

Computergrundlagen Programmieren lernen — in Python

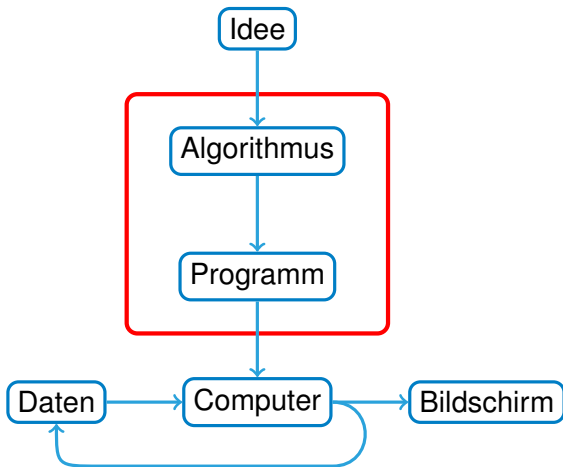
Axel Arnold

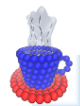
Institut für Computerphysik
Universität Stuttgart

Wintersemester 2014/15



Was ist Programmieren?





Algorithmus

Wikipedia:

Ein Algorithmus ist eine aus endlich vielen Schritten bestehende eindeutige Handlungsvorschrift zur Lösung eines Problems oder einer Klasse von Problemen.

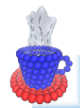
Ein Beispiel-**Problem**:

Gegeben

- Liste aller Teilnehmer der Vorlesung

Fragestellung

- Wer wird die Klausur bestehen? ⚡
- Wieviele Studenten haben nur einen Vornamen?
- Wessen Matrikelnummer ist eine Primzahl?



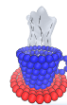
Programm

Ein Programm ist eine Realisation eines Algorithmus in einer bestimmten Programmiersprache.

- Es gibt derzeit mehrere 100 verschiedene Programmiersprachen
- Die meisten sind *Turing-vollständig*, können also alle bekannten Algorithmen umsetzen

Softwareentwicklung und Programmieren

- Entwickeln der Algorithmen
 - Aufteilen in einfachere Probleme
 - Wiederverwendbarkeit
- Umsetzen in einer passenden Programmiersprache



Von der Idee zum Programm

Schritte bei der Entwicklung eines Programms

1. Problemanalyse

- Was soll das Programm leisten?
Z.B. eine Nullstelle finden, Molekulardynamik simulieren
- Was sind Nebenbedingungen?
Z.B. ist die Funktion reellwertig? Wieviele Atome?

2. Methodenwahl

- Schrittweises Zerlegen in Teilprobleme (Top-Down-Analyse)
Z.B. Propagation, Kraftberechnung, Ausgabe
- Wahl von Datentypen und -strukturen
Z.B. Listen oder Tupel? Wörterbuch?
- Wahl der Rechenstrukturen (Algorithmen)
Z.B. Newton-Verfahren, Regula falsi
- Wahl der Programmiersprache



Von der Idee zum Programm

Schritte bei der Entwicklung eines Programms

3. **Implementation und Dokumentation**

- Programmieren und *gleichzeitig* dokumentieren
- Kommentare und externe Dokumentation (z.B. Formeln)

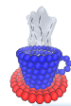
4. **Testen auf Korrektheit**

- Funktioniert das Programm bei erwünschter Eingabe?
Z.B. findet es eine bekannte Lösung?
- Gibt es aussagekräftige Fehler bei falscher Eingabe?
Z.B. vergessene Parameter, zu große Werte

5. **Testen auf Effizienz**

- Wie lange braucht das Programm bei beliebigen Eingaben?
- Wieviel Speicher braucht es?

6. Meist wieder zurück zur Problemanalyse, weil man etwas vergessen hat ...



... und jetzt das Ganze in Python



- schnell zu erlernende, moderne Programmiersprache
– tut, was man erwartet
- viele Standardfunktionen („all batteries included“)
- Bibliotheken für alle anderen Zwecke
- freie Software mit aktiver Gemeinde
- portabel, gibt es für fast jedes Betriebssystem
- entwickelt von Guido van Rossum, CWI, Amsterdam

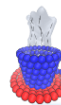


Informationen zu Python

- Aktuelle Versionen 3.3.0 bzw. 2.7.3
- 2.x ist *noch* weiter verbreitet (z.B. Python 2.7.3 im CIP-Pool)
- Diese Vorlesung behandelt daher noch 2.x
- Aber längst nicht alles, was Python kann

Hilfe zu Python

- offizielle Homepage
<http://www.python.org>
- Einsteigerkurs „A Byte of Python“
<http://swaroopch.com/notes/Python>
- mit Programmiererfahrung „Dive into Python“
<http://diveintopython.net>



Python starten

Aus der Shell:

```
> python
```

```
Python 2.7.3 (default, Aug 1 2012, 05:14:39)
```

```
[GCC 4.6.3] on linux2
```

```
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more..
```

```
>>> print "Hello", "World"
```

```
Hello World
```

```
>>> help("print")
```

```
>>> exit()
```

- >>> markiert Eingaben
- **print**: Ausgabe auf das Terminal, komma-separiert
- **help()**: interaktive Hilfe, wird mit „q“ beendet
- Statt **exit()** reicht auch Control-d
- oder **ipython** mit Tab-Ergänzung, History usw.



Python-Skripte

Als Python-Skript helloworld.py:

```
#!/usr/bin/python
```

```
# unsere erste Python-Anweisung
```

```
print "Hello World"
```

- Mit `python helloworld.py` starten
- oder ausführbar machen (`chmod a+x helloworld.py`)
- **Umlaute vermeiden** oder Encoding-Cookie einfügen
- „#!“ funktioniert genauso wie beim Shell-Skript
- Zeilen, die mit „#“ starten, sind Kommentare

Kommentare sind wichtig,
um ein Programm verständlich machen!

- ... und nicht, um es zu verlängern!



Beispiel: Fakultät

■ Problem

Gegeben: Eine ganze Zahl n

Gesucht: Die Fakultät $n! = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot n$ von n

■ Implementation

```
# calculate factorial 1*2*...*n
```

```
n = 5
```

```
factorial = 1
```

```
for k in range(1, n+1):
```

```
    factorial = factorial * k
```

```
print n, "! =", factorial
```

Ausgabe:

```
5 ! = 120
```

■ Gegebene Daten ($n=5$) fix ins Programm eingefügt

⇒ später lernen wir, Daten einzulesen



Datentyp: Ganzzahlen

```
>>> print 42
42
>>> print -12345
-12345
>>> print 20/2
10
>>> print 3/2, -3/2
1 -2
```

- Klassische, mathematische Ganzzahlen
- Division liefert nur ganzzahligen Rest (anders in Python 3!)
- rundet dabei immer ab, auch bei negativen Zahlen



Exkurs: Zahlensysteme

Sei $B > 0$ eine natürliche Zahl. Dann kann jede natürliche Zahl z *eindeutig* dargestellt werden als

$$z = \sum_{i=0}^N B^i z_i \text{ mit } 0 \leq z_i < B$$

Beispiel

- $B = 10$ entspricht unserem Dezimalsystem:

$$1042 = 10^0 \cdot 2 + 10^1 \cdot 4 + 10^3 \cdot 1 = 1042d$$

- $B = 8$ ergibt das Oktalsystem:

$$1042 = 8^0 \cdot 2 + 8^1 \cdot 2 + 8^3 \cdot 2 = 2022o$$

- $B = 16$ das Hexadezimalsystem (Ziffern 1–9, A–F):

$$1042 = 16^0 \cdot 2 + 16^1 \cdot 1 + 16^2 \cdot 4 = 412x$$



Binärsystem

- Computer arbeiten mit zwei Zuständen: viel/wenig Strom
- interpretiere als Ziffern 0 und 1 $\implies B = 2$
- Umrechnung von Binär- auf Dezimalzahlen ist umständlich:

$$1042 = 2^{10} + 2^4 + 2^1 = 10.000.010.010b$$

- Binär \leftrightarrow oktal ist einfach:

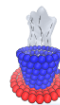
$$\begin{array}{cccc} 21 & 421 & 421 & 421 \\ 10.000.010.010b & = & 2022o & \end{array}$$

- *Hexadezimal* ($B = 16$, Ziffern 1–9, A–F) auch:

$$\begin{array}{cccc} 42 & 184 & 218 & 421 \\ 10.000.010.010b & = & 812h & \end{array}$$

$$1010.1111.1111.1110b = \text{AFFE}h$$

- daher beliebt bei Programmierern
- `print "{:x}".format(42)` gibt hexadezimal aus
- analog o für oktal, b für binär



Addieren/Subtrahieren im Binärsystem

Genau wie im Dezimalsystem:

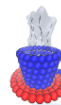
$$\begin{array}{r} 101010 \quad (\text{Summand } a) \\ + \quad 1111 \quad (\text{Summand } b) \\ \quad 1110 \quad (\text{Übertrag } c) \\ \hline = 111001 \quad (\text{Ergebnis } e) \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 101010 \quad (1. \text{ Summand } a) \\ - \quad 1111 \quad (2. \text{ Summand } b) \\ \quad 1111 \quad (\text{geborgt } c) \\ \hline = 11011 \quad (\text{Ergebnis } e) \end{array}$$

- Multiplikation / Division wie in der Grundschule

Komplementdarstellung negativer Zahlen

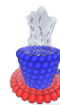
- n Bit stellen nur Zahlen $\in [0, 2^n)$ dar
- Höhere Bits werden ignoriert, insbesondere ist $2^n \equiv 0$
- Negative Zahlen werden als $-z \equiv 2^n - z$ dargestellt
- Daher ist $-5 = 256 - 5 = 251 = 11111011b$ bei 8 Bit



Datentyp: (Fließ-)kommazahlen

```
>>> print 12345.000
12345.0
>>> print 6.023e23, 13.8E-24
6.023e+23 1.38e-23
>>> print 3.0/2
1.5
```

- Reelle Zahlen der Form $6,023 \cdot 10^{23}$
- Endliche binäre Genauigkeit von **Mantisse** und **Exponent**
- $1.38e-23$ steht z. B. für $1,38 \times 10^{-23}$
- üblich: $\approx \pm 10^{300}$, 17 Stellen („doppelte Genauigkeit“)
- Achtung: englische Schreibweise, Punkt statt Komma
- Keine Tausenderpunkte (oder -kommata)
- $12345 \neq 12345.0$ (z. B. bei der Ausgabe, Division,...)



