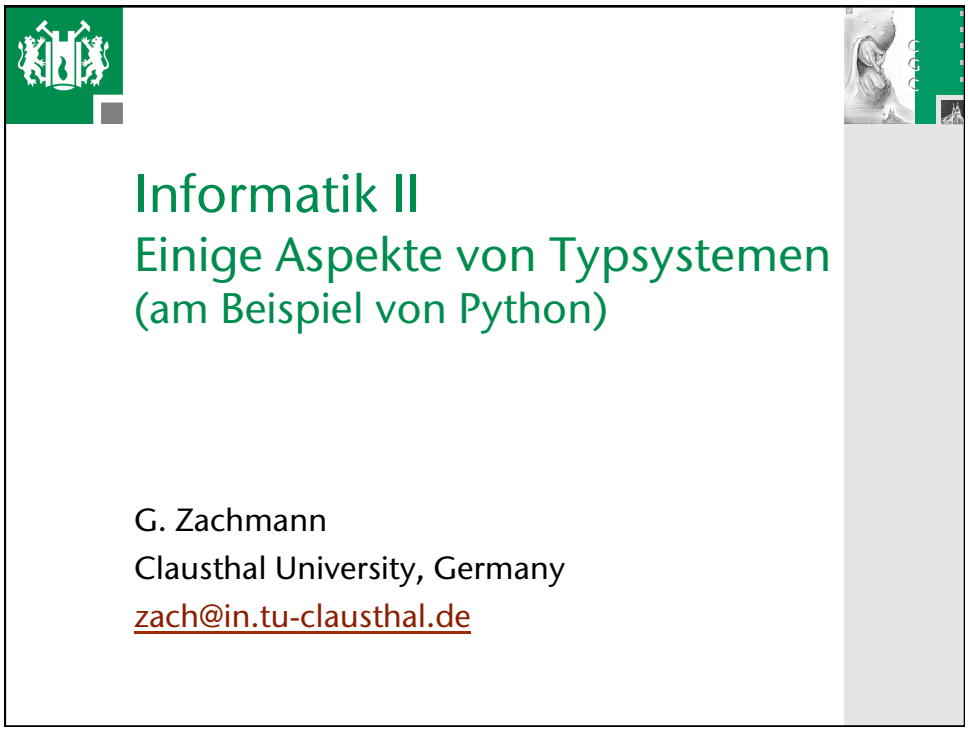
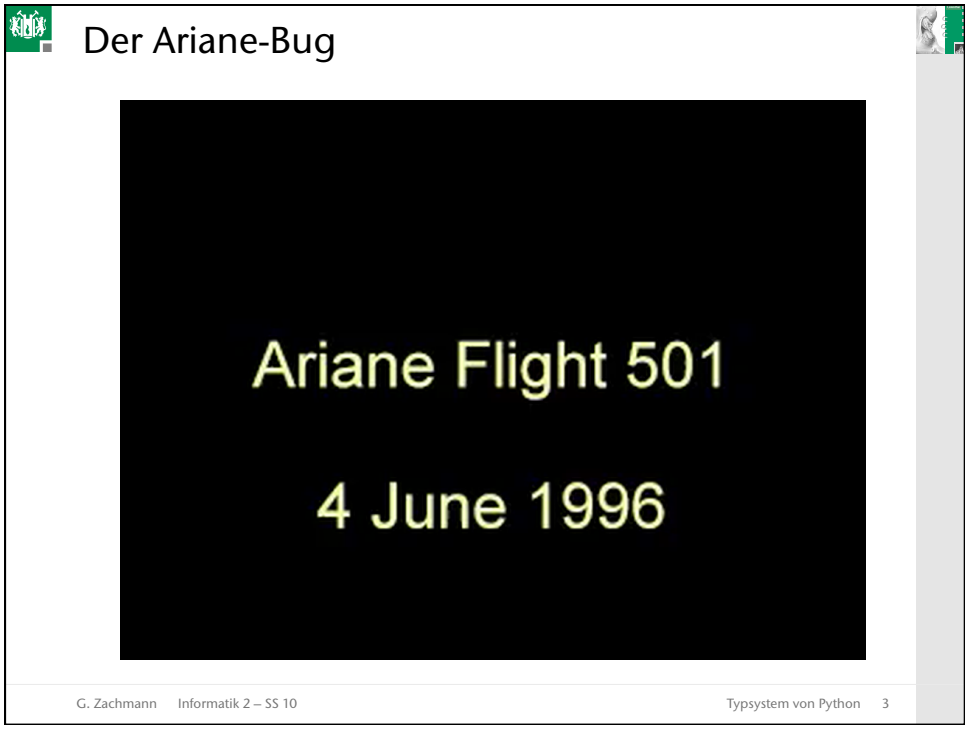


