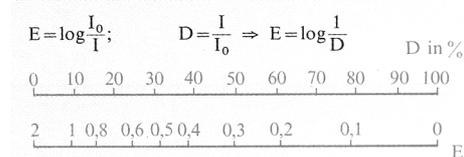
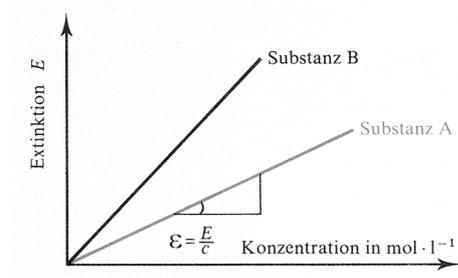


Abb. 3 Zusammenhang zwischen Extinktion und Konzentration Abb.4 Zusammenhang zwischen Durchlässigkeit D und Extinktion E

Zur Ermittlung der Konzentration c_1 einer Substanz in einer Probelösung wird deren Extinktion E_1 bestimmt: $E_1 = \varepsilon \cdot c_1 \cdot d$. Bei gleicher Schichtdicke wird ferner die Extinktion E_2 einer aus dieser Substanz hergestellten Standardlösung gemessen, deren Konzentration c_2 bekannt ist.

Mit $E_2 = \varepsilon \cdot c_2 \cdot d$ erhält man dann durch Gleichsetzen die gesuchte Konzentration des gelösten Stoffes:

$$c_1 = E_1/E_2 \cdot c_2$$

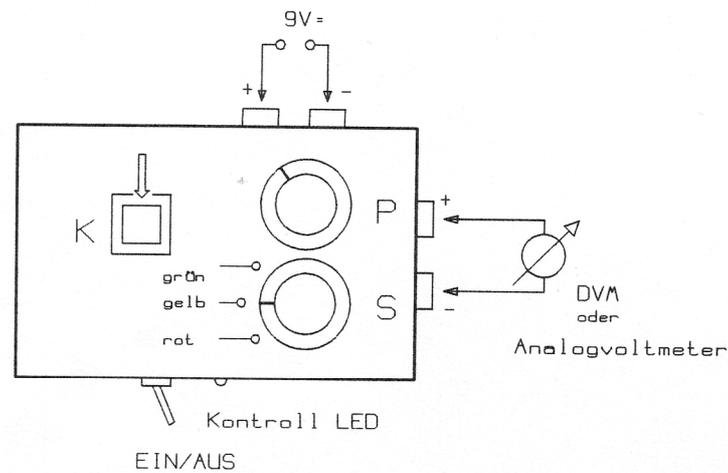
LED - Photometer

Aufbau und Funktionsweise des Gerätes

Aus wenigen Bauteilen lässt sich leicht ein recht leistungsfähiges Leuchtdioden-Photometer herstellen. Das hier beschriebene Gerät ist eine Variante des schon 1976 von WENDLANDT in der Zeitschrift "Journal of Chemical Education" vorgestellten Gerätes.

Die Abbildungen zeigen den Aufbau und den Schaltplan des Photometers, das sich für den Einsatz im Bereich der Schülerübungen gut eignet.

LED-Fotometer



K = Küvette

P = Abgleichpotentiometer

S = Wahlschalter für LED

Wellenlängen: grün 560 nm

gelb 590 nm

rot 660 nm

Abb. 3 Ansicht des Gerätes

LED - Fotometer
- Schaltplan -

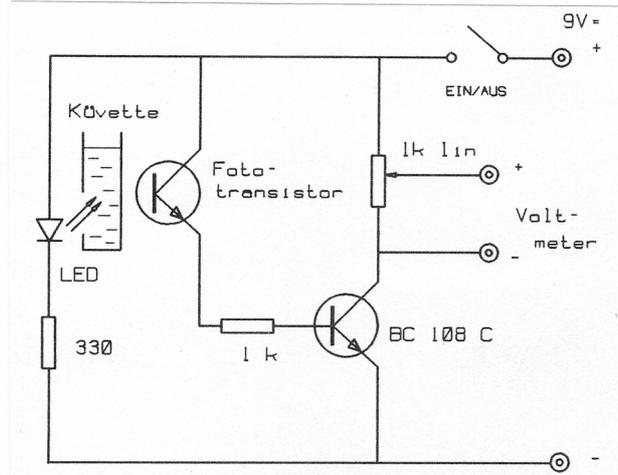


Abb. 4 Schaltplan

(Anmerkung: Es ist nur die Verdrahtung für den Betrieb mit einer LED angegeben)

Drei verschieden farbige Leuchtdioden (grün - gelb - rot) werden über einen Drehschalter angesteuert und erlauben so Messungen mit Licht bestimmter Wellenlängen. Die spektrale Verteilung der Lichtintensitäten der Leuchtdioden zeigt Abb. 5.

