

# Algorithmen & Datenstrukturen

Sebastian Wild  
wild@cs.uni-kl.de



*Fachbereich Informatik*

05. Januar 2017



# Organisatorisches



News

- Prüfungstermin: Dienstag, **28.02.2017** (08:30 in 01-160)

# News

- Prüfungstermin: Dienstag, **28.02.2017** (08:30 in 01-160)
- Grundlagenfragebogen

# News

- Prüfungstermin: Dienstag, **28.02.2017** (08:30 in 01-160)
- Grundlagenfragebogen
  - Hinweise auf Prüfungsseite im OLAT

# News

- Prüfungstermin: Dienstag, **28.02.2017** (08:30 in 01-160)
- Grundlagenfragebogen
  - Hinweise auf Prüfungsseite im OLAT
  - nachher mehr dazu!

# News

- Prüfungstermin: Dienstag, **28.02.2017** (08:30 in 01-160)
- Grundlagenfragebogen
  - Hinweise auf Prüfungsseite im OLAT
  - nachher mehr dazu!
- Programmierprojekt 

# News

- Prüfungstermin: Dienstag, **28.02.2017** (08:30 in 01-160)
- Grundlagenfragebogen
  - Hinweise auf Prüfungsseite im OLAT
  - nachher mehr dazu!
- Programmierprojekt 
  - Maze Competition **nächsten Mittwoch** (11.01.) in 46-260.

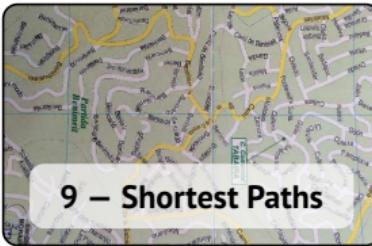
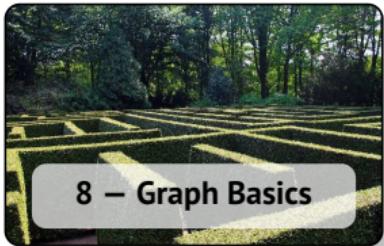
*News*

- Prüfungstermin: Dienstag, **28.02.2017** (08:30 in 01-160)
- Grundlagenfragebogen
  - Hinweise auf Prüfungsseite im OLAT
  - nachher mehr dazu!
- Programmierprojekt 
  - Maze Competition **nächsten Mittwoch** (11.01.) in 46-260.
  - danach in diesem Slot: Übungsstunde

- Prüfungstermin: Dienstag, **28.02.2017** (08:30 in 01-160)
- Grundlagenfragebogen
  - Hinweise auf Prüfungsseite im OLAT
  - nachher mehr dazu!
- Programmierprojekt 
  - Maze Competition **nächsten Mittwoch** (11.01.) in 46-260.
  - danach in diesem Slot: Übungsstunde
- voraussichtlich kein Donnerstagstermin für Vorlesungen (außer heute)

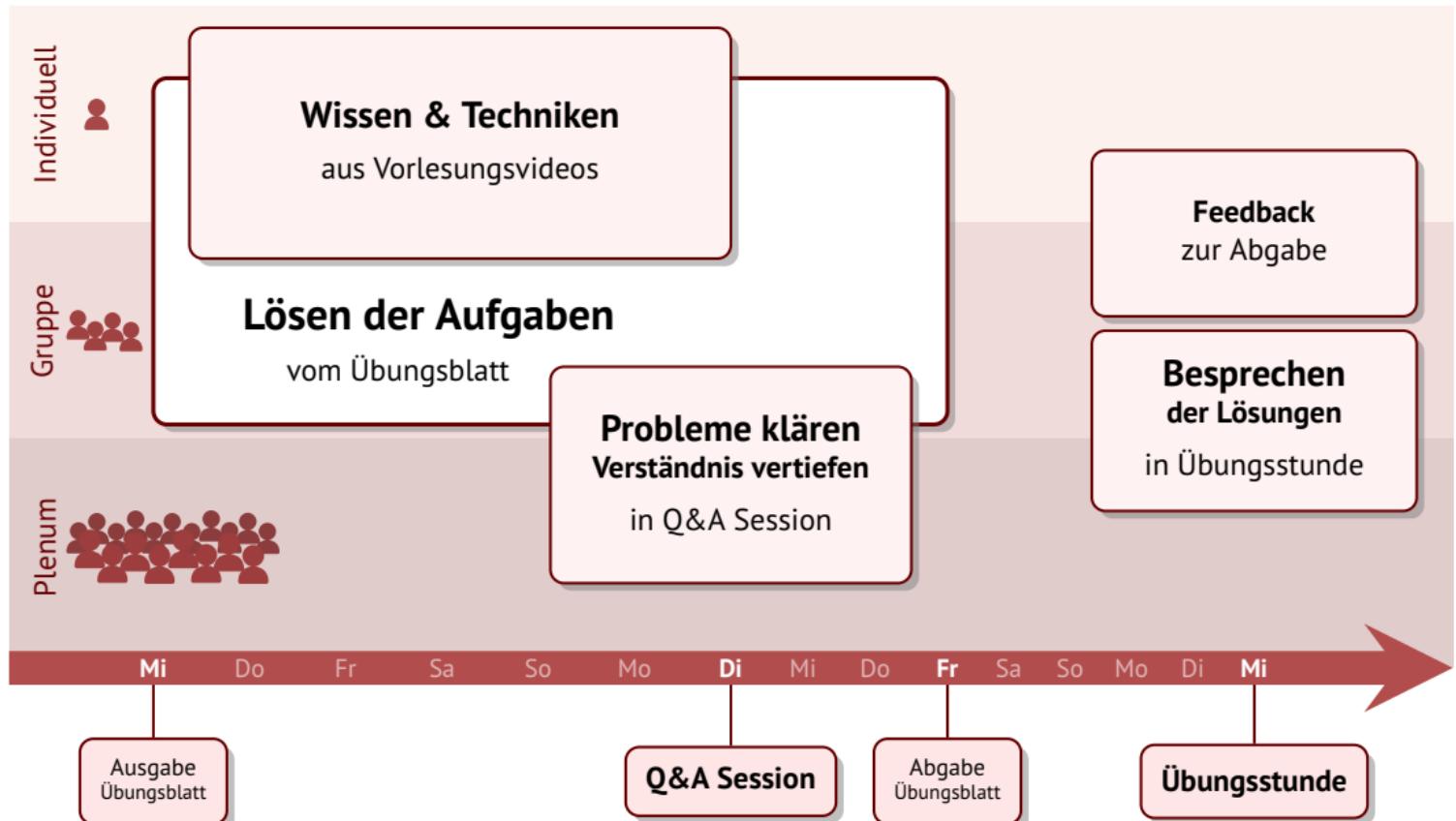
- Prüfungstermin: Dienstag, **28.02.2017** (08:30 in 01-160)
- Grundlagenfragebogen
  - Hinweise auf Prüfungsseite im OLAT
  - nachher mehr dazu!
- Programmierprojekt 
  - Maze Competition **nächsten Mittwoch** (11.01.) in 46-260.
  - danach in diesem Slot: Übungsstunde
- voraussichtlich kein Donnerstagstermin für Vorlesungen (außer heute)
- jetzt offiziell: 

# Überblick über den Kurs



Images from <https://www.flickr.com/photos/drywall/747943436/>, pixabay, [http://www.palmpedia.net/wiki/Hyphaene\\_compressa](http://www.palmpedia.net/wiki/Hyphaene_compressa)

# Ablaufplan



## • Aufgaben auf Übungsblättern

Problem-zentriertes Arbeiten (→ deshalb Übungsblatt ganz am Anfang),  
Erwerb von **Fähigkeiten** beim Lösen in Kleingruppe

- **Aufgaben auf Übungsblättern**

Problem-zentriertes Arbeiten (→ deshalb Übungsblatt ganz am Anfang),  
Erwerb von **Fähigkeiten** beim Lösen in Kleingruppe

- **Videos** (Alternative: Kapitel aus Lehrbuch) ← gibts auf deutsch

Vermittlung von **Wissen**, jeder *in seinem Tempo* (innerhalb einer Lektion)

- **Aufgaben auf Übungsblättern**

Problem-zentriertes Arbeiten (→ deshalb Übungsblatt ganz am Anfang),  
Erwerb von **Fähigkeiten** beim Lösen in Kleingruppe

- **Videos** (Alternative: Kapitel aus Lehrbuch) ← gibts auf deutsch

Vermittlung von **Wissen**, *jeder in seinem Tempo* (innerhalb einer Lektion)

- „**Aufgaben zur Vorbereitung**“ zu Videos

**Mindestaktivierung** während des Zuhörens

„das solltest ihr *mindestens* aus den Videos mitnehmen“; oft etwas oberflächlich

