




# Informatik I

## Spezifikation, Algorithmus, Programm

G. Zachmann  
 Clausthal University, Germany  
[zach@in.tu-clausthal.de](mailto:zach@in.tu-clausthal.de)




1. Spezifikation
  - Vor dem Schreiben eines Programmes muß das Problem zunächst spezifiziert werden
2. Algorithmus
  - Ablauf von Aktionen, die das Problem schrittweise lösen
3. Programm
  - konkrete Formulierung des Algorithmus in einer Programmiersprache

*As long as there were no machines, programming was no problem at all; when we had a few weak computers, programming became a mild problem, and now we have gigantic computers, programming has become a gigantic problem.*

Edsger W. Dijkstra (1930-2002)  
ACM Turing Award Lecture 1972

G. Zachmann    Informatik 1 - WS 05/06    Spezifikation, Algorithmus, Programm    2




## Definition Spezifikation

- vollständige, detaillierte und unzweideutige Problembeschreibung
- dabei heißt
  - **Vollständig:** alle Anforderungen und alle relevanten Rahmenbedingungen sind angegeben
  - **Detailliert:** Angabe aller zugelassenen Hilfsmittel, Grundaktionen
  - **Unzweideutig:** klare Kriterien, wann eine vorgeschlagene Lösung akzeptabel ist

G. Zachmann    Informatik 1 - WS 05/06    Spezifikation, Algorithmus, Programm    3




- **Eingabespezifikation:** Es muß genau spezifiziert sein, welche Eingabegrößen erforderlich sind und welchen Anforderungen diese Größen genügen müssen, damit das Verfahren funktioniert
- **Ausgabespezifikation:** Es muß genau spezifiziert sein, welche Ausgabegrößen (Resultate) mit welchen Eigenschaften berechnet werden
- Sprachgebrauch manchmal:
  - **Zusicherung**, die der Algorithmus für die erarbeiteten Ergebnisse gibt
  - **Vorbedingungen**, die der Algo von den eingegeben Daten fordert

G. Zachmann    Informatik 1 - WS 05/06    Spezifikation, Algorithmus, Programm    4

## Beispiel

- Kaffee kochen
  - Es soll eine Thermoskanne Kaffee bereitgestellt werden
- Offene Fragen
  - Vollständigkeit
    - darf eine Kaffeemaschine benutzt werden?
  - Detailliertheit
    - welche Aktionen sind erlaubt?
    - Filter einlegen, Kaffeepulver einfüllen, etc.
  - Unzweideutigkeit
    - muß der Kaffeefilter anschließend in den Müll?

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 5

## ggT(M, N)

- "Für beliebige Zahlen M und N berechne den größten gemeinsamen Teiler ggT(M,N), also die größte Zahl, die sowohl M als auch N teilt"
- offene Fragen
  - Vollständigkeit
    - Welche Zahlen M,N sind zugelassen?
    - Positive Zahlen oder auch negative oder rationale? Ist 0 erlaubt?
  - Detailliertheit
    - Welche Operationen sind erlaubt?
    - '+', '-' oder auch div und mod?
  - Unzweideutigkeit
    - Was heißt berechnen?
    - Soll das Ergebnis ausgedrückt werden? Soll es in einer Variablen gespeichert werden?
    - Wo kommen die beiden Zahlen M und N her?

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 6

## Beschreibung von Spezifikationen

- Präziseste Sprache zur Spezifikation ist die **mathematische Logik**
- In der Praxis werden häufig weniger formale Beschreibungen in natürlicher Sprache verwendet (**Pflichtenhefte**)
  - Häufig umfangreich, mehrdeutig, inkonsistent
  - Ist die Ausgabespezifikation das, was der Kunde wollte?
  - Bekommt der Kunde von seinen "Zulieferern" das, was die Eingabespezifikation sagt?
  - Tut der Algorithmus das, was in der Spezifikation steht?
  - Tut der Algo das, was der Kunde wollte?
  - Siehe Software-Engineering

