

**— Reaktionskinetik —
pH-Abhängigkeit einer
Solvolysereaktion**

Protokoll zu Versuch 10.2

Lotte Höpker, Sven Stöttinger, Daniel Schärf
Gruppe A4

20. Dezember 2005
Abgabe: 3. Januar 2006

Protkollanten: Lotte Höpker <hoepker@students.uni-mainz.de>,
Sven Stöttinger <sstoetti@students.uni-mainz.de>,
Daniel Schärf <schaerf@students.uni-mainz.de>

Datum der Durchführung: 20. Dezember 2005

Datum der Protokollabgabe: 3. Januar 2006

Dieses Protokoll wurde mit $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$ unter Verwendung des TeXnicCenters erstellt. Dem Textsatz liegt das KOMA-Script von Frank Neukam, Markus Kohm und Axel Kielhorn zu Grunde. Tabellen die mit dem Programm »OPEN OFFICE 2.0« und Graphen die mit dem Programm »ORIGIN« erstellt wurden, sind sowohl in verkleinerter Version direkt in dieses Protokoll integriert worden, als auch in großer Ausföhrung als Anhang zugefügt. Das Layout wurde zum Teil den Protokollen von Werner Schwalbach (Gruppe A1) entnommen. Der Inhalt stammt natürlich von uns.

Wir bitten eventuell noch enthaltene grammatikalische Fehler, sowie Tippfehler zu entschuldigen.

Inhaltsverzeichnis

1 Theorie	4
1.1 Malachitsolvolyse	4
1.2 Photometer	5
2 Aufbau / Durchführung	6
2.1 Aufbau	6
2.2 Durchführung	6
3 Aufgabenstellung / Auswertung	7
3.1 Aufgabe 1	7
3.1.1 Auswertung	7
3.2 Aufgabe 2	8
3.2.1 Auswertung	8
3.3 Aufgabe 3	10
3.3.1 Bestimmung von k über eine Lineare Regression	10
3.3.2 Berechnung von k_1 und k_2	11
3.3.3 Auswertung	11
4 Fehlerrechnung	12
4.1 Statistische Fehler	13
4.1.1 Fehler der Regressionsgeraden	13
4.1.2 Fehler der Konzentration	13
4.1.3 Fehler der in Aufgabe 3 berechneten Werte	14
4.2 Systematische Fehler	14
4.2.1 Fehler der Geräte	14
5 Diskussion	15
5.1 Ergebnisse + Fehler	15
5.2 Eigene Meinung	15
Anhänge	16
Literatur	16
Diagramme und Messwerte	17
Diagramm1: Extinktion der Malachitgrünlösung gegen die Wellenlänge	17
Diagramm 2: Extinktion der Malachitgrünlösung, Überblick über alle 6 Messungen	18
Diagramm 3: Extinktion der Malachitgrünlösung, erste und letzte Messung	19
Diagramm 4: Zeitlicher Verlauf des Logarithmus der Extinktion, pH 9,96)	20
Diagramm 5: Zeitlicher Verlauf des Logarithmus der Extinktion pH 10,22)	21
Diagramm 6: Zeitlicher Verlauf des Logarithmus der Extinktion, pH 10,51)	22
Diagramm 7: Zeitlicher Verlauf des Logarithmus der Extinktion, pH 11,63)	23
Diagramm 8: Zeitlicher Verlauf des Logarithmus der Extinktion, pH 11,83)	24
Diagramm 9: k gegen $c(\text{OH}^-)$	25
Diagramm 10: Extinktion von Wasser zum Test der Untergrundkorrektur	26

1 Theorie

Die Reaktionsgeschwindigkeit der Reaktion eines Farbstoffes (Malachitgrün) zu einer farblosen Verbindung wird in diesem Versuch photometrisch bestimmt.

1.1 Malachitsolvolyse

In wässriger Lösung reagiert Malachitgrün (A) mit OH^- -Ionen zur Carbinolbase (B)

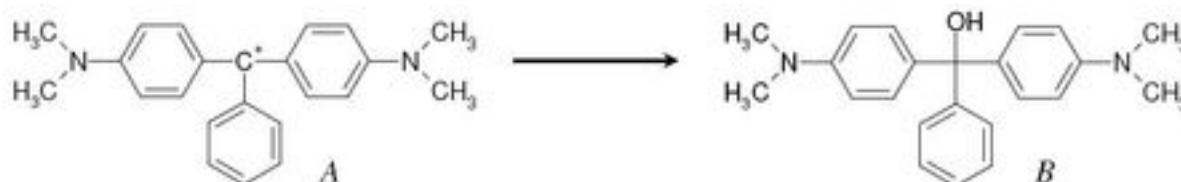


Abbildung 1: Malachitgrün \rightarrow Carbinolbase

Dieses Gleichgewicht lässt sich durch Erhöhung des pH-Wertes (Erhöhung der OH^- -Konzentration) auf die Seite von B verschieben. Ab einem pH-Wert von 10 liegt das Gleichgewicht (fast) vollständig auf der Seite von B.



