

Fotometrie

in

Schülerübungen

mit dem

AK LowCost FM 04



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. Update der Betriebssoftware aus dem Internet	13
5. Einheiten in der Fotometrie	14
6. Das Gesetz von Lambert Beer	15
7. Ausführliche Versuchsbeispiele zur Fotometrie	
a) Phosphat-Gehalt mit M&N - Visocolor	17
b) Die Entfärbung einer Kristallviolett-Lösung und die Bestimmung der Reaktionsordnung der Entfärbungsreaktion	21
8) Fehler am AK LCFM 04 und deren Behebung	29
9. Technische Daten	29

1. Der Erstaufbau des Schüler-Fotometers

a) Auspacken und Bestandsaufnahme:

Bitte identifizieren und kontrollieren Sie beim Auspacken folgende Bestandteile:

1. Messmodul AK LCFM-04
2. Steckernetzteil
3. Serielles Kabel RS232
4. Betriebsanleitung
5. Tauchvorsatz als optionales Zubehör



b) Betriebstest ohne Computer – Das Fotometer-Menü

- Das **Steckernetzteil** mit dem **Messmodul AK FM04** verbinden und das Steckernetzteil in die Netzsteckdose stecken.
- 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 Menüstellungen der letzten Operation ein. Hier soll das Menü systematisch besprochen werden.

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

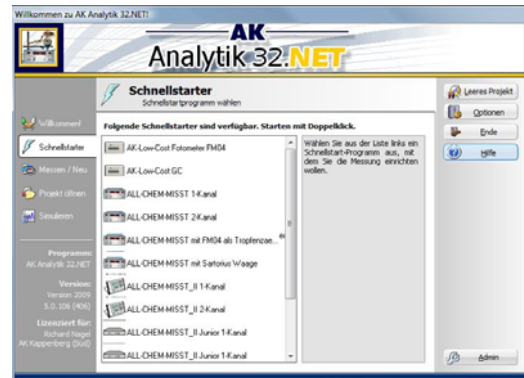
Prinzipiell steht die Bedeutung der drei Tasten (❶ ❷ ❸) immer in der zweiten Zeile des Displays über der jeweiligen Taste. Zur Verwirrung könnte führen, dass in der zweiten Zeile „Ext“ steht, wenn Transmission angezeigt wird. Bedeutung der Taste: Man kann zur Extinktionsanzeige umschalten.

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 >Uhr stellen >Ausschaltzeit >Speicher ausl.	...	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	Nullabgleich	Start mit ↓	Aufruf der Wellenlänge: Blau und Aufforderung zum Nullabgleich: Leerküvette einstellen.
↓(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

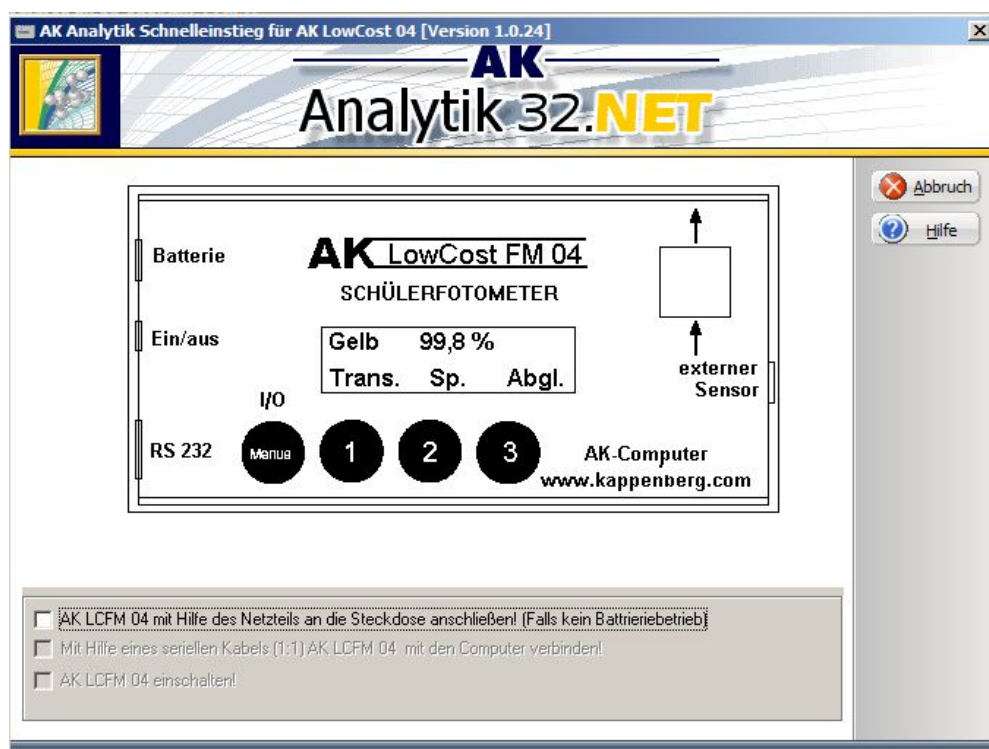
Taste wird gedrückt	Nach Tastendruck: Anzeige 1. Zeile	Nach Tastendruck: Anzeige 2. Zeile ① ② ③	Beschreibung
Anz(①)	Speicherwerte	↑ ↓ Exit	Die Speicherwerte werden mit Datum und Uhrzeit in der oberen Zeile in Laufschrift dargestellt
↓(②) bzw. ↑.....(①)	Speicherwerte in Laufschrift	↑ ↓ Exit	Springt schneller zum nächsten bzw. letzten 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 >Wertespeicher	Speicheroptionen	Anz. Loesch Exit	
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 schneller zum nächsten bzw. letzteren Speicherwert
Λοσχη(□)			Löscht den gesamten Wertespeicher

c) Betriebstest mit Anschluss an den Computer

- Am besten das Programm AK Analytik32.NET starten:
entweder vom Desktop oder mit → Start → Programme
→ Chemie → AK Kappenberg → AK-Analytik32.NET
- Auf dem Start-Bildschirm Schnellstarter „AK LowCost Fotometer FM04 “ aufrufen und
- den Anweisungen folgen!



In diesem Menüpunkt werden Sie ganz gezielt geführt, damit Sie den AK-LowCost-FM korrekt aufbauen und anschließen können. Quittieren Sie jede Aufforderung mit einem "Mausklick"!



Auch bei der Überprüfung des elektrischen Anschlusses und der Einstellung der Faktoren übernimmt der Rechner die "Hauptarbeit".



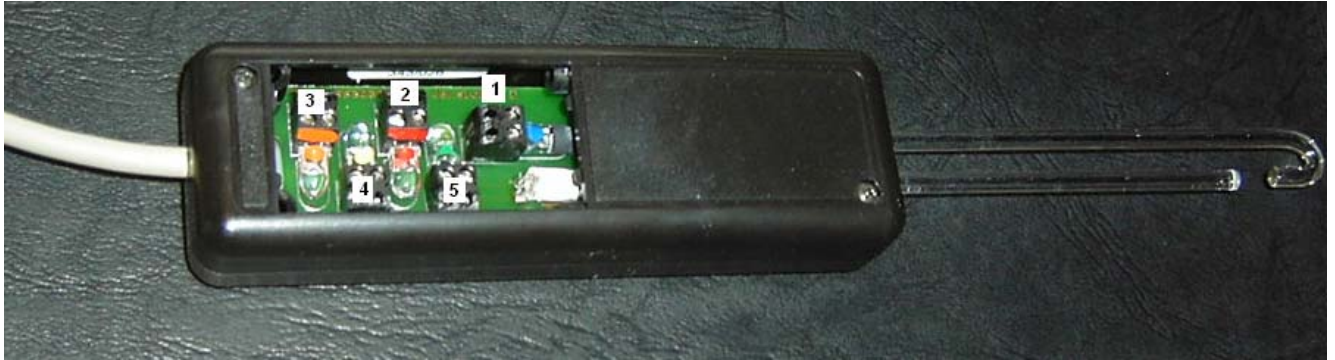
Falls alles korrekt eingestellt ist, erscheint jetzt nächste Bildschirm. Wenn Sie aber noch nicht messen wollen, können Sie4 auf Abbruch Klicken und das Programm beenden

