

Der Glasperlenspieler

T. M. Braun, M. Holtmann und J. Krüger

1 Einleitung

Was die Menschheit an Erkenntnissen, hohen Gedanken und Kunstwerken in ihren schöpferischen Zeitaltern hervorgebracht, was die nachfolgenden Perioden gelehrter Betrachtung auf Begriffe gebracht und zum intellektuellen Besitz gemacht haben, dieses ganze ungeheure Material von geistigen Werten wird vom Glasperlenspieler so gespielt wie eine Orgel vom Organisten, und diese Orgel ist von einer kaum auszudenkenden Vollkommenheit, ihre Manuale und Pedale tasten den ganzen geistigen Kosmos ab, ihre Register sind beinahe unzählig, theoretisch ließe mit diesem Instrument der ganze geistige Weltinhalt sich im Spiel reproduzieren.

(Hermann Hesse)

Für die Dauer dieses Artikels schließen wir uns der Philosophie von Hermann Hesse an: Der Glasperlenspieler – hier der Kugelspieler bzw. der Schüler –, der den geistigen Weltinhalt – hier Gesetze der chemischen Kinetik – im Spiel reproduziert. Das im Folgenden benutzte Computerprogramm zur Simulation der Kugelspiele wurde im

Rahmen eines Jugend-forscht-Projektes von uns entwickelt und wird weiter unten in Auszügen beschrieben.

2 Kinetik erster und zweiter Ordnung

Der Zerfall von Atomen (z. B. radioaktiver Zerfall) und Molekülen (z. B. Harnstoff-Zerfall) verläuft in der Regel nach diesem Schema:



Mit je 25 roten und blauen Kugeln als Repräsentanten der Teilchen läßt sich eine solche chemische Reaktion mit der Hand als Zufallsgenerator erspielen (Spielanleitung: Abb. 1; Spielergebnis aus der Computersimulation: Abb. 2). Die Zahlen des Spielprotokolls werden graphisch so aufgetragen:

x-Achse \rightarrow Anzahl der Spielzüge 0 bis 40 (x)

y-Achse \rightarrow natürlicher Logarithmus der Anzahl der roten Kugeln ($\ln A$)

Abb. 1: Spielanleitung für das Kugelspiel

KUGELSPIEL

– Reaktionskinetik erster Ordnung –

Gefäß A mit 25 Kugeln A (rot) (= Reaktionsgefäß)
 Gefäß B mit 25 Kugeln B (andere Farbe)
 Gefäß C (leer)

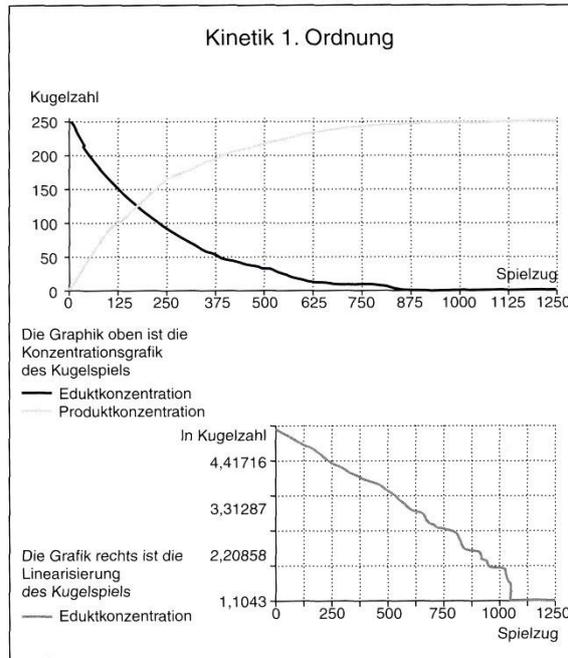
Zufallsgenerator

Die Hand!

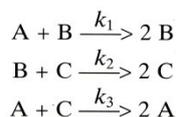
Spielregeln

- 1 Mit der Hand *blind* die Kugeln in Gefäß A mischen!
- 2 *Blind* eine Kugel aus Gefäß A ziehen!
- 3 Kugel ist A:
Austausch gegen eine Kugel B – B in Gefäß A legen!
Kugel ist B:
Kugel B zurück in Gefäß A legen!
- 4 Protokoll:
Ziehungen nummerieren!
Nach jeder Ziehung die Summe der Kugeln A in Gefäß A notieren!

Abb. 2: Kugelspiel; Spielergebnis aus der Computersimulation



für den neugierigen Chemiker. Auch hier kann der Glasperlenspieler das Auf und Ab der Stoffmengen erspielen und erforschen, wie sich Änderungen der Randbedingungen auswirken auf den Reaktionsverlauf (Spielanleitung; Abb. 5; Computersimulation: Abb 6). Dem Spiel liegt folgendes Reaktionsschema zugrunde:



