

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Download und Installation	7
3	Start: Rotkäppchen und die drei Tanten	9
	Der Quellcode	10
	Literatur	11
4	Punkte und Pixel	13
	Turmite	13
	Die Turmite programmieren	14
	Quellcode	14
	Weitere mögliche Experimente	15
	Literatur	16
	Wir backen uns ein Mandelbrötchen	16
	Das Programm	17
	Der komplette Quellcode	17
	Pixel-Array versus set()	18
	Programm 1: Mandelbrot-Menge mit set()	19
	Programm 2: Mandelbrot-Menge mit Pixel-Array	20
	Julia-Menge	21
	Schnelle Bildmanipulation: Das Pixel-Array	21
	Fantastic Feather Fractal	21
5	Linien	23
	Anschauliche Mathematik: Die Schmetterlingskurve	23
	Der Lorenz-Attraktor, eine Ikone der Chaos-Theorie	23

6 Shapes	25
For Your Eyes Only – Processing.py zieht Kreise	25
Spaß mit Kreisen: Konfetti	25
Syntaktischer Zucker: »with« in Processing.py	25
Spaß mit Kreisen (2) in Processing.py: Cantor-Käse und mehr	25
Weitere geometrische Grundformen	25
Eine analoge Uhr aus Kreisbögen	25
Visualisierung: Die Sonntagsfrage	25
Der Baum des Pythagoras	25
7 Text(verarbeitung) in Processing.py	27
Spaß mit Processing.py: Rentenuhr	27
8 Bildverarbeitung mit Processing.py	29
Jeder sein kleiner Warhol	29
Filter für die Bildverarbeitung	29
Pointillismus	29
Noch mehr Pointillismus	29
9 Animationen	31
Ein kleiner roter Luftballon	31
10 Spaß mit (SVG-) Shapes: Pinguine im Eismeer	33
11 Objekte und Klassen mit Kitty	35
Hallo Hörnchen – Hallo Kitty revisited	35
Moving Kitty	35
Klasse Kitty!	35
»Cute Planet« mit Processing.py	35
Fluffy Planet	35
12 Zelluläre Automaten	37
Das Demokratie-Spiel	37
Frösche und Schildkröten oder: Wie entsteht Segregation?	37
Der Waldbrand-Simulator	37

13 3D mit Processing.py	39
Kugeln und Kisten	39
Und es geht doch: Kugeln und Texturen	39
Die Erde ist eine Kiste	39
Licht und Schatten	39
Einen Globus basteln	39
14 Einen eigenen Wetterbericht mit OpenWeatherMap	41
15 WordCram: Processing.py und eine Processing (Java) Bibliothek	43
16 Running Orc mit Processing.py	45
Running Orc in vier Richtungen	45
Ork mit Kollisionserkennung	45
Ein Ork im Labyrinth	45
Der autonome Ork	45
Drei Orks und ein Held	45
17 Exkurs Rauhnächte: Spaß mit Processing.py	47
18 Exkurs: Walking Pingus	49
19 Das Avider Game	51
Game Stage 1	51
Stage 2	51
Stage 3: Sternenhimmel	51
Stage 4: PowerUp und PowerDown	51
Nachtrag: Avider Game Stage 4a	51
20 Epilog	53
21 Anhang	55
Literaturverzeichnis	55
Index	55

