Vorlesung 05: Imperative Methoden

Peter Thiemann

Universität Freiburg, Germany

SS 2011

Inhalt

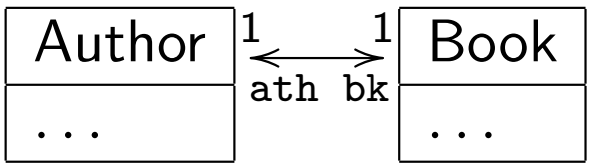
Imperative Methoden

Zirkuläre Datenstrukturen

Verwalte Informationen über Bücher. Ein Buchtitel wird beschrieben durch den Titel, den Preis, die vorrätige Menge und den Autor. Ein Autor wird beschrieben durch Vor- und Nachnamen, das Geburtsjahr und sein Buch.

- (stark vereinfacht)
- Neue Situation:
  - Autor und Buch sind zwei unterschiedliche Konzepte.
  - Der Autor enthält sein Buch.
  - Das Buch enthält seinen Autor.

Klassendiagramm: Autor und Buch



- Frage: Wie werden Objekte von Author und Buch erzeugt?

Autoren und Bücher erzeugen

- Autor zuoberst

```
new Author ("Donald", "Knuth", 1938,
            new Book ("The Art of Computer Programming", 100, 2,
                      ????))
```

Bei ???? müsste derselbe Autor wieder eingesetzt sein. . .

Autoren und Bücher erzeugen

- Autor zuoberst

```
new Author ("Donald", "Knuth", 1938,
            new Book ("The Art of Computer Programming", 100, 2,
                      ????))
```

Bei ???? müsste derselbe Autor wieder eingesetzt sein...

- Buch zuoberst

```
new Book ("The Art of Computer Programming", 100, 2,
          new Author ("Donald", "Knuth", 1938,
                      ????))
```

Bei ???? müsste dasselbe Buch wieder eingesetzt sein...

Der Wert `null`

- Lösung: Verwende `null` als Startwert für das Buch des Autors und **überschreibe** das Feld im Buch-Konstruktor.
- `null` ist ein vordefinierter Wert, der zu allen Klassen- und Interfacetypen (*Referenztypen*) passt. D.h., jede Variable bzw. Feld von Klassen- oder Interfacetyp kann auch `null` sein.
- Ein Feldzugriff oder Methodenaufruf auf `null` schlägt fehl. Daher muss vor jedem Feldzugriff bzw. Methodenaufruf sichergestellt werden, dass der jeweilige Empfänger nicht `null` ist!
- Vorsicht: `null` ist der Startwert für alle Instanzvariablen, die nicht explizit initialisiert werden.

Autoren und Bücher wirklich erzeugen

```
// book authors
class Author {
  private String fst; // first name
  private String lst; // last name
  private int dob; // year of birth
  private Book bk;

  Author (String fst, String lst, int dob) {
    this.fst = fst;
    this.lst = lst;
    this.dob = dob;
    this.bk = null;
  }

  public void addBook (Book bk) {
    this.bk = bk;
    return;
  }
}
```

```
// Books in a library
class Book {
    private String title;
    private int price;
    private int quantity;
    private Author ath;

    Book (String title, int price,
          int quantity, Author ath) {
        this.title = title;
        this.price = price;
        this.quantity = quantity;
        this.ath = ath;

        this.ath.addBook(this);
    }
}
```

Autoren und Bücher wirklich erzeugen

Verwendung der Konstruktoren

```
> Author auth = new Author("Donald", "Knuth", 1938);
> auth
Author(
    fst = "Donald",
    lst = "Knuth",
    dob = 1938,
    bk = null)
> Book book = new Book("TAOCP", 100,2, auth);
> auth
Author(
    fst = "Donald",
    lst = "Knuth",
    dob = 1938,
    bk = Book(
            title = "TAOCP",
            price = 100,
            quantity = 2,
            ath = (Author)@))
```

Regel: Fremde Felder nicht schreiben!

- *Eine Methode / Konstruktor sollte niemals direkt in die Felder von Objekten fremder Klassen hineinschreiben*.
- Das könnte zu illegalen Komponentenwerten in diesen Objekten führen.

$\Rightarrow$ Objekte sollten Methoden zum Setzen von Feldern bereitstellen (soweit von außerhalb des Objektes erforderlich).

- Konkret: Die Author-Klasse erhält eine Methode `addBook()`, die im Konstruktor von Book aufgerufen wird.

Der Typ void

- Die `addBook()` Methode hat als Rückgabetyp void.
- void als Rückgabetyp bedeutet, dass die Methode kein greifbares Ergebnis liefert und nur für ihren Effekt aufgerufen wird.
- Im Rumpf von `addBook()` steht eine *Folge von Anweisungen*. Sie werden der Reihe nach ausgeführt.
- Die letzte Anweisung **return** (ohne Argument) beendet die Ausführung der Methode.

Verbesserung von addBook()

Fehlermeldung mit Exception

- In class Author ...

```
void addBook (Book bk) throws AddBookException {
  if (this.bk == null) {
    this.bk = bk;
    return;
  } else {
    throw new AddBookException("adding a second book for "+this.lst);
  }
}
```

- addBook soll fehlschlagen, falls schon ein Buch eingetragen ist.
- throw ... beendet die Programmausführung mit einer Fehlermeldung.

Ausnahmebehandlung in Java

- Eine Ausnahme (Exception) ist ein Objekt einer Subklasse von java.lang.Exception

```
class AddBookException extends Exception {
  AddBookException (String msg) {
    super (msg);
  }
}
```

- Ausnahmen müssen im Kopf von Methoden und Konstruktoren deklariert werden:

```
        ... throws AddBookException
```

Ausnahmebehandlung in Java, II

- Ausnahmen werden propagiert ...