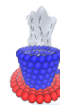
Addition/Subtraktion von Fließkommazahlen

Beispiele:

$$\begin{aligned} & 1,0 \cdot 10^0 + 1,0 \cdot 10^{-5} \\ & = 1,0 \cdot 10^0 + 0,00001 \cdot 10^0 = 1,00001 \cdot 10^0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 1,000002 \cdot 10^0 - 1,000001 \cdot 10^0 \\ & = 0,000001 \cdot 10^0 = 1,0 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

- Stellen der kleineren Zahl gehen verloren
- **Auslöschung**: Subtraktion gleich großer Zahlen
⇒ viele führende Nullen, wenig signifikante Stellen übrig
- Deswegen ist die Reihenfolge auch bei Additionen nicht egal



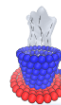
Datentyp: Zeichenketten

```
>>> print "Hello World"
Hello World
>>> print 'Hello World'
Hello World
>>> print """Hello
... World"""
Hello
World
```

- zwischen einfachen (') oder doppelten (") Anführungszeichen
- Über mehrere Zeilen mit dreifachen Anführungszeichen
- Zeichenketten sind keine Zahlen!

"1" ≠ 1

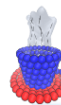
- **int**(string) konvertiert Zeichenkette in Ganzzahl
- entsprechend **float**(string) für Fließkomma



Sich etwas merken — Variablen

```
>>> factorial = 2
>>> factor = 3
>>> print factorial, factor
2 3
>>> factorial = factorial * factor
>>> factor = 4
>>> print factorial, factor
6 4
```

- Werte können mit Namen belegt werden **und verändert**
- keine mathematischen Variablen, sondern Speicherplätze
- Daher ist `factorial = factorial * factor` kein Unsinn, sondern multipliziert `factorial` mit `factor`
- Die nachträgliche Änderung von `factor` ändert nicht `factorial`, das Ergebnis der vorherigen Rechnung!



Sich etwas merken — Variablen

```
>>> factorial = 2
>>> factor = 3
>>> print factorial, factor
2 3
>>> factorial = factorial * factor
>>> factor = 4
>>> print factorial, factor
6 4
```

- Variablennamen bestehen aus Buchstaben, Ziffern oder „_“ (Unterstrich), am Anfang keine Ziffer
- Groß-/Kleinschreibung ist relevant: Hase \neq hase
- **Richtig:** i, some_value, SomeValue, v123, _hidden, _1
- **Falsch:** 1_value, some_value, some-value
- am besten sprechende Bezeichner, also „factorial“, „n“ statt „v1“, „v2“



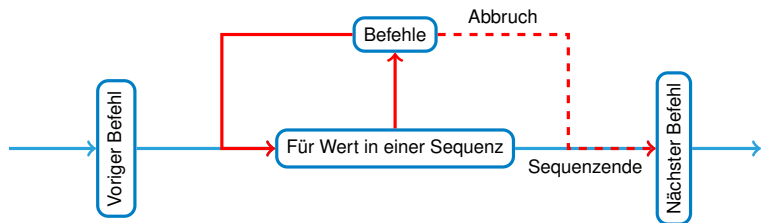
Arithmetische Ausdrücke

+	Addition, bei Strings aneinanderfügen, z.B. $1 + 2 \rightarrow 3$, $"a" + "b" \rightarrow "ab"$
-	Subtraktion, z.B. $1 - 2 \rightarrow -1$
*	Multiplikation, Strings vervielfältigen, z.B. $2 * 3 = 6$, $"ab" * 2 \rightarrow "abab"$
/	Division, bei ganzen Zahlen ganzzahlig, z.B. $3 / 2 \rightarrow 1$, $-3 / 2 \rightarrow -2$, $3.0 / 2 \rightarrow 1.5$
%	Rest bei Division, z.B. $5 \% 2 \rightarrow 1$
**	Exponent, z.B. $3^{**}2 \rightarrow 9$, $0.1^{**}3 \rightarrow 0.001$

- mathematische Präzedenz (Exponent vor Punkt vor Strich),
z. B. $2^{**}3 * 3 + 5 \rightarrow 2^3 \cdot 3 + 5 = 29$
- Präzedenz kann durch runde Klammern geändert werden:
 $2^{**}(3 * (3 + 5)) \rightarrow 2^{3 \cdot 8} = 16.777.216$



for-Schleifen



- Wiederholen eines Blocks von Befehlen
- *Schleifenvariable* nimmt dabei verschiedene Werte aus einer *Sequenz* (Liste) an
- Die abzuarbeitende Sequenz bleibt fest
- Kann bei Bedarf abgebrochen werden (Ziel erreicht, Fehler, ...)

Für jeden Studenten in den Computergrundlagen finde einen
Übungsplatz



for-Schleifen in Python

```
for v in range(k, l): body
```

- Ruft body für jedes Element in der Liste **range**(k, l) einmal auf
- Bei jedem Aufruf wird die Variable v auf das aktuelle Element gesetzt
- **range**(k, l) ist eine Liste der Zahlen a mit $k \leq a < l$
- später lernen wir, Listen zu erstellen und verändern

Beispiel

```
>>> b = 0
>>> for a in range(1, 10):
...     b = b + a
>>> print b
45
>>> print range(1,10)
[1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]
```



Blöcke und Einrückung

```
>>> b = 0
>>> for a in range(1, 3):
...     b = b + a
...     print b
4
6
>>> b = 0
>>> for a in range(1, 3):
...     b = b + a
...     print b
6
```

- Alle *gleich eingerückten* Befehle gehören zum Block
- Einzeilige Blöcke können auch direkt hinter den Doppelpunkt
- Einrücken durch Leerzeichen oder Tabulatoren (einfacher)
- So kann ein Schleifenkörper mehrere Befehle enthalten



Blöcke und Einrückung

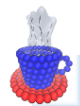
- ein Block kann nicht leer sein, aber der Befehl **pass** tut nichts:

```
if a < 5:  
    pass  
else:  
    print "a ist groesser gleich 5"
```

- **IndentationError** bei ungleichmäßiger Einrückung:

```
>>> print "Hallo"  
Hallo  
>>> print print "Hallo"  
File "<stdin>", line 1  
    print "Hallo"  
    ^  
IndentationError: unexpected indent
```

- Falsche Einrückung führt im allgemeinen zu Programmfehlern!



Beispiel: Pythagoreische Zahlentripel (Schleifen)

■ Problem

Gegeben: Eine ganze Zahl c

Gesucht: Zwei Zahlen a, b mit $a^2 + b^2 = c^2$

1. Verfeinerung: $a = 0, b = c$ geht immer $\Rightarrow a, b > 0$
2. Verfeinerung: Was, wenn es keine Lösung gibt? Fehlermeldung

■ Methodenwahl

- Es muss offenbar gelten: $a < c$ und $b < c$
- O.B.d.A. sei auch $a \leq b$, also $0 < a \leq b < c$
- Durchprobieren aller Paare a, b mit $0 < a < c$ und $a \leq b < c$:

$$c = 5 \implies c^2 = 25, a^2 + b^2 =$$

	1	2	3	4
1	2	5	10	17
2		8	13	20
3			18	25
4				32



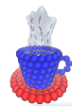
Implementation

```
# Try to find a pythagorean triple  $a^2 + b^2 = c^2$ .  
# parameter: rhs number, should be an integer larger than 0  
c = 5000  
  
# try all possible pairs  
for a in range(1,c):  
    for b in range(a,c):  
        if  $a**2 + b**2 == c**2$ :  
            print "{}^2 + {}^2 = {}^2".format(a, b, c)  
            exit()
```

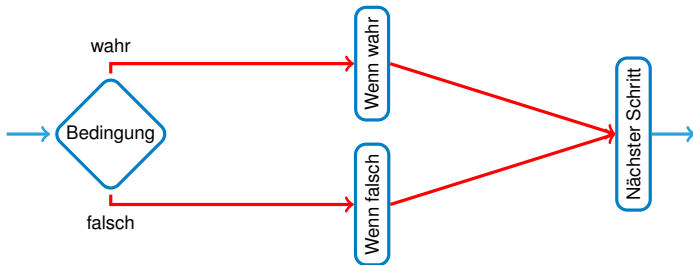
Ausgabe:

$$3^2 + 4^2 = 5^2$$

- Gegebene Daten ($c=5$) fix ins Programm eingefügt
⇒ später lernen wir, Daten einzulesen