Kapitel 1

Einleitung

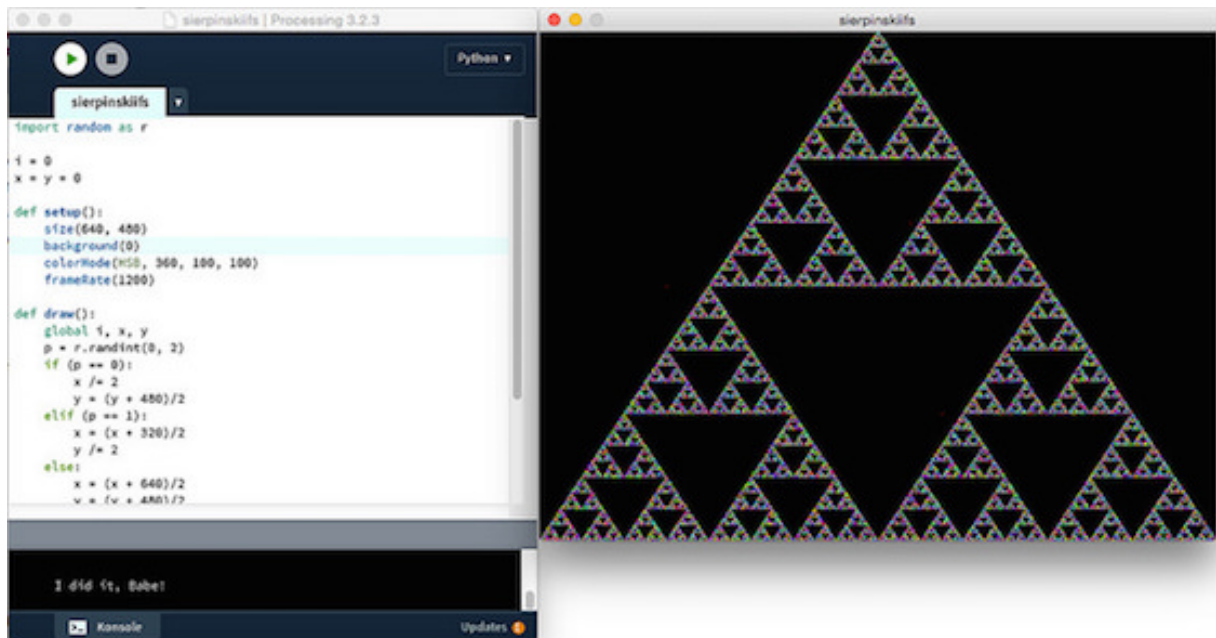
Kapitel 2

Download und Installation

Kapitel 3

Start: Rotkäppchen und die drei Tanten

Rotkäppchen hat nicht nur eine Großmutter, sondern – was weniger bekannt ist – auch drei Tanten, Agathe, Beatrice und Cynthia. Diese wohnen in drei Häusern, die zusammen ein Dreieck bilden. Wenn Rotkäppchen nicht ihre Großmutter besucht, dann besucht sie eine der drei Tanten. Letzten Sonntag jedoch war sie sehr unschlüssig, welche sie besuchen sollte. Sie startete, um Agathe einen Besuch abzustatten. Jedoch genau auf dem halben Weg zu Agathe wurde sie unsicher und überlegte es sich noch einmal. Sie beschloß, eine ihrer drei Tanten aufzusuchen, es könnte auch wieder Agathe gewesen sein. Doch es war wie verhext: Jedesmal, wenn sie genau den halben Weg zurückgelegt hatte, wurde sie wieder unsicher und entschloß sich neu, einer ihrer drei Tanten aufzusuchen, möglicherweise die gleiche, möglicherweise eine andere. Und das wieder, und wieder, und wieder ...



William P. Beuamont [Beaum1996] nannte es das »Tantenspiel«. Ziel ist es nicht, herauszufinden, welche Tante gewinnt (es kann gar keine gewinnen), sondern welche Figur entsteht, wenn man Rotkäppchens Irrweg visualisiert. Ich habe das einmal mit Processing.py nachprogrammiert und herausgekommen ist obige Figur, in der Fachliteratur auch als [Sierpinski Dreieck](#) bekannt, benannt nach dem polnischen Mathematiker *Wacław Sierpiński*, der das Fraktal schon 1915 als erster beschrieb.

