

# 1 Evolutionsspiele

## 1.1 Kugelspiel Nimm

### 1.1.1 Beschreibung

Eine beliebige – aber nicht zu kleine – Zahl von Kugeln wird willkürlich in mehrere Untermengen aufgeteilt und in klar abgetrennten Reihen oder Grüppchen auf dem Spielbrett verteilt (siehe Abbildung). Beide Kontrahenten verringern nun abwechselnd – Zug um Zug – die einzelnen Teilmengen durch Fortnahme jeweils einer, mehrerer oder gar aller Kugeln. Die in einem Zug entnommenen Kugeln müssen aber aus ein und derselben Teilmenge stammen. Sieger ist, wer die letzte Kugel bekommt. Der Trick ist, den Gegner zu zwingen, die vorletzte Kugel oder Kugelmenge abzuräumen und sich auf diese Weise den letzten Zug zu sichern.

Abbildung:

O							
X	X						
X	X	X					
X	X	X	X				
O	O	O	O	O			
X	X	X	X	X	X		
X	X	X	X	X	X	X	
X	X	X	X	X	X	X	X

Acht Untermengen von farbigen Kugeln werden hier in der Ausgangsphase des Spiels durch Aufteilung auf acht verschiedene Horizontalreihen unterschieden. Bei jedem Zug darf ein Spieler eine beliebige Anzahl von Kugeln - jedoch nur aus einer Reihe - entfernen.

## 1.2 Kugelspiel "Irrflug"

### 1.2.1 Beschreibung

Das Spiel wird von zwei Personen auf einer Fläche von 4 x 4 Feldern (ohne Koordinatenbezeichnung) ausgeführt. Die Spieler erhalten je 16 Kugeln; z.B. der eine weiße und der andere schwarze. Jeder plaziert 8 seiner Kugeln auf der ihm zugewandten Hälfte des Spielbretts und behält die restlichen 8 in Reserve. Die gesamte Spielfläche ist zu Beginn also halb mit schwarzen und halb mit weißen Kugeln bedeckt. Nun wird die Münze geworfen. Bei „Kopf“ darf der „weiße“ Spieler eine beliebige schwarze Kugel entfernen und durch eine weiße aus dem Reservoir ersetzen. Bei „Adler“ wird weiß mit schwarz ausgetauscht. Man spielt für eine bestimmte Zeit, die lang genug bemessen ist, um beiden Spielpartnern die gleichen Gewinnchancen einzuräumen.

Durch Einführung einer Zusatzregel, die eine Wechselwirkung zwischen benachbarten gleichfarbigen Kugeln postuliert, läßt sich das Spiel planmäßig aufbauen und auch „endlich“ gestalten. Die neue Regel besagt, dass alle Kugeln des Gegners, die man im Verlaufe des Spiel völlig eingeschlossen hat, durch eigene ersetzt werden dürfen. Das Spiel ist zu Ende, wenn eine Kugelsorte (z.B. schwarz) ausgestorben ist, denn jede neue ins Spiel kommende schwarze Kugel wäre ja automatisch von weißen Kugeln umzingelt. Für den Physiker zeigt dieser Effekt, wie aus kooperativen Wechselwirkungen zusammenhängende Phasen (fest, flüssig, gasförmig) entstehen.

### 1.2.2 Fragen und Aufgaben

Das Spiel soll N Mal gespielt werden. Da das Spiel nie aufhört, soll es nach einer bestimmten Anzahl M von Würfeln abgebrochen werden. Dann befinden sich noch s schwarze und w weiße Kugeln auf dem Feld. Nach den M Spielen wird dann festgehalten, wie oft sind 0 weiße, 16 schwarze, wie oft sind 1 weiße, 15 schwarze Kugeln, usw. nach dem jeweiligen Spielabbruch vorgekommen.

1) Erstellen Sie eine "Verteilungstabelle", in der festgehalten wird, wie viele weiße bzw. schwarze Kugeln sich auf dem Spielfeld befinden.

Beispiel:

$N = 16000$

$M = 500$

schwarz: weiss	absolute Anzahl	relative Anzahl
0 : 16	900	$900/N$
1 : 15	800	$800/N$
...		
16 : 0	1000	$1000/N$

## 1.3 Kugelspiel "Gleichgewicht"

### 1.3.1 Beschreibung

Für dieses Spiel eignet sich jede quadratische Fläche mit Koordinatenbezeichnung und zugehörigem Würfelpaar, z.B. 4 x 4 Felder und zwei Tetraeder, 6 x 6 Felder und zwei Kuben, 8 x 8 Felder und zwei Oktaeder. Man benötigt mindestens zwei Kugelfarben. Jede Sorte muss mit so vielen Kugeln vertreten sein, dass alle Felder besetzt werden können.

#### 1.3.1.1 Version 1

Beide Spieler setzen abwechselnd ihre Kugeln regellos auf das Spielbrett, bis alle Plätze besetzt sind. Dann wird gewürfelt. Die Kugel, die sich auf dem erwürfelten Feld befindet, wird herausgenommen und durch eine gegnerische Kugel aus dem Reservoir ersetzt. Gleichzeitig bekommt der Spieler, der nunmehr eine Kugel im Überschuss auf dem Brett hat. Auf diese Weise repräsentiert das Spielergebnis so etwas wie die „mittlere Schwankung“.

#### 1.3.1.2 Version 2

Hier soll vor allem das zeitliche Verhalten von Gleichgewichtseinstellungen simuliert werden. Das Spielreglement gleicht der 1. Version. Es beginnt aber damit, daß nur ein Spieler das Brett lückenlos mit seinen Kugeln bedeckt. Sodann wird gewürfelt und wie vorhin verfahren. Jetzt wird jedoch nicht der Kugelüberschuss des einzelnen Spielers gezählt, sondern die Zahl der Würfe, die man braucht, um die Hälfte der zuerst gesetzten Kugeln durch die andere Farbe auszuwechseln. Die Wurfzahl wird immer für den Spieler notiert, der die neuen Kugeln ins Spiel bringt. Zu einer Partie gehört eine gerade (größere) Anzahl von Runden. Sieger ist hier, wer am Ende die niedrigste Punktzahl vorweist.

#### 1.3.1.3 Version 3

Das Spiel wird mit vier Farben (das heist von vier Personen) ausgeführt. Hinzu kommt ein Farbwürfel, ein Tetraeder, nach dem bei jedem Wurf ermittelt wird, durch welche Farbe die jeweils getroffene Kugel ersetzt werden soll. Diese Version zeigt, dass das typische Ergebnis der 1. Spielvariante nicht auf zwei Spezies beschränkt ist, sondern ganz allgemein gilt.

#### 1.3.1.4 Version 4

Es gilt das Grundprinzip der 1. Version, das in dieser Variante zusätzlich durch eine „Kooperativitätsregel“ ergänzt wird. Diese besagt, dass die erwürfelte Kugel nur dann ausgewechselt werden darf, wenn sie mindestens vier gegnerische Kugeln direkt benachbart ist. Also: Erwürfelt man z.B. ein Feld, das von einer weißen Kugel besetzt ist, so darf diese nur dann herausgenommen und durch eine schwarze ersetzt werden, wenn sich auf mindestens vier der acht Nachbarfelder bereits schwarze Kugeln befinden. Man beachte hierbei, dass das (abwechselnde) setzen der Kugeln in der Startphase des Spiels eine gewisse strategische Bedeutung hat. Die Wechselbeziehungen zwischen benachbarten Kugeln führen zur Musterbildung. Diese Effekte werden in einem späteren Kapitel noch eingehender diskutiert.

### 1.3.2 Fragen und Aufgaben

Das Spiel soll N Mal gespielt werden. Da das Spiel nie aufhört, soll es nach einer bestimmten Anzahl M von Würfeln abgebrochen werden. Dann befinden sich noch s schwarze und w weiße Kugeln auf dem Feld. Nach den M Spielen wird dann festgehalten, wie oft sind 0 weiße, 16 schwarze, wie oft sind 1 weiße, 15 schwarze Kugeln, usw. nach dem jeweiligen Spielabbruch vorgekommen.

1) Erstellen Sie eine "Verteilungstabelle", in der festgehalten wird, wie viele weiße bzw. schwarze Kugeln sich auf dem Spielfeld befinden.

Beispiel:

N = 16000

M = 500

schwarz: weiss	absolute Anzahl	relative Anzahl
0 : 16	900	900/N
1 : 15	800	800/N
...		
16 : 0	1000	1000/N

#### 1.3.2.1 Version 1, 3, 4

1) Zu jedem Spiel soll der absolute mittlere Gewinn berechnet werden (mittlere Kugelüberschuss, mittlere Abweichung von der Gleichverteilung).

$$\text{absolute mittlere Gewinn} = \frac{\text{Summe aller Überschüsse einer bestimmten Kugelsorte}}{\text{Anzahl aller Würfe}}$$

2) Zu jedem Spiel soll der relative mittlere Gewinn berechnet werden (relative mittlere Kugelüberschuss, relative Abweichung von der Gleichverteilung).

$$\text{relative mittlere Gewinn} = \frac{\text{absolute mittlere Gewinn}}{\text{Anzahl Kugeln einer Kugelsorte}}$$

3) Gegen welchen Wert strebt der relative mittlere Gewinn, wenn die Anzahl der Kugeln einer Kugelsorte immer größer wird ?

4) wie oft taucht eine Extremsituation in einem Spiel auf (es befindet sich nur noch eine Kugelsorte auf dem Feld) ?

#### 1.3.2.2 Version 2

1) Zu jedem Spiel soll die Wiederkehrzeit (Anzahl der Würfe bis zur Gleichverteilung) berechnet werden.

2) Wie groß ist die über alle Spiele N gemittelte Wiederkehrzeit?

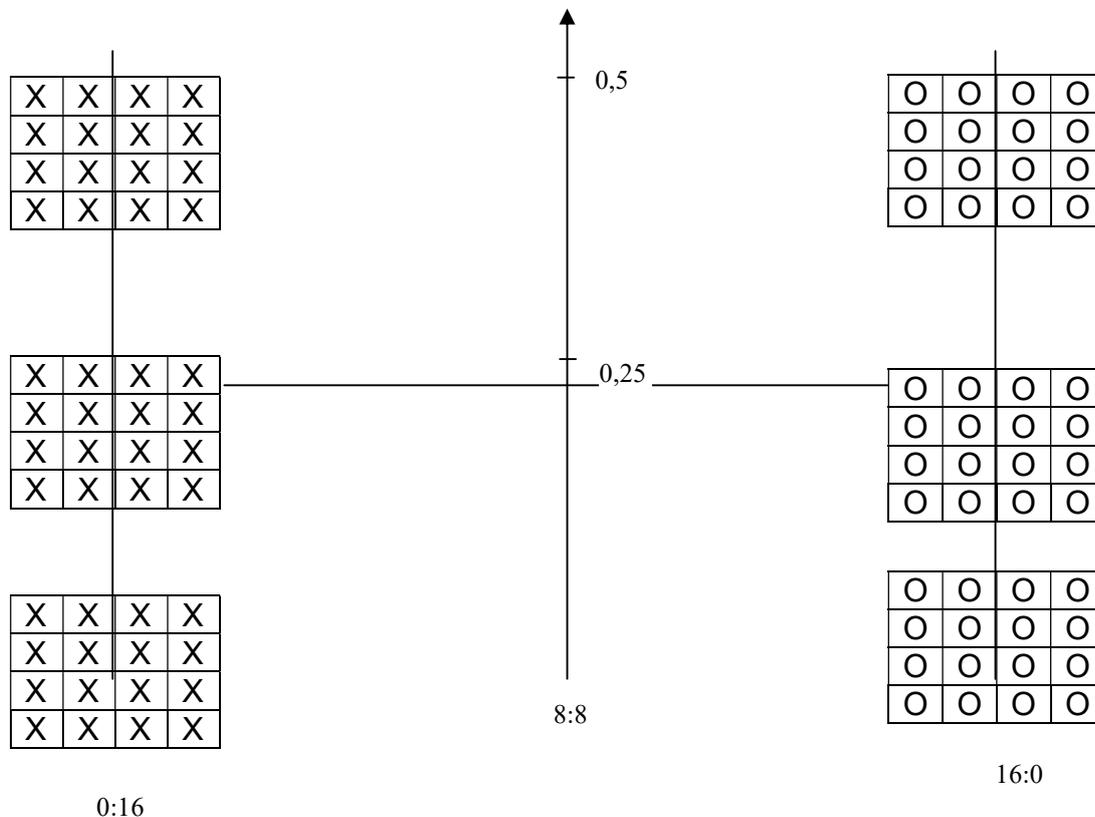
## 1.4 "Alles oder Nichts"

