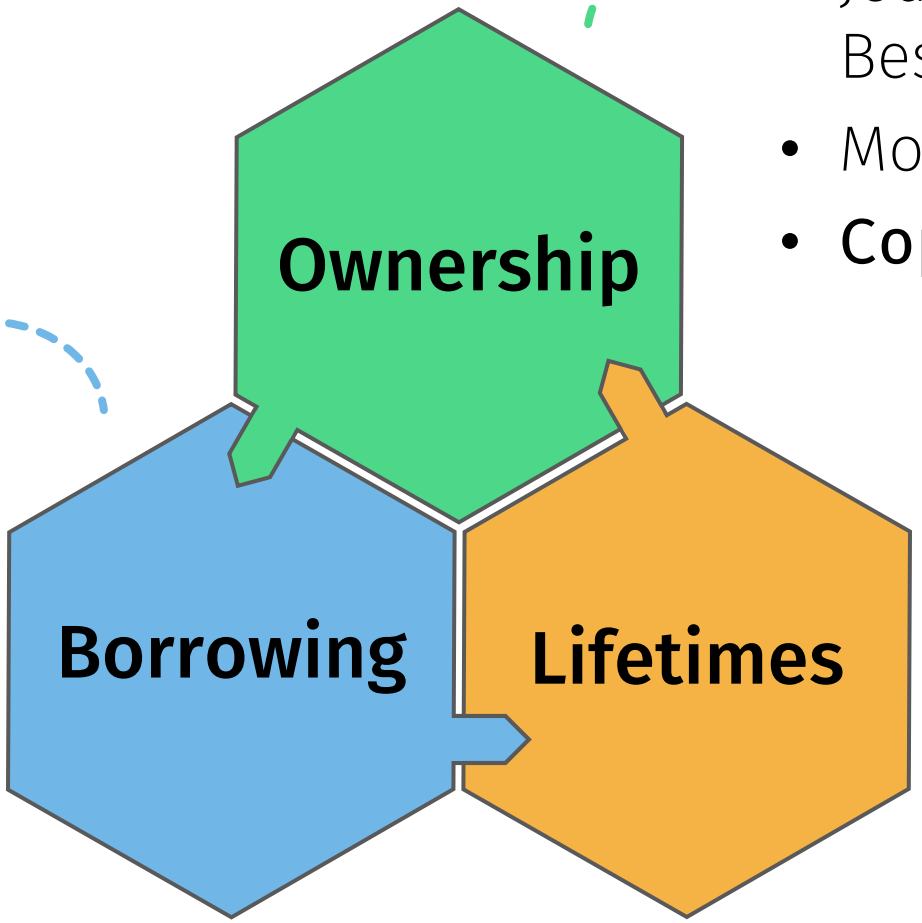
17.

Lifetimes

Das Ownership-System

- Jede Variable hat *einen* Besitzer
- Move Semantics
- **Copy**-Types



- Nutzung ohne Ownership
- Immutable/Mutable
- Aliasing *xor* Mutability

???

Was wir schon wissen

- Referenz zeigt immer auf gültiges Objekt
  - Kein „*use after free*“
  - Scope von Referenz kleiner als Scope von referenziertem Wert!
- Scope von Variablen wie Stack
  - LIFO Prinzip