Für die Änderung der Kugelzahlen n der Kugeln A und B im Laufe der Spielzeit t gilt:

$$\frac{dn(A)}{dt} = -k_1 n(A) n(B) + k_3 n(A) n(C)$$

$$\frac{dn(B)}{dt} = -k_2 n(B) n(C) + k_1 n(A) n(B)$$

Mit den Randbedingungen

$$k_1 = k_2 = k_3 = k$$

und

$$n(C) = N - n(A) - n(B) \quad (N: \text{Gesamtkugelzahl})$$

ergibt sich für die Änderung der Kugelzahl A in Abhängigkeit der Kugelzahl B im Laufe der Spielzeit folgende Differentialgleichung:

$$\frac{dn(A)}{dn(B)} = \frac{n(A) (2n(B) - N + n(A))}{n(B) (N - 2n(A) - n(B))}$$

$$n(B) (N - 2n(A) - n(B))$$

Einen Lösungsansatz für diese Gleichung erhält man über das Richtungsfeld – die Berechnung der Umkehrfunktion des Tangens α ($\arctan \alpha$) für ausgesuchte Wertepaare A und B und das Einzeichnen kleiner Tangenten (Linienelemente) (siehe [2], Seite 205).

4 Computerprogramm

Der moderne Glasperlenspieler ist Programmierer: Die Ziehung der Kugeln überläßt er dem Computerprogramm. Er variiert die Kugelzahlen zu Beginn des Spiels und die Randbedingungen, beobachtet die Folgen für den Spielverlauf, stellt Prognosen, macht Analysen. Mit Hilfe der Programmiersprache TURBOPASCAL 6.0 haben wir ein Programm zur chemischen Kinetik entwickelt, das neben der Simulation der hier beschriebenen Kugelspiele eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten beinhaltet: Katalyse, Enzymkinetik, Analyse von kinetischen Daten über Regression, ... u. v. m. Für diesen Artikel beschränken wir uns auf die Kugelspiele.

Der folgende Quellcode-Ausschnitt zeigt, wie man das Kugelspiel *Oszillation* programmieren könnte:

```

PROCEDURE Oszillation (Rot,Gelb,Blau:WORD;
Spielzeuge:INTEGER);
VAR n:INTEGER; a,b,Rugelzahl:WORD;
    PROCEDURE Waehlen(VAR z:WORD);
    BEGIN
        IF (z>0) AND (z<=Rot) THEN z:=1;
        IF (z>Rot) AND (z<=Rot+Gelb) THEN z:=2;
        IF (z>Rot+Gelb) AND (z<=Rot+Gelb+Blau) THEN z:=3;
    END;
BEGIN
    Kugelzahl:=Rot+Gelb+Blau;
                                (Gesamtkugelzahl berechnen)

    FOR n:=0 TO Spielzeuge-1 DO BEGIN
                                (Schleife fuer Spielzeuge)

```

```

REPEAT
    a:=Random(Kugelzahl)+1;           {Kugel 1 ziehen}
    b:=Random(Kugelzahl)+1;           {Kugel 2 ziehen}
UNTIL a<b;
Waehlen(a);                           {Farbe fuer Kugel 1 setzen}
Waehlen(b);                           {Farbe fuer Kugel 2 setzen}

IF (a=1) AND (b=2) AND (Rot>1) THEN BEGIN
                                {A + B -> 2B}
    Dec(Rot); Inc(Gelb);
END;
IF (a=2) AND (b=3) AND (Gelb>1) THEN BEGIN
                                {B + C -> 2C}
    Dec(Gelb); Inc(Blau);
END;
IF (a=1) AND (b=3) AND (Blau>1) THEN BEGIN
                                {A + C -> 2A}
    Dec(Blau); Inc(Rot);
END;
Writeln(Rot,' ',Gelb,' ',Blau);
                                (Ausgaben der Kugelzahlen)
END;
END;
BEGIN
    Randomize;
    Oszillation(40,10,10,1000);
END.

```

5 Unterricht

Das Spiel ist ein ausgezeichnetes Medium zur „Durchdringung“ eines zunächst abstrakten Sachverhaltes: Der Schüler nimmt die Kugeln in die Hand, er handelt unmittelbar auf *Teilchenebene*, er erspielt das Spielgesetz und interpretiert dieses zugleich inhaltlich; der Übertrag in die Welt der Chemie ist dann nur noch ein kleiner Schritt. Dem Spiel liegt ein Algorithmus zugrunde; dieser läßt sich mit Hilfe des Computers programmieren – eine neue Dimension für das Spiel erschließt sich. Der Glasperlenspieler erfährt die ach so komplizierte und abstrakte Chemie spielerisch: „...der ganze geistige Weltinhalt sich im Spiel reproduzieren“.

Wenn Sie mehr über das Kinetik-Programm erfahren wollen, schreiben Sie an:
Gymnasium am Markt, 32258 Bünde, c/o Herr Braun

Dank

Wir danken dem Grundkurs Informatik unter der Leitung von *Volker Wiegand* für seine Hilfe bei der Entwicklung des Funktionscompilers für das Computerprogramm.

Literatur

- [1] *T. M. Braun*, Das Kugelspiel – Medium im Chemieunterricht? PdN-Chemie **36**(6), 2 (1997)
- [2] *G. Harsch*, Vom Würfelspiel zum Naturgesetz. Verlag Chemie, Weinheim 1985

Anschrift der Verfasser:

Thomas Michael Braun – OSTR Chemie/Biologie –,
Jan Krüger – Abiturient 1995 LK Chemie –,
Marcel Holtmann – Abiturient 1995 LK Chemie –,
Gymnasium am Markt, 32257 Bünde