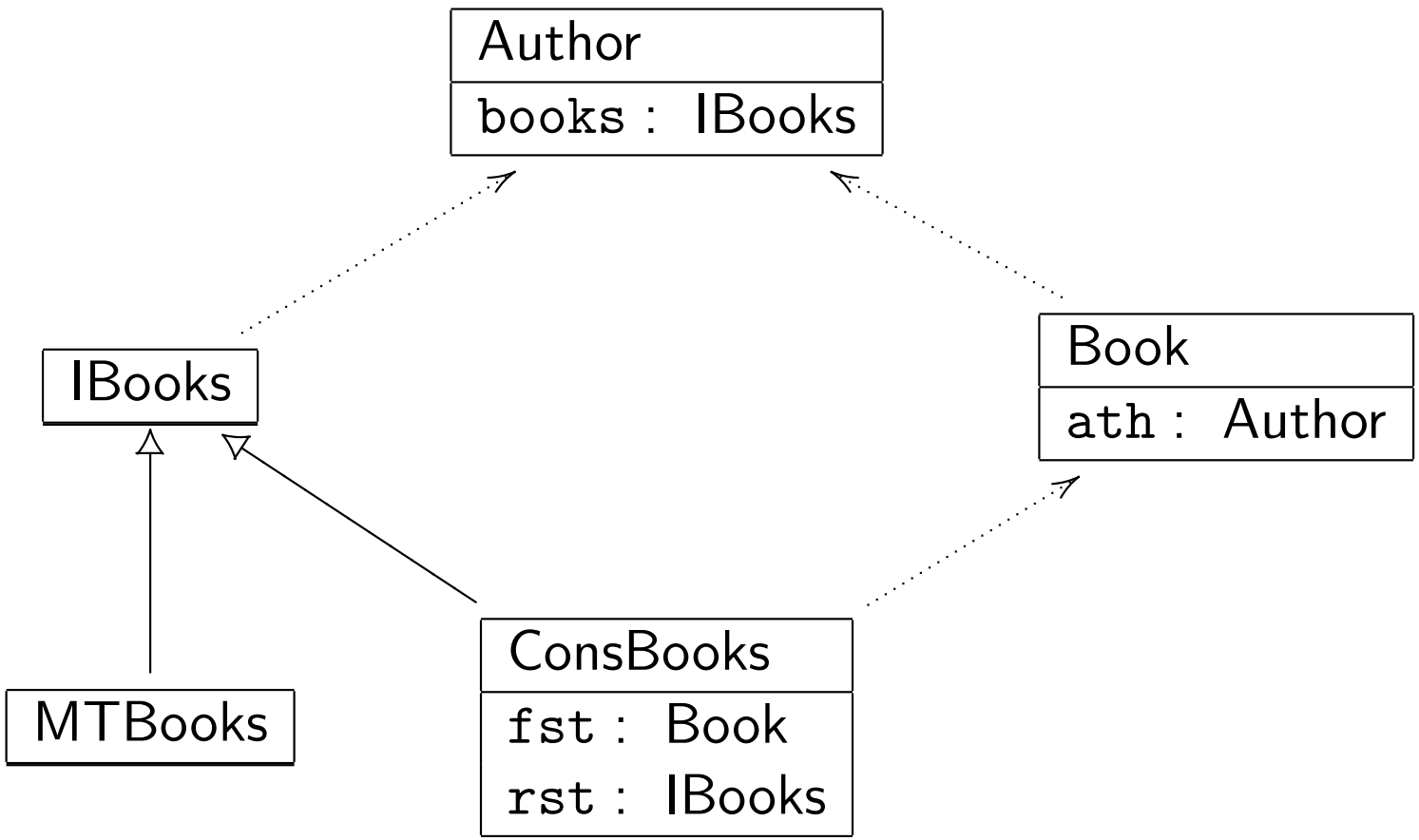
```
class Book {
  ...
  Book (String title, int price, int quantity, Author ath)
   throws AddBookException {
    ...
  }
}
```

- oder können aufgefangen werden:

```
Book b;
Author mf = new Author (...);
try {
  b = new Book ("How to Define Classes", 4199, 1, mf);
} catch (AddBookException ab) {
  System.out.println ("unable to create book: HTDC");
}
```

Ein Autor kann viele Bücher schreiben

- Ein Autor ist nun mit einer Liste von Büchern assoziiert.
- Listen von Büchern werden auf die bekannte Art und Weise repräsentiert.



Code für Autoren mit mehreren Büchern

```
// book authors
class Author {
  String fst; // first name
  String lst; // last name
  int dob; // year of birth
  IBooks books = new MTBooks();

  Author (String fst, String lst, int dob) {
    this.fst = fst;
    this.lst = lst;
    this.dob = dob;
  }

  void addBook (Book bk) {
    this.books =
      new ConsBooks (bk, this.books);
    return;
  }
}
```

```
// Listen von Büchern
interface IBooks { }
```

```
class MTBooks implements IBooks {
    MTBooks () {}
}
```

```
class ConsBooks implements IBooks {
    Book fst;
    IBooks rst;

    ConsBooks (Book fst, IBooks rst) {
        this.fst = fst;
        this.rst = rst;
    }
}
```

Zusammenfassung

Entwurf von Klassen mit zirkulären Objekten

1. Bei der Datenanalyse stellt sich heraus, dass (mindestens) zwei Objekte wechselseitig ineinander enthalten sein sollten.
2. Bei der Erstellung des Klassendiagramms gibt es einen Zyklus bei den Enthaltenseins-Pfeilen. Dieser Zyklus muss nicht offensichtlich sein, z.B. kann ein Generalisierungspfeil rückwärts durchlaufen werden.
3. Die Übersetzung in Klassendefinitionen funktioniert mechanisch.
4. Wenn zirkuläre Abhängigkeiten vorhanden sind:
   - Können tatsächlich zirkuläre Beispiele erzeugt werden?
   - Welche Klasse C ist als Startklasse sinnvoll und über welches Feld `fz` von C läuft die Zirkularität?
   - Initialisiere das `fz` Feld mit einem Objekt, das keine Werte vom Typ C enthält (notfalls müssen Felder des Objekts mit `null` besetzt werden).
   - Definiere eine `add()` Methode, die `fz` passend abändert.
   - Ändere die Konstruktoren, so dass sie `add()` aufrufen.
5. Codiere die zirkulären Beispiele.

Die Wahrheit über Konstruktoren

- Die **new**-Operation erzeugt neue Objekte.
- Zunächst sind alle Felder mit `0` (Typ int), `false` (Typ boolean), `0.0` (Typ double) oder `null` (Klassen- oder Interfacetyp) vorbesetzt.
- Der Konstruktor weist den Feldern Werte zu und kann weitere Operationen ausführen.
- Die Initialisierung kann unerwartete Effekte haben, da die Feldinitialisierungen ablaufen, **bevor** der Konstruktor ausgeführt wird.

Initialisierungsreihenfolge

```
class StrangeExample {
    int x;

    StrangeExample () { this.x = 100; }

    boolean test = this.x == 100;
}
```

- Was sind die Werte von `this.x` und `this.test` nach Konstruktion des Objekts?

