

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

Tobias Schabel
Matthias Ernst
Gruppe A-11

Datum des Praktikumstags: 25.10.2005
Protokoll-Datum: 26.10.2005
Assistent: D. Santi

1. Versuch: KH - Ketonhalogenierung

Aufgabenstellung

In diesem Versuch wird die Halogenierung von Aceton (Propanon) mit Brom und Iod untersucht. Dabei wird die Transmission der Lösung bei Variation der Ausgangskonzentrationen der Edukte gemessen und so die Ordnung der Reaktion bezüglich der Edukte und das Geschwindigkeitsgesetz experimentell ermittelt.

Durchführung:

Zuerst wurde ein Teil der bereitstehende Bromlösung, die mit 0,1M beschriftet war, auf das fünffache Volumen, also 0,02M verdünnt und deren Transmission gemessen.

Dann wurden im Becherglas die für die jeweilige Messung benötigte Menge Acetonlösung ($c=12,5\text{mol/l}$, Ansatz siehe unten), Schwefelsäure ($c=0,5\text{mol/l}$), demin. Wasser und Iod ($c=0,05\text{mol/l}$) - bzw. Bromlösung ($c=0,02\text{mol/l}$) gemischt und ab Zugabe des Halogens mit einer Stoppuhr die Zeit gemessen. Möglichst schnell wurde eine kleine Menge der Lösung in eine Küvette gegeben und die Transmission der Lösung in 15s-Intervallen in einem Spektralphotometer gemessen. Zuvor wurde das Spektralphotometer auf die entsprechende Wellenlänge (430nm für Brom, 480nm für Iod) eingestellt und die Transmission bei reinem demineralisiertem Wasser auf 100% kalibriert. Gemessen wurde, bis die Transmission einen konstanten Wert erreichte.

Da das Halogen die einzige im sichtbaren Bereich absorbierende Substanz ist, kann man an der Transmission den Reaktionsverlauf ablesen. Wenn das Halogen vollständig reagiert hat, ist die Lösung farblos und die Transmission liegt somit bei 100%.

Bei der ersten Messung mit Brom zeigte die Lösung sofort maximale Transmission ohne Änderung. Daher wurde auf eine zu geringe Konzentration der ausgegebenen Bromlösung geschlossen und diese im Spektrometer gemessen. Dabei ergab sich, dass die Konzentration der Lösung nicht, wie darauf angeschrieben, $0,1\text{mol/l}$, sondern ca. $0,01\text{mol/l}$ war. Daher wurde diese Lösung direkt verwendet und die benötigten Mengen entsprechend umgerechnet.

- Tabelle der verwendeten Mengen:

	Aceton		Schwefelsäure		Iod-Lösung		Brom-Lösung		demin. H ₂ O
	$c [\text{mol/l}]$	$V [\text{ml}]$	$c [\text{mol/l}]$	$V [\text{ml}]$	$c [\text{mol/l}]$	$V [\text{ml}]$	$c [\text{mol/l}]$	$V [\text{ml}]$	$V [\text{ml}]$
A	2,5	4	0,05	2	0,0025	1			13
B	2,5	4	0,025	1	0,0025	1			14
C	1,25	2	0,05	2	0,0025	1			15
D	2,5	4	0,15	6			0,005	10	0
E	2,5	4	0,05	2			0,005	10	4
F	1,25	2	0,15	6			0,005	10	2

Die angegebenen Konzentrationen sind die Konzentration des jeweiligen Stoffs in der Mischung, die auf jeweils 20ml angesetzt wurde.

Verwendete Formeln:

Konzentration: $c = \frac{n}{V}$ mit n: Stoffmenge, V: Volumen

Lambert-Beersches Gesetz: $E(\lambda) = \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \log\left(\frac{1}{T}\right) = \epsilon(\lambda) \cdot c \cdot d$

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

mit E: Extinktion; I: Intensität, I_0 : in Küvette eingestrahlte Intensität, T: gemessene Transmission

ϵ : Extinktionskoeffizient (s.u.), c: Konzentration der Probe, d: Schichtdicke

Zusammenhang zwischen Extinktion E und Transmission T: $E = \log \frac{I_0}{I} = \log \frac{1}{T}$ da $T = \frac{I}{I_0}$

Für den Aceton-Ansatz:

$$V_{\text{Aceton}} = \frac{m_{\text{Aceton}}}{\rho_{\text{Aceton}}} \quad \text{mit } \rho : \text{Dichte (für Aceton: } 0,792 \text{g/cm}^3\text{), m: Masse}$$

