

Fotometrie

in

Schülerübungen

mit dem

AK LowCost FM 11



Betriebsanleitung

Inhalt

1. Erstaufbau des Schüler-Fotometers	
a) Auspacken und Bestandsaufnahme	03
b) Betriebstest ohne Computer	03
c) Betriebstest mit Anschluss an den Computer	06
d) Tauchvorsatz – Leuchtdiodenwechsel	07
2. Die Funktionsweise des Schüler-Fotometers	
a) Prinzip der Fotometrie	08
b) Die Leuchtdiode	08
c) Die Fotodiode	08
d) Prinzip des Tauchfotometers	10
e) Der Tropfenzähler	10
f) Formelfunktionen	11
g) Messwertespeicher	11
3. Fernbedienung des Fotometers mit dem Computer - Kalibrierkurven	12
4. Einheiten in der Fotometrie	13
5. Das Gesetz von Lambert Beer	14
6. Ausführliche Versuchsbeispiele zur Fotometrie	
a) Phosphat-Gehalt mit M&N - Visocolor	16
b) Die Entfärbung einer Kristallviolett-Lösung und die Bestimmung der Reaktionsordnung der Entfärbungsreaktion	20
7. Fehler am AK LCFM 11 und deren Behebung	28
8. Technische Daten	28

1. Der Erstaufbau des Schüler-Fotometers

a) Auspacken und Bestandsaufnahme:

Bitte identifizieren und kontrollieren Sie beim Auspacken folgende Bestandteile:

1. Messmodul AK LCFM-11
2. USB- Kabel
3. Betriebsanleitung

4. Tauchvorsatz als optionales Zubehör
5. Steckernetzteil (optional) für Arbeit ohne Computer



b) Betriebstest ohne Computer – Das Fotometer-Menü

- Das **USB- Steckernetzteil** mit dem **Messmodul AK FM11** verbinden und das Steckernetzteil in die Netzsteckdose stecken (oder Batterie einlegen).
- Es erscheint für kurze Zeit auf dem Display 'Fotometer' und in der unteren Zeile: 'Version xxx'
- Machen Sie sich mit den Funktionen des Fotometers anhand der folgenden beiden Seiten vertraut!

Das Fotometer-Menü

Achtung: Beim Einschalten stellt das Fotometer die Menüeinstellungen der letzten Operation ein. Hier soll das Menü systematisch besprochen werden.

Der Aufruf der einzelnen Funktionen des Fotometers erfolgt ähnlich der Bedienung eines Handys.

Prinzipiell steht die Bedeutung der drei Tasten (❶ ❷ ❸) immer in der zweiten Zeile des Displays über der jeweiligen Taste. Zur Verwirrung könnte führen, dass in der zweiten Zeile „Ext“ steht, wenn Transmission angezeigt wird. Bedeutung der Taste: Man kann zur Extinktionsanzeige umschalten.

Taste wird gedrückt	Nach Tastendruck: Anzeige 1. Zeile	Nach Tastendruck: Anzeige 2. Zeile ❶ ❷ ❸	Beschreibung
Menü	>Blau: :470 nm	↑ ↓ OK	Die Taste hat drei Bedeutungen 1. Einschalten des Fotometers 2. Man kommt immer in das Hauptmenü (kurz drücken) 3. Ausschalten (= länger drücken) Drückt man innerhalb von 7 Sekunden keine Taste, erscheint die vorherige Anzeige
↓(❷) bzw. ↑.....(❶)	>Gruen: 520 nm >Gelb: 590 nm >Orange: 605 nm >Rot: 625 nm >Farbe Extern >Tropfenzähler >Formel (1-10) >Uhr stellen >Ausschaltzeit >Wertespeicher	↑ ↓ OK	Blättern durch das Hauptmenü Die einzelnen Punkte sind links abgebildet. Man erkennt sie am vorgestellten „größer als“ - Zeichen : > Näheres: siehe 2d Sind Kalibrierkurven gespeichert, steht der Name der Methode z.B.: Nitrat an der Stelle der Pünktchen
OK (❸) bei >Blau		Ext Sp Abgl	Aufruf der Wellenlänge: Blau und Aufforderung zum Nullabgleich: Leerküvette einstellen.
Abgl (❸)	Nullabgleich	Start mit ↓	
↓(❸)	Referenzsuche Bl 470 nm 100.0%	Einen Moment Ext Sp. Abgl.	Das Fotometer führt den Nullabgleich durch und zeigt das Ergebnis an. Es wird gemessen und in der oberen Zeile die Transmission angezeigt. Wechseln Sie die Küvette, wird entsprechend der neue Wert angezeigt.
Ext (❶)	Bl 470 nm 0,000	Trans Sp. Abgl.	Nun wird die Extinktion angezeigt
Trans (❶)	Bl 470 nm 100.0%	Ext Sp. Abgl	Anzeige wieder als Transmission
Sp (❷)	Bl 470 nm 0,000	Opt Spe Exit	Es wird die Möglichkeit, den Wert zu speichern, angewählt.
Spe (❷)	Wert n von 100 z.B.: 1 von 100	gespeichert	Diese Meldung erscheint nur kurz, dann wird wieder die Messung angezeigt
Sp (❷) Opt(❶)	Speicheroptionen	Anz. Loesch Exit	Weiterer Punkt im Speichermenü

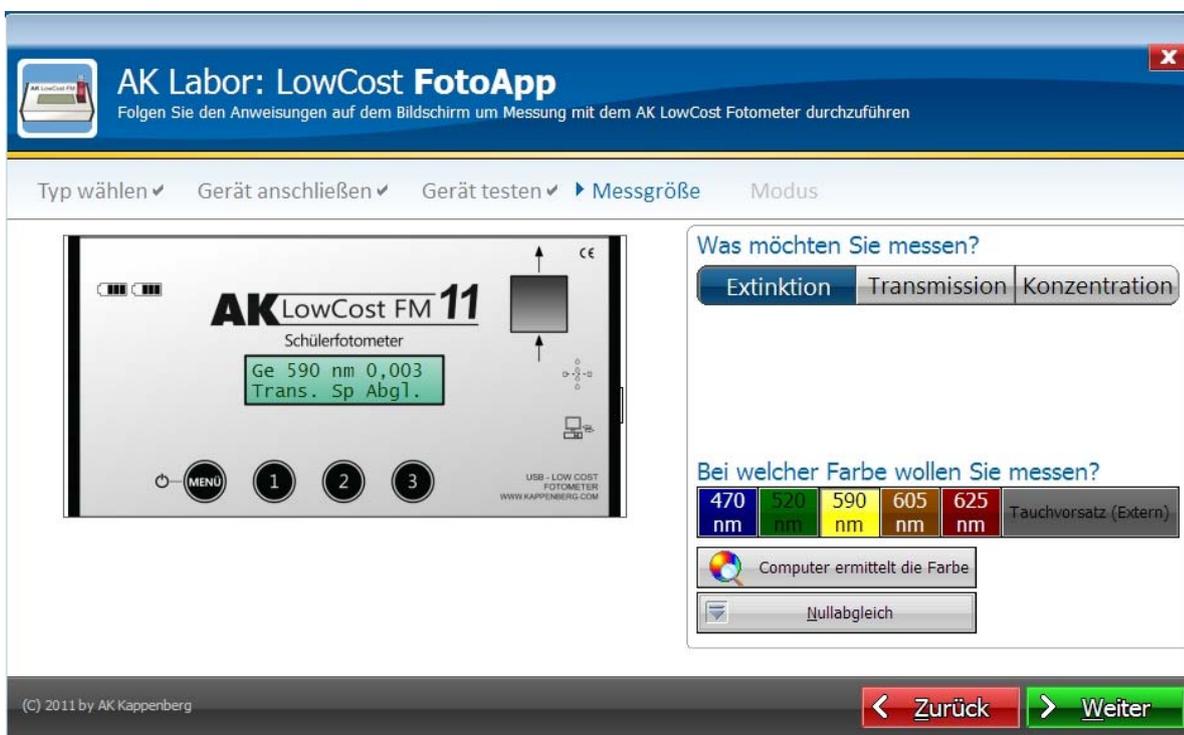
Taste wird gedrückt	Nach Tastendruck: Anzeige 1. Zeile	Nach Tastendruck: Anzeige 2. Zeile ① ② ③	Beschreibung
Anz(①)	Speicherwerte	↑ ↓ Exit	Die Speicherwerte werden mit Datum und Uhrzeit in der oberen Zeile in Laufschrift dargestellt
↓(②) bzw. ↑.....(①)	Speicherwerte in Laufschrift	↑ ↓ Exit	Springt zum nächsten Speicherwert
Exit(③)			Führt wieder zur normalen Messung
Loesch(②)			Löscht den gesamten Wertespeicher
			Das hier Beschriebene gilt für alle Messbereiche einschließlich evtl. gespeicherter Kalibrierkurven.
-----	-----	-----	-----
OK (③) bei >Tropfen- zähler	Nullabgleich n = 0	Start mit ↓ Clear Abgl.·	Führt Nullabgleich durch und zeigt anschließend die Anzahl der Tropfen in der oberen Zeile an.
Clear(②)	n = 0		Setzt die Tropfenzahl auf Null
-----	-----	-----	-----
OK (③) bei >Uhr stellen	Stunde: 0	- + Next	Hier können Sie nun die Zeit ändern
+(②) bzw. (①)	Stunde: 1		Erhöht oder erniedrigt den Zahlenwert für Stunde
Next (③)	Stunde, Minute, Sekunde, Jahr, Monat, Tag	- + Next	Entsprechend für Zeit und Datum
-----	-----	-----	-----
OK (③) bei >Ausschaltzeit	Min.: 20 Sek: 0	- + OK	Hier wird eingestellt nach wie viel Minuten das Fotometer bei Batteriebetrieb automatisch ausschalten soll.
-----	-----	-----	-----
OK(③) bei >Wertespei- cher	Wertespeicher	Anz. Loesch Exit	
Anz(①)	Speicherwerte in Laufschrift	↑ ↓ Exit	Die Speicherwerte werden mit Datum und Uhrzeit in der oberen Zeile in Laufschrift dargestellt
↓(②) bzw. ↑.....(①)	Speicherwerte in Laufschrift	↑ ↓ Exit	Springt zum nächsten Speicherwert
Löschen (②)	Speicher	gelöscht	Löscht den gesamten Wertespeicher

c) Betriebstest mit Anschluss an den Computer

- Am besten das Programm AK Labor 11 –AK Analytik 11 starten: entweder vom Desktop oder mit
→ Start → Programme→ Chemie → AK Kappenberg
→ AK Labor 11→AK Analytik11
- Auf dem Start-Bildschirm
→ Messen
→ mit Geräteschnellstarte
→FotoApp aufrufen und
→den Anweisungen folgen!