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 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

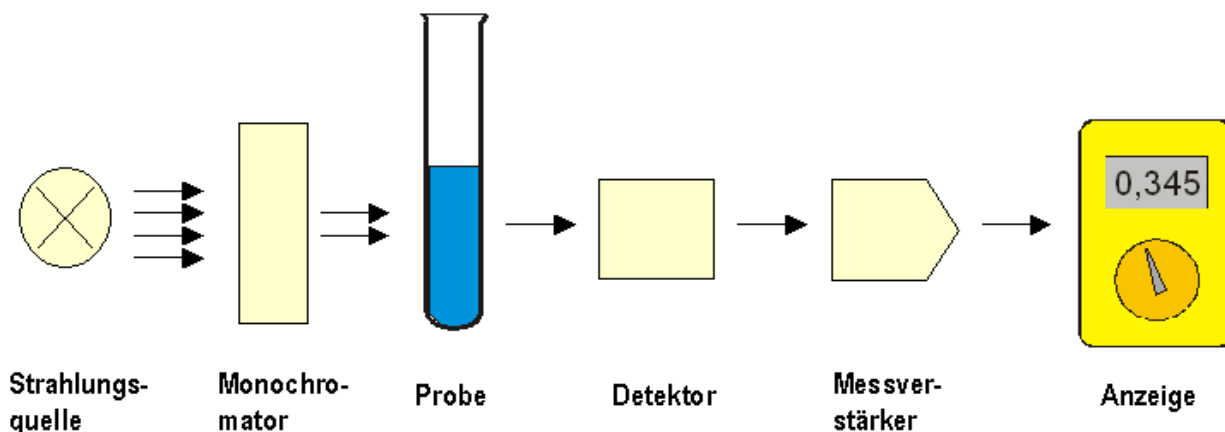


Abb. 3 Prinzipieller Aufbau eines Fotometers

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 04 Leuchtdioden eingesetzt. Sie sind Lichtquelle und Monochromator zugleich. Man spart also den Monochromator. Allerdings sind die Bandbreiten sehr viel größer.

Die Leuchtdiode

Funktionsweise einer LED:

Die Leuchtdiode (LED = Light Emitting Diode) ist eine Halbleiterdiode, die beim Betrieb in Durchlassrichtung Licht emittiert. Die unterschiedliche Farbe rührt 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

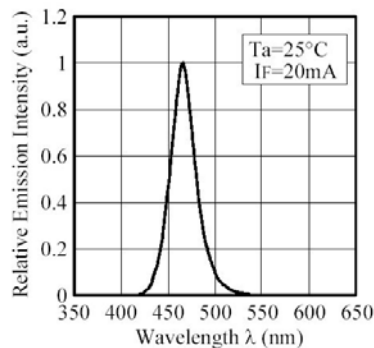


Abb. 4a) Spektrum: blaue Leuchtdiode[4]

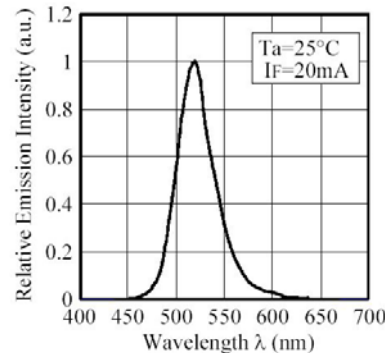


Abb. 4b) Spektrum: grüne Leuchtdiode[4]

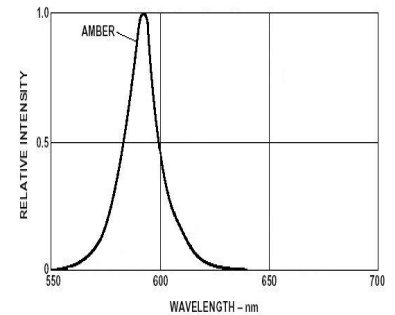


Abb. 4c) Spektrum: gelbe Leuchtdiode [5]

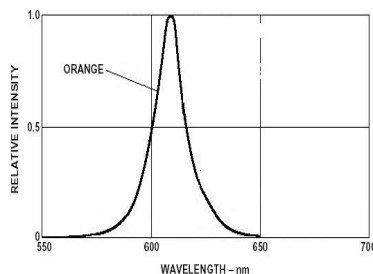


Abb. 4d) Spektrum: orange Leuchtdiode[5]

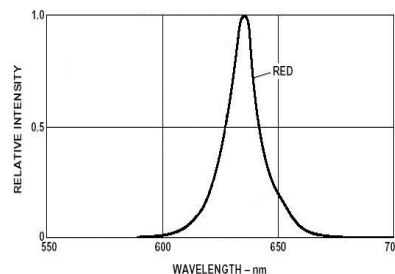


Abb. 4e) Spektrum: rote Leuchtdiode[5]

Spektrale Empfindlichkeit der eingesetzten Fotodiode

Relative spectral sensitivity

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

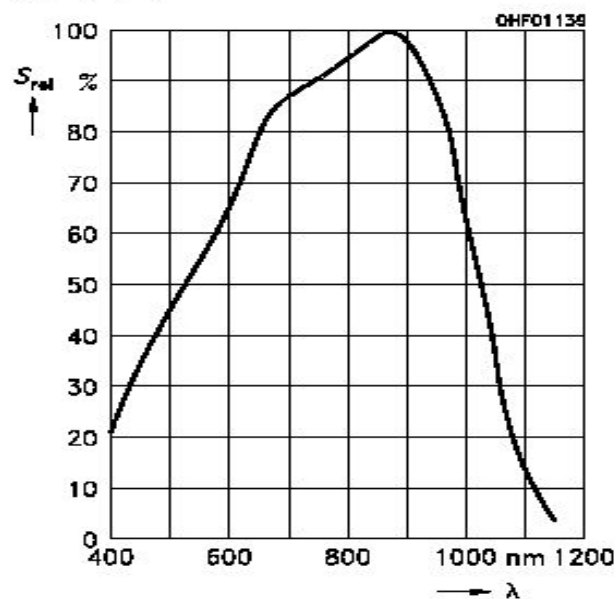
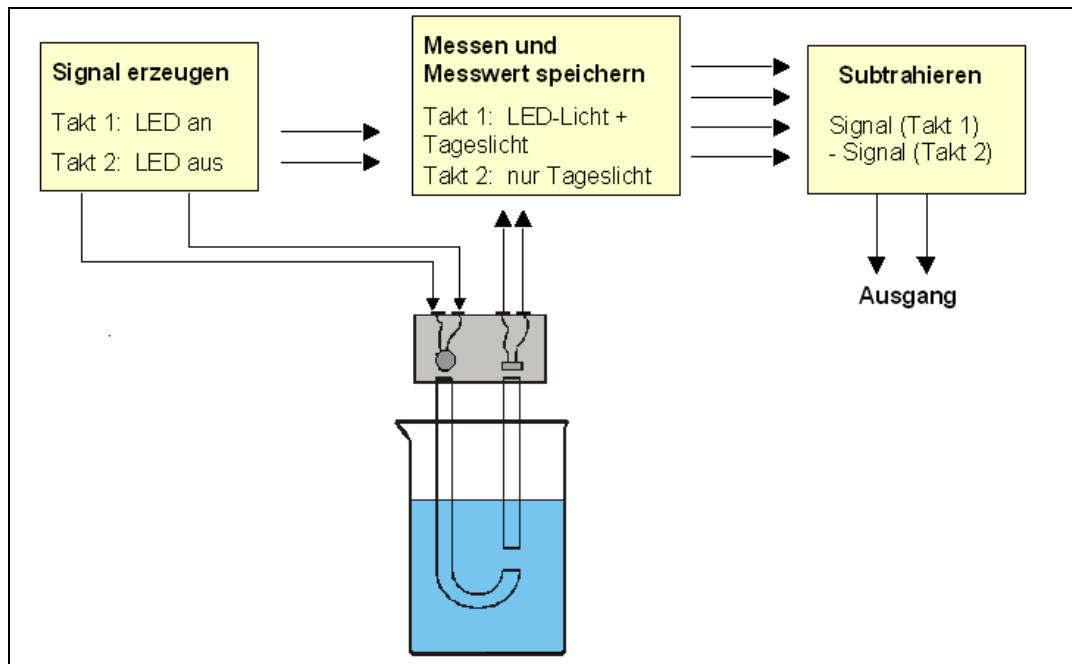


Abb. 5 Relative spektrale Empfindlichkeit der Fotodiode [6]

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 LCFM04 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.

