

Static Typing for Dynamic People

Florian "Florob" Zeitz

2016-03-31

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- 1 Typsysteme
 - Typen
 - Statisch / Dynamisch Typisierung
 - Explizite / Implizite Typisierung
 - Starke / Schwache Typisierung
- 2 Statische Typisierung
- 3 Fallbeispiele
 - Generics
 - Variant Types

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

1 Typsysteme

- Typen
- Statisch / Dynamisch Typisierung
- Explizite / Implizite Typisierung
- Starke / Schwache Typisierung

2 Statische Typisierung

3 Fallbeispiele

- Generics
- Variant Types

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

1 Typsysteme

■ Typen

- Statisch / Dynamisch Typisierung
- Explizite / Implizite Typisierung
- Starke / Schwache Typisierung

2 Statische Typisierung

3 Fallbeispiele

- Generics
- Variant Types

Typen

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Datentyp
- Wertebereich
- Operationen
- Semantik

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- 1 Typsysteme
 - Typen
 - **Statisch / Dynamisch Typisierung**
 - Explizite / Implizite Typisierung
 - Starke / Schwache Typisierung
- 2 Statische Typisierung
- 3 Fallbeispiele
 - Generics
 - Variant Types

Statisch / Dynamisch Typisierung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

Statisch Typisiert

- Typen von Variablen/Ausdrücken werden zur *Compilezeit* bestimmt
- Verwendung von Typen wird zur *Compilezeit* geprüft
- Sprachen: C, C++, Go, Java, Rust

Dynamisch Typisiert

- Verwendung von Typen wird zur *Laufzeit* geprüft
- Repräsentation eines Objektes beinhaltet den Typ
- Sprachen: JavaScript, Perl, Python, Ruby

Statisch / Dynamisch Typisierung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Eine Sprache ist nie ganz statisch, oder dynamisch Typisiert
- Viele Typen In dynamisch typisierten Sprachen sind statisch bestimmbar (50–60%)
- Viele statisch typisierte Sprachen erlauben Typinformation zur Laufzeit zu verwenden

C++

```
1 void f(Base &x) {  
2     Derived &y = dynamic_cast<Derived&>(x);  
3 }
```


Graduelle Typisierung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Variablen/Parameter können entweder mit festem Typ, oder als dynamisch Typisiert deklariert werden
- Oft Erweiterung einer dynamische typisierten Sprache, z. B.:
 - TypeScript, Flow für Javascript
 - Hack für PHP
 - Cython für Python
- Sprachen: C# seit 4.0, Dylan, Perl 6

Optionale Typisierung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Laufzeit Semantik und Typsystem sind separat
- Typ-Annotationen sind optional
- Typen können von Tooling genutzt werden
- Verschiedene Typsysteme für verschiedene Aufgaben
- Sprachen: Dart, Python seit 3.5, Strongtalk

Dart

```
1 main() {  
2     int x = 3.4125; // Not an error  
3     print(x); // Prints '3.4125'  
4 }
```

Duck Typing

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

When I see a bird that walks like a duck and swims like a duck and quacks like a duck, I call that bird a duck.

- Objekte werden durch Methoden und Attribute klassifiziert
- Konkreter Typ/Klasse sind nicht wichtig

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

1 Typsysteme

- Typen
- Statisch / Dynamisch Typisierung
- Explizite / Implizite Typisierung
- Starke / Schwache Typisierung

2 Statische Typisierung

3 Fallbeispiele

- Generics
- Variant Types

Explizite / Implizite Typisierung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

Explizit Typisiert

Der Typ von Variablen/Funktionen muss explizit angegeben werden:

- C: `float f = 3.1415`
- TypeScript: `let f: number = 3.1415`

Implizit Typisiert

Der Typ von Variablen/Funktionen wird durch Typinferenz bestimmt:

- C++: `auto f = 3.1415f`
- Rust: `let i = 42u32`

- In der Regel explizite Typisierung, oder eine Mischung
- Syntax meist für eins von beidem angepasst

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

1 Typsysteme

- Typen
- Statisch / Dynamisch Typisierung
- Explizite / Implizite Typisierung
- **Starke / Schwache Typisierung**

2 Statische Typisierung

3 Fallbeispiele

- Generics
- Variant Types

Starke / Schwache Typisierung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

Viele verschiedene Definitionen:

- statische / dynamische Typisierung
- Typsicherheit
- Fehlen/Existenz von impliziter Typumwandlung (coercions)

Typsicherheit

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

(...) well-typed programs cannot “go wrong” (...)
— Robin Milner¹

- Hängt von der Definition der Programmiersprache ab
- Typen können nur regelkonform mit Operatoren verwendet werden

C

```
1 float f = 4.2;  
2 int *i = &f;  
3 i = 2 * i;  
4 printf("%i\n", f, i);
```



¹A Theory of Type Polymorphism in Programming

Coercions

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

JavaScript

```
1 [] + 12 // "12"  
2 [] + {} // "[object Object]"  
3 {} + [] // 0
```