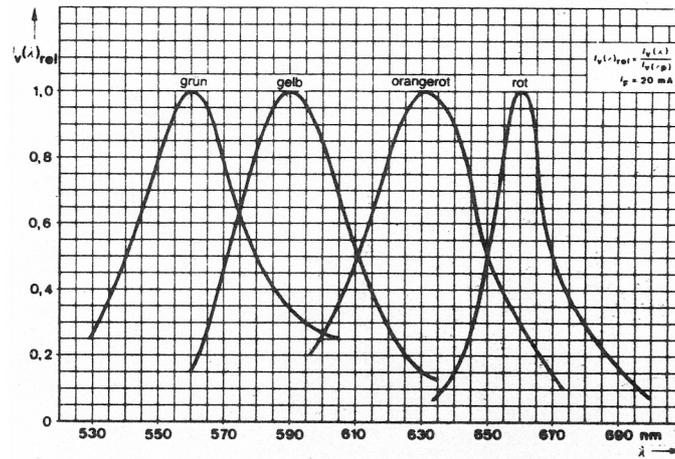


Abb. 5 Wellenlängen der max. Emission

Es ergeben sich folgende Intensitätsmaxima:

LED - grün:	$\lambda_{\max} = 560 \text{ nm}$
LED - gelb:	$\lambda_{\max} = 590 \text{ nm}$
LED - rot:	$\lambda_{\max} = 660 \text{ nm}$

Als Empfänger dienen drei handelsübliche Phototransistoren (BPY 62), deren Basis jeweils unbeschaltet bleibt. Ein Verstärkungstransistor (BC 108 C) erzeugt am Potentiometer einen von der Lichtintensität abhängigen Spannungsabfall. Verwendet werden Rechteckküvetten aus Kunststoff mit 1 cm Schichtdicke.

2.2.2. Bedienungsanleitung

1. Gerät mit einer 9V = Spannungsquelle verbinden (+ -Pol = rot, - -Pol = blau).
2. Voltmeter (DVM oder Analoggerät) anschließen.
3. LED anwählen (grün = 560 nm; gelb = 590 nm; rot = 660 nm).
4. Vergleichsküvette mit Lösungsmittel oder Blindprobe einsetzen.
5. Abdeckkappe aufsetzen.
6. Mit dem Potentiometer den Ausschlag am Voltmeter auf einen bestimmten Wert einstellen (I_0).
7. Meßküvette einsetzen (I).
8. Auswertung: Extinktion $E = \log(I_0/I)$.

Herleitung des Lambert-Beerschen Gesetzes

Am Beispiel einer Kristallviolett-Lösung soll der Zusammenhang zwischen Absorptionsspektrum und zu verwendender Messwellenlänge verdeutlicht werden.

Eine wässrige Kristallviolettlösung zeigt im sichtbaren Bereich zwei Absorptionsmaxima. Ein starker Peak liegt bei $\lambda_1 = 592 \text{ nm}$, eine Schulter bei $\lambda_2 = 550 \text{ nm}$ (Abb. 4). Die Strahlungsmaxima der grünen bzw. der gelben LEDs stimmen mit den Absorptionsmaxima recht gut überein; beide Leuchtdioden sollten sich deshalb als Messdioden eignen. Die rote LED liegt mit 660 nm nicht im Absorptionsbereich der Kristallviolettlösung.