$m = n \cdot M$ mit n: Stoffmenge, M: Molare Masse ;)

Auswertung:

Ansatz für Aceton:

Wenn man $m = n \cdot M$ und $n = c \cdot V$ in die Formel für die Dichte einsetzt, ergibt sich:

$$V_{\text{Aceton}} = \frac{V_{\text{Lösung}} \cdot c_{\text{Lösung}} \cdot M_{\text{Aceton}}}{\rho_{\text{Aceton}}}$$

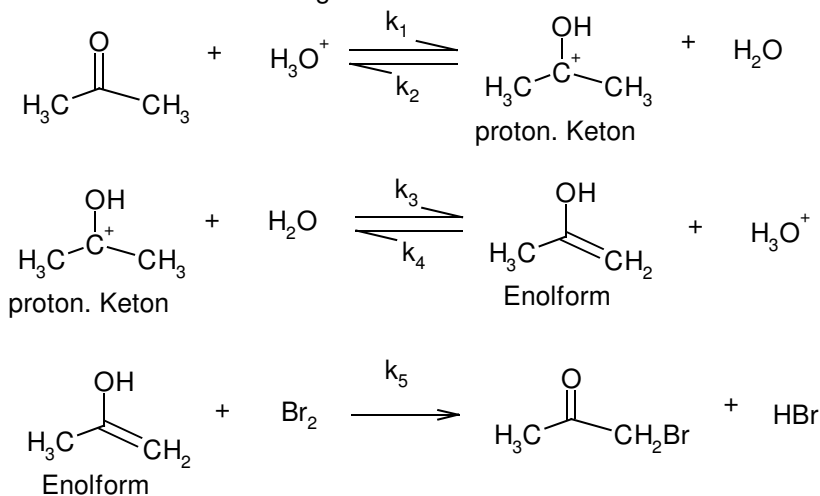
Setzt man für $c = 12,5 \text{ mol/l}$, $M = 58,08 \text{ g/mol}$ und $\rho = 0,792 \text{ g/cm}^3$ ein, so ergibt sich:

$$V_{\text{Aceton}} = 0,9167 \cdot V_{\text{Lösung}}$$

Somit muss man gut 9 Teile Aceton mit einem Teil Wasser auffüllen, um eine 12,5molare Lösung zu erhalten.

Reaktionsschritte:

Die Reaktion läuft in den folgenden Teilschritten:



Berechnung der Konzentrationen

Um aus den gemessenen Transmissionswerten die jeweilige Konzentration des Halogens zu berechnen, wird

$\epsilon(\lambda)$ benötigt. Dieses kann mit angegebenen Werten aus einer Eichkurve aus dem Lambert-Beerschen Gesetz berechnet werden. Dafür wird das Lambert-Beersche Gesetz umgeformt:

$$\epsilon(\lambda) = \frac{E}{c \cdot d}$$

Die gegebenen Werte waren $E(480 \text{ nm}) = 1,032$ bei $c = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$ für Iod und $E(430 \text{ nm}) = 1,248$ bei $c = 9 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$ für Brom bei einer Schichtdicke $d = 0,1 \text{ dm}$.

Eingesetzt ergeben sich:

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{\text{Iod}}(480 \text{ nm}) &= \frac{1,032}{1 \text{ cm} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}} = 412,8 \frac{\text{l}}{\text{mol} \cdot \text{cm}} \quad \text{und} \\
 \epsilon_{\text{Brom}}(430 \text{ nm}) &= 138,7 \frac{\text{l}}{\text{mol} \cdot \text{cm}}
 \end{aligned}$$

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

Um die Konzentrationen des jeweiligen Halogens in der Lösung zu berechnen, wird das Lambert-Beersche

Gesetz nach c umgeformt:
$$c = \frac{E}{\epsilon(\lambda) \cdot d} = \frac{\log(T^{-1})}{\epsilon(\lambda) \cdot d} = \frac{-\log(T)}{\epsilon(\lambda) \cdot d}$$

Bei Vermessung der Brom"stamm"lösung (die offenbar zu niedrig konzentriert war, siehe oben), betrug die Transmission $T_B=0,045$. Daraus ergibt sich:

$$c = \frac{\log(0,045^{-1})}{138,7 \frac{\text{l}}{\text{mol} \cdot \text{cm}} \cdot 1 \text{ cm}} = 0,00971 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

Also war die Lösung falsch beschriftet, ihre Konzentration betrug nicht 0,1 mol/l, sondern ungefähr 0,01 mol/l.