### 1.4.1 Beschreibung

Dieses Spiel ist sehr schnell beschrieben, nachdem wir das Ehrenfest-Modell bereits kennen. Wir nehmen beispielsweise die Spielbretteinteilung  $8 \times 8$  und das zugehörige Oktaeder-Würfelpaar. Das einzige, was sich ändert, ist die Austauschregel. Diese wird einfach umgekehrt: Die Kugel, die wir erwürfeln, wird verdoppelt, und zwar auf Kosten der gegnerischen Kugelfarbe. Trifft man also ein Feld mit einer weißen Kugel, so entfernt man eine beliebige schwarze und ersetzt sie durch eine weitere weiße Kugel (aus dem Reservoir). Man kann auch hier in beliebiger Weise kooperative Versionen einführen. Sie machen den Spielablauf nur noch rasanter, als er ohnehin schon ist.

### 1.4.2 Diskussion

Abbildung:



"Alles oder Nichts"

In diesem Spiel ist die Gleichverteilung – trotz gleicher Auf- und Abbauchancen beider Kugelfarben – instabile Fluktuationen verstärken sich und führen immer zu einer „Alles oder Nichts“ Entscheidung für die Repräsentanz der beiden Kugelsorten. Die Verteilung bei Spielabschluss ist nicht homogen, sondern besitzt Singularitäten für die Vollbesetzung mit nur blauen oder gelben Kugeln.

### 1.4.3 Fragen und Aufgaben

Das Spiel soll N Mal gespielt werden. Da das Spiel nie aufhört, soll es nach einer bestimmten Anzahl M von Würfeln abgebrochen werden. Dann befinden sich noch s schwarze und w weiße Kugeln auf dem Feld. Nach den M Spielen wird dann festgehalten, wie oft sind 0 weiße, 16 schwarze, wie oft sind 1 weiße, 15 schwarze Kugeln, usw. nach dem jeweiligen Spielabbruch vorgekommen.

1) Erstellen Sie eine "Verteilungstabelle", in der festgehalten wird, wie viele weiße bzw. schwarze Kugeln sich auf dem Spielfeld befinden.

Beispiel:

$N = 16000$

$M = 500$

schwarz: weiss	absolute Anzahl	relative Anzahl
0 : 16	900	$900/N$
1 : 15	800	$800/N$
...		
16 : 0	1000	$1000/N$

## 1.5 "Selektion"

### 1.5.1 Beschreibung

Gespielt wird auf einem quadratischen Spielbrett, dessen Felder durch Koordinatenbezeichnung gekennzeichnet sind. Dazu gehört ein passendes Würfelpaar (z.B. zwei Oktaeder). Das Prinzip des Spiels wird am ehesten offenbar, wenn mehrere, z.B. vier oder sechs, verschiedene Kugelfarben verwendet werden.

#### 1.5.1.1 Version 1

Alle Kugelfarben sind zu Spielbeginn in gleicher Menge auf dem Brett vertreten. Sie sind regellos verteilt und besetzt alle Felder. Im Reservoir befinden sich von jeder Farbe so viele Exemplare, dass mit einer Sorte nötigenfalls alle Felder ausgefüllt werden können. Nun wird gewürfelt, wobei – strikt abwechselnd – die beiden folgenden Regeln angewandt werden:

- 1) Die erwürfelte Kugel wird vom Spielfeld entfernt und wandert ins Reservoir.
- 2) Die erwürfelte Kugel wird verdoppelt. Das heißt: Eine Kugel gleicher Farbe kommt aus dem Reservoir auf den soeben frei gewordenen Platz.

Bei strikter Alternierung beider Prozesse muss also nach einer ungeraden Zahl von Würfeln immer ein Leerfeld vorhanden sein, während nach gerader Würfelzahl das gesamte Spielfeld lückenlos besetzt ist.

Die Partie ist beendet, wenn eine Kugelfarbe das gesamte Spielfeld erobert hat. Man kann den verschiedenen Farben unterschiedliche Gewinnpunkte zuordnen (zum Beispiel bei vier Kugeln: rot 6, blau 4, grün 2, gelb 1) und somit auch bei vorzeitigem Spielabbruch noch einen Gewinner ermitteln. Diese Gewinnpunkte sind in den späteren Versionen mit selektiven Vorteilen korreliert.

#### 1.5.1.2 Version 2

Es gelten die Regeln der 1. Version. Jedoch wird bei jedem Wurf, der eine Reproduktion einleitet (also bei gerader Wurfzahl) zusätzlich ein Mutationswurf eingeschaltet. Soll anstelle einer Reproduktion eine Mutation auftreten, so definiert man beispielsweise die „sechs“ auf einem kubischen Würfel als Mutation, während die übrigen Zahlen exakte Reproduktion bedeutet. Das heißt, dass die getroffene Kugel im Mutationswurf bei „eins“ bis „fünf“ verdoppelt wird, während bei „sechs“ eine Kugel anderer Farbe (etwa der, die am wenigsten auf dem Spielbrett vertreten ist) ins Leerfeld kommt. (Die Mutationsrate kann vom Spieler beliebig variiert werden.) Der Effekt einer solchen gelegentlichen Mutation bei gleichbleibender Abbaurate bewirkt die Aufhebung einer eindeutigen Selektion.

### 1.5.1.3 Version 3

Die verschiedenen Kugelfarben werden mit unterschiedlichen Punktwerten ausgezeichnet. Das bedeutet, dass die mittlere Ab- und Aufbaurrate von Sorte zu Sorte variiert. Man verfährt so, dass man gleichzeitig mit den Koordinatenwürfeln einen Wertigkeitswürfel einsetzt. Für vier Kugelfarben gilt folgendes Wertschema:

Befindet sich auf dem erwürfelten Feld die Kugel:	So erfolgt bei den untenstehenden Punktzahlen des Wertigkeitswürfels:	
	Herausnahme	Verdopplung
Rot	1	1,2,3,4,5,6
Blau	1,2	1,2,3
Grün	1,2,3	1,2
gelb	1,2,3,4,5,6	1

Hier besitzt Rot den höchsten und Gelb den niedrigsten Selektionswert. Für die rote Kugel ist die (mittlere) Aufbaurrate sechsmal so groß wie ihre (mittlere) Abbaurate. Bei der gelben Kugel ist es gerade umgekehrt.

Da der Bewertungsmechanismus nicht mehr ein striktes Abwechseln von Herausnehmen und Verdoppeln erlaubt, muss jeweils so lange gewürfelt werden, bis die strikte Alternierung beider Prozesse verwirklicht ist. Nur so kann eine konstante Besetzung beibehalten werden. Die starke Begünstigung der roten Kugel kann man durch ungleichförmige Anfangssituationen ausgleichen. Auf einem 8x8 Spielbrett werden zu Beginn der Partie 2 rote, 6 blaue, 16 grüne und 40 gelbe Kugeln gesetzt. (Auch in der Natur treten die „hochwertigen“ Mutanten nur relativ selten auf.)

In diesem Spiel gewinnt immer nur eine Farbe. Es ist nicht unbedingt die Kugel mit dem höchsten Selektionswert. Die Punktzahl für den Sieger einer Partie richtet sich nach der Farbe: rot = 6; blau = 4; grün = 2; gelb = 1. Erst wenn man hier noch zusätzlich die Mutationsprozedur der 2. Version einführt, wird schließlich immer Rot gewinnen.

### 1.5.1.4 Version 4

Diese Version ist genau die gleiche wie die Version 3, außer dass noch folgendes dazukommt: Es soll noch zusätzlich die Mutationsprozedur der 2. Version eingeführt werden.

## 1.5.2 Fragen und Aufgaben

Das Spiel soll maximal  $N$  Mal gespielt werden, d.h. wenn sich vorher nur noch eine Farbe auf dem Spielfeld befindet ist das Spiel beendet. nach dem Spielende befinden sich noch  $s$  schwarze und  $w$  weiße Kugeln auf dem Feld. Nach den  $M$  Spielen wird dann festgehalten, wie oft sind 0 weiße, 16 schwarze, wie oft sind 1 weiße, 15 schwarze Kugeln, usw. nach dem jeweiligen Spielabbruch vorgekommen.

1) Erstellen Sie eine "Verteilungstabelle", in der festgehalten wird, wie viele weiße bzw. schwarze Kugeln sich auf dem Spielfeld befinden.

Beispiel:

$N = 16000$

$M = 500$

schwarz: weiss	absolute Anzahl	relative Anzahl
0 : 16	10	10/N
1 : 15	8	8/N
...		
16 : 0	12	12/N

2) Ein Spiel soll jeweils so lange gespielt werden, bis sich nur noch eine Kugelfarbe auf dem Spielfeld befindet. Berechnen Sie, in wie viel Prozent der Fälle die eine Kugelfarbe bzw. die andere Kugelfarbe gewonnen hat.

## 1.5.3 Diskussion

### 1.5.3.1 Diskussion zu Version 1

Es kann nur die Tatsache der Selektion vorausgesagt werden, aber nicht, welcher Spieler selektiert wird.

Darwins Prinzip der Selektion besteht hier aus der Tautologie:

"Survival of the survivor"

Damit kann man so komplexe Systeme wie Lebewesen modellieren, bei denen man eben im vornherein nicht entscheiden kann, welcher Konkurrent "fittest" ist. Damit bleibt nur die Tautologie: "fittest" ist der, der überlebt.

### 1.5.3.2 Diskussion zu Version 2

Bei Gleichwertigkeit der Raten bringt Mutation wieder Variabilität ins Spiel.

### 1.5.3.3 Diskussion zu Version 3

Erst in der 3. Version gibt es eine mit einer Vorzugsrichtung ausgestattete Evolution, die man mit dem von Darwin geprägten Begriff "survival of the fittest" beschreiben kann. "Fittest" ist hier durch eine Bewertung festgelegt und nicht mehr wie bei Version 1 ein Produkt des Zufalls.

## 1.6 "Survival"

### 1.6.1 Beschreibung

Es wird auf einem durch Koordinatenbezeichnung in 8 x 8 Felder eingeteilten Brett gespielt und – wie im Selektionsspiel – um das Schicksal der Kugeln gewürfelt. Geburt, Tod, Konkurrenz und Absicherung von Lebensraums kennzeichnen den Spielablauf, der sich zwar nach den in den vorangehenden Kapiteln diskutierten Regeln vollzieht, andererseits aber dem Spieler genug Freiheit läßt, die Zufallsentscheidung des Würfels mit Geschick zu seinen Gunsten auszunutzen. Sieger ist, wer am Ende die meisten auf „sicheren“ Positionen befindlichen Kugeln hat.

