|  |
| --- |
| Facharbeit |
| Zelluläre Automaten |
| Am Beispiel Waldbrand |

Gymnasium Arnoldinum Schuljahr 2011/12

Jahrgangsstufe: Q1

|  |
| --- |
| Name: Jan ScheiperKurs: M01, Herrn WaltersAbgabetermin: 24.04.2012Bearbeitungszeit: 8 Wochen |

Inhaltsverzeichnis

[Vorwort 3](#_Toc323075308)

[Definition: Zelluläre Automaten 4](#_Toc323075309)

[Geschichte 4](#_Toc323075310)

[Meine Simulation 6](#_Toc323075311)

[Das Programm 6](#_Toc323075312)

[Der Konstuktor 6](#_Toc323075313)

[Die Methode init() 7](#_Toc323075314)

[Die Methode render() 10](#_Toc323075315)

[Der Algorithmus/ Die Methode update() 11](#_Toc323075316)

[Versuche & Analysen 14](#_Toc323075317)

[Versuche 14](#_Toc323075318)

[Durchschnittliche Anzahl an Zyklen 14](#_Toc323075319)

[Analysen 16](#_Toc323075320)

[Quellen & Links 17](#_Toc323075321)

# Vorwort

Bevor ich zu der eigentlichen Facharbeit komme, hier einige Worte vorweg; Diese Facharbeit hat nicht den Anspruch Zelluläre Automaten von Grund auf neu zu erfinden und zu erforschen, sie ist lediglich ein Versuch Zelluläre Automaten an einem Bespiel zu untersuchen und zu visualisieren. Die durchgeführte Simulation, stellt die Ausbreitung eines Waldbrandes anhand einer in Java geschriebenen Simulation dar. Die Simulation steht zum Download unter [L1]. Mit dieser Information, komme ich schon zu der Quellenangabe. Eine Quelle ist durch eine in eckigen Klammern geschriebene Zahlen- und Buchstabenkombination (z.B. Q5 für „Quelle 5“) angegeben. Die exakte Quelle oder der Link steht im Abschnitt „Quellen & Links“.

Dieses Dokument beginnt mit der Definition der Zellulären Automaten, danach folgt eine Einführung in die Idee und die Arbeitsweise meiner Simulation. Schließlich folgt eine Auswertung der Ergebnisse des Verhaltens.

Wichtiger Hinweis: Der abgedruckte Code kann vom tatsächlichen Code abweichen, da dieser Kommentare aufweist und z.T. nachträglich leicht verändert wurde. Die Funktionsweise ist aber identisch.

# Definition: Zelluläre Automaten

Der Wikipedia Definition nach sind Zelluläre Automaten eine Methode zur „Modellierung räumlich diskreter dynamischer Systeme, wobei die Entwicklung einzelner Zellen zum Zeitpunkt *t+1* primär von den Zellzuständen in einer vorgegebenen Nachbarschaft und vom eigenen Zustand zum Zeitpunkt *t* abhängt.“ [Q1] Ein zellulärer Automat besteht aus mehreren Zellen in Raum und einer oder mehreren Vorschriften die die Entwicklung bestimmten.

Jede Zelle befindet sich in einem aus einer bestimmten Anzahl von Zuständen (z.B. „An“ und „Aus“). Zusätzlich hat sie eine *Nachbarschaft* die häufig auch sie selbst einschließt und relativ von ihr besteht (z.B. „alle angrenzenden Zellen“). Jeder Zelle wird ein Anfangsstatus zugeordnet, der zum Zeitpunkt *t=0* gilt. Mit dem Fortschreiten der Zeit werden die Zellzustände den spezifizierten Regeln nach verändert.

Der Raum ist durch eine bestimmte Zahl von Dimensionen definiert und kann *endlich* oder *unendlich* sein.

## Geschichte

1940 arbeitete John von Neumann in Los Alamos an selbst-reproduzierenden Systemen. Zur gleichen Zeit untersuchte sein Kollege Stanislaw Ulam das Wachstum von Kristallen. Von Neumann’s beruhte auf der Idee, dass ein Roboter einen anderen baut. Als er daran arbeitete erkannte er die Schwierigkeit einen solchen Roboter zu bauen und ihn mit genügend Teilen zu versorgen. Ulam empfahl ihn sein System mathematisch zu abstrahieren so wie auch er es tat. Der erste Zelluläre Automat war geboren. Der vorgestellte Automat hatte 29 Zustände und konnte sich immer wieder selbst reproduzieren. Dieses Design ist bekannt als „tesselation model“ (dt. Parkettierung).