Informatik II
Einige Aspekte von Typsystemen
(am Beispiel von Python)

G. Zachmann
Clausthal University, Germany
zach@in.tu-clausthal.de



```
...
declare
  vertical_veloc_sensor: float;
  horizontal_veloc_sensor: float;
  vertical_veloc_bias: integer;
  horizontal_veloc_bias: integer;
  ...
begin
  declare
    pragma suppress(numeric_error, horizontal_veloc_bias);
  begin
    sensor_get( vertical_veloc_sensor );
    sensor_get( horizontal_veloc_sensor );
    vertical_veloc_bias := integer( vertical_veloc_sensor );
    horizontal_veloc_bias := integer(horizontal_veloc_sensor);
    ...
  exception
    when numeric_error => calculate_vertical_veloc();
    when others => use_irs1();
  end;
end irs2;
```


Wozu Datentypen?

- Zu Überprüfung von Fehlern zur Compile-Zeit, d.h. zum Check (zu gewissem Grad), ob der Programmierer das programmiert hat, was er programmieren wollte
- Vorausgesetzt ...
  - Typen werden sinnvoll angewendet
  - Type-Casts und Konvertierungen werden sehr sorgfältig verwendet!

Definitionen

- Ziel: Semantische Bedeutung einem Speicherblock zuordnen → Konzept des Typs bzw. Typsystems
- 3 Definitionsarten von *Typen* :
  - Denotationale Definition: *Typ* := Menge von Werten.
  - Konstruktive Definition: *Typ* :=
    - entweder: primitver, eingebauter Typ (int, float, ...),
    - oder: zusammengesetzt aus anderen Typen (struct, class, array, ...).
  - Abstrakte Definition: *Typ* := Interface, bestehend aus Menge von Operationen (Funktionen, Operatoren), die auf Werte dieses Typs angewendet werden können

- *Type Error* :=
  Operation (= Operand oder Funktionsaufruf) ist für beteiligte Typen (Variablen, Ausdrücke, Rückgabewerte) nicht definiert
  - Beispiel: Integer / String
- *Type Checking* :=
  Type-Errors finden, dann Fehlermeldung ausgeben oder auflösen
  - Beispiel: Typen zweier Operanden müssen gleich sein
- Auflösen von Type-Errors: *Coercion*, *Promotion*, *implicit type cast* ...
  - Beispiele:
    - 1 * 1.2 → 1.0 * 1.2
    -

```
int i;
...
if ( i )
{
   ...
```

→

```
int i;
...
if ( static_cast<bool>(i) )
{
   ...
```

Die zwei wichtigsten Arten des Type-Checking

- Programmiersprachen können bzgl. Type-Checking in 2 Klassen eingeteilt werden (Klassifikation ist nicht immer scharf!)
- *Static type checking* / *statically typed* :=
  Type checking zur Compile-Zeit durch den Compiler
- *Dynamic type checking* / *dynamically typed* :=
  Type checking zur Laufzeit durch den Interpreter
  (bzw. die Virtual Machine)

- *Type Inference* :=
  Typ der Variablen wird aus dem Kontext hergeleitet;
  Typen dürfen unvollständig sein.

Static Typing (z.B. C++ / Java)

- Konsequenz:
  - →Compiler muß zu jeder Zeit den Typ eines Wertes im Speicher kennen
  - →Relativ einfach machbar, wenn Variablen einem Speicherblock fest zugeordnet sind
  - →Typ(Speicherbereich) = Typ(Variable)
  - →Bessere Performance (Compiler generiert sofort den richtigen Code)
- Konsequenz für die Sprache bzgl. Variablen:
  - Variable = unveränderliches Triple (Name, Typ, Speicherbereich)
  - Variablen müssen vom Programmierer vorab deklariert werden
  - Syntax in C++:

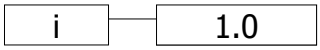
```
Type Variable;
```

  - Beispiele:

```
int i;              // the variable 'i'
float f1, f2;
char c1,            // comment
     c2;            // comment
```

- Beispiel:

```
float i = 3.0;
i = 1; // überschr. 3.0
i = "hello"; // error
int i = 1;  // error
```



- Unschön ist: Typ von Speicherblock wird durch Typ der darübergelegten Variable bestimmt!