Beide Spieler setzen zu Beginn abwechselnd Kugeln ihrer Farbe – nach taktischen Gesichtspunkten, um schon in dieser Phase möglichst viele Survival-Positionen zu erzielen, und zwar bis die Hälfte aller Felder (32) bedeckt ist. Dann wird gewürfelt – wiederum strikt abwechselnd -, und hier gelten folgende Regeln:

1) Erwürfelt ein Spieler ein leeres Feld, so darf er eine Kugel (seiner Farbe) aus dem Reservoir auf dieses Feld setzen. Gibt es keine Kugel seiner Farbe mehr im Reservoir, so darf er eine seiner ungünstig platzierten Kugeln auf das getroffene Feld überführen. (Sollten sich seine Kugeln schon in günstigen Positionen befinden, so darf der Spieler passen.)

2) Wird ein Feld erwürfelt, das von einer gegnerischen Kugel besetzt ist, so muss diese entfernt werden, das heisst, sie kommt ins Reservoir. Das kann aber nur dann geschehen, wenn die Kugel nicht in einer Survival-Position liegt.

3) Wird ein Feld getroffen, das von einer eigenen Kugel – gleichgültig in welcher Konfiguration – besetzt ist, so wird diese verdoppelt. Hierzu entnimmt man dem Reservoir oder einer ungünstigen Position eine Kugel und platziert sie auf ein beliebiges leeres Feld. Darüber hinaus darf in diesem Falle der erfolgreiche Spieler noch einmal würfeln, wobei jeweils nach den Regeln zu verfahren ist. Wenn man weiterhin Glück hat, kann sich diese Prozedur beliebig oft wiederholen.

Die Felder erhalten hier strategische Bedeutung. Zu Beginn des Spiels sind alle Felder gleichwertig. Durch die Besetzung wird die Gleichwertigkeit aber aufgehoben. Dieser Effekt simuliert spezifische Wechselwirkung zwischen materiellen Partikeln.

#### 1.6.1.1 Positionen

##### 1) Survival-Positionen

Befinden sich vier Kugeln in einer Region (s. Abb. 9), die aus mindestens vier zusammenhängend, quadratisch angeordneten Feldern besteht, so sind diese „stabil“ und können nicht mehr aussterben, es sei denn, sie werden durch feindliche Umzingelungsmanöver instabil.

Diese blockartigen Survival-Regionen können sich leicht ausdehnen, zum Beispiel erhält man durch Hinzufügen zweier Kugeln einen neuen Block. Bei Vollendung jedes neuen Viererblocks darf dem Gegner jeweils eine beliebige, nicht-stabile Kugel angenommen werden, die dann ins Reservoir wandert. Entscheidend ist dabei, wie viele Blöcke durch den betreffenden Zug (gleichzeitig) entstehen (s. Abb. 9).

##### 2) Umzingelung

Wenn eine gegnerische Region vollständig umzingelt ist, darf sie ausgeräumt werden, das heißt, diese Kugeln wandern ins Reservoir. Als Umzingelungsfronten gelten aber nur geschlossene besetzte Kugelreihen mit orthogonalen Kanten (s. Abb. 9). Auch Randfelder können umstellt werden.

Das Spiel endet, wenn ein Spieler alle ihm gehörenden Kugeln auf dem Spielbrett in stabilen (“survival“) Positionen untergebracht hat. Es zählen als Punkte alle Kugeln in Survival-Regionen. Sieger ist, wer die höchste Punktezahl erreicht.

### 1.6.1.2 Beispiele

Illustration verschiedener Survival-Positionen, die aus Blockkomplettierung hervorgehen, sowie einige Beispiele für Umzingelungsmöglichkeiten.

	X	X		
	X	X		
	X	X	X	
	X	X	X	

Block

Erweiterter Block

Blockkomplettierung

X	X		
X	O		

X	X		
X	X		
X	O		

X	X		
X	O		
X	X		

X	X	X	
X	O	X	
X	X	X	

X	X	X	
X	X	X	
X	X	O	

Umzingelung

X	O		
O	O		

O	O		
X	O		
O	O		

X	X	X	
X	O	X	
X	X	X	

X	X	X	X
X	O	O	X
X	O	X	X
X	X	X	

						X	X
					X	X	X
		X	O	X	X	X	X
		O	O	O	X	O	
		X	O	X	O		
		X	O	O			
		O	O	X			
		X	O				

X	X	X	O	O	X	X	X
X	X	X	O	O	X	X	X
X	X	O	O	O	X	X	X
X	X	O	O	O	X	X	X
X	X	O	O	O	X	X	X
X	X	O	O	O	O	X	X
O	O	O	O	O	O	X	X
O	O	O	O	O	O	X	X

Das linke Spielbrett zeigt eine typische Kugelverteilung nach Abschluss der „Setzphase“. Blau ist es gelungen, vier (überlappende) Survivalblöcke zu bilden, wodurch Gelb vier Kugeln eingebüßt hat. Die Endverteilung nach der Würfelphase ist im rechten Schaubild wiedergegeben. Blau hat knapp gewonnen. In der Regel endet das Spiel mit ungleichförmigen Kugelverteilungen.

## 1.7 "Wahlverwandtschaft"

### 1.7.1 Beschreibung

Dieses Spiel ist wie „Mensch ärgere dich nicht“ für vier Personen gedacht und hat auch ganz die gleiche Sielbretteinteilung. Jeder Spieler erhält vier Kugeln. Weiterhin benötigt man zwei Würfel, einen normalen Punktwürfel (Kubus) sowieso einen Würfel, der eine Plus-oder-Minus-Entscheidung zu fällen hat. Das kann ebenfalls ein Punktwürfel sein, wobei gerade Zahlen „+“, ungerade „-“ bedeuten. Man kann auch einfach eine Münze (Kopf oder Adler) verwenden. Der erste Würfel bestimmt die Zahl der Kugelfelder, um die man weiterrücken darf, der zweite legt die Richtung fest (+ = Uhrzeigersinn und - = gegenläufig). Es wird reihum gewürfelt und entsprechend gezogen. Eine „sechs“ berichtigt jeweils zum nochmaligen Würfeln. Die Entscheidung, in welcher Richtung die Kugel vorrückt, erfolgt erst, nachdem klar ist, um wie viele Felder sie weiterbewegt werden soll. Jeder Spieler startet mit einer Kugel, die er auf die ihm nächstliegende Ausgangsposition setzt. In der ersten Würfelrunde geht es lediglich um die höchste Punktzahl, und wer die erreicht, eröffnet das Spiel. Die Spieler versuchen nun ihre Kugeln in Irgendeinen der vier Ställe zu bringen. Es lohnt sich aber kaum, den nächstgelegenen Stall zu wählen - das bringt keine Punkte ein -, es sei denn, man will durch diesen strategischen Zug dem Gegner schaden. Die meisten Punkte erhält man, wenn man seine Kugeln in dem am weitesten entfernten Stall plaziert. Da man dann aber sehr oft würfeln muß, nimmt man dafür, daß man nicht in einen der näher gelegenen Ställe flüchtet, ein gewisses Risiko in Kauf.

Es besteht keinerlei Zwang, in einen bestimmten Stall hineinzugehen. Will man dies tun, muß man exakt die Punktzahl erwürfeln, die zum Erreichen der äußersten noch offenen Stallposition nötig ist.

Bei dem Spiel kommt es allein auf die Kooperation zweier Partner an, die gemeinsam gegen das andere Paar spielen. Die zweite, dritte und vierte Kugel jedes Spielers kann nämlich erst mit Hilfe des Partners ins Spiel gebracht werden, und zwar immer dann, wenn beide Partner sich auf einem Feld begegnen (das heißt, wenn der eine Spieler ein Feld erwürfelt, das bereits vom Partner besetzt ist). Die erste Begegnung legt die jeweilige Partnerschaft fest, die innerhalb eines Spiels unauflöslich ist. Die (beiden) übriggebliebenen Spieler müssen nun ihrerseits versuchen, eine Begegnung herbeizuführen, um ebenfalls kooperieren zu können. Würde einer von ihnen vorher in einen Stall gehen, müßte er allein weiterspielen. In diesem Fall zählen die Punkte nur für den Einzelgänger, der immer dann eine Kugel ins Spiel bringen darf, sobald die vorherige in einem Stall gelandet ist.

Im Normalfall werden die Spieler natürlich danach trachten, sich zu verbünden, denn eine Kooperation bietet ihnen Vorteile. Bei jeder Begegnung dürfen nämlich beide Partner eine neue Kugel in die Ausgangsposition setzen, und der, der den Treffer erzielt hat, darf außerdem noch um sechs Felder in der ihm am günstigsten erscheinenden Richtung weiterrücken. Erwürfelt man ein vom Gegner besetztes Feld, so muß man passen. Sind alle Kugeln eines Paares im Spiel, so können die Partner jeweils frei entscheiden, wer von ihnen im Falle einer Begegnung um sechs Felder weiterzieht. Auf diese Weise wird das Spiel in der Endphase sehr beschleunigt. Es ist abgeschlossen, wenn entweder ein Paar oder ein Einzelgänger alle Kugeln in Ställen untergebracht hat. Jetzt zählen für jeden Spieler pro Kugel:

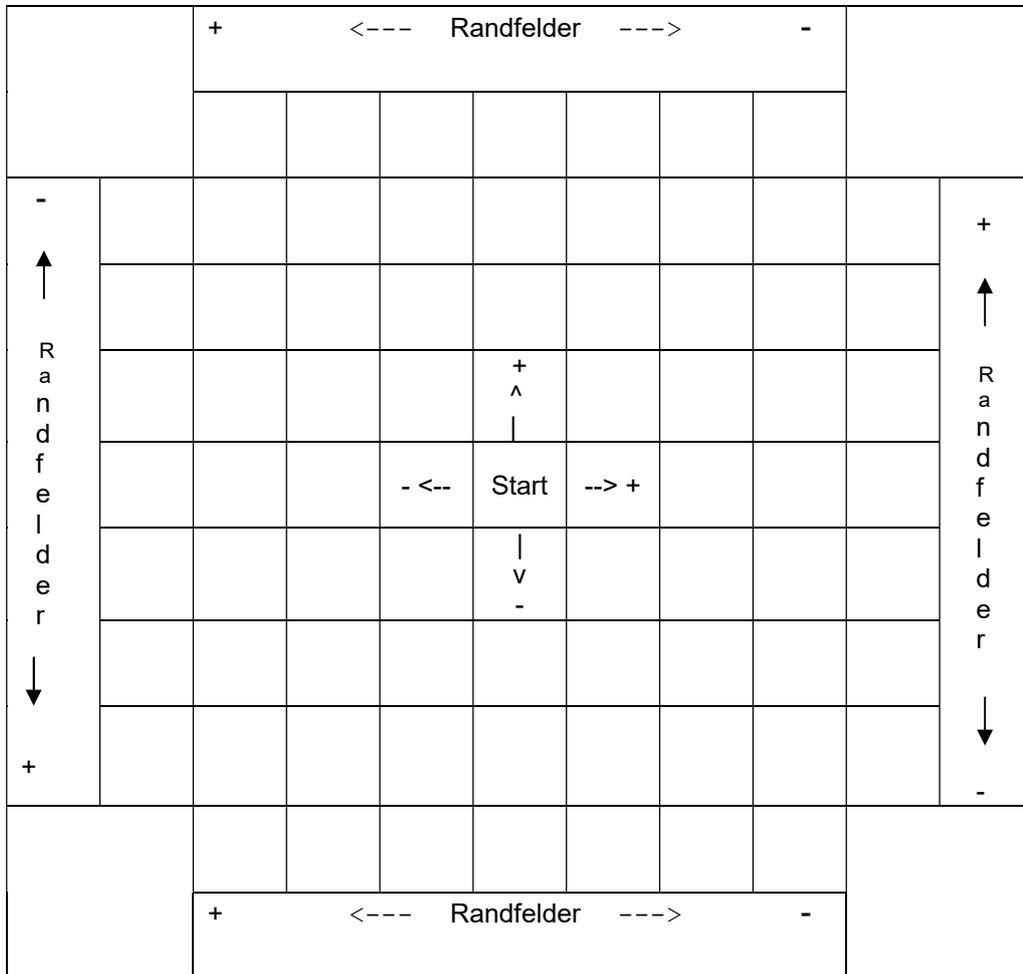
- der am weitesten entfernte Stall: 8 Punkte
- die beiden Ställe in mittlerer Entfernung: je 2 Punkte
- der nächstgelegene Stall: 0 Punkte

Jedes Paar addiert seine Punkte zusammen. Die Hälfte davon wird dann jedem Partner gutgeschrieben. Es kann bei gemeinsamer Spielweise aufgrund taktischer Überlegungen durchaus lohnend sein, auch einmal ein Stallfeld zu besetzen, das keine Punkte bringt, dafür aber vielleicht den Gegner hindert, 8 Punkte zu erwerben.

