

Versuch 32 – Rohrzuckerinversion

Gruppe 1

Name: Ondrej Burkacky

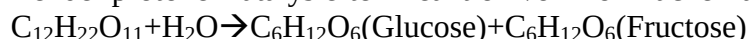
Doris Weber

Aufgabe

Es wird die Kinetik bei der protonenkatalysierten Reaktion von Rohrzucker in Wasser betrachtet.

Theorie

Bei der protonenkatalysierten Reaktion von Rohrzucker läuft grob die folgende Reaktion ab:



Das Gemisch aus Fructose und Glucose, das auch als Invertzucker bezeichnet wird, dreht die Ebene des polarisierten Lichtes in die entgegengesetzte Richtung in Bezug auf Rohrzucker. Somit kann bei dieser Reaktion die Änderung des Drehwinkels als ein Maß für die Konzentration von Saccharose herangezogen werden. Da man die Konzentration von Wasser im Verlauf der Reaktion als konstant ansehen kann, gehorcht die Auflösung von Rohrzucker in Wasser einer Reaktion pseudo-erster Ordnung – die Reaktionsgeschwindigkeit hängt nur von $c_{\text{S(accharose)}}$ ab:

$$-\frac{dc_s}{dt} = k' \cdot c_s \cdot c_w \cong k \cdot c_s$$

Setzt man nun statt der Konzentration den Drehwinkel ein, so ergibt sich mit α_0 =Anfangszustand, α_{∞} =Endzustand und α_t =Drehwinkel bei der Zeit t für die Geschwindigkeitskonstante k :

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{\alpha_0 - \alpha_{\infty}}{\alpha_t - \alpha_{\infty}}$$

k ist abhängig von der Temperatur. Bei einer bestimmten Temperatur ist der Drehwinkel einer bestimmten Wellenlänge abhängig von der Konzentration und der Länge des Lichtweges durch eine Lösung. Als Bezugs-Wellenlänge wählt man in der Literatur meistens die von der Natrium-D-Linie. Es ergibt sich dann:

$[\alpha]_D^T = \frac{100\alpha}{cl}$ mit α =Drehwinkel, c =Konzentration [$\text{g}/100 \text{ cm}^3$] und l =Länge des Lichtweges in der Lsg.

Versuchsdurchführung

Verwendet wird ein Gerät, bei dem das Licht zunächst durch einen Polarisator geschickt wird und dann, nachdem es die Probelösung passiert hat, durch einen weiteren Polarisator auf eine Photozelle auftrifft. Sind die Ebenen der beiden Polarisatoren genau senkrecht zueinander, trifft auf die Photozelle kein Licht auf. Der zweite Polarisator, der aus einer stromdurchflossenen Spule besteht, kann je nach der Intensität der auf die Photozelle eintreffenden Strahlung gedreht werden. Hiermit kann das Gerät die Polarisatoren genau so ausrichten, dass

die auf die Photozelle auftreffende Lichtintensität minimal wird und somit den Drehwinkel α bestimmen.

Es werden drei Messungen bei 17, 25 und 35°C durchgeführt.

Um die spezifische Drehung der Rohrzuckerlösung bei 25°C zu berechnen, setzt man in die folgende Gleichung ein:

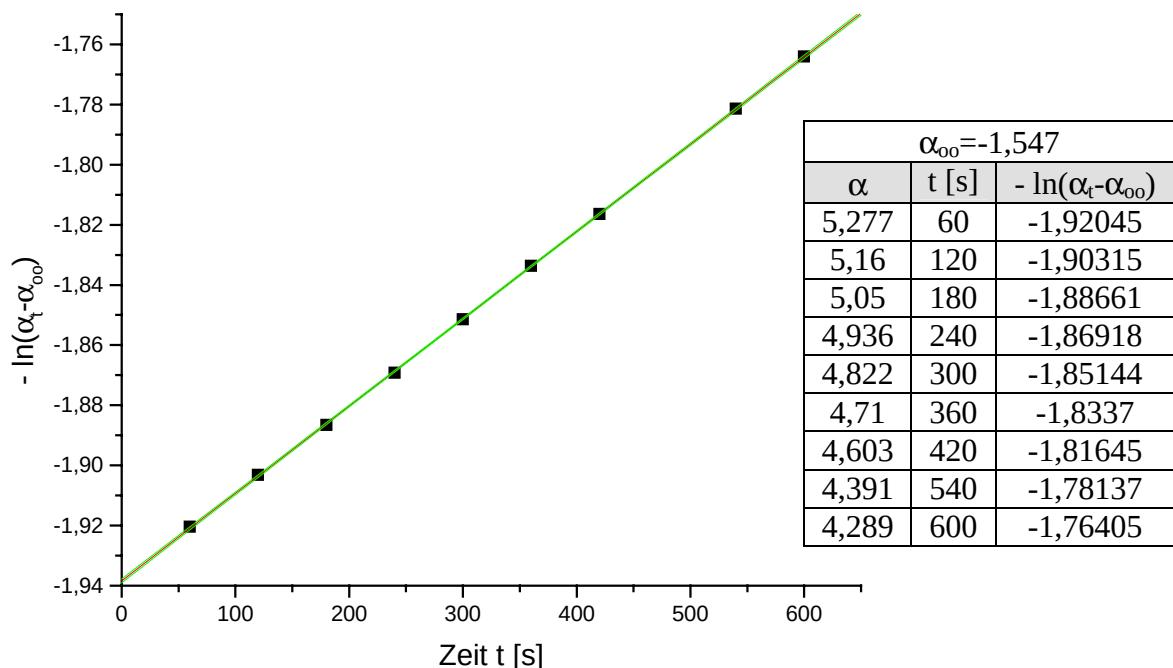
$$[\alpha]_D^T = \frac{100\alpha}{cl} \quad \text{mit } c=15 \text{ g / 100 cm}^3, l=1 \text{ dm und } \alpha=11,248^\circ \text{ ergibt sich dann}$$