Der Computer gibt Ihnen den AK LCFM 11 vor. Schließen Sie das Gerät an und quittieren „Weiter“ mit einem "Mausklick"!



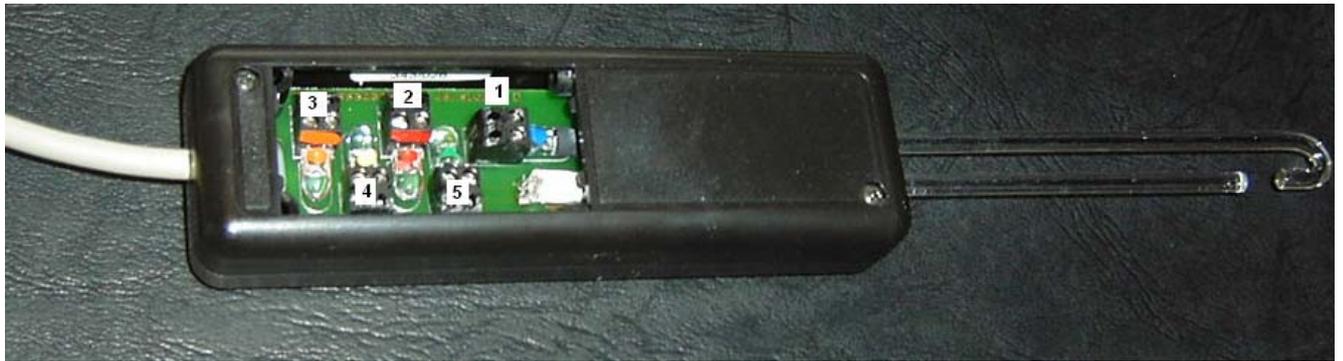
Hier können Sie mit Klick auf die Farben/Nullabgleich etc. testen, ob alles funktioniert

Fertig sind Aufbau und Überprüfung

d) Tauchvorsatz - Leuchtdiodenwechsel

Leider ist das Ändern der Messwellenlänge beim Tauchvorsatz nicht ganz so einfach wie beim Fotometer, wo dies mit Hilfe des Menüs oder per Computer geschieht. Dieses muss hier mechanisch geschehen.

Dazu öffnet man die Klappe auf der Rückseite des Tauchvorsatzes:



Man sieht dort 5 Leuchtdioden in steckbaren Sockeln. Nur der Sockel (1) ist funktionsfähig. Die anderen Sockel dienen nur zur Aufbewahrung der Leuchtdioden. Will man eine andere Farbe wählen, so muss die entsprechend gekennzeichnete Leuchtdiode vorsichtig an der Halterung herausgezogen und auf den Steckplatz 1 gebracht werden.

2. Die Funktionsweise des Schülerfotometers

a) Das Prinzip der Fotometrie

Alle Fotometer haben das gleiche Messprinzip

Prinzip eines Einstrahl-Fotometers

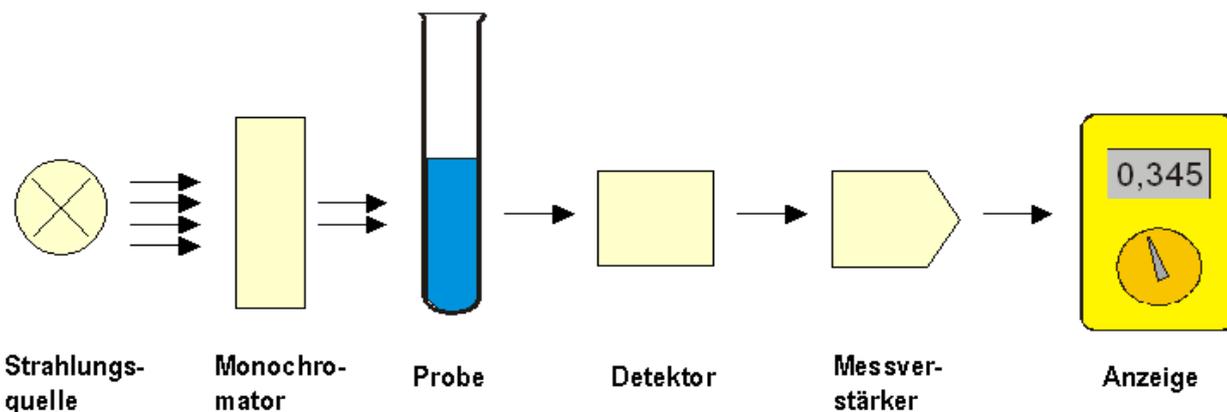


Abb. 3 Prinzipieller Aufbau eines Fotometers

Eine Lichtquelle (Birne) sendet Lichtstrahlen aus. Diese gehen durch den Monochromator (Farbfilter, Gitter oder Prisma). Die nun „einfarbigem“ Strahlen fallen durch die Küvette mit der Probelösung auf einen Fotoempfänger und werden dort in zu der Strahlungsmenge proportionale elektrische Größen umgewandelt. Diese werden verstärkt und zur Anzeige gebracht.

b) Realisierung mit dem Schüler-Fotometer:

Als alternative Lichtquellen werden bei dem Schüler-Fotometer AK LCFM 11 Leuchtdioden eingesetzt. Sie sind Lichtquelle und Monochromator zugleich. Man spart also den Monochromator. Allerdings sind die Bandbreiten größer als bei sehr teuren Geräten.

Die Leuchtdiode

Funktionsweise einer LED:

Die Leuchtdiode (LED = Light Emitting Diode) ist eine Halbleiterdiode, die beim Betrieb in Durchlassrichtung Licht emittiert. Die unterschiedliche Farben rühren daher, dass unterschiedliche Halbleiterkristalle benutzt werden. Die LED funktioniert dabei wie eine normale Diode: An der p/n - Grenzschicht gibt es sehr viele Ladungsträger. Die Elektronen "rekombinieren" mit den Löchern. Die dabei freiwerdende Energie wird in Form eines Lichtblitzes abgegeben. Da die p-Schicht äußerst dünn ist, kann dort das Licht nach außen gelangen. Der Vorgang benötigt nur wenige Milliampere Strom.

c) Die Fotodiode

Funktionsweise der Fotodiode:

Die Fotodiode und die Leuchtdiode sind sehr ähnlich im Aufbau. Die Fotodiode wird aber in Sperrrichtung betrieben. Fällt Lichtenergie auf einen normalen Halbleiterkristall, so werden Elektronen aus dem Valenz- ins Leitungsband gehoben; es entstehen freie Elektronen und Löcher, also positive und negative Ladungsträger. Fällt das Licht aber speziell auf einen p/n-Übergang, so werden die Ladungsträger durch die Raumladungszonen voneinander getrennt: Die Elektronen wandern in das N-Gebiet, die Löcher in das P-Gebiet ab. Der Sperrstrom erhöht sich proportional zur einfallenden Lichtintensität.

Unten sind nun die spektralen Intensitäten in Abhängigkeit von der Wellenlänge aufgetragen. Sie können anhand der Graphen entscheiden, welche Leuchtdiode Sie für ihr Analysenproblem einsetzen möchten.

Spektrale Intensitätsverteilung bei den eingesetzten Leuchtdioden

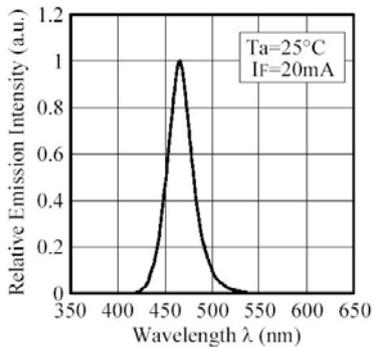


Abb. 4a) Spektrum: blaue Leuchtdiode[4]

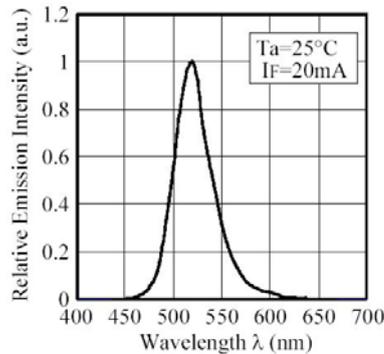


Abb. 4b) Spektrum: grüne Leuchtdiode[4]

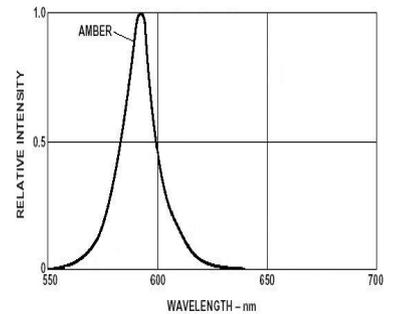


Abb. 4c) Spektrum: gelbe Leuchtdiode [5]

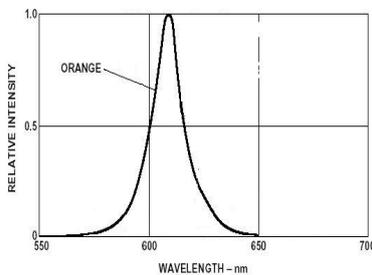


Abb. 4d) Spektrum: orange Leuchtdiode[5]

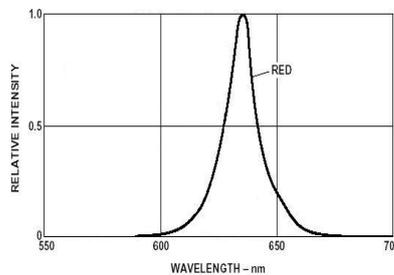


Abb. 4e) Spektrum: rote Leuchtdiode[5]