Außerdem reagiert der Farbstoff noch mit dem Lösungsmittel (Wasser)



Für die zeitliche Änderung der Malachitgrün - Konzentration ergibt sich somit

$$-\frac{dc_A}{dt} = k_1 \cdot c_{\text{OH}^-} \cdot c_A + k_2 \cdot c_A \quad (3)$$

$c_{\text{H}_2\text{O}}$ taucht in dieser Formel nicht auf, da diese Konzentration durch den großen Überschuss an H_2O konstant bleibt, und somit in die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante k_2 einbezogen wird. Wenn man die OH^- konz über einen Puffer konstant hält gilt

$$k_1 \cdot c_{\text{OH}^-} + k_2 = k \quad (4)$$

Durch Ausklammern von c_A und Einsetzen von (4) in (3) ergibt sich

$$-\frac{dc_A}{dt} = k \cdot c_A \quad (5)$$

Durch Integration erhält man nun für den Fall das C_{A0} bei $t=0$ null ist:

$$\ln \frac{c_A}{C_{A0}} = -kt \quad (6)$$

1. Theorie

1.2 Photometer

Zur Messung der zeitlichen Änderung der Konzentration an Malachitgrün wird ein Spektralphotometer benutzt. Dies ist möglich, da Malachitgrün eine starke Absorptionsbande im sichtbaren Bereich besitzt und das Reaktionsprodukt (Carbinolbase) farblos ist, das heißt sie hat keine Absorptionsbande im sichtbaren Bereich.

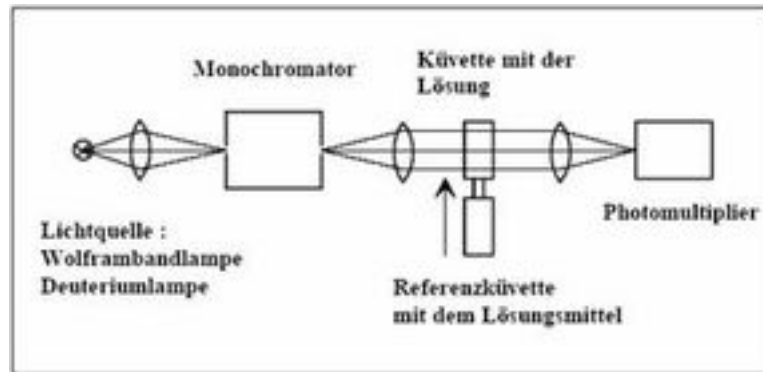


Abbildung 2: Photometer

Für den Zusammenhang zwischen der gemessenen Extinktion (E) und der Konzentration an Malachitgrün gilt das Lambert-Beersche-Gesetz:

$$E = \log \frac{I}{I'} = \epsilon \cdot c \cdot d \quad (7)$$

I = Lichtintensität nach Durchtritt durch das reine Lösungsmittel; I' = Lichtintensität nach Durchtritt durch die Lösung ϵ = molarer dekadischer Extinktionskoeffizient; d = Schichtdicke der Probe
Aus Gleichung (6) und (7) ergibt sich

$$\ln \frac{E}{E_0} = -kt \quad (8)$$

2 Aufbau / Durchführung

2.1 Aufbau

Für diesen Versuch verwenden wir ein Spektralphotometer wie auf Seite 5 abgebildet.

2.2 Durchführung

Zunächst wird eine wässrige Lösung von Malachitgrün angesetzt. Von dieser Lösung werden 25ml mit Wasser für Aufgabe 1 vermischt. Für Aufgabe 2 und 3 werden je 25ml mit einer Pufferlösung, die den gewünschten pH-Wert besitzt, vermischt.

Die Pufferlösung wird folgendermaßen hergestellt:

Zu einer Lösung von H_3BO_3 in Wasser ($0,2 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$) wird soviel KOH ($1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$) dazugegeben, dass der pH-Wert etwa 9 beträgt. Zu je 50 ml dieser Lösung wird zur pH-Einstellung noch mehr KOH zugesetzt. Damit alle Lösungen dieselbe Ionenstärke besitzen, wird zusätzlich soviel KCl ($1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$) zugefügt, dass in allen Fällen die Gesamtmenge an KOH + KCl dieselbe ist.

Zur Aufnahme der Messdaten wird für Aufgabe 1 und 2 das Programm "scan" benutzt. Für die Aufnahme der Messdaten für Aufgabe 3 wird das Programm "kinetic" verwendet.

3 Aufgabenstellung / Auswertung

3.1 Aufgabe 1

Die Absorption einer Malachitgrünlösung ($c \approx 0,5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{l}}$) wird im Wellenlängenbereich von 300 bis 800 nm mit dem Spektralphotometer aufgenommen, um die Lage des längstwelligen Absorptionsmaximums (λ_1) zu bestimmen.

3.1.1 Auswertung

Die Messung der Extinktion der Malachitgrünlösung ergab folgenden Graph. Dieser ist hier nur klein eingefügt um einen schnellen Überblick zu ermöglichen, und befindet sich in großer Ausführung im Anhang dieses Protokolls auf Seite 17.