⌚ Antworten mitschreiben! Nicht passiv berieseln lassen („Hirn aus“)  
(sonst ist die Zeit vertan)

- **Aufgaben auf Übungsblättern**

Problem-zentriertes Arbeiten (→ deshalb Übungsblatt ganz am Anfang),  
Erwerb von **Fähigkeiten** beim Lösen in Kleingruppe

- **Videos** (Alternative: Kapitel aus Lehrbuch) ← gibts auf deutsch

Vermittlung von **Wissen**, *jeder in seinem Tempo* (innerhalb einer Lektion)

- „**Aufgaben zur Vorbereitung**“ zu Videos

**Mindestaktivierung** während des Zuhörens

„das solltest ihr *mindestens* aus den Videos mitnehmen“; oft etwas oberflächlich

⌚ Antworten mitschreiben! Nicht passiv berieseln lassen („Hirn aus“)  
(sonst ist die Zeit vertan)

- **Kollaborative Fragensammlung** (Piratenpad)

Unklarheiten und **weiterführende Fragen** sammeln, direkt beim Schauen

**Feedback** zu Fragen und Antworten von **Mitstudis** (geben und bekommen!)

Ranking der Fragen für Q&A Session

- **Aufgaben auf Übungsblättern**

Problem-zentriertes Arbeiten (→ deshalb Übungsblatt ganz am Anfang),  
Erwerb von **Fähigkeiten** beim Lösen in Kleingruppe

- **Videos** (Alternative: Kapitel aus Lehrbuch) ← gibts auf deutsch

Vermittlung von **Wissen**, *jeder in seinem Tempo* (innerhalb einer Lektion)

- „**Aufgaben zur Vorbereitung**“ zu Videos

**Mindestaktivierung** während des Zuhörens

„das solltest ihr *mindestens* aus den Videos mitnehmen“; oft etwas oberflächlich

⌚ Antworten mitschreiben! Nicht passiv berieseln lassen („Hirn aus“)  
(sonst ist die Zeit vertan)

- **Kollaborative Fragensammlung** (Piratenpad)

Unklarheiten und **weiterführende Fragen** sammeln, direkt beim Schauen

**Feedback** zu Fragen und Antworten von **Mitstudis** (geben und bekommen!)

Ranking der Fragen für Q&A Session

Evtl. fortführen während Q&A Session als Gedächtnisstütze / grobes Protokoll?

- **Aufgaben auf Übungsblättern**

Problem-zentriertes Arbeiten (→ deshalb Übungsblatt ganz am Anfang),  
Erwerb von **Fähigkeiten** beim Lösen in Kleingruppe

- **Videos** (Alternative: Kapitel aus Lehrbuch) ← gibts auf deutsch

Vermittlung von **Wissen**, *jeder in seinem Tempo* (innerhalb einer Lektion)

- „**Aufgaben zur Vorbereitung**“ zu Videos

**Mindestaktivierung** während des Zuhörens

„das solltest ihr *mindestens* aus den Videos mitnehmen“; oft etwas oberflächlich

⌚ Antworten mitschreiben! Nicht passiv berieseln lassen („Hirn aus“)  
(sonst ist die Zeit vertan)

- **Kollaborative Fragensammlung** (Piratenpad)

Unklarheiten und **weiterführende Fragen** sammeln, direkt beim Schauen

**Feedback** zu Fragen und Antworten **von Mitstudis** (geben und bekommen!)

Ranking der Fragen für Q&A Session

*Evtl. fortführen während Q&A Session als Gedächtnisstütze / grobes Protokoll?*

- **Q&A Sessions**

**Klären** von schwierigen Fragen, **Vertiefen** des Verständnisses

nach den Videos, während Bearbeitung der Übungsaufgaben → ihr seid „im Stoff“

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv**.

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.  
inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!

~> hier: Verständnisfragen klären

- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum
- Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!
- Wir sind alle erwachsen  
~> keine Anwesenheitspflicht  
(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)
- Wir fangen pünktlich an.

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv**.

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.

inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!

~> hier: Verständnisfragen klären

- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum

- Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!

- Wir sind alle erwachsen

~> keine Anwesenheitspflicht

(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)

- Wir fangen pünktlich an.

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv**.

# alles verstanden

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.

inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!

~> hier: Verständnisfragen klären

- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum

- Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!

- Wir sind alle erwachsen

~> keine Anwesenheitspflicht

(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)

- Wir fangen pünktlich an.

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv**.

≠ alles verstanden

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.

inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!

~> hier: Verständnisfragen klären

● Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum

● Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!

● Wir sind alle erwachsen

~> keine Anwesenheitspflicht

(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)

● Wir fangen pünktlich an.

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv**.

≠ alles verstanden

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.

inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!

~> hier: Verständnisfragen klären

- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum

● Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!

- Wir sind alle erwachsen

~> keine Anwesenheitspflicht

(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)

- Wir fangen pünktlich an.

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv**.

≠ alles verstanden



- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.

inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!

~> hier: Verständnisfragen klären

- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum

- Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!

- Wir sind alle erwachsen

~> keine Anwesenheitspflicht

(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)

- Wir fangen pünktlich an.

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv**.

≠ alles verstanden

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.

inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!

~> hier: Verständnisfragen klären

- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum

- Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!

- Wir sind alle erwachsen

~> keine Anwesenheitspflicht

(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)

- Wir fangen pünktlich an.

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv**.

≠ alles verstanden



- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.

inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!

~> hier: Verständnisfragen klären

- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum

- Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!

- Wir sind alle erwachsen

~> keine Anwesenheitspflicht

(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)

- Wir fangen pünktlich an.

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv**.

≠ alles verstanden



- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.

inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!

~> hier: Verständnisfragen klären

- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum

- Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!

- Wir sind alle erwachsen

~> keine Anwesenheitspflicht

(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)

- Wir fangen pünktlich an.

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen ~> Ihr seid **aktiv.**  
  **≠ alles verstanden**

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.  
inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!
- ~> hier: Verständnisfragen klären
- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum
- Beiträge werden nicht bewertet ~> keine Scheu!
- Wir sind alle erwachsen  
~> keine Anwesenheitspflicht  
(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)
- Wir fangen pünktlich an.

## Vorlesungsmodus

**Ziel:** neuen Stoff lernen  
  ~> konzentriertes **Mitdenken** ermöglichen

- keine Laptops, Tablets, Handys,  
Smartphones, Phablets, Smartwatches, Mobilkonsolen, . . .

## Übungen

- ähnlich zu Q&A-Sessions
- **Zitieren statt Plagiieren!**  
Ich habe (etwas) Verständnis für Faulheit,  
aber keins für Ideenklau!

## Q&A-Modus

**Ziel:** Verständnis vertiefen → Ihr seid **aktiv.**  
  ≠ alles verstanden

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.  
inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!
- hier: Verständnisfragen klären
- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum
- Beiträge werden nicht bewertet → keine Scheu!
- Wir sind alle erwachsen  
→ keine Anwesenheitspflicht  
(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)
- Wir fangen pünktlich an.

## Vorlesungmodus

**Ziel:** neuen Stoff lernen  
→ konzentriertes **Mitdenken** ermöglichen

- keine Laptops, Tablets, Handys,  
Smartphones, Phablets, Smartwatches, Mobilkonsolen, ...

## Übungen

- ähnlich zu Q&A-Sessions
- **Zitieren statt Plagiieren!**  
Ich habe (etwas) Verständnis für Faulheit,  
aber keins für Ideenklau!

## Q&A-Modus

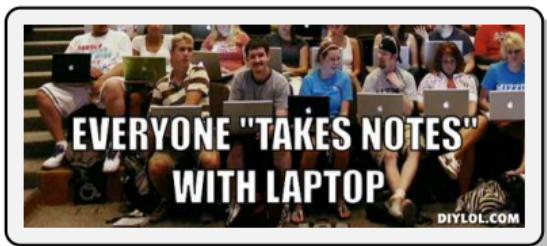
**Ziel:** Verständnis vertiefen → Ihr seid **aktiv.**  
≠ alles verstanden

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.  
inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!
- hier: Verständnisfragen klären
- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum
- Beiträge werden nicht bewertet → keine Scheu!
- Wir sind alle erwachsen  
→ keine Anwesenheitspflicht  
(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)
- Wir fangen pünktlich an.

## Vorlesungmodus

**Ziel:** neuen Stoff lernen  
→ konzentriertes **Mitdenken** ermöglichen

- keine Laptops, Tablets, Handys,  
Smartphones, Phablets, Smartwatches, Mobilkonsolen, ...



## Übungen

- ähnlich zu Q&A-Sessions
- **Zitieren statt Plagiieren!**  
Ich habe (etwas) Verständnis für Faulheit,  
aber keins für Ideenklau!