1969 veröffentlichte Korad Zuse sein Buch „Rechnender Raum“. In diesem nimmt er an dass alle Naturgesetze bestimmten Regeln unterworfen ist und das gesamte Universum als Zellulärer Automat gesehen werden kann.

1970 wurde das von John Horton Conway entwickelte „Game of Life“ vorgestellt. Die Regeln lauteten: Hat eine Zelle zwei Nachbarn behält sie ihren Zustand. Hat sie drei Nachbarn wird sie schwarz. Liegen andere Zustände vor wird sie weiß. Trotz dieser einfachen Regeln ergeben sich viele verschiedene Verhaltensweisen zum Beispiel *Gleiter* - Anordnungen die sich von selbst durch den Raum bewegen.

1983 veröffentlichte Stephen Wolfram grundlegende Arbeiten zu „elementary cellular automata“ (dt. elementare Zellulären Automaten). Die Komplexität die diese simplen Regeln zeigten, ließen ihn annehmen, dass die Natur durch ähnliche Mechanismen gesteuert wird.

*Quelle: Wikipedia [Q1 & Q2]*

# Meine Simulation

Wie bereits erwähnt, stellt meine Simulation die Ausbreitung eines Brandes in einem Wald dar. Im Folgenden werde ich die Wirkungsweise des von mir entwickelten Programms und des dahintersteckenden Algorithmusses erläutern.

## Das Programm

### Der Konstuktor

Da das Programm mit der „lwjgl“ („light weight java game library) und „slick“ gebaut ist, war die Grundstruktur bereits gegeben. Die Klasse ist folgendermaßen definiert:

**public** **class** simulation **extends** BasicGame{

Es folgen die leeren Methodenbehälter:

**public** simulation( {

}

**public** **void** init(GameContainer gc) **throws** SlickException {

}

**public** **void** update(GameContainer gc, **int** delta) **throws** SlickException {

}

**public** **void** render(GameContainer gc, Graphics g) **throws** SlickException {

}

Wie die Namen erahnen lassen, ist das erste der Konstruktor. Die zweite Methode wird einmal beim Starten des Programms aufgerufen. Die anderen beiden Methoden werden immer nacheinander aufgerufen. Erst updatezur Berechnung des Ablaufes und dann render zum Zeichnen auf den Bildschirm.

Zuerst werden globale Variablen initialisiert.

**public** **int**[][] field, bkupField;

**public** **int** width,height,scale,spread;

**public** **float** prob;

**public** TextField outputField;

**public** **int** mode, size, drawing, runs;

**public** **int** runCount = 0;

**public** **boolean** disp;

Da die Simulation mit verschiedenen Parametern aufrufbar sein soll, ist dem Konstruktor eine Reihe von Parametern gegeben.

**public** simulation(**int** width,**int** height,**int** scale,**int** spread,**float** prob,**boolean** disp, **int** runs) {

 **super**("simulation");

 **this**.width = width;

 **this**.height = height;

 **this**.scale = scale;

 **this**.spread = spread;

 **this**.prob = prob;

 **this**.field = **new** **int**[width][height];

 **this**.bkupField = **new** **int**[width][height];

 **this**.mode = 0;

 **this**.size = 2;

 **this**.drawing = 0;

 **this**.disp = disp;

 **this**.runs = runs;

}

Hier wird der Konstruktor der Klasse BasicGame aufgerufen und die anfangs erstellten Variablen mit Werten aus den Parametern gefüllt. Zuletzt wird ein 2-Dimensionales Array erstellt, welches das Feld darstellt.

Die Parameter in der Übersicht:

|  |  |
| --- | --- |
| this.width | Die Breite des Feldes in Zellen. |
| this.height | Die Höhe des Feldes in Zellen. |
| this.scale | Die Skalierung (Wie viele Pixel ist eine Zelle groß) |
| this.spread | Die Ausbreitung (Pro Rechendurchlauf, auf wie viele anliegende Zellen springt das Feuer über |
| this.prob | Die Wahrscheinlichkeit (engl. prob[ability]) mit der bei der Generierung des Feldes ein Feld im Zustand 2 startet. |
| this.mode | Der Modus in dem sich die Simulation befindet. 0: Zeichenmodus; 1: Die Simulation läuft; 2: Die Simulation in durchgelaufen und wartet auf Beendigung. |
| this.size | Die Größe (Radius) des Zeichenstiftes in Zellen. |
| this.drawing | Der Modus („Die Farbe“) des Zeichenstiftes. |
| this.field[][] | Das Array, das alle Zellen enthält. |
| this.bkupField[][] | Das Array, das alle Zellen als Backup enthält um mehrfache Durchläufe mit denselben Anfangsbedingungen zu ermöglichen |
| this.disp | true oder false, ob das Feld angezeigt werden soll oder nicht. Aus Performancegründen ist es sinnvoll bei vielen Durchläufen die Anzeige zu deaktivieren. |
| this.runs | Die Anzahl der Durchläufe, die das Programm noch machen muss. |
| runCount | Die Anzahl der durchlaufenen update-Zyklen im aktuellen Durchlauf |