Diagramm1: Extinktion der Malachitgrünlösung gegen die Wellenlänge

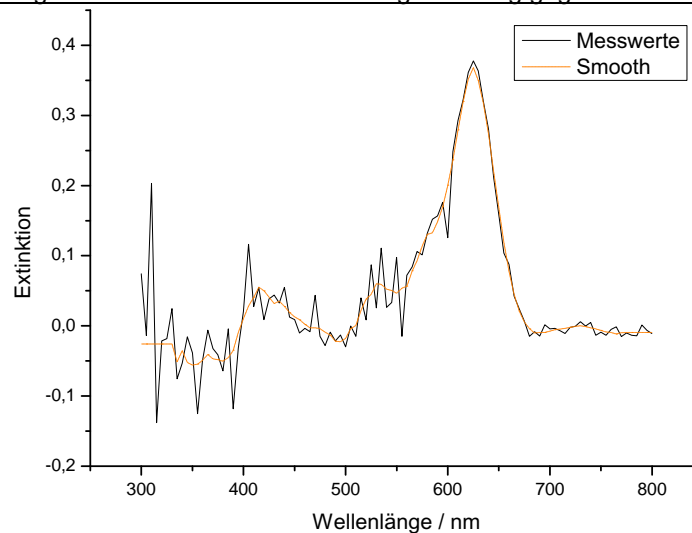


Abbildung 3: Extinktion der Malachitgrünlösung gegen die Wellenlänge

In dieser Extinktionskurve ist deutlich ein Extinktionsmaximum bei $\lambda_1 = 625$ nm zu erkennen. Auch im Wellenlängenbereich von ca. 400 bis 450 nm scheint ein Maximum zu sein, da in diesem Bereich alle Werte bei ca 0,1 liegen, und nicht wie in der Umgebung gleichmäßig über und unter 0 schwanken. Durch eine Kurve die von Origin unter Angleichung der Werte in der näheren Umgebung eines jeden Punktes erstellt wurde kann diese Vermutung bestätigt werden, das zweite Maximum liegt bei ca. $\lambda_2 = 415$ nm.

3. Aufgabenstellung / Auswertung

3.2 Aufgabe 2

Eine Lösung von Malachitgrün in einer Pufferlösung (pH= 10,94) wird 6 mal im Abstand von jeweils 10 Minuten wie in Aufgabe 1 vermessen. Wird ein isobestischer Punkt erhalten?

3.2.1 Auswertung

Die Auftragung der Messungen in einem Diagramm ergibt folgendes Bild, auch hier befindet sich eine große Version des Diagrammes im Anhang (Seite 18).

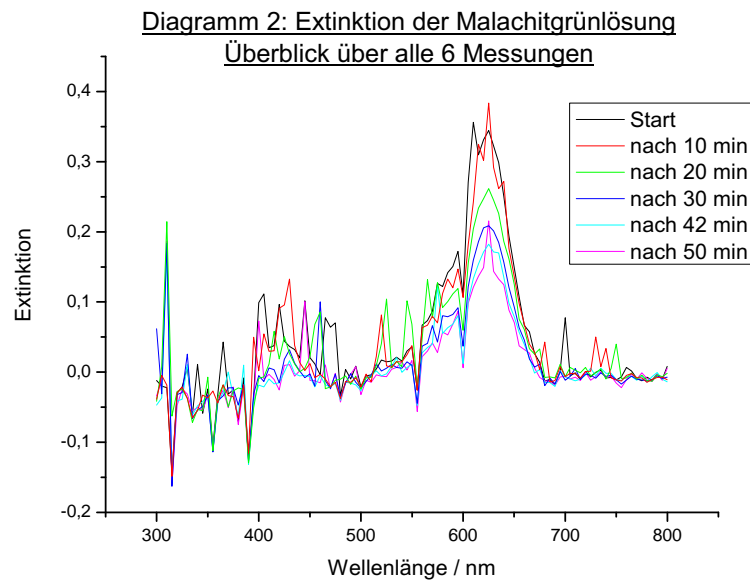


Abbildung 4: Überblick über alle 6 Messungen

Da in diesem Graph nicht mehr viel zu erkennen ist, folgt nun ein Vergleich zwischen der ersten und der letzten Messung (Anhang Seite 19)

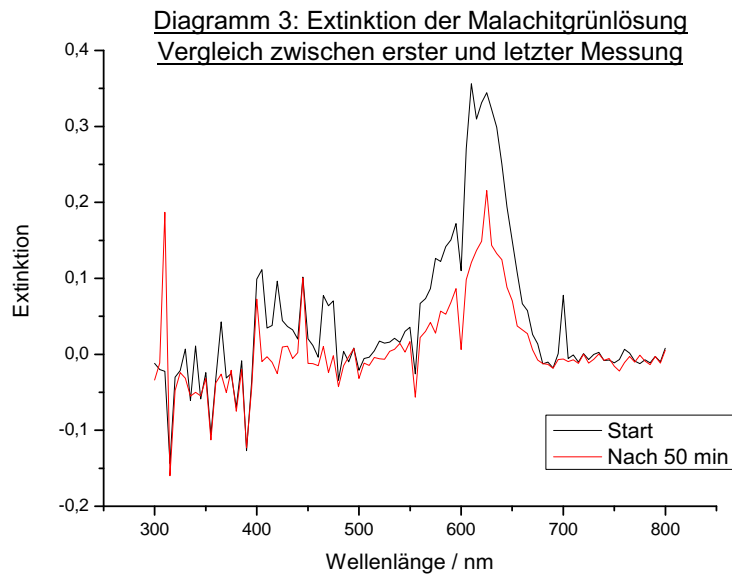


Abbildung 5: Vergleich zwischen erster und letzter Messung

In diesem Diagramm ist zu erkennen, dass sowohl bei $\lambda_1 = 625 \text{ nm}$ als auch bei $\lambda_2 = 315 \text{ nm}$ eine zeitliche Abnahme der Extinktion auftritt. Diese Feststellung ist auch in Abbildung 4 zu sehen, jedoch nicht so deutlich wie in Abbildung 5. Aber Abbildung 4 bestätigt, dass eine kontinuierliche Abnahme auftritt, und keine zufällige zwischen der ersten und der letzten Messung. Dies bedeutet nach dem Lambert-Beerschen-Gesetz (7), dass die Konzentration von Malachitgrün kontinuierlich abnimmt.

