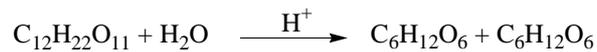


## Rohrzuckerinversion

### Theorie

Für die säurekatalysierte Hydrolyse von Saccharose (S) in wässriger Lösung zu Glucose (G) und Fructose (F) gemäß



ergibt sich trotz einer komplexen Reaktionsfolge für die Bruttoreaktion ein Zeitgesetz erster Ordnung:

$$-\frac{dc_S}{dt} = k \cdot c_S \Rightarrow \ln \frac{c_S(t)}{c_S(0)} = -k \cdot t.$$

Der zeitliche Ablauf der Reaktion lässt sich durch die Messung der optischen Aktivität der Zuckerlösung verfolgen. Saccharose und Glucose drehen die Polarisationssebene linear polarisierten Lichtes mit der jeweiligen spezifischen Drehung  $\alpha_S$  und  $\alpha_G$  nach rechts, Fructose dagegen mit einer größeren spezifischen Drehung  $\alpha_F$  nach links. Wegen der somit während der Reaktion auftretende Änderung der Drehrichtung wird die Hydrolyse der Saccharose auch „Rohrzuckerinversion“ genannt.

Bei Lösungen optisch aktiver Stoffe  $i$  der jeweiligen Konzentration  $c_i(t)$  zur Zeit  $t$  ergibt sich der Drehwinkel  $\varphi(t)$  zur Zeit  $t$  mit der Weglänge  $d$  des Lichtes in der Lösung zu  $\varphi(t) = \sum \alpha_i \cdot c_i(t) \cdot d$ . Die jeweilige Konzentration an Saccharose kann somit durch den Drehwinkel  $\varphi$  dargestellt werden; es ergibt sich:

$$\begin{aligned} \varphi(0) &= \alpha_S \cdot c_S(0) \cdot d, \quad \varphi(\infty) = \alpha_G \cdot c_G(\infty) \cdot d + \alpha_F \cdot c_F(\infty) \cdot d \text{ und} \\ \varphi(t) &= \alpha_S \cdot c_S(t) \cdot d + \alpha_G \cdot c_G(t) \cdot d + \alpha_F \cdot c_F(t) \cdot d. \end{aligned}$$

Zudem gilt  $c_S(0) = c_G(\infty) = c_F(\infty)$  und mit  $c_G(t) = c_F(t)$  auch

$$c_S(0) = c_S(t) + 0,5 \cdot [c_G(t) + c_F(t)] = c_S(t) + c_G(t) = c_S(t) + c_F(t).$$

Durch Einsetzen letzterer Identitäten erhält man

$$\begin{aligned} \varphi(\infty) &= \alpha_G \cdot c_S(0) \cdot d + \alpha_F \cdot c_S(0) \cdot d \text{ und} \\ \varphi(t) &= \alpha_S \cdot c_S(t) \cdot d + \alpha_G \cdot [c_S(0) - c_S(t)] \cdot d + \alpha_F \cdot [c_S(0) - c_S(t)] \cdot d. \end{aligned}$$

Quotientenbildung ergibt

$$\begin{aligned} \frac{\varphi(t) - \varphi(\infty)}{\varphi(0) - \varphi(\infty)} &= \frac{d \cdot [\alpha_S \cdot c_S(t) + \alpha_G \cdot (c_S(0) - c_S(t)) + \alpha_F \cdot (c_S(0) - c_S(t))] - d \cdot [\alpha_G \cdot c_S(0) + \alpha_S \cdot c_S(0)]}{d \cdot \alpha_S \cdot c_S(0) - d \cdot [\alpha_G \cdot c_S(0) + \alpha_S \cdot c_S(0)]} \\ \frac{\varphi(t) - \varphi(\infty)}{\varphi(0) - \varphi(\infty)} &= \frac{\alpha_S \cdot c_S(t) + \alpha_G \cdot c_S(0) - \alpha_G \cdot c_S(t) + \alpha_F \cdot c_S(0) - \alpha_F \cdot c_S(t) - \alpha_G \cdot c_S(0) - \alpha_S \cdot c_S(0)}{\alpha_S \cdot c_S(0) - \alpha_G \cdot c_S(0) - \alpha_F \cdot c_S(0)} \\ \frac{\varphi(t) - \varphi(\infty)}{\varphi(0) - \varphi(\infty)} &= \frac{c_S(t) \cdot (\alpha_S - \alpha_G - \alpha_F)}{c_S(0) \cdot (\alpha_S - \alpha_G - \alpha_F)} = \frac{c_S(t)}{c_S(0)}. \end{aligned}$$

Für das integrierte Zeitgesetz ergibt sich demnach:

$$\ln \frac{\varphi(t) - \varphi(\infty)}{\varphi(0) - \varphi(\infty)} = -k \cdot t.$$

Wird  $\ln([\varphi(t) - \varphi(\infty)] / [\varphi(0) - \varphi(\infty)])$  gegen die Zeit  $t$  aufgetragen, so ergibt sich die Geschwindigkeitskonstante  $k$  der Reaktion als Steigung der Geraden.

