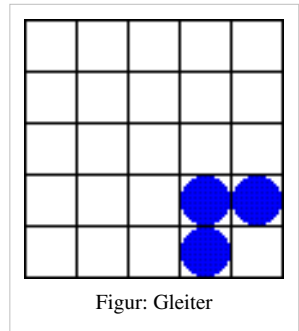


# Conways Spiel des Lebens

Das **Spiel des Lebens** (engl. *Conway's Game of Life*) ist ein vom Mathematiker John Horton Conway 1970 entworfenes System, basierend auf einem zweidimensionalen zellulären Automaten. Es ist eine einfache und bis heute populäre Umsetzung der Automaten-Theorie von Stanisław Marcin Ulam.

## Das Spielfeld

Das Spielfeld ist in Zeilen und Spalten unterteilt und im Idealfall unendlich groß. Jedes Gitterquadrat ist ein Zellulärer Automat (*Zelle*), der einen von zwei Zuständen einnehmen kann, welche oft als *lebendig* und *tot* bezeichnet werden. Zunächst wird eine Anfangsgeneration von lebenden Zellen auf dem Spielfeld platziert. Jede *lebende* oder *tote* Zelle hat auf diesem Spielfeld genau acht Nachbarzellen, die berücksichtigt werden (Moore-Nachbarschaft). Die nächste Generation ergibt sich durch die Befolgung einfacher Regeln.



Das Spiel kann manuell auf einem Stück Papier oder mit Computerhilfe simuliert werden. Da ein reales Spielfeld immer einen Rand hat, muss das Verhalten dort festgelegt werden. Man kann sich den Rand zum Beispiel durch tote Zellen belegt denken, so dass manche *Gleiter* ihre Bewegungsrichtung dort ändern. Eine andere Möglichkeit ist ein Torus-förmiges Spielfeld, bei dem alles, was das Spielfeld nach unten verlässt, oben wieder herauskommt und umgekehrt, und alles, was das Spielfeld nach links verlässt, rechts wieder eintritt und umgekehrt.

Alternativ kann man auch nur lebendige Zellen und ihre direkte Umgebung simulieren und bei Bedarf mehr Speicher allozieren, da große tote Flächen tot bleiben. So hat man zumindest ein quasi unendliches Feld.

Anstatt auf einer quadratisch gerasterten Ebene kann die Simulation auch auf einer sechseckig gerasterten Ebene erfolgen. Dann beträgt die maximale Zahl der Nachbarn nicht acht, sondern sechs. Es gibt auch dreidimensionale *Game of Life*-Simulationen.

Eine weitere Variationsmöglichkeit ist die Vergrößerung der möglichen diskreten Zustände einer Gitterzelle.

## Die Spielregeln

Die Folgegeneration wird für alle Zellen gleichzeitig berechnet und ersetzt die aktuelle Generation. Der Zustand einer Zelle, *lebendig* oder *tot*, in der Folgegeneration hängt nur vom Zustand der acht Nachbarzellen dieser Zelle in der aktuellen Generation ab.

Die von Conway zu Anfang verwendeten Regeln sind:

- Eine tote Zelle mit genau drei lebenden Nachbarn wird in der Folgegeneration neu geboren.
  - rot: Tote Zelle, die in der nächsten Generation geboren wird
  - grün: Lebende Nachbarn der Zelle
- Lebende Zellen mit weniger als zwei lebenden Nachbarn sterben in der Folgegeneration an Einsamkeit.
- Eine lebende Zelle mit zwei oder drei lebenden Nachbarn bleibt in der Folgegeneration lebend.
- Lebende Zellen mit mehr als drei lebenden Nachbarn sterben in der Folgegeneration an Überbevölkerung.
  - magenta: Lebende Zelle, die betrachtet wird
  - grün: Lebende Nachbarn der Zelle

Mit diesen vier einfachen Regeln entsteht aus bestimmten Anfangsmustern im Laufe des Spiels eine Vielfalt komplexer Strukturen. Einige bleiben unverändert, andere oszillieren und wieder andere wachsen oder vergehen. Manche Strukturen, sogenannte *Gleiter*, bewegen sich auf dem Spielfeld fort. Sogar für logische Funktionen wie

UND und ODER lassen sich Anfangsmuster finden. Damit können dann sogar komplexe elektronische Funktionen nachgebaut werden.

Es existieren weitere Varianten des *Game of Life*, bei denen Conways Regeln geändert oder ergänzt werden. Beispiele sind im Abschnitt Abweichende Regeln aufgeführt.

## Sichtweisen

Die Beschäftigung mit *Game of Life* kann unter verschiedenen Sichtweisen erfolgen, wie etwa:

1. Das Verhalten als Gesamtes:

Für einen Teil der Leute ist es interessant, was für ein Verhalten bestimmte Regelwelten aufweisen, zum Beispiel ob sie explodieren oder implodieren, ob sie langsam schrumpfen oder ob sie langsam „aushärten“.

2. Der biologische Aspekt: *Game of Life* als Mikrokosmos:

Für einen anderen Teil ist *Game of Life* wie der Blick in ein Mikroskop. Man beobachtet die kleinen Strukturen, die man abzählen und bewerten kann. Für diesen Typus ist es immer eine Freude, wenn eine neue „Lebensform“ auftaucht. Explodierende, expandierende oder gar „aushärtende“ Regelwelten sind hierbei uninteressant.

3. Der ökonomische Aspekt: *Game of Life* als Modell des Computerhandels der Finanzmärkte:

Die Algorithmen des Computerhandels kaufen ein Produkt, wenn einige, aber nicht zu viele und nicht zu wenige Nachbarn es auch schon besitzen. Wenn zu wenige es haben, verkauft man, bevor es ganz wertlos wird. Wenn zu viele es haben, verkauft man, bevor die Seifenblase platzt.