Grafische Auswertung

Für die grafische Auswertung der Messreihen wurden nach dem Lambert-Beerschen Gesetz für jede gemessene Transmission die entsprechende Konzentration berechnet (s.o.) und diese über der Zeit aufgetragen. Da der Verlauf der Punkte im Bereich der Messgenauigkeit linear ist, wurden Ausgleichsgeraden durch die Punkte gelegt. Deren Steigung wird abgelesen und mit r_i (i für die jeweilige Messreihe) bezeichnet.

Berechnung der Reaktionsordnungen und von Ermittlung von k_{exp}

Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass für alle Messreihen Geraden entstehen. Da c über t aufgetragen wird, muss es sich also um eine Reaktion 0. Ordnung in Bezug auf Iod und Brom handeln. Die Konzentration von H^+ kann als konstant betrachtet werden, da es im Überschuss vorliegt. Der Betrag der Steigungen der einzelnen Geraden wird als k abgelesen und ist die Reaktionsgeschwindigkeit r_i , da für die Konzentration gilt:

$$c = k \cdot t + c_0 \quad \text{und} \quad r = \frac{\partial c}{\partial t} = k$$

Aus dem Diagramm:

i	A	B	C	D	E	F
$r_i [(mol/l)/s]$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,52 \cdot 10^{-2}$	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$

Für die Reaktionsgeschwindigkeit r wird der folgende Ansatz gemacht:

$$r = k_{exp} \cdot [Ke]^x \cdot [H_3O^+]^y \cdot [X_2]^z \quad \text{mit } x, y \text{ und } z: \text{ Reaktionsordnung bezüglich der jeweiligen Komponente und } k_{exp}: \text{ experimentell bestimmte Geschwindigkeitskonstante}$$

Da die Reaktion bezüglich der Halogene X nullter Ordnung ist (s.o.), ist $z=0$.

Bei den Messwerten war neben der Anfangskonzentration des jeweiligen Halogens bei zwei Messungen die Konzentration von Aceton und bei zwei Messungen die Konzentration von Schwefelsäure konstant. Somit kann aus der Exponent der jeweils veränderten Komponente berechnet werden.

Bestimmung von y ($[Ke]=\text{konst}$):

$$r_A = 5,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol/l}}{\text{s}} = k_{exp} \cdot (2,5 \frac{\text{mol}}{\text{l}})^x \cdot (0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}})^y \quad \text{und} \quad r_B = 3,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol/l}}{\text{s}} = k_{exp} \cdot (2,5 \frac{\text{mol}}{\text{l}})^x \cdot (0,05 \frac{\text{mol}}{\text{l}})^y$$

Um y zu bestimmen, teilt man r_A durch r_B geteilt:

$$\frac{r_A}{r_B} = \frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-3}} = \left(\frac{0,1 \text{ mol}}{0,05 \text{ l}} \right)^y = 2^y$$

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

$$\Rightarrow y = \ln\left(\frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{3,1 \cdot 10^{-3}}\right) / \ln(2) = 0,7737 \approx 1$$

Ebenso folgt für r_D und r_E : $y = \ln\left(\frac{1,52 \cdot 10^{-2}}{5,8 \cdot 10^{-3}}\right) / \ln(3) = 0,8770 \approx 1$

Somit ist die Reaktion 1. Ordnung bezüglich Schwefelsäure bzw. H_3O^+ .

Ebenso gilt für x ($[H_3O^+] = \text{konst}$):

$$r_A = 5,3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol/l}}{\text{s}} = k_{\text{exp}} \cdot \left(2,5 \frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^x \cdot \left(0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^y \quad \text{und} \quad r_C = 3,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol/l}}{\text{s}} = k_{\text{exp}} \cdot \left(1,25 \frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^x \cdot \left(0,1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}\right)^y$$

$$\frac{r_A}{r_C} = \frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{3,0 \cdot 10^{-3}} = \left(\frac{2,5}{1,25}\right)^y = 2^y$$

$$\Rightarrow y = \ln\left(\frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{3,0 \cdot 10^{-3}}\right) / \ln(2) = 0,8210 \approx 1$$

Ebenso für r_D und r_F : $y = \ln\left(\frac{1,52 \cdot 10^{-2}}{8,4 \cdot 10^{-3}}\right) / \ln(2) = 0,8556 \approx 1$

Also ist die Reaktion auch bezüglich Aceton 1. Ordnung und es gilt: $r = k_{\text{exp}} \cdot [Ke] \cdot [H_3O^+]$