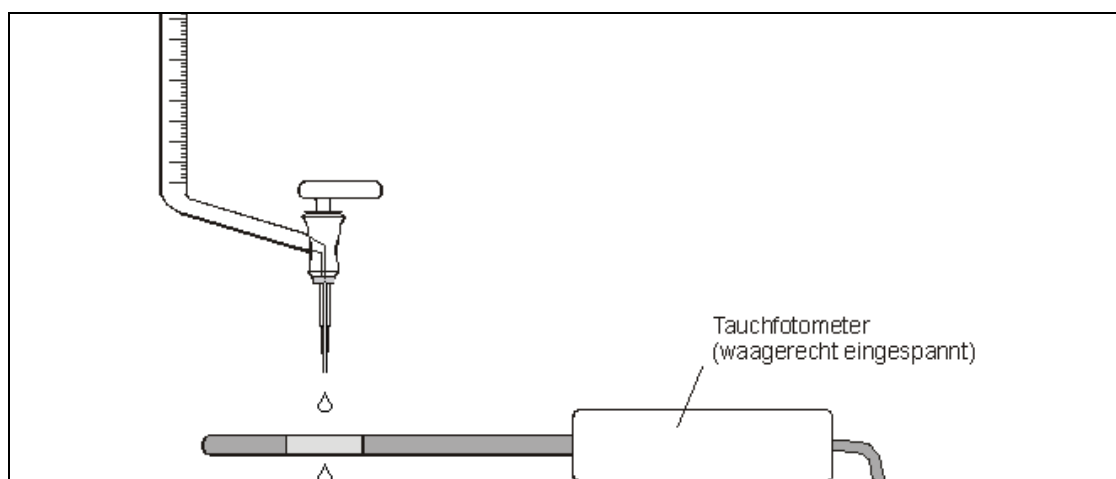
Takt 2: Die Leuchtdiode wird abgeschaltet und der Fototransistor misst nur noch das Tageslicht.

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.

e) Tropfenzähler

Das AK LCFM04 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 Volumemessgerät, welches besonders beim Dosieren (Titrationen) eingesetzt werden kann.



e) 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.

f) Messwertespeicher

Das Schülerfotometer AK LCFM 04 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

Im Programm AK-LowCost-Foto existiert unter dem Hauptmenüpunkt „Extras“ der Menüpunkt „FM-Kalibriertabelle“

Dort können – Daten der Kalibrierkurven vom Fotometer gelesen und in das Fotometer geschrieben werden.

Kalibrier-Daten									
Koeffizienten der Kalibriergleichung									
Nr.	Name	Einheit	FarbNr.	x^5	x^4	x^3	x^2	x^1	x^0
1	Nitrat	mol/l	3	0,000	0,000	0,030	0,100	5,000	0,000
2	Phosphat	mg/L	1	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000

Zu 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 Funktionsstern danach hier einträgt.

Später ist geplant, die Koeffizienten für viele der Fertigtests 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: FM04@kappenberg.com

4. Update der Betriebssysteme aus dem Internet

Das Fotometer AK LCFM 04 ist nach den neuesten Stand der Technik entwickelt. Gibt es weitere Anwendungen, so kann man den Mikroprozessor im Fotometer mit neuer Betriebssysteme ausstatten.

Diese Software ist z.B.: im Internet unter der Homepage des AK – Geräte – AK LCFM04 zu erhalten.

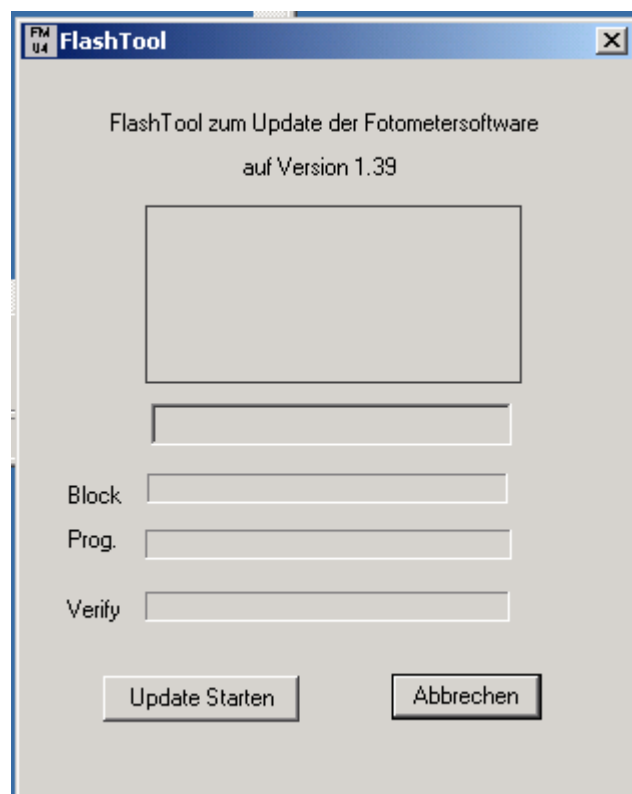
www.kappenberg.com
-> Software
-> Downloads & Updates

Betriebsprogramm AK-LowCost-Fotometer *Anleitung*

Neueste Version des Betriebsprogramms für das AKLowCost FM04 als Flash-Tool



Man schließt das Fotometer an den Rechner an und startet das Programm. Es läuft automatisch durch und man kann die einzelnen Phasen auf dem Computerbildschirm verfolgen.



Während der ganzen Zeit steht in der Anzeige des AK LCFM04: „Bootmodus“.

Nach der Meldung „Update erfolgreich“ muss das Fotometer abschließend völlig ausgeschaltet werden.

Nach dem erneuten Einschalten meldet es sich mit der entsprechenden Software-Version z. B: 3,9.

5. Einheiten in der Fotometrie

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

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

Angegeben 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.

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

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.

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

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

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

(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 jedoch 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)

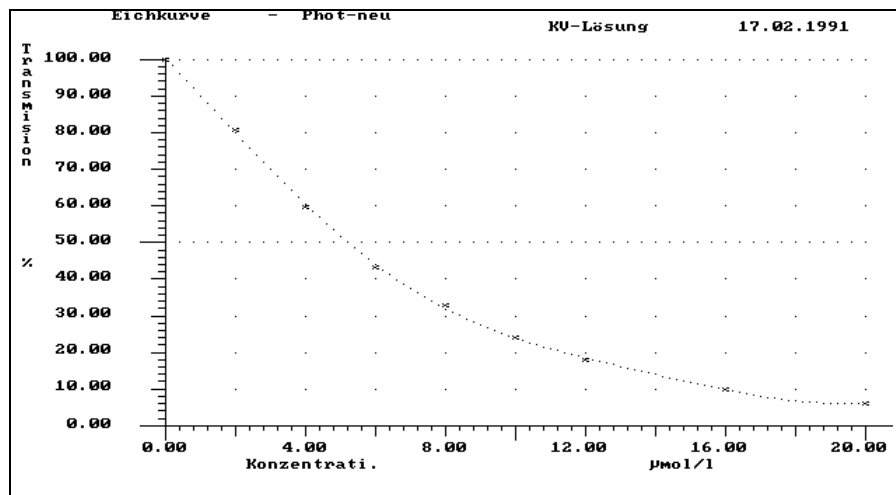
Zunächst sucht man im Spektralbereich den Bereich mit der kleinsten Transmission (größten Extinktion), um mit möglichst kleinen Farbtintensitäten noch eine Änderung des Messwertes zu bekommen. Bei den meisten Farbstoffen ist dies bei der entsprechenden Komplementärfarbe der Fall.

