Überblick

Polymorphie mit Typvariablen

- Wir haben das Konzept der *Polymorphie* im Zusammenhang mit Vererbung kennengelernt: Eine Methode, die Objekte der Klasse `A` als Parameter bekommen kann, kann auch Objekte jeder Unterklasse von `A` als Parameter bekommen
- Manchmal kann es wünschenswert sein, eine Methode (oder Klasse) zwar allgemein zu definieren, beim Verwenden aber sicher zu sein, dass sie jeweils nur mit einem ganz bestimmten Typ verwendet wird
- Lösung: Man führt eine *Typvariable* ein

Polymorphie mit Typvariablen

- Variablen, die wir in Programmen bisher gesehen haben, sind Variablen, die verschiedene Werte annehmen können, aber nicht verschiedene Typen (außer vererbungs-polymorphe Typen)
- Eine *Typvariable* hat als Wert einen *Typ*
- Der Typ einer *Typvariablen* ist *der Typ aller Typen*, in Java auch als **`class`** bezeichnet
- Vergleich:

	Typ	Wert
Variable	ein beliebiger, aber fester Typ `A`	ein beliebiger Wert des Typs (z.B. auch ein Objekt der Klasse) `A` (oder einer Unterklasse)
Typvariable	**`class`**	eine beliebige Klasse

Intuition von Typvariablen

- Das Konzept der Typvariablen haben wir eigentlich schon kennengelernt
- In der Definition von Eigenschaften zweistelliger Relationen wurde eine Typvariable verwendet:

$$R \subseteq M \times M$$

  Hier steht M für eine beliebige Menge. Wichtig ist aber, dass R Teilmenge des zweistelligen Kreuzproduktes *derselben* Menge ist
- Eigenschaften von Funktionen wurden abstrakt für die Menge D als Definitionsbereich und die Menge B als Bildbereich definiert – D und B sind wiederum Typvariablen

Intuition von Typvariablen

- Wiederum mit Typvariablen wurden die Signaturen verschiedener Funktionen angegeben, z.B.:
  - Projektion auf Folgen: $\pi : M^n \times I_n \rightarrow M$
  - Postfix: $postfix : M^* \times M \rightarrow M$
- Auch Sorten von Ausdrücken wurden mit Variablen bezeichnet, diese Variablen können wir auch als Typvariablen auffassen

Intuition von Typvariablen

- Nicht nur Polymorphie, auch Überladung haben wir mit Typvariablen charakterisiert:
  - Vorzeichenoperator: $S \rightarrow S$ mit $S \in \{\texttt{byte}, \texttt{short}, \texttt{int}, \ldots\}$
  - Arithmetische Operatoren: $S \times S \rightarrow S$ mit $S \in \{\texttt{byte}, \texttt{short}, \texttt{int}, \ldots\}$
  - Vergleichsoperatoren: $S \times S \rightarrow \texttt{boolean}$ mit $S \in \{\texttt{byte}, \texttt{short}, \texttt{int}, \ldots\}$
  - Type-Cast-Operatoren hätten wir auch so angeben können:
    $(\texttt{int}) : A \rightarrow \texttt{int}$ mit $A \in \{\texttt{char}, \texttt{byte}, \texttt{short}, \ldots\}$
- In all diesen Fällen beschreiben wir mit Hilfe der Typvariablen die abstrakte Syntax. Die Syntax legt bereits fest, dass mit jedem Vorkommen derselben Typvariablen S der selbe Typ bezeichnet wird
- Die Semantik (Bedeutung) kommt zustande durch Belegung der Typvariable mit einem konkreten Wert (d.h., einem *bestimmten* Typ)

Erinnerung: Überladen von Methoden

- Eine Art Polymorphie ist das *Überladen* von Methoden (gleiche Namen aber unterschiedlichen Parameter-Typen):

```
public static void methode(Object o)
{
  System.out.println("01");
}
public static void methode(Tier t)
{
  System.out.println("02");
}
public static void methode(Schaf s)
{
  System.out.println("03");
}
```

- Diese drei Methoden sind unterschiedlich!