## 1.8 "Stay out of 2D"

### 1.8.1 Beschreibung

Abbildung:



Das Spiel kann von zwei bis vier Personen ausgeführt werden. Auf dem Spielbrett (siehe Abbildung) sind die folgenden Felder hervorgehoben:

- das Mittelfeld als Ausgangsposition,
- die 4 x 4 Eckfelder als Endpositionen (Ställe).

Jeder Spieler erhält einen Vorrat von 4 Kugeln einer bestimmten Farbe.

Dazu gibt es zwei Tetraederwürfel mit den Flächenbezeichnungen 0,0,+, -.

Das Spiel beginnt mit dem Reihum- Würfeln. Wer zuerst ++ oder – erzielt, darf das Spiel eröffnen, indem er eine seiner Kugeln in die Ausgangsposition setzt und gleich noch einmal würfelt. Nur für + oder – darf man jeweils um ein Feld (siehe Abbildung) weiterrücken. Es ist dem Spieler überlassen, wie er die Wurfresultate ausführt, ob er zum Beispiel bei ++ um zwei Felder in einer der beiden oder ob er um je ein Feld in beide Plusrichtungen vorrückt. Kommt man im Laufe des Spiels auf das Ausgangsfeld zurück, oder gelingt es einem nicht, beim Eröffnungswurf dieses Feld zu verlassen (nämlich, wenn man 0, 0 würfelt), so wandert die betreffende Kugel ins Reservoir zurück. Erst wenn man wieder ++ oder – erwürfelt hat, ist man berechtigt, eine neue Kugel in die Ausgangsposition zu bringen. Jedes mal, wenn dieser Wurf gelingt, muss man eine neue Kugel ins freie Mittelfeld setzen – solange der Vorrat reicht – eine Randposition und darf gleich noch einmal würfeln. Letzteres gilt auch, wenn man

bereits alle Kugeln im Spiel hat. Im übrigen kann man frei entscheiden, auf welche Kugel man den jeweils ausgeführten Wurf anwenden möchte. Erreicht man eine Randposition, so rückt man nur noch auf den Randfelder vor. Wann immer ein Feld getroffen wird, das von einer gegnerischen Kugel besetzt ist, so darf man diese – wie beim "Mensch ärgere dich nicht" - hinauswerfen. Trifft man auf eine eigene Kugel, so darf der Zug nicht ausgeführt werden, das heißt, man passt. Das Spiel endet, sobald ein Spieler vier Kugeln in Endposition untergebracht hat.

## 1.8.2 Diskussion

Der charakteristische Unterschied zwischen den beiden hier beschriebenen Kugelspielen einerseits und den bekannten Gesellschaftsspielen andererseits ist allein in den Regeln begründet. In unseren Kugelspielen wurden diese der naturgesetzlichen Wirklichkeit angepasst. Daß dabei neuartige Spiele herauskommen, ist unerheblich im Vergleich dazu, dass die Ergebnisse der Spiele nunmehr physikalisch relevante Gesetzmäßigkeiten widerspiegeln. Aus dem zuletzt vorgestellten Diffusionsspiel ergeben sich zwei wesentliche Lehren:

1) Die meisten Kugelbegegnungen - und damit Reaktionen finden auf den Randfeldern statt, obwohl diese weniger als ein Drittel der gesamten Spielfläche ausmachen. Reduktion der Dimensionalität bewirkt also eine Erhöhung der Trefferwahrscheinlichkeit. Das gilt auch, wenn man vom dreidimensionalen Raum zur Fläche übergeht. Dieses Prinzip findet in der Natur vielfache Anwendung. Die Effizienz einer Reihe von Enzymen nimmt zu, wenn diese auf einer Membran angeordnet sind. Das Substrat hat eine gewisse Affinität zur Membranoberfläche, auf der es im übrigen frei beweglich ist und unter Umgehung einer Dimension gleich zum Reaktionsort am Enzym geleitet wird. Vor allem ist diese Erscheinung ,auch bei Rezeptoren zu beobachten, die bereits auf einzelne- Effektormoleküle ansprechen: Wie Dietrich Schneider und seine Mitarbeiter im Max-Planck Institut für Verhaltensphysiologie in Seewiesen gezeigt haben, gelingt es dem Männchen des Seidenspinners, einer Schmetterlingsart, nach diesem Prinzip ein mehrere hundert Meter " entferntes Weibchen aufzuspüren Einzelne Moleküle des vom Weibchen ausgesandten Sexuallockstoffes

2) Die Treffergenauigkeit ist proportional zur Besetzungsdichte der Fläche. Das bedeutet, dass sich in unmittelbarem Anschluss an eine stattgefundene Begegnung mit größter Häufigkeit als im Mittel weitere Zusammenstöße ereignen. Dieser Effekt stellt nicht irgendein mysteriöses "Gesetz der Serie" dar, sondern ist einfach die Folge einer Schwankung, in der aufgrund der Begegnung die lokale Besetzungsdichte für einen Moment erhöht ist. An anderer Stelle tritt dafür natürlich eine entsprechende Unterbesetzung auf, das heißt, die Begegnungsrage liegt dort unter dem Durchschnitt. Daraus ist leicht zu erkennen, dass die Begegnungshäufigkeit in einfacher Weise mit der Begegnungsdichte zusammenhängt. Ist die Begegnung mit einer Reaktion verbunden, so entspricht die (mittlere) Reaktionsrate direkt der (mittleren) Beziehungsdichte.

Bemerkung:

Der Titel "Stay out of 2D" Titel schließt sich an ein Motto an, das Gerold Adam und Max Delbrück einer Arbeit über die „Reduktion der Dimensionalität in biologischen Diffusionsprozessen“ voranstellen:

Drunkhard: "Will I ever, ever get home again?" Polya: "You' can't miss, just keep going and stay out of 3 D!"

Wie das im Text behandelte Beispiel für die Rezeptorwirkung beim Seidenspinner zeigt, ist die Reduktion der Dimensionalität (dort von 3D auf 2D) für die Effizienz der Detektion von entscheidendem Vorteil.

## 1.9 "Struggle"

### 1.9.1 Beschreibung

Zum Spiel gehören: Ein Spielbrett, das in 8x 8 Felder unterteilt ist; zwei Oktaederwürfel, deren Flächenbezeichnung mit den durch Koordinaten gekennzeichneten Feldern identisch ist: je 30 grüne, gelbe, rote und blaue Kugeln.

Aus dem Reservoir von, grünen, gelben, roten und blauen Kugeln werden zu Beginn lediglich 16 gelbe und 4 rote Kugeln entnommen und von beiden Spielern willkürlich, jedoch nach strategischen Gesichtspunkten auf dem Spielbrett plziert. »Strategisch« heißt, die Kugeln so zu plzieren, dass man unter Ausnutzung der Nachbarschaftsbesetzung möglichst effiziente Umwandlungen erzielt. Der Begriff der Nachbarschaft ist für den weiteren Verlauf des Spiels von entscheidender Bedeutung. Er wird hier durch die vier rechtwinklig an das Zentralfeld angrenzenden Nachbarschaftsfelder definiert. Nachdem die Ausgangskonfiguration durch Setzen der 16 gelben und der 4 roten Kugeln auf dem Spielbrett fixiert ist, beginnt das eigentliche Spiel. Beide Partner würfeln abwechselnd und ersetzen entsprechend den in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellten Regeln:

Getroffenes Feld Nachbarfeld	leer	Grün (entspricht Gras)	Gelb (entspricht Hase)	Rot (entspricht Fuchs)
alle Felder leer	--> grün	-	-	Trophäe rot --> blau
Gras grün	--> grün	-	grün --> gelb	rot --> blau
Hase gelb	--> grün	grün --> gelb	-	rot --> blau
Fuchs rot	--> grün	-	gelb --> rot	rot --> blau

Anmerkung: Es muss jeweils mindestens ein Nachbarfeld in der angegebenen Weise besetzt sein.

Befinden sich Kugeln verschiedener Farben in der – orthogonalen – Nachbarschaft, so ist dem Spieler anheimgestellt, nach welcher Regel er verfahren will.

Im allgemeinen ist nach vollzogener Umwandlung im Sinne des vorangehenden Schemas Der Gegner an der Reihe zu würfeln. Das gilt aber nicht, wenn sich aus der vollzogenen Umwandlung weitere Reaktionsmöglichkeiten ergeben. Dies dürfen, solange die Voraussetzungen erfüllt sind, hintereinanderweg ausgeführt werden. Erst dann kommt der Gegner an die Reihe.

Eine solche Weiterreaktion kann stattfinden, wenn durch die vorhergehenden Umwandlungen einer der Farbkombinationen grün-gelb oder gelb-rot in direkter Nachbarschaft gebildet wurde.

Diese Kombination wird immer sofort im folgenden Sinne verwandelt:

Aus grün-gelb entsteht gelb-gelb

Aus gelb-rot entsteht rot-rot

Diese Umwandlungsregel für die Weiterreaktion gilt immer, wenn benachbarte Kugelkombinationen der genannten Art entstehen, wobei es unerheblich ist, welche von beiden Kugeln im vorangehen Schritt tatsächlich umgewandelt wurde. Die (neue) Nachbarschaft bezieht sich auf die jeweils frisch umgewandelte Kugel.

Für jeden Übergang von gelb-rot in rot-rot darf der betreffende Spieler zweimal extra würfeln. Für diese Extrawürfe gelten aber nur solche Treffer, die auf eine rote Kugel fallen. Jede getroffene rote Kugel wird aus dem Spiel genommen in eine blaue umgetauscht und zählt so als Gewinnpunkt.

Das Spiel ist zu Ende, wenn entweder die gelben oder die roten Kugeln von der Spielfläche verschwunden sind. Gewonnen hat, wer die meisten blauen Kugeln vorweisen kann.

Die vier genannten Reaktionsschritte werden in anschaulicher Weise durch die Spielregeln simuliert.

## 1.9.2 Fragen und Aufgaben

1) Das anfängliche Setzen der Kugeln soll programmtechnisch durch den Zufall erzeugt werden. Die zwei Spieler werden nicht durch Menschen realisiert, sondern das Programm soll gegen sich selbst spielen.

2) Die verschiedenen Populationen (Gras, Hasen, Füchse) breiten sich wellenförmig aus und sind zueinander verschoben (phasenverschoben).

### 1.9.3 Diskussion

Das Besetzen von Leerfeldern mit grünen Kugeln bedeutet das Hochwachsen von Gras. Dieser Vorgang ist nicht als ein autokatalytischer (selbstbeschleunigend) angenommen worden, da man davon ausgehen kann, daß überall Grassamen in ausreichender Menge im Boden sind.