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 7

## Formale Spezifikation

- Paar  $P$  und  $Q$  von logischen Aussagen (Aussagenlogik!)
- $P$ : **Vorbedingung / Eingabespezifikation**
  - alle relevanten Eigenschaften, die vor Ausführung des Algorithmus gelten
    - Kaffeemaschine aus, Wassertank leer, ...
- $Q$ : **Nachbedingung / Zusicherung**
  - alle relevanten Eigenschaften, die nach Ausführung des Algorithmus gelten
    - Thermoskanne gefüllt, Kaffeefilter im Biomüll, ...
- Schreibweise: { aussagenlogische Formeln ... }

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 8

### Beispiel

- $ggT(M,N)$ :
  - Vorbedingung:  $\{M \text{ und } N \text{ sind ganze Zahlen mit } 0 < M < 32767 \text{ und } 0 < N < 32767\}$
  - Nachbedingung:  $\{z \text{ ist Teiler von } M \text{ und } N \text{ und für jede andere Zahl } z', \text{ die auch } M \text{ und } N \text{ teilt, gilt } z' \leq z\}$
- Häufig benutzte Konvention
  - Großbuchstaben bezeichnen Eingabedaten, also durch den Algorithmus nicht veränderbare Größen
  - Kleinbuchstaben bezeichnen Variablen, also veränderbare Größen

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 9

### Algorithmen

- Definition Algorithmus:
 

geordnete Menge eindeutiger, diskreter, durchführbarer Schritte, die die geg. Vorbedingung in endlich vielen Schritten die geg. Nachbedingung überführen.
- also: eine präzise Vorschrift, wie in endlich vielen Schritten ein Problem gelöst werden kann
- Beispiel: Konvertierung zwischen Dezimal  $\leftrightarrow$  Binär

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 10

### Herkunft des Wortes „Algorithmus“

Muhammad ibn Musa abu Djafar al-Choresmi, ca. 780-850 n. Chr.

- arabischer Mathematiker, geboren in Choresmien ( heute Usbekistan)
- lebte und wirkte in Bagdad im "Haus der Weisheit"
- war beteiligt an der Übersetzung der Werke griechischer Mathematiker ins Arabische
- schrieb ein "Kurzgefasstes Lehrbuch für die Berechnung durch Vergleich und Reduktion" (Lehrbuch zum Rechnen mit Dezimalzahlen)
- lateinische Übersetzung dieses Buches ("liber algorismi") kam durch Kreuzfahrer nach Europa
- verfasste auch ein Buch mit dem Titel "Al-Mukhtasar fi Hisab al-Jabr wa l-Muqabala"



Algebra

Algorithmus

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 11

### Eine sehr alte Beschreibung eines Algorithmus'

Verdoppeln einer ganzen Zahl nach Adam Riese (16. Jahrhundert)

Duplieren  
 Lehret wie du ein zahl zweyfaltigen solt. Thu ihm also:  
 Schreib die zahl vor dich /mach ein Linien darunter/ heb an zu forderst / Duplir die erste Figur. Kompt ein zahl die du mit einer Figur schreiben magst / so setz die unden. Wo mit zweyen / schreib die erste / Die ander bahalt im sinn. Darnach duplir die ander / und gib darzu / das du behalten hast / und schreib abermals die erste Figur / wo zwo vorhanden / und duplir fort biß zur letzten / die schreibe gantz auß / als folgende Exempel aufweisen.

41232	98765	68704
82464	197530	al-Biruni, Rechenbuch, 1574

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 12

### Algorithmus und Spezifikation

- Spezifikation  $\{P\} \{Q\}$  beschreibt Problem
- Algorithmus  $A$  sei Lösung des Problems
- Schreibweise:  $\{P\} A \{Q\}$

Wird der Algorithmus  $A$  in einer Situation gestartet, in der  $P$  gilt, dann gilt nach Beendigung des Algorithmus  $Q$

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 13

### Algorithmus und Spezifikation

- Algorithmenentwurf ist wie Gleichung mit einer Unbekannten  $X$ :  $\{P\} X \{Q\}$ 
  - gesucht: Algorithmus  $X$ , der  $P$  in  $Q$  überführt
- Achtung: nicht jede Spezifikation hat eine Lösung
  - Beispiel:  $\{M < 0\} X \{x \in \mathbb{R} \text{ und } x = \log(M)\}$
- falls eine Lösung (Algo)  $X$  existiert, gibt es unendlich viele
  - Beispiel:  $\{M > 0\} X \{x = 2 * M\}$ 
    - Addiere  $M$  und  $M$
    - Multipliziere  $M$  mit  $2$
    - Berechne  $(M+2)^2 - M^2 - 4$
- Ziel: den "kürzesten" Algorithmus zu finden  $\rightarrow$ 
  - Praktische Informatik: Algorithmenentwurf
  - Theoretische Informatik: Komplexität dieses Algo / minimale Komplexität

