
V.6 Dissipative Strukturen

V.6.1 Gegenstand des Versuches

Es werden sowohl räumliche als auch zeitliche dissipative (gleichgewichtsferne) Strukturen untersucht. Als Versuchsobjekt dient für als Beispiel für räumliche Muster die Konvektionsströmung, für die Entstehung zeitlicher dissipativer Strukturen (Auftreten von regelmäßigen Schwingungen) eine oszillierende chemische Reaktion und ein (simuliertes) Räuber-Beute-System.

V.6.2 Konvektionsströmung in einer erhitzten Ölschicht

Wenn eine Flüssigkeitsschicht langsam von unten erhitzt wird, bilden sich für bestimmte Werte der Temperaturdifferenz (oben/unten) ΔT , genauer für $\Delta T_{\text{krit}} < \Delta T < \Delta T_{\text{Turbulenz}}$ regelmäßige Strömungsmuster aus. Diese sollen in der Aufsicht bei steigender Temperatur verfolgt und beobachtet werden.

Versuchsbedingungen:

Medium: Silikonöl mit Aluminiumfitter

Bodentemperatur: bis 150 °C

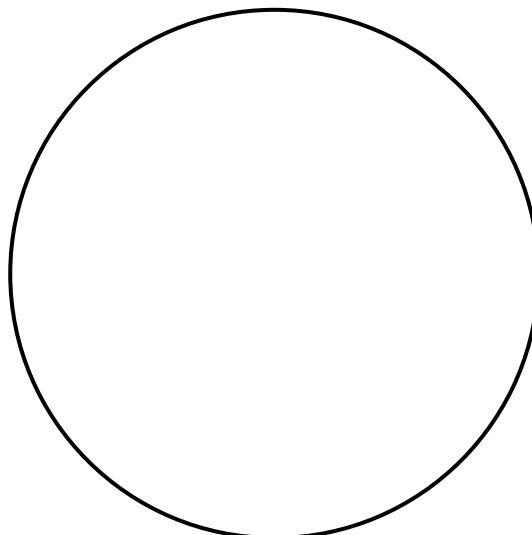
Apparatur: Heizplatte mit Aluminiumschale und Digitalthermometer

Beobachtungen:

Es bilden sich Muster aus polygonalen, etwas ungleichmäßigen Zellen. Die Größe der Zellen hängt von den Parametern wie Temperatur, Dicke der Schicht etc. ab. Im Inneren der Zellen strömt die Flüssigkeit nach oben, an den Grenzen nach unten.

Zerstört man die Muster durch Rühren, so sind bereits nach 30 Sekunden wieder Formenbildungen deutlich zu erkennen, und nach etwa einer Minute ist das Konvektionsmuster wieder vollständig ausgebildet.

Skizze des Musters:



V.6.3 Periodisches Verhalten der Belousov-Zhabotinskii-Reaktion

Als Ausgangsstoffe für die B.-Z.-Reaktion als typischem Beispiel einer oszillierenden Reaktion dienen: Malonsäure, Schwefelsäure, Cer(III)-Nitrat, Kaliumbromat.

Messgröße ist die Konzentration von Bromid, das im Verlauf der Reaktion periodisch gebildet und verbraucht wird. Die Messung erfolgt über eine bromidempfindliche Elektrode. Gleichzeitig kann optisch der Farbwechsel beim reaktionsbedingten Übergang zwischen Cer(III) und Cer(IV) verfolgt werden.

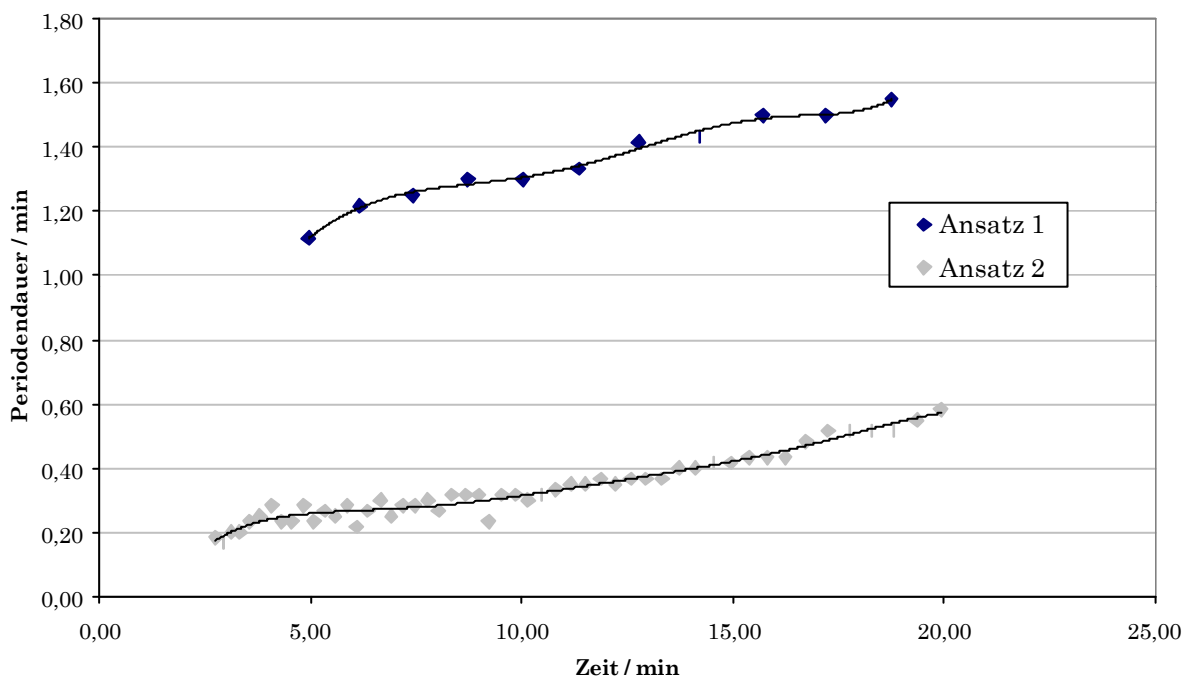
Reaktionsansatz:

Es wurden drei verschiedene Ansätze betrachtet:

Ansatz	[1]	[2]	[3]
C(Malonsäure)/M	0,24	0,26	0,26
C(Schwefelsäure)/M	0,53	1,6	2,6
C(Cernitrat(III))/M	0,0021	0,0021	0,0021
C(Kaliumbromat)/M	0,066	0,066	0,066

Beobachtung der Ansätze 1 und 2:

Die Frequenz der Schwingungen nimmt in beiden Fällen langsam ab. Die Periodendauer nimmt zu (siehe Grafik).



Beobachtung des Ansatzes 3:

Bei Lösung 3 wurde die Bromidkonzentration mit einem Schreiber registriert (siehe Ausdruck). Man erhält also die tatsächliche Konzentration als Messkurve. Auch hier ist die stetige Abnahme der Oszillationsfrequenz erkennbar. Das liegt an der endlichen Konzentration der Ausgangsstoffe, die zu allmählichem Verbrauch und letztendlich zum Gleichgewicht (Stillstand der Reaktion) führt. Auch das ist im Schreiberprotokoll ersichtlich.

V.6.4 Zeitverhalten eines Räuber-Beute-Systems

Ein (Fließ-)System aus Räuber (Y), Beute (X) und Substrat (S) der Konzentrationen y, x, und s wurde am Computer über 300 Stunden simuliert. Es gilt folgendes mathematische Modell:

$$ds/dt = 1/\tau (s_0 - s) - (1 / \Gamma_{xs}) * \mu'_x (s / (K_s + s)) * x$$

$$dx/dt = - (1/\tau) x + \mu'_x (s / (K_s + s)) * x - (1 / \Gamma_{yx}) * \mu'_y * (x / (K_x + x)) * y$$

$$dy/dt = - (1/\tau) y + \mu'_y (x / (K_x + x)) * y$$

Dabei sind folgende Annahmen gemacht :

$$\tau = 20 \text{ h}$$

$$\mu'_x = 0,25 / \text{h}$$

$$\mu'_y = 0,24 / \text{h}$$

$$K_s = 5\text{E-}04 \text{ g / l}$$

$$K_x = 4\text{E}11 / \text{l}$$

$$\Gamma_{xs} = 3\text{E}12 / \text{g}$$

$$\Gamma_{yx} = 7\text{E}4$$

Bewertung der einzelnen Ausdrücke:

(1) Totaler Wash-Out

Nur beim totalen Washout kann die Situation

$$x = y = 0, s = s_0 = \text{const.}$$

erreicht werden. Das ist bei (1) gerade der Fall. Man kann aus dem stationären Endwert von s also s_0 ablesen und erhält $s_0 = 20 \text{ mg}$.

(2, 3) Es wird folgende Berechnung durchgeführt:

Aus den obigen Gleichungen erhält man für ein beliebiges Maximum von s die Bedingungen $ds/dt = 0$ und durch Auflösen nach s_0 :

$$s_0 := (\Gamma_{xs} * s + \mu'_x (s / (K_s + s)) * x * \tau) / \Gamma_{xs}$$

Liest man zu diesem Maximum nun die Werte für s und x ein, so erhält man für Grafik 2:

$$x=0.79162\text{E}11 / \text{l}, s=0.0648 \text{ g/l}; \quad s_0 = .1967366667 \text{ g} = 200 \text{ mg}$$

analog für Grafik 3:

$$x=0.226\text{E}11 / \text{l}, s=0.369 \text{ g/l}; \quad s_0 = .4066666667 \text{ g} = 400 \text{ mg}$$

In diesen beiden Fällen zeigen sich Dauerschwingungen ohne Abnehmen der Amplitude.