Der Quellcode

Normalerweise wird dieses Fraktal mit einem rekursiven Algorithmus erzeugt, aber es geht eben auch mithilfe dieses »Chaos-Spiels« [Herrm1994]

```
import random as r

i = 0
x = y = 0

def setup():
    size(640, 480)
    background(0)
    colorMode(HSB, 360, 100, 100)
    frameRate(1200)

def draw():
    global i, x, y
    p = r.randint(0, 2)
    if (p == 0):
        x /= 2
        y = (y + 480)/2
    elif (p == 1):
        x = (x + 320)/2
        y /= 2
    else:
        x = (x + 640)/2
        y = (y + 480)/2
    stroke(i%360, 100, 100)
    point(x, y)
    i += 1
    if (i > 120000):
        print("I did it, Babe!")
        noLoop()
```

Die Schleife wird 120.000 mal durchlaufen, bevor sie stoppt. Damit ich nicht ewig auf das Ergebnis warten muß, habe ich die Framerate auf 1.200 FPS gesetzt. Das ist vermutlich etwas übertrieben, in diversen Foren habe ich Vermutung gefunden, daß Processing kaum eine Framerate von 1.000 FPS überschreiten kann. Das habe ich experimentell bestätigt, obiger Sketch lief auf meinem schnellsten Rechner, einem Mac Pro mit 3,5 GHz 6-Core Intel Xeon E5, 2 Minuten und 20 Sekunden. Wären genau 1.000 FPS erreicht worden, hätte er exakt 2 Minuten laufen müssen.

Aber man sieht sehr schön, wie sich das Dreieck zufällig, aber dennoch erkennbar, zusammensetzt. Je nach zufälligem Startwert liegen die ersten drei bis vier Punkte noch außerhalb des Fraktals, danach geht aber alles seinen geordneten Gang. Und an den Farben erkennt man, daß auch die Reihenfolge, in der die einzelnen Punkte des Fraktals von Rotkäppchen angelaufen werden, ebenfalls zufällig sind.

Literatur

- [Beaum1996] William P. Beaumont: *Conquering the Math Bogeyman*, in Clifford A. Pickover (Ed.): *Fractal Horizons – The Future Use of Fractals*, New York (St. Martin's Press) 1996, Seiten 3 - 15
- [Herrm1994] Dietmar Herrmann: *Algorithmen für Chaos und Fraktale*, Bonn (Addison-Wesley) 1994, Seiten 132ff.

Kapitel 4

Punkte und Pixel

Turmite

Turmiten sind quadratische, 1x1 Pixel große, kybernetische Kreaturen mit einer höchst kümmerlichen Andeutung eines Gehirns. Sie können die Farben des Pixels oder der Zelle, auf der sie gerade stehen, erkennen und danach handeln. Ist die Zelle schwarz, färben sie sie rot und bewegen sich um ein Feld nach links. Ist die Farbe rot, färben sie die Zelle schwarz und bewegen sich um ein Feld nach rechts.