Dagegen sind die beiden folgenden Reaktionen unmittelbar von einer endlichen Population der betreffenden Spezies abhängig, also autokatalytischer Natur. Sind nämlich keine Hasen und Füchse vorhanden, so können auch keine Geburten stattfinden. Außerdem hängt die Vermehrung beider Spezies von der Verfügbarkeit von Nahrung ab. Die Hasen fressen nur Gras, die Füchse nur Hasen (aber kein Gras). Das Abschießen der Füchse ist wiederum kein autokatalytischer Prozeß, denn die Anzahl der Jäger pro Revier ist unabhängig davon, wie viele Füchse erlegt wurden. Je mehr, Füchse das Revier bevölkern, um so mehr werden auch geschossen, ohne daß damit notwendigerweise die Zahl der Jäger steigt. Ein solches ökologisches Reaktionsschema charakterisiert in anschaulicher Weise den von Lotka und Volterra aufgestellten und mathematisch analysierten allgemeinen Mechanismus, der in abstrakter Schreibweise lautet:

$\rightarrow A$	grüne Kugeln (A) kommen auf Leerfelder
$A+X\rightarrow 2X$	Grüne Kugeln (A), werden mithilfe von gelben (X) in gelbe (X) umgewandelt
$X+Y\rightarrow 2Y$	Gelbe Kugeln (X) werden mit Hilfe von roten (Y) in rote (Y) umgewandelt
$y\rightarrow B\rightarrow$	rote Kugeln (Y) wandeln sich entsprechend ihrer Häufigkeit in blaue Kugeln (B) um und verlassen

## 1.10 Kugelspiel "Life" nach J.H. Conway

### 1.10.1 Beschreibung

Man benutzt eine Spielfläche mit möglichst vielen Feldern. Eine Koordinatenbezeichnung ist zunächst nicht notwendig. Zwei verschiedene Kugelfarben sollten in ausreichender Menge vorhanden sein. (Ein auf ein bestimmtes Feld zentrierbarer Rahmen erleichtert das "Orten" der Nachbarschaft.) Im vorliegenden Spiel zählen sowohl die begrenzten vier orthogonalen als auch die vier diagonalen Felder zur Nachbarschaft.

Der Ablauf des Spiels erfolgt in separaten Stufen, die man als Generationen bezeichnen kann. Innerhalb jeder Generation werden die Regeln simultan auf alle Felder angewandt. Die Regeln bestimmen, ob ein belegt oder geräumt wird. Im Conway-Spiel gibt es nur zwei Alternativen: Ein Feld kann entweder leer oder von einer Kugel besetzt sein.

Die Regeln lauten:

- 1) Überleben: Ein mit einer Kugel besetztes Feld überlebt zur nächsten Generation, wenn zwei oder drei Felder der Nachbarschaft ebenfalls besetzt sind. Die Kugel verbleibt also in ihrer Position.
- 2) Tod: Eine Kugel wird von ihrem Platz entfernt, wenn sich in der Nachbarschaft entweder mehr als drei oder weniger als zwei Kugeln befinden. Im ersten Fall ist das System überbevölkert, im zweiten das Individuum zu sehr isoliert.
- 3) Geburt: Ein Leerfeld darf dann, und nur dann, mit einer Kugel belegt werden, wenn exakt drei Nachbarfelder besetzt sind.

Jedes Feld (einer Figur) wird in jeder Generation separat entsprechend seinem Zustand (leer oder belegt) gemäß der zutreffenden Regel umgewandelt. Aus diesem Grund wird der Übersicht halber die Verwendung zweier Kugelfarben empfohlen. Man überprüft zunächst die Leerfelder und füllt sie mit Kugeln der zweiten Farbe (weiß) auf, wenn die Bedingungen für Regel 2 zutreffen. Danach werden - es handelt sich aber noch immer um die gleiche Generation - die von schwarzen Kugeln besetzten Felder gesichtet und entsprechend Regel 1 und 2 umgewandelt. Dabei gelten natürlich die von weißen Kugeln okkupierten Felder nach wie vor als leer. Sind sämtliche Züge innerhalb einer Generation ausgeführt, ersetzt man die weißen Kugeln wieder durch schwarze. Damit ist diese "Lebensstufe" abgeschlossen, und man kann zur nächsten Generation übergehen, in der die genannten Operationen sinngemäß wiederholt werden.

Das Spiel geht los, sobald der (oder die) Spieler eine beliebige - etwa 6 bis 10 (schwarze) Kugeln umfassende Figur gesetzt haben. Dies ist überhaupt die einzige Möglichkeit für den Spieler, den Ablauf der Partie zu beeinflussen. Alle weiteren Züge erfolgen deterministisch nach Maßgabe der Regeln.

Will man das Spiel als Konkurrenz aufziehen, so setzen die Spieler jeweils eine eigene Figur auf die ihnen zugewandte Hälfte des Spielbretts. Alle Startfiguren müssen dieselbe Anzahl von Kugeln enthalten. Zur Bewertung kommt erstens die Zahl der Generationen, die jeder Spieler mit seiner Figur erreicht hat und zweitens die Summe der in jeder Generation gesetzten Kugeln. Am Ende werden diese beiden Summen miteinander multipliziert.

Abbildung:

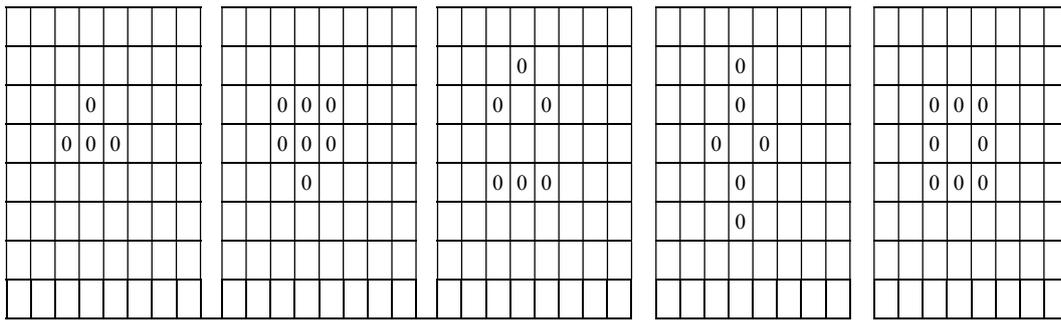
1. Generation					2. Generation					3. Generation				
	o													
		o				o								
			o											
	o													
	o					o	o							
		o												
			o											
	o	o				o	o				o	o		
	o					o	o				o	o		
		o												
		o				o	o	o						
		o												

### 1.10.2 Diskussion

Man mag zunächst vermuten, Conway habe seine Regeln willkürlich ausgewählt, doch ist das keineswegs so. Der Spielverlauf sollte nicht nur realistisch sein und die Auswirkungen von Isolation, Kooperation, Überbevölkerung usw. darstellen, sondern darüber hinaus sollte sich auch ein möglichst interessantes Spiel ergeben. Das bedeutet aber, dass das Schicksal einer Population nicht ohne weiteres aus der Anfangssituation abzulesen sein darf. Aus diesem Grunde muss es einerseits Konfiguration geben, die unbegrenzt wachsen, und andererseits solche, die bald aussterben.

Abbildung: Die Entwicklung eines Tetrominos

1. Generation    2. Generation    3. Generation    4. Generation    5. Generation



6. Generation    7. Generation    8. Generation    9. Generation    10. Generation

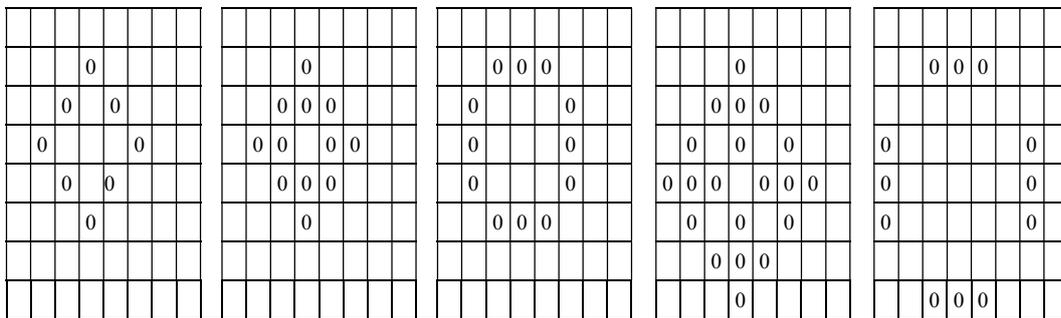
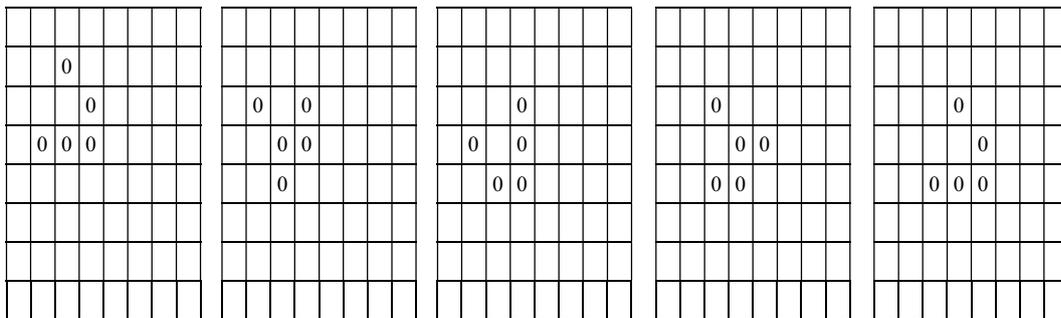


Abbildung: Glider oder Segler

1. Generation    2. Generation    3. Generation    4. Generation    5. Generation



Eine Figur, die nach vier Generationen in sich selbst übergeht, dabei aber je um ein Feld nach rechts und nach unten vorgerückt ist.

Das zeitliche Nacheinander einer Abfolge von Generationen erscheint hier als räumlich Nebeneinander, eine Darstellungsweise, deren wir uns noch häufiger bedienen werden. Die drei Figuren sind instabil und sterben bereits nach zwei Generationen aus. Die vierte Figur geht in einen stabilen Block über, und die fünfte beginnt gar – mit einer Periode von zwei Generationen – zu oszillieren.

In der obigen Abbildung ist ein Muster gezeigt, das nach zehn Generationen wieder in sich selbst übergeht, dabei aber um eine bestimmte Zahl von Feldern vorgerückt ist. Conways "Raumgleiter" (Glider) (Abbildung oben) ist ein typisches Beispiel dafür. Es handelt sich dabei um einen Oszillator, der nach einer Periode von fünf Generationen, das heißt nach fünf Umwandlungen, wieder seine ursprüngliche Gestalt annimmt, aber um ein Feld diagonal nach rechts unten auf dem Spielbrett verschoben ist. Die maximale Geschwindigkeit, die eine Figur in diesem Spiel erreichen kann, ist die, mit der ein König im Schachspiel vorrückt. Man könnte sie als "Lichtgeschwindigkeit" bezeichnen, denn sie stellt einen absoluten oberen Grenzwert dar. Der "Raumgleiter" bewegt sich mit einem Viertel der "Lichtgeschwindigkeit" über die Spielfläche.

Martin Gardner hat in einem ausführlichen Artikel in der Zeitschrift "Scientific American" eine Vielzahl von Figuren mit oftmals sehr skurrilen Eigenschaften beschrieben. Der Leser mag sie selbst ausprobieren.