## Q&A-Modus

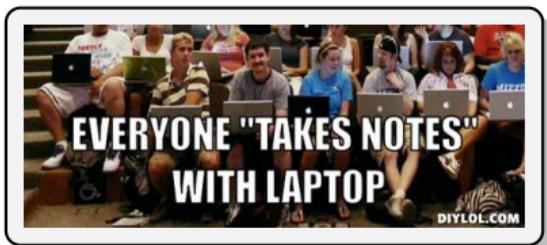
**Ziel:** Verständnis vertiefen ↗ Ihr seid **aktiv.**  
≠ alles verstanden

- Ich setze voraus, dass ihr Videos / Lesestoff kennt.  
inklusive „Aufgaben zur Vorbereitung“!
- ↗ hier: Verständnisfragen klären
- Wechsel zwischen Gruppendiskussion und Plenum
- Beiträge werden nicht bewertet ↗ keine Scheu!
- Wir sind alle erwachsen  
↗ keine Anwesenheitspflicht  
(auch keine Bestehensgarantie ohne Anstrengung)
- Wir fangen pünktlich an.

## Vorlesungmodus

**Ziel:** neuen Stoff lernen  
↗ konzentriertes **Mitdenken** ermöglichen

- keine Laptops, Tablets, Handys,  
Smartphones, Phablets, Smartwatches, Mobilkonsolen, ...



## Übungen

- ähnlich zu Q&A-Sessions
- **Zitieren statt Plagiieren!**  
Ich habe (etwas) Verständnis für Faulheit,  
aber keins für Ideenklau!

1

START



# Wozu Algorithmik?

## Why study algorithms?

Their impact is broad and far-reaching.

**Internet.** Web search, packet routing, distributed file sharing, ...

**Biology.** Human genome project, protein folding, ...

**Computers.** Circuit layout, file system, compilers, ...

**Computer graphics.** Movies, video games, virtual reality, ...

**Security.** Cell phones, e-commerce, voting machines, ...

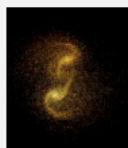
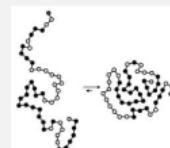
**Multimedia.** MP3, JPG, DivX, HDTV, face recognition, ...

**Social networks.** Recommendations, news feeds, advertisements, ...

**Physics.** N-body simulation, particle collision simulation, ...

⋮

Google  
YAHOO!  
bing



3

<http://algs4.cs.princeton.edu/lectures/00Intro.pdf>, page 3

## Why study algorithms?

Their impact is broad and far-reaching.

### Mysterious algorithm was 4% of trading activity last week

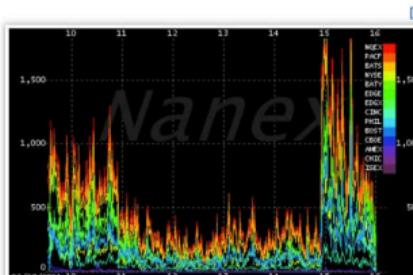
October 11, 2012

A single mysterious computer program that placed orders — and then subsequently canceled them — made up 4 percent of all quote traffic in the U.S. stock market last week, according to the top tracker of [high-frequency trading](#) activity.

The motive of the algorithm is still unclear, [CNBC](#) reports.

The program placed orders in 25-millisecond bursts involving about 500 stocks, according to Nanex, a market data firm. The algorithm never executed a single trade, and it abruptly ended at about 10:30 a.m. ET Friday.

"My guess is that the algo was testing the market, as high-frequency frequently does," says Jon Najarian, co-founder of TradeMonster.com. "As soon as they add bandwidth, the HFT crowd sees how quickly they can top out to create latency." ([Read More: Unclear What Caused Kraft Spike: Nanex Founder.](#))



Generic high frequency trading chart (credit: Nanex)

## Why study algorithms?

They may unlock the secrets of life and of the universe.

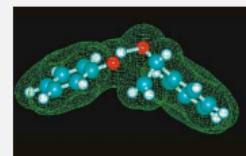
*“ Computer models mirroring real life have become crucial for most advances made in chemistry today.... Today the computer is just as important a tool for chemists as the test tube. ”*

— Royal Swedish Academy of Sciences

(Nobel Prize in Chemistry 2013)



Martin Karplus, Michael Levitt, and Arieh Warshel



## Why study algorithms?

For fun and profit.



## Why study algorithms?

- Their impact is broad and far-reaching.
- Old roots, new opportunities.
- For intellectual stimulation.
- To become a proficient programmer.
- They may unlock the secrets of life and of the universe.
- To solve problems that could not otherwise be addressed.
- Everybody else is doing it.
- For fun and profit.

Why study anything else?



## Ziele dieser Vorlesung:

① Baukasten aus Algorithmen und Datenstrukturen aufbauen

- **best practices:** Liste von A. & DS. für Standardprobleme
- intellektuelle Errungenschaften der Informatik

② Algorithmen **bewerten** können

③ mit anderen Experten über Algorithmen **reden**

- Computational Thinking prägt unsere Welt.
- Vokabular aufbauen (~> Baukasten)
- präzise Beschreibungen verstehen und erstellen,  
z. B. Javadoc der Java API (siehe nächste Folie)
- erkennen, wenn jemand „Mist“ erzählt

## Ziele dieser Vorlesung:

### ① Baukasten aus Algorithmen und Datenstrukturen aufbauen

- **best practices:** Liste von A. & DS. für Standardprobleme
- intellektuelle Errungenschaften der Informatik

### ② Algorithmen bewerten können

### ③ mit anderen Experten über Algorithmen reden

- Computational Thinking prägt unsere Welt.
- Vokabular aufbauen (~> Baukasten)
- präzise Beschreibungen verstehen und erstellen,  
z. B. Javadoc der Java API (siehe nächste Folie)
- erkennen, wenn jemand „Mist“ erzählt

## Ziele dieser Vorlesung:

### ① Baukasten aus Algorithmen und Datenstrukturen aufbauen

- **best practices:** Liste von A. & DS. für Standardprobleme
- intellektuelle Errungenschaften der Informatik

### ② Algorithmen **bewerten** können

### ③ mit anderen Experten über Algorithmen **reden**

- Computational Thinking prägt unsere Welt.
- Vokabular aufbauen (~> Baukasten)
- präzise Beschreibungen verstehen und erstellen,  
z. B. Javadoc der Java API (siehe nächste Folie)
- erkennen, wenn jemand „Mist“ erzählt

## Ziele dieser Vorlesung:

### ① Baukasten aus Algorithmen und Datenstrukturen aufbauen

- **best practices:** Liste von A. & DS. für Standardprobleme
- intellektuelle Errungenschaften der Informatik

### ② Algorithmen **bewerten** können

### ③ mit anderen Experten über Algorithmen **reden**

- Computational Thinking prägt unsere Welt.
- Vokabular aufbauen (~> Baukasten)
- präzise Beschreibungen verstehen und erstellen,  
z. B. Javadoc der Java API (siehe nächste Folie)
- erkennen, wenn jemand „Mist“ erzählt

# Wozu Algorithmik?

## Ziele dieser Vorlesung:

### ① Baukasten aus Algorithmen und Datenstrukturen aufbauen

- **best practices:** Liste von A. & DS. für Standardprobleme
- intellektuelle Errungenschaften der Informatik

### ② Algorithmen **bewerten** können

### ③ mit anderen Experten über Algorithmen **reden**

- Computational Thinking prägt unsere Welt.
- Vokabular aufbauen (~ Baukasten)
- präzise Beschreibungen verstehen und erstellen, z. B. Javadoc der Java API (siehe nächste Folie)
- erkennen, wenn jemand „Mist“ erzählt



# Wozu Algorithmik?

## Ziele dieser Vorlesung:

### ① Baukasten aus Algorithmen und Datenstrukturen aufbauen

- **best practices:** Liste von A. & DS. für Standardprobleme
- intellektuelle Errungenschaften der Informatik

### ② Algorithmen **bewerten** können

### ③ mit anderen Experten über Algorithmen **reden**

- Computational Thinking prägt unsere Welt.
- Vokabular aufbauen (~ Baukasten)
- präzise Beschreibungen verstehen und erstellen, z. B. Javadoc der Java API (siehe nächste Folie)
- erkennen, wenn jemand „Mist“ erzählt



10/13

# Beispiele aus der Java API

The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window displaying the Java PriorityQueue API documentation from Oracle's Java Platform SE 7 documentation site. The page content includes:

```
public class PriorityQueue<E>
extends AbstractQueue<E>
implements Serializable
```

An unbounded priority queue based on a priority heap. The elements of the priority queue are ordered according to their natural ordering, or by a Comparator provided at queue construction time, depending on which constructor is used. A priority queue does not permit null elements. A priority queue relying on natural ordering also does not permit insertion of non-comparable objects (doing so may result in ClassCastException).