Dynamic Typing (z.B. Python)

- Idee: Typ aus der Symboltabelle entfernen, und dafür zum Wert direkt mit in den Speicher schreiben
- Konsequenzen:
  - Variablen haben keinen deklarierten Typ mehr!

  →Werte im Speicher müssen unveränderlichen "Type-Tag" haben

  →Typ von Variable/Wert wird zur Laufzeit (jedesmal) überprüft

  →Variable muß nicht an festen Speicherbereich gebunden werden

  →Welcher Operator, wird jeweils zur Laufzeit entschieden

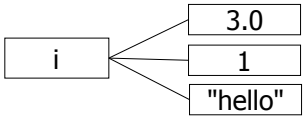
  →"Generic Programming" bzw. Polymorphie wird (fast) trivial

  →Wesentlich kürzere Compile-Zeiten, aber Performance penalty

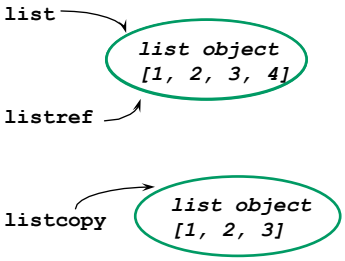
  →Debugger mit höherer Funktionalität (*"to program in the debugger"*)
- Konsequenz für die Sprache bzgl. Variablen:
  - Variable = veränderliches Paar (Name, Speicherbereich)
  - Variablen müssen vom Programmierer *nicht* deklariert werden

- Beispiele:

```
i = 3.0
i = 1; // bindet i neu
i = "hello"; // dito
```



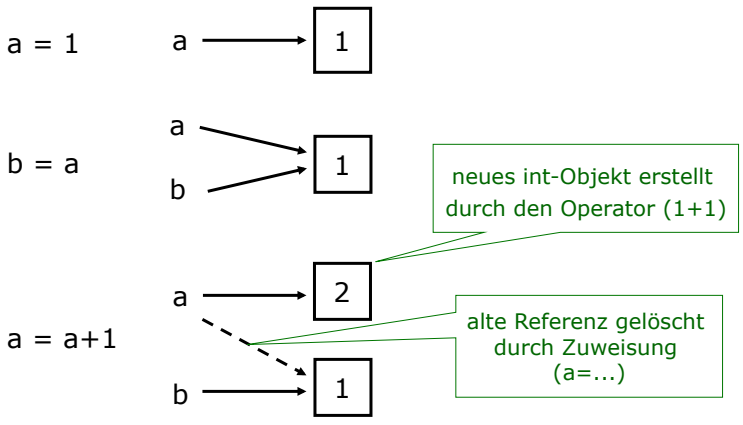

```
list = [1,2,3]
listref = list
listcopy = list[:]
list.append( 4 )
```



- Zuordnung zwischen Variablenname und Wert/Objekt im Speicher heißt auch *Binding*

Ändern eines Integers

- Achtung: manche Operationen erzeugen eine Kopie!



- Analog bei Listen

Strongly Typed / Weakly Typed

- Achtung: ex. keine einheitliche und strenge Definition!

1. Sprache ist *strongly typed* (stark typisiert), wenn es schwierig/ unmöglich ist, einen Speicherblock (der ein Objekt enthält) als anderen Typ zu interpretieren (als den vom Objekt vorgegebenen).
   - Uminterpretierung funktioniert nur mit Casts und Pointern, oder Unions (s. C++ aus Info 1)
2. Sprache ist *strongly typed* (stark typisiert), wenn es wenig automatische Konvertierung (*coercion*) für die eingebauten Operatoren und Typen gibt.
   - Insbesondere: wenn es keine Coercions gibt, die Information verlieren

- Def. 1 ist sinnvoller, Def. 2 leider häufig bei Programmierern

Beispiele

- Verlust von Information in C++ (Definition 2):

```
int i = 3.0;
```

In C++:
liefert nur Warning

```
i = 3.0
```

In Python:
Konstante ist Float,
i ist nur Name, der an
die Konstante gebunden wird

- Uminterpretierung in C++ (Definition 1):

```
float f = 3;
printf( "%d\n", f );
```