Inferenz der richtigen Methode

- Anhand des (*Laufzeit-*)Typs eines Parameters kann JRE entscheiden, welche Methode aufgerufen wird:

```
Schaf s = new Schaf();
Object o = (Object) s;
Tier t = (Tier) s;
methode(o);
methode(t);
methode(s);
```

Ausgabe:

```
01
02
03
```

Abgrenzung: Polymorphie von Methoden

- Eine andere Art der Polymorphie ist das *Überschreiben* von *Objekt-Methoden* in Unterklassen
- Hier wird der tatsächliche Typ des Objektes (zur Laufzeit) bestimmt und die entsprechende Methode verwendet:

```
public class Tier {
  public String toString() {
    return "Tier";
  }
}
```

```
public class Schaf extends Tier {
  public String toString() {
    return "Schaf";
  }
}
```

```
Schaf s = new Schaf();
Object o = (Object) s;
Tier t = (Tier) s;
System.out.println(o.toString()); // Ausgabe: Schaf
System.out.println(t.toString()); // Ausgabe: Schaf
System.out.println(s.toString()); // Ausgabe: Schaf
```

Überladene Methoden: Auswahl

- Bei überladenen Methoden entscheidet der Compiler für eine gegebene (deklarierte) aktuelle Parametrisierung, welche Methode für diese Parametrisierung die *spezifischste* ist
- Diese spezifischste Methode wird ausgeführt

Überladene Methoden: Auswahl

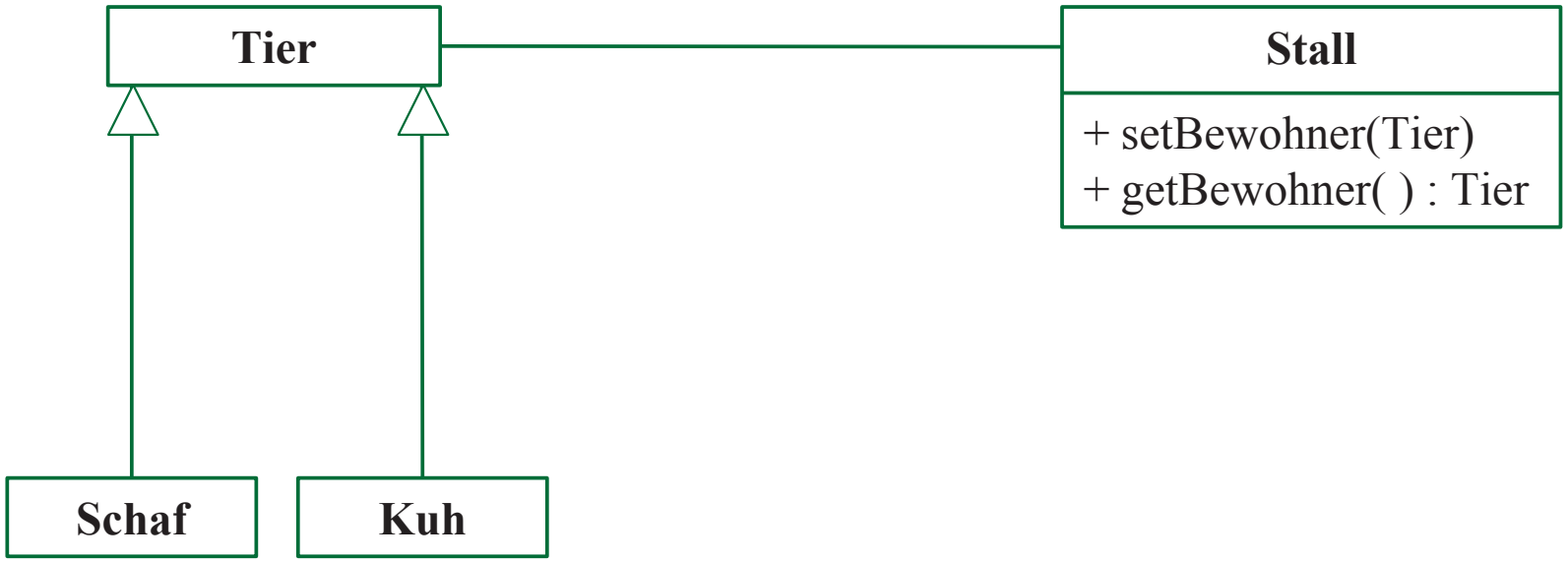
- Beispiel:

```
public static void methode(Object o) {
  System.out.println("01");
}

public static void methode(Tier t) {
  System.out.println("02");
}

public static void methode(Schaf s) {
  System.out.println("03");
}

Schaf s = new Schaf();
methode(s); // Ausgabe: 03
```