Spektrale Empfindlichkeit der eingesetzten Fotodiode

Relative spectral sensitivity

$$S_{rel} = f(\lambda)$$

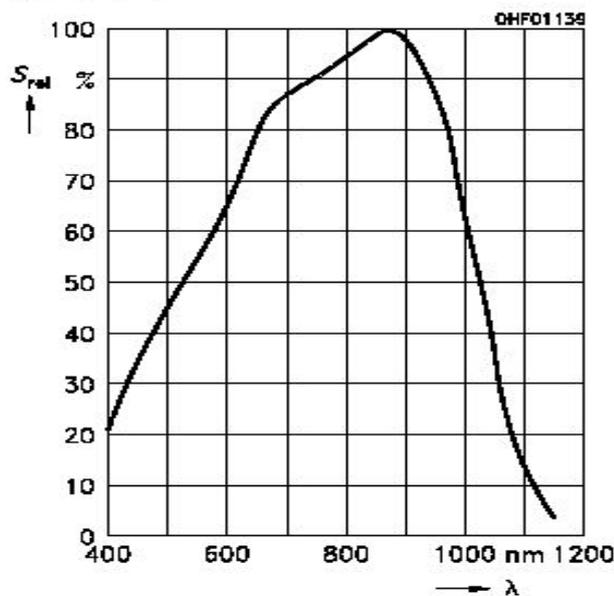
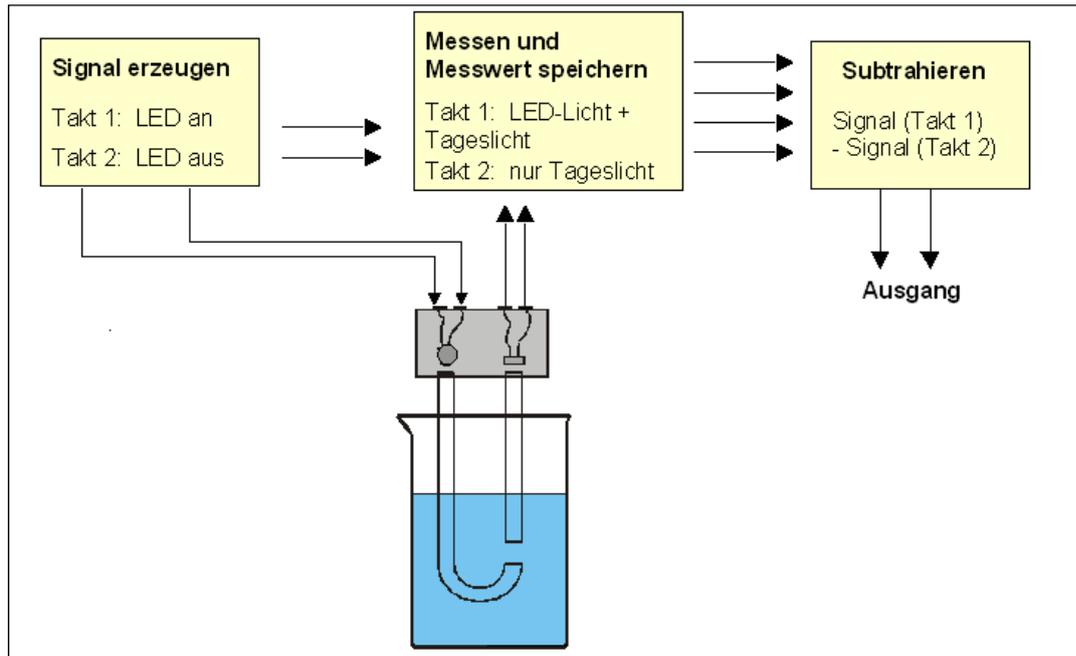


Abb. 5 Relative spektrale Empfindlichkeit der Fotodiode [6]

Im Graphen der spektralen Empfindlichkeiten können Sie sehen, dass diese für die einzelnen Analysen sehr unterschiedlich sind. Man erkennt, dass das Maximum im nicht sichtbaren Infrarotbereich liegt aber auch dass z.B. im blauen Bereich (um 450 nm) die Diode nur ein Drittel ihrer Maximalempfindlichkeit besitzt.

d) Prinzip des Tauchfotometers



Arbeiten bei Tageslicht (schwankungen)

Normalerweise muss bei einer fotometrischen Messung der Lichtschacht gut abgedeckt werden. Dies ist beim AK LCFM11 nicht notwendig, weil es nach dem Chopper – Prinzip arbeitet, um das störende Tageslicht oder Kunstlicht mit seinen Schwankungen zu eliminieren.

Takt 1: Die Leuchtdiode wird angeschaltet und der Fototransistor misst die Summe von durchgehendem Licht und Tageslicht.

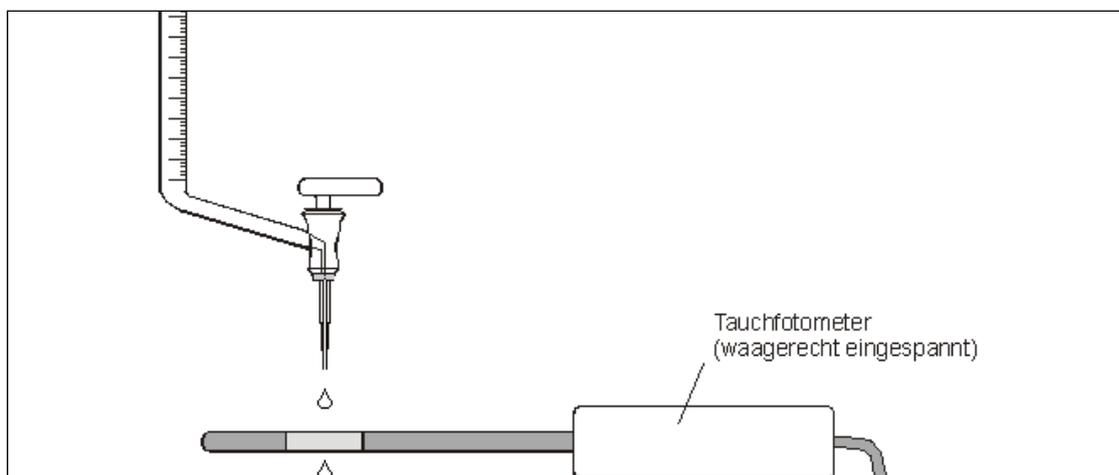
Takt 2: Die Leuchtdiode wird abgeschaltet und der Fototransistor misst nur noch das Tageslicht.

Nun wird elektronisch das Signal (Tageslicht) vom ersten Signal (Messlicht + Tageslicht) abgezogen und es bleibt nur das Messsignal übrig.

Die Taktfrequenz können Sie übrigens selbst beobachten. Vorteil: Änderungen in Experiment und Messwert können parallel betrachtet werden.

e) Tropfenzähler

Das AK LCFM11 enthält einen eigenen Prozessor, der natürlich auch Lichtschwankungen registrieren kann. Wenn der Tauchvorsatz waagrecht eingespannt wird, kann man den Prozessor so programmieren, dass er einzelne Tropfen messen und zählen kann. Das Fotometer arbeitet nun als Volumensmessgerät, welches besonders beim Dosieren (Titrationen) eingesetzt werden kann.



f) Formelfunktionen

Das Fotometer hat freien Speicherplatz für insgesamt 10 Formeln. Mit Hilfe dieser Formeln kann aus dem Messwert die Konzentration eines Stoffes ausgerechnet und angezeigt werden, auch wenn das Lambert-Beersche Gesetz nicht streng gilt. Es ist möglich die Kalibrierkurve so anzunähern, dass sie insgesamt einer Funktion fünften Grades entsprechen kann. Die zugehörigen Koeffizienten müssen allerdings per Computer auf das Fotometer gebracht werden. Bei jeder neuen Formel wird das Fotometerhauptmenü um einen Punkt erweitert.

Zur Messung und direkten Anzeige des entsprechenden Gehaltes muss man nur noch diesen Menüpunkt anwählen und die Messung durchführen.
Genauerer siehe unter Beispiel 7a.

g) Messwertspeicher

Das Schülerfotometer AK LCFM 11 ist auch für Batteriebetrieb, das heißt für Feldmessungen, geeignet.

Um die Messungen später mit dem Computer auslesen und zuordnen zu können wird auf Druck der Taste „Sp“ nicht nur der Messwert, sondern auch Methode, Datum und Uhrzeit gespeichert

Natürlich gibt es im Fotometer einen Menüpunkt „Wertespeicher ansehen“. Dann werden die Speicherwerte mit Datum und Uhrzeit in der oberen Zeile in Laufschrift dargestellt.

Zur Zeit ist die Speicherung von 100 Messwerten möglich.

3. Fernbedienung des Fotometers mit dem Computer - Kalibrierkurven

Mit der App: AK-LowCost-FotoApp können Sie neben Extinktion und Transmission auch direkt Konzentrationen anzeigen lassen. Dazu müssen die Faktoren eines Polynoms in das Fotometer geschrieben bzw. vom Fotometer gelesen werden.

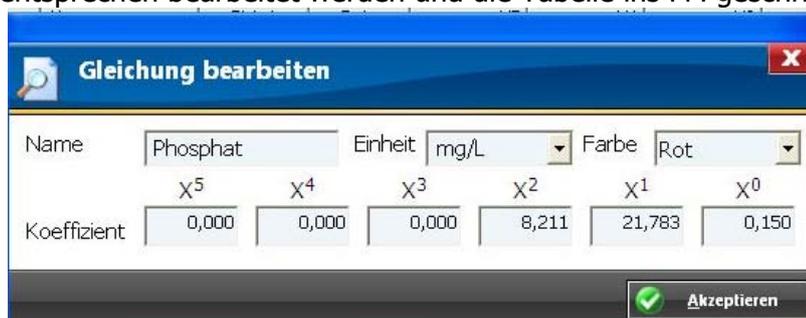
Dazu wählt man den „Geheim-Befehl“: Nacheinander Tasten: [Strg] + [F] + [M]

Es erscheint folgendes Bild:

(Die Tabelle ist noch leer – mit Klick auf „Vom FM holen“ füllt sie sich entsprechend)



Jeder Eintrag kann entsprechen bearbeitet werden und die Tabelle ins FM geschrieben werden.