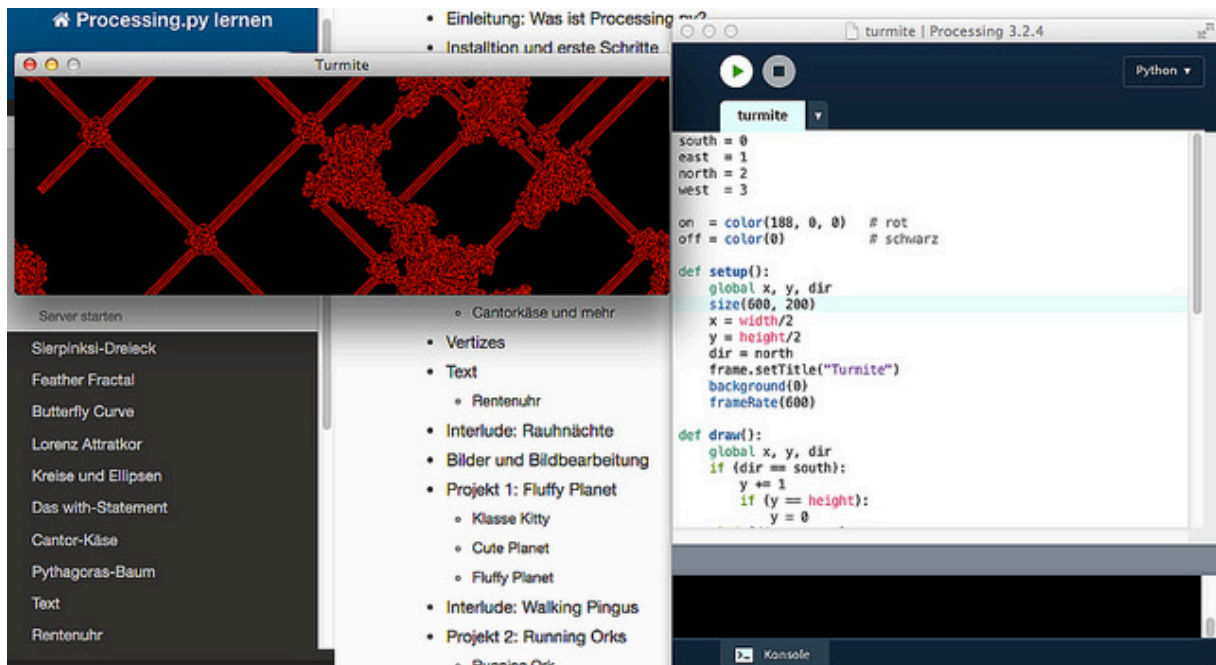


Abbildung 4.1: Die Turmite in Aktion

Wird solch eine Turmite auf eine schwarze, unendlichen Ebene gesetzt, erzeugt sie zuerst ein chaotisches Muster. Doch nach ungefähr 10.000 Schritten bildet sie auf einmal eine Turmiten-Autobahn, eine regelmäßige Struktur, die immer nach 104 Schritten in denselben Zustand zurückkehrt, nur jeweils um 2 Felder verschoben.

Die Turmite programmieren

Ich habe eine dieser Turmiten in einem Processing.py-Sketch zum Leben erweckt. Damit sie nicht in der Unendlichkeit der Ebene entfleucht, habe ich die Ecken des Fensters miteinander verklebt und sie so in eine [Torus](#)-Welt verwandelt. Wenn die Turmite am unteren Ende des Fensters verschwindet, taucht sie am oberen Ende wieder auf, verschwindet sie am rechten Rand erscheint sie wieder am linken Rand. Für beide Ränder gilt das natürlich auch umgekehrt, die Welt der Turmite ist also ein fett aufgeblasener Fahrradschlauch, auf dem sie sich entlang bewegt.

Den Farbsensor der Turmite habe ich mit dem Processing-Befehl `get(x, y)` simuliert. Er liest die Farbe des Pixels. Analog dazu gibt es die Funktion `set(x, y, color)`, die die Farbe `color` an die Stelle `x, y` schreibt. Die beiden Farben habe ich im Sketch `on` für schwarz und `off` für rot genannt. Ich bin von der Metapher ausgegangen, daß die Turmite auf der schwarzen Ebene ein Feld entweder einschaltet (also rot färbt) oder es wieder ausschaltet (es wird wieder schwarz).

Als ich damals auf meinem Atari-ST mein erstes Turmitenprogramm schrieb, dauerte es ewig, bis die Turmite mit ihrer Autobahn im Unendlichen verschwunden war (sie das Bildschirmfenster verlassen hatte). An eine Rückkehr via Torus wagte ich nicht zu denken, dafür reichte meine Geduld nicht aus. Nun in Processing.py habe ich die Framerate auf 600 gesetzt und so geht es doch recht schnell voran.