- Obwohl der Parameter `s` nicht nur vom Typ `Schaf`, sondern (aufgrund der Vererbung) auch vom Typ `Tier` und `Object` ist, wird die dritte Methode verwendet, die spezifischste für den aktuellen Parameter.

Typ-Polymorphie durch Vererbung

- Wie wir gesehen haben, ermöglicht Vererbung Polymorphie
- Gegeben folgendes Beispiel:



Typ-Polymorphie durch Vererbung

- Eine Klasse `Stall` wurde in diesem Beispiel für Objekte vom Typ `Tier` entworfen.

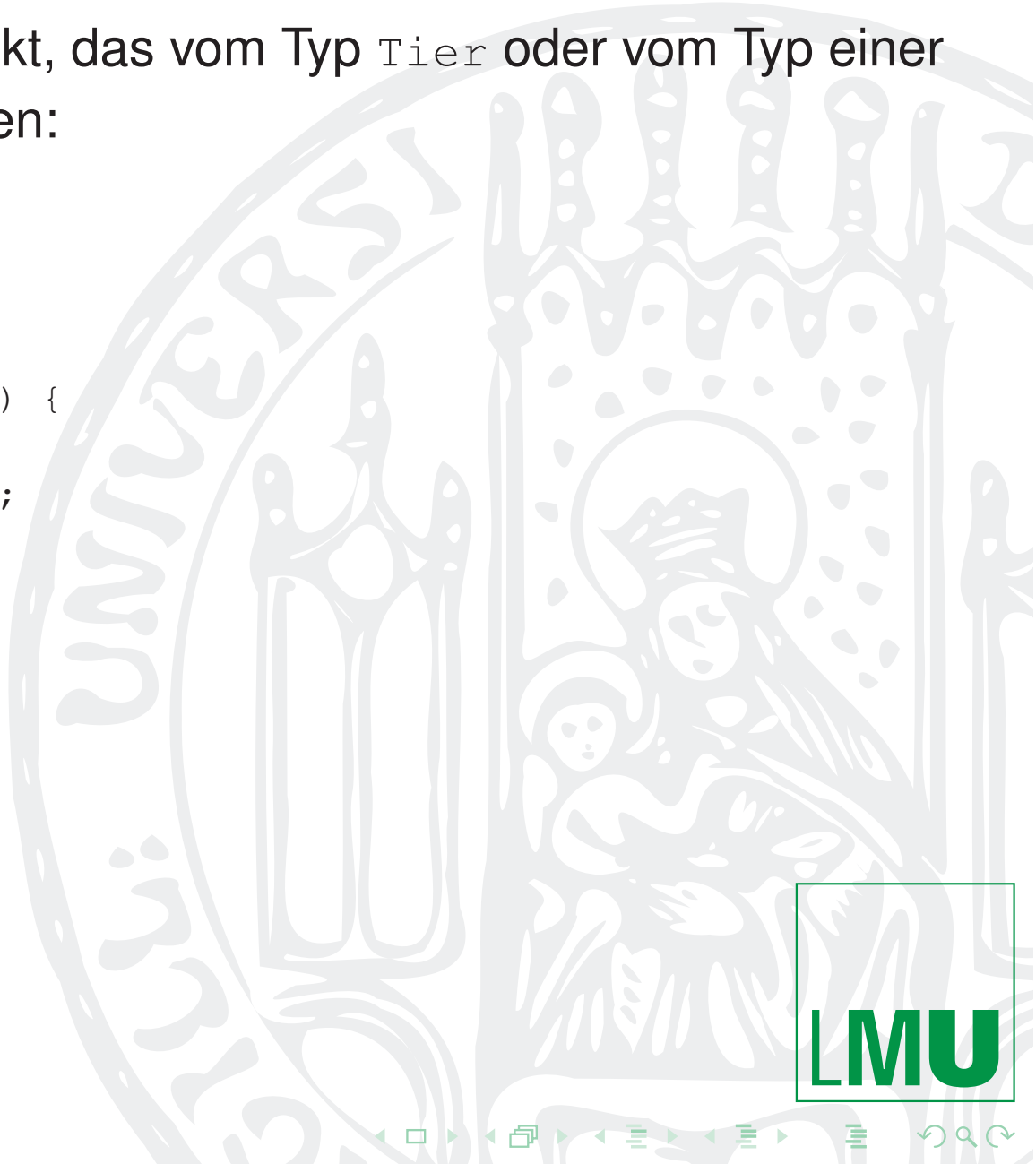
```
public class Tier {
  ...
}
public class Stall {
  private Tier bewohner;

  public void setBewohner(Tier tier) {
    this.bewohner = tier;
  }

  public Tier getBewohner() {
    return this.bewohner;
  }
}
```