Es liegt kein isosbestischer Punkt vor, da dafür bei gleichzeitiger Abnahme der Extinktion bei einer bestimmten Wellenlänge λ_A und bei einer anderen Wellenlänge λ_B eine Zunahme der Extinktion auftreten müsste. Dies scheint zwar am untersten Rand des Spektrums (300 nm) der Fall zu sein, doch dieser Peak ist vermutlich durch die Ungenauigkeiten in diesem Bereich zu erklären. Erklärungen dazu befinden sich auf Seite 12.

3.3 Aufgabe 3

Die zeitliche Änderung der Extinktion, und damit auch der Konzentration an Malachitgrün wird bei der in Aufgabe 1 bestimmten Wellenlänge λ_1 bei verschiedenen pH-Werten für jeweils 20 Minuten vermessen. Hieraus werden die Geschwindigkeitskonstanten k , k_1 und k_2 bestimmt.

3.3.1 Bestimmung von k über eine Lineare Regression

Gleichung (8) kann man zu

$$\ln E - \ln E_0 = -k \cdot t \Rightarrow \ln E = -k \cdot t + \ln E_0 \quad (9)$$

umformen

Die Auftragung von $\ln E$ gegen t ergibt also eine Gerade mit der Steigung $m = -k$ und dem Y-Achsenabschnitt $b = E_0$. Die Graphen und Regressionsgeraden wurden von Origin erstellt. Zur Berechnung der Regressionsgeraden wurden folgende Formeln verwendet.

$$m = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2} \quad (10)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_i^2 - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N x_i y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2} \quad (11)$$

Die entsprechenden Graphen sind im Anhang auf den Seiten 20 bis 24 zu finden.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Linearen Regression

zur Berechnung der OH^- Konzentration wird folgende Formel verwendet.

$$c(\text{OH}^-) = 10^{-(14-\text{pH})} \quad (12)$$

pH	$c(\text{OH}^-) / \text{mol l}^{-1}$	Steigung $m \hat{=} -k / \text{min}^{-1}$	Achsenabschnitt $b \hat{=} \ln E_0$
9,96	0,00009	-0,006120	-0,9096
10,22	0,00017	-0,008010	-0,9196
10,51	0,00032	-0,010640	-0,9324
11,63	0,00427	-0,041440	-1,0219
11,83	0,00676	-0,051930	-1,0629

3. Aufgabenstellung / Auswertung

3.3.2 Berechnung von k_1 und k_2

Da

$$k = k_1 \cdot c_{OH} + k_2 \quad (13)$$

ist können k_1 und k_2 wieder über eine lineare Regression bestimmt werden. Bei der Auftragung von k gegen c_{OH} erhält man k_1 als Steigung m und k_2 als Y-Achsenabschnitt b .

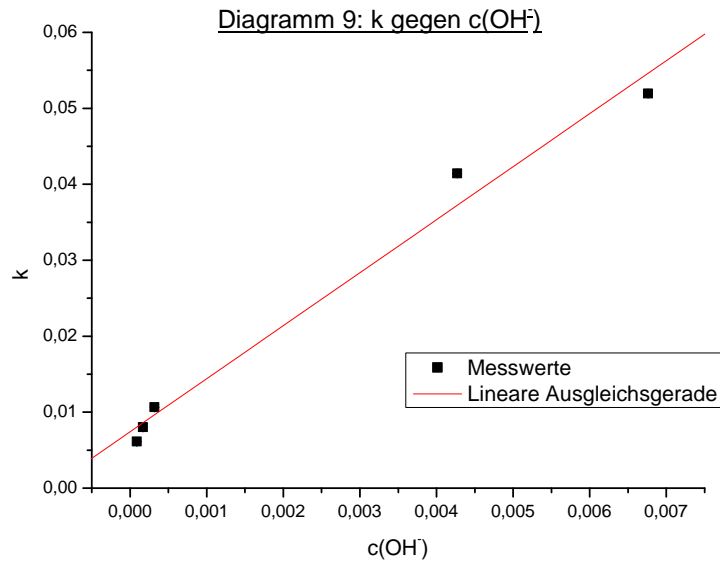


Abbildung 6: k gegen c(OH⁻)

Dieser Graph ist auf Seite 25 in großer Version an das Protokoll angefügt.
Als Ergebnis ergeben sich folgende Werte für k_1 und k_2

$$m = k_1 = 6,97875 \frac{l}{mol \cdot min}$$

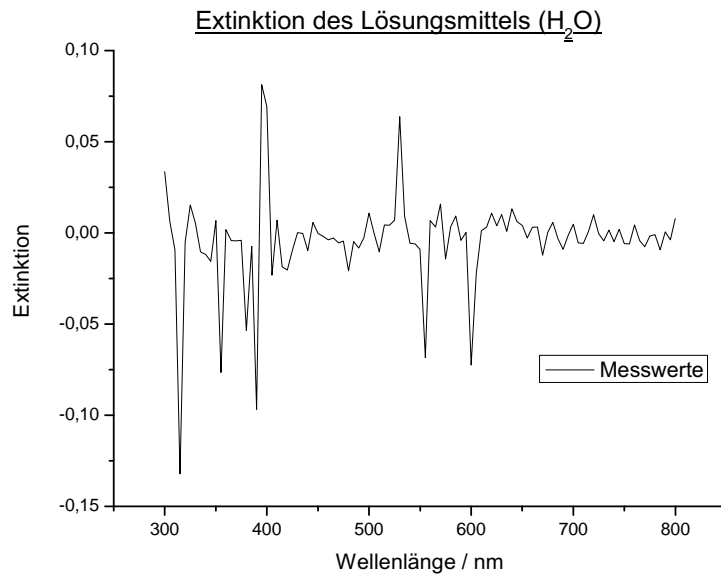
$$b = k_2 = 0,00742 \text{ min}^{-1}$$

3.3.3 Auswertung

Auffällig ist, dass die beiden Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten in ihrer Größe sehr unterschiedlich sind. Anscheinend spielt die Reaktion von Malachitgün mit Wasser (2) im Vergleich zu der mit OH⁻ (1) keine Rolle.