Interessant ist, daß die Turmite, wenn sie auf eine von ihr geschaffene Autobahn trifft, zwar erst einmal wieder ein chaotisches Verhalten an den Tag legt, aber über kurz oder lang wieder eine Autobahn baut. Diese Turmiten-Autobahnen kennen nur zwei Orientierungen, sie verlaufen entweder parallel oder stehen senkrecht aufeinander.

Quellcode

Nach dem oben Beschriebenen dürfte der Quellcode leicht verständlich sein. In der `setup()`-Funktion wird die Hintergrundfarbe auf schwarz und die Turmite in die Mitte des Fensters mit der Ausrichtung nach Norden gesetzt.

Im ersten Abschnitt der `draw()`-Funktion wird die Turmite gemäß Ihrer aktuellen Orientierung bewegt und die Behandlung der Fensterränder berücksichtigt. Dann wird die Farbe der aktuellen Zelle gelesen (mit `get(x, y)`) und je nach Zustand eine neue Farbe gesetzt und die Orientierung der Turmite den Regeln entsprechend geändert. Das ist alles.

```
south = 0
east  = 1
north = 2
west  = 3

on  = color(188, 0, 0)  # rot
off = color(0)          # schwarz

def setup():
    global x, y, dir
    size(600, 200)
    x = width/2
    y = height/2
```

```
dir = north
background(0)
frameRate(600)

def draw():
    global x, y, dir
    if (dir == south):
        y += 1
        if (y == height):
            y = 0
    elif (dir == east):
        x += 1
        if (x == width):
            x = 0
    elif (dir == north):
        if (y == 0):
            y = height - 1
        else:
            y -= 1
    elif (dir == west):
        if (x == 0):
            x = width - 1
        else:
            x -= 1

    if (get(x, y) == on):
        set(x, y, off)
        if (dir == south):
            dir = west
        else:
            dir -= 1
    else:
        set(x, y, on)
        if (dir == west):
            dir = south
        else:
            dir += 1
```

Weitere mögliche Experimente

Die Turmiten gehen auf *Greg Turk* zurück, der damals Doktorand an der Universität von North Carolina in Chapel Hill war. Er zeigte, daß sie eine zweidimensionale [Turingmaschine](#) sind. Später hat sie *Christopher Langton* weiterentwickelt und beschrieben – daher ist sie auch unter dem Namen »Langtons Ameise« (*Lanton's Ant*) bekannt. Die hier vorgestellte ist die einfachste Form solch einer Ameise. Ein nächster Schritt wäre beispielsweise, die Welt mit zwei Turmiten zu bevölkern, die eine färbt die Ebene rot, wenn sie auf ein schwarzes Feld trifft, die andere färbt sie blau. Natürlich müßten dann beide Ameisen auch Regeln implementiert bekommen, wie sie zu verfahren haben, wenn sie auf ein blaues respektive ein rotes Feld treffen.

Von Turk selber gibt es zum Beispiel eine Turmite mit zwei Zuständen, nennen wir diese A und B und mit folgendem Regelsatz:

Zustand	A	B
grün	schwarz, vorwärts, B	grün, rechts, A
schwarz	grün, links, A	grün, rechts, A

Sie erzeugt ein Spiralmuster, »immer größer werdende strukturierte Gebiete, die sich in regelmäßiger Anordnung um einen Startpunkt winden«.

Eine weitere Turmite, die mit vier Farben hantiert, braucht nur einen Zustand, um ebenfalls ein interessantes, symmetrisches Muster zu bilden. Hier ihr Regelsatz:

Zustand	A
blau	rot, rechts, A
rot	gelb, rechts, A
gelb	grün, links, A
grün	blau, links, A

Es gibt also noch viel zu entdecken in der Welt der Turmiten und Ameisen.