Initialisierungsreihenfolge

```
class StrangeExample {
    int x;

    StrangeExample () { this.x = 100; }

    boolean test = this.x == 100;
}
```

- Was sind die Werte von `this.x` und `this.test` nach Konstruktion des Objekts?
- `this.x` = 100 `this.test` = `false`

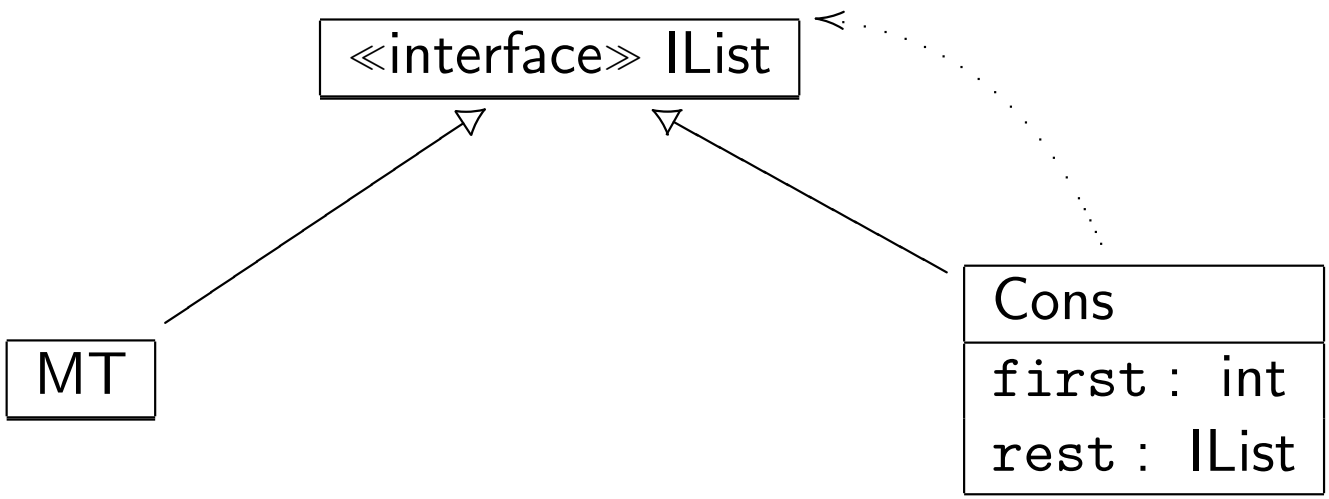
Initialisierungsreihenfolge

```
class StrangeExample {
    int x;

    StrangeExample () { this.x = 100; }

    boolean test = this.x == 100;
}
```

- Was sind die Werte von `this.x` und `this.test` nach Konstruktion des Objekts?
- `this.x` = 100 `this.test` = `false`
- Ablauf:
  - Erst werden alle Felder mit 0 vorbesetzt.
  - Dann laufen alle Feldinitialisierungen ab.
  - Zuletzt wird der Rumpf des Konstruktors ausgeführt.

Zyklische Listen

- Jeder Listendatentyp enthält zyklische Referenzen im Klassendiagramm.



- Also müssen auch damit zyklische Strukturen erstellbar sein!

Zyklische Listen erstellen

```
class CyclicList {
  Cons alist = new Cons (1, new MT ());

  CyclicList () {
    this.alist.rest = this.alist;
  }
}
```

- Aufgabe: Erstelle eine Methode `length()` für IList, die die Anzahl der Elemente einer Liste bestimmt. Was liefert

```
new CyclicList ().alist.length()
```

als Ergebnis? Warum?

Vermeiden von unerwünschter Zirkularität

Durch Geheimhaltung

```
class Cons implements IList {
  private int first;
  private IList rest;

  public Cons (int first, IList rest) {
    this.first = first;
    this.rest = rest;
  }
}
```

- Die Instanzvariablen `first` und `rest` sind als **private** deklariert.
- Nur Methoden von Cons können direkt auf `first` und `rest` zugreifen.
- So ist es unmöglich, aus anderen Klassen das `first`- oder das `rest`-Feld zu lesen oder zu überschreiben.

Geheimhaltung mit Lesezugriff

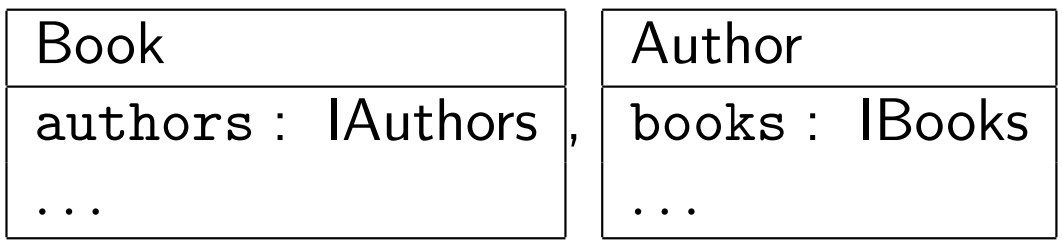
```
class Cons implements IList {
  private int first;
  private IList rest;

  public Cons (int first, IList rest) { ... }

  public int getFirst() { return first; }
  public IList getRest() { return rest; }
}
```

- Externer Lesezugriff durch **public** *Getter-Methoden*
- Kein externer Schreibzugriff

Viele Autoren und viele Bücher

Verwalte Informationen über Bücher. Ein Buchtitel wird beschrieben durch den Titel, den Preis, die vorrätige Menge und die Autoren. Ein Autor wird beschrieben durch Vor- und Nachname, das Geburtsjahr und seine Bücher.

Beteiligte Klassen

- Listen von Büchern: IBooks, MTBooks, ConsBooks
- Listen von Autoren: IAuthors, MTAuthors, ConsAuthors
- 

Code für viele Autoren und viele Bücher

```
// book authors
class Author {
  String fst; // first name
  String lst; // last name
  int dob; // year of birth
  IBooks books = new MTBooks();

  Author (String fst, String lst, int dob) {
    this.fst = fst;
    this.lst = lst;
    this.dob = dob;
  }

  void addBook (Book bk) {
    this.books =
      new ConsBooks (bk, this.books);
    return;
  }
}
```

```
// Books in a library
class Book {
  String title;
  int price;
  int quantity;
  IAuthors authors;

  Book (String title, int price,
        int quantity, IAuthors authors) {
    this.title = title;
    this.price = price;
    this.quantity = quantity;
    this.authors = authors;

    this.authors.????(this);
  }
}
```

Hilfsmethode für Konstruktor

- Implementierung des Book Konstruktors erfordert den Entwurf einer nichttrivialen Methode für IAuthors.
- Gesucht: Methode zum Hinzufügen des neuen Buchs zu **allen** Autoren.
- Methodensignatur im Interface IAuthors

```
// Autorenliste
interface IAuthors {
    // füge das Buch zu allen Autoren auf dieser Liste hinzu
    public void addBook(Book bk);
}
```

$\Rightarrow$ Die Methode liefert kein Ergebnis.