Zur Zeit ist es noch die beste Lösung, wenn man die eigentliche Kalibriertabelle als Konzentration/Transmission oder Konzentration/Extinktion zum Programm Excel exportiert, dort eine Funktion zeichnen lässt und die Koeffizienten des Funktionsterms hier einträgt. (siehe: Seite 18)

Für später ist geplant, die Koeffizienten für viele der Fertigttests der Firmen Dr. Lange – Macherey&Nagel, Windaus, Riedel de Häen ins Internet zu stellen, um sie allen zugänglich zu machen.

Auch Sie sind aufgerufen, Koeffizienten ihrer Tests an uns zu schicken.

Adresse: ak@kappenberg.com

4. Einheiten in der Fotometrie

Transmission ist der Anteil der Strahlung, der nicht absorbiert wird, also von der Probe durchgelassen wird.

$$\text{Transmissionsgrad } \tau = \frac{\text{durchgelassene Lichtenergie}}{\text{eingestrahle Lichtenergie}}$$

Angaben wird meist nicht der Transmissionsgrad τ sondern die Transmission T in %.

$$T = \tau \cdot 100 \text{ (in \%)}$$

Gemessen wird dabei zweimal:

1. Referenzmessung (Vergleichsmessung oder Messung des Leerwertes) ist die Strahlungsintensität einer Vergleichsprobe (gleiche Bedingungen: Lichtquelle, Probenbehälter, Lösungsmittel, Strahlungsempfänger). Dieser Wert wird willkürlich gleich 1 gesetzt.
2. Wirkliche Messung: Sie erfolgt wie bei 1 nur zusätzlich mit dem zu untersuchenden Stoff. Der Transmissionsgrad bzw. die Transmission gibt ein Verhältnis aus Mess- und Vergleichsstrahl an.

$$T = \frac{\text{Intensität(Meßstrahl)}}{\text{Intensität(Vergleichsstrahl)}} * 100 \%$$

Die Angabe der Transmission erfolgt in %. (0 % Transmission bedeutet, die Strahlung wird vollständig absorbiert).

In manchen Büchern taucht für die Transmission auch der Begriff: "Durchlässigkeit D" auf

Absorption

ist der Anteil der Strahlung, den der Stoff "zurückhält". Der Absorptionsgrad α kann aus dem Transmissionsgrad berechnet werden.

$$\text{Absorptionsgrad } \alpha = \frac{\text{absorbierte Lichtenergie}}{\text{eingestrahle Lichtenergie}} = 1 - \tau$$

Wie bei der Transmission wird auch häufig die Absorption A in % angegeben.

$$A = \alpha * 100 \text{ (in \%)}$$

(0% Absorption bedeutet, die Strahlung wird nicht absorbiert. Sie passiert den Stoff ungehindert).

Extinktion

(Auslöschung). Hier wird der negative (dekadische) Logarithmus des Transmissionsgrades angegeben.

$$\text{Extinktion } E = - \log \tau = - \log \frac{T}{100}$$

In manchen Lehrbüchern findet man für die Extinktion zur Verwirrung auch den Begriff "Absorption A".

Konzentrationsbestimmung

Eine weitere recht große Bedeutung der Fotometrie liegt in der Möglichkeit, dass man den Gehalt einer Verbindung in einer Lösung bis in die Größenordnung von einigen Mikrogramm pro mL durch eine Absorptionsmessung bestimmen kann. Dies kann natürlich auch mit einem Spektrofotometer geschehen.

Das Filterfotometer

Für Konzentrationsmessungen werden aber oft einfache und preiswertere Filterfotometer benutzt. Wenn die Filter im richtigen Bereich (meist im Absorptionsmaximum) liegen, so sind die Fotometer sehr leistungsfähig.

5. Das Gesetz von Lambert-Beer

Bei der Konzentrationsbestimmung bedient man sich am einfachsten eines grafischen Verfahrens unter Verwendung einer Kalibrierkurve.

a) Wahl der Messwellenlänge (Leuchtdiode)

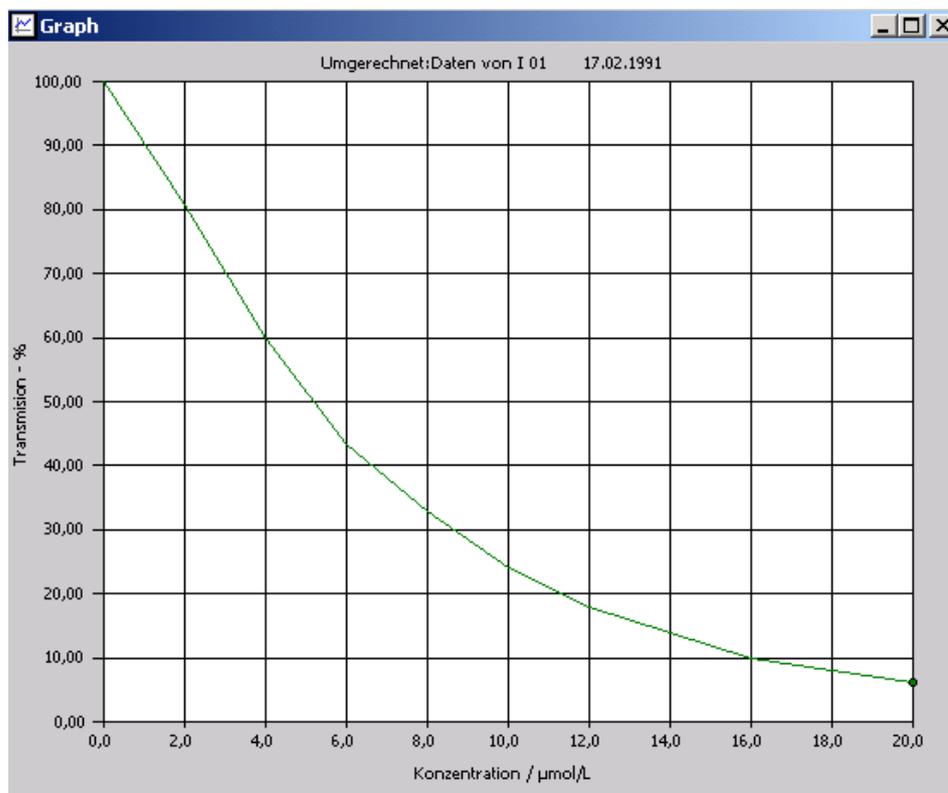
Zunächst sucht man im Spektralbereich den Bereich mit der kleinsten Transmission (größten Extinktion), um mit möglichst kleinen Farbintensitäten noch eine Änderung des Messwertes zu bekommen. Bei den meisten Farbstoffen ist dies bei der entsprechenden Komplementärfarbe der Fall.

b) Herstellen einer Verdünnungsreihe

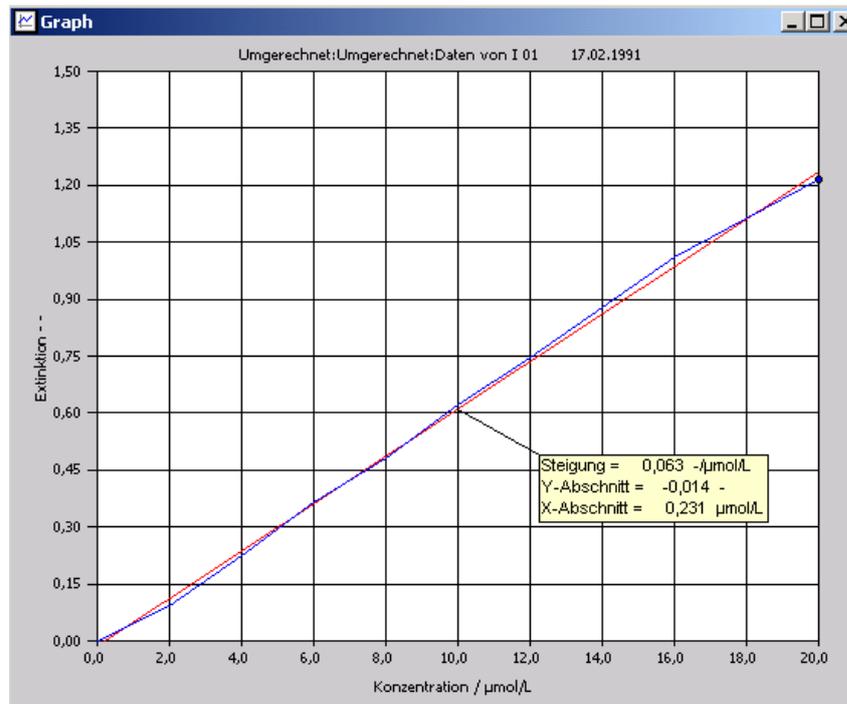
Dazu wird aus einer Lösung bekannter Konzentration (Stammlösung) durch Verdünnen mit dem Lösungsmittel eine Verdünnungsreihe hergestellt. Bei farblosen Lösungen gibt man ein Reagenz zur Farbentwicklung z.B. Saltzmann- Reagenz zur Nitrit-Bestimmung hinzu.

c) Messung der einzelnen Transmissions- bzw. Extinktionswerte und Zeichnen der Kalibrierkurve

Dabei wird der Leerwert (Nullwert bei Extinktion bzw. 100%-Wert bei Transmission) mit dem reinen Lösungsmittel automatisch oder per Hand vorher eingestellt und die einzelnen Verdünnungen durchgemessen.



Transmissions-Konzentrationskurve



Extinktions-Konzentrationskurve

Werden die Extinktionswerte auf der Ordinate gegen die der Konzentrationen auf der Abszisse aufgetragen, so erhält man bei nicht zu hohen Konzentrationen eine Gerade. Es gilt also

$$E \sim c$$

Durch Einfügen der Konstanten ϵ und d erhält man die Beziehung

$$E = \epsilon \cdot c \cdot d$$

Gesetz von Lambert-Beer.

ϵ ist der für die Lösung spezifische (molare) Extinktionskoeffizient (eine Konstante; ihre Einheit ist $L/mol \cdot cm$)

d ist die Schichtdicke der Küvette (meist $d = 1 \text{ cm}$)

c ist Konzentration der Lösung (Einheit: mol/L)

E ist die Extinktion. Diese Größe hat keine Einheit.

Die Steigung der Kurve in der Abb. auf der vorherigen Seite ergibt bei der Schichtdicke 1 cm direkt den Extinktionskoeffizienten ϵ .

Soll die Konzentration einer Analysenlösung bestimmt werden, so braucht man aus dem E-c-Diagramm zum gemessenen E-Wert nur die entsprechende Konzentration abzulesen.