Literatur

- A.K. Dewdney: *Turmiten*, in: Immo Diener (Hg.): *Computer-Kurzweil 2*, Spektrum Akademischer Verlag: *Verständliche Forschung*, Heidelberg 1992, Seiten 156-160
- [Ameise \(Turingmaschine\)](#) in der Wikipedia.

Wir backen uns ein Mandelbrötchen

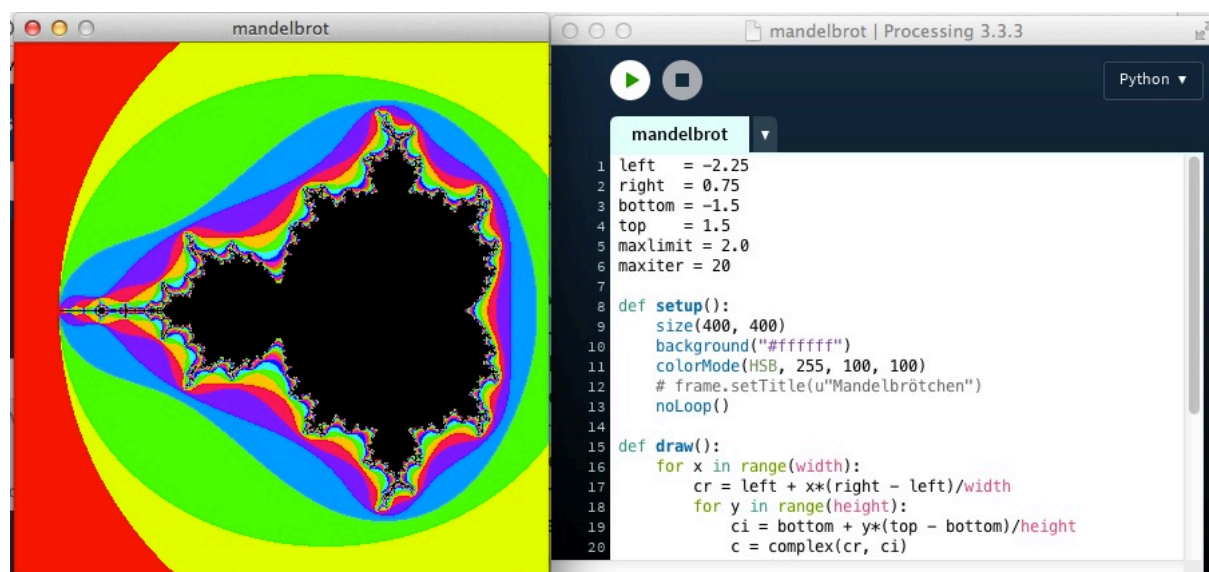


Abbildung 4.2: Die Mandelbrotmenge

Die [Mandelbrot-Menge](#) ist die zentrale Ikone der Chaos-Theorie und das Urbild aller Fraktale. Sie ist die Menge aller komplexen Zahlen c , für welche die durch

$$z_0 = 0 \quad (4.1)$$

$$z_{n+1} = z_n^2 + c \quad (4.2)$$

rekursiv definierte Folge beschränkt ist. Bilder der Mandelbrot-Menge können erzeugt werden, indem für jeden Wert des Parameters c , der gemäß obiger Rekursion endlich bleibt, ein Farbwert in der komplexen Ebene zugeordnet wird.

Die komplexe Ebene wird in der Regel so dargestellt, daß in der Horizontalen (in der kartesischen Ebene die *x-Achse*) der Realteil der komplexen Zahl und in der Vertikalen (in der kartesischen Ebene die *y-Achse*) der imaginäre Teil aufgetragen wird. Jede komplexe Zahl entspricht also einen Punkt in der komplexen Ebene. Die zur Mandelbrotmenge gehörenden Zahlen werden im Allgemeinen schwarz dargestellt, die übrigen Farbwerte werden der Anzahl von Iterationen (`maxiter`) zugeordnet, nach der der gewählte Punkt der Ebene einen Grenzwert (`maxlimit`) verläßt. Der theoretische Grenzwert ist 2.0 , doch können besonders bei Ausschnitten aus der Menge, um andere Farbkombinationen zu erreichen, auch höhere Grenzwerte verwendet werden. Bei Ausschnitten muß auch die Anzahl der Iterationen massiv erhöht werden, um eine hinreichende Genauigkeit der Darstellung zu erreichen.