- Einbindung in den Konstruktor von Book durch

```
    this.authors.addBook(this);
```

Implementierung der Hilfsmethode

```
class MTAuthors
  implements IAuthors {
  MTAuthors () {}

  public void addBook(Book bk) {
    return;
  }
}
```

```
class ConsAuthors
  implements IAuthors {
  Author first;
  IAuthors rest;

  ConsAuthors (Author first, IAuthors rest) {
    this.first = first;
    this.rest = rest;
  }

  public void addBook (Book bk) {
    this.first.addBook (bk);
    this.rest.addBook (bk);
    return;
  }
}
```

Vererbung

Personen, Sänger und Rockstars

```
// Personen
class Person {
  private String name;
  private int count;

  Person(String name) {
    this.name = name;
    this.count = 0;
  }
```

Methoden von Person

```
// liefert den Namen
public String getName() {
  return this.name;
}
// spricht eine Nachricht
public String say(String message) {
  return message;
}
// steckt Schläge ein
public String slap() {
  if (count<2) {
    count = count + 1;
    return "argh";
  } else {
    count = 0;
    return "ouch";
  }
}
```

Testen von Person

```
> Person jimmy = new Person("jimmy");
> jimmy.getName( )
"jimmy"
> jimmy.say("peanut man")
"peanut man"
> jimmy.slap()
"argh"
> jimmy.slap()
"argh"
> jimmy.slap()
"ouch"
> jimmy.slap()
"argh"
```

Sänger als Subklasse von Person

```
// Ein Sänger ist eine spezielle Person
class Singer extends Person {
  Singer(String name) {
    super(name);
  }

  public String sing(String song) {
    return say(song + " tra-la-la");
  }
}
```

- Das Schlüsselwort **extends** deutet an, dass eine Klasse von einer anderen erbt. Hier wird Singer als Subklasse von Person definiert.
- Die erste Anweisung im Konstruktor kann **super**(...) sein. Dadurch wird ein Konstruktor der direkten Superklasse aufgerufen.
- In der Subklasse sind sämtliche Methoden und Felder der Superklasse verfügbar, die nicht durch **private** geschützt sind.

Testen von Sängern

```
> Singer jerry = new Singer("jerry");
> jerry.getName( )
"jerry"
> jerry.say("peanut man")
"peanut man"
> jerry.sing("born in the usa")
"born in the usa tra-la-la"
> jerry.slap()
"argh"
> jerry.slap()
"argh"
> jerry.slap()
"ouch"
> jerry.slap()
"argh"
```

Rockstar als Subklasse von Singer

```
// Ein Rockstar ist ein spezieller Sänger
class Rockstar extends Singer {
  Rockstar(String name) {
    super(name);
  }
  public String say(String message) {
    return super.say("Dude, " + message);
  }
  public String slap() {
    return "Pain just makes me stronger";
  }
}
```

- Die Methoden sing und getName werden von den Superklassen *geerbt*.
- Die Methoden say und slap werden *überschrieben*.
- Der Aufruf **super**.say(...) ruft die Implementierung der Methode say in der nächsten Superklasse auf.

Testen von Rockstars

```
> Rockstar bruce = new Rockstar("bruce");
> bruce.getName()
"bruce"
> bruce.say("trust me")
"Dude, trust me"
> bruce.sing("born in the usa")
"Dude, born in the usa tra-la-la"
> bruce.slap()
"Pain just makes me stronger"
> bruce.slap()
"Pain just makes me stronger"

> Singer bruce1 = bruce;
> bruce1.say("it's me")
"Dude, it's me"
> bruce1.sing("mc")
"Dude, mc tra-la-la"
```

Vererbung und Dynamic Dispatch

- Jedes Objekt besitzt einen unveränderlichen *Laufzeittyp*: die Klasse, von der es konstruiert worden ist.
- Bei einem Methodenaufruf wird immer die Methodenimplementierung der dem Laufzeittyp nächstgelegenen Superklasse ausgewählt. (*dynamic dispatch*)
- Die Auswahl erfolgt dynamisch **zur Laufzeit des Programms** und ist unabhängig vom Typ der Variablen, in der das Objekt abgelegt ist.

Statischer Typ vs dynamischer Typ

- Der *statische Typ* (kurz: Typ) eines Ausdrucks ist der Typ, das Java-System für den Ausdruck aus dem Programmtext ausrechnet.
- Der *dynamische Typ* (*Laufzeittyp*) ist eine Eigenschaft eines Objekts. Es ist der Klassenname, mit dem das Objekt erzeugt worden ist.

Statischer Typ vs dynamischer Typ

- Der *statische Typ* (kurz: Typ) eines Ausdrucks ist der Typ, das Java-System für den Ausdruck aus dem Programmtext ausrechnet.
- Der *dynamische Typ* (*Laufzeittyp*) ist eine Eigenschaft eines Objekts. Es ist der Klassenname, mit dem das Objekt erzeugt worden ist.

Beispiele

- Angenommen **class** A **extends** B (Klassentypen).

```
A a = new A (); // rhs: Typ A, dynamischer Typ A
B b = new B (); // rhs: Typ B, dynamischer Typ B
B x = new A (); // rhs: Typ A, dynamischer Typ A
// für x gilt: Typ B, dynamischer Typ A
```

- Der dynamische Typ ist **immer** ein Subtyp des statischen Typs.
  - **Interfacetyp**: dynamischer Typ immer $\neq$ statischer Typ.
  - Typ von `this` in Methode `m` der Klasse C: statischer Typ C, dynamischer Typ kann echter Subtyp sein.