The head of this queue is the least element with respect to the specified ordering. If multiple elements are tied for least value, the head is one of those elements – ties are broken arbitrarily. The queue retrieval operations poll, remove, peek, and element access the element at the head of the queue.

A priority queue is unbounded, but has an internal capacity governing the size of an array used to store the elements on the queue. It is always at least as large as the queue size. As elements are added to a priority queue, its capacity grows automatically. The details of the growth policy are not specified.

This class and its iterator implement all of the optional methods of the Collection and Iterator interfaces. The Iterator provided in method iterator() is not guaranteed to traverse the elements of the priority queue in any particular order. If you need ordered traversal, consider using Arrays.sort(pq.toArray()).

**Note that this implementation is not synchronized.** Multiple threads should not access a PriorityQueue instance concurrently if any of the threads modifies the queue. Instead, use the thread-safe PriorityBlockingQueue class.

**Implementation note:** this implementation provides O(log(n)) time for the enqueueing and dequeuing methods (offer, poll, remove() and add); linear time for the remove(Object) and contains(Object) methods; and constant time for the retrieval methods (peek, element, and size).

This class is a member of the Java Collections Framework

The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window displaying the Java ConcurrentSkipListMap API documentation from Oracle's Java Platform SE 7 documentation site. The page content includes:

## Class ConcurrentSkipListMap<K,V>

```
java.lang.Object
    java.util.AbstractMap<K,V>
        java.util.concurrent.ConcurrentSkipListMap<K,V>
```

**Type Parameters:**

- K - the type of keys maintained by this map
- V - the type of mapped values

**All Implemented Interfaces:**

```
Serializable, Cloneable, ConcurrentMap<K,V>,
ConcurrentNavigableMap<K,V>, Map<K,V>, NavigableMap<K,V>,
SortedMap<K,V>
```

---

```
public class ConcurrentSkipListMap<K,V>
extends AbstractMap<K,V>
implements ConcurrentNavigableMap<K,V>, Cloneable, Serializable
```

A scalable concurrent ConcurrentNavigableMap implementation. The map is sorted according to the natural ordering of its keys, or by a Comparator provided at map creation time, depending on which constructor is used.

This class implements a concurrent variant of SkipLists providing expected average  $\log(n)$  time cost for the containsKey, get, put and remove operations and their variants. Insertion, removal, update, and access operations safely execute concurrently by multiple threads. Iterators are weakly consistent, returning elements reflecting the state of the map at some point at or since the creation of the iterator. They do not throw ConcurrentModificationException, and may proceed concurrently with other operations. Ascending key ordered views and their iterators are faster than descending ones.

# 2

## Maschinen, Modelle & Mathe

A&DS ist Teil eines **wissenschaftlichen** Studiengangs

A&DS ist Teil eines **wissenschaftlichen** Studiengangs

Weniger ...

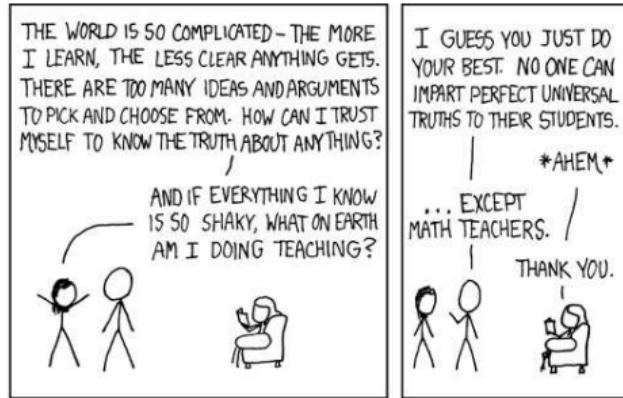


A&DS ist Teil eines **wissenschaftlichen** Studiengangs

Weniger ...

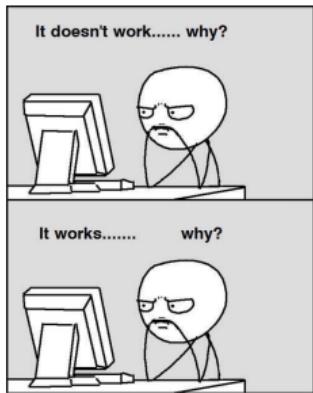


...und mehr

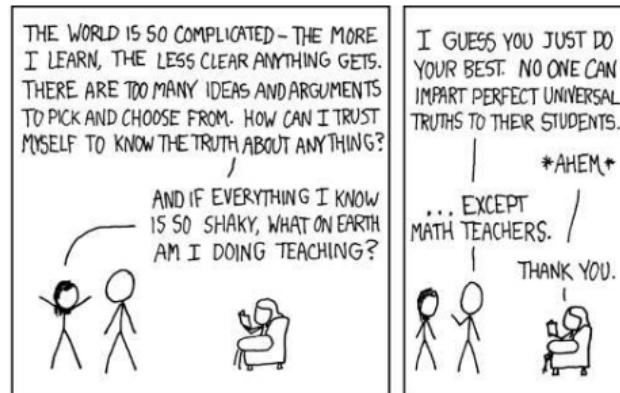


A&DS ist Teil eines **wissenschaftlichen** Studiengangs

Weniger ...



...und mehr



→ Fokus auf “universal truths” der Algorithmik

- Model der Realität
- quantitative Vorhersagen
- Validierung der Modelle in Experimenten

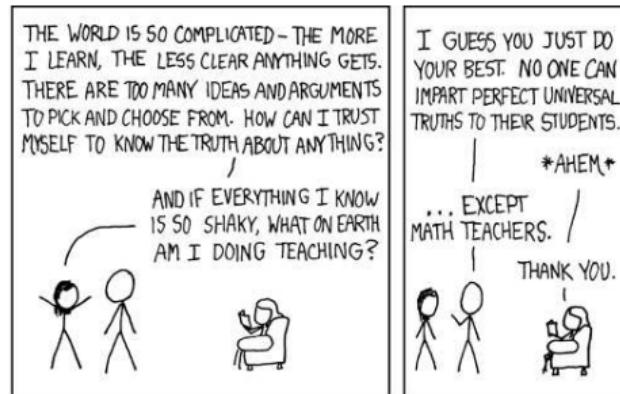
→ Wir brauchen ein paar mathematische / theoretische Grundlagen.

A&DS ist Teil eines **wissenschaftlichen** Studiengangs

Weniger ...