$$[\alpha]_D^T = \frac{100 \cdot 11,248^\circ}{15(\text{g/100cm}^3) \cdot 1\text{dm}} = 75^\circ$$

Der Vergleich mit dem Literaturwert von 66,5° ergibt eine Abweichung von 12,78%, was wohl auf eine zu ungenaue Eichung des Nullpunktes zurückzuführen ist.

Um nun die jeweiligen Geschwindigkeitskonstanten bei den gemessenen Temperaturen von 17, 25 und 35°C zu bestimmen, trägt man zunächst $-\ln(\alpha_t - \alpha_{\infty})$ gegen t auf. Die Geradengleichung lautet dann $-\ln(\alpha_0 - \alpha_{\infty}) = kt - \ln(\alpha_0 - \alpha_{\infty})$. Man sieht, dass die Steigung genau k entspricht.

Messung bei 25°C



Lineare Regression:

$$Y = A + B \cdot X$$

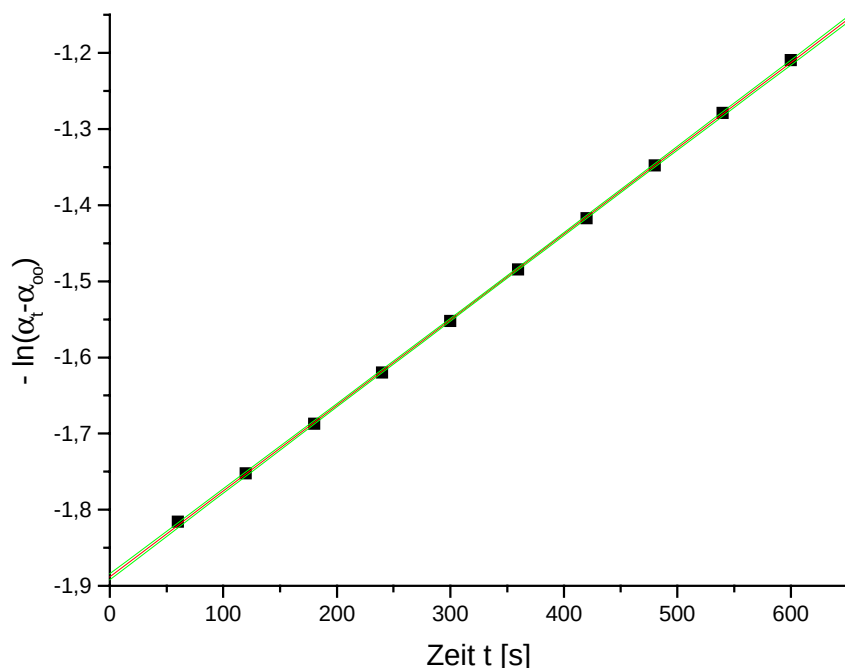
Parameter	Wert	Fehler
A	-1,93834	$2,60631 \cdot 10^{-4}$
B	$2,90313 \cdot 10^{-4}$	$7,27349 \cdot 10^{-7}$

Korrelationsfaktor Standardabweichung

0,99998 $3,79339 \cdot 10^{-4}$

Somit ergibt sich für k (bei 25°C) $= (2,903 \pm 0,007) \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. Nur der Interesse halber kann man versuchen sich zu überlegen, ob aus dem Achsenabschnitt nicht ein besserer Wert für $[\alpha]_D^{25^\circ}$ ermittelt werden kann, jedoch liefert die Betrachtung von $-1,93834 = -\ln(\alpha_0 - \alpha_\infty)$ mit 72° einen nicht viel besseren Wert als oben (Achtung: $c = 7,5 \text{ g}/100 \text{ ml}$) - Abweichung 8,3%. Für die Fehlerrechnung wird der Fehler der Regressionsgeraden herangezogen.