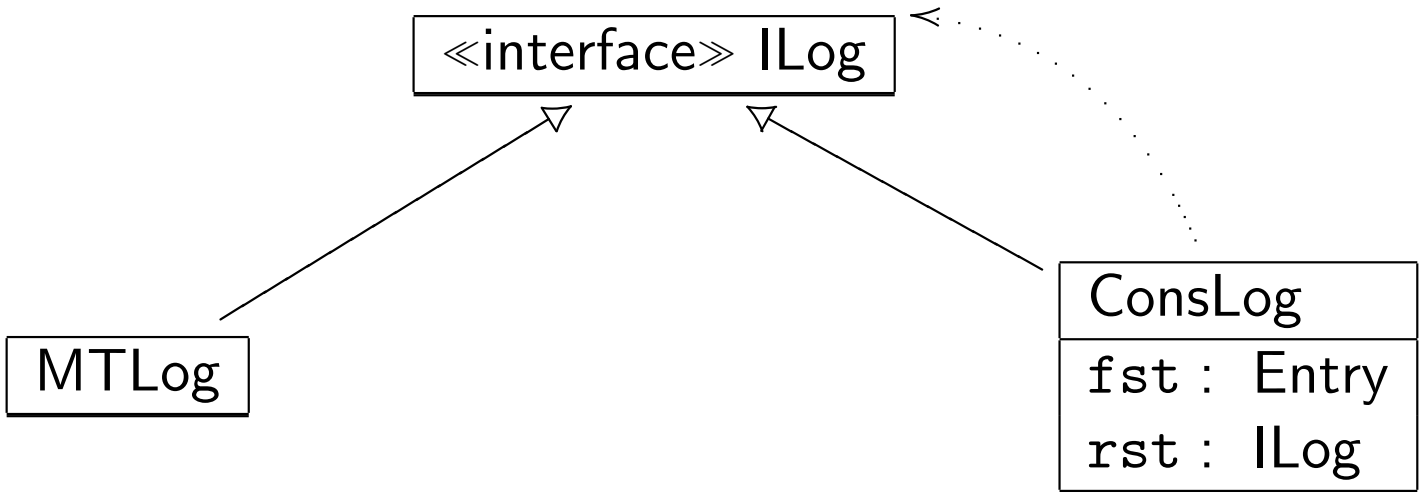
Regeln für die Bestimmung des statischen Typs

- Falls Variable (Feld, Parameter) `x` durch ttt x deklariert ist, so ist der Typ von `x` genau ttt.
- Der Ausdruck `new C(...)` hat den Typ C.
- Wenn e ein Ausdruck vom Typ C ist und C eine Klasse mit Feld f vom Typ ttt ist, dann hat $e.f$ den Typ ttt.
- Wenn e ein Ausdruck vom Typ C ist und C eine Klasse oder Interface mit Methode m vom Rückgabetyp ttt ist, dann hat $e.m(\dots)$ den Typ ttt.
- Beim Aufruf eines Konstruktors oder einer Funktion müssen die Typen der Argumente jeweils Subtypen der Parametertypen sein.
- Bei einer Zuweisung muss der Typ des Ausdrucks auf der rechten Seite ein Subtyp des Typs der Variable (Feld) sein.

Iteration

Iteration

Erinnerung: das Lauftagebuch



- Ziel: Definiere effiziente Methoden auf ILog
- Beispiel: Methode `length()`

Implementierung von `length()`

Nach dem "Composite Pattern"

- in ILog

```
// berechne die Anzahl der Einträge
int length();
```

- in MTLog

```
int length() {
  return 0;
}
```

- in ConsLog

```
int length() {
  return 1 + this.rst.length();
}
```

Ein Effizienzproblem

- Bei sehr langen Listen erfolgt ein “Stackoverflow”, weil die maximal mögliche Schachtelungstiefe von rekursiven Aufrufen überschritten wird.
- Ansatz: Führe einen **Akkumulator** (extra Parameter, in dem das Ergebnis angesammelt wird) ein und mache die Methoden endrekursiv.

Implementierung von `lengthAcc()`

- in ILog

```
// berechne die Anzahl der Einträge
int lengthAcc(int acc);
```

- in MTLog

```
int lengthAcc(int acc) {
  return acc;
}
```

- in ConsLog

```
int lengthAcc(int acc) {
  return this.rst.lengthAcc (acc + 1);
}
```

- Aufruf

```
int myLength = log.lengthAcc (0);
```

Gewonnen?

- Die Methoden mit Akkumulator sind endrekursiv und *könnten* in konstantem Platz implementiert werden.
- Aber Java (bzw. die Java Virtual Machine, JVM) tut das nicht.
- Abhilfe: Durchlaufe die Liste mit einer **while**-Schleife.

Die **while**-Anweisung

- Allgemeine Form

```
while (bedingung) {
  anweisungen;
}
```

- *bedingung* ist ein boolescher Ausdruck.
- Die *anweisungen* bilden den *Schleifenrumpf*.
- Die Ausführung der **while**-Anweisung läuft wie folgt ab.
- Werte die *bedingung* aus.
  - Ist sie `false`, so ist die Ausführung der **while**-Anweisung beendet.
  - Ist sie `true`, so werden die *anweisungen* ausgeführt.
- Dieser Schritt wird solange wiederholt, bis die Ausführung der **while**-Anweisung beendet ist.

Interface für Listendurchlauf

Problem

Die Codefragmente, die für die **while**-Anweisung notwendig sind, sind über die beiden Klassen MTLog und ConsLog verstreut.

Abhilfe

Definiere Interface für das Durchlaufen der ILog Liste, so dass die Codefragmente an einer Stelle zusammenkommen.

```
interface ILog {
  // teste ob diese Liste leer ist
  boolean isEmpty();
  // liefere das erste Element, falls nicht leer
  Entry getFirst();
  // liefere den Rest der Liste, falls nicht leer
  ILog getRest();
}
```

Implementierung des Interface für Listendurchlauf

- in MTLog

```
boolean isEmpty () { return true; }
Entry getFirst () { throw new IllegalArgumentException(); }
ILog getRest () { throw new IllegalArgumentException(); }
```

- in ConsLog

```
boolean isEmpty () { return false; }
Entry getFirst () { return this.fst; }
ILog getRest () { return this.rst; }
```

Verwendung des Interface für Listendurchlauf

Schritt 1: Definiere separates Interface für Operationen

```
interface ILogOp {
  public int length();
}
```

(MTLog und ConsLog könnten ILogOp direkt implementieren, wie vorher gesehen, aber das ist hier nicht gewünscht!)