...und mehr

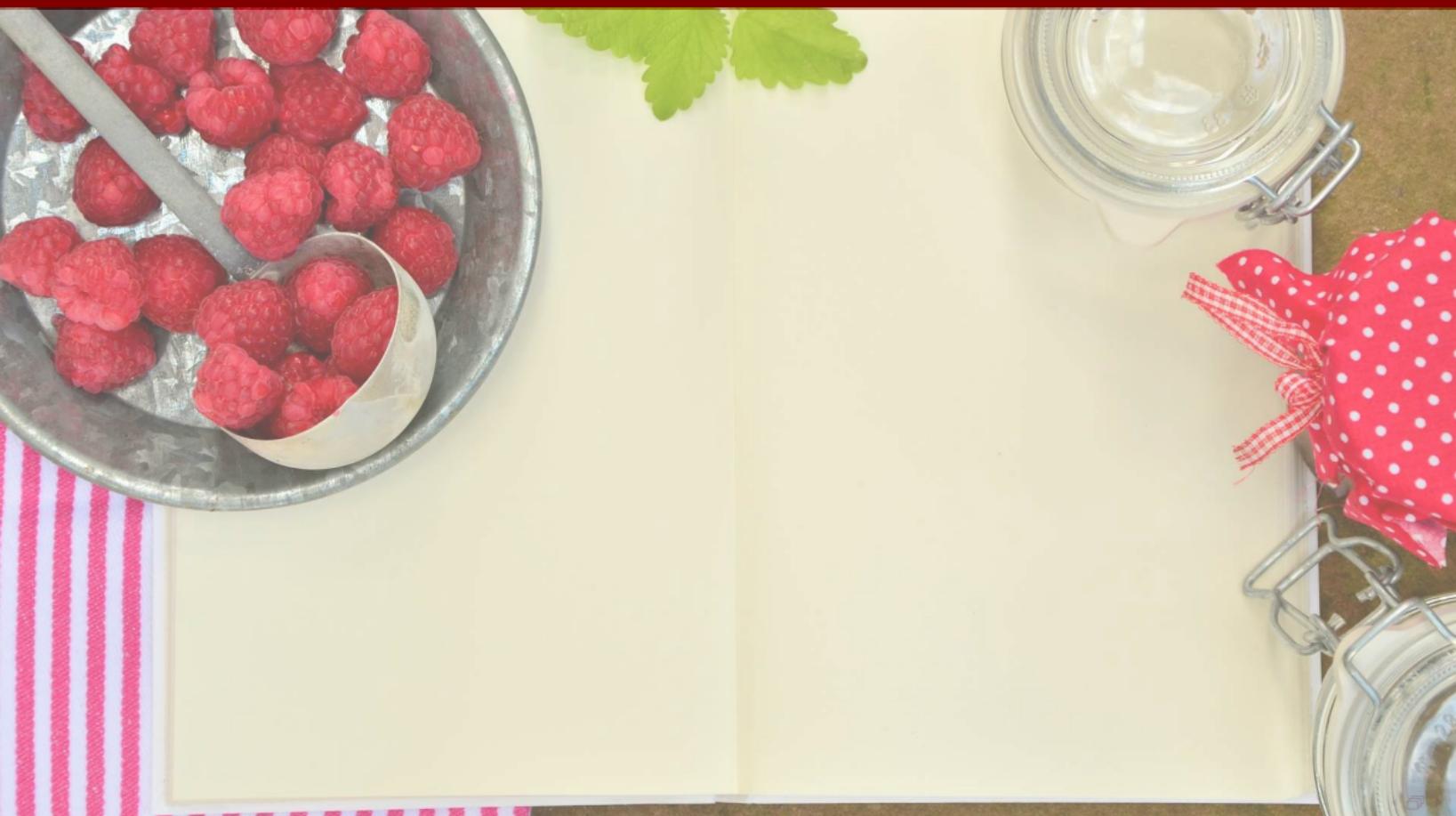


→ Fokus auf “universal truths” der Algorithmik

- Model der Realität
- quantitative Vorhersagen
- Validierung der Modelle in Experimenten

→ Wir brauchen ein paar mathematische / theoretische Grundlagen.

# Was ist ein Algorithmus?



# Was ist ein Algorithmus?



Welche Definitionen für „Algorithmus“ geben die Videos?

# Was ist ein Algorithmus?



Anschaulich:

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept

# Was ist ein Algorithmus?



## Anschaulich:

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept



## Genauer:

- ① mechanisch nachvollziehbar  
 $\leadsto$  kein „gesunder Menschenverstand“ nötig
- ② endliche Beschreibung
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von Probleminstanzen

# Was ist ein Algorithmus?



## Anschaulich:

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept

## Genauer:

- ① mechanisch nachvollziehbar
  - ~ kein „gesunder Menschenverstand“ nötig
- ② endliche Beschreibung
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von Probleminstanzen

# Was ist ein Algorithmus?



## Anschaulich:

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept

## Genauer:

- ① mechanisch nachvollziehbar  
 $\rightsquigarrow$  kein „gesunder Menschenverstand“ nötig
- ② endliche Beschreibung
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von Probleminstanzen

# Was ist ein Algorithmus?



## Anschaulich:

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept

## Genauer:

- ① mechanisch nachvollziehbar  
 $\rightsquigarrow$  kein „gesunder Menschenverstand“ nötig
- ② endliche Beschreibung       $\neq$  endliche Berechnung!
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von Probleminstanzen

# Was ist ein Algorithmus?



**Anschaulich:**

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept

**Genauer:**

- ① mechanisch nachvollziehbar  
 $\rightsquigarrow$  kein „gesunder Menschenverstand“ nötig
- ② endliche Beschreibung  $\neq$  endliche Berechnung!
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von Probleminstanzen

# Was ist ein Algorithmus?



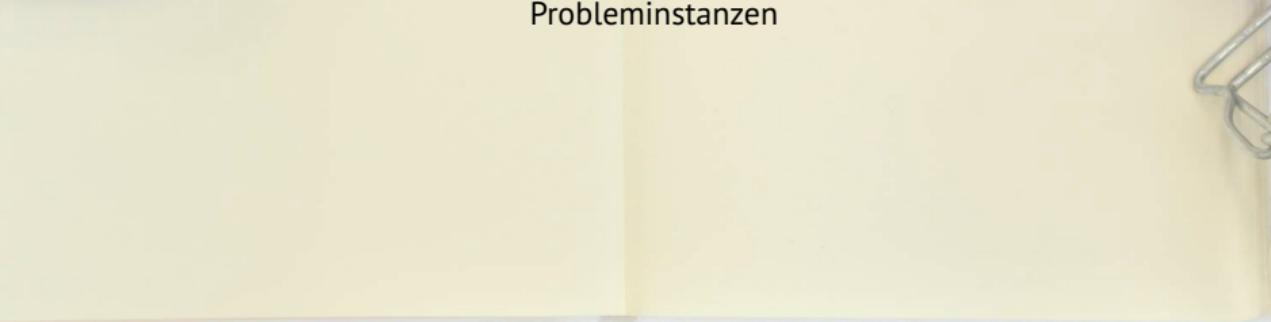
## Anschaulich:

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept

## Genauer:

- ① mechanisch nachvollziehbar  
 $\rightsquigarrow$  kein „gesunder Menschenverstand“ nötig
- ② endliche Beschreibung  $\neq$  endliche Berechnung!
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von Probleminstanzen

z.B. Java Programm



# Was ist ein Algorithmus?



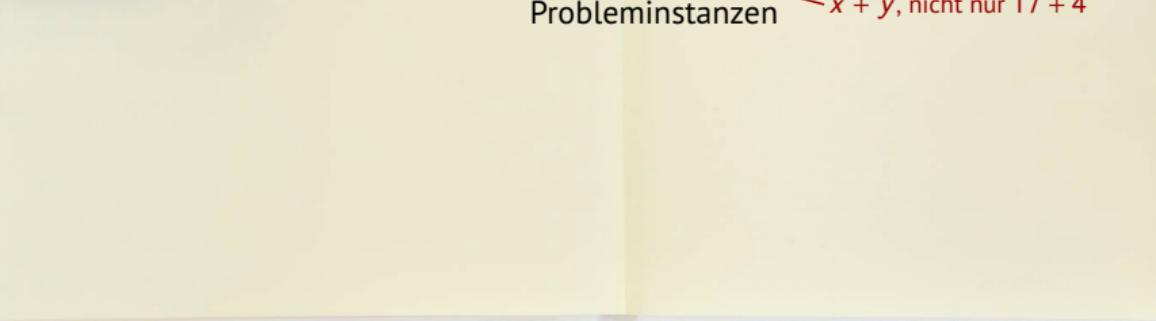
**Anschaulich:**

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept

**Genauer:**

- ① mechanisch nachvollziehbar  
 $\leadsto$  kein „gesunder Menschenverstand“ nötig
- ② endliche Beschreibung  $\neq$  endliche Berechnung!
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von Probleminstanzen  $x + y$ , nicht nur  $17 + 4$

z.B. Java Programm



# Was ist ein Algorithmus?



## Anschaulich:

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept

## Genauer:

- ① mechanisch nachvollziehbar  
    ~ kein „gesunder Menschenverstand“ nötig
- ② endliche Beschreibung      $\neq$  endliche Berechnung!
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von  
    Probleminstanzen      $x + y$ , nicht nur  $17 + 4$

z.B. Java Programm

typisches Beispiel: *Bubblesort*

nicht ein spezielles Programm,  
sondern die zugrundeliegende Idee

# Was ist ein Algorithmus?

Anschaulich:

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept



Genauer:

z. B. Java Programm

- ① mechanisch nachvollziehbar
- ② endliche Beschreibung  $\neq$  endliche Berechnung!
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von Probleminstanzen  $x + y$ , nicht nur  $17 + 4$