Danach wird die Methode init() bestimmt. Diese wird beim Start einmal aufgerufen.

### Die Methode init()

* Der hier behandelte Code steht im Anhang „Die Methode init()“.

Zunächst wird ein MouseListener hinzugefügt. Dieser erlaubt das Bearbeiten des Feldes, bevor die Simulation anfängt. In diesem Programm werden allerdings nur die Methoden mouseWheelMoved, mouseClicked und mouseDragged benötigt. Die anderen Methoden sind zwar deklariert, aber leer.

Die Methode mouseWheelMoved wird immer dann aufgerufen, wenn das Mausrad gedreht wird. Zuerst wird überprüft, ob die Simulation im Zeichenmodus ist, oder bereits läuft. Ist sie im Zeichenmodus, wird überprüft ob das Mausrad vor- oder zurückgedreht wurde (change größer oder kleiner als 0). Je nachdem, wird die Stiftgröße entweder um zwei vergrößert, oder verkleinert.

Die Methode mouseClicked wird immer dann aufgerufen, wenn der Benutzer die Maus klickt. In diesem Programm ist allerdings nur der Rechtsklick relevant, deswegen das if Statement. Das darauffolgende switch Statement dient dem Umschalten der Zeichenmodi. Ist der Modus 0, wird er auf 1 gesetzt. Ist der Modus 1, auf 2 und ist er 2, auf 0.

Die Methode mouseDragged wird immer dann aufgerufen, wenn die Maus mit gedrückter Maustaste bewegt wird. Die Methode bekommt die Parameter oldx, oldy, newx und newy übergeben. Die zwei erstgenannten sind die Pixelkoordinaten des Bewegungsanfangs; die letzten beiden sind die Pixelkoordinaten des Bewegungsendes. In diesem Programm werden allerdings nur die Koordinaten des Bewegungsendes berücksichtigt, das sich diese Methode so schnell updatet, dass die Anfangskoordinaten ohnehin „übermalt“ werden. Nach dem sichergestellt worden ist, dass sich das sich das Programm im Zeichenmodus befindet, wird der Bereich um den Endpunkt der Bewegung mit der gewählten „Farbe“ gefüllt. Dazu laufen zwei for-Schleifen; eine für die x-Werte, die andere für die y-Werte um jeden Punkt in dem Bereich zu erreichen. Das längliche if Statement ist lediglich eine Absicherung, damit das Zeichnen an der Kante des Feldes möglich ist, und keine Werte außerhalb der Arraygröße auftreten. Hierbei wird überprüft, ob die Koordinaten der nächsten Zelle innerhalb des Feldes liegen. Dazu wird die x-Koordinate der Position durch den Skalierungsfaktor geteilt und der Feldgröße gegenübergestellt. Der erste Schritt ist notwendig um Pixelkoordinaten in Zellenkoordinaten umzurechnen. Das Ergebnis wird außerdem darauf überprüft, ob es größer als Null ist. Derselben Rechnung wird auch die kommende y-Koordinate unterzogen. Ist sichergestellt, dass die Koordinaten innerhalb des Feldes liegen, wird die entsprechende Zelle auf den neuen Zustand (die „Farbe“) gesetzt. Zusätzlich wird der Zustand auch in das Backup-Array geschrieben.