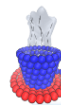


Bedingte Ausführung



- Das Programm kann auf Werte von Variablen verschieden reagieren
- Wird als *Verzweigung* bezeichnet
- Auch mehr Äste möglich (z.B. < 0 , $= 0$, > 0)

Student hat mehr als 50% Punkte? \implies zur Klausur zulassen



if: bedingte Ausführung in Python

```
if cond: body_cond_true
elif cond2: body_cond2_true
else: body_false
```

- **if-elif-else** führt den Block nach der ersten erfüllten Bedingung (logischer Wert True) aus
- Trifft keine Bedingung zu, wird der **else**-Block ausgeführt
- **elif** oder **else** sind optional

Beispiel

```
>>> a = 1
>>> if a < 5: print "a ist kleiner als 5"
... elif a > 5: print "a ist groesser als 5"
... else: print "a ist 5"
a ist kleiner als 5
```



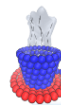
Logische Ausdrücke

<code>==, !=</code>	Test auf (Un-)Gleichheit, z.B. <code>2 == 2 → True, 1 == 1.0 → True,</code> <code>2 == 1 → False</code>
<code><, >, <=, >=</code>	Vergleich, z.B. <code>2 > 1 → True, 1 <= -1 → False</code>
<code>or, and</code>	Logische Verknüpfungen „oder“ bzw. „und“
<code>not</code>	Logische Negation, z.B. <code>not False == True</code>

- Wahrheitswerte **True** („wahr“) oder **False** („falsch“)
- Verknüpfungen wie in der klassischen **Aussagenlogik**
- Präzedenz: logische Verknüpfungen vor Vergleichen

`3 > 2 and 5 < 7 → True`

`1 < 1 or 2 >= 3 → False`



Aussagenlogik

Sei \vee die Verknüpfung „oder“, \wedge „und“ und \neg die Negation

Dann gilt für beliebige $a, b, c \in \{\text{wahr}, \text{falsch}\}$:

$$\begin{aligned} \text{A1. } & a \vee (b \vee c) = (a \vee b) \vee c, & & \\ & a \wedge (b \wedge c) = (a \wedge b) \wedge c & & \text{(Assoziativität)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{A2. } & a \vee (b \wedge c) = (a \vee b) \wedge (a \vee c), & & \\ & a \wedge (b \vee c) = (a \wedge b) \vee (a \wedge c) & & \text{(Distributivität)} \end{aligned}$$

$$\text{A3. } \quad a \vee b = b \vee a, \quad a \wedge b = b \wedge a \quad \text{(Kommutativität)}$$

$$\text{A4. } \quad a \vee (a \wedge b) = a, \quad a \wedge (a \vee b) = a \quad \text{(Adsorption)}$$

$$\text{A5. } \quad a \vee \neg a = \text{wahr}, \quad a \wedge \neg a = \text{falsch} \quad \text{(Komplemente)}$$

$$6. \quad a \vee \text{falsch} = a, \quad a \wedge \text{wahr} = a \quad \text{(Neutralität)}$$

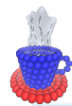
$$7. \quad a \vee \text{wahr} = \text{wahr}, \quad a \wedge \text{falsch} = \text{falsch} \quad \text{(Extremalgesetze)}$$

$$8. \quad a \vee a = a, \quad a \wedge a = a \quad \text{(Idempotenz)}$$

$$9. \quad \neg(\neg a) = a \quad \text{(Doppelnegation)}$$

$$10. \quad \neg \text{falsch} = \text{wahr}, \quad \neg \text{wahr} = \text{falsch} \quad \text{(Dualität)}$$

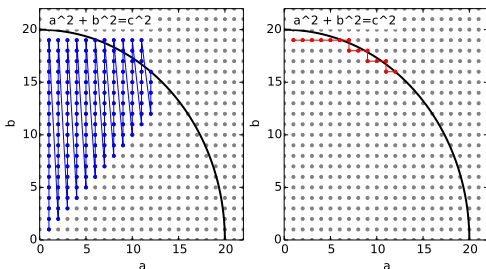
$$11. \quad \neg(a \vee b) = \neg a \wedge \neg b, \quad \neg(a \wedge b) = \neg a \vee \neg b \quad \text{(De Morgan-Gesetze)}$$



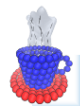
Testen auf Effizienz

Zahl (alle ohne Lösung)	1236	12343	123456
Zeit	0,2s	18,5s	30m

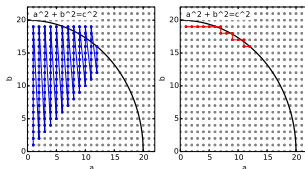
- Das ist sehr langsam! Geht das besser? Ja!



- Statt alle Paare auszuprobieren, suche nur in der Umgebung des Halbkreises!



Testen auf Effizienz



■ Methodenwahl, effizienterer Algorithmus:

- Sei zunächst $a = 1$ und $b = c - 1$
 - Ist $a^2 + b^2 > c^2$, so müssen wir b verringern, und wir wissen, dass es keine Lösung mit $b = c - 1$ gibt
 - Ist $a^2 + b^2 < c^2$, so müssen wir a erhöhen und wir wissen, dass es keine Lösung mit $a = 1$ gibt
- Mit der selben Argumentation kann man fortfahren
- Wir haben alle Möglichkeiten getestet, wenn $a > b$
- braucht maximal $|c|/2$ statt $c(c - 1)/2$ viele Schritte

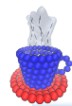


Neue Implementation

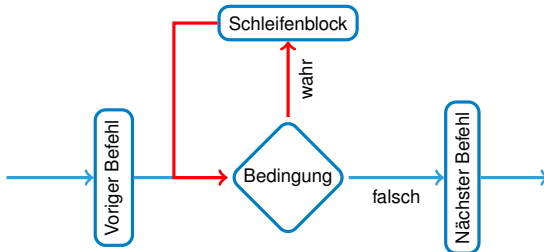
```
# parameter: rhs number, should be an integer larger than 0
c = 5
# starting pair
a = 1
b = c - 1
while a <= b:
    if a**2 + b**2 < c**2: a += 1
    elif a**2 + b**2 > c**2: b -= 1
    else:
        print "{}^2 + {}^2 = {}".format(a, b, c)
        break
```

■ Effizienz dieser Lösung:

Zahl	12343	123456	1234561	12345676	123456789
Zeit	0.04s	0.08s	0.65s	6.2s	62.4s
Zeit (alt)	0,2s	18,5s	30m	-	-



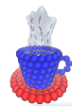
while-Schleifen



- Wiederholte Ausführung ähnlich wie for-Schleifen
- Keine *Schleifenvariable*, sondern Schleifenbedingung
- Ist die Bedingung immer erfüllt, kommt es zur **Endlosschleife**

Solange $a > 0$, ziehe eins von a ab

Solange noch Zeilen in der Datei sind, lese eine Zeile

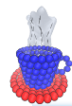


while-Schleifen in Python

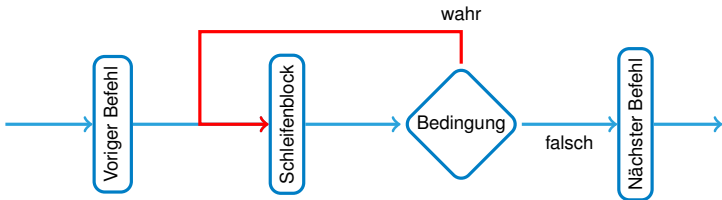
```
>>> a = 1
>>> while a < 5:
...     a = a + 1
>>> print a
5
```

- Führt den Block solange aus, wie die Bedingung wahr ist
- Block wird nicht ausgeführt, wenn Bedingung sofort verletzt ist:

```
>>> a = 6
>>> while a < 5:
...     a = a + 1
...     print "erhoehe a um eins"
>>> print a
6
```

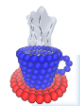


do-while-Schleifen



- **do...while**-Schleifen führen zunächst den Schleifenblock aus und überprüfen dann die Bedingung
- Nötig, wenn die Bedingung vom Ergebnis des Blocks abhängt
- In Python durch normale **while**-Schleife ersetzen:

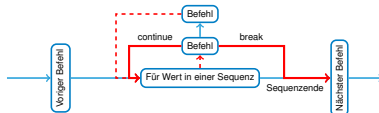
```
>>> condition = True
>>> while condition:
...     body()
...     condition = check()
```



break und continue: Schleifen beenden

```
>>> for a in range(1, 10):  
...     if a == 2: continue  
...     elif a == 5: break  
...     print a  
1  
3  
4
```

- Beide überspringen den Rest des Schleifenkörpers
- **break** bricht die Schleife ganz ab
- **continue** springt zum Anfang
- Aber immer nur die innerste Schleife





Formatierte Ausgabe: .format

```
>>> print "{}^2 + {}^2 = {:05}^2".format(3, 4, 5)
3^2 + 4^2 = 00005^2
>>> print "Strings {1} {0:>10}".format("Welt", "Hallo")
Strings Hallo      Welt
>>> print "Fließ {:e} {:+8.4f} {:g}".format(3.14,3.14,3.14)
Fließ 3.140000e+00  +3.1400 3.14
```