Messung bei 35°C



$\alpha_{\infty} = -1,286$		
α	t [s]	$-\ln(\alpha_t - \alpha_{\infty})$
4,861	60	-1,815964158
4,483	120	-1,752498755
4,119	180	-1,687324451
3,767	240	-1,619982126
3,436	300	-1,552232439
3,126	360	-1,484328101
2,839	420	-1,41706602
2,564	480	-1,348073148
2,307	540	-1,278987508
2,066	600	-1,209557183

Lineare Regression:

$$Y = A + B \cdot X$$

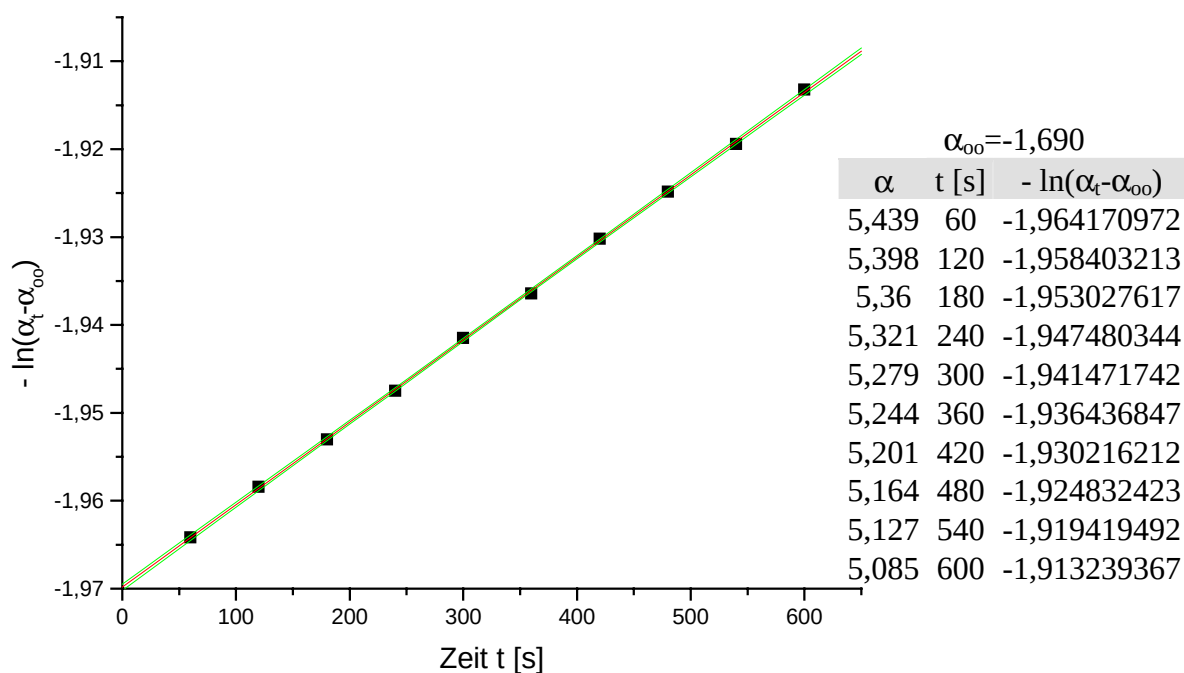
Parameter	Wert	Fehler
A	-1,88811	0,00169
B	0,00113	4,54346E-6

Korrelationsfaktor Standartabweichung

0,99993 0,00248

Somit ergibt sich für k (bei 35°C) $= (11,3 \pm 0,05) \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

Messung bei 17°C



Lineare Regression:

$$Y = A + B \cdot X$$

Parameter	Wert	Fehler
A	-1,96984	$1,62599 \cdot 10^{-4}$
B	$9,38458 \cdot 10^{-5}$	$4,36753 \cdot 10^{-7}$

Korrelationsfaktor	Standardabweichung
0,99991	$2,38021 \cdot 10^{-4}$

Somit ergibt sich für k (bei 17°C) $= (0,938 \pm 0,004) \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

Übersicht über die jeweiligen k

Temperatur [°C]	17	25	35
k [s ⁻¹]	$(0,938 \pm 0,004) \cdot 10^{-4}$	$(2,903 \pm 0,007) \cdot 10^{-4}$	$(11,3 \pm 0,05) \cdot 10^{-4}$