Abweichungen von der Kalibrierkurve

Die Linearität der Kalibrierkurve hat Grenzen. Meist wird die Steigung flacher als theoretisch vorgesehen und zwar immer im Bereich der höheren Konzentrationen. Mit dem AK-LowCost FM11 ist es durch Umrechnung der Kalibrierkurve möglich, auch noch in solchen Bereichen zu arbeiten, in denen das Lambert-Beersche Gesetz nicht mehr streng gilt.

Daher kann man bei der Messung direkt Konzentrationen anzeigen lassen.

6. Ausführliche Versuchsbeispiele zur Fotometrie

a) Phosphat-Gehalt mit Machery und Nagel Visocolor

Arbeitskreis Computer im Chemieunterricht	Chemische Wasseranalysen		PO_4^{3-} Phosphat
--	--------------------------	--	--------------------------------

Phosphationen

Allgemeine Bedeutung

Von der ortho-Phosphorsäure H_3PO_4 lassen sich drei Reihen von Salzen ableiten mit den Anionen H_2PO_4^- (Dihydrogenphosphate), HPO_4^{2-} (Hydrogenphosphate) und PO_4^{3-} (Phosphate).

In den schwach alkalischen Wässern existiert von den drei Anionen der ortho-Phosphorsäure meist nur das Hydrogenphosphation und auch dieses kommt dann nur in sehr geringen Mengen vor. Weiter gibt es noch organisch gebundene Phosphate, also in den Lebewesen enthaltene Phosphorverbindungen. Das Phosphat im Wasser ist fast immer das Produkt menschlicher Verunreinigungen durch Abwässer, Jauche, Dünger, Waschmittel und Rostschutzmittel. Phosphate, die dem Wasser zugesetzt werden, um das Rosten der Leitungsrohre zu verhindern, oder solche, die in den Waschmitteln noch in geringer Menge enthalten sind, haben einen komplizierteren Aufbau und heißen Polyphosphate.

In unbelasteten Gewässern sind Phosphate nur in sehr geringen Spuren vorhanden, da diese sehr schnell von Pflanzen und Algen gebunden werden oder als unlösliches Eisen(III)-phosphat im Boden festgehalten wird. Umgekehrt wird bei einer Sauerstoffarmut des Gewässers das Eisen(III)-phosphat zum wasserlöslichen Eisen(II)-phosphat reduziert und die Phosphatbelastung des Gewässers steigt an.

Der natürliche Phosphateintrag in die Gewässer spielt heute kaum eine Rolle. Da die Phosphatbelastungen der Seen, Bäche und Flüsse sehr stark schwanken, ist dies ein Zeichen für den künstlichen Eintrag und damit die Einwirkung des Menschen.

Beispiele für ortho-Phosphatkonzentrationen β in mg/l:

Grenzwert im Trinkwasser (TrinkwV 2001): 0,02

Grenzwert für Verdauungsstörungen: 0,02

Unbelastetes Oberflächenwasser: < 0,1 meist sogar < 0,03

Moorwässer: < 1

Verdacht auf Verunreinigungen bei stehenden Gewässern: > 0,3

Die Eutrophierung

Das Phosphat ist meistens der Minimumfaktor beim Pflanzen- und Algenwachstum, d.h. diese Lebewesen sind auf Phosphate als Nährsalze angewiesen. Durch eine übermäßige Zufuhr von Phosphaten in Gewässer kommt es zu einer Überdüngung (Eutrophierung). Algen und andere Wasserpflanzen und in der Folge die davon lebenden Tiere wachsen und vermehren sich im Übermaß. Nach dem Absterben wird diese relativ große Biomasse durch aerobe Bakterien abgebaut. Solche Bakterien leben in einem mit organischen Stoffen angereicherten Wasser in ungeheurer Zahl: in 1 cm^3 Flüssigkeit bis zu 1 Million. Sie nehmen meist nur gelöste Stoffe auf, scheiden teilweise aber auch Enzyme aus, die feste Stoffe in der nächsten Umgebung der Bakterien hydrolysieren. Dabei verbrauchen sie gelösten Sauerstoff und führen die in der Biomasse vorhandenen Elemente letztendlich in Kohlenstoffdioxid, Wasser, Stickstoff, Schwefel(IV)-oxid und Sulfat über.

Verringert sich aber der Sauerstoffgehalt des Wassers, so bilden sich vermehrt anaerobe Bakterien. Sie produzieren vor allem im Tiefenwasser einen Faulschlamm, in welchem Ammoniak, Methan und Schwefelwasserstoff entstehen. Die zum Teil löslichen und übel riechenden Gase verursachen ein völliges Absterben aller Lebewesen. Man sagt: das Gewässer "kippt um".

Bestimmungsmethode – ortho-Phosphat

Phosphat reagiert mit Ammoniummolybdat unter Gelbfärbung. Da die Reaktionsgleichungen sehr umfangreich sind, sollen sie hier nur angedeutet werden.



Man kann die Nachweisgrenze noch stärker erhöhen, wenn man den Farbstoff reduziert zu Phosphomolybdänblau.

↓



Es können auch käufliche Reagenzien verwendet werden

Fa. Macherey&Nagel

z.B.: Visocolor ortho-Phosphat 2 –25 mg/l Nachfüllpackung Nr.: 914 223 (60 Best.)

mit den Reagenzien o-Phosphat(e) – 1 und o-Phosphat(e) – 2 (s. u.) .

Störungen:

Trübe Wasser sollten filtriert werden. Alle Glasgeräte sind vor der Bestimmung zu reinigen. Keine phosphathaltigen Spülmittel benutzen! Vorhandene Kieselsäure kann wegen gleicher Reaktion Phosphat vortäuschen: Durch Zitronensäure wird die Störung umgangen.

Herstellen der Standardlösungen:**Standardlösung I: 50 mg PO₄³⁻/L**

0,75 g wasserfreies Dinatriumhydrogenphosphat (Na₂HPO₄) oder 1,885 g Na₂HPO₄ * 12 H₂O werden in einen 1000 ml Messkolben gegeben und mit dest. Wasser wird bis zur Marke aufgefüllt. Von dieser Lösung werden 100 mL in einen weiteren Messkolben 1000 mL überführt und es wird bis zur Marke aufgefüllt.

Diese Standardlösung enthält 50 mg PO₄³⁻/L. 1 mL dieser Lösung enthält 0,05 mg PO₄³⁻.

Aufstellen der Verdünnungsreihe

Von der Standard - Lösung I kann folgende Verdünnungsreihe aufgestellt werden:

ml in Lösung auf 100 ml aufgefüllt	Konzentration in mg pro l	Extinktion 1 Beispielwerte	Extinktion 2 eigene	Extinktion 3 eigene
0	0	0,000		
5	2,5	0,105		
10	5,0	0,198		
20	10,0	0,388		
40	20,0	0,728		
60	30,0	0,992		

Aufnahmen einer eigenen Kalibrierkurve mit Auswertung in EXCEL

Geräte:

Tauchfotometer, Leuchtdiode rot (625 nm)
n Reagenzgläser
n Rechteckküvetten

Chemikalien

o-Phosphat(e)-1 siehe oben
o-Phosphat(e)-2 siehe oben
Verdünnungsreihe siehe oben

Arbeitsgang:

	Reagenzglas für Messwertküvette	Referenzküvette
Probenwasser (Verdünnungsreihe)	10 ml	10 ml
o-Phosphat(e)-1	10 Tropfen mischen	
o-Phosphat(e)-2	10 Tropfen !! gut vermischen!!	
genau 10 Minuten warten		

- Umfüllen in Rechteck-Küvetten
- Referenzküvette einstellen
- Taste Menü: Farbe
- Taste vor : -> „rot“-> OK
- evtl. umstellen auf Extinktion
- Taste Abgleich: -> OK
- ---
- Messwertküvette einstellen
- Messwert ablesen und notieren
- Diese Vorgänge werden für alle Verdünnungsstufen wiederholt.

Die Tabelle wird in ein Excel - Arbeitsblatt eingetragen:

- ❖ in die erste linke Spalte die Extinktion und in die zweite rechte die Konzentration.
- ❖ Tabellenbereich mit linker Maustaste markieren „Einfügen“ Diagramm-Assistenten aufrufen
- ❖ Diagramm –Typ: Punkt (x,y)
- ❖ im Diagramm mit rechter Maustaste auf einen der Messpunkte klicken
- ❖ „Trendlinie hinzufügen“ und Typ „polynomisch“
- ❖ ausprobieren bei der Reihenfolge 3 bis 5 und im Diagramm schauen, wie gut der Interpolationsgraph die Punkte berücksichtigt.
- ❖ In diesem Fall reicht schon die Näherungsgleichung zweiten Grades
- ❖ Karteikarte Trendlinie Optionen anklicken „Formel im Diagramm darstellen“.

$$y = 8,2113x^2 + 21,783x + 0,1501$$

Die Koeffizienten dieser Gleichung lassen sich mit dem Programm AK – ANALYTIK 11 (Schnellstarter) in das Fotometer übertragen. (Die Koeffizienten für die Exponenten 5, 4 und 3 werden auf null gesetzt).

Damit steht das AK LCFM11 für direkte Phosphatmessungen nach dieser Methode bereit.