b) Herstellen einer Verdünnungsreihe

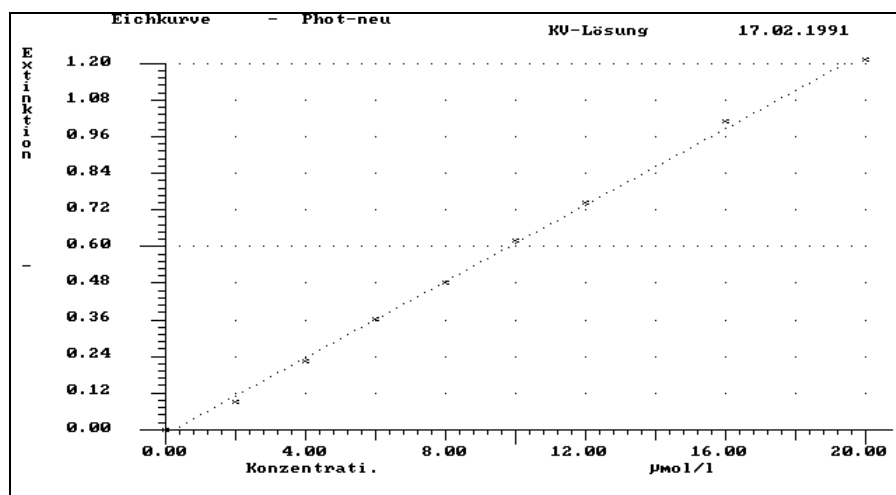
Dazu wird aus einer Lösung bekannter Konzentration (Stammlösung) durch Verdünnen mit dem Lösungsmittel eine Verdünnungsreihe hergestellt. Bei farblosen Lösungen gibt man ein Reagenz zur Farbentwicklung z.B. Saltzmann- Reagenz zur Nitrit-Bestimmung hinzu.

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 ist 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 $\text{L/mol} \cdot \text{cm}$)

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 Abb. 6 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 FM04 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.

7. Ausführliche Versuchsbeispiele zur Fotometrie

a) Phosphatanalyse

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 Hydrogenphosphat 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 Kohlendioxid, 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.).

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 PO_4^{3-} /L**

0,75 g wasserfreies Dinatriumhydrogenphosphat (Na_2HPO_4) oder 1,885 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ werden in einen 1000 ml Messkolben gegeben und mit dest. Wasser wird bis zur Marke aufgefüllt. Von dieser Lösung werden 100 mL in einem weiteren Messkolben 1000 mL überführt und es wird bis zur Marke aufgefüllt.

Die Lösung enthält 50 mg PO_4^{3-} /L. 1 mL dieser Lösung enthält 0,05 mg PO_4^{3-} .

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		

Aufnehmen einer eigenen Kalibrierkurve mit Auswerten mit EXCEL

Geräte:

Tauchfotometer, 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 (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 Menue: Farbe
 - Taste vor : -> „rot“-> OK
 - evtl. umstellen auf Extinktion
 - Taste Abgleich: -> OK
 -
 - Messwertküvette einstellen
 - Messwert ablesen und notieren
- Die Tabelle wird in ein Excel - Arbeitsblatt eingetragen und zwar in die linke Spalte die Extinktion und die rechte die Konzentration.
Diese Tabelle wird markiert und der Diagramm-Assistent aufgerufen

Diagramm –Typ: Punkt (x,y) und fertig stellen

Danach klickt man im Diagramm auf einen der Messpunkte und wählt „Trendlinie hinzufügen“ und Typ „polynomisch“ und probiert bei der Reihenfolge 3 bis 5 aus und schaut im Diagramm, wie gut der Interpolationsgraph die Punkte berücksichtigt.

In diesem Fall reicht schon die Näherungsgleichung zweiten Grades

Schließlich wählt man bei der Karteikarte der Trendlinie Optionen noch „Gleichung im Diagramm darstellen“.

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

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

Damit steht das AK LCFM04 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 04, 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 Menue: Farbe
- Taste vor : -> MN O-PO4-> 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

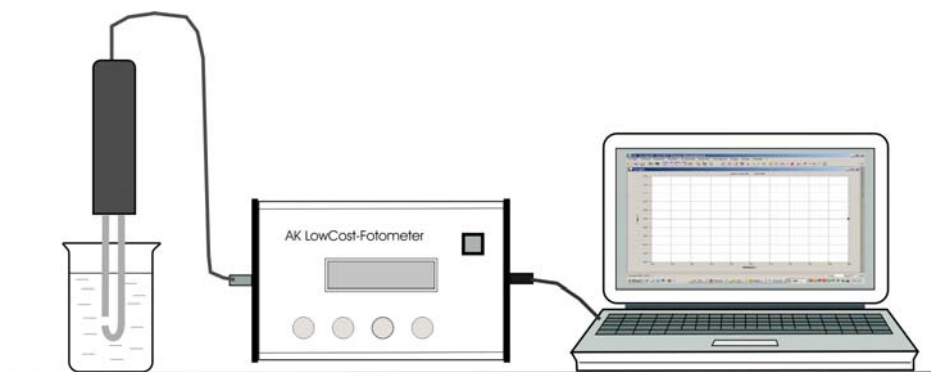
Kappenberg, F.: Wassersuntersuchungen in der Schule, Münster 1980

Firma Macherey-Nagel: Filterfotometer PF 10 zur Auswertung von VISOCOLOR Testen und NANOCOLOR Rundküvettesten, Düren 1985

Reaktion von Kristallviolett mit Natronlauge - direkte Konzentrationsmessung

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

Versuchsaufbau:



Materialliste:

Geräte:

- | | |
|----------------------|-----------------------------------|
| 1 Fotometer FM 04 | 6 Reagenzgläser / Ständer |
| 1 Computer u. Kabel | evtl. 6 Einmal- Rechteckküvetten |
| 2 Dispensette, 10 ml | oder 6 Bechergläser, 50 mL |
| 1 Pipette, 5 ml | dann Stativ / Muffe / Greifklemme |

Chemikalien:

Kristallviolett-Lösung $c=20 \mu\text{mol/L}$
 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

Computerprogramm: AK Analytik 32.NET (→ Schnellstarter → AK LowCost Fotometer FM04)

Angezeigte Messgröße: Konzentration	Einheit	$\mu\text{mol/L}$	• Kalibriertabelle
--	---------	-------------------------------------	--------------------

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

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

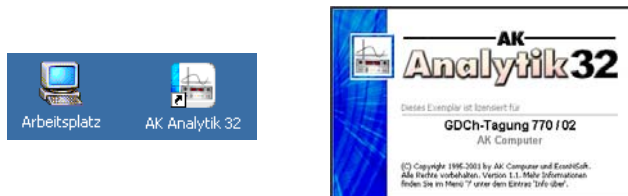
Farbwahl: Computer ermittelt die Farbe	Kalibriermodus: Schnell aber etwas ungenau
Befolgen Sie die Anweisungen am Computer	dann noch: Nullabgleich bei der ermittelten Farbe
Für Graphik 0 - 20 $\mu\text{mol/L}$	Bei Zeit- Intervall: 5 s
Messung über Zeit	Gesamtzeit:(für Grafik) 200 s zur Kalibriertabelle!!

Achtung: Wenn man mit dem Tauchvorsatz arbeiten will ("Tauchvorsatz Extern"), muss sichergestellt sein, dass die richtige LED beschaltet ist (evtl. LED im Handgriff wechseln). Auch hier sollte noch ein "Nullabgleich" erfolgen

Vorbereitung am Computer: Kontrolle der Angaben anhand der Abbildungen.