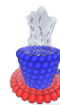
- String **.format** ersetzt {}-Platzhalter
- erster Parameter ersetzt {0}, zweiter {1} usw.
- Formatierungsangaben hinter „:“, u. a.
 - <, >, ^: links-, rechtsbündig oder zentriert
 - +: Vorzeichen immer ausgeben
 - 0: führende Nullen bei Zahlen
 - gefolgt von Breite.Genauigkeit
 - e, f, g: verschiedene Fließkommaformate
 - x, b: hexadezimal und binär ausgeben



Parameter einlesen

```
import sys
# get integer c from the command line
try:
    c = int(sys.argv[1])
except:
    sys.stderr.write("usage: {} <c>\n".format(sys.argv[0]))
    exit(-1)
print c
```

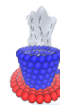
- Bisher ist c fest im Programm \implies
wenn wir c ändern wollen, müssen wir das Programm ändern
- Besser von der Kommandozeile lesen!
- So können wir das Programm direkt vom Terminal benutzen
- Wir brauchen keinen Editor, wenn es mal tut



Parameter einlesen

```
import sys
# get integer c from the command line
try:
    c = int(sys.argv[1])
except:
    sys.stderr.write("usage: {} <c>\n".format(sys.argv[0]))
    exit(-1)
print c
```

- **import** sys lädt das sys-Modul, dazu später mehr
- `sys.argv[i]` gibt dann den i-ten Parameter des Programms
- `sys.argv[0]` ist der Name des Skripts
- **int**(string) konvertiert Zeichenkette in Ganzzahl
- Der **except**-Block wird nur ausgeführt, wenn es beim Lesen von `c` einen Fehler gab



Beispiel: Sortieren

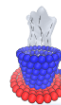
Gegeben: Liste $A = a_0, \dots, a_N$

Gesucht: Liste $A' = a'_0, \dots, a'_N$ mit denselben Elementen
wie A , aber sortiert, also $a'_0 \leq a'_1 \leq \dots \leq a'_N$

- Datentyp ist egal, so lange \leq definiert ist
- In Python ganz einfach:
 - `A.sort()` \implies A wird umsortiert
 - `B = sorted(A)` \implies A bleibt gleich, B ist die sortierte Liste

```
>>> A = [2,1,3,5,4]
>>> print sorted(A), A
[1, 2, 3, 4, 5] [2, 1, 3, 5, 4]
>>> A.sort()
>>> print A
[1, 2, 3, 4, 5]
```

- Aber was passiert da nun? Wie sortiert der Computer?



Sortieralgorithmus 1: Bubblesort

Idee

- paarweises Sortieren, größere Werte steigen wie Blasen auf
- ein Durchlauf aller Elemente \implies größtes Element ganz oben
- m Durchläufe $\implies m$ oberste Elemente einsortiert
- \implies nach spätestens N Durchläufen fertig
- fertig, sobald nichts mehr vertauscht wird

Effizienz

- im Schnitt $N/2$ Durchläufe mit $N/2$ Vergleichen
 \implies Laufzeit $\mathcal{O}(N^2)$
- Auch im schlimmsten Fall $N - 1 + N - 2 + \dots + 1 = \mathcal{O}(N^2)$
- Kein zusätzlicher Speicherbedarf



Implementation

```
def sort(A):  
    "sort list A in place"  
    N = len(A)  
    for round in range(N):  
        changed = False  
        for k in range(N - round - 1):  
            if A[k] > A[k+1]:  
                A[k], A[k + 1] = A[k+1], A[k]  
                changed = True  
        if not changed: break  
A = [1,3,2,5,4]  
sort(A)  
print A
```

Ausgabe:

```
[1, 2, 3, 4, 5]
```



Listen in Python

```
>>> kaufen = [ "Muesli", "Milch", "Obst" ]
>>> kaufen[1] = "Sahne" # "Milch" durch Sahne ersetzen
>>> print kaufen
['Muesli', 'Sahne', 'Obst']
>>> print kaufen[0] # erstes (!) Element
Muesli
>>> print kaufen[-1] # letztes Element
Obst
>>> print "Saft" in kaufen
False
```

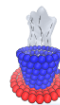
- komma-getrennt in eckigen Klammern
- können Daten *verschiedenen* Typs enthalten
- `liste[i]` bezeichnet das *i*-te Listenelement (bei 0 startend)
- negative Indizes starten vom Ende
- `x in liste` überprüft, ob `liste` ein Element mit Wert `x` enthält



Elemente zu Listen hinzufügen

```
>>> kaufen = [ "Muesli", "Milch", "Obst" ]
>>> kaufen.append("Brot")
>>> print kaufen
['Muesli', 'Milch', 'Obst', 'Brot']
>>> kaufen.insert(1, "Saft")
>>> print kaufen
['Muesli', 'Saft', 'Milch', 'Obst', 'Brot']
>>> kaufen = kaufen + [ "Milch", "Mehl" ]
>>> print kaufen
['Muesli', 'Saft', 'Milch', 'Obst', 'Brot', 'Milch', 'Mehl']
```

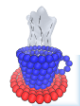
- `liste.append(x)` hängt `x` am Ende der Liste `liste` an
- `liste.insert(i, x)` fügt `x` an Position `i` der Liste `liste` an
- Listen können durch `+` aneinandergesetzt werden



Elemente löschen

```
>>> kaufen = [ "Muesli", "Milch", "Obst", "Brot", "Milch" ]
>>> kaufen.remove("Milch")
>>> print kaufen
['Muesli', 'Obst', 'Brot', 'Milch']
>>> kaufen.remove("Milch")
>>> print kaufen
['Muesli', 'Obst']
>>> kaufen.remove("Saft")
ValueError: list.remove(x): x not in list
['Muesli', 'Obst', 'Brot']
>>> del kaufen[-1]
```

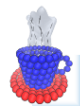
- `liste.remove(x)` entfernt *das erste Element* mit dem Wert *x* aus der Liste
- Fehler, wenn es kein solches gibt (daher mit `in` testen)
- `del liste[i]` löscht das Element mit *Index i* aus der Liste



Unterlisten

```
>>> kaufen = [ "Muesli", "Sahne", "Obst", "Oel", "Mehl" ]
>>> print kaufen[3:4]
['Oel']
>>> for l in kaufen[1:3]:
...     print l
Sahne
Obst
>>> print len(kaufen[:4])
3
```

- $[i:j+1]$ ist die Unterliste vom i -ten bis zum j -ten Element
- Leere Grenzen entsprechen Anfang bzw. Ende, also stets `liste == liste[:]` == `liste[0:]`
- **for**-Schleife iteriert über alle Elemente
- negative Indizes starten vom Ende
- **len()** berechnet die Listenlänge



Vorsicht: Flache Kopien!

```
>>> kaufen = [ "Muesli", "Milch", "Obst" ]
```

Flache Kopie:

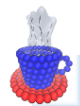
```
>>> merken = kaufen  
>>> del kaufen[-1]  
>>> print merken  
['Muesli', 'Sahne']
```

Subliste, echte Kopie:

```
>>> merken = kaufen[:]  
>>> del kaufen[-1]  
>>> print merken  
['Muesli', 'Sahne', 'Obst']
```

„=" macht in Python flache Kopien von Listen!

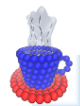
- Flache Kopien (shallow copies) *verweisen* auf dieselben Daten
- Änderungen an einer flachen Kopie betreffen auch das Original
- Sublisten sind echte Kopien (deep copies, weil alles kopiert wird)
- nur `kaufen[:]` ist eine echte Kopie von `kaufen`



Tupel: unveränderbare Listen

```
>>> kaufen = "Muesli", "Kaese", "Milch"
>>> for f in kaufen: print f
Muesli
Kaese
Milch
>>> kaufen[1] = "Camembert"
TypeError: 'tuple' object does not support item assignment
>>> print k + ("Kaese", "Milch")
('Muesli', 'Kaese', 'Milch', 'Muesli', 'Kaese', 'Milch')
```

- komma-getrennt in runden Klammern
- Solange eindeutig, können die Klammern weggelassen werden
- können nicht verändert werden
- ansonsten wie Listen einsetzbar, aber schneller
- Zeichenketten sind Tupel von Zeichen



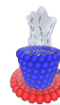
Austauschen (Swappen) von Werten mit Tupeln

```
>>> A=1
>>> B=2
>>> A, B = B, A
>>> print A, B
2 1
```

So hingegen nicht:

```
>>> A = B
>>> B = A
>>> print A, B
1 1
```

- Listen und Tupel können *links* vom Gleichheitszeichen stehen
- Elemente werden der Reihe nach zugeordnet
- `A, B = B, A` tauscht also die Werte zweier Variablen aus (Tupelzuweisung!)