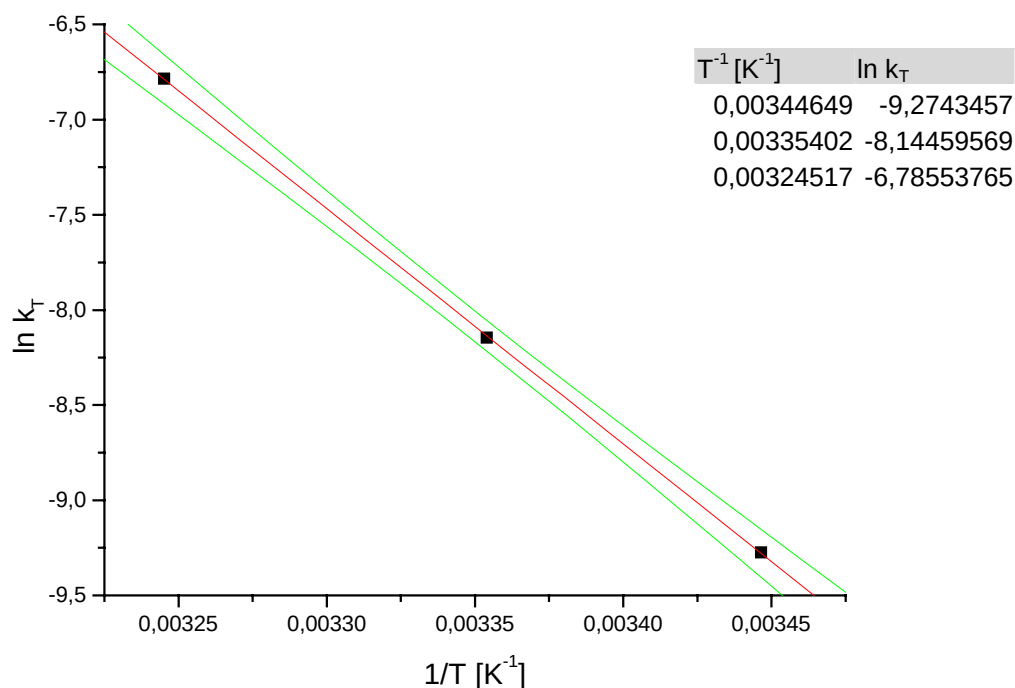
Da k nur von einer Konzentration abhängt (c_s), wenn man die Konzentration von Wasser als konstant ansieht, kann man die Reaktion als eine Reaktion pseudo-erster Ordnung bezeichnen.

Temperaturabhängigkeit der Geschwindigkeitskonstante nach Arrhenius

Die Gleichung lautet

$$k_T = A e^{-\frac{E_A}{RT}}$$

durch umformen erhält man: $\ln k = \ln A - \frac{E_A}{R} \frac{1}{T}$. Im folgenden Graphen sind die $\ln k$ gegen die jeweiligen Reziprokwerte der Temperatur aufgetragen. Somit entspricht $\ln A$ dem Achsenabschnitt und $-E_A/R$ dem Anstieg der Regressionsgeraden.



Lineare Regression:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Wert	Fehler
A	33,34038	0,25864
B	-12366,07223	77,21583

Korrelationskoeffizient	Standartabweichung
0,99998	0,011

Gemäß der Gleichung $\ln k = \ln A - \frac{E_A}{R} \frac{1}{T}$ entspricht $A = e^{(33,34 \pm 0,26)}$ und $E_a = (124 \pm 1) * R$ [kJ].

Somit ergibt sich für den Häufigkeitsfaktor $A=(3,02\pm0,69)\cdot 10^{14}$ und für die Aktivierungsenergie $E_a=(103\pm1)$ kJ.

Ausgehend von der Gleichung:

$$-\frac{dc_s}{dt} = k' \cdot c_s \cdot c_w \cong k \cdot c_s$$

$$\Rightarrow \int -\frac{1}{c_s} dc_s = k \int dt \Rightarrow -\ln c_s = kt \Rightarrow c_s = e^{-kt} \Rightarrow c_s(t) = c_s(0) \cdot e^{-kt}$$

kann die Zeit (t) berechnet werden, bei der bei 35°C 99% des Rohrzuckers umgesetzt worden sind:

$$0,01 \cdot c(0) = c(0) \cdot e^{-kt} \Rightarrow -(\ln 0,01) \frac{1}{k} = t \rightarrow t(35^\circ\text{C}) = (4075 \pm 18)\text{s} \approx 1\text{h}8\text{min}$$