Daraus ergibt sich für k : $k_{\text{exp}} = \frac{r}{[Ke] \cdot [H_3O^+]}$

Aus den verschiedenen Messreihen ergeben sich die folgenden Werte für k_{exp} [$l / (\text{mol} \cdot \text{s})$]:

	A	B	C	Ø
<i>Iodierung</i>	$2,12 \cdot 10^{-5}$	$2,48 \cdot 10^{-5}$	$2,40 \cdot 10^{-5}$	$2,333 \cdot 10^{-5}$
	D	E	F	Ø
<i>Bromierung</i>	$2,207 \cdot 10^{-5}$	$2,32 \cdot 10^{-5}$	$2,24 \cdot 10^{-5}$	$2,256 \cdot 10^{-5}$

Herleitung des theoretischen Geschwindigkeitsgesetzes

Das Keton wird mit Ke bezeichnet, das protonierte Keton mit KeH und die Enolform mit En.

Für das protonierte Keton gilt im Gleichgewicht:

$$\frac{d[KeH]}{dt} = k_1 \cdot [Ke] \cdot [H_3O^+] - k_2 \cdot [KeH] \cdot [H_2O] - k_3 \cdot [KeH] \cdot [H_2O] + k_4 \cdot [En] \cdot [H_3O^+] = 0 \quad (1)$$

Ebenso gilt für die Enolform:

$$\frac{d[En]}{dt} = k_3 \cdot [KeH] \cdot [H_2O] - k_4 \cdot [En] \cdot [H_3O^+] - k_5 \cdot [En] \cdot [Br_2] = 0 \quad (2)$$

Gleichung (1) nach $[KeH] \cdot [H_2O]$ umgeformt ergibt $\frac{k_1 \cdot [Ke] \cdot [H_3O^+] + k_4 \cdot [En] \cdot [H_3O^+]}{k_2 + k_3} = [KeH] \cdot [H_2O]$, dies wird in

Gleichung (2) eingesetzt: $k_3 \frac{k_1 \cdot [Ke] \cdot [H_3O^+] + k_4 \cdot [En] \cdot [H_3O^+]}{k_2 + k_3} - k_4 \cdot [En] \cdot [H_3O^+] - k_5 \cdot [En] \cdot [Br_2] = 0$

$$\Rightarrow [En] = \frac{k_1 k_3 [Ke] [H_3O^+]}{k_2 k_4 [H_3O^+] + k_5 (k_2 + k_3) [Br_2]} \quad (3)$$

Die Änderung r der Konzentration von Brom gilt: $\frac{-d[Br_2]}{dt} = k_5 [En] [Br_2] \quad (4)$

Gleichung (3) in (4) eingesetzt ergibt somit für r : $r = \frac{k_1 k_3 k_5 [Ke] [H_3O^+] [Br_2]}{k_2 k_4 [H_3O^+] + k_5 (k_2 + k_3) [Br_2]}$

Herleitung von k_{exp}

Praktikumsprotokoll

Physikalisch-Chemisches Anfängerpraktikum

Die Halogenierung (3. Schritt im Reaktionsmechanismus) ist nullter Ordnung, die übrigen Reaktionen erster Ordnung. Somit bestimmen die ersten beiden Schritte die Reaktionsgeschwindigkeit und k_2k_4 kann als gegen 0 gehend angesehen werden.

Somit gilt für r:
$$r = \frac{k_1 k_3 k_5 [\text{Ke}][\text{H}_3\text{O}^+][\text{Br}_2]}{k_5(k_2+k_3)[\text{Br}_2]} = \frac{k_1 k_3}{k_2+k_3} \cdot [\text{Ke}][\text{H}_3\text{O}^+] = k_{\text{exp}} [\text{Ke}][\text{H}_3\text{O}^+] \quad \text{mit} \quad k_{\text{exp}} = \frac{k_1 k_3}{k_2+k_3}$$

Fehlerbetrachtung:

Die Konzentration der ausgegeben Bromlösung stimmte nicht, sie war um etwa den Faktor 10 zu klein. Außerdem war sie nicht exakt 0,01 mol/l, sondern leicht darunter. Daraus resultiert bereits ein Fehler.

Weitere Fehler entstanden beim Pipettieren und Mischen der Lösung, da keine Voll-, sondern nur Messpipetten verwendet werden konnten.

Außerdem konnte die Zeit ab dem Reaktionsbeginn nur ungefähr gestoppt werden und die Anzeige des Messgeräts bewegte sich kontinuierlich, sodass aufgrund der Bewegung und der Reaktionszeit nicht die exakte Transmission zum exakten Zeitpunkt abgelesen werden konnte.