Zu einem strategischen Spiel wird "Life" durch zwei Konfigurationstypen: "Kanonen", die Geschosse abfeuern, und "Figuren-Schlucker", die – wie ihr Name sagt – andere Figuren verschlucken, ohne dadurch verändert zu werden. Der Entdeckung dieser Konfigurationen geht eine kuriose Geschichte voraus. Conway hatte die Vermutung geäußert, dass es infolge der "Überbevölkerungsregelung" keine Figuren gibt, die unbegrenzt wachsen. Da er seine Behauptung aber nicht beweisen konnte, setzte er eine Belohnung von fünfzig Dollar aus, die derjenige haben sollte, der die Behauptung beweisen oder aber widerlegen konnte. ( In der Mathematik gilt ja eine Behauptung schon dann als widerlegt, wenn sich auch nur ein einziges Gegenbeispiel anführen lässt.) Der Preis ging an ein Team junger Forscher vom "Project of Artificial Intelligence" am MIT.

## 1.11 Kugelspiel "Go" und "Go-bang"

### 1.11.1 Beschreibung

Go – und I-go, wie es im Japanischen genannt wird – ist ein Brettspiel für zwei Personen. Jeder Spieler erhält 181 Steine (schwarze bzw. weiße). Das Brettspiel ist durch je 19 senkrechte und waagerechte sich kreuzende Linien unterteilt, so dass sich 361 Kreuzungspunkte ergeben, auf die die Spieler ihre Steine setzen.

Go-bang, das für zwei und mehr Personen geeignet ist, kann auf einem Brett mit 13 X 13 Feldern gespielt werden. Alle Spielvarianten beginnen, indem die Spieler abwechselnd eine Kugel ihrer Farbe in ein beliebiges leeres Feld setzen.

Beim Go-bang muss jeder Spieler danach trachten, eine zusammenhängende Sequenz von fünf Kugeln seiner Farbe zu legen. Es zählen sowohl waagerechte als auch diagonale Folgen. Sie müssen aber zusammenhängend sein. Der Spieler, dem dies zuerst gelingt, hat gewonnen. Man kann auch weiterspielen, bis die gesamte Spielfläche ausgefüllt ist. Am Ende entscheidet dann die Zahl der zusammenhängenden Sequenzen, die jeder Spieler erzielt hat. In einer weiteren Variante kann man jeweils bei Besetzung eines vierten Kreuzungspunktes dem Gegner eine Kugel fortnehmen. Gewonnen hat der, der die meisten Kugeln erobert hat. Das Mini-go entspricht genau dem originalen Go, nur dass es eben auf einem kleineren Brett (13 x 13 Linien) gespielt wird.

Es gelten die Regeln:

- 1) Die Spieler setzen abwechselnd eine Kugel ihrer Farbe. Jede Kugel verbleibt so lange auf dem Spielfeld, bis sie vom Gegner eingeschlossen wurde und "gefangengenommen" wird.
- 2) Die Kugeln, die sich in vollständigen eingeschlossenen Regionen befinden, können "gefangengenommen", das heißt vom Gegner vereinnahmt werden. Die Spieler sind aber nicht gezwungen, von einer Möglichkeit der Umzinglung Gebrauch zu machen.

Die Anwendung der zweiten Regel ist eindeutig, solange es sich um vollständig besetzte, eingeschlossene Regionen handelt. Am Spielbrettrand genügt es, wenn die Einschließung von den zur Spielfläche hin offenen Seite aus vorgenommen wird. Sind die umschlossenen Regionen nicht vollständig von der gegnerischen Farbe ausgefüllt oder ergeben sich Möglichkeiten zur Überlappung von Einschlussregionen, so muss nach den in der Abbildung dargestellten Grundtypen jeweils sinngemäß verfahren werden.

Das Spiel endet, wenn alle gewinnfähigen Positionen besetzt sind. Es zählen als Gewinnpunkte alle vom Spieler eingenommenen Positionen. Davon werden die vom Gegner gefangenen Kugeln als Verlust Punkte abgezogen. Sieger ist, wer die höchste Punktzahl erreicht hat.

Abbildung:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
a																			
b	X											X							
c	O	X									X	O	X						
d	X					X					X	O	X						
e					X	O	X				X	O	X						
f						X					X	O	X						
g												X							
h	X																		
i	O	X																	
j		O	X																
k	O	X																	
l	X																		
m																			
n																			
o																		O	O
p																	O	X	X
q						X	O										O	X	
r					X	O		O								O	X	X	X
s						X	O									O	X		O
t																O	X	O	

Die wichtigsten Situationen und Spielbegriffe für Go:

In den beiden Spielsituationen – oben links – ist jeweils ein weißer Stein von schwarzen vollkommen eingeschlossen und wird daher von Schwarz gefangengenommen. Es können auch gleichzeitig mehrere Steine gefangengenommen werden, wenn sie wie im Beispiel rechts in einer Kette stehen. Im Beispiel links Mitte wäre es für Weiß fatal, das noch freie Feld (k1) zu besetzen, hingegen kann Schwarz durch besetzen dieses Feldes alle drei weißen Steine gefangenehmen. In der Figur Mitte kann Schwarz durch Besetzen von q7 Weiß auf q6 gefangen nehmen. Weiß kann jedoch durch Wiederbesetzen von q6 schwarz auf q7 gefangenehmen – das würde immer so weitergehen. Daher besagt die Regel, das ein Stein, der einen einzigen Stein getötet hat, als einzelner im nächsten Zug nicht wieder genommen werden darf. In der Ecke unten rechts ist eine "Seki-Situation" gezeigt. Die drei Kreuzungspunkte können weder von Schwarz noch von weiß besetzt werden.

## 1.12 Kugelspiel "Wachstum"

### 1.12.1 Beschreibung

Das Spiel ist für zwei bis vier Spieler bestimmt. Man benötigt ein Brett mit Koordinateneinteilung und zugehörigen Koordinatenwürfeln. Am besten eignet sich ein Brett mit 8 X 8 Feldern. Jeder Spieler erhält eine genügend große Menge von Kugeln einer von ihm gewählten Farbe.

Das Spiel beginnt damit, dass zunächst für (zum Beispiel) exakt sechs Runden abwechselnd und reihum gewürfelt wird, wobei jeder Spieler eine Kugel in das von ihm erwürfelte Feld setzt. Ist das Feld schon von einer anderen Kugelfarbe besetzt, so muss der Spieler passen. (Diese Regelung gilt übrigens für den gesamten Spielablauf!) Ist das Feld dagegen von der eigenen Kugelfarbe besetzt, so darf er diese, seine Kugel auf ein beliebiges (strategisch vorteilhaftes) Feld platzieren. (Benachbarte Kugeln bedeuten im weiteren Spielverlauf einen gewissen Vorteil.)

Am Ende dieser Phase hat jeder Spieler maximal sechs Kugeln auf dem Brett. Jetzt erst beginnt das eigentliche Spiel. Jeder Spieler muss sich für eine – ihm aufgrund der Verteilung seiner Kugeln am günstigsten erscheinende – Strategie entscheiden und diese ankündigen. An diese ist er im weiteren Spielverlauf so lange gebunden, bis er die "nächsthöhere" Strategie ansagt. Folgende Strategien stehen zu Verfügung:

- 1) Der Spieler, der an der Reihe ist, darf jeweils einmal würfeln. Wenn er dabei ein von ihm besetztes Kugelfeld oder eins der vier an ein solches rechtwinklig angrenzenden (orthogonalen) Nachbarfelder erwürfelt, so darf er eine weitere Kugel auf ein zu erwürfelnendes Feld setzen.
- 2) Der Spieler darf jeweils zweimal hintereinander würfeln (unabhängig davon, wie erfolgreich er ist). Trifft er dabei ein Feld, das gleichzeitig zum Nachbarschaftsbereich von (mindestens) zwei eigenen Kugeln gehört, so darf er auch zwei weitere Kugeln ins Spiel bringen und auf zwei (zu erwürfelnende) Felder verteilen. Zur Nachbarschaftsregion zählen hier das von einer Kugel besetzte Feld selbst sowie die vier orthogonal und diagonal angrenzenden Felder (Conway-Nachbarschaft). Das getroffene Feld muss im Überschneidungsbereich zweier Nachbarschaften liegen.
- 3) Der Spieler darf jeweils dreimal hintereinander würfeln. Er muss jedoch ein Feld treffen, das im Überlappungsbereich von (mindestens) drei Nachbarschaftsregionen der eigenen Kugelfarbe liegt. Dann darf er gleich drei neue Kugeln auf dem Spielbrett unterbringen. (Das geht so weiter für vier bis maximal neun Felder.)

Der Spieler darf jeweils so oft würfeln und so viele Kugeln im Erfolgsfall einsetzen, wie es der angesagten Strategie entspricht.)

Gewonnen hat, wer bei vollständiger Besetzung die meisten Kugeln auf dem Brett hat. Die Anwendung der Nachbarschaftsregeln in der zweiten Spielphase wird durch die Anwesenheit gegnerischer Kugeln nicht beeinflusst – bis auf die Einschränkung, dass über ein schon vom Gegner besetztes Feld nicht mehr verfügt werden kann. (Ein Hinauswerfen von Kugeln gibt es in dieser Spielversion nicht.) Für die Verteilung der neu hinzukommenden Kugeln ist jeweils so lange zu würfeln, bis ein freies Feld getroffen wird.

Anmerkung:

Der vorsichtige Spieler wird zunächst nach der relativ sicheren Regel 1 vorgehen die ihm bei gleichmäßiger Verteilung der Kugeln die höchste Setzchance einräumt. Liegen jedoch in der Ausgangsverteilung bereits solch Konfigurationen vor, die die Voraussetzung für eine ranghöhere Strategie bietet, so empfiehlt sich schon sehr bald auf diese umzusteigen.

Abbildung:

1 a

		x		
	x	o	x	
		x		

2 a

	x	o	x	
	x	o	x	

2 b

	o	x		
	x	o		

2 c

		o		
	x	x	x	
		o		

2 d

		o		
	x	x		
	o			

2 e

			o	
		x		
	o			

3 a

	o	o		
	x	o		

3 b

		o		
	x	o	x	
		o		

3 c

		o		
	o	x		
		o		

3 d

		o		
	x	o		
	o			

3 e

		o		
	x	x		
	o	o		

3 f

			o	
	o	x		
			o	

4 a

	o	o	o	
	o	o	o	
	o	o	o	

Definition der Nachbarschaftsbereiche im Wachstumsspiel:

1)

Bei der Ein-Kugelstrategie gilt lediglich die von Neumannsche Nachbarschaft, die außer dem besetzten Zentralfeld dessen 4 orthogonale (senkrechte) Nachbarfelder (mit x bezeichnet) einschließt.

2) und 3)

Für Zwei- und Mehr-Kugelstrategien gilt dagegen Conways Nachbarschaftsdefinition, die sowohl die 4 orthogonal als auch die 4 diagonal an das Zentralfeld angrenzenden Felder umfasst. Die Regeln beziehen sich hier jedoch ausschließlich auf die Felder, die sich Überlappungsbereich (mit x bezeichnet) der in Frage kommenden Kugeln befinden.

4)

Im Falle der Neun-Kugelstrategie muss man das Mittelfeld (mit x bezeichnet) der von 9 Kugeln besetzten Region treffen.

## 1.12.2 Diskussion

In diesem Spiel die zur Wahl sehenden Strategien repräsentativ für bestimmte Wachstumsmechanismen. Natürlich ist es nicht möglich, auf einem begrenzten Spielbrett einen unbegrenzten Vermehrungsprozess über viele Generationen hinweg zu simulieren. Lediglich in der Anfangsphase in der die Kugeldichte noch relativ gering ist, sind die für die einfachen Wachstumsgesetze gültigen Voraussetzungen einigermaßen erfüllt. Es ist instruktiv, eine solche Phase einmal bewusst durchzuspielen. Man muss dabei allerdings etwas Geduld aufbringen.