☒ **Programm Starten:**

- ⇒ **Start** ⇒ **Programme** ⇒ **AK-Kapfenberg**
- ⇒ **AK Analytik 32**
- (oder auf dem Desktop ⇒ Symbol **AK Analytik 32**)

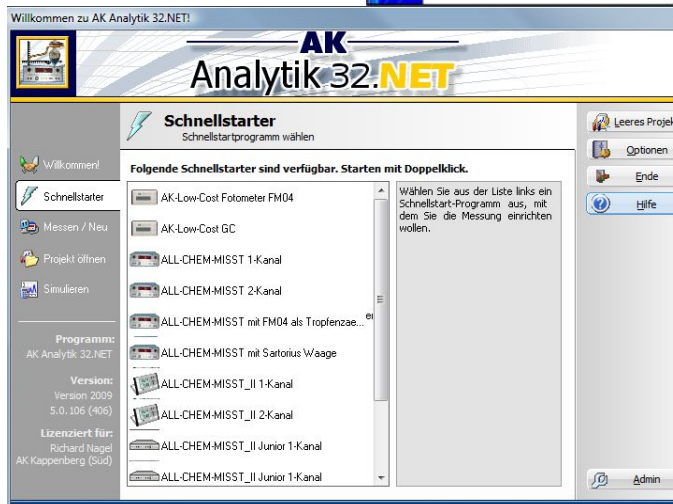


☒ **Einstellungen vor der Messung:**

- Falls nicht unterlegt auf der linken Seite auf:
- ⇒ **Schnellstarter** klicken

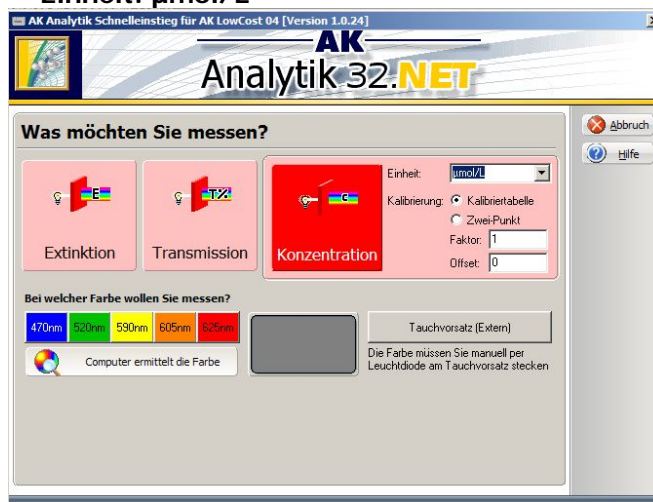
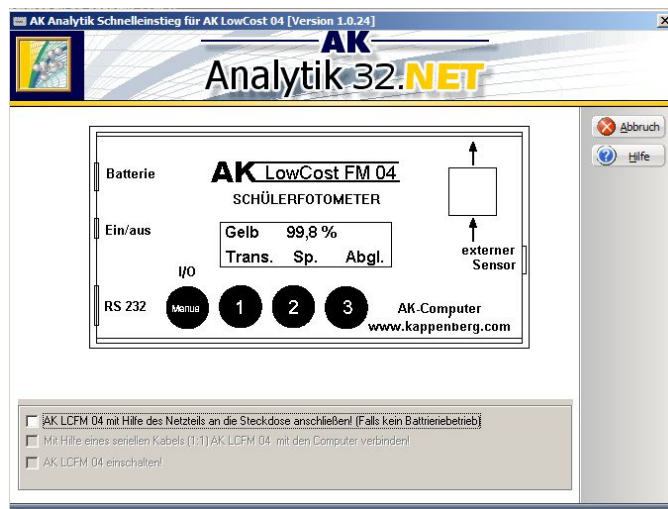
Dann aus den vorhandenen Schnellstartern:

- ⇒ **AK-LowCost-Fotometer FM04**
- auswählen

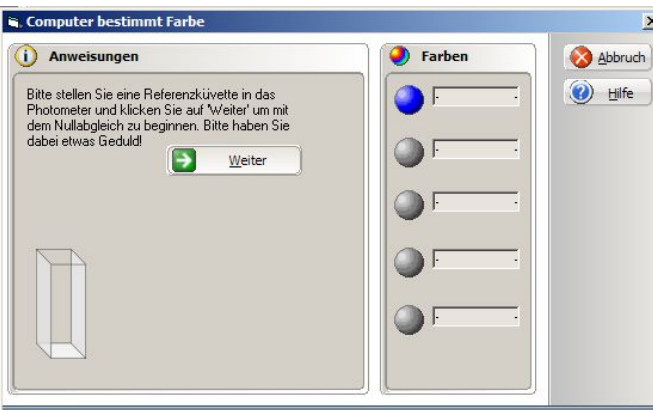
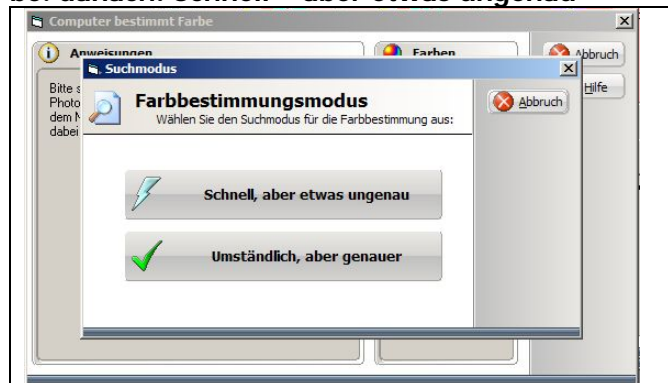


1. Arbeiten Sie die Punkte nacheinander ab!

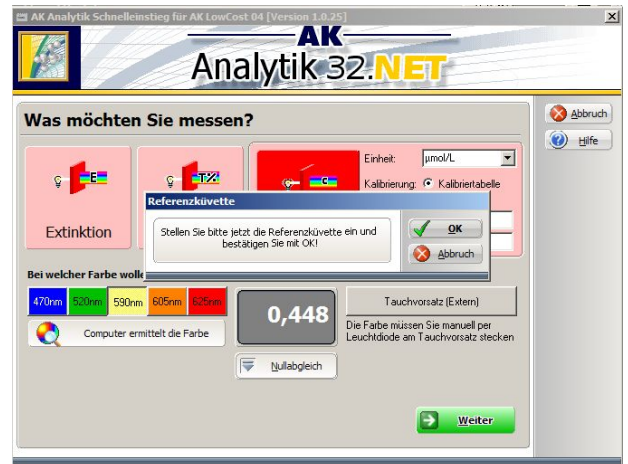
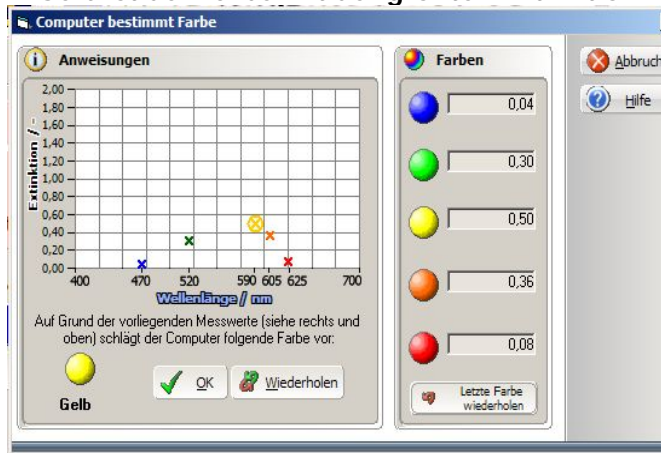
2. Wählen Sie „Konzentration“ und die Einheit: $\mu\text{mol/L}$