In C++: höchstens Warning

```
f = 3.0
print "%d" % f
```

In Python: Konvertierung

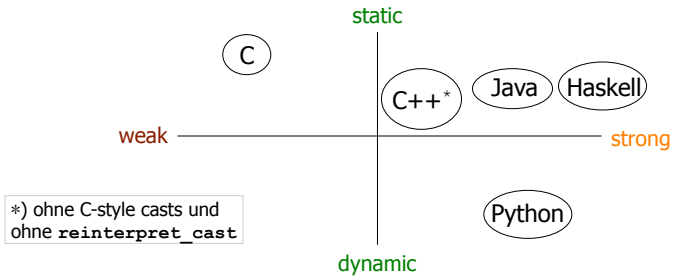
- Bemerkungen:
  - Mit OO-Sprachen kann man die Stärke der Typisierung gemäß Definition 2 (fast) beliebig weit abschwächen
  - Resultat der automatischen Konvertierung ist nicht immer klar
- Beispiel:

```
string s = "blub";
s += 3.1415;       // gültig
s = 3.1415;        // dito
```

In einer hypothetischen,
eigenen String-Klasse in C++

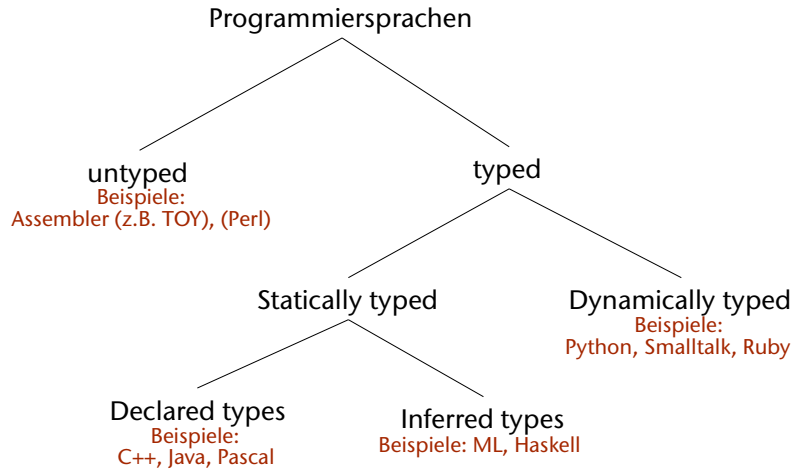
Typing-Quadrant

- Orthogonalität: Achtung: *static/dynamic typing* und *strong/weak typing* sind orthogonal zueinander!!



- Häufig falscher Sprachgebrauch! ("strong" = "static und strong", oder gar: "strong" = "static")
- Achtung: weak↔strong ist eher Kontinuum

Hierarchie bzgl. Typisierung



Exkurs: Inferred Typing

- Type-Deklarationen sind ...
  - lästig
  - unnötig
  - schränken ein
- Idee: der Compiler kann den Typ (fast immer) folgern
- Sehr simple Form von *Type-Inference* in Python:

```
x = 1         # 1 wird als int interpr.
x = 1.0       # 1.0 wird als float interpr.
```

- Und in C++:

```
float f = 3 / 2;
```

  - Compiler schließt, wir wollten Integer-Division haben

- Type-Inference in einer Funktion:

```
def fact( n ):
    if n == 0:
        return 1
    else:
        return n * fact(n-1)
```

- Angenommen, Python wäre eine statisch typisierte Sprache:
  - Test 'n == 0' → n muß int sein,
  - Zeile 'return 1' → fact muß Funktion sein, die int liefert
  - Zusammen → fact muß Funktion von int nach int sein
  - letzte Zeile: klassisches, statisches Type-Checking
- Macht nur für statisch typisierte Sprachen Sinn

Etwas komplexeres Beispiel

```
def mkpairs(x):
    if x.empty():
        return x
    else:
        xx = [x[0], x[0]]
        xx.append( mkpairs(x[1:]) )
        return xx
```

Liefert neue Sequenz bestehend aus den Elementen 1-... von Sequenz x

- Schlußfolgerung
  1. `x.empty()` → `x` muß Sequenztyp sein, da `empty()` nur auf solchen definiert ist
  2. `return x` → Funktion `mkpairs` muß Typ Sequenz→Sequenz haben
  3. Rest ist Type Checking

- Beispiel wo Inferenz nicht so ohne weiteres funktioniert:

```
def sqr(x):
    return x*x
```

  - Multiplikation verlangt, daß x vom typ Float oder Int ist
  - Also **`sqr:Float→Float`** oder **`sqr:Int→Int`**
  - Nicht definierter Typ
- sqr kann auch kein parametrisierter Typ sein, also vom Typ T→T, da ja nicht jeder beliebige Typ T erlaubt ist
- Lösung: mehrere, überladene Funktionen erzeugen, falls benötigt (à la Templates in C++)