**Welche Algorithmen wurden in den Videos vorgestellt?**

typisches Beispiel: *Bubblesort*

nicht ein spezielles Programm,  
sondern die zugrundeliegende Idee

# Was ist ein Algorithmus?



al-Chwarizmi  
Namensgeber für Algorithmus

**Anschaulich:**

Folge von Anweisungen  $\approx$  Kochrezept

**Genauer:**

- ① mechanisch nachvollziehbar  
 $\leadsto$  kein „gesunder Menschenverstand“ nötig
- ② endliche Beschreibung  $\neq$  endliche Berechnung!
- ③ löst ein Problem, d. h. ganze Klasse von Probleminstanzen  
 $x + y$ , nicht nur  $17 + 4$

z.B. Java Programm

typisches Beispiel: *Bubblesort*

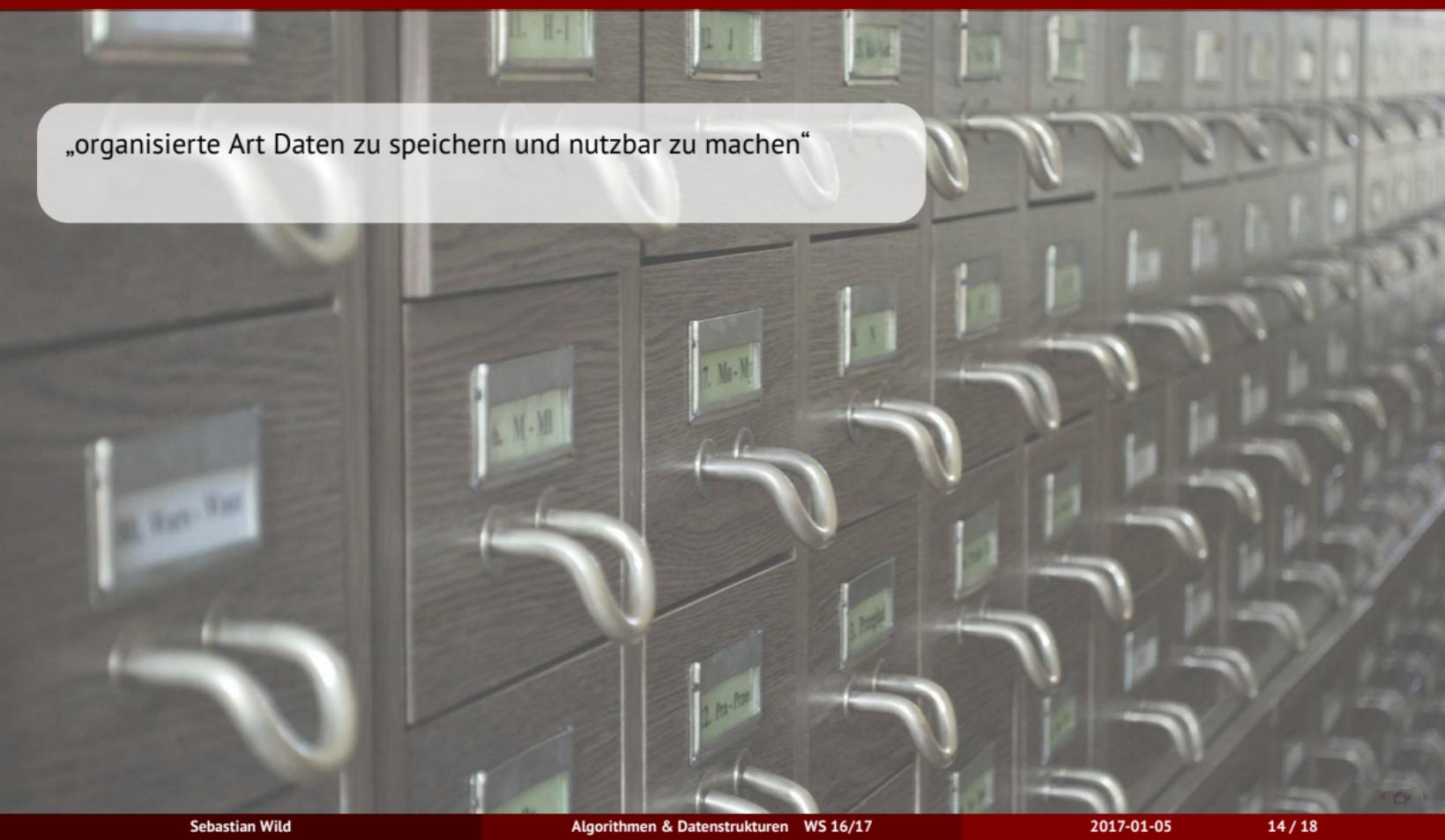
nicht ein spezielles Programm,  
sondern die zugrundeliegende Idee

# Was ist eine Datenstruktur?



# Was ist eine Datenstruktur?

„organisierte Art Daten zu speichern und nutzbar zu machen“



# Was ist eine Datenstruktur?

„organisierte Art Daten zu speichern und nutzbar zu machen“

~ sehr schwammiger Begriff!

# Was ist eine Datenstruktur?

„organisierte Art Daten zu speichern und nutzbar zu machen“  
~ sehr schwammiger Begriff!



# Was ist eine Datenstruktur?

„organisierte Art Daten zu speichern und nutzbar zu machen“

~ sehr schwammiger Begriff!

Für uns:



# Was ist eine Datenstruktur?

„organisierte Art Daten zu speichern und nutzbar zu machen“

~ sehr schwammiger Begriff!

Für uns:

- **Interface:** Spezifikation von Operationen API  
= abstract data type (ADT)

*application programming interface*



# Was ist eine Datenstruktur?

„organisierte Art Daten zu speichern und nutzbar zu machen“

~ sehr schwammiger Begriff!

Für uns:

- **Interface:** Spezifikation von Operationen API  
= abstract data type (ADT)

Beispiel: *Union-Find*

*application programming interface*



# Was ist eine Datenstruktur?

„organisierte Art Daten zu speichern und nutzbar zu machen“

~ sehr schwammiger Begriff!

Für uns:

- **Interface:** Spezifikation von Operationen API  
= abstract data type (ADT)  
Beispiel: *Union-Find*
- **Implementierung** eines Interface:  
pro Operation ein Algorithmus, der die Spezifikation erfüllt

*application programming interface*



# Was ist eine Datenstruktur?

„organisierte Art Daten zu speichern und nutzbar zu machen“

~ sehr schwammiger Begriff!

Für uns:

- **Interface:** Spezifikation von Operationen API  
= abstract data type (ADT)  
Beispiel: *Union-Find*
- **Implementierung** eines Interface:  
pro Operation ein Algorithmus, der die Spezifikation erfüllt  
Beispiel: *Quick Union*

*application programming interface*

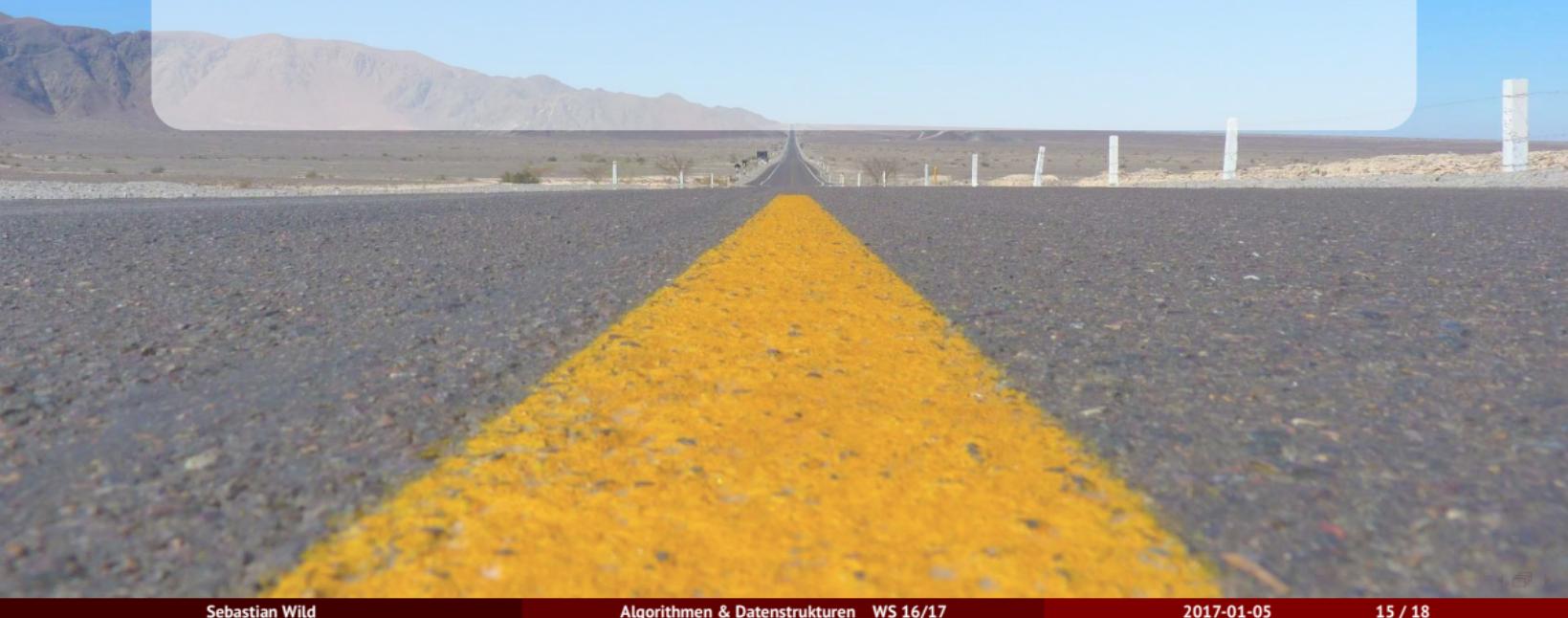


Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?



Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)



Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache



Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**



Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑



Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Mensch (zu Fuß) oder Zug: Wer ist schneller?**

(beide stehen zu Beginn)

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Mensch (zu Fuß) oder Zug: Wer ist schneller?**

(beide stehen zu Beginn)

- Kommt darauf an! Am Anfang sicher der Mensch ...

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Mensch (zu Fuß) oder Zug: Wer ist schneller am Horizont?**

(beide stehen zu Beginn)

- Kommt darauf an! Am Anfang sicher der Mensch ...
- aber auf lange Sicht der Zug

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑



Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert!

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

als Funktion in  $n$

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware ←  
*damit kann in einem Schritt gerechnet werden*

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware  
*damit kann in einem Schritt gerechnet werden*
- **Theorie:** Zahl im Bereich  $0..M$  braucht  $\lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits  
also  $n \cdot \lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware  
*damit kann in einem Schritt gerechnet werden*
- **Theorie:** Zahl im Bereich  $0..M$  braucht  $\lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits  
also  $n \cdot \lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits
- Wenn  $M$  klein ist, würde Programmierer aus Effizienzgründen trotzdem 32-bit ints wählen.

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware  
*damit kann in einem Schritt gerechnet werden*
- **Theorie:** Zahl im Bereich  $0..M$  braucht  $\lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits  
also  $n \cdot \lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits
- Wenn  $M$  klein ist, würde Programmierer aus Effizienzgründen trotzdem 32-bit ints wählen.
- ~ Halten Wortbreite variabel.

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware damit kann in einem Schritt gerechnet werden
- **Theorie:** Zahl im Bereich  $0..M$  braucht  $\lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits  
also  $n \cdot \lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits
- Wenn  $M$  klein ist, würde Programmierer aus Effizienzgründen trotzdem 32-bit ints wählen.
- ↗ Halten Wortbreite variabel. kann sogar mit  $n$  mitwachsen

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert! ↑

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware ← damit kann in einem Schritt gerechnet werden
- **Theorie:** Zahl im Bereich  $0..M$  braucht  $\lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits  
also  $n \cdot \lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits
- Wenn  $M$  klein ist, würde Programmierer aus Effizienzgründen trotzdem 32-bit ints wählen.
- ~ Halten Wortbreite variabel. ← kann sogar mit  $n$  mitwachsen  
„Überlebt Pentium 4.“

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert!

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware damit kann in einem Schritt gerechnet werden
- **Theorie:** Zahl im Bereich  $0..M$  braucht  $\lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits  
also  $n \cdot \lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits
- Wenn  $M$  klein ist, würde Programmierer aus Effizienzgründen trotzdem 32-bit ints wählen.
- ~ Halten Wortbreite variabel. kann sogar mit  $n$  mitwachsen  
„Überlebt Pentium 4.“

Dinge, die wir **nicht** erlauben

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert!

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware damit kann in einem Schritt gerechnet werden
- **Theorie:** Zahl im Bereich  $0..M$  braucht  $\lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits  
also  $n \cdot \lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits
- Wenn  $M$  klein ist, würde Programmierer aus Effizienzgründen trotzdem 32-bit ints wählen.
- ~ Halten Wortbreite variabel. kann sogar mit  $n$  mitwachsen  
„Überlebt Pentium 4.“

Dinge, die wir **nicht** erlauben

- selbst-modifizierender Code

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert!

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware damit kann in einem Schritt gerechnet werden
- **Theorie:** Zahl im Bereich  $0..M$  braucht  $\lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits  
also  $n \cdot \lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits
- Wenn  $M$  klein ist, würde Programmierer aus Effizienzgründen trotzdem 32-bit ints wählen.
- ~ Halten Wortbreite variabel. kann sogar mit  $n$  mitwachsen  
„Überlebt Pentium 4.“

Dinge, die wir **nicht** erlauben

- selbst-modifizierender Code
- Rechnen mit reellen Zahlen  
( $\neq$  floating-point)

Warum nicht einfach: Algorithmus = Java Programm?

- („Java ist doof, ich mag lieber C/C++/Scala/Python/Delphi/Groovy/Fortran/Ruby/Cobol/...“)
- Algorithmen sollen für **Menschen** gut verständlich sein  
insbesondere unmissverständliche und einfache Sprache
- **konkrete Programmiersprachen spiegeln zu sehr das Design aktueller Hardware wider**  
Sind am Verhalten für große Eingaben interessiert!

**Beispiel:** Wie viel Speicher brauchen  $n$  natürliche Zahlen?

- **Java:**  $32n$  bit, da int eine 32 Bit Zahl ist.  
= typische Wortgröße aktueller Hardware damit kann in einem Schritt gerechnet werden
- **Theorie:** Zahl im Bereich  $0..M$  braucht  $\lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits  
also  $n \cdot \lceil \lg(M + 1) \rceil$  bits
- Wenn  $M$  klein ist, würde Programmierer aus Effizienzgründen trotzdem 32-bit ints wählen.
- ~ Halten Wortbreite variabel. kann sogar mit  $n$  mitwachsen  
„Überlebt Pentium 4.“

Dinge, die wir **nicht** erlauben

- selbst-modifizierender Code
- Rechnen mit reellen Zahlen ( $\neq$  floating-point)
- Magie

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - erst über Algorithmen nachdenken

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - erst über Algorithmen nachdenken

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - ↘ erst über Algorithmen nachdenken

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - erst über Algorithmen nachdenken

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - erst über Algorithmen nachdenken



## Gefahren der Abstraktion

Wie bekommt man eine Giraffe in einen Kühlschrank?

Antwort

~ “look into the box”

top down funktioniert nur, wenn wir überblicken können,  
dass und wie Schritte implementiert werden können!

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - erst über Algorithmen nachdenken



## Gefahren der Abstraktion

Wie bekommt man eine Giraffe in einen Kühlschrank?

Antwort

~ “look into the box”

top down funktioniert nur, wenn wir überblicken können,  
dass und wie Schritte implementiert werden können!

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - erst über Algorithmen nachdenken



## Gefahren der Abstraktion

Wie bekommt man eine Giraffe in einen Kühlschrank?

Antwort

→ “look into the box”

top down funktioniert nur, wenn wir überblicken können,  
dass und wie Schritte implementiert werden können!

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - erst über Algorithmen nachdenken



## Gefahren der Abstraktion

Wie bekommt man eine Giraffe in einen Kühlschrank?

Antwort

→ “look into the box”

top down funktioniert nur, wenn wir überblicken können,  
dass und wie Schritte implementiert werden können!

## Pseudocode

- für Informatiker lesbar und mit etwas Aufwand in (Java/...)-Code übersetzbbar
- keine strenge Syntax, aber eindeutig
- nicht direkt verwendbar für Computer, also *pseudo code*

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - erst über Algorithmen nachdenken



## Gefahren der Abstraktion

Wie bekommt man eine Giraffe in einen Kühlschrank?

Antwort

→ “look into the box”

top down funktioniert nur, wenn wir überblicken können,  
dass und wie Schritte implementiert werden können!

## Pseudocode

- für Informatiker lesbar und mit etwas Aufwand in (Java/...)-Code übersetzbbar
- keine strenge Syntax, aber eindeutig
- nicht direkt verwendbar für Computer, also *pseudo code*

- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - ~ erst über Algorithmen nachdenken



## Gefahren der Abstraktion

Wie bekommt man eine Giraffe in einen Kühlschrank?

Antwort

~ “look into the box”

top down funktioniert nur, wenn wir überblicken können,  
dass und wie Schritte implementiert werden können!

## Pseudocode

- für Informatiker lesbar und mit etwas Aufwand in (Java/...)-Code übersetzbare
- keine strenge Syntax, aber eindeutig
- ~ nicht direkt verwendbar für Computer, also *pseudo code*

“Überlebt Java.”



- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - ~ erst über Algorithmen nachdenken



## Gefahren der Abstraktion

Wie bekommt man eine Giraffe in einen Kühlschrank?

Antwort

~ “look into the box”

top down funktioniert nur, wenn wir überblicken können,  
dass und wie Schritte implementiert werden können!

## Pseudocode

- für Informatiker lesbar und mit etwas Aufwand in (Java/...)-Code übersetzbbar
  - keine strenge Syntax, aber eindeutig
- ~ nicht direkt verwendbar für Computer, also *pseudo code*

“Überlebt Java.”



- Algorithmen und Datenstrukturen sind Abstraktionen von Programmen.
- typische Vorgehensweise beim Programmieren: **top down**
  - erst grobe Schritte, dann diese präzisieren
  - erst über Algorithmen nachdenken



## Gefahren der Abstraktion

Wie bekommt man eine Giraffe in einen Kühlschrank?

Antwort

→ “look into the box”

top down funktioniert nur, wenn wir überblicken können,  
dass und wie Schritte implementiert werden können!