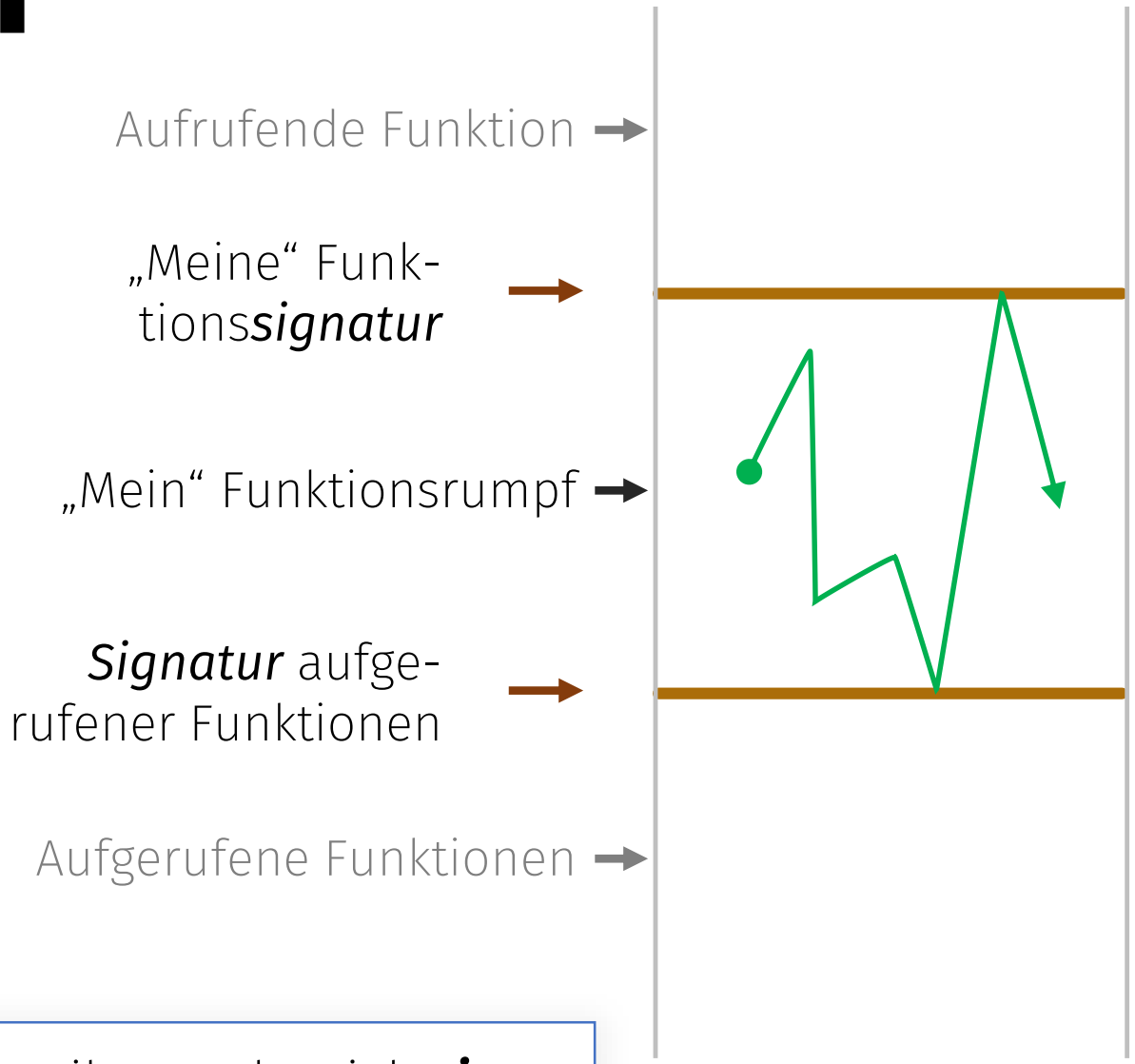
```
// x does not live long enough!
fn return_stack() -> &u64 {
    let x = 0u64;
    &x
}

// x does not live long enough!
let r: &u64 = {
    let x = 0u64;
    &x
};
```

```
error: `x` does not live long enough

  […]

  = note: values in a scope are dropped in the
opposite order they are created
```

```
fn foo() {
    let r: &u64;
    let x = 0u64;
    r = &x;
}
```

Compiler Analysen

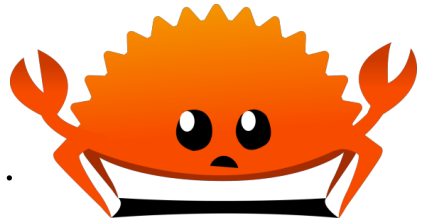
- Compiler stellt sicher:
  - Keine Referenz lebt länger als der referenzierte Wert
  - Aliasing ***xor*** Mutability
- Analyse von `fn`-Rümpfen
- Nutzt zur Analyse nur:
  - Eigene Signatur
  - Eigenen Funktionsrumpf
  - Signatur von aufgerufenen Funktionen



Compiler guckt nicht ***in*** aufgerufene Funktionen!