Das Programm

Python kennt den Datentyp `complex` und kann mit komplexen Zahlen rechnen. Daher drängt sich die Sprache für Experimente mit komplexen Zahlen geradezu auf. Zuert werden mit `cr` und `ci` Real- und Imaginärteil definiert und dann mit

```
c = complex(cr, ci)
```

die komplexe Zahl erzeugt. Für die eigentliche Iteration wird dann – nachdem der Startwert $z = 0.0$ festgelegt wurde – nur eine Zeile benötigt:

```
z = (z**2) + c
```

Wie schon in anderen Beispielen habe ich für die Farbdarstellung den HSB-Raum verwendet und über den *Hue*-Wert iteriert. Das macht alles schön bunt, aber es gibt natürlich viele Möglichkeiten, ansprechendere Farben zu bekommen, beliebt sind zum Beispiel selbsterstellte Paletten mit 256 ausgesuchten Farbwerten, die entweder harmonisch ineinander übergehen oder bestimmte Kontraste betonen.

Der komplette Quellcode

```
left    = -2.25
right   = 0.75
bottom  = -1.5
```

```

top    = 1.5
maxlimit = 2.0
maxiter = 20

def setup():
    size(400, 400)
    background("#ffffff")
    colorMode(HSB, 255, 100, 100)
    noLoop()

def draw():
    for x in range(width):
        cr = left + x*(right - left)/width
        for y in range(height):
            ci = bottom + y*(top - bottom)/height
            c = complex(cr, ci)
            z = 0.0
            i = 0
            for i in range(maxiter):
                if abs(z) > maxlimit:
                    break
                z = (z**2) + c
                if i == (maxiter - 1):
                    set(x, y, color(0, 0, 0))
            else:
                set(x, y, color((i*48)%255, 100, 100))

```

Um zu sehen, wie sich die Farben ändern, kann man durchaus mal mit den Werten von `maxlimit` spielen und diesen zum Beispiel auf 3.0 oder 4.0 setzen. Auch die Erhöhung der Anzahl der Iterationen `maxiter` verändert die Farbzuoordnung, verlängert aber auch die Rechenzeit drastisch, so daß man speziell bei Ausschnitten aus der Mandelbrotmenge schon einige Zeit auf das Ergebnis warten muß.

Pixel-Array versus set()

Will man einzelne Pixel im Ausgabefenster oder in einem Bild manipulieren, bietet Processing(.py) grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Zum einen kann man mit

```
set(x, y, color)
```

direkt einen Farbpunkt an eine bestimmte Position `x`, `y` setzen, oder aber man lädt mit

```
loadPixels()
```

das gesamte Ausgabe-Fenster in ein eindimensionales Pixel-Array, um dann mit


```

        if i == (maxiter - 1):
            set(x, y, color(0, 0, 0))
        else:
            set(x, y, color((i*48)%255, 100, 100))
println(millis())

```

Programm 2: Mandelbrot-Menge mit Pixel-Array

```

left    = -2.25
right   = 0.75
bottom  = -1.5
top     = 1.5
maxlimit = 4.0
maxiter = 100

def setup():
    size(600, 600)
    background("#ffffff")
    colorMode(HSB, 255, 100, 100)
    noLoop()

def draw():
    loadPixels()
    for x in range(width):
        cr = left + x*(right - left)/width
        for y in range(height):
            ci = bottom + y*(top - bottom)/height
            c = complex(cr, ci)
            z = complex(0.0, 0.0)
            i = 0
            for i in range(maxiter):
                if abs(z) > maxlimit:
                    break
                z = (z**2) + c
                if i == (maxiter - 1):
                    pixels[x + y*width] = color(0, 0, 0)
                else:
                    pixels[x + y*width] = color((i*48)%255, 100, 100)
            updatePixels()
    println(millis())