Listen aus Listen erzeugen

```
>>> print [a**2 for a in [0,1,2,3,4]]  
[0, 1, 4, 9, 16]  
>>> print sum([a**2 for a in range(5)])  
30  
>>> print [a for a in range(10) if a % 2 == 1]  
[1, 3, 5, 7, 9]  
>>> print [(a,b) for a in range(3) for b in range(2)]  
[(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1), (2, 0), (2, 1)]
```

- Listen können in neue Listen abgebildet werden
- Syntax: [ausdruck **for** variable **in** liste **if** bedingung]
 - ausdruck: beliebige Formel, die meist von variable abhängt
 - variable, liste: wie in einer for-Schleife
 - bedingung: welche Werte für variable zulässig sind
- mehrere **fors** können aufeinander folgen (rechteckiges Schema)



Sortieralgorithmus 2: Quicksort

Idee

- Teile und Herrsche (Divide & Conquer):
Aufteilen in zwei kleinere Unterprobleme
- Liste ist fertig sortiert, falls $N \leq 1$
- wähle *Pivot*- (Angel-) element p
- erzeuge Listen K und G der Elemente kleiner/größer als p
- sortiere die beiden Listen K und G
- Ergebnis ist die Liste $K \oplus \{p\} \oplus G$

Effizienz

- im Schnitt $\log_2 N$ -mal aufteilen, dabei N Elemente einordnen
 \implies Laufzeit $\mathcal{O}(N \log N)$
- Aber im schlimmsten Fall $N - 1 + N - 2 + \dots + 1 = \mathcal{O}(N^2)$



Implementation

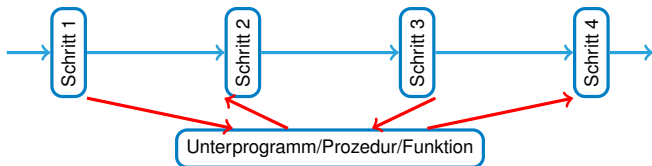
```
def sort(A):  
    print "sorting", A  
    if len(A) <= 1: return A  
    pivot = A[0]  
    smaller = [a for a in A[1:] if a < pivot]  
    larger = [a for a in A[1:] if a >= pivot]  
    print "smaller=", smaller, "pivot=", pivot, "larger=", larger  
    return sort(smaller) + [pivot] + sort(larger)  
A = [3,1,2,5,4,2,3,4,2]  
print sort(A)
```

Ausgabe:

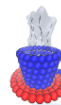
```
sorting [3, 1, 2, 5, 4, 2, 3, 4, 2]  
smaller= [1, 2, 2, 2] pivot= 3 larger= [5, 4, 3, 4]  
sorting [1, 2, 2, 2]  
...
```



Funktionen



- Funktionen (Unterprogramme, Prozeduren) unterbrechen die aktuelle Befehlskette und fahren an anderer Stelle fort
- Kehren an ihrem Ende wieder zur ursprünglichen Kette zurück
- Funktionen können selber wieder Funktionen aufrufen
- Vermeiden Code-Duplikation
 - kürzerer Code
 - besser wartbar, Fehler müssen nur einmal verbessert werden
- Sprechende Namen dokumentieren, was der Codeteil tun soll

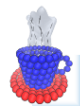


Funktionen in Python

```
>>> def printPi():  
...     print "pi ist ungefaehr 3.14159"  
>>> printPi()  
pi ist ungefaehr 3.14159
```

```
>>> def printMax(a, b):  
...     if a > b: print a  
...     else:    print b  
>>> printMax(3, 2)  
3
```

-
- eine Funktion kann beliebig viele Argumente haben
 - Argumente verhalten sich wie Variablen
 - Beim Aufruf bekommen die Argumentvariablen Werte in der Aufrufreihenfolge
 - Der Funktionskörper ist wieder ein Block

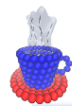


Lokale Variablen

```
>>> def max(a, b):  
...     if a > b: maxVal=a  
...     else:    maxVal=b  
...     print maxVal  
>>> max(3, 2)  
3  
>>> print maxVal  
NameError: name 'maxVal' is not defined
```

- neue Variablen innerhalb einer Funktion sind *lokal*
- existieren nur während der Funktionsausführung
- globale Variablen können nur gelesen werden

```
>>> faktor=2  
>>> def strecken(a): print faktor*a  
>>> strecken(1.5)  
3.0
```



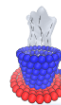
Vorgabewerte und Argumente benennen

```
>>> def lj(r, epsilon = 1.0, sigma = 1.0):  
...     return 4*epsilon*( (sigma/r)**6 - (sigma/r)**12 )  
>>> print lj(2**(1./6.))  
1.0  
>>> print lj(2**(1./6.), 1, 1)  
1.0
```

- Argumentvariablen können mit Standardwerten vorbelegt werden
- diese müssen dann beim Aufruf nicht angegeben werden

```
>>> print lj(r = 1.0, sigma = 0.5)  
0.0615234375  
>>> print lj(epsilon=1.0, sigma = 1.0, r = 2.0)  
0.0615234375
```

- beim Aufruf können die Argumente auch explizit belegt werden
- dann ist die Reihenfolge egal



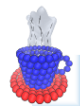
return: eine Funktion beenden

```
>>> def max(a, b):  
...     if a > b: return a  
...     else:    return b  
>>> print max(3, 2)  
3  
>>> options, args = parser.parse_args()
```

- **return** beendet die Funktion sofort (vgl. **break**)
- eine Funktion kann einen Wert zurückliefern
- der Wert wird bei **return** spezifiziert

```
>>> def minmax(a, b): return max(a), min(a)  
>>> options, args = parser.parse_args()
```

- Der Rückgabewert kann auch ein Tupel sein
⇒ mehrere Werte zurückgeben



Dokumentation von Funktionen

```
def max(a, b):  
    "Gibt das Maximum von a und b aus."  
    if a > b: print a  
    else:     print b
```

```
def min(a, b):  
    """
```

Gibt das Minimum von a und b aus. Funktioniert
ansonsten genau wie die Funktion max.

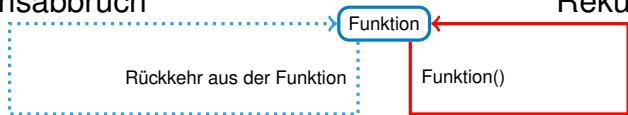
```
    """  
    if a < b: print a  
    else:     print b
```

- Dokumentation optionale Zeichenkette vor dem Funktionskörper
- wird bei **help**(funktion) ausgegeben

Rekursion

Eine Funktion, die sich selber aufruft, heißt **rekursiv**

Rekursionsabbruch



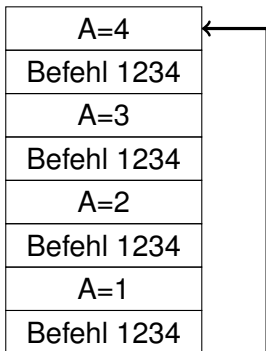
Rekursion

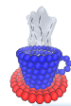
- viele Algorithmen lassen sich elegant als Rekursion formulieren (Quicksort!)
- Ablauf meist nicht einfach zu verstehen
- ob eine Rekursion endet, ist nicht immer offensichtlich
- benötigt stets Abbruchkriterium



Funktionsaufrufe und Stack

- Wieso werden Funktionswerte bei Rekursion nicht überschrieben?
- Speicherung bei Funktionsaufruf auf dem **Stack**
- Eine Liste, bei der nur am Ende hinzugefügt (**push**) oder entfernt (**pop**) werden kann
- Jede Rekursion kann mit Hilfe eines Stacks in Schleifen übersetzt werden
- Rücksprungadresse auf dem Stack speichern
- So wird Rekursion in Computern tatsächlich umgesetzt





Sortieralgorithmus 3: Mergesort

Idee

- Problem Quicksort: kurze Listen können passieren
- daher in zwei etwa gleich große Listen teilen
- Liste ist fertig sortiert, falls $N \leq 1$
- sortiere die beiden Teillisten
- Verzahnen der beiden sortierten Listen
 - das kleinste Element steht am Anfang einer der beiden Listen
 - zur sortierten Gesamtliste zufügen
 - restliche Elemente analog

Effizienz

- im Schnitt $\log_2 N$ -mal aufteilen, dabei N Elemente einordnen
⇒ Laufzeit stets $\mathcal{O}(N \log N)$, auch im schlimmsten Fall



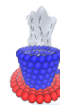
Implementation

```
def sort(A):  
    if len(A) <= 1: return A  
    center = len(A)/2  
    left, right = sort(A[:center]), sort(A[center:])  
    merged = []  
    # Listen verzahnen  
    while left and right:  
        if left[0] < right[0]:  
            merged.append(left[0])  
            del left[0]  
        else:  
            merged.append(right[0])  
            del right[0]  
    # Reste einsammeln  
    merged += left + right  
    return merged
```




Beispiel: Wörter zählen (dicts)

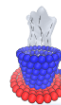
```
# count words in "gpl.txt"
count = {}
for line in open("gpl.txt"):
    # split into words at blanks
    text = line.split()
    for word in text:
        # normalize word
        word = word.strip(".,:;()\").lower()
        # account: if already known, increase count
        if word in count: count[word] += 1
        # other create counter
        else: count[word] = 1
# sort according to count and print 5 most used words
c_sorted = sorted(count, key=lambda word: count[word])
for word in reversed(c_sorted[-5:]):
    print "{:5s}: {:5d}".format(word, count[word])
```



Wörterbücher (dicts)

```
>>> de_en = { "Milch": "milk", "Mehl": "flour" }
>>> de_en["Eier"]="eggs"
>>> print de_en["Milch"]
milk
>>> if "Mehl" in de_en: print "I can translate \"Mehl\""
I can translate "Mehl"
```

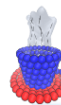
- Komma-getrennte Paare von Schlüsseln (Keys) und Werten in geschweiften Klammern
- Die Werte sind zu den Schlüsseln **assoziiert**
- Vergleiche Wörterbuch: Deutsch → Englisch
- Mit **in** kann nach Schlüsseln gesucht werden
- Gut für unstrukturierte Daten