Verwendung des Interface für Listendurchlauf

Schritt 2: Definiere neue Klasse als Listencontainer

Neue Klasse muss ILogOp implementieren

```
class ALog implements ILogOp {
  private ILog list;
  public int length () {
    // liefert die Länge von list
  }
}
```

- Klasse ALog ist **Listenwrapper**.
- Enthält nur die Implementierungen von Operationen auf Listen (gemäß ILogOp).
- Abstrahiert von der eigentlichen Implementierung der Liste (hier durch eine ILog Struktur).

Verwendung des Interface für Listendurchlauf

Schritt 3: Listenlänge mit Hilfe des Durchlaufinterfaces

```
// in Klasse ALog
public int length () {
  return lengthAux (0, this.list);
}
private int lengthAux (int acc, ILog list) {
  if (!list.isEmpty()) {
    return lengthAux (acc + 1, list.getRest());
  } else {
    return acc;
  }
}
```

Verwendung des Interface für Listendurchlauf

Schritt 3: Listenlänge mit Hilfe des Durchlaufinterfaces

```
// in Klasse ALog
public int length () {
  return lengthAux (0, this.list);
}
private int lengthAux (int acc, ILog list) {
  if (!list.isEmpty()) {
    return lengthAux (acc + 1, list.getRest());
  } else {
    return acc;
  }
}
```

- Eine endrekursive Methode wie `lengthAux` kann sofort in eine **while**-Anweisung umgesetzt werden:
  - Aus den Parametern werden lokale Variablen.
  - Aus dem rekursiven Aufruf werden Zuweisungen an diese Variablen.

Verwendung des Interface für Listendurchlauf

Schritt 4: Iterative Version von `lengthAux`

```
public int length () {
  // lengthAux (0, this.list)
  int acc = 0;
  ILog list = this.list;
  while (!list.isEmpty()) {
    // lengthAux (acc + 1, list.getRest())
    acc = acc + 1;
    list = list.getRest();
  }
  return acc;
}
```

- Läuft in konstantem Platz.
- Verarbeitet beliebig lange Listen.

Analog: Iterative Implementierung von `totalDistance`

```
// in Klasse ALog
double totalDistance () {
  double acc = 0;
  ILog list = this;
  while (!list.isEmpty()) {
    Entry e = list.getFirst(); // Zugriff aufs Listenelement
    acc = acc + e.distance;
    list = list.getRest();
  }
  return acc;
}
```

Veränderliche rekursive Datenstrukturen

Veränderliche rekursive Datenstrukturen

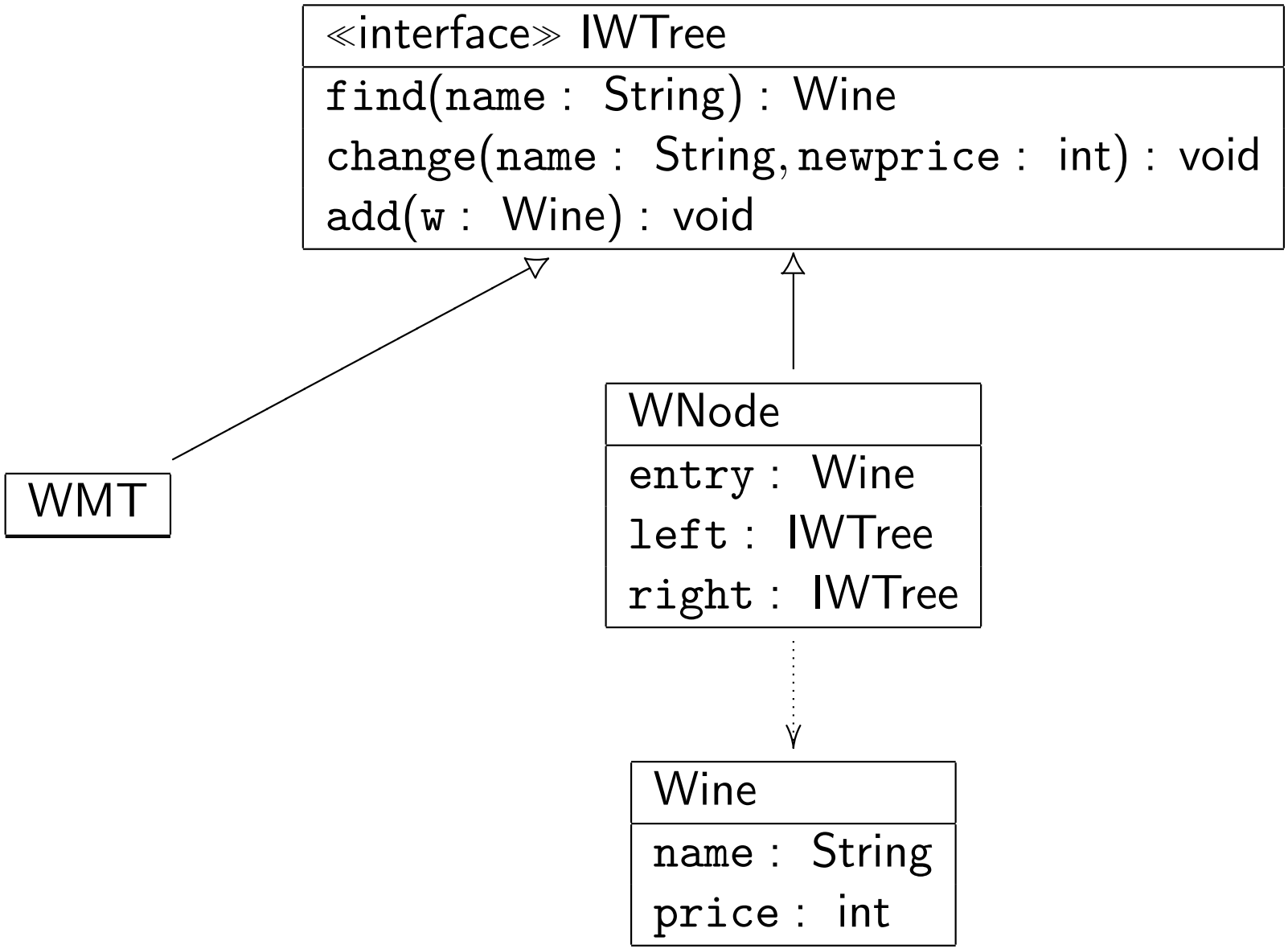
Finite Map

Ein Weingroßhändler will seine Preisliste verwalten. Er wünscht folgende Operationen

- *zu einem Wein den Preis ablegen,*
- *einen Preiseintrag ändern,*
- *den Preis eines Weins abfragen.*

- Abstrakt gesehen ist die Preisliste eine **endliche Abbildung** von Wein (repräsentiert durch einen String) auf Preise (repräsentiert durch ein int). (*finite map*)
- Da in der Preisliste einige tausend Einträge zu erwarten sind, sollte sie als Suchbaum organisiert sein.