- Welche Probleme können bei dieser Modellierung auftreten?

Typ-Polymorphie durch Vererbung

Der Stall kann jedes beliebige Objekt, das vom Typ `Tier` oder vom Typ einer Unterklasse von `Tier` ist, aufnehmen:

```
public class Schaf extends Tier {
  ...
}

public static void main(String[] args) {
  Stall schafstall = new Stall();
  schafstall.setBewohner(new Schaf());
}
```



Grenzen der Typ-Polymorphie durch Vererbung

Problem

Wenn man das Tier wieder aus dem Stall führt, weiß der Stall nicht mehr, was für ein Tier es ist:

```
public static void main(String[] args) {
  Stall schafstall = new Stall();
  schafstall.setBewohner(new Schaf());

  Tier bewohner = schafstall.getBewohner();
}
```

Grenzen der Typ-Polymorphie durch Vererbung

Lösung ohne generische Typen

Der Programmierer merkt es sich und führt einen expliziten Typecast durch:

```
public static void main(String[] args) {
  Stall schafstall = new Stall();
  schafstall.setBewohner(new Schaf());

  Tier bewohner = schafstall.getBewohner();
  Schaf schaf = (Schaf) schafstall.getBewohner();
}
```

Grenzen der Typ-Polymorphie durch Vererbung

- Die oben skizzierte “klassische” Lösung ist bestenfalls lästig für den Programmierer (da häufig explizite Typecasts nötig sind).
- In größeren Anwendungen (mit vielen Programmierern, die am gleichen Projekt arbeiten) ist diese Lösung auch überaus fehleranfällig und daher gefährlich (und bestenfalls teuer), da die Typüberprüfung erst zur *Laufzeit* stattfindet:

```
public class Kuh extends Tier { ... }

...
  // Code Fragment
  Stall stall = new Stall();
  stall.setBewohner(new Schaf());

  // Code an entfernter Stelle (anderer Programmierer)
  stall.setBewohner(new Kuh());

  // wiederum andere Stelle (gueltiger Code!)
  Schaf schaf = (Schaf) stall.getBewohner(); // RuntimeException:
                                             // ClassCastException
```

Typ-Polymorphie durch typisierte Klassen

- In diesem Kapitel lernen wir eine neuere Lösung kennen, die mit Version 5.0 in Java eingeführt wurde: Polymorphie wird nicht nur durch Vererbung, sondern auch durch generische Klassen ermöglicht (*Generics*). Das ist nicht nur bequemer, sondern ermöglicht die Typüberprüfung normalerweise bereits zur *Übersetzungszeit*.
- Eine *generische* Klasse ist *allgemein* für variable Typen implementiert – die Typen können bei der Verwendung der Klasse festgelegt werden, ohne dass die Implementierung verändert werden muss.
- Beide Konzepte der Polymorphie können auch gleichzeitig verwendet werden.