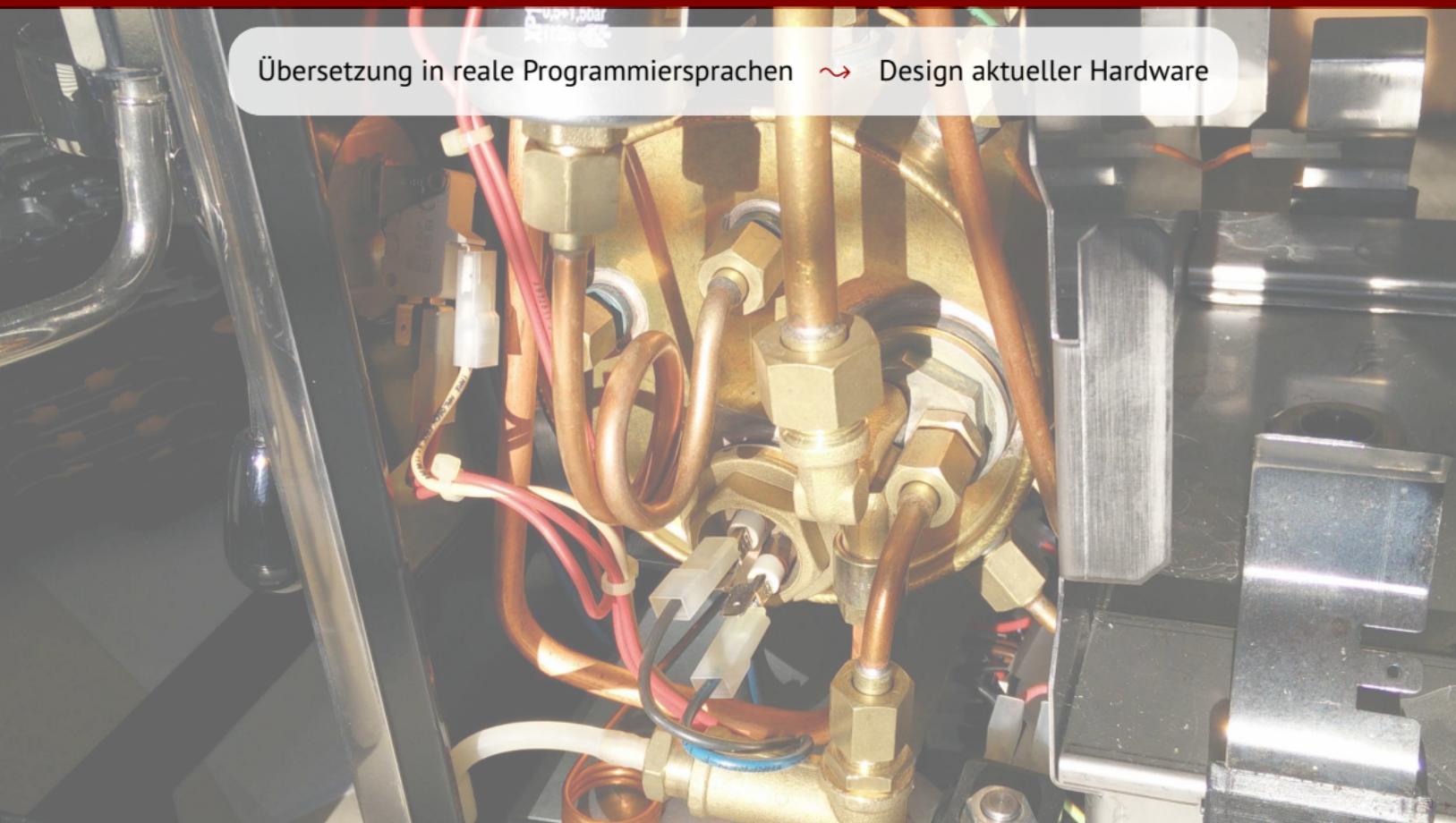
## Pseudocode

- für Informatiker lesbar und mit etwas Aufwand in (Java/...)-Code übersetzbbar
- keine strenge Syntax, aber eindeutig
- nicht direkt verwendbar für Computer, also *pseudo code*

“Überlebt Java.”



Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware



Übersetzung in reale Programmiersprachen ↗ Design aktueller Hardware

Abstraktes Maschinenmodell: **RAM** ↗ random access machine

Übersetzung in reale Programmiersprachen ↗ Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$

Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße

Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:

Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:
  - Operationen auf 2 Zahlen, z.B.  $MEM[2] := MEM[0] + MEM[1]$

Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:
  - Operationen auf 2 Zahlen, z.B.  $MEM[2] := MEM[0] + MEM[1]$
  - statt  $x + y$  auch  $x - y, x \cdot y, x \text{ div } y, x \text{ mod } y$  sowie bitweise logische Operationen

Achtung! Alle Operationen modulo  $2^w$

Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
  - jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
  - Befehle der Maschine sind:
    - Operationen auf 2 Zahlen, z.B.  $MEM[2] := MEM[0] + MEM[1]$
    - statt  $x + y$  auch  $x - y, x \cdot y, x \text{ div } y, x \text{ mod } y$  sowie bitweise logische Operationen
- $\leftarrow$  Achtung! Alle Operationen modulo  $2^w$
- bedingte und unbedingte Sprünge

Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:
  - Operationen auf 2 Zahlen, z.B.  $MEM[2] := MEM[0] + MEM[1]$
  - statt  $x + y$  auch  $x - y, x \cdot y, x \text{ div } y, x \text{ mod } y$  sowie bitweise logische Operationen
- bedingte und unbedingte Sprünge

Achtung! Alle Operationen modulo  $2^w$

oben: vereinfachte Version ohne Register

Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:
  - Operationen auf 2 Zahlen, z.B.  $MEM[2] := MEM[0] + MEM[1]$
  - statt  $x + y$  auch  $x - y, x \cdot y, x \text{ div } y, x \text{ mod } y$  sowie bitweise logische Operationen
- Achtung! Alle Operationen modulo  $2^w$
- bedingte und unbedingte Sprünge

oben: vereinfachte Version ohne Register

alle Details: Kapitel 2.2 aus

Dietzfelbinger, Mehlhorn, Sanders: *Algorithmen und Datenstrukturen*



Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:

- RAM = voller Detailgrad ...  
So will man nicht programmieren müssen!
- Meistens reicht uns eine abstraktere Sichtweise.
- **Aber:** Wenn nötig, können wir Details im präzisen Modell klären!  
 $\rightsquigarrow$  große Errungenschaft der theoretischen Informatik,  
da wir mathematische Beweise führen können.

eternal truths

oben:  
alle De



Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:

- RAM = voller Detailgrad ...  
So will man nicht programmieren müssen!
- Meistens reicht uns eine abstraktere Sichtweise.
- Aber: Wenn nötig, können wir Details im präzisen Modell klären!  
 $\leadsto$  große Errungenschaft der theoretischen Informatik,  
da wir mathematische Beweise führen können.

eternal truths

oben:  
alle De



Springer Vieweg

Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:

- RAM = voller Detailgrad ...  
So will man nicht programmieren müssen!
- Meistens reicht uns eine abstraktere Sichtweise.
  - Aber: Wenn nötig, können wir Details im präzisen Modell klären!  
 $\leadsto$  große Errungenschaft der theoretischen Informatik,  
da wir mathematische Beweise führen können.

oben:  
alle De

eternal truths

Springer Vieweg

Übersetzung in reale Programmiersprachen  $\rightsquigarrow$  Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:

- RAM = voller Detailgrad ...  
So will man nicht programmieren müssen!
- Meistens reicht uns eine abstraktere Sichtweise.
- **Aber:** Wenn nötig, können wir Details im präzisen Modell klären!

$\rightsquigarrow$  große Errungenschaft der theoretischen Informatik,  
da wir mathematische Beweise führen können.

eternal truths

oben:  
alle De



Springer Vieweg

Übersetzung in reale Programmiersprachen ↠ Design aktueller Hardware

## Abstraktes Maschinenmodell: RAM random access machine

- unbeschränkt großer Speicher  $MEM[0], MEM[1], MEM[2], \dots$
- jede Zelle  $MEM[i]$  speichert eine  $w$ -Bit Zahl, also ganze Zahl aus  $[0..2^w - 1]$   
 $w$  ist die Wortbreite; typischerweise  $2^w \approx n$ , die Eingabegröße
- Befehle der Maschine sind:

- RAM = voller Detailgrad ...  
So will man nicht programmieren müssen!
- Meistens reicht uns eine abstraktere Sichtweise.
- **Aber:** Wenn nötig, können wir Details im präzisen Modell klären!  
↗ große Errungenschaft der theoretischen Informatik,  
da wir mathematische Beweise führen können.

eternal truths

oben:  
alle De