**Durchführung der fotometrischen o-Phosphatbestimmung mit dem
Schülerfotometer AK LCFM 04
mit: Visocolor ortho-Phosphat 2 –25 mg/l Nachfüllpackung Nr.: 914
223 (60 Best.)
und eingespeicherter Messkurve**

Geräte:

Schülerfotometer AK LCFM 11, Leuchtdiode rot (625 nm)
n Reagenzgläser
n Rechteckküvetten

Chemikalien:

o-Phosphat(e)-1 siehe oben
o-Phosphat(e)-2 siehe oben

Arbeitsgang:

	Reagenzglas für Messwertküvette	Referenzküvette
Probenwasser	10 ml	10 ml
o-Phosphat(e)-1	10 Tropfen mischen	
o-Phosphat(e)-2	10 Tropfen !! gut vermischen!!	
genau 10 Minuten warten		

- Umfüllen in Rechteck-Küvetten
- Referenzküvette einstellen
- Taste Menü: Farbe
- Taste vor: -> Phosphat -> OK
- Taste Abgleich: -> OK
- Messwertküvette einstellen
- Messwert ablesen

Berechnung der Ergebnisse:

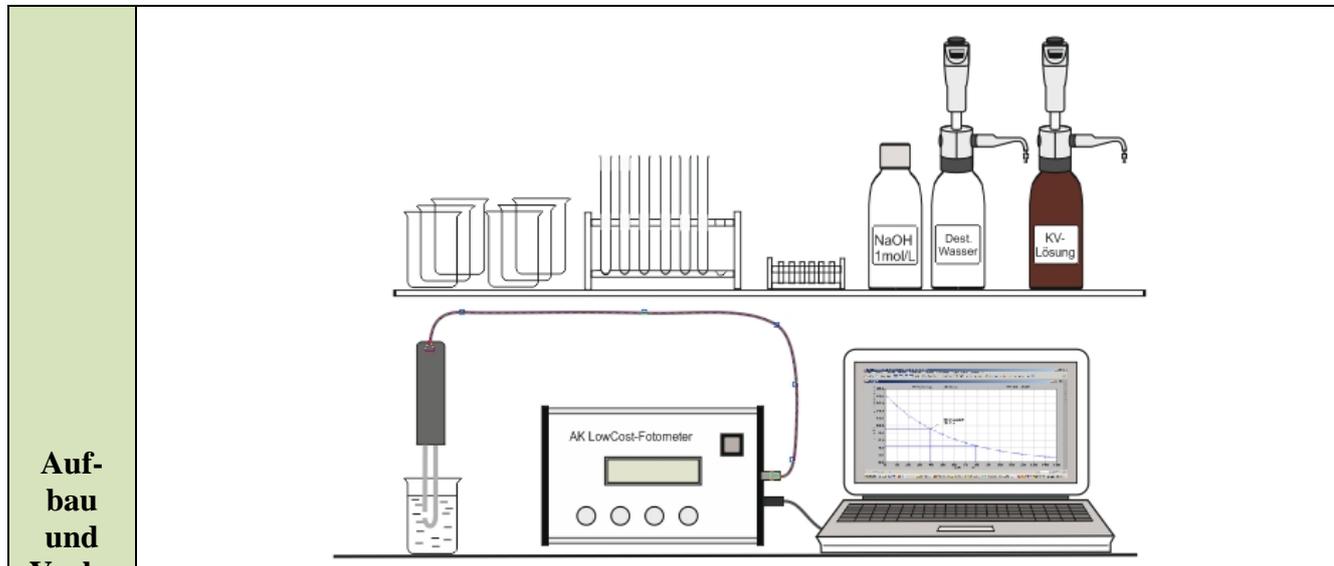
Der abgelesene Messwert entspricht dem tatsächlichen Gehalt an ortho-Phosphat in mg /l

Literatur:

Firma Dr.Lange: Wasser- und Abwasseruntersuchungen, Loseblattsammlung, Berlin 1976
Höll, K.: Wasser- und Abwasseruntersuchungen; deGruyter, Berlin 1979
Kappenberg, F.: Wassersuntersuchungen in der Schule, Münster 1980
Firma Macherey-Nagel: Filterfotometer PF 10 zur Auswertung von VISOCOLOR Testen und NANOCOLOR Rundküvettesten, Düren 1985

b) Entfärbung einer Kristallviolett-Lösung mit Natronlauge und Bestimmung der Reaktionsordnung

Prinzip Eine Lösung von Kristallviolett reagiert mit Natronlauge unter Bildung einer farblosen Verbindung. Die Abnahme der Farbe wird fotometrisch erfasst und unter reaktionskinetischen Gesichtspunkten ausgewertet. Durch Umrechnung der Kalibrierkurve im Computer kann man auch mit sehr preiswerten Fotometern direkte Konzentrationsmessungen durchführen.



Benötigte Geräte

- Fotometer FM11
- evtl. Tauchvorsatz
- Computer
- 2 Dispensetten, 10 ml
- Pipette, 5 ml
- 6 Reagenzgläser / Ständer
- evtl. 6 Einmal-küvetten
- oder 6 Bechergläser, 50 ml mit
- Stativ/Muffe/Greifklemme

Verwendete Chemikalien

- Kristallviolettlösung $c=20 \mu\text{mol/L}$ aus
- Kristallviolett
- Natronlauge $c= 1 \text{ mol/L}$
- dest. Wasser

Vorbereitung des Versuchs

Das Fotometer wird nach Anleitung aufgebaut, an den Computer angeschlossen und eingeschaltet. Herstellen der Verdünnungsreihe:

	Experiment im Reagenzglas (evtl. dann in Küvette)						Experiment im Becherglas					
Kristallviolettlösung (mL)	0	3	6	9	12	15	0	8	16	24	32	40
Dest. Wasser (mL)	15	12	9	6	3	0	40	32	24	16	8	0
Konzentration ($\mu\text{mol/L}$)	0	4	8	12	16	20	0	4	8	12	16	20

1. Suche der für diesen Versuch geeigneten Farbe der Leuchtdiode LED (Wellenlänge)

Im Fotometer sind 5 Leuchtdioden eingebaut: Blau (470 nm), Grün (520 nm), Gelb (590 nm), Orange (605 nm) und Rot (625 nm). Im Tauchvorsatz müssen diese vor dem Experiment manuell "umgesteckt" werden.



Achtung: Wenn man mit dem Tauchvorsatz arbeiten will ("→Tauchvorsatz Extern"), muss sichergestellt sein, dass die richtige LED beschaltet ist (**Die Farbe muss im Glasansatz leuchten; evtl. LED im Handgriff wechseln!**). Auch hier sollte ein "→Nullabgleich" erfolgen.

Man sucht diejenige der 5 Leuchtdioden, bei der die Transmission am geringsten ist (= Komplementärfarbe zu der violetten Farbe).
 Die Suche geschieht - auch wenn man mit dem Tauchvorsatz messen will - am geschicktesten mit Hilfe des Computers im Fotometer. (Beim Tauchvorsatz müsste man manuell die Dioden wechseln.) Dazu:

- ▶ eine Küvette mit dest. Wasser (= Referenzküvette) füllen und
- ▶ eine Küvette mit Kristallviolettlösung z.B. der Konzentration $c = 12 \mu\text{mol/L}$ (= Messküvette) füllen.

Vorbereitung am Computer: Programm AK Analytik 11

⇒Messen	⇒mit Geräte-Schnellstarter App	⇒FotoApp	⇒FM11

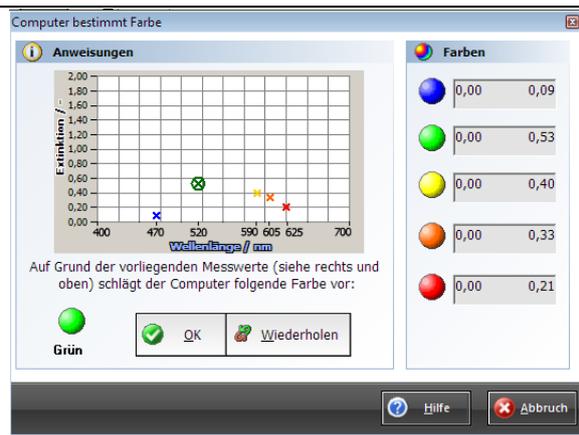


- ▶ Was möchten Sie messen? **Konzentration**
- ▶ Kalibrierung? **Kalibriertabelle**

Auswählen der richtigen Wellenlänge (Leuchtdiode)

- ▶ Bei welcher Farbe wollen Sie messen? **Computer wählt die Farbe**

- ▶ Referenzküvette einstellen und **Weiter**



▶ Messküvette einstellen und **Weiter**

Bestätigen mit **OK**

Bei Bedarf im Tauchvorsatz jetzt die grüne LED einsetzen und Tauchvorsatz (Extern) wählen und **Weiter**



▶ Auf welche Weise möchten Sie messen? **Auf Zeit**

▶ "Zeitintervall": **0,5** s

▶ "Gesamtzeit": **1000** s

▶ "x-Komma": **1** s

▶ Mit **Weiter** wird das eigentliche Messprogramm **AK Analytik11** aufgerufen.

2. Kalibrierung des Systems "Fotometer-Computer"

(ist im Programm AK Analytik 11 vorgegeben)

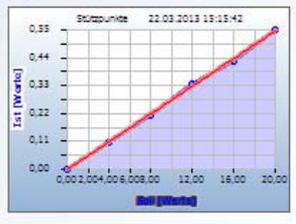
- ▶ alle Lösungen (wie in der Tabelle auf der Vorderseite angegeben) entweder in den Bechergläsern oder Reagenzgläsern und evtl. Küvetten bereitstellen.
- ▶ begonnen wird mit der verdünntesten Lösung ($c = 0 \text{ mol/L}$),
- ▶ alte Kalibriertabelle löschen: " **Neu!**  "
- ▶ warten, bis bei "Neuer Istwert" der Wert konstant ist, und mit Mausclick (auf den rötlichen **Schloss-Button**  unten in der Mitte zwischen den Zahlenfeldern) übernehmen
- ▶ rechts daneben (bei: "Neuer Sollwert") per Hand die entsprechende Konzentration eingegeben und darunter **Aufnehmen**  klicken.
- ▶ ebenso alle anderen Lösungen vermessen
- ▶ Bei „Rechenmodus“ eventuell die passende Ausgleichskurve wählen
- ▶ evtl. durch Testmessungen mit Küvetten mit anderen Konzentrationen überprüfen (Messwerte stehen bei "Neuer Istwert").

Datenreihe 'Stützpunkte'

Kalibriertabelle

In diesem Dialog können Sie eine Mehrpunkt-Kalibrierung durchführen

Vorschau



Rechenmodus

Automatisch bestimmen

linear Stützpunkt-Int.
 exp Spline
 log
 pot

Kalibriertabelle

Nr	Ist-Werte		Soll-Werte	
	Y-Werte	Ist	X-Werte	Soll
	Werte		Werte	
1	0,00		0,00	
2	0,11		4,00	
3	0,22		8,00	
4	0,34		12,00	
5	0,43		16,00	
6	0,55		20,00	

Aufnahme der Kalibriertabelle

Im Feld "Neuer Istwert" sehen Sie den aktuellen Wert des Wändlers. Mit der Schaltfläche davor halten Sie den Wert an und können dann einen Sollwert eingeben. Mit "Aufnehmen" fügen Sie dieses Wertepaar der Kalibriertabelle oben hinzu.