Für eine detaillierte Analyse der ersten Spielstrategie ist es am günstigsten, mit nur einer einzigen Kugel zu beginnen. Sie besetzt ein Feld und hat überdies eine definierte Nachbarschaft, die aus den vier orthogonal angrenzenden Feldern besteht. Es kommt jetzt darauf an, eins der insgesamt fünf Felder zu treffen, damit diese Kugel verdoüelt werden kann. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist bei einem aus 64 Feldern bestehenden Spielbrett  $5/64$ . Man braucht also im Mittel etwa 13 Würfe.

## 1.13 Kugelspiel "Wachstumsbegrenzung"

### 1.13.1 Beschreibung

Wir gehen von einem Spielbrett mit 64 Feldern und dem dazugehörigen Oktaederwürfelpaar aus. Das Spiel ist nur für eine Person gedacht. Es sollten 64 schwarze und ebenso viele weiße Kugeln vorhanden sein. Am besten ist es, die verschiedenen Versionen gleich hintereinander durchzuspielen, wenn möglich, recht oft. Denn auf diese Weise gewinnt man einen Überblick über die Effekte globaler Wachstumsbegrenzungen.

1. Version:

Es werden 62 Felder mit schwarzen und nur ein Feld mit einer weißen Kugel besetzt; ein Feld bleibt leer. Man würfelt nun alternierend für Auf- und Abbau und verfährt nach der einfachen konformen Strategie. Das heißt: Jede getroffene Kugel wird im Aufbau verdoppelt, im Abbau entfernt. (Wird zufällig das Leerfeld getroffen, so darf der Wurf wiederholt werden.) Die strikte Alternierung von Auf- und Abbau sorgt für eine konstante Sättigung der Besetzungsdichte. Das Spiel endet mit dem Aussterben einer der beiden Kugelsorten.

2. Version: Man verfährt wie unter 1. der einzige Unterschied ist folgender: Wird im Abbauwurf eine weiße Kugel getroffen (und nur in diesem Falle), so muss noch zusätzlich eine "Ja-oder-Nein"-Entscheidung (zum Beispiel durch das Werfen einer Münze) erfolgen. Nur bei "ja" wird sie vom Spielbrett genommen. Diese zusätzliche Regelung lässt sich beliebig variieren, indem man die "Ja-oder-Nein"-Entscheidung mit einem normalen Würfel herbeiführt und so die Wahrscheinlichkeit für "ja" nicht mehr mit  $\frac{1}{2}$  an setzt, sondern zwischen  $\frac{1}{6}$  bis  $\frac{5}{6}$  auffächert. Bei einer Abbauwahrscheinlichkeit von  $\frac{5}{6}$  wird die weiße Kugel nur dann nicht entfernt, wenn eine Sechs gewürfelt wird, während es für Eins bis Fünf bei der Abbauentcheidung bleibt.

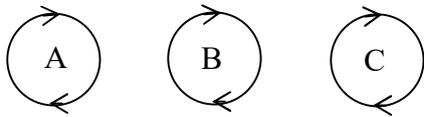
3. Version: Hier gilt das Reglement von 2, aber man startet mit einer anderen Spielbrettbesetzung. Wenn die Zusatzentscheidung für die Entfernung der weißen Kugel die Wahrscheinlichkeit  $\frac{1}{2}$  hat, beginnt man mit zwei weißen und entsprechend mit 61 schwarzen Kugeln. Hat die Wahrscheinlichkeit der Zusatzentscheidung den Wert  $\frac{5}{6}$ , so muss man mehr weiße Kugeln setzen. Man probiere es mit zwei, fünf und acht anfänglichen weißen Kugeln.

4. Version: Man besetzt sechs Felder mit weißen und 48 mit schwarzen Kugeln. Es verbleiben zehn Leerfelder. Nun wird gewürfelt und nach folgenden Regeln gesetzt: Für den Aufbau wird jeweils zweimal hintereinander gewürfelt. Man darf aber nur beim zweiten Wurf setzen, und auch nur dann, wenn beide Male die gleiche Farbe getroffen wurde. (werden Leerfelder getroffen, darf man gleich zehn weiße Kugeln setzen, während bei Schwarz lediglich eine dazukommt. Der Abbau ist hingegen wie in der vorangegangenen Versionen geregelt: Ob Schwarz oder Weiß, die Kugel wird entfernt. Allerdings kann jetzt nicht mehr strikt zwischen Auf- und Abbau alterniert werden. Es muss vielmehr jeweils so gewürfelt werden, dass immer zehn Leerfelder für einen erfolgreichen Aufbauwurf von weiß zur Verfügung stehen.

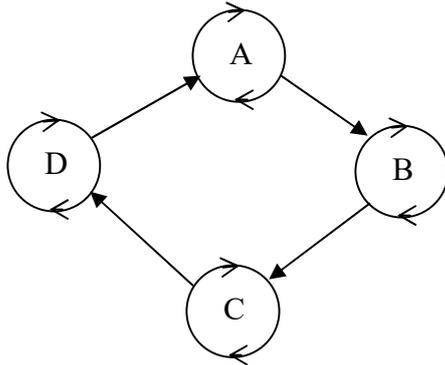
## 1.14 Kugelspiel "Hyperzyklus"

### 1.14.1 Beschreibung

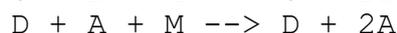
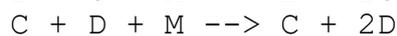
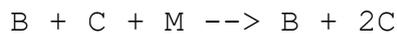
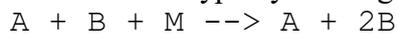
Ein Hyperzyklus stellt eine zyklische Verknüpfung von sich selbst reproduzierenden Einzelzyklen dar.



Die Einzelzyklen usw. werden durch die überlagerte zyklische Verknüpfung zu einer neuen Organisationsform zusammengeschlossen:



Die vorher bestehende Konkurrenz zwischen der Einzelzyklen wird durch die Verknüpfung in eine Kooperation umgewandelt. Aufgrund der nichtlinearen autokatalytischen Vermehrungsrate wird zwischen verschiedenen Hyperzyklen eine "Alles-oder-Nichts"-Selektion erzwungen. Unserem Spiel legen wir einen einfachen, aus vier Teilnehmern bestehenden Hyperzyklus zugrunde, den wir durch das abstrakte Reaktionsschema



beschreiben.

A = rot, B = gelb, C = grün, D = blau.

M ist nur der Form halber aufgeführt. Es ist das Material, aus dem A, B, C und D in autokatalytischer Reaktion entstehen.

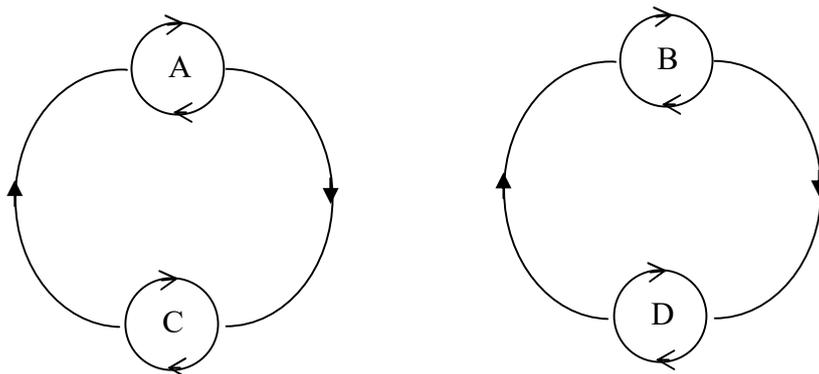
Wir benutzen ein Spielbrett mit 8 x 8 Koordinateneinteilung und den dazugehörigen Oktaederwürfeln. Es wird ein genügend großer Vorrat von Kugeln mit vier verschiedenen Färbungen benötigt. Man setzt zu Beginn des Spiels je 16 Kugeln auf das Spielbrett, so dass alle Kugelfelder ausgefüllt sind. Nunmehr wird gewürfelt, und zwar alternierend für Herausnahme und Verdopplung. Zuerst wird die auf den erwürfelten Koordinaten befindliche Kugel entfernt. Dann wird wieder gewürfelt. Die nunmehr getroffene Kugel darf dann, und nur dann, verdoppelt werden, wenn auf einem der vier orthogonalen Nachbarfelder eine Kugel der im "Spektrum vorangehenden" Farbe sitzt. Das ist: rot (A) für gelb (B), gelb (B) für grün (C), grün (C) für blau (D) und schließlich blau (D) für rot (A).

Die neue Kugel – die mit der getroffenen Kugel gleichfarbig ist – kommt auf das beim vorhergehenden Wurf entstandene Leerfeld. Diese beiden Prozeduren werden abwechselnd ständig wiederholt.

Das Spiel hat eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Selektionsspiel. Aufgrund der übergeordneten Kopplung kommt es aber nicht zur systematischen Selektion einer Kugelfarbe. Trotzdem ist das Aussterben einer Kugelfarbe infolge einer extremen

Schwankung nicht ganz ausgeschlossen. Die Zahl der Kugeln nimmt auch bei strikter Abwechslung von Abbau und Verdopplung zunächst ständig ab. Das kann man dadurch verhindern, dass man den Abbau erst dann ausführt, wenn es eine erfolgreiche Verdopplung gegeben hat. In diesem Modell spielt die Ortskoordinate nur mittelbar eine Rolle. Die Tatsache, dass bei einer Verdopplung neu hereinkommende Kugel auf das unabhängig entstandene Leerfeld gesetzt wird, entspricht einer ständigen Vermischung der Reaktionspartner. In diesem Spiel ist das "Werden und Vergehen" der einzelnen Kugelfarben dargestellt. Das zeitliche Auf und Ab ist für einen solchen Zyklus typisch. Es besteht in einer Oszillation der Kugelverteilung auf dem Spielbrett, wobei alle Farben jeweils in zyklischer Reihenfolge durchlaufen werden (s. Abb. 52).

Die nun folgende Spielvariante beschreibt die Konkurrenz zwischen zwei Hyperzyklen. Mit vier Kugelfarben können zwei voneinander unabhängige Hyperzyklen definiert werden:



Zwei Spieler setzen abwechselnd ihre Kugeln, wobei der eine Spieler rot (A) und grün (C), der andere gelb (B) und blau (D) hat. Was die Nachbarschaft betrifft, so begünstigen sich hier jeweils die komplementär Farben gegenseitig. Man würfelt abwechselnd um Abbau und Aufbau seiner Kugeln. Das bedeutet dass jeder Spieler nur ziehen kann, wenn er ein Feld mit einer seiner Kugelfarben getroffen hat, sonst muss er passen. Bei einem erfolgreichen Aufbauzug (Verdopplung) darf er eine beliebige Kugel des Gegners entfernen. Das Spiel endet, wenn einer der Konkurrenten nicht mehr ziehen kann. Diese Variante ist ein weiteres Beispiel für die Konkurrenzentscheidung bei hyperbolischem Wachstum. Oszillationen treten im Fall von Zweierzyklen noch nicht auf.