3. Wählen Sie: Der Computer bestimmt die Farbe. 4. Referenzküvette einstellen
be. danach: Schnell – aber etwas ungenau



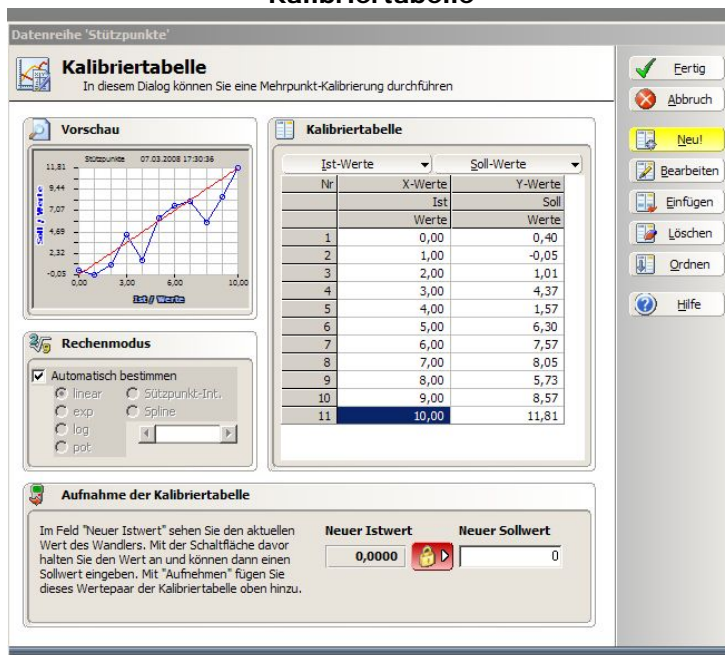
5. Das Fotometer bietet ein Mini-Spektrum 6. !!! Hier evtl. auf Tauchvorsatz umschalten!!
Gelb ist der Farbe mit der größten Extinktion:



7. Wählen Sie Messung über Zeit - Geben Sie als Grenzen: 20 µmol/L und 200 s an!
8. Gehen Sie zur Kalibriertabelle



Kalibriertabelle



9. Kalibriertabelle erstellen

Die erscheinende Tabelle muss gelöscht werden!
⇒ Neu, - Löschung bestätigen mit: ⇒ OK

- Küvette mit dest. Wasser in das AK LC-FM 04 stellen.
- warten, bis der Wert konstant ist, und mit Mausklick (auf den ⇒ 'Schloss-Button' unten rechts) übernehmen
- dann daneben per Hand die entsprechende Konzentration eingeben (Auch: 0) und ⇒ 'Aufnehmen' klicken.
- ebenso alle anderen Lösungen vermessen
- Links erscheint ein Graph mit den Werten und der eingestellten Interpolation. Evtl. Werte korrigieren, löschen oder einfügen.
- Kalibrierung beenden mit ⇒ "Fertig" und ⇒ "OK" und ⇒ "Zur Messung". Evtl. Überprüfen durch Testmessungen: (Küvetten mit anderen Konzentrationen einstellen - Messwerte stehen oben rechts im Fenster)

Durchführung des Versuches (Beschreibung für Tauchphotometer gilt ähnlich für alle Photometer)**2. Kalibrierung des Systems "Fotometer-Computer"** (ist im Programm vorgegeben)

- alle Lösungen (Tabelle - Vorderseite) in den Bechergläsern, Reagenzgläsern oder Küvetten bereitstellen.
- begonnen wird mit der verdünntesten Lösung ($c = 0 \text{ mol/L}$),
- alte Kalibriertabelle löschen: **neu**
- Man wartet bis der Wert konstant ist, und übernimmt diesen mit Mausklick
- dann wird per Hand die entsprechende Konzentration eingegeben und mit [Enter] bestätigt
- ebenso werden alle anderen Lösungen vermessen
- schließlich wird die Kalibrierung beendet und evtl. durch Testmessung überprüft.

3. Die Messung der eigentlichen Reaktion.

Im Becherglas	Im Reagenzglas	Im Photometer (Küvette)
(bei 100 mL-Becherg. Volumen x 2) - 40 mL Kristallviolett vorlegen - 8 mL Natronlauge dazugeben - Aufzeichnung starten - mit Tauchvorsatz umrühren - Tauchvorsatz befestigen	- 15 mL Kristallviolett vorlegen - 3 mL Natronlauge dazugeben - Aufzeichnung starten - Schütteln - Tauchvorsatz ins Reagenzglas	Erst in einem Reagenzglas: - 15 mL Kristallviolett vorlegen - 3 mL Natronlauge dazugeben - Aufzeichnung starten - Schütteln, in Küvette umfüllen - Küvette ins Photometer stellen

Nach etwa 200 Sekunden wird der Versuch mit Klick auf „**Messung Beenden**“ oder mit der Taste [Esc] beendet

Achtung: Der Konzentrationswert zum Startzeitpunkt muss noch in der Tabelle korrigiert werden.
Er ist bekannt: Zur Zeit $t = 0 \text{ s}$ ist die Konzentration $= 20 \mu\text{mol/L} \cdot 14 \text{ mL} / (14 + 2.8) \text{ mL} = 16.67 \mu\text{mol/L}$

Korrigieren:	⇒ Tabelle	durch Doppelklick den den Wert Nr. 1 markieren	Folgendes	als
X- bzw. Y- Wert eingeben:	X-Werte	0	Y-Werte	16.67
Daten Sichern:	⇒ Projekt , ⇒ Speichern unter			

Auswertung des Versuches

Reaktionskinetische Auswertung:

Bei der Auswertung der Daten unter reaktionskinetischen Gesichtspunkten ist folgendes zu beachten:
Die blaue Kristallviolett - Lösung wird durch Zugabe von OH^- - Ionen entfärbt.



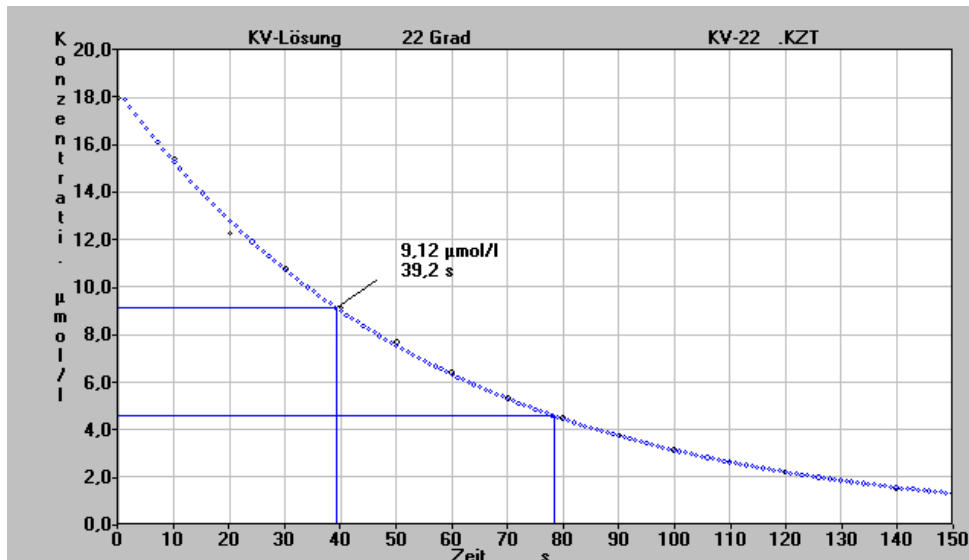
Durch Wahl der Reaktionsbedingungen ($c(\text{OH}^-) \gg c(\text{KV}^+)$) ist dafür gesorgt, daß die Konzentrationsänderung der Hydroxidionen so minimal ist, daß sie keinen Einfluß auf die Reaktionsgeschwindigkeit ausüben kann. Beobachtet wird also fast nur die Abnahme der Konzentration an KV^+ .

1. Bestimmung von Reaktionsordnung bzw. Geschwindigkeitskonstanten über die Halbwertszeit

Auswerten (Automatik für Kinetik) aufrufen

Im HM \Rightarrow Auswerten \Rightarrow Automatik für Kinetik \Rightarrow weiter

Wie Sie auf Tastendruck sehen werden, ermittelt der Computer die Reaktionsordnung 1 (leicht zu erkennen daran, daß der Punkt: Doppelte Halbwertszeit - 1/4 der Konzentration wieder auf dem Graphen liegt). Zusätzlich erhalten Sie die Angabe der Fehlerquadrate für die einzelnen Ordnungen. (Hier: 1.Ordnung)



Notieren Sie sich auf einem Zettel die Halbwertszeit. (Hier 39.19s)

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.