Schließlich schien die Reaktion bei der Iodierung in der Küvette schneller abzulaufen als im Becherglas, da die Lösung im Becherglas noch deutlich braun war, als die Lösung in der Küvette schon farblos war und somit fertig reagiert hatte.

Für den abgelesenen Wert der Extinktion und den daraus berechneten Wert für ϵ ergibt sich nach der Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta \epsilon = \frac{1}{c \cdot d} \cdot \Delta E$$

Der Fehler ΔE wurde zu 0,05 abgeschätzt. Also ergibt sich $\Delta \epsilon(\text{Br}) = 5,6 \text{ mol}/(\text{l} \cdot \text{cm})$ (rel. Fehler 4,0%) und $\Delta \epsilon(\text{I}) = 20 \text{ mol}/(\text{l} \cdot \text{cm})$ (rel. Fehler 4,8%).

Nach der Fehlerfortpflanzung ergibt sich der Fehler der Konzentration in den berechneten Kurven zu:

$$\Delta c = \frac{1}{T \cdot \ln(10) \cdot \epsilon \cdot d} \cdot \Delta T + \frac{|\log(T)|}{\epsilon^2 \cdot d} \cdot \Delta \epsilon$$

Dabei wird ΔT zu 2% abgeschätzt und die berechneten Werte für $\Delta \epsilon$ verwendet.

Die Werte für Δc wurden für alle Konzentrationen berechnet und als Fehlerbalken in die Diagramme eingezeichnet. Nun könnten noch Ausgleichsgeraden mit maximaler und minimaler Steigung eingezeichnet werden. Dies wurde exemplarisch für die Messreihe C durchgeführt, dabei ergab sich $r_{\text{max}} = 0,0026 \text{ mol} \cdot \text{s}/\text{l}$ und $r_{\text{min}} = 0,0033 \text{ mol} \cdot \text{s}/\text{l}$.

$$\frac{r_A}{r_{C,\text{max}}} = \frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{2,6 \cdot 10^{-3}} = \left(\frac{2,5 \text{ mol}}{1,25 \text{ l}}\right)^y = 2^y \Rightarrow y_{\text{max}} = \ln\left(\frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{2,6 \cdot 10^{-3}}\right) / \ln(2) = 1,027 \approx 1$$

$$\frac{r_A}{r_{C,\text{min}}} = \frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{3,3 \cdot 10^{-3}} = \left(\frac{2,5 \text{ mol}}{1,25 \text{ l}}\right)^y = 2^y \Rightarrow y_{\text{min}} = \ln\left(\frac{5,3 \cdot 10^{-3}}{3,3 \cdot 10^{-3}}\right) / \ln(2) = 0,684 \approx 1$$