Wörterbücher (dicts)

```
>>> for de in de_en: print de, "=>", de_en[de]
Mehl => flour
Eier => eggs
Milch => milk
>>> de_en["Mehl"] = "wheat flour"
>>> for de, en in de_en.iteritems(): print de, "=>", en
Mehl => wheat flour
Eier => eggs
Milch => milk
```

- Werte sind änderbar (siehe auch Zählprogramm)
- Indizierung über die Keys, nicht Listenindex o.ä.
- **for** iteriert auch über die Schlüssel
- Oder mit **iteritems** über Schlüssel-Wert-Tupel



Stringmethoden

- Zeichenkette in Zeichenkette suchen
"Hallo Welt".**find**("Welt") → 6
"Hallo Welt".**find**("Mond") → -1
- Zeichenkette in Zeichenkette ersetzen
"abcdabcabe".**replace**("abc", "123") → '123d123abe'
- Groß-/Kleinschreibung ändern
"hallo".**capitalize**() → 'Hallo'
"Hallo Welt".**upper**() → 'HALLO WELT'
"Hallo Welt".**lower**() → 'hallo welt'
- in eine Liste zerlegen
"1, 2, 3, 4".**split**(",") → ['1', ' 2', ' 3', ' 4']
- zuschneiden
" Hallo ".**strip**() → 'Hallo'
"..Hallo..".**rstrip**(".") → 'Hallo..'



Ein-/Ausgabe: Dateien in Python

```
input = open("in.txt")
output = open("out.txt", "w")
linenr = 0
while True:
    line = input.readline()
    if not line: break
    linenr += 1
    output.write("{}: {}\n".format(linenr, line))
output.close()
```

- Dateien sind mit **open**(datei, mode) erzeugte Objekte
- Nur beim Schließen (**close**) werden alle Daten geschrieben
- Mögliche Modi (Wert von mode):

r oder leer	lesen
w	schreiben, Datei zuvor leeren
a	schreiben, an existierende Datei anhängen



Ein-/Ausgabe: Dateien in Python

```
input = open("in.txt")
output = open("out.txt", "w")
linenr = 0
while True:
    line = input.readline()
    if not line: break
    linenr += 1
    output.write("{}: {}\n".format(linenr, line))
output.close()
```

- `datei.read()`: Lesen der *gesamten* Datei als Zeichenke
- `datei.readline()`: Lesen einer Zeile als Zeichenkette
- Je nach Bedarf mittels `split`, `int` oder `float` verarbeiten



Ein-/Ausgabe: Dateien in Python

```
input = open("in.txt")
output = open("out.txt", "w")
linenr = 0
while True:
    line = input.readline()
    if not line: break
    linenr += 1
    output.write("{}: {}\n".format(linenr, line))
output.close()
```

- `datei.write(data)`: *Zeichenkette* data zur Datei hinzufügen
- Anders als **print** *kein* automatisches Zeilenende
- Bei Bedarf Zeilenumbruch mit „\n“
- Daten, die keine Zeichenketten sind, mittels %-Operator oder **str** umwandeln



Dateien als Sequenzen

```
input = open("in.txt")
output = open("out.txt", "w")
linenr = 0
for line in input:
    linenr += 1
    output.write(str(linenr) + ": " + line + "\n")
output.close()
```

- Alternative Implementation zum vorigen Beispiel
- Dateien verhalten sich in **for** wie Listen von Zeilen
- Einfache zeilenweise Verarbeitung
- Aber kein Elementzugriff usw.!
- **write**: alternative, umständlichere Ausgabe mittels **str**-Umwandlung



Standarddateien

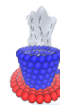
- wie in der bash gibt es auch Dateien für Standard-Eingabe, -Ausgabe und Fehler-Ausgabe
- Die Dateivariablen sind

<code>sys.stdin</code>	Eingabe (etwa Tastatur)
<code>sys.stdout</code>	Standard-Ausgabe
<code>sys.stderr</code>	Fehler-Ausgabe

```
import sys
line = sys.stdin.readline()
sys.stderr.write("don't know what to do with {}\n".format(line))
for i in range(10):
    sys.stdout.write("{} ".format(i))
sys.stdout.write("\n")
```

Ausgabe:

```
0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,
```



Ein-/Ausgabe mittels `raw_input`

```
>>> passwd = raw_input("enter password to continue: ")
enter a password to continue: secret
>>> control = input("please repeat the password: ")
please repeat the password: passwd
>>> if passwd == control: print "both are the same!"
both are the same!
```

- Tastatureingaben können einfach über `raw_input` in eine Zeichenkette gelesen werden
- `input` wertet diese hingegen als Python-Ausdruck aus
- Dies ist eine potentielle Fehlerquelle:

```
>>> passwd = input("enter a password to continue: ")
enter a password to continue: secret
NameError: name 'secret' is not defined
```

- Eingaben über die Kommandozeile sind meist praktischer
— oder wäre Dir ein `mv` lieber, das nach den Dateien fragt?



Umlaute — Encoding-Cookie

```
#!/usr/bin/python
# encoding: utf-8
# Zufällige Konstante  $\alpha$ 
alpha = 0.5
#  $\alpha^2$  ausgeben
print "Mir dünkt, dass  $\alpha^2 = {:.g}"/>.format(alpha**2)$ 
```

Ausgabe:

```
Mir dünkt, dass  $\alpha^2 = 0.25$ 
```

- Umlaute funktionieren bei Angabe der Codierung
- Muss in den ersten beiden Zeilen stehen
- Variablennamen trotzdem in ASCII!



Module

```
>>> import sys
>>> print "program name is \"{}\"".format(sys.argv[0])
program name is ""
>>> from random import random
>>> print random()
0.296915031568
```

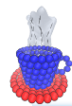
- Bis jetzt haben wir einen Teil der Basisfunktionalität von Python gesehen.
- Weitere Funktionen sind in **Module** ausgelagert
- Manche sind nicht Teil von Python und müssen erst nachinstalliert werden
- Die Benutzung eines installierten Moduls muss per **import** angekündigt werden („Modul laden“)
- Hilfe: **help(modul)**, alle Funktionen: **dir(modul)**



Das sys-Modul

- Schon vorher für Eingaben benutzt
- Stellt Informationen über Python und das laufende Programm selber zur Verfügung
- `sys.argv`: Kommandozeilenparameter, `sys.argv[0]` ist der Programmname
- `sys.stdin`,
`sys.stdout`,
`sys.stderr`: Standard-Ein-/Ausgabedateien

```
import sys  
sys.stdout.write("running {}".format(sys.argv[0]))  
line = sys.stdin.readline()  
sys.stderr.write("some error message\n")
```



argparse-Modul: Parameter in Python 2.7

```
from argparse import ArgumentParser
parser = ArgumentParser()
parser.add_argument("-f", "--file", dest="filename",
                    help="write to FILE", metavar="FILE")
parser.add_argument("number", type=int, help="the number")
args = parser.parse_args()
```

- Einlesen von Kommandozeilenflags
- add_argument spezifiziert Parameter
 - kurzer + langer Name („-f“, „--file“), ohne Minus positionsabhängiger Parameter
 - dest: Zielvariable für den vom Benutzer gegebenen Wert
 - **type**: geforderter Datentyp (**type**="int")
- Bei Aufruf `python parse.py -f test 1` ist `args.filename = 'test', args.number = 1`
- `python parse.py -f test a` gibt Fehler, da „a“ keine Zahl



math- und random-Modul

```
import math
import random
def boxmuller():
    """
    calculate Gaussian random numbers using the
    Box-Muller transform
    """
    r1, r2 = random.random(), random.random()
    return math.sqrt(-2*math.log(r1))*math.cos(2*math.pi*r2)
```

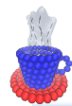
- math stellt viele mathematische Grundfunktionen zur Verfügung, z.B. **floor/ceil**, **exp/log**, **sin/cos**, **pi**
- random erzeugt *pseudozufällige* Zahlen
 - **random()**: gleichverteilt in $[0,1)$
 - **randint**(a, b): gleichverteilt ganze Zahlen in $[a, b]$
 - **gauss**(m, s): normalverteilt mit Mittelwert m und Varianz s



os-Modul: Betriebssystemfunktionen

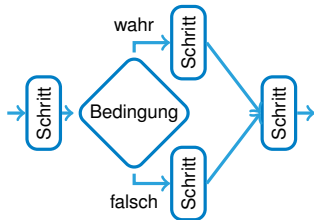
```
import os
import os.path
# Datei in Verzeichnis "alt" verschieben
dir = os.path.dirname(file)
name = os.path.basename(file)
altdir = os.path.join(dir, "alt")
# Verzeichnis "alt" erstellen, falls es nicht existiert
if not os.path.isdir(altdir): os.mkdir(altdir)
# Verschieben, falls nicht schon existent
newpath = os.path.join(altdir, name)
if not os.path.exists(newpath): os.rename(file, newpath)
```

- betriebssystemunabhängige Pfadtools im Untermodul `os.path`:
z.B. `dirname`, `basename`, `join`, `exists`, `isdir`
- `os.system`: Programme wie von der Shell aufrufen
- `os.rename/os.remove`: Dateien umbenennen / löschen
- `os.mkdir/os.rmdir`: erzeugen / entfernen von Verzeichnissen