Nach dem MouseListener werden zwei Zählvariablen für die for Loops initialisiert. Die Loops füllen dann das Feld Array. Mit der gegeben Wahrscheinlichkeit starten die Zellen entweder im Zustand 2 oder 1. An dieser Stelle ist eine Übersicht über die Zustände angebracht.

|  |  |
| --- | --- |
| 0 | Es steht kein Baum an dieser Stelle. Die Zelle ist weiß. |
| 1 | Es steht ein Baum an dieser Stelle. Die Zelle ist grün. |
| 2 | Der Baum in dieser Position steht in Flammen. Im nächsten Durchlauf wird er abgebrannt sein. Die Zelle ist rot. |
| 3 | Dieser Zustand wird nicht angezeigt. Zellen mit diesem Zustand werden kurz darauf in den Zustand 2 versetzt. Dieser Zwischenzustand ist nur notwendig, da sonst einzelne Zellen in einem Zyklus mehrmals verändert werden können. |

Die Wahrscheinlichkeit wird folgendermaßen berechnet: Die Funktion Math.random() gibt eine zufällige Zahl zwischen 0 und 1 zurück. Die Variable this.prob enthält die angegebene Wahrscheinlichkeit. Es wird überprüft ob Math.random() größer ist als 1 - this.prob. Somit lässt sich die Wahrscheinlichkeit präzise festlegen. Trifft diese Wahrscheinlichkeit nicht zu, wird der Zustand 1 in das Feld geschrieben. Nach diesem if Statement wird der Zellenzustand in das Backup-Array übertragen.

Nach der Methode init() folgt die Methode update(). Diese ist dafür zuständig die Berechnungen bzw den Algorithmus auszuführen. Diese wird im Abschnitt „Der Algorithmus“ weiter erklärt. Nach der Methode update() folgt render(). Diese Methode ist dafür zuständig, das Feld auf den Bildschirm zu zeichnen.

### Die Methode render()

**public** **void** render(GameContainer gc, Graphics g) **throws** SlickException {

 **if** (**this**.disp == **true**)

 {

 **int** i,j;

 **for** (i = 0; i < **this**.width; i++)

 {

 **for** (j = 0; j < **this**.height; j++)

 {

 **switch** (**this**.field[i][j])

 {

 **case** 1:

 gc.getGraphics().setColor(**new** Color(0,150,0));

 gc.getGraphics().fillRect(i \* **this**.scale,j \* **this**.scale,**this**.scale,**this**.scale);

 **break**;

 **case** 2:

 gc.getGraphics().setColor(Color.*red*);

 gc.getGraphics().fillRect(i \* **this**.scale,j \* **this**.scale,**this**.scale,**this**.scale);

 **break**;

 **case** 0:

 gc.getGraphics().setColor(Color.*white*);

 gc.getGraphics().fillRect(i \* **this**.scale,j \* **this**.scale,**this**.scale,**this**.scale);

 **break**;

 }

 }

 }

 }

 }

Zunächst wird überprüft, ob das Feld überhaupt gezeichnet wird. Ist dies der Fall, werden die beiden Zählvariablen i und j deklariert. In den darauffolgenden for Schleifen wird das Feld-Array Zelle für Zelle durchlaufen und dem Zustand entsprechend entweder ein weißer, ein roter, oder ein grüner Punkt gemalt. Dazu wird die Zeichenfarbe, auf die dem Zustand entsprechende Farbe gesetzt. Danach wird ein Rechteck gezeichnet und gefüllt, welches den Koordinaten multipliziert mit dem Skalierungsfaktor entspricht.

## Der Algorithmus/ Die Methode update()

Hier erläutere ich die update() Methode bzw. den Algorithmus der hinter der Berechnung der Zustandsänderung steht.

* Der hier behandelte Code steht im Anhang „Die Methode update()“.

Anfangs wird überprüft ob die Simulation bereits begonnen hat, oder ob sie sich noch im Zeichenmodus befindet. Ist dies nicht der Fall, wird der Zyklenzähler um 1 hochgezählt. Danach werden die schon öfters verwendeten Zählvariablen i und j, die für den Durchlaufzähler wichtige Variable nothingCount und die zu statistischen Zwecken benutze Variable burningCount deklariert. Die Schleife ist wieder dafür zuständig auf jede einzelne Zelle zuzugreifen. Dann wird überprüft, ob die Zelle ein brennender Baum (Zustand 2) ist, oder nicht. Ist dies der Fall wird die Zählvariable c deklariert. In der for Schleife wird dann dem Parameter spread entsprechend gezählt auf welche bzw. auf wie viele angrenzende Zellen das Feuer überspringt. Dann wird eine zufällige Zahl zwischen 0 und 9 generiert. Durch die Rechnung Math.round(rand % 3) bekommt man dann entweder 0,1 oder 2 als Ergebnis. Dies ist die Spalte in der Tabelle der umliegenden Zellen. Das Modell sieht in etwa so aus:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1|1 | 2|1 | 3|1 |
| 1|2 | 2|2 | 3|2 |
| 1|3 | 2|3 | 3|3 |

Die erste Zahl stellt die Spalte dar, die zweite die Zeile. In dem Teil

**int** row = (**int**)((rand - column) / 3) + 1;

wird dann die Zeile berechnet. Indem von der zufälligen Zahl zwischen 0 und 8 die Spalte abgezogen wird und das Ergebnis durch 3 geteilt wird, liegt das Ergebnis immer zwischen 0 und 2. Durch Math.round() wird es dann auf die nächstliegende natürliche Zahl gerundet.