Bestimmung der Geschwindigkeitskonstanten (bei Reaktionen erster Ordnung):

Die Geschwindigkeitsgleichung für eine Reaktion erster Ordnung bzw. die integrierte Form lautet:

$$v = - \frac{dc}{dt} = k_1 \cdot c^1 \qquad c_t = c_0 \cdot e^{-k_1 \cdot t}$$

Setzt man für c_t den Wert $c_0/2$ ein, so erhält man

$$\frac{c_0}{2} = c_0 \cdot e^{-k_1 \cdot t_{1/2}}$$

durch Umformen und Logarithmieren:

$$\ln(2) = t_{1/2} \cdot k_1 \quad \Rightarrow \quad k_1 = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

Geschwindigkeitskonstante aus der Halbwertszeit: $k_1 = \ln(2) / t_{1/2} = 0.6931 / 39.19 = 0.0177 \text{ s}^{-1}$

Weitere Vorschläge: Auswertung nach Reaktion 1. Ordnung

Die Geschwindigkeitsgleichung für eine Reaktion erster Ordnung lautet:

$$v = - \frac{dc}{dt} = k_1 \cdot c^1$$

Der Graph dc/dt (y-Achse) gegen c (x-Achse) müßte eine Gerade geben

AK Analytik 32 stellt eine Rechenoperation bereit, mit der die Darstellung dieser Funktion möglich wird. Da die Konzentration c sowohl in dem Ausdruck „ dc “ als auch im dem Ausdruck „ c “ vorkommt, wird die Auswertung auf diese Weise sehr unruhig. Etwas hilft es, wenn man die y -Werte vorher glättet!
! Dieses ist aber hier nicht ganz so notwendig.

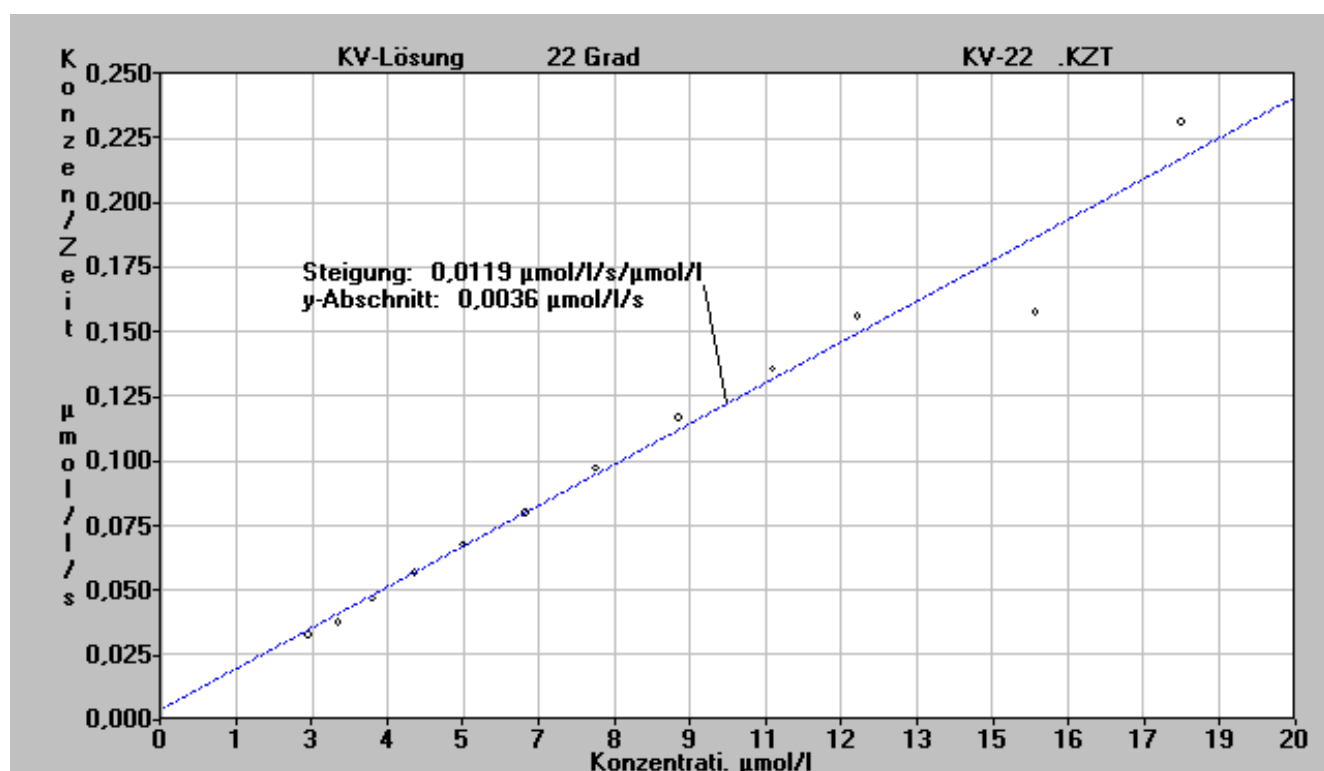
⇒ Rechnen	⇒ Glätten der Werte	⇒ Y-Werte	⇒ OK
	⇒ 2		
⇒ OK	⇒ OK		

Zur eigentlichen Auswertung wählt man eine eigens für reaktionskinetische Auswertungen eingebaute Funktion

⇒ Rechnen	⇒ Steigung als y-Werte, y-Werte als x-Werte	⇒ Differentialquotient
⇒ OK	⇒ OK	⇒ OK

Die nun erhaltenen Wertepaare könnten schon ausgewertet werden, da aber die Steigung der Geraden negativ ist, werden die y -Werte noch mit -1 multipliziert, um einen Graphen ähnlich Arbeitsblatt ARK Seite 1 zu erhalten.

⇒ Rechnen	⇒ Umrechnen mit einzugebender Funktion	<i>Termeingabe: Y(I)=</i>	<u>-YA</u>
⇒ OK			



Die Geschwindigkeitskonstante entspricht der Steigung: $k_1 = m = 0.012 \text{ s}^{-1}$

$$\text{Einheit der Steigung: } \frac{v}{c} = \frac{\frac{\mu\text{mol}}{\text{l} \cdot \text{s}}}{\frac{\mu\text{mol}}{\text{l}}} = \text{s}^{-1}$$

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 (siehe nächste Seite)

Weitere Vorschläge:**weitere Auswertung nach Reaktion 1. Ordnung**

Die Geschwindigkeitsgleichung für eine Reaktion erster Ordnung lautet:

$$v = - \frac{dc}{dt} = k_1 \cdot c^1$$

Durch Integration der Geschwindigkeitsgleichung erhält man

$$c_t = c_0 \cdot e^{-k_1 \cdot t}$$

das bedeutet, bei Reaktionen erster Ordnung nimmt die Konzentration des Edukts exponentiell mit der Zeit ab. Logarithmiert man die Gleichung (6), 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

Mit Hilfe einer Ausgleichsgeraden lässt sich die Steigung dieser Geraden ermitteln.