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 14

### Algorithmus und Spezifikation

- wir gehen immer von der Terminierung eines Algorithmus  $A$  aus
  - terminiert  $A$  nicht, ist  $\{P\}A\{Q\}$  trivialerweise erfüllt
    - ("... gilt nach Beendigung des Algorithmus  $Q$ ")
  - insbesondere kann  $\{P\}A\{\text{false}\}$  nur dann erfüllt werden, wenn  $A$  nicht terminiert
- ein nicht terminierender Algorithmus löst aber kein Problem

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 15

### Begriffe in der Definition für "Algorithmus"

- Ausführung des Algorithmus erfolgt in **diskreten** Schritten
  - einzelne, einfache **Elementaraktionen**
  - Welche dies sind hängt vom sog. **Algorithmischen Modell** ab
    - Maschineninstruktionen?
    - Hochsprachliche Konstruktionen? ( $\log(x)$  ?)
    - Bitkomplexität? (Addition beliebig langer Zahlen)
- Endliche** Beschreibung: das Verfahren muß in einem endlichen Text vollständig beschrieben sein

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 16

- **Geordnete Menge**
  - **Reihenfolge** der Schritte genügt gewissen Regeln
  - Schritte müssen nicht unbedingt nacheinander ausgeführt werden
    - es ist erlaubt, daß mehrere Schritte parallel von verschiedenen Einheiten ausgeführt werden (parallele oder verteilte Algorithmen)
    - bei einer einzigen aktiven Einheit allerdings gibt es einen ersten, zweiten, etc. Schritt (sequentielle Algorithmen)
- **Determiniertheit:** Der Verfahrensablauf ist zu jedem Zeitpunkt fest vorgeschrieben
  - zum Zeitpunkt der Ausführung eines Schrittes muß eindeutig und vollständig festgelegt sein, was zu tun ist
  - Gleiche Eingaben sollen zum gleichen Ablauf und Ergebnis führen
  - Ausnahme: randomisierte Algorithmen, deren Ablauf von (mathematisch bestimmten) Zufallsgrößen abhängt
  - Weitere Ausnahme: Parallelisierung

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 17

- **Effektivität:** Jeder Schritt des Verfahrens muß effektiv (d.h. tatsächlich „mechanisch“ ausführbar sein
  - Bem.: „Effektivität“ ist nicht zu verwechseln mit „Effizienz“ („Wirtschaftlichkeit“)
- **Nicht erlaubt:**
  1. Erstelle eine Liste aller positiven ungeraden Zahlen
  2. Sortiere die Liste in absteigender Reihenfolge
  3. Gib das letzte Element der Liste aus

⇒ Ergebnis wäre 1, aber Schritte sind nicht ausführbar

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 18

- **Terminierung:** Der Algorithmus hält nach endlich vielen Schritten mit einem Ergebnis an — sofern die Eingaben der Eingabespezifikation genügt haben!
- nicht erlaubt: Schrittfolgen, die nie ein sinnvolles Ergebnis liefern:
  - Starte mit Zahl 0
  - Addiere 2
  - Falls Ergebnis ungerade, halte an, sonst weiter bei Schritt 2.
- **Sonderfälle:**
  - Betriebssystem, Datenbanksystem, ... (Ausgaben fortwährend)
  - Bei numerischen Algorithmen (z.B. Nullstellenberechnung), möchte man häufig offen lassen, wann genau die Berechnung in der Praxis abbrechen soll

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 19

- es gibt Algorithmen(?), von denen man nicht *weiß*, ob sie in jeder Situation terminieren
- **Beispiel: Ulam-Funktion oder Syrakus-Problem**
  1. Starte mit beliebiger positiver ganzer Zahl  $n$
  2. Falls  $n$  ungerade, ersetze  $n$  durch  $3*n+1$ , sonst ersetze  $n$  durch  $n/2$ .
  3. Fahre fort, bis  $n = 1$  erreicht ist.
    - nicht bekannt, ob folgender Algo für beliebige Startwerte terminiert
- **Beispielläufe:**