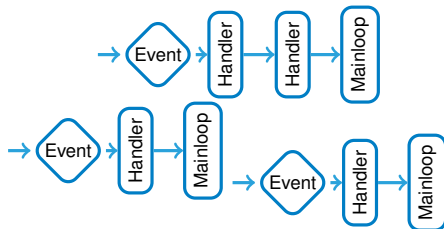


Graphical User Interfaces (GUI)

Klassisch



Eventgetrieben (GUI)



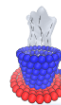
- Klassisch: Programm bestimmt, was passiert
- Warten auf Benutzereingaben
- GUI: Programm reagiert auf Eingaben (Events)
- Hauptschleife ruft Codestücke (Handler) auf
- Reihenfolge durch Benutzereingaben oder Timer bestimmt
- Programm muss Datenkonsistenz sicherstellen



Das Tkinter-Modul

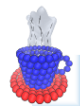
```
import Tkinter
# main window and connection to Tk
root = Tkinter.Tk()
root.title("test program")
def quit():
    print text.get()
    root.quit()
# text input
text = Tkinter.Entry(root) ; text.pack()
# button ending the program
end = Tkinter.Button(root, text = "Quit", command = quit)
end.pack({"side": "bottom"})
root.mainloop()
```

- bietet Knöpfe, Textfenster, Menüs, einfache Graphik usw.
- mit `Tk.mainloop` geht die Kontrolle an das Tk-Toolkit
- danach eventgesteuertes Programm



Numerik mit Python – numpy

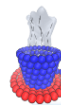
- numpy ist ein Modul für effiziente numerische Rechnungen
- Nicht fester Bestandteil von Python, aber Paket in allen Linux-Distributionen
- Alles nötige unter <http://numpy.scipy.org>
- Bietet unter anderem
 - mathematische Grundoperationen
 - Sortieren, Auswahl von Spalten, Zeilen usw.
 - Eigenwerte, -vektoren, Diagonalisierung
 - diskrete Fouriertransformation
 - statistische Auswertung
 - Zufallsgeneratoren
- Wird bei `ipython --pylab` automatisch unter dem Kürzel `np` geladen



np.ndarray – n -dimensionale Arrays

```
>>> A = np.identity(2)
>>> print A
[[ 1.  0.]
 [ 0.  1.]]
>>> v = np.zeros(5)
>>> print v
[ 0.  0.  0.  0.  0.]
>>> print type(A), type(v)
<type 'numpy.ndarray'> <type 'numpy.ndarray'>
```

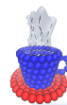
- NumPy basiert auf n -dimensionalem Array `numpy.ndarray`
- Technisch zwischen Array und Tupel
 - Kein `append/remove`
 - Aber elementweiser lesender und schreibender Zugriff
 - Alle Elemente vom selben (einfachen) Datentyp
- Entspricht mathematischen Vektoren, Arrays, Tensoren, ...



Eindimensionale Arrays – Vektoren

```
>>> import numpy as np
>>> print np.array([1.0, 2, 3])
[ 1.,  2.,  3.]
>>> print np.zeros(2)
[ 0.,  0.]
>>> print np.ones(5)
[ 1.,  1.,  1.,  1.,  1.]
>>> print np.arange(2.2, 3, 0.2)
[ 2.2,  2.4,  2.6,  2.8]
```

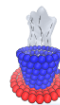
- `np.array` erzeugt ein `ndarray` aus einer (geschachtelten) Liste
- `np.arange` entspricht **range** für Fließkomma
- `np.zeros/ones` erzeugen 0er/1er-Arrays



Mehrdimensionale Arrays

```
>>> print np.array([[1, 2, 3], [4, 5, 6]])  
[[1, 2, 3],  
 [4, 5, 6]]  
>>> print np.array([[[1,2,3],[4,5,6]], [[7,8,9],[0,1,2]]])  
[[[1, 2, 3],  
  [4, 5, 6]],  
  
 [[7, 8, 9],  
  [0, 1, 2]]]
```

- `np.array` erzeugt ein mehrdimensionales `ndarray` aus einer (geschachtelten) Liste
- Alle Zeilen müssen die gleiche Länge haben
- Entsprechen Matrizen, Tensoren, ...



Mehrdimensionale Arrays

```
>>> print np.zeros((2, 2))
array([[ 0.,  0.],
       [ 0.,  0.]])
>>> print np.identity(2)
[[ 1.  0.]
 [ 0.  1.]]
>>> print np.outer([1,2],[3,5])
[[ 3  5]
 [ 6 10]]
```

- `np.zeros/ones` mit Tupeln von Dimensionen
- `np.identity` liefert die Identitätsmatrix (immer zweidimensional)
- `np.outer` ist das äußere Produkt von Vektoren:

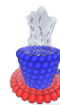
$$a \otimes b = \begin{pmatrix} a_1 b_1 & a_1 b_2 & \dots \\ \vdots & \vdots & \\ a_n b_1 & a_n b_2 & \dots \end{pmatrix}$$



Array-Informationen

```
>>> v = np.zeros(4)
>>> print v.shape
(4,)
>>> I = np.identity(2)
>>> print I.shape
(2, 2)
>>> print I.dtype
float64
```

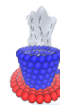
- `array.shape` gibt die Größen der Dimensionen als Tupel zurück
- Anzahl der Dimensionen (Vektor, Matrix, ...) ergibt sich aus Länge des Tupels
- `array.dtype` gibt den gemeinsamen Datentyp aller Elemente
- Wichtig beim Debuggen (Warum passen die Matrix und der Vektor nicht zusammen?)



Elementzugriff

```
>>> a = np.array([[1,2,3,4,5,6], [7,8,9,0,1,2]])
>>> print a[0]
[1 2 3 4 5 6]
>>> print a[1]
[7 8 9 0 1 2]
>>> print a[1,2]
9
```

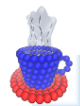
- [] indiziert Zeilen und Elemente usw.
- Anders als bei Pythonlisten können geschachtelte Indizes auftreten (wie bei Matrizen)
- $a[1,2]$ entspricht mathematisch $a_{2,3}$ wegen der verschiedenen Zählweisen (ab 0 bzw. ab 1)
- Achtung: in der Mathematik bezeichnet a_1 meist einen *Spaltenvektor*, hier $a[1]$ einen *Zeilenvektor*
- Es gilt wie in der Mathematik: **Z**eilen **z**uerst, **S**palten **s**päter!



Subarrays

```
>>> a = np.array([[1,2,3], [4,5,6], [7,8,9]])  
>>> print a[1:,1:]  
[[5 6]  
 [8 9]]  
>>> print a[:,2]  
[3 6 9]
```

- Wie bei Listen lassen sich auch Bereiche wählen, in allen Dimensionen
- `a[1:, 1:]` beschreibt die 1,1-Untermatrix, also ab der 2. Zeile und Spalte
- `a[:, 2]` beschreibt den 3. Spaltenvektor
- Achtung, dies sind immer *flache* Kopien!



Flache und tiefe Kopien von ndarray

```
>>> a = np.array([[1,2,3], [4,5,6], [7,8,9]])
>>> b = a.copy() # tiefe Kopie
>>> a[:,0] = np.zeros(3) # flache Kopie, ändert a
>>> print a
[[0 2 3]
 [0 5 6]
 [0 8 9]]
>>> print b
[[1 2 3]
 [4 5 6]
 [7 8 9]]
```

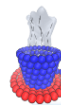
- Nützlich, weil häufig Untermatrizen verändert werden
- Anders als bei Python-Arrays sind Unterlisten *keine* Kopien!
- Kopien gibt es nur explizit durch copy



Manipulation von ndarrays

```
>>> a = np.array([[1,2], [3,4]])
>>> a = np.concatenate((a, [[5,6]]))
>>> print a
[[1 2]
 [3 4]
 [5 6]]
>>> print a.transpose()
[[1 3 5]
 [2 4 6]]
>>> a = np.array([1 + 2j])
>>> print a.conjugate()
[ 1.-2.j]
```

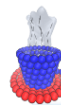
- `np.concatenate` hängt Matrizen aneinander
- `transpose()`: Transponierte (Spalten und Zeilen vertauschen)
- `conjugate()`: Komplex Konjugierte



np.dot: Matrix-Matrix-Multiplikation

```
>>> a = np.array([[1,2],[3,4]])
>>> i = np.identity(2)           # Einheitsmatrix
>>> print a*i                   # punktweises Produkt
[[1 0]
 [0 4]]
>>> print np.dot(a,i)          # echtes Matrixprodukt
[[1 2]
 [3 4]]
>>> print np.dot(a[0], a[1])   # Skalarprodukt der Zeilen
11
```

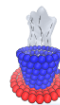
- Arrays werden normalerweise *punktweise* multipliziert
- np.dot entspricht
 - bei zwei eindimensionalen Arrays dem Vektor-Skalarprodukt
 - bei zwei zweidimensionalen Arrays der Matrix-Multiplikation
 - bei ein- und zweidim. Arrays der Vektor-Matrix-Multiplikation



Lineare Algebra

```
>>> a = np.array([[1,0],[0,1]])
>>> print a.min(), print a.max()
0 1
>>> print np.linalg.det(a)
1
>>> print np.linalg.eig(a)
(array([ 1.,  1.]), array([[ 1.,  0.],
                          [ 0.,  1.]])
```