Quiz

Kommt auf den Funktionsrumpf an…



```rust
fn foo(i: &u8) -> &u8 { … }

// Is this safe?
let r: &u8 = {
    let x = 3;
    foo(&x)
};

// Is this safe?
let mut y = 3;
let r = foo(&y);
x += 1;
```

Wäre ***un***sicher:

```rust
fn foo(i: &u8) -> &u8 {
    i
}
```

Wäre sicher:

```rust
static STATIC_NUM: u8 = 27;

fn foo(i: &u8) -> &u8 {
    println!("{}", i);
    &STATIC_NUM
}
```

Quiz

```rust
fn bar(i: &u8, j: &u8) -> &u8 { … }

// Is this safe?
let a = 100;
let r: &u8 = {
    let b = 200;
    bar(&a, &b)
};
```

Wäre ***un***sicher:

```rust
fn bar(i: &u8, j: &u8) -> &u8 {
    j
}
```

Wäre sicher:

```rust
fn bar(i: &u8, j: &u8) -> &u8 {
    i
}
```

- Analyse ohne Rumpf unmöglich
  - Immer konservativ sein und annehmen, es ist unsicher?

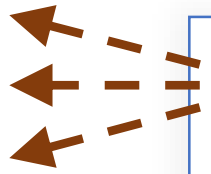
Nötige Informationen in Signatur annotieren!

Lifetime Annotationen

- Für unser Problem:
  - Annotieren, wie lange Wert hinter zurückgegebener Referenz lebt

```
fn bar(i: &u8, j: &u8) -> &u8 { … }
```

- Wie lange könnte der Wert hinter zurückgegebener Referenz leben?
  - So lange wie der Wert hinter `i`
  - So lange wie der Wert hinter `j`
  - Für immer (Wert lebt in `.data`)
- Lifetimes kann man sich nicht aus den Fingern saugen!



Das waren alle Möglichkeiten!

Von Referenz-Argumenten oder `.data` ausgeliehen!

Lifetime Annotationen

```
fn bar<T>
```

- „Für irgendeinen Typen **T** …“

```
fn bar<'a>
```

- „Für irgendeine Lifetime **a** …“

```
&‘a T
```

- „Eine Referenz auf ein **T**, welches (mindestens) für die Lifetime **a** lebt “

```
fn bar<'a>(i: &'a u8, j: &u8)
    -> &'a u8
{
    i
}
```

```
fn bar<'a>(i: &u8, j: &'a u8)
    -> &'a u8
{
    j
}
```

```
fn bar(i: &u8, j: &u8)
    -> &'static u8
{
    &STATIC_U8
}
```

Beispiel

```
fn without_prefix(s: &str, prefix: &str)
    -> &str
{
    if s.starts_with(prefix) {
        &s[prefix.len()..]
    } else {
        s
    }
}

// “cdef”
without_prefix("abcdef", "ab");
// “ann-kristin”
without_prefix("ann-kristin", "anna");
```

```
error[E0106]: missing lifetime specifier

  […]

  = help: this function's return type
contains a borrowed value, but the
signature does not say whether it is
borrowed from `s` or `prefix`
```

```
fn without_prefix<'a>(
    s: &'a str,
    prefix: &str
) -> &'a str {
    …
}
```

Lifetimes sind immer da!