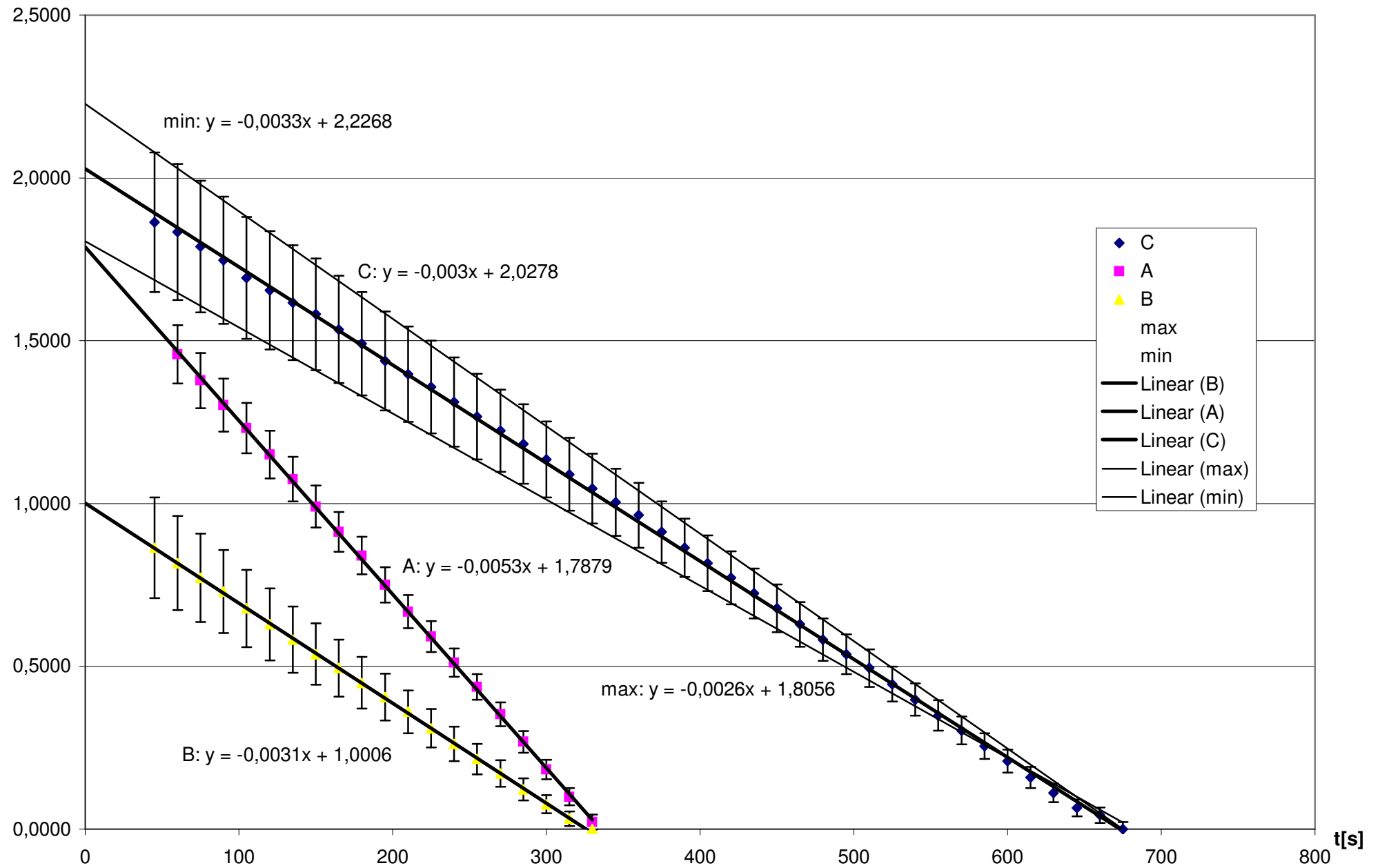
Man sieht, dass der Fehler zwar bemerkbar ist, aber aufgrund der Rundung nicht ins Gewicht fällt. Daher wurden keine weiteren Fehler für die Steigung ermittelt.

Anhang:

- Messwerte
- Diagramme

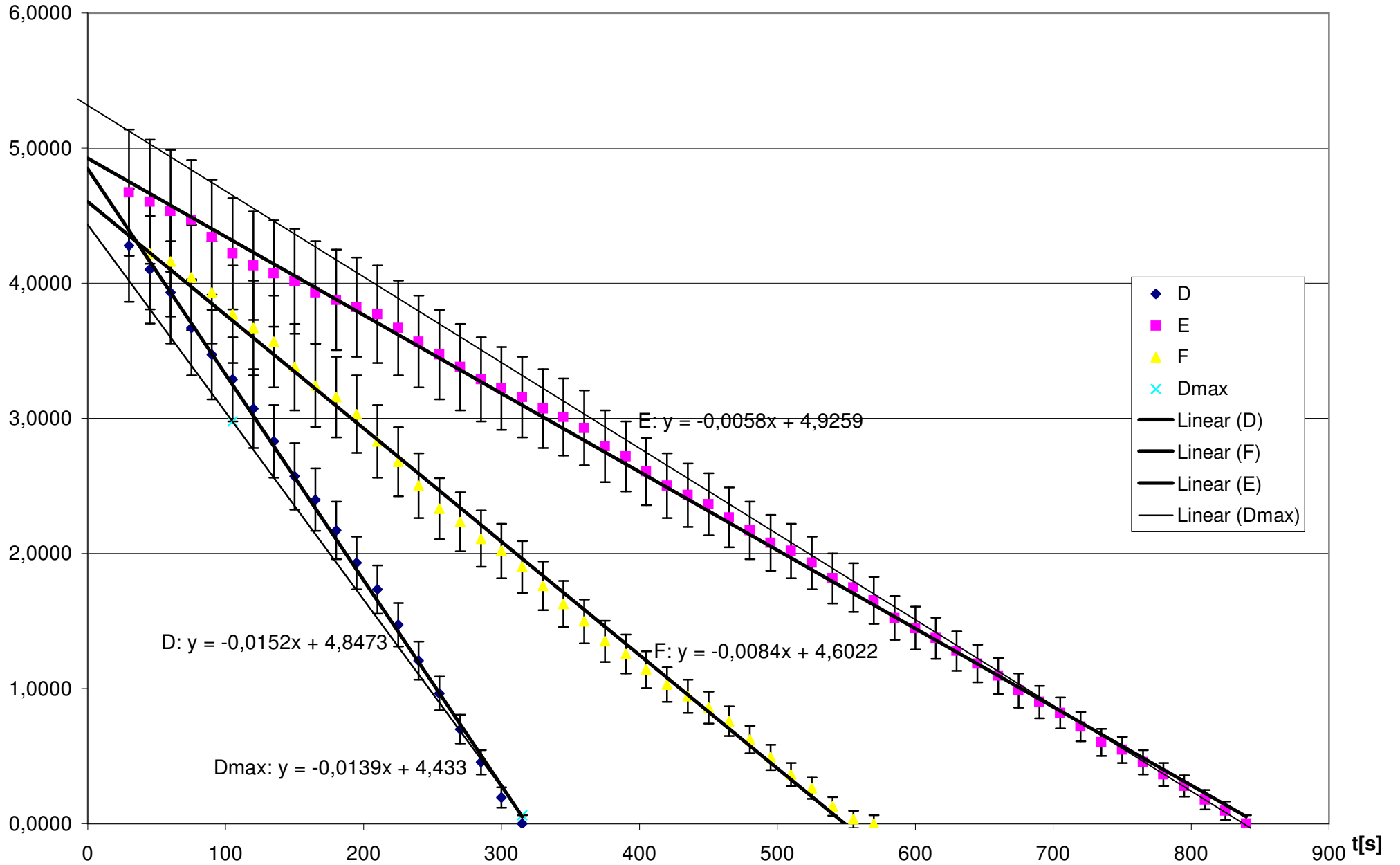
c[mol/l]