C

```
1 int x = 12.4f;  
2 uint8_t y = 1000;  
3 size_t s = &y;
```

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

1 Typsysteme

- Typen
- Statisch / Dynamisch Typisierung
- Explizite / Implizite Typisierung
- Starke / Schwache Typisierung

2 Statische Typisierung

3 Fallbeispiele

- Generics
- Variant Types

Signature Jeopardy

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Gegeben wird eine Funktionssignatur
- Welche Funktionalität bietet diese?
- Konvention:
 - Typen beginnen mit Großbuchstaben
 - Typvariablen sind Kleinbuchstaben

```
add :: (Int, Int) -> Int
```

```
zip :: ([a], [b]) -> [(a, b)]
```

Static Typing for Dynamic People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

?? :: (a) -> a

Static Typing for Dynamic People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

```
id :: (a) -> a
```

Static Typing for Dynamic People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

```
?????? :: (a, List(a)) -> List(a)
```

```
append :: (a, List(a)) -> List(a)
```

Static Typing for Dynamic People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

??? :: (Vector(a), (a) -> b) -> Vector(b)

Static Typing for Dynamic People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

```
map :: (Vector a), (a -> b) -> Vector b
```

Static Typing for Dynamic People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

??????? :: (**Vector**(a), (a) -> **Vector**(b)) -> **Vector**(b)

`flatMap` **::** (**Vector** (a), (a) **->** **Vector** (b)) **->** **Vector** (b)

Typen sind Dokumentation

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- ...zumindest ein Teil davon
- Welche Argumente sind valide?
- Was ist der Rückgabewert?
- Welche Operationen existieren auf den Rückgabewert?
- Typsignaturen können schneller zu lesen sein als Fließtext
- Typsignaturen schränken die mögliche Semantik ein

Performance

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Typen müssen nicht zur Laufzeit geprüft werden
- Optimierungspotential:
 - Maschinencode für Operatoren statt Methoden-/Funktionsaufrufen
 - Konkrete Methode ist zur Kompilezeit bekannt \Rightarrow Inlining

Elimination von Fehlerklassen

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Aufruf mit Argumenten des falschen Typs
- Rückgabe des falschen Typs
- Out-of-bound Arrayindizes:
dependently typed indexing `index :: (Fin(n), Vect(n, a)) -> a`

Nachteile

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Nicht alles lässt sich innerhalb eines statischen Typsystems ausdrücken
- Ausdrucksstarke Typsysteme sind immer auch komplex
- Desto mehr sich abbilden lässt, desto komplexer das Typsystem
- Komplexitätsbudget
- Aufwändige Compiler

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

1 Typsysteme

- Typen
- Statisch / Dynamisch Typisierung
- Explizite / Implizite Typisierung
- Starke / Schwache Typisierung

2 Statische Typisierung

3 Fallbeispiele

- Generics
- Variant Types

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

1 Typsysteme

- Typen
- Statisch / Dynamisch Typisierung
- Explizite / Implizite Typisierung
- Starke / Schwache Typisierung

2 Statische Typisierung

3 Fallbeispiele

- Generics
- Variant Types

Dynamisch Typisiert: Python

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

```
1 def any(xs, pred):  
2     for x in xs:  
3         if pred(x): return True  
4     return False
```

- Duck typing
- Über `xs` muss iteriert werden können
- `pred` muss aufrufbar sein, aber nicht zwingend eine Funktion

C++

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

C++ with Concepts TS

```
1  bool any(auto xs, auto pred) {  
2      for (auto const &x : xs) {  
3          if (pred(x)) return true;  
4      }  
5      return false;  
6  }
```

C++

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

C++11

```
1  template <typename T, typename P>
2  bool any(T xs, P pred) {
3      for (auto const &x : xs) {
4          if (pred(x)) return true;
5      }
6      return false;
7  }
```

- Templates
- Bei jedem Funktionsaufruf werden die Konkreten Typen eingesetzt
- Quellcode mit eingesetzten Typen wird geprüft
- Eine Kopie der Funktion pro eingesetzten Typen
- Relativ schlechte, teilweise sehr lange Fehlermeldungen

C++: Concepts TS

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Concepts schon länger semantisch in der STL verankert
- Concepts TS (wahrscheinlich C++17) bringt sie als Sprachkonzept
- Spezifiziert einen Satz von nötigen Methoden, Typen, Feldern
- Spezifiziert eine Semantik/Axiome
- z. B. totale Ordnung mit `==`, `!=`, `<=`, `>=`, `<`, `>`
- Axiome werden nicht geprüft/definiert
- `float` lässt sich als `TotallyOrdered` übergeben
- Funktionsdefinition wird nicht geprüft
⇒ Einschränkungen leicht zu unspezifisch
- Motivation: Besser Fehlermeldungen

C++: Concepts TS

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /

Dynamisch

Typisierung

Explizite / Implizite

Typisierung

Starke / Schwache

Typisierung

Statische

Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

C++ with Concepts TS

```
1  template <typename It, typename T>
2  concept bool Iterator = requires (It it) {
3      {*it.begin()} -> T;
4      {*it.end()} -> T;
5  };
6
7  template <typename P, typename T>
8  concept bool Pred = requires (P p, T x) {
9      {p(x)} -> bool;
10 };
```