4. Der chemische Aspekt: Energie und Materie:

Wenn man die Häufigkeit, die Komplexität der *Game-of-Life*-Objekte mit dem Aufwand an Energie und Zwischenschritten vergleicht, die benötigt werden, um eine bestimmte chemische Verbindung zu erhalten, so kann man die unterschiedlichen Life-Objekte auf unterschiedliche *energetische* Niveaus setzen. Objekte, die bei jedem Ablauf vorkommen, wären dann auf dem Niveau von Wasser, Kohlenstoffdioxid und Natriumchlorid. Objekte, wie *Unruhe*(2) und *Fontäne*, wären dann beispielsweise auf einem Niveau wie Salzsäure und Natronlauge, und Objekte wie die *Segler* (*LWSS*, *MWSS* und *HWSS*), die auch zufällig entstehen können, wären schon auf dem Niveau relativ komplexer Verbindungen.

5. Der physikalische Aspekt: Kräfte und Anfangswertproblem:

Selbst die einfachsten physikalischen Gesetze können beliebig komplexes Verhalten als Gesamtes zeigen. Rein deterministisch/mechanisch können (beliebig) kleine Abweichungen der Startbedingung zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen führen. Somit lässt sich ein Anfangswertproblem formulieren, worauf chaotisches Verhalten folgt. Es folgen Endzustände, Schwingungen, Wachstum, aber auch dauerhaft unregelmäßiges Verhalten.

6. *Game of Life* als Automat:

Es gibt den Typus des *Game-of-Life*-Interessierten, der hauptsächlich an der Konstruktion von Automaten interessiert ist, also solchen Strukturen, die wie eine Maschine oder Fabrik arbeiten. Es gibt einen Verband aus Strukturen, der entfernt Ähnlichkeit mit einem Rollfeld eines Flughafens hat, auf dem ständig Flugzeuge starten, und dazwischen die Fahrzeuge, die den Betrieb aufrechterhalten, zu ihren Stationen fahren.

7. In der Theoretischen Informatik ist das *Game of Life* als Entscheidungsproblem interessant:

Man kann zeigen, dass es keinen Algorithmus gibt, der als Eingabe zwei beliebige *Game-of-Life*-Konfigurationen erhält und in allen Fällen entscheiden kann, ob eine Konfiguration aus der anderen entstehen kann oder nicht. Diese Frage ist damit unentscheidbar.

## Die Objekte

Auf dem Spielfeld zeigt sich mit jedem Generationsschritt eine Vielfalt komplexer Strukturen. Einige typische Objekte lassen sich aufgrund eventuell vorhandener besonderer Eigenschaften in Klassen einteilen: sie verschwinden, bleiben unverändert, verändern sich periodisch (oszillieren), bewegen sich auf dem Spielfeld fort, wachsen unaufhörlich usw.

### Statische Objekte

Statische Objekte bilden eine Klasse von Objekten, die sich im Spielverlauf ohne äußere Einflüsse nicht mehr verändern, also "stabile Zellsysteme" darstellen.

Beispiele für statische Objekte sind:



### Oszillierende Objekte

Hierbei handelt es sich um Objekte, die sich nach einem bestimmten Schema periodisch verändern, d. h. nach einer endlichen, festen Anzahl von Generationen wieder den Ausgangszustand erreichen.

Die einfachste zyklische Konfiguration ist eine horizontale oder vertikale Reihe von drei lebenden Zellen. Beim horizontalen Fall wird direkt ober- und unterhalb der Zelle in der Mitte eine lebende Zelle geboren, während die äußeren beiden Zellen sterben; so erhält man eine vertikale Dreierreihe.

Eine Reihe von zehn horizontal oder vertikal aneinander hängenden Zellen entwickelt sich sogar zu einem Objekt, das einen Zyklus von fünfzehn Generationen hat, dem *Pulsator*.

Beispiele oszillierender Objekte sind:

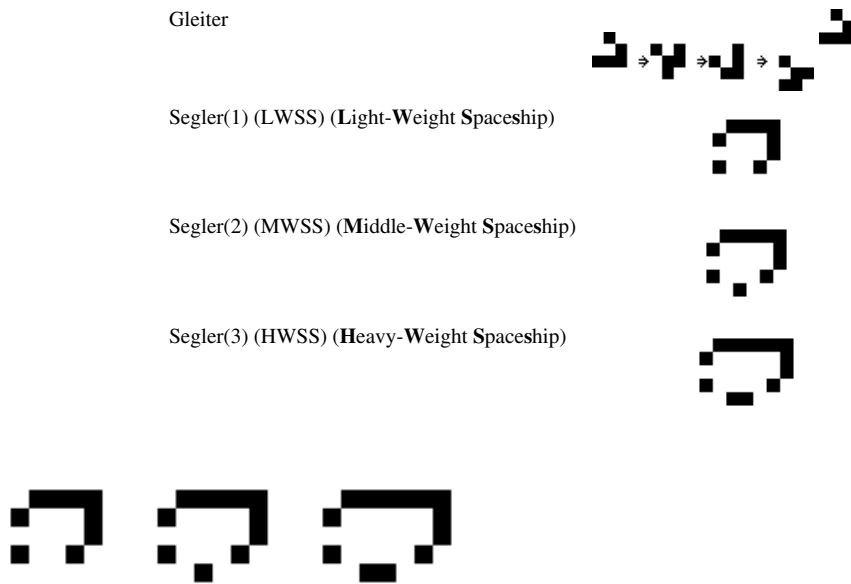
<b>Name</b>	Blinker	Uhr	Kröte	Bipole	Tripole	Fünfzehnkämpfer	Tümmeler	Oktagon
<b>Zyklen</b>	2	2	2	2	2	15	14	5

Der *Fünfzehnkämpfer* wird im englischen, aufgrund eines Zyklus aus 15 Schritten, *Pentadecathlon* genannt und ist ein Gleiter-Fresser. Der *Tümmeler*, auch *Stehaufmännchen* genannt, wird im englischen als *Tumbler* bezeichnet.