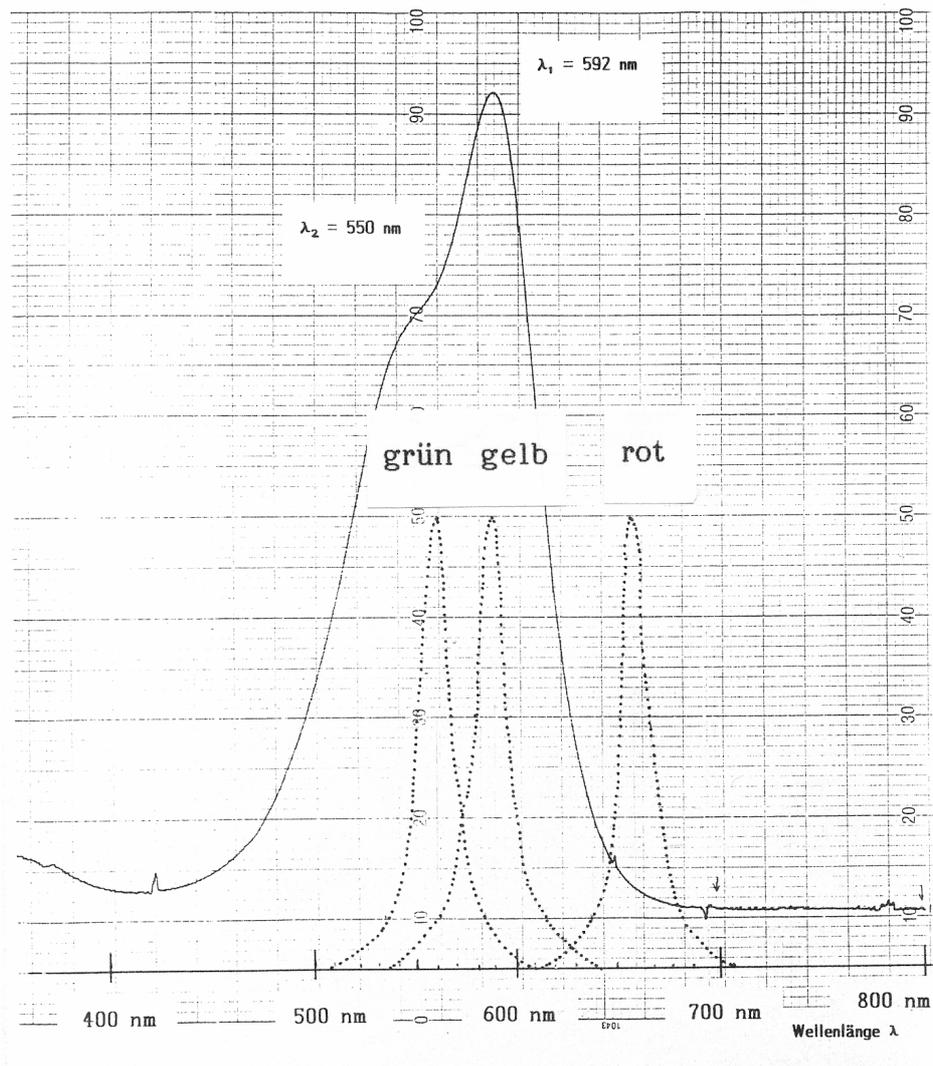


Abb. 4 Absorptionsspektrum einer KV-Lösung im sichtbaren Bereich und die Strahlungsmaxima der LEDs

Die experimentelle Herleitung des Lambert-Beerschen Gesetzes erfolgt anhand des weniger gefährlichen Farbstoffes E 133.

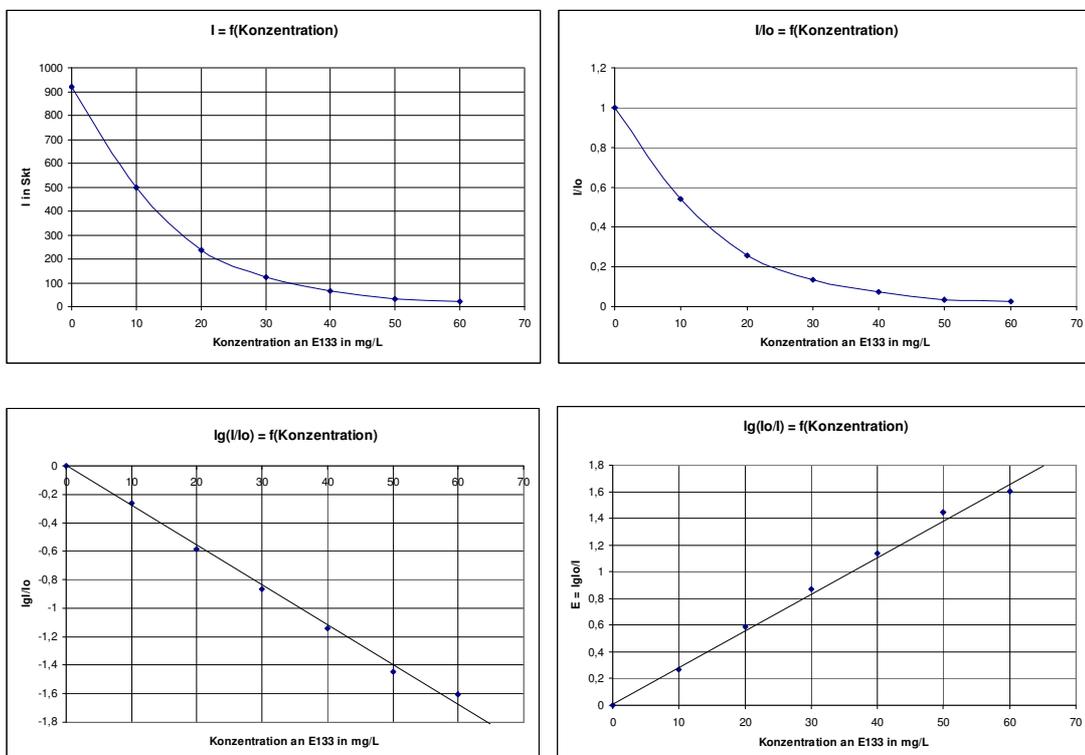
a) Lösungen:

Ausgehend von einer Stammlösung mit $\beta = 500 \text{ mg/L}$ werden verdünnte Lösungen folgender Konzentrationen bereitet:

Massen- konzentration β in mg/L	Verdünnung (100ml Messkolben) Stammlösung + Wasser
10	2 mL + 98 mL
20	4 mL + 96 mL
30	6 mL + 94 mL
40	8 mL + 92 mL
50	10 mL + 90 mL
60	12 mL + 88 mL
70	14 mL + 86 mL

b) Messungen:

Nr.	β in mg/L	I in Skt	I/I_0	$\lg I/I_0$	$E = \lg I_0/I$
1	0	921	1	0	0
2	10	500	0,542	-0,265	0,26
3	20	238	0,258	-0,587	0,59
4	30	125	0,135	-0,867	0,87
5	40	67	0,072	-1,138	1,14
6	50	33	0,035	-1,445	1,45
7	60	23	0,024	-1,602	1,60
8	Blue Curacao	52	0,056	-1,25	1,25

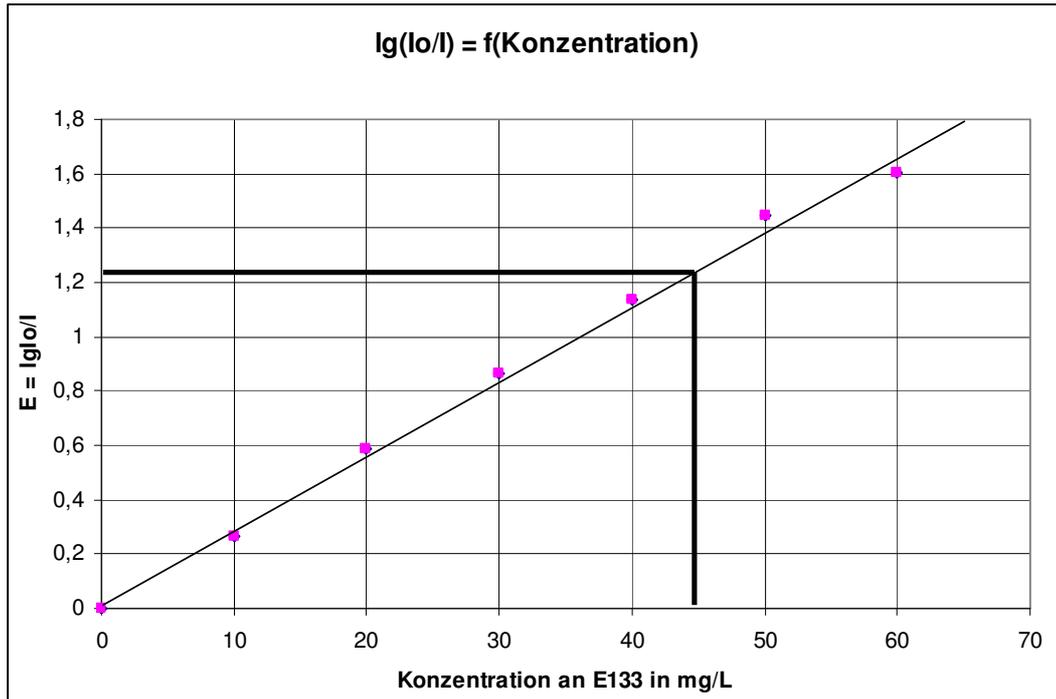
c) Auswertung:

Die letzte Darstellung liefert eine Grundlage für die Herleitung des Lambertschen-Gesetzes: $E \sim c$.

Aus ähnlichen Messungen lässt sich die Beziehung $E \sim d$ herleiten (Beersches Gesetz). Beide Gesetzmäßigkeiten zusammengefasst ergibt:

$$E = \varepsilon \cdot c \cdot d \quad \text{Lambert-Beersches Gesetz}$$

Die Größe ε entspricht der Steigung der Geraden.



Zeichnet man in das Eichdiagramm $E = f(\beta)$ den Extinktionswert für Blue-Curacao ein, so erhält man für die Konzentration des Farbstoffes einen Wert von 44 mg/L.

Ergebnis:

$\beta(\text{E133 in Blue-Curacao}) = 44 \text{ mg/L}$