4 Fehlerrechnung

Nachdem wir die Messungen für Aufgabe 2 durchgeführt hatten, stellten wir fest, dass diese in niedrigen Wellenlängenbereichen Schwankungen ($\pm 0,1$) aufwiesen, was die Auswertung dieser Aufgabe erschwerte. Aus diesem Grund haben wir testweise eine Messung der Extinktion von Wasser durchgeführt, um die Untergrundkorrektur zu testen. Dies ergab folgendes Bild (große Version: Anhang Seite 26)



In diesem Graph kann man sehr schön erkennen, dass trotz Untergrundkorrektur noch immer geringe Extinktionen gemessen werden, besonders in den niedrigen Wellenlängenbereichen ($\pm 0,1$). Dies liegt zwar noch im normalen Schwankungsbereich des Gerätes, erschwert aber die Auswertung von Aufgabe 2 sehr, da die maximale von uns gemessene Extinktion nur 0,4 beträgt.

4. Fehlerrechnung

4.1 Statistische Fehler

4.1.1 Fehler der Regressionsgeraden

Die Fehler der Regressionsgeraden wird am besten über den mittleren Fehler von m und b angegeben. Diese ergeben sich aus der Fehlerquadratsumme.

$$S = \sum_{i=1}^N (a + bx_i - y_i)^2 \quad (14)$$

woraus sich die Standardabweichung s_y ergibt

$$s_y = \sqrt{\frac{s}{n-2}} \quad (15)$$

mit deren Hilfe man den mittleren Fehler von m und b berechnen kann.

$$\Delta m = s_y \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}} \quad (16)$$

$$\Delta m = s_y \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}} \quad (17)$$

4.1.2 Fehler der Konzentration

Dies ist der einzige interessante Fehler, der Auswirkungen auf die Messungen in Teilaufgabe 1 hat. Jedoch ist die Konzentration der Malachitgrünlösung nicht genau bekannt, da die Extinktion der $0,5 \cdot 10^{-5}$ molaren Lösung zu gering war ($\approx 0,25$). Deshalb wurde so lange vorsichtig Farbstoff zugefügt, bis die Extinktion ungefähr 0,4 betrug. Dies ist problemlos möglich, da die Kenntnis der absoluten Konzentration des Farbstoffes in keiner Teilaufgabe nötig ist. Durch die jeweilige Verwendung von 25 ml der Malachitgrünlösung ist sichergestellt, dass zu Beginn jeder Messung die Konzentration von Malachitgrün gleich ist. Natürlich ist die Konzentration nie genau gleich, da durch die Fehler der Vollpipetten ($\pm 0,03$ ml), mit deren Hilfe die 25 ml Malachitgrünlösung/Wasser/Pufferlösung eine geringe Schwankung der Konzentration zwischen den Messungen innerhalb eines konstanten Fehlerbereiches. Dieser Fehler hat nur derart Einfluss auf die Messergebnisse, dass durch Schwankungen der Konzentration zwar die absolute Höhe der Extinktions-Peaks verändert wird, aber nicht deren Lage im Spektrum. Da bei Aufgabe 2 nur qualitative Aussagen gemacht wurden, spielt die Höhe der Peaks hier also keine Rolle. Bei Aufgabe 3 wirkt sich diese Schwankung durchaus aus, aber der Fehler der Ausgleichsgeraden, der wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben, berechnet wird überwiegt diesen um ein weites.

4. Fehlerrechnung

4.1.3 Fehler der in Aufgabe 3 berechneten Werte

ΔpH	$\Delta c(\text{OH}^-) / \text{mol l}^{-1}$	$\Delta m \hat{=} -k / \text{min}^{-1}$	$\Delta b \hat{=} \ln E_0$
0,01	0,000002	0,0000050	0,0000580
0,01	0,000004	0,0000045	0,0000519
0,01	0,000007	0,0000064	0,0000739
0,01	0,000098	0,0000222	0,0002561
0,01	0,000156	0,0000342	0,0003948

die Fehler ergeben sich folgendermaßen:

$\Delta \text{pH} = 0,01$ (Letzter Digit des Messgerätes)

$$\Delta c(\text{OH}^-) = 10^{-14} \cdot 10^{\text{pH}} \cdot \ln 10 \cdot \Delta \text{pH} \quad (18)$$

Δm : siehe Kapitel 4.1.1

Δb : siehe Kapitel 4.1.1

Δm und Δn werden nur aus den Fehlern, die bei der linearen Regression auftreten berechnet, und nicht aus denen von der Zeit und der Extinktion, da deren Fehler im Verhältnis zu klein sind.

Als Fehler von k_1 und k_2 ergibt sich auch nach der Formel der Fehlerquadratsumme, und man erhält als Ergebnis:

$$\Delta m = \Delta k_1 = 0,51884 \frac{\text{l}}{\text{mol} \cdot \text{min}}$$

$$\Delta b = \Delta k_2 = 0,00186 \text{ min}^{-1}$$

4.2 Systematische Fehler

4.2.1 Fehler der Geräte

Als systematische Fehler können hauptsächlich Fehler an den Geräten vorliegen, so könnte zum Beispiel das pH-Meter nicht richtig geeicht sein. Auch das Spektrometer könnte falsche Messergebnisse liefern, wie an der oben beschriebenen Ungenauigkeit zu sehen.