### Raumschiffe und Gleiter

Raumschiffe sind (zumeist oszillierende) Objekte, die eine feste Wegstrecke zurücklegen. Sie sind ein Beispiel der Emergenz-Erscheinungen des Spiels des Lebens; die wenigen Regeln des Spiels sagen nichts über Formen aus, die sich unendlich weit fortbewegen, und doch entstehen die Raumschiffe wegen dieser Regeln. Man kann zwischen den diagonalen Raumschiffen (zum Beispiel Gleiter und Qualle) und den vertikalen bzw. horizontalen Raumschiffen (zum Beispiel Segler) unterscheiden.

Beispiele für Raumschiffe sind:



*Ablauf einer Animation dieser drei Segler*

## Puffer

Die **Puffer** kann man zu den Raumschiffen zählen, wobei die Puffer im Gegensatz zu den Raumschiffen eine Spur von Objekten hinterlassen. Bei diesen Objekten kann es sich durchaus um andere komplexe Objekte, wie Gleiter oder Segler handeln.

## Andere Objekte

Daneben gibt es noch Anfangskonfigurationen, die innerhalb endlicher Zeitschritte ein „leeres“ Spielfeld erzeugen. Ein gutes Beispiel hierfür ist folgendes Startmuster:



Das Muster erzeugt innerhalb von 54 Generationen eine leere Welt:



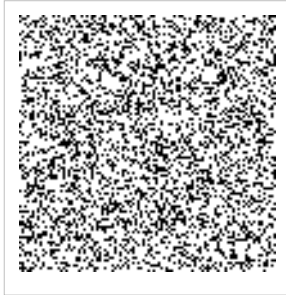
Eine weitere Möglichkeit sind völlig chaotische oder „explodierende“ Muster. Das f-Pentomino (auch r-Pentomino genannt) bewirkt trotz seiner Einfachheit ein Wachstum, welches über 1102 Generationen chaotisch erscheint, bis das Spielfeld vom 1103. Schritt an eine oszillierende Struktur bildet. (Ausgenommen ein paar wegfliegende Gleiter. Das Beispiel zeigt ein begrenztes Feld, in dem alles außerhalb immer tot ist.)



Ein anderes solches Objekt ist die Zahl 42 (mit jeder Zahl auf 3 mal 5 Kästchen), die nach 350 Schritten einige statische und einige oszillierende Objekte sowie 6 Gleiter produziert.<sup>[1]</sup>

### Entwicklung aus einer zufälligen Anfangsbedingung

Die folgende Animation zeigt die ersten 1500 Entwicklungsschritte auf einem 100×100 torusförmigen Spielfeld. Die Anfangskonfiguration ist zufällig mit 31,25 % lebenden Zellen. Jeder Zustand wird 0,1 Sekunden angezeigt. Jedes Pixel steht für genau eine Zelle.



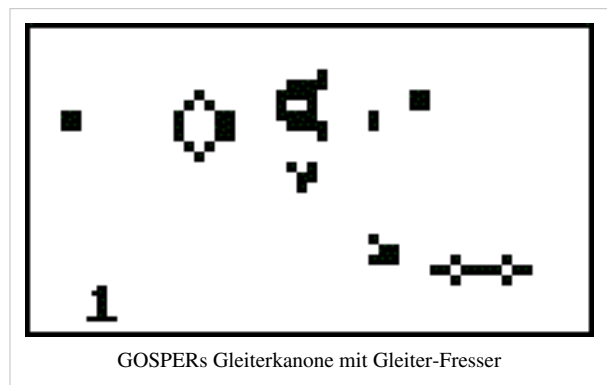
### Conways Herausforderung

Conway bot demjenigen einen Preis von 50 US-Dollar, der nachweisen konnte, dass mit Conways Spiel des Lebens unbegrenztes Wachstum möglich ist. Da für einen eindeutigen Beweis ein geordnetes Wachstum notwendig ist, waren die chaotischen explosionsartigen Vermehrungen ungeeignet.

Die erste Lösung für dieses Problem – eine so genannte *Gleiterkanone*, die in regelmäßigen Abständen einen Gleiter hervorbringt – wurde 1970 von dem amerikanischen Mathematiker Bill Gosper präsentiert. Der Gleiter erzeugt innerhalb von vier Generationen eine verschobene Kopie von sich selbst, und somit kann die *Kanone* an derselben Stelle den nächsten Gleiter erzeugen.

Es ist möglich, aus Kollisionen von Gleitern eine Gleiterkanone zu erzeugen. Damit kann die Bewegungsrichtung der Gleiter geändert werden, und es besteht die theoretische Möglichkeit, selbstreplizierende Automaten zu konstruieren.

In der oberen Bildhälfte befindet sich die Gleiter-Kanone, die in 30 Generationen einmal pulsiert und dabei einen Gleiter erzeugt. Im rechten, unteren Teil des Bildes befindet sich der Gleiter-Fresser, der in 15 Generationen einmal pulsiert und bei jeder zweiten Pulsation einen Gleiter zerstört. Die Gleiter bewegen sich von der Bildmitte nach rechts unten. Links unten läuft der Generationen-Zähler mit. In der Bildbeschreibung befinden sich Links zu dem die Animation erzeugenden GW-BASIC-Programm und zu den Startdaten.