Iodierung von Aceton



c[mol/l]

Bromierung von Aceton



Ketonhalogenierung - Messwerte

Zeit	T_A	c_A	Tr_B	c_B	Tr_C	c_C	Tr_D	c_D	Tr_E	c_E	Tr_F	c_F
30							25,50	4,2798	22,50	4,6718		
45			44,00	0,8637	17,00	1,8642	27,00	4,1007	23,00	4,6029	26,00	4,2189
60	25,00	1,4585	46,00	0,8170	17,50	1,8337	28,50	3,9314	23,50	4,5356	26,50	4,1593
75	27,00	1,3775	48,00	0,7722	18,25	1,7896	31,00	3,6681	24,00	4,4696	27,50	4,0433
90	29,00	1,3023	50,00	0,7292	19,00	1,7472	33,00	3,4723	25,00	4,3418	28,50	3,9314
105	31,00	1,2322	52,50	0,6779	20,00	1,6932	35,00	3,2880	26,00	4,2189	30,00	3,7708
120	33,50	1,1506	55,00	0,6290	20,75	1,6545	37,50	3,0719	26,75	4,1299	31,00	3,6681
135	36,00	1,0748	57,50	0,5822	21,50	1,6172	40,50	2,8309	27,25	4,0719	32,00	3,5686
150	39,00	0,9906	60,00	0,5374	22,25	1,5811	44,00	2,5713	27,75	4,0149	34,00	3,3788
165	42,00	0,9127	62,50	0,4945	23,25	1,5348	46,50	2,3982	28,50	3,9314	35,50	3,2435
180	45,00	0,8401	65,25	0,4492	24,25	1,4905	50,00	2,1709	29,00	3,8769	36,50	3,1565
195	49,00	0,7505	68,00	0,4057	25,50	1,4376	54,00	1,9299	29,50	3,8234	38,00	3,0304
210	53,00	0,6679	71,00	0,3603	26,50	1,3972	57,50	1,7332	30,00	3,7708	40,50	2,8309
225	57,00	0,5914	74,50	0,3097	27,50	1,3582	62,50	1,4720	31,00	3,6681	42,50	2,6799
240	61,50	0,5114	78,00	0,2614	28,75	1,3114	68,00	1,2079	32,00	3,5686	45,00	2,5009
255	66,00	0,4372	81,50	0,2152	30,00	1,2667	73,50	0,9643	33,00	3,4723	47,50	2,3315
270	71,50	0,3529	85,00	0,1710	31,25	1,2237	80,00	0,6989	34,00	3,3788	49,00	2,2342
285	77,50	0,2682	89,00	0,1226	32,50	1,1825	86,50	0,4542	35,00	3,2880	51,00	2,1089
300	84,00	0,1834	93,00	0,0763	34,00	1,1350	94,00	0,1938	35,75	3,2216	52,50	2,0181
315	91,00	0,0992	97,00	0,0320	35,50	1,0896	100,00	0,0000	36,50	3,1565	54,50	1,9010
330	98,00	0,0213	100,00	0,0000	37,00	1,0460			37,50	3,0719	57,00	1,7605
345					38,50	1,0042			38,25	3,0099	59,50	1,6261
360					40,00	0,9640			39,25	2,9290	62,00	1,4972
375					42,00	0,9127			41,00	2,7924	65,00	1,3492
390					44,00	0,8637			42,00	2,7170	67,00	1,2543
405					46,00	0,8170			43,50	2,6070	69,50	1,1395
420					48,00	0,7722			45,00	2,5009	72,00	1,0289
435					50,25	0,7240			46,00	2,4320	74,00	0,9430
450					52,50	0,6779			47,00	2,3647	76,00	0,8595
465					55,00	0,6290			48,50	2,2663	78,50	0,7582
480					57,50	0,5822			50,00	2,1709	82,00	0,6215
495					60,00	0,5374			51,50	2,0783	85,50	0,4906
510					62,50	0,4945			52,50	2,0181	89,00	0,3650
525					65,50	0,4452			54,00	1,9299	92,00	0,2611
540					68,50	0,3980			56,00	1,8160	96,00	0,1279
555					71,75	0,3493			57,25	1,7468	99,00	0,0315
570					75,00	0,3027			59,00	1,6525	100,00	0,0000
585					78,50	0,2547			61,50	1,5225		
600					82,00	0,2088			63,00	1,4471		
615					86,00	0,1587			64,50	1,3734		
630					90,00	0,1108			66,50	1,2777		
645					94,00	0,0651			68,50	1,1849		
660					96,00	0,0429			70,50	1,0948		
675					100,00	0,0000			73,00	0,9857		
690									75,00	0,9010		
705									77,00	0,8186		
720									79,50	0,7185		
735									82,50	0,6025		
750									84,00	0,5461		
765									86,50	0,4542		
780									89,00	0,3650		
795									91,50	0,2782		
810									94,50	0,1772		
825									97,00	0,0954		
840									100,00	0,0000		