Eine weitere Fehlerquelle sind zum Beispiel Verunreinigungen auf der Küvette durch Fingerabdrücke oder ähnliches.

5 Diskussion

5.1 Ergebnisse + Fehler

In Aufgabe 1 ergab sich die Wellenlänge von 625 nm als die mit der höchsten Absorption, somit wurden die Messungen für Aufgabe 3 bei dieser Wellenlänge durchgeführt.

In Aufgabe 2 wurde überprüft ob die gesamte Absorption bei 625 nm auf das Edukt der Reaktion (Malachitgrün) zurückzuführen ist, oder ob eine Absorption des Produktes (Carbinolbase) bei der selben Wellenlänge vorliegt. Darüber kann leider keine genaue Aussage gemacht werden, da im zeitlichen Verlauf kein isospestischer Punkt zu erkennen ist, jedoch kann eine klare Abnahme der Extinktion festgestellt werden. Deshalb kann unter der Vermutung das in diesem Spektralbereich nur Malachitgrün absorbiert und keine Nebenprodukte entstehen weitergearbeitet werden.

Aufgabe 3 lieferte folgende Ergebnisse

pH	Δ pH	$c(\text{OH}^-)$	$\Delta c(\text{OH}^-)$	m	-m	Δ m
9,96	0,01	0,000091	0,000002	-0,0061200	0,0061200	0,0000050
10,22	0,01	0,000166	0,000004	-0,0080100	0,0080100	0,0000045
10,51	0,01	0,000324	0,000007	-0,0106400	0,0106400	0,0000064
11,63	0,01	0,004266	0,000098	-0,0414400	0,0414400	0,0000222
11,83	0,01	0,006761	0,000156	-0,0519300	0,0519300	0,0000342

pH	Δ pH	b	Δ b
9,96	0,01	-0,9096200	0,0000580
10,22	0,01	-0,9195600	0,0000519
10,51	0,01	-0,9324100	0,0000739
11,63	0,01	-1,0218900	0,0002561
11,83	0,01	-1,0629100	0,0003948

Der Vergleich der Steigungen der Regressionsgeraden zeigt das k mit steigendem pH-Wert zunimmt. Dies deutet darauf hin, dass die Geschwindigkeit der Reaktion stark von der Konzentration an OH^- abhängt. Über eine weitere Regressionsgerade erhält man nun k_1 und k_2 .

$$m = k_1 = (6,97875 \pm 0,51884) \frac{l}{\text{mol} \cdot \text{min}}$$

$$b = k_2 = (0,00742 \pm 0,00186) \text{min}^{-1}$$

5.2 Eigene Meinung

In den niedrigen Wellenlängenbereichen gab es bei der Messung große Schwankungen (jedenfalls im Vergleich zu den Messwerten), wodurch die Auswertung bei Aufgabe 2 erschwert wurde. Das Ergebnis bei Aufgabe 3 scheint ok zu sein, konnte aber leider nicht verifiziert werden, da Literaturwerte fehlen. Des weiteren ist uns aufgefallen, dass der im Praktikum verwendete Farbstoff von der auf der Verpackung angegebenen Zusammensetzung Abweichungen zu Malachitgrün zeigte, auch wenn es wahrscheinlich ein leicht anders gebauter Triphenylmethanfarbstoff ist, der ähnliche Reaktionen zeigt, sollte dies im Skript erwähnt werden. Diese Abweichung könnte natürlich auch das Gegenion sein.

Literatur

- [1] Maskos, Michael; *Scriptum zum PC-Grundpraktikum*, WS05/06 Auflage, Johannes Gutenberg Universität Mainz
- [2] Maskos, Michael; *Scriptum zum Seminar PC-Grundpraktikum*, WS05/06 Auflage, Johannes Gutenberg Universität Mainz
- [3] Atkins, Peter, W.; *Physikalische Chemie*. Dritte, korrigierte Auflage: Wiley-VCH, 2004. - ISBN 3-527-30236-0
- [4] Lide, David R.; *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. Cd-Rom Version 1997.