Neuer Istwert  **Neuer Sollwert**

 Fertig
 Abbruch
 **Neu!**
 Bearbeiten
 Einfügen
 Löschen
 Ordnen
 Laden
 Speichern
 Datenreihe
 Hilfe

Die Daten können Sie für spätere Wiederholungen des Versuchs speichern.

- ▶ schließlich die Kalibrierung beenden mit **Fertig** 

Damit ist alles für die Messung vorbereitet.

3. Die Messung der eigentlichen Reaktion.

Durchführung

Im 50 mL Becherglas	Im Reagenzglas	Im Fotometer (Küvette)
(bei 100 mL-Becherglas: Volumen x 2)		Erst in einem Reagenzglas:
<ul style="list-style-type: none"> ▶ 40 mL Kristallviolett vorlegen ▶ 8 mL Natronlauge dazugeben ▶ mit Tauchvorsatz kurz rühren ▶ Aufzeichnen  oder mit der 's'-Taste das Speichern starten. ▶ Innerhalb von 5 s: ▶ Tauchvorsatz befestigen 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 15 mL Kristallviolett vorlegen ▶ 3 mL Natronlauge dazugeben ▶ kurz schütteln ▶ Aufzeichnen  oder mit der 's'-Taste das Speichern starten. ▶ Innerhalb von 5 s: ▶ Tauchvorsatz ins Reagenzglas 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 15 mL Kristallviolett vorlegen ▶ 3 mL Natronlauge dazugeben ▶ kurz schütteln ▶ Aufzeichnen  oder mit der 's'-Taste das Speichern starten. ▶ (in 5 s) in Küvette umfüllen und Küvette ins Fotometer stellen
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Nach ca. 200 s den Versuch Messung beenden  beenden. 		

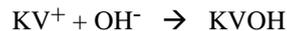
Achtung: Der Konzentrationswert zum Startzeitpunkt muss noch in der Tabelle korrigiert werden. Er ist bekannt: Zur Zeit $t = 0$ s ist die Konzentration = $20 \mu\text{mol/L} * 15 \text{ mL} / (15+3) \text{ mL} = 16.67 \mu\text{mol/L}$

- ▶ Hauptmenü: **AK Analytik 11** Start Messung **Favoriten** Auswerten Hinzufügen **Tabelle** 
- ▶ Bei dem y- Wert vom Wertepaar Nr. 1    **16,67**
- ▶ **Projekt**  **Speichern unter**
- ▶ Projektnamen eingeben (hier: Beispiel)  **KV-Lösung** und **Akzeptieren** 

! Das ist die Ausgangsdatenreihe für alle Auswertungen !

Bestimmung der Reaktionsordnung über die Halbwertszeit

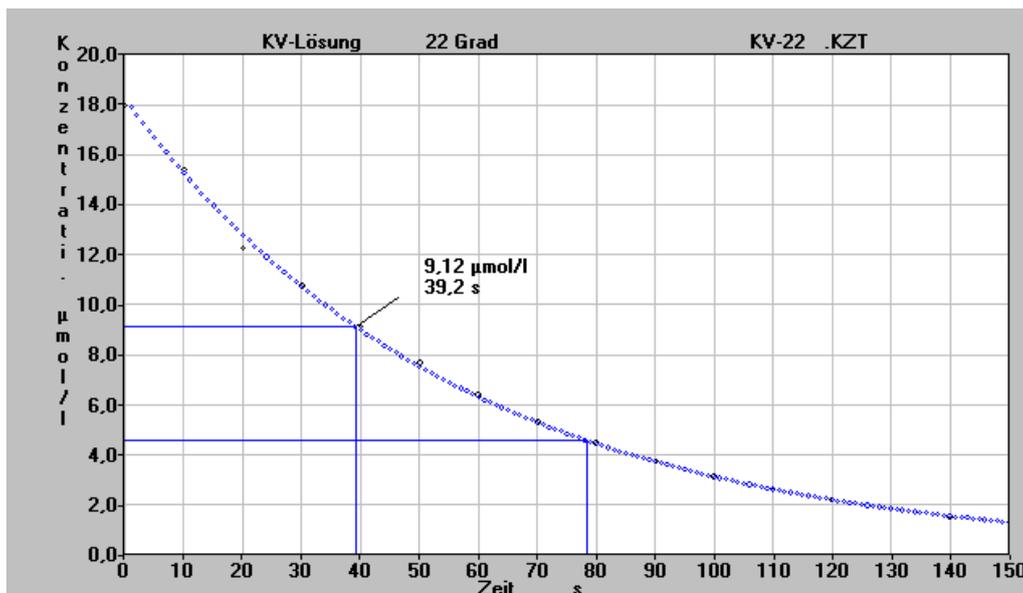
Die blaue Kristallviolett-Lösung wird durch Zugabe von OH^- - Ionen entfärbt.



Durch Wahl der Reaktionsbedingungen $c(\text{OH}^-) \gg c(\text{KV}^+)$ ist dafür gesorgt, dass die Konzentrationsänderung der Hydroxidionen so minimal ist, dass sie keinen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit ausüben kann.

Beobachtet wird also fast nur die Abnahme der Konzentration an KV^+ .

- ▶ Hauptmenü: **AK Analytik 11** Start Messung Favoriten **Auswerten** Hinzufügen **weitere Ausw** 
- ▶ **Automatik für Kinetik** **OK** 
- ▶ Der Rechner gibt die Summe der Fehlerquadrate an. Der kleinste Wert ist hier bei 1. Ordnung
- ▶ **Zeichnen**  und **Beschriften**  (evtl. Position ändern) und **Fertig** 
- ▶ **Neue Datenreihe In aktuellen Graphen einzeichnen** **Akzeptieren** 



Test auf „erste Ordnung“:

Man setzt die Halbwertszeit ($t=39$ s) als neuen Startpunkt, dann muss beim doppelten Wert ($t=78$ s) die Hälfte der Hälfte reagiert haben, d.h. der Punkt für $c/4$ muss auf dem Graphen liegen.

Weitere Auswertung nach Reaktion 1. Ordnung

Auswertung

Die Geschwindigkeitsgleichung für eine Reaktion erster Ordnung (**Exponent der Konzentration = 1**) bzw. die integrierte Form lautet:

$$v = -\frac{dc}{dt} = k_1 \cdot c^1 \quad (A) \quad \rightarrow$$

$$c_t = c_0 \cdot e^{-k_1 \cdot t} \quad (B)$$

Setzt man in die integrierte Form für c_t den Wert $c_0/2$ ein, so erhält man durch Umformen und Logarithmieren schließlich:

$$\frac{c_0}{2} = c_0 \cdot e^{-k_1 \cdot t_{1/2}} \quad \rightarrow \quad \ln(2) = t_{1/2} \cdot k_1 \quad \rightarrow \quad k_1 = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \quad (C)$$

1. Aus der Halbwertszeit des Beispiels (vorige Seite) ergibt sich die Geschwindigkeitskonstante:

$$k_1 = \ln(2) / t_{1/2} = 0.6931 / 39,2 \text{ s} = 0.0177 \text{ s}^{-1}$$

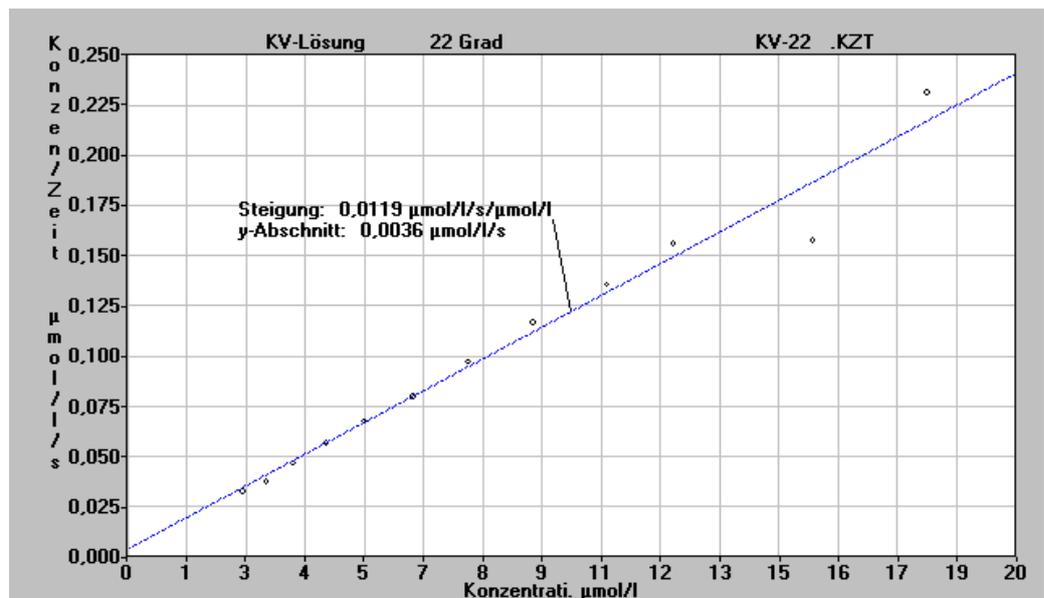
2. Der Graph dc/dt (y-Achse) gegen c (x-Achse)

Die obige Gleichung (A) ist Geschwindigkeitsgleichung für eine Reaktion erster Ordnung. Das bedeutet: Der Graph der Steigung gegen die Konzentration müsste eine Gerade geben

Achtung: Da die Konzentration c sowohl in dem Ausdruck „ dc “ als auch im dem Ausdruck „ c “ vorkommt, wird die Auswertung sehr unruhig. Es hilft etwas, wenn man die y -Werte vorher glättet (in folgendem Fall: 1-mal geschehen).

Ausgangsdatenreihe ist die Datenreihe mit der Konzentration – sie muss gewählt sein.