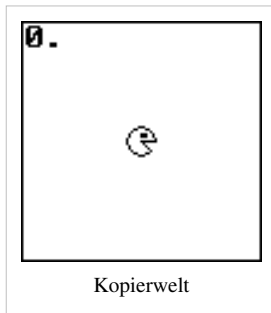


GOSPERs Gleiterkanone mit Gleiter-Fresser

Mittlerweile wurden unüberschaubar viele Konstellationen gefunden, die ähnlich wie die einfache Gleiterkanone laufend Zellen produzieren. Neben Gleitern und verschiedenen Seglern sind sogar komplexe Kanonen gefunden worden, die selbst Gleiterkanonen „feuern“. Zusammen mit anderen nützlichen Gebilden, wie sich fortbewegende Kanonen, Gleiter-Reflektoren oder Relays (Gebilde, die etwa Gleiter für einige Generationen bremsen), bilden sie Werkzeuge für das Entwerfen komplexer Automaten wie etwa der Turingmaschine. Es ist somit bewiesen, dass Conway's Game of Life Turing-vollständig ist.

Im Jahr 2012 wurde erstmals eine Konstellation vorgestellt, die in der Lage war, ein Spielfeld zu simulieren, das den Regeln von Conways Spiel des Lebens entsprach (Selbstsimulation).<sup>[2][3]</sup>

## Abweichende Regeln



Man kann sich abweichende Regeln zum klassischen „Game of Life“ vorstellen. Das folgende Regelwerk definiert beispielsweise ein sich reproduzierendes System, eine Kopierwelt.

- Todes-Regel: Eine Zelle mit genau 0, 2, 4, 6 oder 8 Nachbarn stirbt.
- Geburts-Regel: 1, 3, 5 oder 7 lebende Nachbarn erzeugen (oder erhalten) eine lebende Zelle.

Wenn man in dieser Kopier-Welt eine Struktur in Form des Buchstaben H zeichnet, so werden lauter identische H-Buchstaben erzeugt.

Bei größeren Ausgangsmustern sorgt dieses Regelwerk sogar selbständig für ein Auseinanderrücken der vorher kollidierenden Kopien.

Die Kopien der Ausgangsmuster treten bei Zyklennummern auf, die ein Vielfaches von 4 sind.

Bei größeren Ausgangsmustern treten sie aber nicht bei jedem Vielfachen von 4 auf.

Um sich beim Vergleich verschiedener Regelwerke eine umständliche Umschreibung der Regeln zu ersparen, existiert eine Kurzschreibweise für die Regeln von Game of Life: Man setzt zunächst (in aufsteigender Reihenfolge) die Ziffern der Anzahl von Nachbarn aneinander, bei der eine Zelle überlebt, und anschließend, durch einen

Schrägstrich abgetrennt, die Ziffern, die den Werten entsprechen, bei der eine Zelle geboren wird.

Die klassische Conway-Welt wird durch 23/3 beschrieben, die oben beschriebene Kopierwelt durch 1357/1357.

Es wurden auch Regeln für mehrdimensionale Räume entwickelt. Hier entstehen aber natürlich Darstellungsprobleme.

Sehr dicht an das Verhalten nach dem klassischen 23/3-Regelwerk von Conway (zwei oder drei Nachbarn erhalten eine Zelle, drei Nachbarn erzeugen eine neue Zelle) kommen die Regelwerke 34/3 und 35/3.

Die Anzahl aller möglichen Regelwerke ergibt sich aus der Anzahl der Möglichkeiten, Ziffern zwischen 0 und 8 vor und nach dem Schrägstrich auszuwählen. Insgesamt sind daher  $2^9 \cdot 2^9 = 2^{18} = 262144$  Regelwerke denkbar, von denen die meisten jedoch uninteressant sind. Einige der interessanteren werden im Folgenden beschrieben.

### Die 3/3-Welt

Statische Objekte: Bisher eines, nämlich der schon erwähnte 2\*2-Block:



Quadro

Der der Conway-Welt zugeschriebene Block ist tatsächlich ein 3/3-Objekt, denn jede Zelle dieses Blocks hat 3 Nachbarn, und darum ist die Zwei-Nachbarn-Regel uninteressant.

In der 3/3-Welt gibt es zum Beispiel diese oszillierenden Objekte:



Pedal Kegel Unruhe(1) Strudel

Alle diese Objekte außer Unruhe(1) funktionieren auch in allen möglichen Variationen von Regelwelten bis 345678/3, also auch in den 34/3- und 35/3-Regelwelten. Unruhe(1) funktioniert in allen Variationen, in denen 3/3

enthalten ist und 0/0124 nicht, und damit auch in der Conway-Welt (23/3). Solche Objekte kann man als Wanderer bezeichnen.

Die meisten Objekte können in dieser Regelwelt allerdings nicht überleben, so dass sich das Spielfeld bei zufälligen Startbedingungen meistens innerhalb von ein paar wenigen Generationen bis auf ein paar wenige Teile komplett leert.

## Die 13/3-Welt

Dies ist eine Regelwelt mit wenigen oszillierenden Objekten. Die meisten Objekte sind "verkrüppelt".

Wenigstens die drei folgenden, oszillierenden Objekte gibt es:



Pingpong O1G3(2) (Zweites oszillierendes Objekt in der 1G3-Welt, auch als O13-3(2) schreibbar)



Pseudo-Gleiter

Als eine Variante der 13/3-Regelwelt kann man die 135/35-Regelwelt betrachten.

## Die 34/3-Welt

Oszillierende Objekte der 34/3-Welt:



Strange Frosch O4G3(3) O4G3(4) Pedal Kegel Unruhe(1) Strudel

Neben Strange und Frosch kommen auch die 3/3-Objekte Pedal, Kegel, Unruhe(1) und Strudel vor.