## 1.15 Das RNS Spiel

### 1.15.1 Beschreibung

Jeder Spieler bekommt eine Kette mit insgesamt achtzig Gliedern, die aus einer regellosen Folge von roten, grünen, blauen und gelben Perlen besteht. Der Name RNS-Spiel lässt erraten, dass die Farbgebung der Perlen sich auf die vier Bausteine der Ribonukleinsäuren (RNS) bezieht. Die Komplementärfarbe: rot-grün und blau-gelb bezeichnen jeweils die Nukleobasen, die sich der Natur bevorzugt aufgrund spezifischer Kraftwirkung zu Komplementärpaaren aneinanderlagern. Zwei Arten von Kupplungsverbindungen: die eine Verknüpfung die rote mit der grünen und die andere die blaue mit der gelben Perle, repräsentieren die Wasserstoffbrücken, die die komplementären Nukleobasen zusammenhalten.

Da es sich hier um ein "Evolutionsspiel" handelt, gilt es auch einen Mutationswürfel, und zwar in Form eines Tetraeders, dessen vier Flächen die Farben rot, grün, blau und gelb tragen. Mit diesem Würfel wird in jeder Spielrunde eine bestimmten Position befindlichen Perle entsprechend der erwürfelten Farbe "mutiert".

Ziel des Spiels ist nun, aus einer Zufallsanordnung der Kette möglichst schnell eine (ebene) Faltungsstruktur herzustellen, die sich durch eine maximale Zahl von komplementären Paaren auszeichnet. Der Mutationswurf gilt jeweils für die vorher vom Spieler angesagte Perle, und nur diese darf entsprechend der erwürfelten Farbe ausgewechselt werden, wann immer es vorteilhaft erscheint. Dabei müssen die folgenden Spielregeln strikt beachtet werden.

#### 1. Sterische Regel

Die Ausbildung von Basenpaaren zwischen verschiedenen Regionen einer Sequenz kann nur durch Faltung der Kette in der Ebene bewirkt werden, wobei notwendigerweise Schlaufen entstehen müssen. Aus sterischen Gründen dürfen jeweils fünf Perlen in einer solchen Schlaufe kleine Paarbindungen eingehen.

#### 2. Komplementaritätsregel

Wenn in der gefalteten RNS-Struktur zwei Perlen mit komplementären Farben (also rot-grün bzw. blau-gelb) einander gegenüberliegen und gleichzeitig die dritte Regel erfüllt ist gelten also Paar und werden durch eine Kupplung zusammengefügt.

#### 3. Kooperativitätsregel

Die Verkopplung zueinander komplementärer Perlen zu einem Paar darf erst dann erfolgen, wenn in ununterbrochener Reihenfolge mindestens vier rot-grüne oder zwei rot-grüne und ein blau-gelbes oder zwei blau-gelbe Paare auftreten. Für diese stabile Basenpaare braucht nicht weitergewürfelt zu werden. Sie gelten als selektiert.

**Bewertung:** Das Spiel endet nach einer vorgegeben Zahl von Runden oder "vorzeitig", sobald ein Spieler eine vollständig gepaarte Struktur vorweist. Gewinner ist in jedem Falle, wer die höchste Punktzahl erreicht. Jedes rot-grüne Paar ergibt einen, jedes blau-gelbe Paar zwei Punkte. Diese Art der Bewertung entspricht exakt der Wirklichkeit: Die Stabilität kooperativer blau-gelben Paare ist doppelt so hoch wie die der rot-grünen Paare. Es zählen aber nur die Kombinationen, die sich in kooperativen Regionen befinden, denn Einzelpaare sind bei Raumtemperatur instabil.

Bevor das Würfeln einsetzt, sucht jeder Spieler zuerst einmal seine Kette nach zufällig vorhandenen Komplementärpartnern ab, indem er die Kette irgendwie faltet und ausprobiert, welches Faltungsmuster die meisten "verborgenen" Komplementaritäten enthält. Das einfachste Muster wäre die Haarnadel; sie hat nur eine Schlaufe und bietet damit die maximal mögliche Zahl von Paaren. Aber es kommt nicht allein darauf an, so viele Paare wie möglich

zu bilden, sondern auch so schnell wie möglich eine gepaarte RNS-Struktur fertig zu stellen. So wird man also bald herausfinden, dass man mit Mustern, die einem drei- oder vierblättrigen Kleeblatt entsprechen, schnell das Ziel erreicht. Mit Hilfe dieser Struktur vorhandenen Komplementärpaaren ein optimale Ausgangsposition zu schaffen. Allerdings muss wegen der Kooperativitätsregel jedes "Blatt" noch eine bestimmte Mindestmenge von Perlen enthalten. Da pro Blatt jeweils fünf Perlen in der Schlaufenregion für die Bildung von komplementären Paaren verloren gehen, ergibt sich ein optimales Faltungsmuster, das von der Länge der Kette abhängt. Bei achtzig Perlen sind es gerade drei- bis vierblättrige Kleeblätter.



Beschreibung:

g: grün entspricht der Nukleobase Uracil (U)

e: gelb entspricht der Nukleobase Cytosin (C)

r: rot entspricht der Nukleobase Adenin (A)

b: blau entspricht der Nukleobase Guanin (G)

In der Abbildung oben ist eine zum Spielbeginn vorliegende beliebige Sequenz von 80 Nukleoiden (rot, gelb, grün, blau) gezeigt. Mit Hilfe eines Tetraeders, dessen Flächen entsprechend gefärbt sind, werden Mutationen erwürfelt. Diese Mutationen gelten als selektiert, sobald sie ein komplementäres Basenpaar ergeben (vergleiche Spielregeln). Aus der Gegenüberstellung der "Haarnadel" und der "Kleeblatt" Struktur geht klar hervor, dass die Kleeblattfaltung der Zufallssequenz mehr Basenpaare enthält und somit eine günstigere Ausgangsbasis darstellt als die Haarnadelfaltung

## 1.16 Kugelspiel "Information"

### 1.16.1 Beschreibung

#### 1. Version

Man benutzt ein Spielbrett, das in 8 x 8 Felder unterteilt ist. Jedes Feld hat einen Buchstaben bzw. ein Zwischenraumsymbol oder einen Joker eingezeichnet. Die Häufigkeit der Buchstaben und Zwischenraumsymbole entspricht der Wahrscheinlichkeitsverteilung ihres Vorkommens in der deutschen Sprache. Zum Spiel gehört auch noch ein Oktaederwürfelpaar. Es wird reihum gewürfelt, und jeder Spieler setzt jeweils eine Kugel seiner Farbe auf das erwürfelt, und jeder Spieler setzt jeweils eine Kugel seiner Farbe auf das erwürfelte Feld. Ist dieses bereits von einer eigenen Kugel belegt, so darf ein zweites Mal gewürfelt werden. Befindet sich dort jedoch eine gegnerische – noch nicht "stabilisierte" - Kugel, so wird diese entfernt und durch eine eigene ersetzt. Sobald man aus einer Gruppe von Buchstaben ein Wort bilden kann, darf man – muss aber nicht – die betreffenden Kugeln vermittlems einer speziellen Markierung (beispielsweise eines Pünktchens aus Selbsthaftender Folie) "stabilisieren" wodurch sie "unantastbar" werden. Sieger ist, wer als erster einen kompletten Satz erwürfelt hat.

Dieses Sprachspiel hat seinen Regeln zufolge ebenfalls direkten Bezug zur Wirklichkeit. Wie beim RNS-Spiel aus einer willkürlichen Anordnung von Perlen infolge Selektion einer stabilen Struktur resultiert, entsteht auch hier aus einer willkürlichen Mischung von Buchstaben schon bald ein sinnvoller Satz – dessen a-priori-Wahrscheinlichkeit äußerst klein ist. Oder anders ausgedrückt: Es gibt singuläre Buchstabenmengen, die durch einen besonders hohen Selektionswert ausgezeichnet sind. Die Mutationen, die sich auch in der Version des Spiels ständig durch das Hinauswerfen "nichtstabilisierter" Kugeln und ihre anschließende Selektion ergeben, spielen hier eine untergeordnete Rolle, da die Spieler die Buchstaben nach eigenem Ermessen zu Wörtern kombinieren dürfen.

#### 2. Version

Hier wird eine Spielfläche verwendet, auf der jeweils fünf zusammenhängende Felder einer Codeeinheit entsprechen. Der eine Spieler legt darauf mit Hilfe schwarzer und weißer Kugeln - nach einem dem Gegner nicht bekannten Code - einen Satz aus, der aus 20 bis 25 Buchstaben (100 - 125 Codesymbolen) besteht. Der Gegner - der sich Notizen machen darf - muss

nun den Sinn des Satzes durch Erraten der einzelnen Symbole herausbekommen. Für jede Frage, auf die nur mit ja oder nein geantwortet werden darf, muss er eine Kugel aus seinem Vorrat abtreten. Für jeden erratenen Buchstaben erhält er vom Kontrahenten eine Kugel. (Er kann beliebig viele Buchstaben mit einer Frage erraten.) Am Ende wird die verdoppelte Zahl, der "Fragekugeln" von der Zahl der »erratenen« Kugeln abgezogen. Die Differenz wird dem Spieler gutgeschrieben, für den sie positiv ausfällt. Zu jeder Runde gehören natürlich zwei Spiele, so dass jeder Spieler einmal die Rolle des Ratenden übernimmt.

Der Code, der ähnlich dem Fernschreibcode mit fünf Symbolen pro Buchstabe strukturiert ist, kann mit Hilfe eines einfachen Kombinationsschemas variiert werden, indem man beispielsweise zwei aufeinander zentrierte runde Papierscheiben gegeneinander verdreht, wobei der innere Ring die Buchstaben enthält und der äußere die fünfstelligen Codewörter. Es ist zweckmäßig, das Codeschema von vornherein so zu wählen, dass einander ähnliche Buchstaben wie f und v auch ähnliche Codewörter haben, die sich lediglich in der fünften Stelle unterscheiden. (Der genetische Code ist nach diesem Prinzip aufgebaut.) Man kommt mit Hilfe eines solchen gegen Fehler unempfindlichen Schemas schneller zum Ziel.

Am besten beginnt man beim Raten damit, die Zwischenraumsymbole zur Wortbegrenzung ausfindig zu machen und dann bei den Fragen soviel Information über Symbolhäufigkeit, Wortlängen, Syntax, etc. wie eben möglich zu verwerten.

### 3. Version

Der einzige Unterschied zur vorangegangenen Spielvariante ist, dass hier das Codeschema (zum Beispiel in Form des Fernschreibecodes) als bekannt vorausgesetzt wird (der Ratende orientiert sich anhand einer Codetabelle). Dafür kann er die Anordnung der Symbole nicht einsehen. Wiederum muss der ratende Spieler Fragen stellen, auf die nur mit ja oder nein geantwortet werden darf, und für jede gestellte Frage eine Kugel abgeben. Für jedes erratende Symbol (bzw. eine Folge davon bis maximal fünf Symbole = ein Buchstabe) werden ihm die entsprechenden Kugeln ausgehändigt. Die Bewertung erfolgt wie in der 2. Version.

Dieses Modell ist Shannons Sprachspiel sehr ähnlich, das bereits auf S.170 ausführlicher diskutiert wurde. Der vorsichtige Spieler kann mit Sicherheit jeden Buchstaben nach spätestens fünf Fragen identifizieren. Das bringt ihm aber noch keinen Gewinn ein. Er sollte also versuchen, möglichst viel Wissen über den Aufbau der Sprache in seine Fragen einzuflechten, um mit einem Minimum an Fragen auszukommen.

Abbildung:

	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	D	E	A	J	U	R	Y	N	0
1	Ö	Joker	T	S	N	G	Joker	Q	1
2	T	C	P	I	E	H	V	R	2
3	N	E	Ä	Joker	Joker	Ü	E	G	3
4	L	D	K	Joker	Joker	S	N	I	4
5	H	R	E	B	Z	O	A	T	5
6	X	Joker	M	L	U	R	Joker	F	6
7	N	D	C	I	S	E	W	E	7
	1	2	3	4	5	6	7	8	