- Jede Referenz hat immer eine Lifetime mit sich assoziiert
  - Compiler besitzt Beschreibung des Scopes
  - Wir können Scope nur benennen, nicht definieren!
    - Wir können uns den Scope/die Lifetime nicht aussuchen!
    - `'static` teilweise speziell, trotzdem nur ein Name
- Als lokale Variable:
  - Benennung nicht nötig (Typinferenz)
  - Benennung meist auch unmöglich
    - Ausnahme: `'static`

```
let x = 3;
{
    let y = 4;
    // We can‘t (and don‘t need
    // to) specify the lifetime!
    let r: &u8 = &y;
}
```

Lifetimes von Funktionsargument

- Lifetime kann mit jedem Aufruf variieren
  - Wie Generics: „Für eine beliebige Lifetime `'a` …“

```
fn print(s: &str)
```

=

```
fn print<'a>(s: &'a str)
```

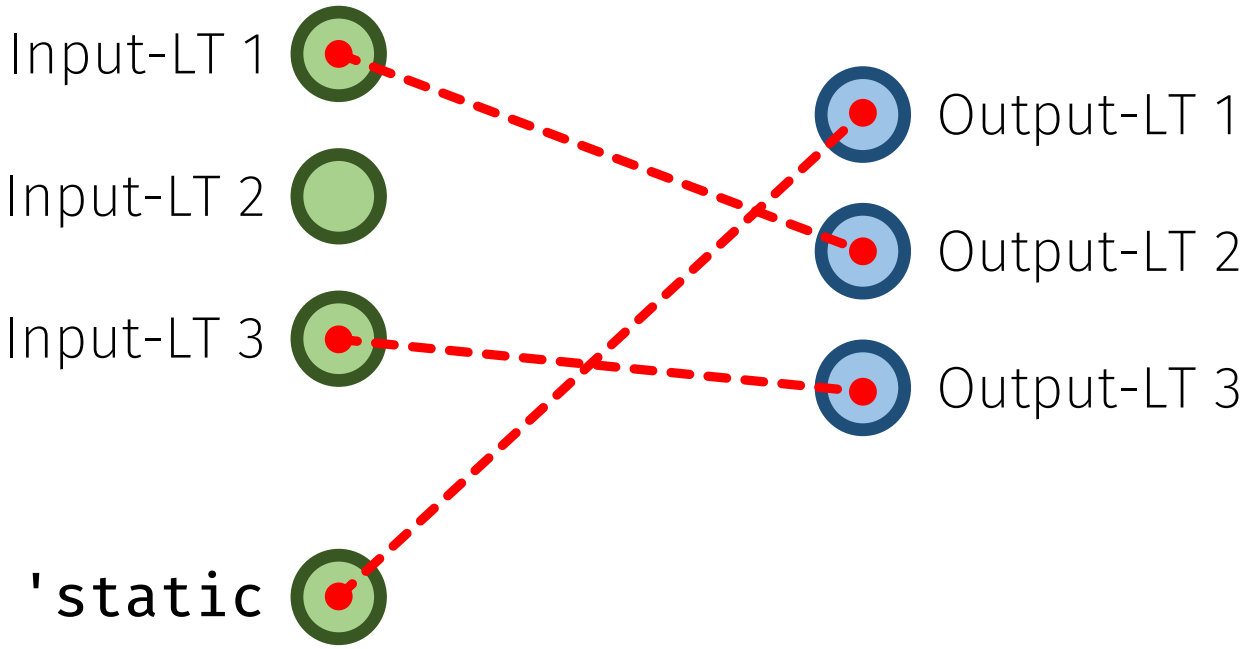
- Wenn Lifetime nicht benannt: Anonyme Lifetime
  - Funktioniert genau so wie benannte Lifetime
  - Lifetime nur zum Zuordnen und Bounden benennen

Namensgebung

- Oft nur `'a`, `'b`, …
- Sonst klein geschrieben und ein Wort (`'input`)