## Versuch

Ziel des Versuches war die Bestimmung der Geschwindigkeitskonstanten  $k$  und der Halbwertszeit  $\tau_{1/2}$  für die säurekatalysierte Hydrolyse von Saccharose bei 32 °C. Alle relevanten Daten und Diagramme sind im Anhang festgehalten.

Alle Drehwinkelmessungen erfolgten mit einem Kreispolarimeter, wobei die Versuchsflüssigkeiten in einem Thermostaten auf 32 °C vortemperiert und während den Messungen in einer temperierten Küvette auf 32 °C gehalten wurden.

Zur Bestimmung des Anfangsdrehwinkels  $\varphi(0)$  wurde der Drehwinkel einer 1:1-Mischung aus Saccharoselösung und Wasser gemessen:  $\varphi(0) = \underline{14,35^\circ}$ .

Zur Bestimmung des Enddrehwinkels  $\varphi(\infty)$  wurde der Drehwinkel einer 1:1-Mischung aus Saccharoselösung und Salzsäurelösung, die über Nacht stehen gelassen wurde, gemessen:  $\varphi(\infty) = \underline{-3,35^\circ}$ .

Zur Bestimmung der Geschwindigkeitskonstanten wurde zweimal der Drehwinkel einer 1:1-Mischung aus Saccharoselösung und Salzsäurelösung in Intervallen von einer Minute gemessen.

Aus den Auftragungen von  $\ln[\varphi(t) - \varphi(\infty)]$  gegen die Zeit  $t$  ergeben sich die Geschwindigkeitskonstanten  $k_i$  aus den Geradensteigungen  $m_i$  zu:

$$\left. \begin{array}{l} k_1 = -m_1 = \underline{0,01417 \text{ min}^{-1}} \\ k_2 = -m_2 = \underline{0,01413 \text{ min}^{-1}} \end{array} \right\} k = \underline{0,01415 \text{ min}^{-1}} \quad \underline{2,368 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}}.$$

Aus dem Achsenabschnitt der Regressionsgeraden ergibt sich der jeweilige theoretische Anfangsdrehwert:

$$\varphi_1(0) = \underline{14,38^\circ}, \quad \varphi_2(0) = \underline{14,41^\circ}.$$

Die jeweiligen relativen Fehler ergeben sich zu  $|\Delta\varphi_1(0)/\varphi_1(0)| = \underline{0,2\%}$  und  $|\Delta\varphi_2(0)/\varphi_2(0)| = \underline{0,4\%}$ .

Der berechnete Wert der Halbwertszeit  $\tau_{1/2}$  ergibt sich zu  $\tau_{1/2} = \ln(2)/k = 48,99 \text{ min} = \underline{2939 \text{ s}}$ ; aus den Diagrammen konnte  $\tau_{1/2} = 49 \text{ min}$  abgelesen werden.

Ein 90%iger Umsatz ist theoretisch gegeben nach  $t = \ln(10)/k = 162,73 \text{ min} = \underline{9764 \text{ s}}$ .

### Werte für die Diagramme

$t/\text{min}$	$\varphi_1(t)/^\circ$	$\ln[\varphi_1(t) - \varphi(\infty)]$	$\varphi_2(t)/^\circ$	$\ln[\varphi_2(t) - \varphi(\infty)]$
2	13,90	2,847	13,80	2,842
4	13,45	2,821	13,40	2,818
6	12,90	2,788	12,95	2,791
8	12,45	2,760	12,50	2,763
10	12,05	2,734	12,10	2,738
12	11,60	2,705	11,65	2,708
14	11,15	2,674	11,20	2,678
16	10,80	2,650	10,85	2,653
18	10,40	2,621	10,40	2,621
20	9,95	2,588	10,00	2,592
22	9,65	2,565	9,70	2,569
24	9,30	2,538	9,35	2,542
26	8,85	2,501	8,95	2,510
28	8,45	2,468	8,60	2,481
30	8,25	2,451	8,30	2,455
32	7,95	2,425	7,95	2,425
34	7,55	2,389	7,60	2,393
36	7,35	2,370	7,30	2,366
38	7,05	2,342	7,10	2,347
40	6,75	2,313	6,80	2,317
42	6,40	2,277	6,35	2,272
44	6,15	2,250	6,15	2,251
46	5,90	2,225	5,85	2,219
48	5,60	2,192	5,65	2,197
50	5,30	2,157	5,40	2,169
52	5,15	2,140	5,15	2,140
54	4,80	2,098	4,90	2,110
56	4,50	2,061	4,65	2,079