```

Und – Überraschung! – das Programm mit `set()` war fast immer geringfügig schneller als das Programm mit den Pixel-Arrays. Auf meinem betagten MacBook Pro benötigte das erste Programm rund 15.000 bis 16.000 Millisekunden, während das zweite Programm um die 18.000 Millisekunden benötigte. Der Unterschied ist nicht groß, aber dennoch bemerkenswert. Es liegt zum einen sicher daran, daß die benötigte Zeit für die Berechnung des Apfelmännchens im Vergleich zu der benötigten Zeit, dieses zu zeichnen, riesig ist.

Zum anderen wird die `draw()`-Schleife ja auch nur einmal durchlaufen und so kann das Pixel-Array seine Fähigkeit der schnellen Pixelmanipulation nicht richtig ausspielen.

Die Erkenntnis daraus: Es kann sich durchaus lohnen, auch mal das Handbuch zu hinterfragen.

Julia-Menge

Schnelle Bildmanipulation: Das Pixel-Array

Fantastic Feather Fractal

Kapitel 5

Linien

Anschauliche Mathematik: Die Schmetterlingskurve

Der Lorenz-Attraktor, eine Ikone der Chaos-Theorie

Kapitel 6

Shapes

For Your Eyes Only – Processing.py zieht Kreise

Spaß mit Kreisen: Konfetti

Syntaktischer Zucker: »with« in Processing.py

Spaß mit Kreisen (2) in Processing.py: Cantor-Käse und mehr

Weitere geometrische Grundformen

Eine analoge Uhr aus Kreisbögen

Visualisierung: Die Sonntagsfrage

Der Baum des Pythagoras

Kapitel 7

Text(verarbeitung) in Processing.py

Spaß mit Processing.py: Rentenuhr

Kapitel 8

Bildverarbeitung mit Processing.py

Jeder sein kleiner Warhol

Filter für die Bildverarbeitung

Pointillismus

Noch mehr Pointillismus

Kapitel 9

Animationen

Ein kleiner roter Luftballon

Kapitel 10

Spaß mit (SVG-) Shapes: Pinguine im Eismeer

Kapitel 11

Objekte und Klassen mit Kitty

Hallo Hörnchen – Hallo Kitty revisited

Moving Kitty

Klasse Kitty!

»Cute Planet« mit Processing.py

Fluffy Planet

Kapitel 12

Zelluläre Automaten

Das Demokratie-Spiel

Frösche und Schildkröten oder: Wie entsteht Segregation?

Der Waldbrand-Simulator

Kapitel 13

3D mit Processing.py

Kugeln und Kisten

Und es geht doch: Kugeln und Texturen

Die Erde ist eine Kiste

Licht und Schatten

Einen Globus basteln

Kapitel 14

Einen eigenen Wetterbericht mit OpenWeatherMap

Kapitel 15

WordCram: Processing.py und eine Processing (Java) Bibliothek

Kapitel 16

Running Orc mit Processing.py

Running Orc in vier Richtungen

Ork mit Kollisionserkennung

Ein Ork im Labyrinth

Der autonome Ork

Drei Orks und ein Held

Kapitel 17

Exkurs Rauhnächte: Spaß mit Processing.py

Kapitel 18

Exkurs: Walking Pingus

Kapitel 19

Das Avider Game

Game Stage 1

Stage 2

Stage 3: Sternenhimmel

Stage 4: PowerUp und PowerDown

Nachtrag: Avider Game Stage 4a

Kapitel 20

Epilog

Kapitel 21

Anhang

Literaturverzeichnis

Index