Das Lifetime-Spiel

- Gegeben: *Input-Lifetimes*
- Müssen zugewiesen werden: *Output-Lifetimes*
  - Entweder von *Input-Lifetime*
  - Oder `'static`
- Einfache Fälle werden von „*Lifetime Elision*“ abgedeckt



Lifetime Elision

Regeln zum Weglassen von Lifetime-Parametern:

1. Jede weggelassene Lifetime der Argumente wird ein eigener Lifetime-Parameter
2. Wenn es nur eine Input-Lifetime gibt, wird diese allen weggelassenen Output-Lifetimes zugewiesen
3. Wenn es mehrere Input-Lifetimes gibt, aber eine davon ist die von „`&self`“ oder „`&mut self`“, wird diese allen Output-Lifetimes zugewiesen

```
fn f(a: &u8)
    -> &u8
```

Regel 2

```
fn f<'a>(a: &'a u8)
    -> &'a u8
```

```
// impl Option<T>:
fn ref_or_print(&self, e: &str)
    -> &T
```

Regel 3

```
// impl Option<T>:
fn ref_or_print<'a>(&'a self, e: &str)
    -> &'a T
```

Fehler bei Lifetime-Elision

```
enum Redlight { Green, Yellow, Red }

impl Redlight {
    fn as_str(&self) -> &str {
        use Redlight::*;

        match *self {
            Green => "green",
            Yellow => "yellow",
            Red => "red",
        }
    }
}
```

```
// error: does not live long enough
let s = {
    let rl = Redlight::Red;
    rl.as_str()
};
```

- Rückgabetyp manuell Lifetime `'static` zuweisen, damit Code funktioniert!

Lifetime von Referenzen automatisch runtergestuft („Typumwandlung“)

Lifetime mehrmals „nutzen“

```
// error: missing lifetime specifier
fn choose(x: &str, y: &str) -> &str {
    if random() {
        x
    } else {
        y
    }
}
```

```
// x and y have “the same” lifetime
fn choose<'a>(x: &'a str, y: &'a str)
    -> &'a str
{ … }

// works (lifetime downgrade):
let s = "hi".to_string();
choose(&s, "bye");
```

- Ein Lifetime-Parameter in mehreren Referenzen:
  - Beide haben „gleiche“ Lifetime
- Unterschiedliche Lifetimes durch automatische Umwandlung möglich (die längere wird runtergestuft)

Referenzen in anderen Typen

```
struct RefWrapper {
    r: &u8,
}

// There is no output lifetime that
// we need to assign…
fn foo(x: &u8, y: &u8) -> RefWrapper {
    RefWrapper { r: x }
}

// uhm… is that safe now?
let r: RefWrapper = {
    let x = 3;
    foo(&x, &x)
};
```

Funktioniert nicht

- Lifetimes verstecken unmöglich
- Typen bekommen Lifetime-Parameter

```
struct RefWrapper<'a> {
    r: &'a u8,
}

fn foo<'a>(x: &'a u8, y: &u8)
    -> RefWrapper<'a>
{
    RefWrapper { r: x }
}
```

Referenzen in anderen Typen

```
struct RefWrapper<'a> {
    r: &'a u8,
}
```

- LT-Parameter drückt aus, dass etwas geborrowed ist
  - Es gelten Einschränkungen für Typen, die etwas referenzieren
- Referenzen: auch Typen mit LT-Parameter
  - Nur andere Syntax
  - Bisher gelernte Regeln gelten auch für eigene Typen mit LT-Parameter

```
fn wrap(x: &u8) -> RefWrapper {
    RefWrapper { r: x }
}
```