- **min, max**: Minimum und Maximum aller Elemente
- **cross**: Vektorkreuzprodukt
- **linalg.det, .trace**: Determinante und Spur
- **linalg.norm**: (2-)Norm
- **linalg.eig**: Eigenwerte und -vektoren
- **linalg.inv**: Matrixinverse
- **linalg.solve(A, b)**: Lösen von $Ax = b$



Beispiel: Rücksubstitution

Problem

Gegeben: Rechte obere Dreiecksmatrix A , Vektor b

Gesucht: Lösung des linearen Gleichungssystems $Ax = b$

$$\begin{array}{rcccccc} a_{11}x_1 & + & a_{12}x_2 & + & \dots & + & a_{1n}x_n & = & b_1 \\ & & a_{22}x_2 & + & \dots & + & a_{2n}x_n & = & b_2 \\ & & & & \ddots & & \vdots & & \vdots \\ & & & & & & a_{nn}x_n & = & b_n \end{array}$$

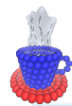
Zum Beispiel aus dem Gaußschen Eliminationsverfahren
(dazu in mehr in „Physik auf dem Computer“)

Methode: Rücksubstitution

- Letzte Gleichung: $a_{nn}x_n = b_n \implies x_n = b_n/a_{nn}$
- Vorletzte Gleichung:

$$x_{n-1} = (b_{n-1} - a_{n-1,n}x_n)/a_{n-1,n-1}$$

- Und so weiter...



Implementation

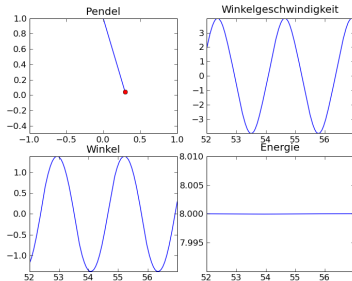
```
import numpy as np
def backsubstitute(A, b):
    rows = b.shape[0]           # length of the problem
    x = np.zeros(rows)         # solution, same size as b
    for i in range(1, rows + 1): # loop rows reversely
        row = rows - i
        x[row] = b[row] - np.dot(A[row,row+1:], x[row+1:])
        x[row] /= A[row,row]
    return x
A = np.array([[1, 2, 3], [0, 4, 5], [0, 0, 6]])
b = np.array([1, 2, 3])
print backsubstitute(A, b), np.linalg.solve(A, b)
```

Ausgabe

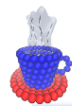
```
[-0.25 -0.125  0.5 ] [-0.25 -0.125  0.5 ]
```


Analyse und Visualisierung

Zeit	Winkel	Geschw.	Energie
55.0	1.1605	2.0509	8.000015
55.2	1.3839	0.1625	8.000017
55.4	1.2245	-1.7434	8.000016
55.6	0.7040	-3.3668	8.000008
55.8	-0.0556	-3.9962	8.000000
56.0	-0.7951	-3.1810	8.000009
56.2	-1.2694	-1.4849	8.000016
56.4	-1.3756	0.43024	8.000017
56.6	-1.1001	2.29749	8.000014
56.8	-0.4860	3.70518	8.000004



- Zahlen anschauen ist langweilig!
- Graphen sind besser geeignet
- Statistik hilft, Ergebnisse einzuschätzen (Fehlerbalken)
- Histogramme, Durchschnitt, Varianz



Durchschnitt und Varianz

```
>>> samples=100000
>>> z = np.random.normal(0, 2, samples)

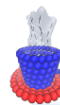
>>> print np.mean(z)
-0.00123299611634
>>> print np.var(z)
4.03344753342
```

■ Arithmetischer **Durchschnitt**

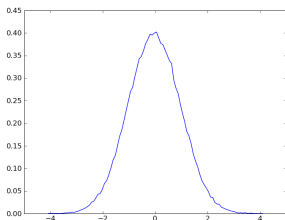
$$\langle z \rangle = \sum_{i=1}^{\text{len}(z)} z_i / \text{len}(z)$$

■ **Varianz**

$$\sigma(z) = \langle (z - \langle z \rangle)^2 \rangle$$

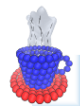


Histogramme

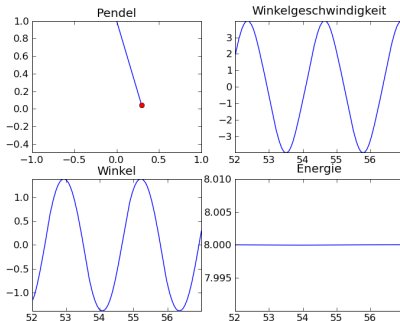


```
>>> zz = np.random.normal(0,1,100000)
>>> werte, rand = np.histogram(zz, bins=100, normed=True)
```

- Histogramme geben die Häufigkeit von Werten an
- In bins vielen gleich breiten Intervallen
- werte sind die Häufigkeiten, raender die Grenzen der Intervalle (ein Wert mehr als in werte)



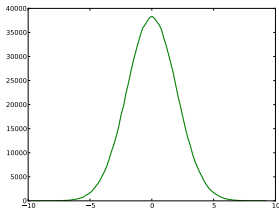
Malen nach Zahlen – matplotlib



- Ein Modul zum Erstellen von Graphen, mächtiger als Gnuplot
- 2D oder 3D, mehrere Graphen in einem
- Speichern als Bitmap
- Kann auch animierte Kurven darstellen

2D-Plots

```
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as pyplot
...
x = np.arange(0, 2*np.pi, 0.01)
y = np.sin(x)
pyplot.plot(x, y, "g", linewidth=2)
pyplot.text(1, -0.5, "sin(2*pi*x)")
pyplot.show()
```



- `pyplot.plot` erzeugt einen 2D-Graphen
- `pyplot.text` schreibt beliebigen Text in den Graphen
- `pyplot.show()` zeigt den Graphen an
- Parametrische Plots mit Punkten ($x[t]$, $y[t]$)
- für Funktionen Punkte ($x[t]$, $y(x[t])$) mit x Bereich
- Farbe und Form über String und Parameter – ausprobieren

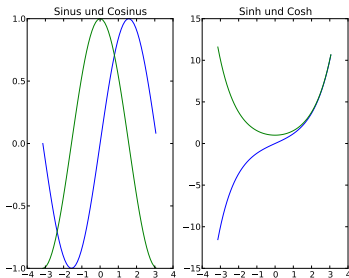


Mehrfache Graphen

```
bild = pyplot.figure()
```

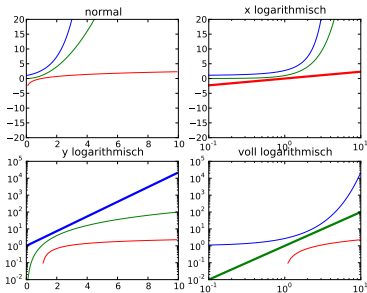
```
graph_1 = bild.add_subplot(121, title="Sinus und Cosinus")  
graph_1.plot(x, np.sin(x))  
graph_1.plot(x, np.cos(x))  
graph_2 = bild.add_subplot(122, title="Sinh und Cosh")  
graph_2.plot(x, np.sinh(x), x, np.cosh(x))
```

- Mehrere Kurven in einem Graphen:
`plot(x_1,y_1 [,"stil"], x_2,y_2 ,...)!`
- Oder mehrere `plot`-Befehle
- Mehrere Graphen in einem Bild mit Hilfe von `add_subplot`





Logarithmische Skalen

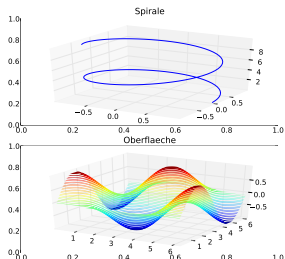


$$y = \exp(x)$$
$$y = x^2$$
$$y = \log(x)$$

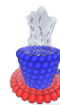
- `set_xscale("log")` bzw. `set_yscale("log")`
- y logarithmisch: $y = \exp(x)$ wird zur Geraden $y' = \log(y) = x$
- x logarithmisch: $y = \log(x) = x'$ ist eine Gerade
- $x + y$ logarithmisch: Potenzgesetze $y = x^n$ werden zu Geraden, da $y' = \log(x^n) = n \log(x) = nx'$

3D-Plots

```
import matplotlib
import matplotlib.pyplot as pyplot
import mpl_toolkits.mplot3d as p3d
...
bild = pyplot.figure()
z = np.arange(0, 10, 0.1)
x, y = np.cos(z), np.sin(z)
graph = p3d.Axes3D(bild)
graph.plot(x, y, z)
```



- plot: wie 2D, nur mit 3 Koordinaten x, y, z
- plot_wireframe: Gitteroberflächen
- contourf3D: farbige Höhenkodierung
- Achtung! 3D ist neu und das Interface ändert sich noch



Interaktive Visualisierung

```
import matplotlib
matplotlib.use('TkAgg')
import matplotlib.pyplot as pyplot
...
abb = pyplot.figure()
plot = abb.add_subplot(111)
kurve, = plot.plot([], [])
def weiter():
    abb.canvas.manager.window.after(1000, weiter)
    kurve.set_data(x, np.sin(x))
    abb.canvas.draw()
...
abb.canvas.manager.window.after(100, weiter)
pyplot.show()
```

- Update und Timing durch GUI (hier TkInter)
- set_data um die Daten zu verändern