Datenmodellierung Weinpreisliste



Binärer Suchbaum

- Ein binärer Suchbaum ist entweder leer (WMT) oder besteht aus einem Knoten (WNode), der ein Wine-Objekt entry, sowie zwei binäre Suchbäume `left` und `right` enthält.
- Invariante
  - Alle Namen von Weinen in `left` sind kleiner als der von `entry`.
  - Alle Namen von Weinen in `right` sind größer als der von `entry`.

Die `find`-Methode

- in WMT

```
Wine find (String name) {
  return null;
}
```

- in WNode

```
Wine find (String name) {
  int r = this.entry.compareName (name);
  if (r == 0) {
    return this.entry;
  } else {
    if (r > 0) { // this wine's name is greater than the one we are looking for
      return this.left.find (name);
    } else {
      return this.right.find (name);
    }
  }
}
```

Die Wunschliste für `Wine`

`int compareName (String name)` liefert 0, falls die Namen übereinstimmen, > 0, falls der gesuchte Name kleiner ist und < 0 sonst.

```
int compareName (String name) {
  return this.name.compareTo (name); // library method
}
```

Die Wunschliste für `Wine`

`int compareName (String name)` liefert 0, falls die Namen übereinstimmen, > 0, falls der gesuchte Name kleiner ist und < 0 sonst.

```
int compareName (String name) {
  return this.name.compareTo (name); // library method
}
```

Aus der `java.lang.String` Dokumentation

`public int compareTo(String anotherString)`
Compares two strings lexicographically. The comparison is based on the Unicode value of each character in the strings. The character sequence represented by this String object is compared lexicographically to the character sequence represented by the argument string. The result is a negative integer if this String object lexicographically precedes the argument string. The result is a positive integer if this String object lexicographically follows the argument string. The result is zero if the strings are equal; compareTo returns 0 exactly when the equals(Object) method would return true.

Beobachtung

- Die `find`-Methode ist bereits endrekursiv und (nichts) akkumulierend.

$\Rightarrow$ Sie kann in eine **while**-Anweisung umgewandelt werden.

- Voraussetzung: ändere IWTree zum Durchlauf-Interface

Beobachtung

- Die `find`-Methode ist bereits endrekursiv und (nichts) akkumulierend.

$\Rightarrow$ Sie kann in eine **while**-Anweisung umgewandelt werden.

- Voraussetzung: ändere IWTree zum Durchlauf-Interface

Durchlaufen von IWTree

```
interface IWTree {
  boolean isEmpty ();
  Wine getEntry ();
  IWTree getLeft ();
  IWTree getRight ();
}
```

Implementierung in den Klassen

```
class WMT implements IWTree {
  boolean isEmpty () { return true; }
  Wine getEntry () { throw new IllegalArgumentException(); }
  IWTree getLeft () { throw new IllegalArgumentException(); }
  IWTree getRight () { throw new IllegalArgumentException(); }
}
```

```
class WNode implements IWTree {
  private Wine entry;
  ...
  boolean isEmpty () { return false; }
  Wine getEntry () { return this.entry; }
  IWTree getLeft () { return this.left; }
  IWTree getRight () { return this.right; }
}
```

Separates Interface und Klasse für Operationen

Operationen auf WTree

```
interface IWTreeOp {
  Wine find(String name);
  void change(String name, int newprice);
  void add (Wine w);
}
```

Wrapperklasse für Operationen

```
class WTreeOp implements IWTreeOp {
  private IWTree wtree;
  Wine find (String name) { ... }
  void change (String name, int newprice) { ... }
  void add (Wine w) { ... }
}
```

Rekursive `findAux`-Methode mit Durchlauf-Interface

```
// in WTreeOp
Wine find (String name) {
  return findAux (name, this.wtree);
}
Wine findAux (String name, IWTree wtree) {
  if (!wtree.isEmpty ()) {
    int r = wtree.getEntry().compareName (name);
    if (r == 0) {
      return wtree.getEntry();
    } else {
      if (r > 0) { // this wine's name is greater than the one we are looking for
        return this.find (name, wtree.getLeft());
      } else {
        return this.find (name, wtree.getRight());
      }
    }
  } else {
    return null;
  }
}
```

Iterative `find`-Methode

```
Wine find (String name) {
  IWTree wtree = this.wtree;
  while (!wtree.isEmpty()) {
    int r = wtree.getEntry().compareName (name);
    if (r == 0) {
      return wtree.getEntry();
    } else {
      if (r > 0) { // this wine's name is greater than the one we are looking for
        wtree = wtree.getLeft();
      } else {
        wtree = wtree.getRight();
      }
    }
  }
  return null;
}
```

Die change-Methode (nach Composite Pattern)

- in WMT

```
void change (String name, int newprice) {
  return;
}
```

- in WNode

```
void change (String name, int newprice) {
  int r = this.entry.compareName (name);
  if (r == 0) {
    this.entry.price = newprice;
    return;
  } else {
    if (r > 0) { // this wine's name is greater than the one we are looking for
      this.left.change (name, newprice); return;
    } else {
      this.right.change (name, newprice); return;
    }
  }
}
```

Beobachtung

- Auch `change` ist endrekursiv und akkumulierend.

$\Rightarrow$ **while**-Anweisung möglich.

- Durchlauf-Interface ist bereits vorbereitet.
- Weitere Schritt sind analog zu `find`:
  - rekursive `changeAux`-Methode unter Verwendung des Durchlauf-Interface
  - Umschreiben in iterative Methode
  - Inlining

Rekursive changeAux-Methode mit Durchlauf-Interface

```
void changeAux (String name, int newprice, IWTree wtree) {
  if (!wtree.isEmpty()) {
    int r = wtree.getEntry().compareName (name);
    if (r == 0) {
      wtree.getEntry().price = newprice;
      return;
    } else {
      if (r > 0) { // this wine's name is greater than the one we are looking for
        this.changeAux (name, newprice, wtree.getLeft()); return;
      } else {
        this.changeAux (name, newprice, wtree.getRight()); return;
      }
    }
  } else {
    return;
  }
}
```

Iterative change-Methode

```
void change (String name, int newprice) {
  IWTree wtree = this.wtree;
  while (!wtree.isEmpty()) {
    int r = wtree.getEntry().compareName (name);
    if (r == 0) {
      wtree.getEntry().price = newprice;
      return;
    } else {
      if (r > 0) { // this wine's name is greater than the one we are looking for
        wtree = wtree.getLeft();
      } else {
        wtree = wtree.getRight();
      }
    }
  }
  return;
}
```

Die add-Methode

- Die add-Methode hat Ergebnistyp void und muss den unterliegenden Suchbaum verändern.
- Das funktioniert mit dem aktuellen Design nicht ohne weiteres.