Beispiel:

rand = 7,356

column = rand % 3 = 1,356 ≈ 1

rand – column = 6,356

6,356 / 3 = 2,119 ≈ 2

2 + 1 = 3

Nach dieser Berechnung wird noch überprüft, ob die betreffenden Zellen überhaupt existieren, oder die mittlere Zelle ganz am Rand ist. Ist dies nicht der Fall, bekommt die Zelle den Zustand 3 zugeordnet.

Nachdem die Schleife entsprechend dem Parameter spread oft durchgelaufen ist, wird die Ausgangszelle auf den Zustand 0 gesetzt.

In diesem Algorithmus stecken versteckte Wahrscheinlichkeiten, die nicht außer Acht gelassen werden dürfen. So ist es beispielsweise möglich, dass das Ergebnis der Rechnung 2|2 zum Ergebnis hat. Diese Zelle ist allerdings die Ausgangszelle und hat ohnehin schon den Zustand 2. Die Wahrscheinlichkeit dazu beträgt 1:9 also ~11,1% Zudem ist es möglich, dass die errechnete Zelle am Rand des Feldes liegt. In dem Fall findet auch keine Veränderung statt. Die Wahrscheinlichkeit für diesen Fall berechnet sich folgendermaßen:

((Breite \* Höhe) / ((Breite + Höhe) \* 2)) \* $\frac{1}{3}$

Erklärung:

(Breite\*Höhe) ist die Anzahl aller Zellen. ((Breite + Höhe) \* 2) ist die Zahl der Zellen auf der Außenlinie (der Umfang). Das Ergebnis der Division von Umfang und Anzahl ist die Wahrscheinlichkeit, dass die aktuelle Zelle auf der Außenlinie ist. An jedem Punkt auf der Außenlinie besteht eine Chance von $\frac{1}{3}$ (33%), dass die errechnete Zelle außerhalb des Feldes liegt.

Nach dieser Schleife wird eine ähnliche for Schleife durchlaufen, die alle Zellen mit dem Zustand 3 auf den Zustand 2 setzt. Dieser Umweg ist notwendig, da sich sonst Zellen die auf den Zustand 2 gesetzt wurden, zwei Schleifendurchläufe später schon wieder ausbreiten könnten. In dieser Schleife wird auch der Zähler für die aktuell in Flammen stehenden Zellen aktualisiert. Zusätzlich wird der Zähler für die unbearbeiteten Felder aktualisiert. Dieser ist dazu da, festzustellen wenn die Simulation zu Ende ist, also keine brennenden Zellen mehr vorhanden sind.

Danach werden Informationen zur aktuell durchlaufenen Anzahl an Zyklen und den aktuell in Flammen stehenden Zellen in die Konsole ausgegeben.

Zuletzt kommt noch das if Statement welches für die Durchläufe zuständig ist. Ist der Zähler für unbearbeitete Durchläufe so groß wie die Gesamtzahl der Zellen, so ist die Simulation zu Ende. In dem darauffolgenden if Statement wird überprüft, ob die Simulation noch weiterläuft. Ist dies der Fall, so wird der Zyklenzähler auf 0 gesetzt. Nachdem der Durchlaufzähler um 1 verringert wurde, wird überprüft, ob er immer noch größer als 0 ist, oder nicht. Ist er kleiner oder gleich 0, wird das Programm in den Beendigungsmodus versetzt. Ansonsten, wird das anfangs gespeicherte Feld geladen, und die Simulation beginnt erneut. Hier wird die Methode cloneArray() benutzt. Diese ist notwendig da Java Arrays über den Operator „=“ nicht kopiert sondern nur der Pointer übergibt.