Diagramm 1: Extinktion der Malachitgrünlösung gegen die Wellenlänge

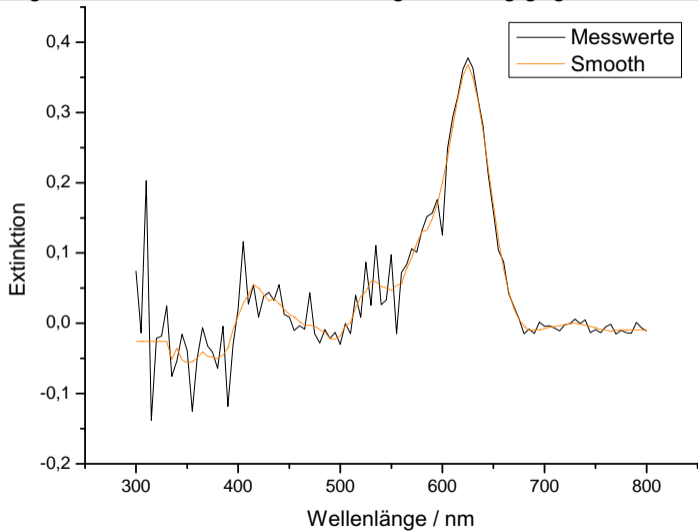


Diagramm 2: Extinktion der Malachitgrünlösung
Überblick über alle 6 Messungen

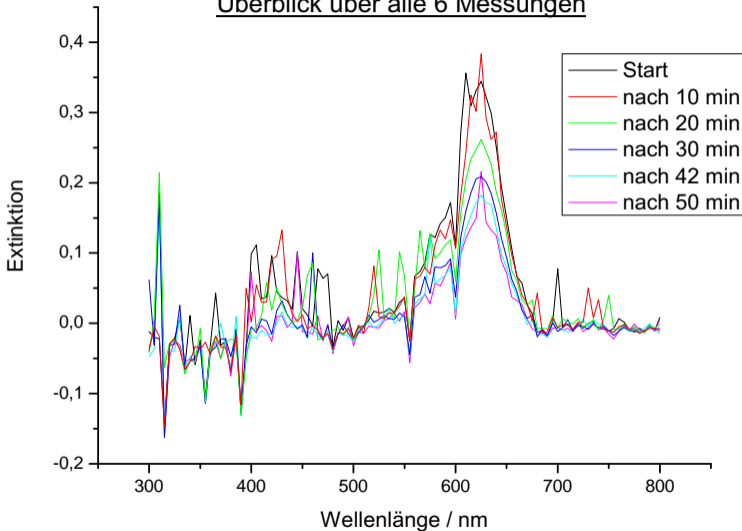


Diagramm 3: Extinktion der Malachitgrünlösung
Vergleich zwischen erster und letzter Messung

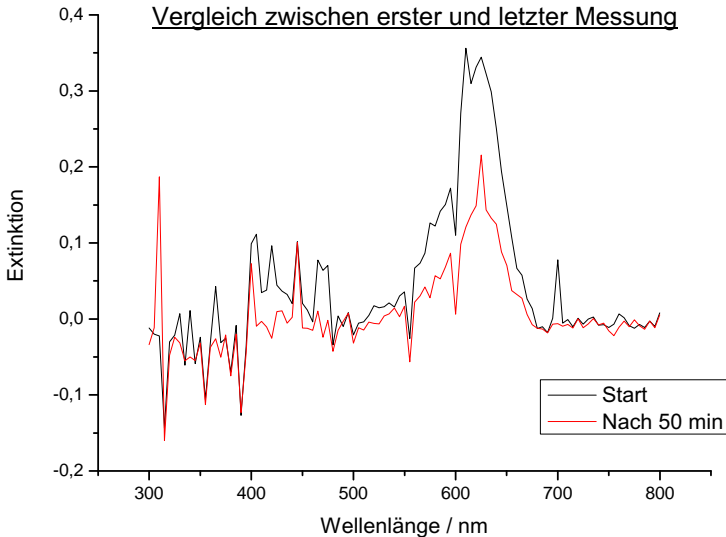


Diagramm 4: Zeitlicher Verlauf des natürlichen Logarithmus der Extinktion bei 625nm, pH 9,96

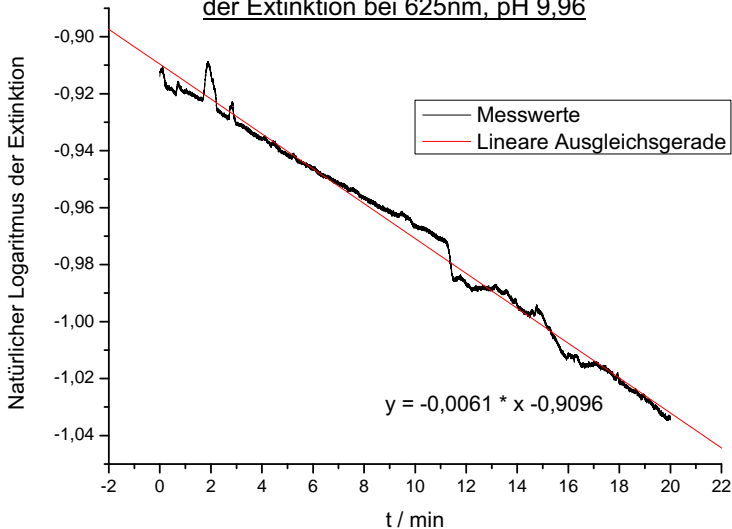


Diagramm 5: Zeitlicher Verlauf des natürlichen Logarithmus der Extinktion bei 625nm, pH 10,22

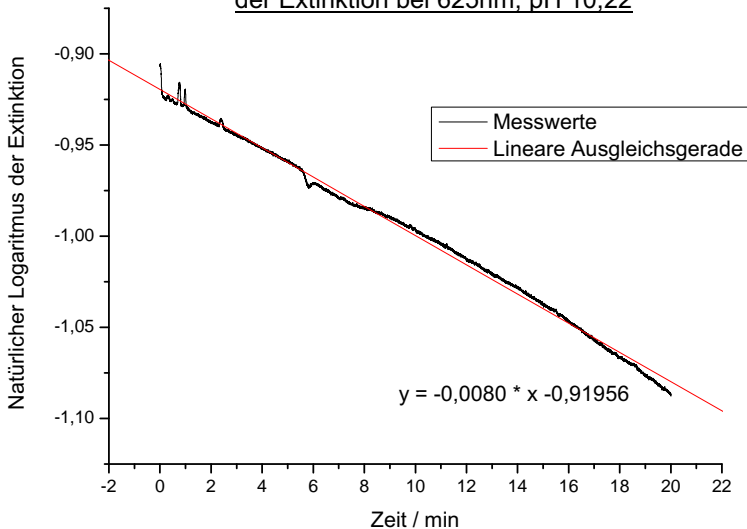


Diagramm 6: Zeitlicher Verlauf des natürlichen Logarithmus
der Extinktion bei 625nm, pH 10,51

