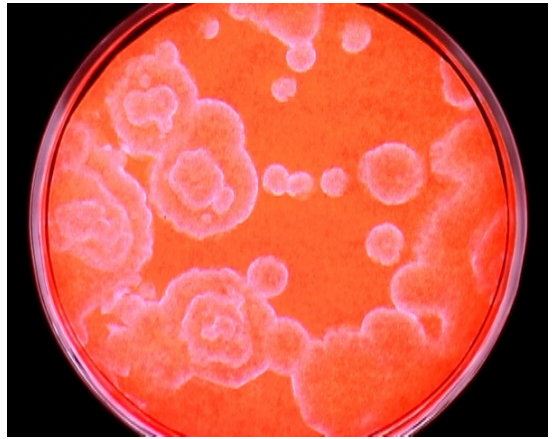


# Chemische Wellen



## Geräte:

zwei Bechergläser (50 mL)  
zwei Bechergläser (100 mL)  
Messzylinder (100 mL)  
Vollpipette (2 mL)  
zwei Vollpipetten (10 mL)  
Magnetrührer mit Rührstäbchen  
Spatel  
Petrischale (Durchmesser: 10 cm)  
Overheadprojektor und schwarze Pappe

## Chemikalien:

Natriumbromat  
konzentrierte Schwefelsäure  
Malonsäure  
Natriumbromid  
Ferroul-Indikatorlösung (0.1 Gew.%)  
entionisiertes Wasser

## Sicherheitshinweise:

Natriumbromat ( $\text{NaBrO}_3$ ):



H272, H302, H315, H319, H335  
P210, P261, P305 + P351 + P338

konzentrierte Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ):



H290, H314

P280, P301 + P330 + P331, P303 + P361 + P353, P305 + P351 + P338, P310

Malonsäure ( $\text{CH}_2(\text{CO}_2\text{H})_2$ ):



H302, H318

P273, P305 + P351 + P338

Die Chemikalien verursachen schwere Hautverätzungen und schwere Augenschäden. Daher ist es unbedingt erforderlich, einen Laborkittel, eine Schutzbrille und Schutzhandschuhe zu tragen. Da während der Versuchsvorbereitung Brom erzeugt wird, sollte diese in einem Abzug durchgeführt werden.

## Versuchsdurchführung:

Vorbereitung: Es müssen die folgenden Lösungen angesetzt werden:

Lösung A: 2 mL konzentrierte Schwefelsäure werden zu 67 mL entionisiertem Wasser hinzugefügt. Anschließend werden 5 g Natriumbromat in der sauren Lösung gelöst.

Lösung B: 1 g Malonsäure wird in 10 mL entionisiertem Wasser gelöst.

Lösung C: 1 g Natriumbromid wird in 10 mL entionisiertem Wasser gelöst.

Eines der 100 mL-Bechergläser wird auf den Magnetrührer im Abzug gestellt. Zunächst gießt man 12 mL der Lösung A in das Becherglas. Anschließend werden 2 mL der Lösung B und 1 mL der Lösung C unter Rühren hinzugefügt. Nach Zugabe der letzten Lösung nimmt das Reaktionsgemisch eine gelbliche Farbe an, die durch das entstandene Brom verursacht wird. Man wartet ab, bis die Lösung wieder farblos geworden ist und gibt dann 3 mL der Ferroin-Lösung hinzu.

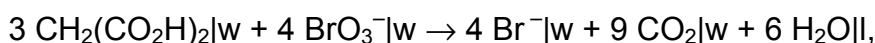
Durchführung: Die Lösung wird vorsichtig in die Petrischale auf dem Overheadprojektor gegossen. Dabei sollte der Boden der Petrischale gleichmäßig bedeckt sein. (Aus Gründen der besseren Sichtbarkeit ist es empfehlenswert, die freie Projektorfläche mit schwarzer Pappe abzudecken.)

### **Beobachtung:**

Nach kurzer Zeit entstehen einige hellblaue Punkte in der Lösung, die langsam größer werden. Ausgehend von diesen Flecken breiten sich mehr oder weniger konzentrische Ringe aus. Schüttelt man die Petrischale, so verschwinden die Muster, um nach einiger Zeit wieder zu erscheinen. Schließlich beginnt zusätzlich eine merkliche Gasentwicklung.

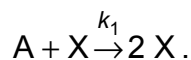
### **Erklärung:**

Oszillierende chemische Reaktionen wie die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion sind Reaktionen, die periodische zeitliche oder räumliche Schwankungen bezüglich einiger ihrer Komponenten aufweisen. Sie gehören, falls eine oder mehrere der Komponenten farbig sind, zu den spektakulärsten Demonstrationsexperimenten der Chemie und sind daher dazu geeignet, das Interesse von Schülern und Studierenden an diesem Fach zu wecken. Jedoch sind die zugrunde liegenden Reaktionsmechanismen sehr komplex. Die Belousov-Zhabotinsky-Reaktion (kurz auch BZ-Reaktion genannt), die Reaktion zwischen Malonsäure und Bromat gemäß der Gesamtumsatzformel

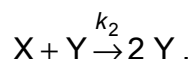


zum Beispiel soll rund 18 verschiedene Teilschritte umfassen, die das Thema zahlreicher wissenschaftlicher Veröffentlichungen sind. Aber um ein erstes Verständnis für diesen Reaktionstyp zu gewinnen, kann das folgende stark vereinfachte Reaktionsschema herangezogen werden:

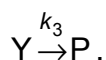
In einem ersten Schritt reagiert der Ausgangsstoff A mit dem Zwischenstoff X in einem autokatalytischen Prozess:



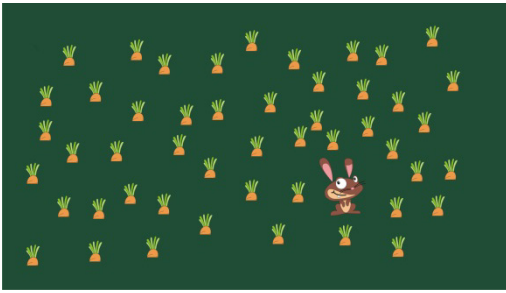
$k$  stellt einen Geschwindigkeitskoeffizienten (eine Geschwindigkeitskonstante) dar. In einem zweiten autokatalytischen Schritt erfolgt die Umsetzung von X mit einem weiteren Zwischenstoff Y:



Der letzte Schritt ist die Reaktion von Y zu dem stabilen Produkt P:

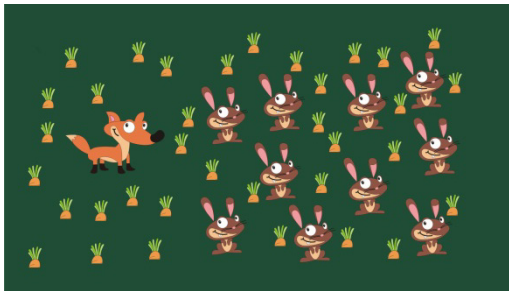
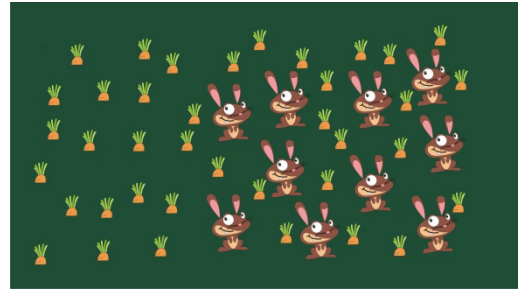


Die beiden autokatalytischen Teilschritte sind für die Rückkopplung verantwortlich. Um den vorliegenden Sachverhalt zu visualisieren, kann das Räuber-Beute-Modell genutzt werden. Dabei soll A Karotten darstellen, X eine Population an Hasen, Y eine Population an Füchsen und P die toten Füchse.



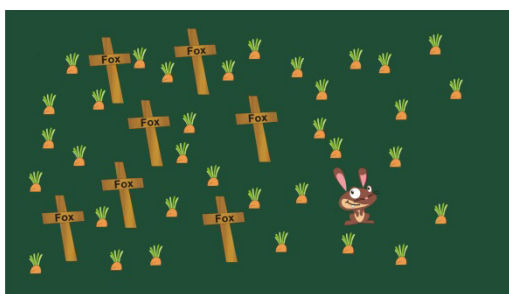
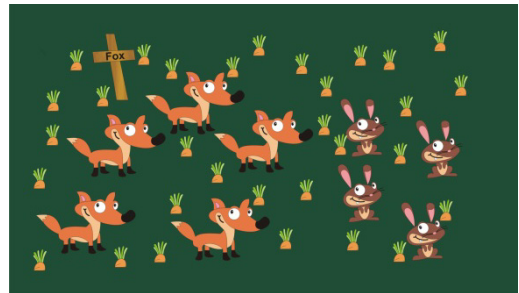
Zu Beginn herrscht ein sehr großes Angebot an Karotten.

Die Hasen ernähren sich von den Karotten und vermehren sich prächtig.



Das bringt die Füchse auf den Plan, die sich von Hasen ernähren.

Die Anzahl an Füchsen nimmt zu, während die Hasenpopulation abnimmt.



Schließlich haben die gefräßigen Füchse fast alle Hasen vertilgt und verhungern. Auf diese Weise kehrt das System in den Ausgangszustand zurück.

Im Falle der BZ-Reaktion oszillieren der reduzierte (rote Farbe) und oxidierte Zustand (blaue Farbe) des Redoxkatalysators Ferriin phasenverschoben genauso wie die Hasen- und Fuchspopulationen. Die Zyklen wiederholen sich so lange wie noch Ausgangsstoff (Karotten) vorhanden ist.

Die Kopplung einer autokatalytischen chemischen Reaktion wie der BZ-Reaktion mit dem Diffusionsprozess in einer ruhenden Schicht des Reaktionsgemisches führt zur Ausbildung räumlicher Strukturen. Man beobachtet die Ausbreitung aufeinanderfolgender Reaktionsfronten, ein Phänomen, das unter der Bezeichnung "chemische Wellen" bekannt ist.

### **Entsorgung:**

Nach Reaktionsende setzt man der Lösung so lange Natriumhydroxid zu, bis sie alkalisch reagiert. Der Niederschlag wird durch Sedimentieren und Dekantieren abgetrennt und als anorganischer Sondermüll entsorgt. Die Flüssigkeit wird stark mit Wasser verdünnt und über das Abwasser entsorgt.

Literatur:

<http://mysite.science.uottawa.ca/mroger2/BZreaction.html>