5, 16, 8, 4, 2, 1

6, 3, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1

7, 22, 11, 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 20

### Korrektheit

- **Partielle Korrektheit:** Jedes berechnete Ergebnis genügt der Ausgabespezifikation, sofern die Eingaben der Eingabespezifikation genügt haben
  - d.h. Ein- und Ausgabeparameter genügen im Falle der Terminierung immer den Spezifikationen
  - Achtung: partielle Korrektheit sagt nichts über die Terminierung!
- **Totale Korrektheit:** Ein Rechenverfahren ist ein total korrekter Algorithmus, wenn es partiell korrekt ist und für jede Eingabe, die der Eingabespezifikation genügt, terminiert.
  - Unterschiedliche Beweisverfahren für beide Fälle notwendig
  - Manchmal ist es sinnvoll, auf die Anforderung der Terminierung zu verzichten

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 21

### Ausnahmen

- ... bestätigen die Regel: nach unserer Begriffsbestimmung gäbe es also keine
  - nicht-terminierende Algos (Algo liefert manchmal, oder für manche Eingaben, kein Ergebnis, kommt aber so selten vor, daß man in Kauf nimmt)
  - nicht-deterministische, randomisierte Algos (Ablauf und Ergebnis kann, bei gleicher Eingabe, jedesmal anders sein)
  - ...
- Diese Begriffe werden aber durchaus verwendet!
  - Methode erfüllt alle Anforderungen an einen Algorithmus, bis auf die mit „nicht“ gekennzeichnete

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 22

### Darstellung / Beschreibung von Algorithmen

- zahlreiche Methoden, Algorithmen darzustellen, z.B.
  - informelle Beschreibung, "Roman" (s. Adam Riese)
  - Flußdiagramme
  - Struktogramme
  - Pseudocode
  - UML-Diagramme
  - Programmcode
  - ...

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 23

### Flußdiagramm

- **Flußdiagramm**
  - grafische Notation für Algorithmen
  - leicht verständlich
  - kann bei umfangreichen Algorithmen unübersichtlich werden

Aktion  
auszuführende Elementaraktion  
Reihenfolge der Elementaroperationen

Bed.?  
Test: Bedingung im Karo. Ist sie erfüllt, weiter bei T, sonst weiter bei F

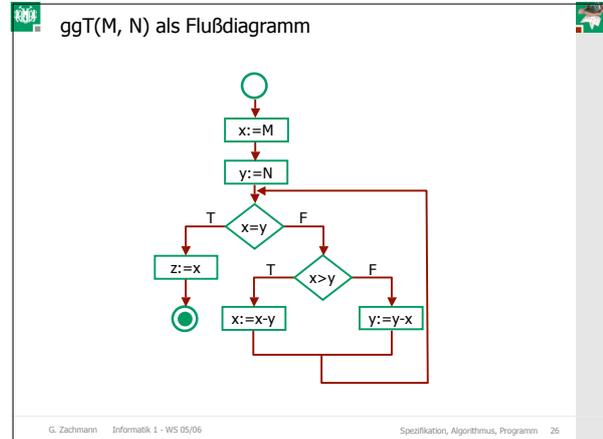
Beginn der Ausführung des Algorithmus  
Ende der Ausführung des Algorithmus

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 24

### Beispiel: ggT(M, N)

- Eigenschaften von  $T = \text{ggT}(M, N)$ 
  - Fall  $M=N$ :  $\text{ggT}(M, M) = M$
  - Fall  $M>N$ :  $\text{ggT}(M, N) = \text{ggT}(M-N, N)$ 
    - Denn für jedes  $T$  mit  $M=A*T$  und  $N=B*T$  gilt  $M-N = (A-B)*T$
  - Fall  $M<N$ :  $\text{ggT}(M, N) = \text{ggT}(M, N-M)$
- Dies ist schon eine Beschreibung des Algorithmus' in Pseudocode!