ε(Brom) ε(Iod)
138,67 412,8

Fehlerrechnung

Zeit	A	B	C	D	E	F
30				0,42	0,47	
45		0,09	0,21	0,40	0,46	0,41
60	0,15	0,09	0,21	0,38	0,45	0,40
75	0,14	0,08	0,20	0,35	0,44	0,39
90	0,14	0,08	0,20	0,33	0,43	0,38
105	0,13	0,07	0,19	0,31	0,41	0,36
120	0,12	0,07	0,18	0,29	0,40	0,35
135	0,11	0,06	0,18	0,27	0,39	0,34
150	0,10	0,06	0,17	0,25	0,39	0,32
165	0,09	0,06	0,16	0,23	0,38	0,31
180	0,09	0,05	0,16	0,21	0,37	0,30
195	0,08	0,05	0,15	0,19	0,37	0,29
210	0,07	0,05	0,15	0,18	0,36	0,27
225	0,07	0,04	0,14	0,16	0,35	0,26
240	0,06	0,04	0,14	0,14	0,34	0,24
255	0,05	0,04	0,13	0,12	0,33	0,23
270	0,05	0,03	0,13	0,11	0,32	0,22
285	0,04	0,03	0,12	0,09	0,31	0,21
300	0,03	0,03	0,12	0,07	0,31	0,20
315	0,03	0,02	0,11	0,06	0,30	0,19
330	0,02	0,02	0,11		0,29	0,18
345			0,10		0,29	0,17
360			0,10		0,28	0,16
375			0,09		0,27	0,15
390			0,09		0,26	0,14
405			0,09		0,25	0,14
420			0,08		0,24	0,13
435			0,08		0,23	0,12
450			0,07		0,23	0,12
465			0,07		0,22	0,11
480			0,06		0,21	0,10
495			0,06		0,21	0,09
510			0,06		0,20	0,09
525			0,05		0,19	0,08
540			0,05		0,19	0,07
555			0,05		0,18	0,06
570			0,04		0,17	0,06
585			0,04		0,16	
600			0,04		0,16	
615			0,03		0,15	
630			0,03		0,15	
645			0,03		0,14	
660			0,02		0,13	
675			0,02		0,13	
690					0,12	
705					0,11	
720					0,11	
735					0,10	
750					0,10	
765					0,09	
780					0,09	
795					0,08	
810					0,07	
825					0,07	
840					0,06	

Fehler:

ΔT	$\Delta \varepsilon(\text{Br})$	$\Delta \varepsilon(\text{I})$
0,02	5,60	20,00