Generische Klassen

Beispiel: Die Klasse `Stall` wird durch Einführen einer *Typvariablen* generisch gehalten:

```
public class Stall<T> // Typvariable: T
{
  private T bewohner;

  public void setBewohner(T tier)
  {
    this.bewohner = tier;
  }

  public T getBewohner()
  {
    return this.bewohner;
  }
}
```

Typisierte Klassen

Im Gebrauch wird die Klasse durch Belegen der Typvariable mit einem bestimmten Typ typisiert (man spricht dann von einem *parametrisierten Typ*):

```
// Code Fragment
Stall<Schaf> stall = new Stall<Schaf>();
// Typvariable T wird (fuer Objekt stall) mit Schaf substituiert
// Ueberall, in der Definition von Stall
// steht beim Objekt stall nun T fuer Schaf

  stall.setBewohner(new Schaf());

// das folgende Fragment ist nicht mehr moeglich
// Kompilierfehler:
// The method setBewohner(Schaf) in the type Stall<Schaf>
// is not applicable for the arguments (Kuh)
stall.setBewohner(new Kuh());

// wiederum andere Stelle (gueltiger Code!)
Schaf schaf = stall.getBewohner();
// Kein Casting noetig, Rueckgabetyp ist T also Schaf
// keine RuntimeException moeglich
```

Erinnerung: Parameter bei Methoden

- Die Einführung einer Typvariablen bei der Definition der generischen Klasse Stall erinnert ein wenig an Parameter bei Methoden

```
public class Streckenberechnung {
  public static double strecke(double m, double t, double k) {
    double b = k / m;
    return 0.5 * b * (t * t);
  }

  public static void main(String[] args) {
    System.out.println(strecke(2.3, 42, 17.5));
  }
}
```

- Die Berechnungsvorschrift der Methode `strecke` wird abstrakt mit den formalen Parametern (`m,t,k`) definiert, die im Rumpf verwendet werden
- Die konkrete Berechnung wird aber mit Werten durchgeführt, die den Parametern zugewiesen werden (den aktuellen Parametern), d.h. die formalen Parameter werden durch diese Werte substituiert

Generische Klassen

- Entsprechend ist der Typparameter bei Definition der Klasse ein *formaler* Typparameter

```
public class Stall<T> {   // Typvariable: T (formaler Typ-Parameter)
  private T bewohner;

  ...

  public T getBewohner() {
    return this.bewohner;
  }
}
```

- Konkreter Gebrauch der Klasse durch Belegen der Typvariable mit einem bestimmten Typ (*aktuellen* Typparameter)

```
Stall<Schaf> stall = new Stall<Schaf>(); // aktueller Typ-Parameter: Schaf
```

- Dadurch *Typsicherheit* (u.a. ist auch Typprüfung möglich)

```
Schaf schaf = stall.getBewohner();
```

Syntax für generische Typen

- Deklaration einer generischen Klasse:

  ```
  class <Klassenname><<Typvariable(n)>>
  ```

- Instantiierung eines generischen Typs (=Typisierung der Klasse, Parametrisierung des Typs):

  ```
  <Klassenname><<Typausdruck/Typausdruecke>>
  ```

- Beispiele für Instantiierungen von `Stall<T>`:
  - `Stall<Tier>`
  - `Stall<Schaf>`
  - `Stall<Kuh>`
  - `Stall<Schaf,Kuh>` *//ungueltig: zu viele Parameter*
  - `Stall<String>` *//gueltig, aber unerwuenscht*
  - `Stall<int>` *//ungueltig (Warum???)*

Syntax für generische Typen

- Eine generische Klasse kann also auch mit mehreren Typ-Parametern definiert werden

```
public class TripelStall<S, T, U> {
    private S ersterBewohner;
    private T zweiterBewohner;
    private U dritterBewohner;
    ...
}
```

- Beispiele für Instantiierungen von `TripleStall<S, T, U>`:
  - `Stall<Tier, Tier, Tier>`
  - `Stall<Kuh, Kuh, Kuh>`
  - `Stall<Tier, Schaf, Kuh>`
  - `Stall<Kuh, Schaf, Kuh>`
  - `Stall<Schaf,Kuh, Kuh, Tier>` *//ungueltig: zu viele Parameter*