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 25



### Das algorithmische Modell

- Das algorithmische Modell definiert, welches genau die Elementaren Aktionen sind.
- Variablen lesen (= Benutzung der Variablenamen im Programm)
- Variablen schreiben (Zuweisung eines Wertes zu einer Variablen)
- Werte verknüpfen (Benutzung von Operatoren oder Funktionen)
- Beispiele:
  - $x = x - y$
  - $x = M \bmod N$
  - $y = \sin(x)$

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 27

- Werte in Variablen oder Ausdrücken testen (demnächst)
- Sprünge, Verzweigungen, Funktionsaufrufe
- Konstante "Menge" von Daten ausgeben

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 28

## Vom Algorithmus zum Programm

- Programm := Formulierung eines Algorithmus in einer für den Computer verständlichen (Programmier-)Sprache
- Unterschiedlichste Programmiersprachen
  - imperative Sprachen
    - befehlsorientiert
    - z.B. BASIC, PASCAL, C, C++, Java
  - deklarative Programmiersprachen
    - mathematische / logische Formulierung eines Problems
    - System versucht mit Inferenzregeln, eine Tatsache zu beweisen
    - z.B. PROLOG, ...
  - objektorientierte Programmiersprachen
    - Objekte: Daten und Methoden zur Manipulation der Daten (genauer s.u.)
    - z.B. Smalltalk, C++, Java, ...
  - Funktionale Sprachen
    - Wesentliches Element ist der Funktionsaufruf und die Liste
    - Z.B. Lisp, ML, Haskell
  - Hybride
  - es kommen keine weitere Paradigmen hinzu (?)

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 29

## Pseudocode

- Siehe ggT
- Hilfsmittel zur Formulierung eines Algorithmus
- Syntax ist nicht genau festgelegt
  - hier: PASCAL ähnlich
  - sollte intuitiv zugänglich sein
- in Entwurfsphase auch verbale Beschreibung von Blöcken möglich
  - z.B. "Daten einlesen" oder "alphabetisch sortieren"
- leicht in imperative Programmiersprache übertragbar

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 30

## Beispiel ggT

$t = \text{ggT}(m, n)$   
 Input:  $m, n \in \mathbb{N}, m, n > 0$   
 Output:  $t \in \mathbb{N}, t > 0$

```

while m ≠ n:
  if m < n:
    swap m, n
  m ← m - n
output m
  
```

```

solange m ≠ n:
  falls m < n:
    swap m, n
  m ← m - n
drucke m
  
```

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 31

## Was ist ein Programm?

- Erinnerung: **Algorithmenbegriff** beinhaltet ein „effektiv“ („mechanisch“) durchführbar
- Entwicklung von Algorithmen kann weitgehend **ohne eine konkrete Maschine (=Programmiersprache)** erfolgen

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 32



## "Algorithmisches Denken"

- Problem: Muffins backen
- Rezept:
 

```
Muffins:
Verrühre 200g Butter, 200g Zucker, 4 Eier 1 Pck
Backpulver, 1 Pck Vanillezucker, 250 g Mehl, 3 Eßl.
Rum und drei mittelgroße geschälte und zerteilte
Äpfel; fülle den Teig in Muffinförmchen; backe bei
175-200 Grad für etwa 30 min; bestäube die Muffins
mit etwas Puderzucker
```
- Aufgabe:
  - Apfelzeit berücksichtigen
- Unser Rezept ist von einer sehr einfachen Form, denn es besteht lediglich aus einer Aneinanderreihung einfacher elementarer Anweisungen. Komplexere Algorithmen können weitere Strukturen enthalten.

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 37

- Apfelzeit ist eine Bedingung (ist nicht immer erfüllt) → *bedingte Anweisungen*:
 

```
Muffins:
Verrühre 200 g Butter, 200 g Zucker, 4 Eier, 1 Pck
Backpulver, 1 Pck Vanillezucker, 250 g Mehl, 3
Eßl. Rum;
falls es Apfelzeit ist
    füge drei mittelgroße geschälte und
    zerteilte Äpfel hinzu;
sonst
    füge 100 g Schokoladenstückchen hinzu;
fülle den Teig in Muffinförmchen;
backe bei 175-200 Grad für etwa 30 min;
bestäube die Muffins mit etwas Puderzucker
```