- ▶ Hauptmenü: **AK Analytik 11** Start Messung Favoriten **Auswerten** Hinzufügen **Daten umrechnen**
- ▶ **Glätten der Werte** Wie oft soll geglättet werden? **1x** Was soll geglättet werden? **y-Werte** **OK**
- ▶ **In neuen Graphen einzeichnen** **Akzeptieren**
- ▶ dann
- ▶ Hauptmenü: **Daten umrechnen**
- ▶ **Umrechnen mit einzugeb.der Funktion** **Kinetik: Steigung als y-Werte / y-Werte als x-Werte** **OK**
- ▶ **In neuen Graphen einzeichnen** **Akzeptieren**
- ▶ **Zeichnen** und **Beschriften** (evtl. Position ändern) und **Fertig**



Die Geschwindigkeitskonstante entspricht der Steigung: $k_1 = m = 0.012 \text{ s}^{-1}$! Einheit: $\frac{v}{c} = \frac{\frac{\mu\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{s}}}{\frac{\mu\text{mol}}{\text{l}}} = \text{s}^{-1}$

Man sieht noch die Schwankungen aber mit gutem Willen ist ein linearer Zusammenhang (insbesondere bei dem Maßstab) zu erkennen. Günstiger ist meist die Auswertung über den Logarithmus

3. Logarithmieren

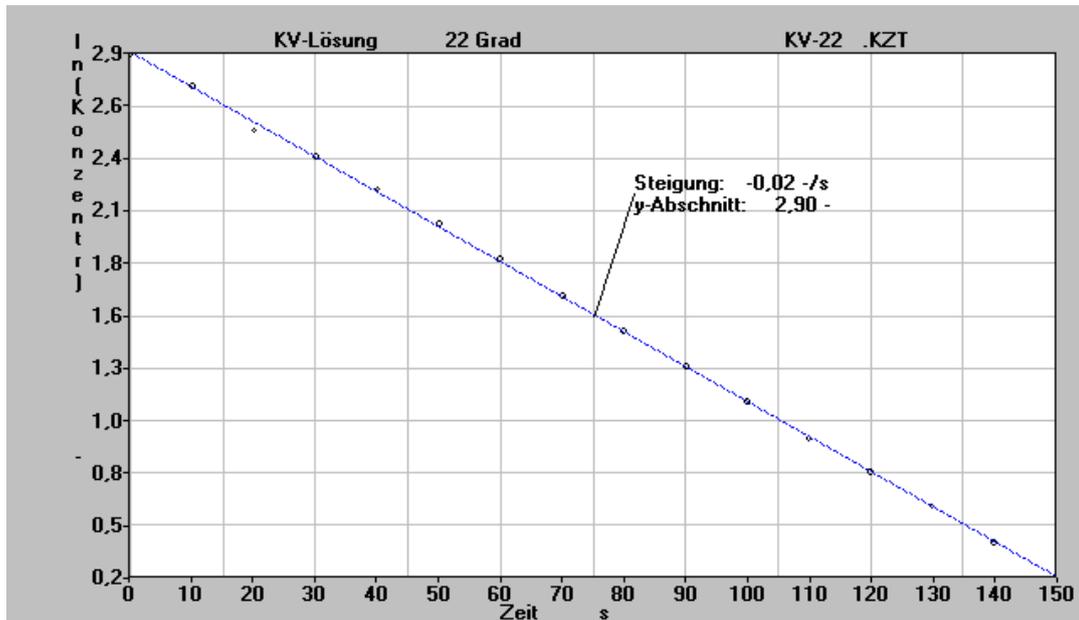
Logarithmiert man die integrierte Form der Geschwindigkeitsgleichung für die Reaktion erster Ordnung (B) so erhält man:

$$\ln c_t = \ln c_0 - k_1 \cdot t$$

Trägt man $\ln c$ gegen t auf, so müsste sich eine Gerade ergeben

(Ausgangsdatenreihe ist wieder die Datenreihe mit der Konzentration – sie muss gewählt sein.)

- ▶ Hauptmenü: **AK Analytik 11** Start Messung Favoriten **Auswerten** Hinzufügen **Daten umrechnen**
- ▶ **Umrechnen mit einzugebender Funktion** **Kinetik: Logarithmieren der y-Werte** **OK**
- ▶ **Neue Datenreihe** **In neuen Graphen einzeichnen** **Akzeptieren**
- ▶ **Zeichnen** und **Beschriften** (evtl. Position ändern) und **Fertig**



Notieren Sie auch hier die Steigungen bzw. Korrelationskoeffizienten!

Die gesuchte Geschwindigkeitskonstante entspricht der Steigung des Graphen: (-0.018)

Bestimmung der Reaktionsordnung nach dem Schema für 2. Ordnung

Die Geschwindigkeitsgleichung für eine Reaktion zweiter Ordnung (**Exponent der Konzentration = 2**) bzw. die integrierte Form lautet:

$$v = -\frac{dc}{dt} = k_2 \cdot c^2 \quad \rightarrow \quad \frac{c_0}{c_t} = k_2 \cdot c_0 \cdot t + 1$$

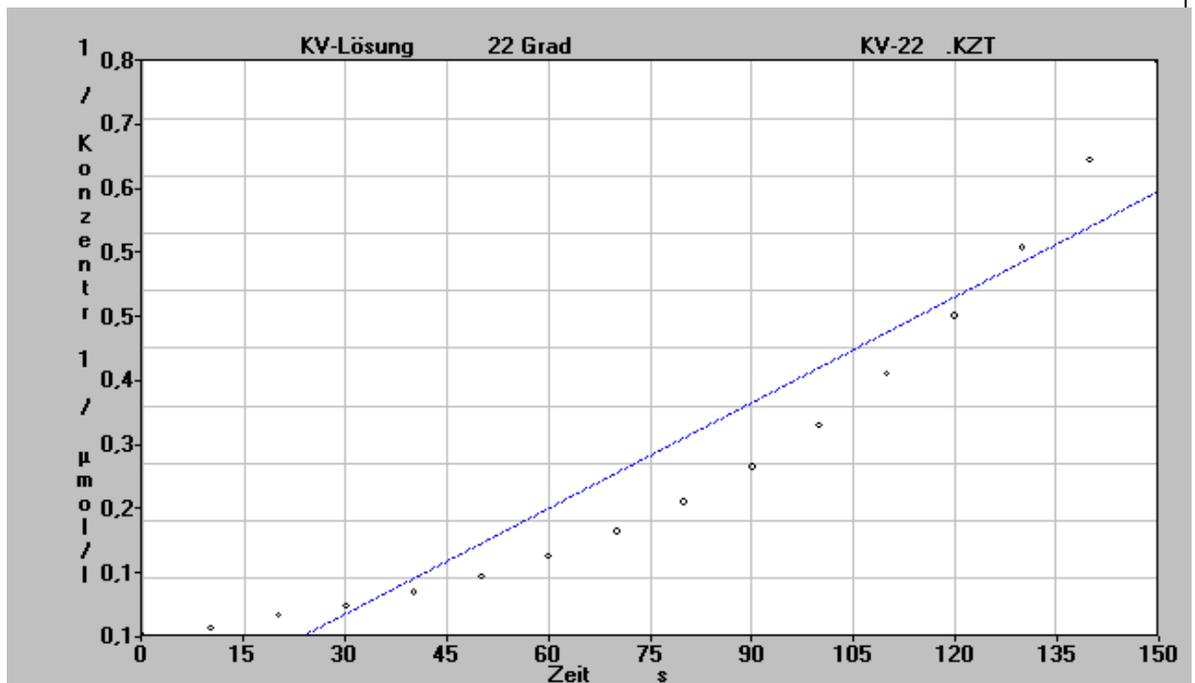
Formt man die integrierte Form um, so erhält man:

$$\frac{1}{c_t} = k_2 \cdot t + \frac{1}{c_0}$$

Der Graph 1/c (y-Achse) gegen t (x-Achse), müsste eine Gerade ergeben.

(Ausgangsdatenreihe ist die Datenreihe mit der Konzentration – sie muss gewählt sein.)

- ▶ Hauptmenü: **AK Analytik 11** Start Messung Favoriten **Auswerten** Hinzufügen **Daten umrechnen**
- ▶ **Umrechnen mit einzugebender Funktion** **Kinetik: Kehrwert der y-Werte** **OK**
- ▶ **Neue Datenreihe** **In neuen Graphen einzeichnen** **Akzeptieren**
- ▶ **Zeichnen** und **Beschriften** (evtl. Position ändern) und **Fertig**



Dass eine Reaktion zweiter Ordnung vorliegt, kann man bei Betrachtung des Graphen wohl ausschließen. Sie können den Korrelationskoeffizienten (0.942) notieren.

Beachten:		Entsorgung	Ausguss
Literatur	K. Hagenstein, Photometrische Analysen im Unterricht, Dr. Lange, Berlin, 1976 F. Kappenberg, Computer im Chemieunterricht 1988, S. 175, Verlag Dr. Flad, Stuttgart.		

7. Fehler am AK LCFM 11 und deren Behebung

Derzeit sind noch keine Fehler bekannt. Falls bei Ihnen ein Fehler auftritt, bitten wir um Rückmeldung an den AK.

Sie können aber immer auf der „Homepage des AK“ nachsehen, ob es Hinweise gibt.

www.kappenberg.com
-> Messgeräte/Wandler -> Messgeräte des AK
-> Fotometer

Dort finden Sie auch immer Tipps und Tricks, die neueste Betriebssoftware und die neueste Gerätebeschreibung für das Fotometer

8. Technische Daten:

Technische Daten:

Handmessgerät

- Mikroprozessor mit USB Schnittstelle
- Schacht für 10 x 10 Rechteckküvetten,
- Anschlussmöglichkeit für Tauchsensoren.
- LCD Anzeige für alle Funktionen und Messwerte
Farbauswahl im Fotometermenü.
- Automatischer Dunkelabgleich.
- Interner Datenspeicher:
 - 100 Messdaten incl. Datum und Uhrzeit
 - 10 Kalibrierkurven vom PC editierbar
- 5 LEDs: 470,500,535,595 650 nm
auf Wunsch andere LEDs einsetzbar
- USB - Kabel
- Batteriebetrieb: 2 Mignon Zellen 1,5 V
- Steckernetzteil
- Handbuch

Tauchsensoren

- Hand-Halterung mit Möglichkeit der Stativmontage
- Foto-Sensor auf Glasstab
- Leuchtdiode auf Glasstab, steckbar. 4 weitere LEDs sind im Gehäuse untergebracht
- offene Messstrecke ca. 1cm
- Kabel und Stecker für o.g. Fotometer, Länge ca. 1 m