Übersetzung von generischen Typen

Zur Übersetzung von generischen Typen gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- *Heterogene Übersetzung*: Für jede Instantiierung (`Stall<Tier>`, `Stall<Schaf>`, `Stall<Kuh>` etc.) wird individueller Byte-Code erzeugt, also drei unterschiedliche (heterogene) Klassen
- *Homogene Übersetzung*: Für jede parametrisierte Klasse (`Stall<T>`) wird genau eine Klasse erzeugt, die die generische Typinformation löscht (*type erasure*) und die Typ-Parameter durch die Klasse `Object` ersetzt; für jeden konkreten Typ werden zusätzlich Typanpassungen in die Anweisungen eingebaut

Übersetzung von generischen Typen

- Java nutzt die homogene Übersetzung (C++ die heterogene)
- Der Byte-Code für eine generische Klasse entspricht also in etwa dem Byte-Code einer Klasse, die nur Typ-Polymorphie durch Vererbung benutzt
- Gewonnen hat man aber die Typ-Sicherheit zur Übersetzungszeit
- Vorteil/Nachteil der homogenen Übersetzung:
  - \+ weniger erzeugter Byte-Code, Rückwärtskompatibilität
  - − geringere Ausdrucksmächtigkeit der Typüberprüfung zur Übersetzungszeit

Verwendung generischer Typen ohne Typ-Parameter

- Generische Klassen können auch ohne Typ-Parameter verwendet werden
- Ein generischer Typ ohne Typangabe heißt *Raw-Type* und bietet die gleiche Funktionalität wie ein parametrisierter Typ, allerdings werden die Parametertypen nicht zur Übersetzungszeit überprüft
- Beispiel: Raw-Type von `Stall<T>` ist `Stall`

```
Stall<Schaf> schafstall = new Stall<Schaf>();
Stall stall = new Stall();
stall = schafstall;

stall.setBewohner(new Kuh()); // Warnung:
    // Type safety: The method setBewohner(Tier)
    // belongs to the raw type Stall.
    // References to generic type Stall<T>
    // should be parameterized
// Die Warnung ist gerechtfertigt, denn:
Schaf poldi = schafstall.getBewohner();
// ist gueltiger Code, der aber zu einer
// RuntimeException (ClassCastException) fuehrt
```

Unterklassen von generischen Klassen

- Von generischen Klassen lassen sich in gewohnter Weise Unterklassen ableiten:

```
public class SchafStall extends Stall<Schaf> { ... }
```

  Dabei kann der Typ der Oberklasse weiter festgelegt werden (in diesem Beispiel wird die Oberklasse typisiert)

- Die Unterklasse einer generischen Klasse kann auch selbst wieder generisch sein

```
public class GrossviehStall<T> extends Stall<T> { ... }
```

- Die Unterklasse kann auch einen weiteren Typ einführen:

```
public class DoppelStall<T, S> extends Stall<T> {
  private S zweiterBewohner;
  ...
}
```

Platzhalter (Wildcards)

- Zur Typisierung kann man auch Wildcards verwenden:

```
public class IrgendeinStall<?>
```

- Das ist so zunächst nur sinnvoll, wenn der genaue Typ keine Rolle spielt
- Sinnvolle Verwendung finden Platzhalter zusammen mit oberen und/oder unteren Schranken

Obere Typ-Schranke

- Wie kann eine unerwünschte Typisierung `Stall<String>` verhindert werden?
- Die Typvariable kann innerhalb einer Typ-Hierarchie verortet werden, indem eine *obere Schranke* angegeben wird:

```
public class Stall<T extends Tier> {
   ...
}

  // Code Fragment
  Stall<String> // ungueltig:
                // String ist nicht Unterklasse von Tier
```

Untere Typ-Schranke

- Analog zur oberen Schranke kann man auch eine untere Schranke definieren
- Das ist jedoch nur für Wildcards möglich, und nicht in Klassen-Definitionen, sondern nur in Deklarationen von Variablen:

```
Stall<? super Schaf> stall;
...
// Code Fragment
stall.setBewohner(new Kuh()) // ungueltig:
  // The method setBewohner(capture-of ? super Schaf)
  // in the type Stall<capture-of ? super Schaf> is
  // not applicable for the arguments (Kuh)
```