Umrechnung aufrufen

Markieren Sie die Datenreihe mit der Konzentration

Im HM \Rightarrow Rechnen

\Rightarrow Logarithmieren (ln) der Werte

\Rightarrow y-Werte

\Rightarrow OK

Vählen Sie im nachfolgenden Fenster

\Rightarrow Neue Datenreihe

\Rightarrow Neuer Graph

\Rightarrow OK

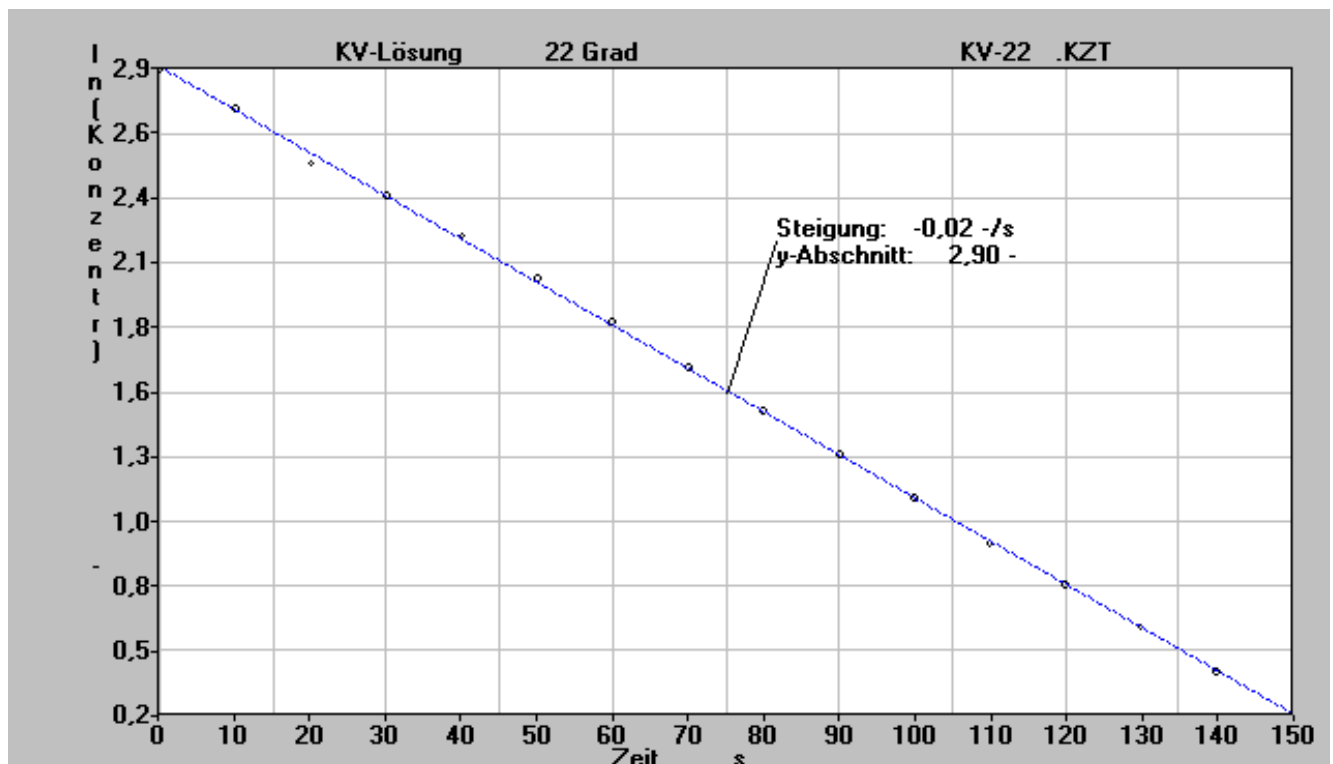
Im HM \Rightarrow Auswerten

\Rightarrow Ausgleichsgerade

\Rightarrow Zeichnen

\Rightarrow Beschriften

\Rightarrow OK



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 lautet:

$$v = - \frac{dc}{dt} = k_2 \cdot c^2$$

Durch Integration der Gleichung erhält man

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

Formt man die Gleichung 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 bei einer Reaktion zweiter Ordnung eine Gerade ergeben.

Mit Hilfe einer Ausgleichsgeraden läßt sich die Steigung dieser Geraden ermitteln.

Umrechnung aufrufen

Markieren Sie die Datenreihe mit der Konzentration

Im HM ⇒ Rechnen

⇒ Bildung der Kehrwerte

⇒ y-Werte

⇒ OK

Vählen Sie im nachfolgenden Fenster

⇒ Neue Datenreihe

⇒ Neuer Graph

⇒ OK

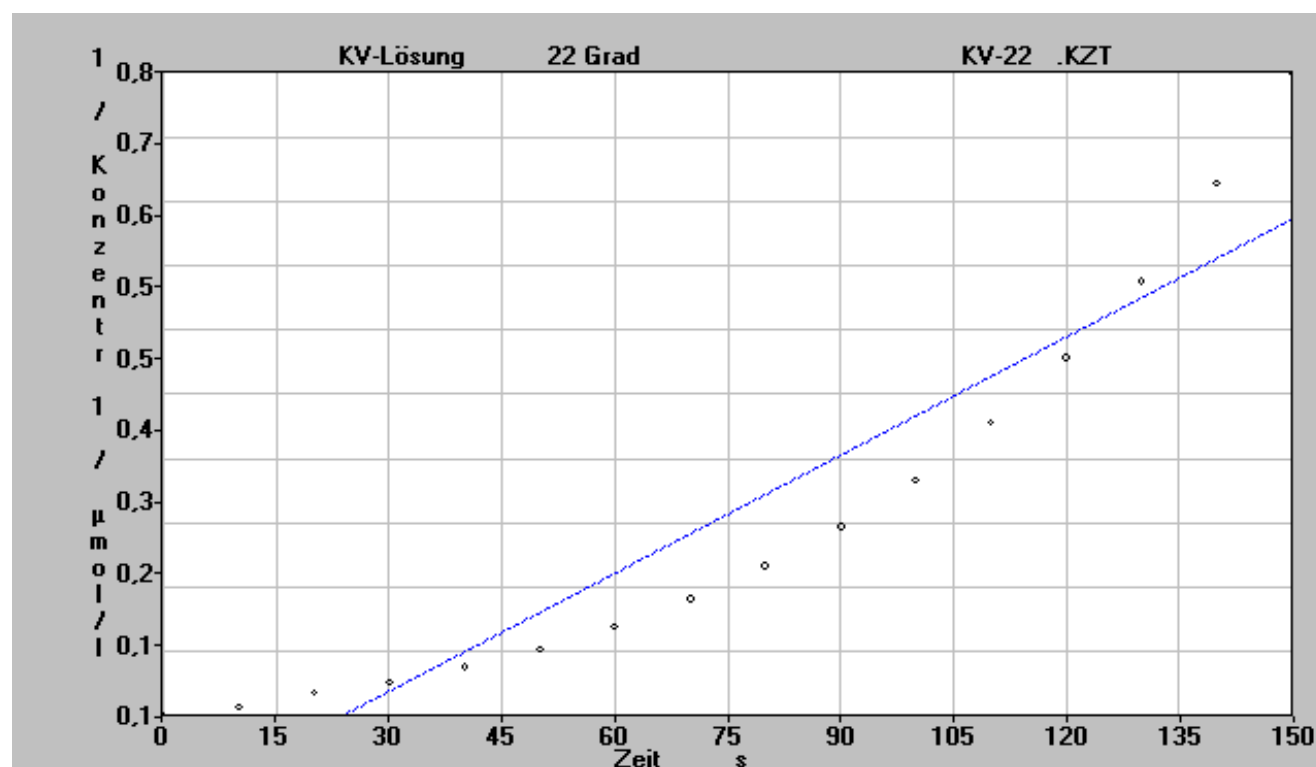
Im HM ⇒ Auswerten

⇒ Ausgleichsgerade

⇒ Zeichnen

⇒ Beschriften

⇒ OK



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

Literatur: K. Hagenstein, Photometrische Analysen im Unterricht, Dr. Lange, Berlin, 1976

F. Kappenberg, Computer im Chemieunterricht 1988, S. 175, Verlag Dr. Flad, Stuttgart.

8. Fehler am AK LCFM 04 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
-> AK LowCost Fotometer

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

9. Technische Daten:

Technische Daten:

Handmessgerät

- Mikroprozessor ATmega128 mit serieller Schnittstelle, vorbereitet für USB-Anschluss
- Schacht für 10 x 10 Rechteckküvetten,
- Anschlussmöglichkeit für Tauchsensorik.
- 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
- RS232 - Kabel
- Batteriebetrieb: 2 Mignon Zellen 1,5 V
- Steckernetzteil
- Handbuch

Tauchsensorik

- 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