## Die 35/3-Welt

In der 35/3-Welt gibt es zum Beispiel diese drei sich bewegenden Objekte:



Schwimmer(1) und Schwimmer(2)

35/3-Segler

Ebenso wie in der 34/3-Regelwelt kommen die oszillierenden Objekte Pedal, Kegel, Unruhe(1) und Strudel in der 35/3-Regelwelt vor.

## Die 23/3-Welt

Diese Regelwelt hätte eigentlich an die erste Stelle gehört, da sie ein wichtiges, oszillierendes Objekt enthält, das eigentlich der 23/3-Welt, also Conways Life zugeordnet wird, zu der es kompatibel ist:



O2-3(1) Unruhe(2)

Damit existieren wenigstens drei oszillierende Objekte, inklusive Unruhe(1), die fälschlicherweise exklusiv *Conway's Game of Life* (23/3) zugeordnet werden.

## Die 24/3-Welt

statische Objekte:



oszillierende Objekte:



O24-3(1) O24-3(3) Seegurke O24-3(4)

## Die 245/3-Welt

Neben den oszillierenden Objekten, die auch in der 24/3-Regelwelt vorkommen, existieren hier auch noch ein paar andere oszillierende Objekte:



O245-3(1) O245-3(2)

Das besondere aber ist das Vorkommen eines sich bewegendes 7-Zyklus-Objekts, das in seiner Art der Bewegung einer Qualle ähnelt:

Qualle



## Die 125/36-Welt

In der 125/36-Regelwelt existieren diese beiden oszillierenden Strukturen:



O125-36(1) O125-36(2)

## Antiwelten

Zu jeder Regelwelt gibt es eine Antiregelwelt, in der Form, dass alles invertiert ist. Also alle Zellen, die sonst tot sind, leben, und alle Zellen, die sonst leben, sind tot. Dies zeigt sich im Ablauf durch ein schwarzes Feld, auf dem die Strukturen weiß sind.

Um eine solche Antiregelwelt zu erzeugen, kann man die Regeln in Form eines Schalterfeldes darstellen:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
G									
T									

- **G** steht für Geburt.
- **T** steht für Tod.

Die folgende Belegung bedeutet, dass bei drei Nachbarn eine tote Zelle lebendig wird und eine lebende Zelle bei keinem oder einem sowie bei vier bis acht Nachbarn stirbt und ansonsten der Zustand einer Zelle unangetastet bleibt:

### Conway-Regeln

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
G									
T									

Wenn man die Zustände des Schalterfelds um 180° rotiert (nicht spiegelt oder kippt), erhält man die Antiregeln:

### Anti-Conway-Regeln

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
G									
T									

## Alternative Regel-Bezeichnung

Regel-Bezeichnung		Kommentar
3/3	G3	
13/3	1G3	
23/3	2G3	Conways Original- <i>Game of Life</i>
34/3	4G3	
35/3	5G3	
236/3	26G3	explodierend, teilweise mit den Strukturen aus 23/3
135/35	1G35	erweitertes 13/3
12345/3	1245G3	eine Welt, in der ein sich ausbreitendes, labyrinthartiges Muster entsteht
1357/1357	G1357	ein Kopiersystem, wobei sich aus einfachen kleinen Strukturen komplexe Muster entwickeln können
24/35	—	
0123/01234	—	eine blinkende Fleckenwelt

Anti-Regeln		Kommentar
01234678/0123478	6G0123478	Anti-Conway
01234678/0123678	4G0123678	Anti-4G3
02468/02468	G02468	Anti-Kopiersystem

## Ineinander übergehende Regelwelten

Denkbar sind "Game of Life"-Simulationen, bei denen abgegrenzte Bereiche (zum Beispiel linke und rechte Seite) jeweils einer anderen Regelwelt unterzogen werden. Dabei könnte man sich bewegende *Wanderer*, die in beiden Regelwelten existieren können, aufspüren.

## Simulationsprogramme

Hier werden ein paar Simulationsprogramme für Conways Game of Life eingeführt.

Ersteller	Design	Download/Forumlänk	Speichermöglichkeit?	Regelauswahl?
Zicore	Farbig	--> Forumthread <sup>[4]</sup>	Zwischenspeicher und als Datei	Alle möglichen Regelkombinationen
Quadsoft	Schwarz/weis	--> Download <sup>[5]</sup>	Keine	Nur 23/3
Unbekannt	Einfache Java-Sript-tabelle, Schwarz/weis	--> zur Webseite <sup>[6]</sup>	Keine	Nur 23/3

## Beispielimplementierung in Haskell

Eine Beispielimplementierung in Haskell benötigt ca. 30 Zeilen:

```
module Main where
import Data.List (intersect)
import Control.Concurrent (threadDelay)
type Coordinate = (Int, Int)
data Board = Board { aliveSpaces :: [(Int, Int)], xVal :: Int, yVal :: Int }
```

```

main :: IO ()
main = life (Board ([ (1,0), (2,1), (0,2), (1,2), (2,2) ] ++
    [(x,15) | x <- [41..50], x/=43, x/=49] ++ [(x,10) | x <- [10..13]] ++
    [(x,y) | x<- [43,49], y <- [14,16]])) 80 23)

life :: Board -> IO ()
life b = putStr "\ESC[2J" >> print b >> threadDelay 25 >> life (nextStage b)

instance Show Board where
    show b = let lat = [(x,y) | x <- [0..xVal b -1] | y <- [0..yVal b -1]]
                showSpace b s | s `elem` aliveSpaces b = 'O'
                             | otherwise = ' ' in
                unlines (map (map (showSpace b)) lat)

ns :: Board -> Coordinate -> [Coordinate]
ns b t@(i,j) = let o = [(a,b) | a <- [i-1..i+1], b <- [j-1..j+1], (a,b) /= t] in
    intersect (map (\(x,y) -> (x `mod` xVal b, y `mod` yVal b)) o)
    (aliveSpaces b)

nextStage :: Board -> Board
nextStage b = let lat = [(x,y) | x <- [0..xVal b -1], y <- [0..yVal b -1]]
                wba b s | length (ns b s) == 2 = s `elem` aliveSpaces
                | length (ns b s) == 3 = True
                | otherwise = False in
    Board (filter (wba b) lat) (xVal b) (yVal b)