C++: Concepts TS

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics
Variant Types

C++ with Concepts TS

```
12 template <typename T, typename It, typename P>  
13   requires Iterator<It, T> && Pred<P, T>  
14   bool any(It xs, P p) {  
15       for (auto const &x : xs)  
16           if (p(x)) return true;  
17           return false;  
18   }
```


Go Interfaces

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Spezifiziert nur Methoden
- Selbst ein Typ, schränkt keine Typvariable ein
- Funktionsdefinition wird geprüft
- Nur Methoden des Interfaces dürfen aufgerufen werden
- Konkrete Funktion wird zur Laufzeit bestimmt
⇒ Dynamic Dispatch

Go Interfaces

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

Go

```
1  type Pred interface {  
2      Check(int) bool  
3  }  
4  
5  func any(xs []int, p Pred) bool {  
6      for x := range xs {  
7          if p.Check(x) { return true }  
8      }  
9      return false  
10 }
```

Java Interfaces

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Entspricht weitgehend Go Interfaces
- Implementierte Interfaces bei der Klassendefinition anzugeben
- Ähnlich: Swift/Objective-C protocols, C# interfaces

Java Interfaces

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

Java

```
1  interface Pred<T> {  
2      boolean check(T t);  
3  }  
4  
5  class Any {  
6      static <T> boolean any(Vector<T> xs, Pred<T> p) {  
7          for (T x: xs)  
8              if (p.check(x)) return true;  
9          return false;  
10     }  
11 }
```

Java Interfaces

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

Java

```
12 class IsOne implements Pred<Integer> {  
13     public boolean check(Integer i) {  
14         return i == 1;  
15     }  
16 }
```

Type Class

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Ähnlich zu Java Interfaces
- Definition für einen Typ erfolgt separat
- Eigene Typklassen können für fremde Typen definiert werden
- Sprachen: Haskell, Rust Traits

Type Class

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics
Variant Types

Rust

```
1 trait Pred<T>: FnMut (T) -> bool {}
2
3 impl<T, F> Pred<T> for F where F: FnMut (T) -> bool {}
4
5 fn any<T, I, P>(xs: I, mut p: P) -> bool
6 where I: IntoIterator<Item=T>, P: Pred<T>
7 {
8     for x in xs {
9         if p(x) { return true; }
10    }
11    return false;
12 }
```

Gliederung

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

1 Typsysteme

- Typen
- Statisch / Dynamisch Typisierung
- Explizite / Implizite Typisierung
- Starke / Schwache Typisierung

2 Statische Typisierung

3 Fallbeispiele

- Generics
- Variant Types

Dynamisch Typisiert: JavaScript

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

JavaScript

```
1  function div(x, y) {  
2      if (y == 0) return null;  
3      return x/y;  
4  }
```

C++

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

C++

```
1  std::unique_ptr<float> div(float x, float y) {  
2      if (y == 0) { return nullptr; }  
3  
4      return std::make_unique<float>(x/y);  
5  }
```

Variant Types

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

- Datentyp mit mehreren Varianten
- Einfachster Fall ähnlich einem Enum
- Kann pro Variante andere Daten enthalten

Haskell

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

Haskell

```
1 data Maybe a = Just a | Nothing  
2 data Shape = Circle Float | Rect Float Float
```

Rust

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics
Variant Types

Rust

```
1  enum Option<T> {  
2      Some(T),  
3      None  
4  }  
5  
6  enum Shape {  
7      Circle { r: f32 },  
8      Rect { w: f32, h: f32 }  
9  }
```

C++

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

C++17

```
1  std::optional<float> div(float x, float y) {  
2      if (y == 0) { return std::nullopt; }  
3  
4      return std::make_optional<float>(x/y);  
5  }
```

Rust

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

Generics

Variant Types

Rust

```
1 fn div(x: f32, y: f32) -> Option<f32> {  
2     if y == 0 { return None; }  
3     Some(x/y)  
4 }
```

Rust

Static Typing
for Dynamic
People

Florob

Typsysteme

Typen

Statisch /
Dynamisch
Typisierung

Explizite / Implizite
Typisierung

Starke / Schwache
Typisierung

Statische
Typisierung

Fallbeispiele

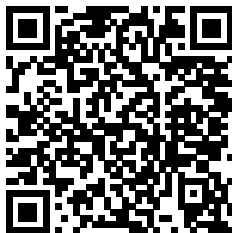
Generics

Variant Types

Rust

```
1 fn area(s: Shape) -> f32 {  
2     match s {  
3         Shape::Circle { r } => 2*pi*r,  
4         Shape::Rect {w, h } => w * h  
5     }  
6 }
```


Danke für die Aufmerksamkeit.
Fragen?



http:

//babelmonkeys.de/~florob/talks/OC-2016-03-31-Typsysteme.pdf