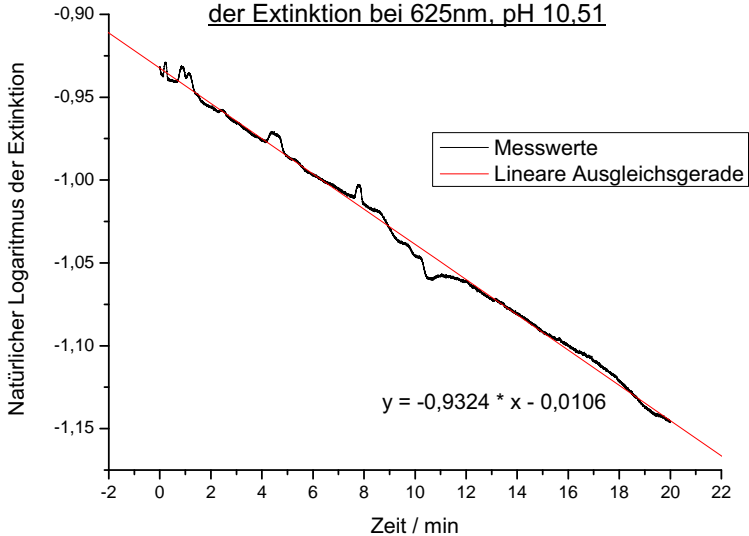


Diagramm 7: Zeitlicher Verlauf des natürlichen Logarithmus der Extinktion bei 625nm, pH 11,63

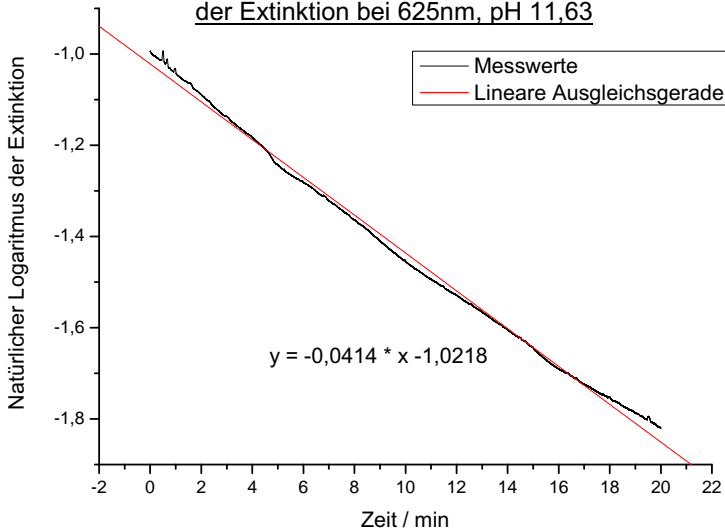


Diagramm 8: Zeitlicher Verlauf des natürlichen Logarithmus der Extinktion bei 625nm, pH 11,83

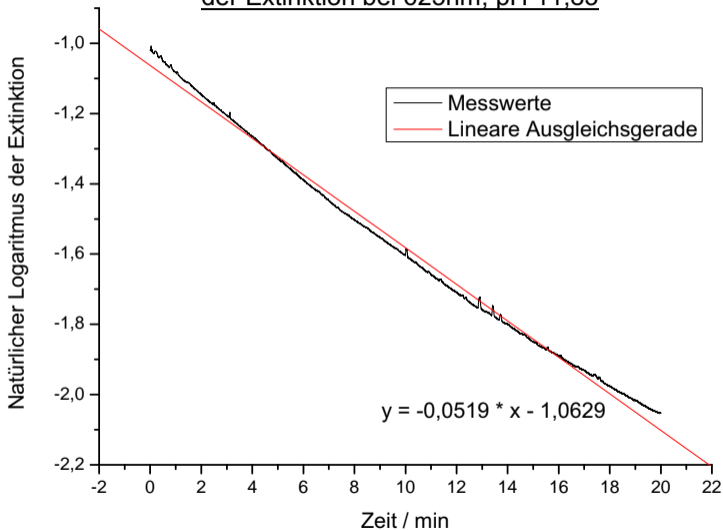
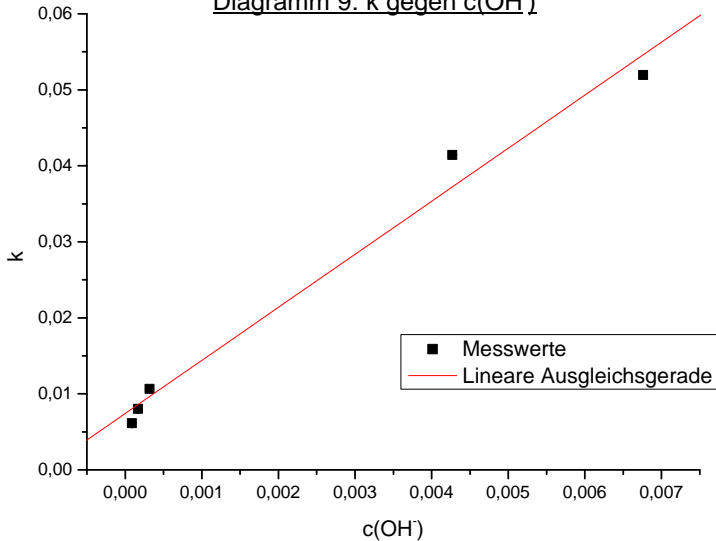


Diagramm 9: k gegen $c(\text{OH}^-)$



Extinktion des Lösungsmittels (H₂O)