```

## Einzelnachweise

- [1] Conway's game of life (in html 5) (<http://math-fail.com/2010/07/conways-game-of-life-in-html-5.html>) auf Math Fail
- [2] Turtles, all the way down. Or gliders. Or glider turtles. (<http://www.jwz.org/blog/2012/05/turtles-all-the-way-down-or-gliders-or-glider-turtles/>) Blogpost über Selbstsimulation mit Video
- [3] <http://otcametapixel.blogspot.de/>
- [4] <http://www.zicore.de/index.php?page=Thread&postID=877#post877>
- [5] [http://download.chip.eu/de/Conway\\_s-Life\\_6017253.html](http://download.chip.eu/de/Conway_s-Life_6017253.html)
- [6] <http://www.mah-jongg.ch/gameoflife/gameoflife.html>

## Weblinks

- Ausführliches Wiki über Conway's Game of Life (<http://www.conwaylife.com/wiki/>)
- Ausführlicher Objektkatalog (<http://www.pentadecathlon.com>) (statische, oszillierende, bewegende)
- Das Game of life simuliert das Game of life, Video (<http://www.youtube.com/watch?v=xP5-iIeKXE8>)
- Game of Life Universal Turing Machine, Video (<http://www.youtube.com/watch?v=My8AsV7bA94>)

## Simulationen

- Eine Implementierung von Conway's Game of Life in C# ([http://download.chip.eu/de/Conway\\_s-Life\\_6017253.html](http://download.chip.eu/de/Conway_s-Life_6017253.html))
- Kai Franz. Dokumentation/Quellcode eines 3d game of life innerhalb eines 2.5d zellulären Automaten (<http://www.ca.kaifranz.de>)

## Java- und JavaScript-Applikationen

- [www.mah-jongg.ch/gameoflife](http://www.mah-jongg.ch/gameoflife) (<http://www.mah-jongg.ch/gameoflife/>)
- [www.klausjank.de/conway](http://www.klausjank.de/conway) (<http://www.klausjank.de/conway/>)
- [www.denkoffen.de/Games/SpieldesLebens/](http://www.denkoffen.de/Games/SpieldesLebens/) (<http://www.denkoffen.de/Games/SpieldesLebens/>)
- [www.ibiblio.org/lifepatterns](http://www.ibiblio.org/lifepatterns) (<http://www.ibiblio.org/lifepatterns/>)
- [www.hexatron.com/hexca](http://www.hexatron.com/hexca) (<http://www.hexatron.com/hexca/>) (hexagonal)
- [www.gridlife.info](http://www.gridlife.info) (<http://www.gridlife.info>)

**implemented in Brainfuck**

- <http://www.linusakesson.net/programming/brainfuck/index.php>

# Quelle(n) und Bearbeiter des/der Artikel(s)

**Conways Spiel des Lebens** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?oldid=125156232> *Bearbeiter:* \*Bytewurm, 790, Abrixas2, Aka, AlfonsGeser, Alma, AlterVista, Amatek, Androl, Arbol01, Avatar, Ayacop, BlueFiSH.as, Baikonur, Batrox, Bernhard55, Bleckneuhaus, Blinry, CaZeRillo, Cholo Aleman, Chrisha, CommonsDelinker, Conny, Cweiseke, DSGalakos, Darkking3, Der Lange, DevSolar, DickHuuhn, DownAnUp, Elborn, Elvis untot, Faxel, FelixReimann, Flominator, Florian Adler, Fschoenm, Fxp, G.kunter, Garak76, Gohnarch, Gorwin, Grim.fandango, Gruftelfe, HROestTypo, HaSee, Hanno Wupper, Hati, Hchrm, He3nry, Hobelbruder, Horst Gräbner, Hubi, Itangast, Jknabe, Johannes Mockenhaupt, Jonathan Haas, Jowereit, Jpp, KGF, Kaisersoft, Karl Bednarik, Karl-Henner, Kdkeller, Kevinin, KlausJank, Knopfkind, Korelstar, Kulac, Kulmbacher, Kungfuman, MGla, Martin Bahmann, Matze12, Merlin G., Michileo, Mideg, Mihi, Mijoz, Mikue, Mitja, Mkill, Mps, NetAction, Nils-Hero, Nivram, Nobart, NobbiP, Olaffri, Olliminatore, Omnibrain, Peng, Peter200, PeterZF, PhilippWeissenbacher, Phulab, Polluks, PolygonCat, Priwo, Proxima, Purodha, Radiojunkie, Rat, Rohieb, RokerHRO, Rotkaeppchen68, Römert, SK-Genius, Saehrimmir, Scherben, Schewek, Schmidtdtchen, Snoyes, Spuk968, Staro1, Staub, Stay cool, Stern, Stummi, Supermartl, Tabora, Tarquin, Thomas Arnhold, Tilo Körner, Timmy, Tobias Bergemann, Tsor, Ussschrotti, Uwe Gille, Waterborough, Whynotzoidberg, Wiegels, Wrlprnft, XMarten, XRay, Xampox, Zahnstein, Zaungast, Zinnmann, Zollernalb, Zumthie, 202 anonyme Bearbeitungen

# Quelle(n), Lizenz(en) und Autor(en) des Bildes

**Datei:GameOfLife Glider Animation.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:GameOfLife\\_Glider\\_Animation.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:GameOfLife_Glider_Animation.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Dbenbenn, Duesentrieb, Plugwash

**Datei:2g3 stabile.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3\\_stabile.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3_stabile.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Arbol01 at de.wikipedia. Later version(s) were uploaded by Hchrm at de.wikipedia.