Konvertierungen

- Totales Strong Typing gemäß Def. 2 → nur Operanden genau gleichen Typs erlaubt

```
int i = 1;
unsigned int u = i + 1;   // error
float f = u + 1.0;        // error
```

- Automatische Konvertierungen im Typsystem:
  - Begriffe: *automatic conversion*, *coercion*, *implicit cast, promotion*
  - Definition: *coercion* := autom. Konvertierung des Typs eines Ausdruckes zu dem Typ, der durch den Kontext benötigt wird.
  - Sprachgebrauch:
    - *coercion* bei built-in Types
    - *implicit cast* bei user-defined Types (Klassen)

- Widening:
  - Coercion vom "kleineren" Typ in den "größeren" Typ.
  - "kleinerer" Typ = kleinerer Wertebereich nicht notw. mehr Bits)
  - Beispiel:

```
int i = 1;
unsigned int u = i + 1;   // 1 → 1u
float f = u + 1.0f;       // 1u → 1.0f
```

  - Promotion-Hierarchie, definiert im C++-Standard:

```
bool → char → int → unsigned int → long int →
float → double → long double
```


- Narrowing:
  - Coercion vom "größeren" in den "kleineren" Typ
  - Gefährlich: was passiert mit Werten außerhalb des kleineren Wertebereichs ?!
  - Beispiel:

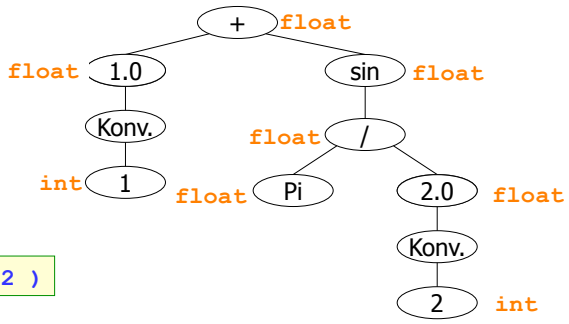
```
float f = 1E30;
int j = f;
char c = j;
```

- Achtung: Coercion ist "lazy", d.h., so spät wie möglich, von innen nach außen!
- Beispiel:

```
float f = 1/2;    // f == 0.0 !
```

"Typarithmetik" in Ausdrücken

- Zur Compile-Zeit muß der Baum eines Ausdruckes mit Typinformationen annotiert werden
  - Zum Type-Checking
  - Um die richtigen Assembler-Befehle zu erzeugen
- Beispiel:




```
1 + sin( Pi / 2 )
```


Funktionen eines (statischen) Typsystems

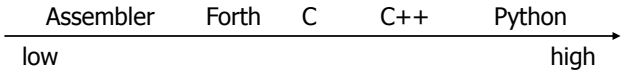
- Ungültige Operationen verhindern:
  - Beispiel: "hello world" / 3.0
  - Bei statischer / dynamischer Typisierung wird dies zur Compile-Zeit / Laufzeit abgefangen
- Optimierung: Compiler kann zur Compile-Zeit z.B. Operationen zusammenfassen
- Dokumentation: ein Typname kann (sollte) etwas über seine Bedeutung aussagen

```
typedef NumSecondsAfter1970 unsigned int;
struct ComplexNumber { float r, i; };
```

  - Noch wichtiger sind aber gut gewählte Variablennamen! ist genauso wichtig wie eine ausführliche Beschreibung, wozu die Variable verwendet wird!

Charakteristika von Programmiersprachen

- Statisch typisiert ↔ dynamisch typisiert
- Stark typisiert ↔ schwach typisiert
- Mit *type inference* ↔ mit deklarierten Typen
- Low level ↔ high level



- Objekt-orientierte / funktionale / logische Sprache
- Compiliert ↔ interpretiert ("Skriptsprache")

Warum dynamisch typisierte Sprachen genauso sicher sind

> Static types give me the same feeling of safety as the announcement that my seat cushion can be used as a floatation device.
>
> Don Roberts, OOPSLA 2005
>
> Reported in Martin Fowlers' blog on OOPSLA 2005


- Systeme, die mit dynamisch-typisierten Sprachen gebaut werden, sind um ca. einen Faktor 5-10 kleiner (weniger LoC) als Systeme in statisch-typisierten Sprachen →
  - Weniger Code = weniger Bugs
  - Weniger Code = leichter zu warten (erweitern, modifizieren)
- Auch mit statisch-typisierten Sprachen benötigt man Unit-Tests (= Test-Code für einzelne Funktionen); mit diesen findet man aber auch schon die Bugs, die der Compiler durch Type-Checks gefunden hätte