Beispiel:

int[] array1 = new int[1], array2 = new int[1];

array1[0] = 10;

array2[0] = 20;

array2 = array1;

array2[0] = 100;

System.out.println(array1[0]);

* In der Konsole steht 100

Man sieht, dass nur der Pointer übertragen wurde, nicht aber der Inhalt des Arrays. Für 1-dimensionale Array gibt es dafür die Methode .clone(). Diese funktioniert aber nicht bei 2-dimensionalen Arrays. Daher ist eine eigene Methode erforderlich;

**public** **int**[][] cloneArray(**int**[][] array)

{

 **int** rows = array.length;

 **int**[][] newarray = (**int**[][]) array.clone();

 **for** (**int** row = 0; row < rows; row++)

 {

 newarray[row] = (**int**[]) array[row].clone();

 }

 **return** newarray;

}

Die Anzahl der Arrays in den Arrays (die Größe der zweiten Dimension) wird in die Variable rows gespeichert. Dann wird ein neues Array erstellt und mit der groben Struktur (der Größe der beiden Dimensionen) gefüllt. In der for Schleife wird dann in jedes Feld das entsprechende Array kopiert. Somit hat man am Ende eine Kopie des Array im Speicher. Ein Pointer darauf wird zurückgegeben.

Kommt das if Statement am Anfang der Klassendefinition zu dem Ergebnis, dass sich das Programm noch im Zeichenmodus befindet, so wird lediglich überprüft ob die Taste Enter gedrückt ist. Trifft dies zu, wird der Zeichenmodus beendet und die eigentliche Simulation beginnt.

Kommt das if Statement am Anfang der Klassendefinition jedoch zu dem Ergebnis, dass sich das Programm im Beendigungsmodus befindet, so wird lediglich überprüft ob die Taste Enter gedrückt ist. Ist dies der Fall, wird das Programm beendet.

# Versuche & Analysen

In diesem Teil erläutere Ich die unterschiedlichen Versuche, ihre Ergebnisse und die Analysen dazu.

## Versuche

### Durchschnittliche Anzahl an Zyklen

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 114 | 81 | 91 | 87 | 96 |
| 96 | 109 | 113 | 89 | 93 |
| 87 | 90 | 84 | 106 | 82 |
| 83 | 82 | 98 | 97 | 84 |
| 83 | 89 | 82 | 94 | 103 |
| 94 | 136 | 95 | 92 | 93 |
| 89 | 116 | 99 | 90 | 83 |
| 85 | 79 | 119 | 86 | 92 |
| 86 | 91 | 83 | 84 | 110 |
| 84 | 83 | 86 | 86 | 87 |
| 89 | 86 | 87 | 104 | 82 |
| 90 | 93 | 85 | 97 | 85 |
| 94 | 99 | 92 | 81 | 88 |
| 91 | 84 | 92 | 84 | 94 |
| 109 | 84 | 92 | 77 | 94 |
| 82 | 97 | 77 | 87 | 104 |
| 79 | 94 | 96 | 80 | 92 |
| 91 | 83 | 105 | 79 | 79 |
| 104 | 82 | 102 | 99 | 83 |
| 83 | 91 | 82 | 94 | 117 |

In einem ersten Versuch werde ich die durchschnittliche Anzahl der benötigten Zyklen in 100 Durchläufen mit den Standarteinstellungen ermitteln.

Die Ergebnisse sind rechts in einer Tabelle eingetragen. Der Durchschnitt der Ergebnisse ist 91,56. Im Vergleich dazu habe ich die Wahrscheinlichkeit auf 0,005 erhöht. Das Ergebnis: Durchschnittlich 54,46 Zyklen. Erhöhe ich die Wahrscheinlichkeit um das 5-fache, halbiert sich die Anzahl der Zyklen. In einem weiteren Versuch verzehnfache ich die Wahrscheinlichkeit, setzte sie also auf 0,01. Das Ergebnis ist 46,06. Offensichtlich erhöht sich die Anzahl der Zyklen in Relation zur Wahrscheinlichkeit nicht linear. Also habe ich weitere Versuche mit den Wahrscheinlichkeiten 0,002 - 0,009 und 0,02 - 0,05 gemacht. Die Ergebnisse sind in diesem Diagramm dargestellt.

Durch die lineare Regression wird deutlich, dass sich die Ergebnisse zuerst linear verhalten. Dann aber ändert sich die Skalierung und die Unterschiede zwischen den Balken werden geringer. Die Zyklen sind also nicht proportional zu der Wahrscheinlichkeit.

## Analysen

Quellen & Links

Q1: http://de.wikipedia.org/wiki/Zellul%C3%A4rer\_Automat (10.04.2012)

Q2: http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular\_automaton (10.04.2012)

L1: http://download.jangxx.com/Random\_Files/facharbeit/simulation/