**Datei:2g3 o01.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3\\_o01.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3_o01.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Arbol01 at de.wikipedia

**Datei:G3 unruehe.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:G3\\_unruhe.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:G3_unruhe.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arbol01

**Datei:2-3 unruehe.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2-3\\_unruhe.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2-3_unruhe.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn

**Datei:2g3 blinker.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3\\_blinker.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3_blinker.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arbol01

**Datei:2g3 2-laser.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3\\_2-laser.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3_2-laser.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arbol01

**Datei:pulsator.gif** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Pulsator.gif> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, BartekChom, Dbenbenn

**Datei:2g3 fontaine.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3\\_fontaine.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3_fontaine.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arbol01

**Datei:2g3 z5.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3\\_z5.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3_z5.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:Arbol01

**Datei:Glider (Conways Spiel des Lebens).gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Glider\\_\(Conways\\_Spiel\\_des\\_Lebens\).gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Glider_(Conways_Spiel_des_Lebens).gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Wrlprnft

**Datei:Glider Animation (Conways Spiel des Lebens).gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Glider\\_Animation\\_\(Conways\\_Spiel\\_des\\_Lebens\).gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Glider_Animation_(Conways_Spiel_des_Lebens).gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:Wrlprnft

**Datei:Lwss.PNG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Lwss.PNG> *Lizenz:* Public domain *Bearbeiter:* Arbol01, Forrester, Heubergen, Quedel

**Datei:Mwss.PNG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Mwss.PNG> *Lizenz:* Public domain *Bearbeiter:* Arbol01, Avantenor, Forrester, Heubergen, Ireas

**Datei:Hwss.PNG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Hwss.PNG> *Lizenz:* Public domain *Bearbeiter:* Arbol01, Avantenor, Forrester, Heubergen, Ireas

**Datei:2g3 segler.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3\\_segler.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2g3_segler.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Arbol01 at de.wikipedia

**Datei:Game of life U.JPG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Game\\_of\\_life\\_U.JPG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Game_of_life_U.JPG) *Lizenz:* Public domain *Bearbeiter:* Akkakk, Avantenor, Christian1985, Stummi

**Datei:Game of life U.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Game\\_of\\_life\\_U.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Game_of_life_U.gif) *Lizenz:* Public domain *Bearbeiter:* Akkakk, Avantenor, ChristianBier, Jodo, Magioladitis, Stummi

**Datei:R-PENTOM r-Pentomino.jpg** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:R-PENTOM\\_r-Pentomino.jpg](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:R-PENTOM_r-Pentomino.jpg) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Karl Bednarik

**Datei:Game of life f pent.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Game\\_of\\_life\\_f\\_pent.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Game_of_life_f_pent.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Stummi

**Datei:game of life torus 100 100 1500.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Game\\_of\\_life\\_torus\\_100\\_100\\_1500.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Game_of_life_torus_100_100_1500.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* AlterVista at de.wikipedia

**Datei:CONWAY-3 Glider Gun Glider Eater.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:CONWAY-3\\_Glider\\_Gun\\_Glider\\_Eater.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:CONWAY-3_Glider_Gun_Glider_Eater.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Eingangskontrolle, Magog the Ogre, NordNordWest

**Datei:CONWAY47 KOPIERWELT.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:CONWAY47\\_KOPIERWELT.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:CONWAY47_KOPIERWELT.gif) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Benutzer:Karl Bednarik

**Datei:CONWAY40 KOPIERWELT 112.PNG** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:CONWAY40\\_KOPIERWELT\\_112.PNG](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:CONWAY40_KOPIERWELT_112.PNG) *Lizenz:* Public Domain *Bearbeiter:* Benutzer:Karl Bednarik at de.wikipedia

**Datei:Quadro.PNG** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Quadro.PNG> *Lizenz:* Public domain *Bearbeiter:* Akkakk, Arbol01, Forrester

**Datei:G3 pedal.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:G3\\_pedal.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:G3_pedal.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arbol01

**Datei:G3 kegel.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:G3\\_kegel.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:G3_kegel.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arbol01

**Datei:G3 strudel.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:G3\\_strudel.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:G3_strudel.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arbol01

**Datei:1g3 pingpong.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:1g3\\_pingpong.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:1g3_pingpong.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arbol01

**Datei:1g3 o 02.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:1g3\\_o\\_02.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:1g3_o_02.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* User:Arbol01

**Datei:PG 13G3.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PG\\_13G3.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:PG_13G3.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:Stummi

**Datei:4g3 strange.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:4g3\\_strange.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:4g3_strange.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, Duesentrieb, Plugwash

**Datei:4g3 frog.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:4g3\\_frog.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:4g3_frog.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, Duesentrieb, Ilmari Karonen, Plugwash, Ukko.de

**Datei:4g3 o 03.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:4g3\\_o\\_03.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:4g3_o_03.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, Duesentrieb, Plugwash

**Datei:4g3 o 04.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:4g3\\_o\\_04.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:4g3_o_04.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, Duesentrieb, Plugwash

**Datei:GOL 35 3 schwimmer.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:GOL\\_35\\_3\\_schwimmer.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:GOL_35_3_schwimmer.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Akkakk, Avantenor, Stummi

**Datei:Segler 5g3.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Segler\\_5g3.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Segler_5g3.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, 2 anonyme Bearbeitungen

**Datei:2-3 O1.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2-3\\_O1.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2-3_O1.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn

**Datei:2-3 unruehe.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2-3\\_unruhe.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:2-3_unruhe.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn

**Datei:Convay17615160.gif** *Quelle:* <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Convay17615160.gif> *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Original uploader was Stummvoll at de.wikipedia

**Datei:SDL 24G3 Stat1.Gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:SDL\\_24G3\\_Stat1.Gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:SDL_24G3_Stat1.Gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Benutzer:Stummi

**Datei:24 3 3.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:24\\_3\\_3.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:24_3_3.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, Duesentrieb, Ilmari Karonen, Plugwash, Ukko.de

**Datei:24 3 1.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:24\\_3\\_1.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:24_3_1.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, Duesentrieb, Plugwash

**Datei:24 3 2.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:24\\_3\\_2.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:24_3_2.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, Duesentrieb, Plugwash

**Datei:O 24-3 4.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:O\\_24-3\\_4.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:O_24-3_4.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, Duesentrieb, Plugwash

**Datei:24 3 5.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:24\\_3\\_5.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:24_3_5.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn, Duesentrieb, Plugwash

**Datei:245-3 01.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:245-3\\_01.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:245-3_01.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn

**Datei:245-3 02.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:245-3\\_02.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:245-3_02.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn

**Datei:245-3 qualle.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:245-3\\_quette.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:245-3_quette.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn

**Datei:125-36 01.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:125-36\\_01.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:125-36_01.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn

**Datei:125-36 02.gif** *Quelle:* [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:125-36\\_02.gif](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:125-36_02.gif) *Lizenz:* GNU Free Documentation License *Bearbeiter:* Arbol01, Dbenbenn

# Lizenz

### Wichtiger Hinweis zu den Lizenzen

Die nachfolgenden Lizenzen bezieht sich auf den Artikeltext. Im Artikel gezeigte Bilder und Grafiken können unter einer anderen Lizenz stehen sowie von Autoren erstellt worden sein, die nicht in der Autorenlste erscheinen. Durch eine noch vorhandene technische Einschränkung werden die Lizenzinformationen für Bilder und Grafiken daher nicht angezeigt. An der Behebung dieser Einschränkung wird gearbeitet. Das PDF ist daher nur für den privaten Gebrauch bestimmt. Eine Weiterverbreitung kann eine Urheberrechtsverletzung bedeuten.

### Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported - Deed

Diese "Commons Deed" ist lediglich eine vereinfachte Zusammenfassung des rechtsverbindlichen Lizenzvertrages ([http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen\\_Commons\\_Attribution-ShareAlike\\_3.0\\_Unported](http://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Lizenzbestimmungen_Commons_Attribution-ShareAlike_3.0_Unported)) in allgemeinverständlicher Sprache.

Sie dürfen:

- das Werk bzw. den Inhalt **vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen**
- Abwandlungen und Bearbeitungen** des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen

Zu den folgenden Bedingungen:

- Namensnennung** — Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen.
- Weitergabe unter gleichen Bedingungen** — Wenn Sie das lizenzierte Werk bzw. den lizenzierten Inhalt bearbeiten, abwandeln oder in anderer Weise erkennbar als Grundlage für eigenes Schaffen verwenden, dürfen Sie die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrages identisch, vergleichbar oder kompatibel sind.

Wobei gilt:

- Verzichtserklärung** — Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die ausdrückliche Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
- Sonstige Rechte** — Die Lizenz hat keinerlei Einfluss auf die folgenden Rechte:
  - Die gesetzlichen Schranken des Urheberrechts und sonstigen Befugnisse zur privaten Nutzung;
  - Das Urheberpersönlichkeitsrecht des Rechteinhabers;
  - Rechte anderer Personen, entweder am Lizenzgegenstand selber oder bezüglich seiner Verwendung, zum Beispiel Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen.
- Hinweis** — Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen alle Lizenzbedingungen mitteilen, die für dieses Werk gelten. Am einfachsten ist es, an entsprechender Stelle einen Link auf <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de> einzubinden.

Haftungsbeschränkung

Die „Commons Deed“ ist kein Lizenzvertrag. Sie ist lediglich ein Referenztext, der den zugrundeliegenden Lizenzvertrag übersichtlich und in allgemeinverständlicher Sprache, aber auch stark vereinfacht wiedergibt. Die Deed selbst entfaltet keine juristische Wirkung und erscheint im eigentlichen Lizenzvertrag nicht.

### GNU Free Documentation License

Version 1.2, November 2002

Copyright (C) 2000,2001,2002 Free Software Foundation, Inc.

51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies

of this license document, but changing it is not allowed.

### 0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others. This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It implements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

### 1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties; any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

### 2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

### 3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all those Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

### 4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A.** Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B.** List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C.** State on the Title Page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D.** Preserve all the copyright notices of the Document.
- E.** Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F.** Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G.** Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- H.** Include an unaltered copy of this License.
- I.** Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- J.** Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.

- **K.** For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- **L.** Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- **M.** Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- **N.** Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- **O.** Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

## 5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

## 6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

## 7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

## 8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

## 9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

## 10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.

## ADDENDUM: How to use this License for your documents

To use this License in a document you have written, include a copy of the License in the document and put the following copyright and license notices just after the title page:

Copyright (c) YEAR YOUR NAME.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document

under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2

or any later version published by the Free Software Foundation;

with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts.

A copy of the license is included in the section entitled

"GNU Free Documentation License".

If you have Invariant Sections, Front-Cover Texts and Back-Cover Texts, replace the "with...Texts." line with this:

with the Invariant Sections being LIST THEIR TITLES, with the

Front-Cover Texts being LIST, and with the Back-Cover Texts being LIST.

If you have Invariant Sections without Cover Texts, or some other combination of the three, merge those two alternatives to suit the situation.

If your document contains nontrivial examples of program code, we recommend releasing these examples in parallel under your choice of free software license, such as the GNU General Public License, to permit their use in free software.