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 38

- Backzeit implementieren → *Wiederholungen (Schleifen)*:
 

```
Muffins:
Verrühre 200 g Butter, 200 g Zucker, 4 Eier, 1 Pck
Backpulver, 1 Pck Vanillezucker, 250 g Mehl,
3 Eßl. Rum;
falls es Apfelzeit ist
    füge drei mittelgroße geschälte und
    zerteilte Äpfel hinzu;
sonst
    füge 100 g Schokoladenstückchen hinzu;
fülle den Teig in Muffinförmchen;
solange die Muffins noch nicht gar sind
    backe bei 175-200 Grad;
bestäube die Muffins mit etwas Puderzucker
```

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 39

- Anzahl Personen berücksichtigen → Algorithmus muß man parametrisieren durch Variablen, die von außen gesetzt werden:
 

```
Muffins:
Frage nach, wieviele Personen da sind;
Speichere die Antwort in der Variablen x;
y=x/4;
Verrühre y*200 g Butter, y*200 g Zucker, y*4 Eier, y Pck
Backpulver, y Pck Vanillezucker, y*250 g Mehl,
y*3 Eßl. Rum;
falls es Apfelzeit ist
    füge y*drei mittelgroße geschälte und zerteilte
    Äpfel hinzu;
sonst
    füge y*100 g Schokoladenstückchen hinzu;
fülle den Teig in Muffinförmchen;
solange die Muffins noch nicht gar sind
    backe bei 175-200 Grad;
bestäube die Muffins mit etwas Puderzucker
```

G. Zachmann Informatik 1 - WS 05/06 Spezifikation, Algorithmus, Programm 40

- Strukturierung für Übersichtlichkeit und Wiederverwendbarkeit von Teilen des Rezeptes → Algorithmus aufteilen auf mehrere *Teilprogramme*.

```
Muffins:
Frage nach, wieviele Personen da sind;
Speichere die Antwort in der Variablen x;
y=x/4;
Verrühre y*200 g Butter, y*200 g Zucker,y*4 Eier,
    y Pck Backpulver,y Pck Vanillezucker,y*250 g Mehl
    y*3 EBl.Rum;
falls es Apfelzeit ist
    füge y*drei mittelgroße geschälte und zerteilte
        Apfel hinzu;
sonst
    füge y*100 g Schokoladenstückchen hinzu;
fülle den Teig in Muffinförmchen;
solange Teilprogramm Stäbchentest liefert „nicht fertig“
    backe bei 175-200 Grad;
bestäube die Muffins mit etwas Puderzucker
```

```
Teilprogramm Stäbchentest:
stecke ein Holzstäbchen in das erste Muffin;
falls Teig kleben bleibt
    liefere "noch nicht fertig";
sonst
    liefere "fertig"
```

Der Algorithmus ist jetzt schon ganz schön kompliziert geworden. Er ist in gewisser Hinsicht noch einfach, denn es handelt sich um eine *sequentielle* Folge von Anweisungen. Das heißt, ein einziger Koch ist hier am Werk, der die Anweisungen nacheinander ausführt. Alternativen sind *parallele* Programme, in denen mehrere Anweisungen gleichzeitig durch verschiedene Prozessoren ausgeführt werden können. Beim Backen könnte etwa der Küchenjunge schonmal die Äpfel schälen, während der Chefkoch den Teig zubereitet. Die Aktionen müssen in parallelen Programmen geeignet *synchronisiert*, d.h. abgestimmt werden. Etwa der Küchenjunge muß mit den Äpfeln fertig sein, bevor der Chefkoch sie zum Teig fügen kann.

## Anwendung von Moore's Law auf Algorithmen

- Moore's Law: Die Anzahl Transistoren pro Chip-Fläche verdoppelt sich alle 2 Jahre
  - Konsequenz: Die Leistungsfähigkeit (Geschwindigkeit) verdoppelt sich alle 2 Jahre
  - Speicherkapazität verdoppelt sich alle 2 Jahre
  - Problemgrößen verdoppeln sich alle 2 Jahre
- Konsequenz: auf der neuen Maschine braucht ein Algorithmus **länger** 
  - "Beweis":
    - Algorithmus benötigt Zeit  $N \log N$  auf alter Maschine
    - Auf neuer Maschine:  $(2N \log 2N) / 2 = N \log 2N = N \log N + N$
- Konsequenz: Entwicklung schneller Algorithmen lohnt sich!