Die add-Methode

- Die add-Methode hat Ergebnistyp void und muss den unterliegenden Suchbaum verändern.
- Das funktioniert mit dem aktuellen Design nicht ohne weiteres.
- Hier ein Versuch: in WMT

```
void add (Wine w) {
  ...;
}
```

An dieser Stelle steht der Methode nichts zur Verfügung: sie kann nichts bewirken. Also muss der Test, ob ein leerer Suchbaum besucht wird, schon vor Eintritt in den Baum geschehen und dort in `left` oder `right` der leere Baum überschrieben werden.

Die add-Methode

- Die add-Methode hat Ergebnistyp void und muss den unterliegenden Suchbaum verändern.
- Das funktioniert mit dem aktuellen Design nicht ohne weiteres.
- Hier ein Versuch: in WMT

```
void add (Wine w) {
  ...;
}
```

An dieser Stelle steht der Methode nichts zur Verfügung: sie kann nichts bewirken. Also muss der Test, ob ein leerer Suchbaum besucht wird, schon vor Eintritt in den Baum geschehen und dort in `left` oder `right` der leere Baum überschrieben werden.

- Weiteres Problem: Jeder Baum ist zu Beginn leer. Was soll beim Einfügen des ersten Eintrags überschrieben werden?

Lösung #1 (Rebuild / Composite Pattern)

- Führe eine Hilfsoperation `addTo` ins Interface IWTree ein:

```
public IWTree addTo(Wine w);
```

- Implementierung von `add` in WTreeOp:

```
public void add (Wine w) {
  this.wtree = this.wtree.addTo(w);
  return;
}
```

Implementierung der Interfacemethode addTo

- In WMT:

```
public IWTree addTo(Wine w) {
  return new WNode(w, new WMT(), new WMT());
}
```

- In WNode:

```
public IWTree addTo(Wine w) {
  int r = this.entry.compareNames(w);
  if (r == 0) {
    return new WNode(w, this.left, this.right);
  } else if (r < 0) {
    return new WNode(this.entry, this.left.addTo(w), this.right);
  } else {
    return new WNode(this.entry, this.left, this.right.addTo(w));
  }
}
```

Lösung #2 (Rebuild / Iteration)

- Durchlauf-Interface bleibt unverändert.
- Implementiere Funktionalität von `addTo` durch Iteration übers Durchlauf-Interface in WTreeOp:

```
public void add(Wine w) {
  this.wtree = this.addIter(w, this.wtree);
}
```

- Die Implementierung von `addIter` ist **nicht** endrekursiv (siehe nächste Folie) und kann daher **nicht** in eine **while**-Schleife umgewandelt werden.

Implementierung von `addIter` in WTreeOp

```
void addIter(Wine w, IWTree wtree) {
  if (wtree.isEmpty()) {
    return new WNode(w, new WMT(), new WMT());
  } else {
    int r = wtree.getEntry().compareNames(w);
    if (r == 0) {
      return new WNode(w, wtree.getLeft(), wtree.getRight());
    } else if (r < 0) {
      return new WNode(wtree.getEntry(),
                       addIter(w, wtree.getLeft()), wtree.getRight()));
    } else {
      return new WNode(wtree.getEntry(),
                       wtree.getLeft(), addIter(w, wtree.getRight()));
    }
  }
}
```

Lösung #3 (Imperativ / Iteration)

- Verändere die IWTree Datenstruktur
- Erfordert weitere Operationen im IWTree Interface:

```
public void setEntry(Wine w);
public void setLeft(IWTree left);
public void setRight(IWTree right);
```

- Implementierung in WMT: Exception
- Implementierung in WNode

```
public void setEntry(Wine w) {
  this.entry = w;
}
public void setLeft(IWTree left) {
  this.left = left;
}
public void setRight(IWTree right) {
  this.right = right;
}
```

Implementierung von add in WTreeOp

```
public void addImp(Wine w) {
  IWTree wtree = this.wtree;
  if (wtree.isEmpty()) {
    this.wtree = makeSingleton(w); return;
  }
  while(true) { // invariant: !wtree.isEmpty()
    int r = wtree.getEntry().compareNames(w);
    if (r == 0) {
      wtree.setEntry(w); return;
    } else if (r < 0) {
      if (wtree.getLeft().isEmpty()) {
        wtree.setLeft(makeSingleton(w)); return;
      } else {
        wtree = wtree.getLeft();
      }
    } else {
      if (wtree.getRight().isEmpty()) {
        wtree.setRight(makeSingleton(w)); return;
      } else {
        wtree = wtree.getRight();
      }
```

Vergleich der Lösungen

Lösung #1: Rebuild / Composite Pattern

+ Einfacher, klarer Code
+ Objekt-orientiert
- Neue Knoten erzeugt
- Interface IWTree erweitert

Lösung #2: Rebuild / Iteration

+ Keine Erweiterung von IWTree notwendig
- Kein Vorteil durch Iteration:
  addIter nicht endrekursiv $\Rightarrow$ keine **while**-Schleife möglich

Lösung #3: Imperativ / Iteration

+ Geringster Speicherverbrauch
- Erweiterung des IWTree Interface um Setter-Methoden
- Komplizierter, fehlerträchtiger Code

Fazit

- Für *funktionale Datenstrukturen* (Rebuild) können alle Operationen direkt (entweder rekursiv oder per **while**-Anweisung) definiert werden.
- Bei einer Änderung wird eine neue Instanz der Datenstruktur erzeugt, die Objekte gemeinsam mit der alten Instanz verwendet. Die alte Instanz kann weiter verwendet werden.
- Für *imperative Datenstrukturen* müssen in der Regel
  - die Struktur von den gewünschten Operationen getrennt werden
  - auf der Struktur sind nur Durchläufe möglich
  - für Verwaltungszwecke und zur Behandlung von Randfällen zusätzliche Objekte angelegt werden.
- Bei einer Änderung wird die alte Instanz zerstört und kann nicht mehr verwendet werden.