Lifetime Elision

Methoden für RefWrapper

```rust
struct RefWrapper<'a> {
    r: &'a u8,
}

impl<'a> RefWrapper<'a> {
    fn cloned(&self) -> u8 {
        *self.r
    }

    // Lifetime-Elision:
    // out lifetime = self-lifetime
    fn get(&self) -> &u8 {
        self.r
    }
}
```

```rust
// error: does not live long enough!
let num = 3;
let r = {
    let w = RefWrapper { r: &num };
    w.get()
};
```

```rust
impl<'a> RefWrapper<'a> {
    fn get(&self) -> &'a u8 {
        self.r
    }
}
```

Nicht optimal

Besser

Beispiel: Digits Iterator

```rust
struct Digits {
    s: String,
    byte_pos: usize,
}

impl Digits {
    fn new(s: &str) -> Self {
        Digits {
            s: s.to_string(),
            byte_pos: 0,
        }
    }
}
```

- *Ziel:*
  - Iterator über Zeichenkette
  - Ignoriert alle nicht-Ziffer-Zeichen
  - Equivalent zu:

```rust
s.chars()
    .filter(|c|  c.is_digit(10))
```

Unnötiger Klon!
Würde auch mit Referenz funktionieren!

Beispiel: Digits Iterator

```
struct Digits<'a> {
    s: &'a str,
}

impl<'a> Digits<'a> {
    fn new(s: &'a str) -> Self {
        Digits {
            s: s,
        }
    }
}

fn main() {
    for d in Digits::new("h4xx0r") {
        println!("{}", d);
    }
}
```

```
impl<'a> Iterator for Digits<'a> {
    type Item = char;
    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item> {
        loop {
            let c = match self.s.chars().nth(0) {
                Some(c) => c,
                None => return None,
            };
            let offset = c.len_utf8();
            self.s = &self.s[offset..];

            if c.is_digit(10) {
                return Some(c);
            }
        }
    }
}
```

Beispiel: Digits Iterator

```
struct Digits<'a> {
    chars: Chars<'a>,
}

impl<'a> Digits<'a> {
    fn new(s: &'a str) -> Self {
        Digits {
            chars: s.chars(),
        }
    }
}

fn main() {
    for d in Digits::new("h4xx0r") {
        println!("{}", d);
    }
}
```

```
impl<'a> Iterator for Digits<'a> {
    type Item = char;
    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item> {
        self.chars.find(|c| c.is_digit(10))
    }
}
```

- Nicht mehr manuell **`&str`** verwalten
- Fertigen **`chars()`** Iterator benutzen
  - **`std::str::Chars`**
- LT-Parameter immer außen sichtbar

Lifetimes und generische Typen

```
struct RefWrapper<'a, T> {
    r: &'a T,
}
```

Funktioniert so nicht!

```
struct RefWrapper<'a, T: 'a> {
    r: &'a T,
}
```

```
impl<'a, T: Clone> RefWrapper<'a, T> {
    fn cloned(&self) -> T {
        self.r.clone()
    }
}
```

- Erst Lifetime-, dann Typparameter
- Generische Typen können selber Referenzen enthalten
  - `&'a T` ist nur gültig, wenn `T` mindestens so lange wie `'a` lebt

Lifetime Bounds

Nur in seltenen Fällen nötig!

```
fn foo<'a, 'b: 'a>(…)
```

„`'b` ist mindestens `'a`“

➔ `'b` lebt mindestens so lange wie `'a`

➔ `'b` *outlives* `'a`

```
fn foo<T: 'static>(…) { … }
```

- Heißt: Variable vom Typ **T** ist für immer gültig

```
fn foo<'a, T: 'a>(…)
```

„**T** *outlives* `'a`“

- Alle Referenzen in **T** überleben `'a`
- Typen, die den Bound erfüllen:
  - `u32`
  - `&'b U` wenn `U: 'a` und `'b: 'a`
  - `RefWrapper<'b, u32>` wenn `'b: 'a`
  - `RefWrapper<'b, U>` wenn `U: 'a` und `'b: 'a`

Beispiel: Vec-Iterator

```rust
impl<'a, T> Iterator for Iter<'a, T> {
    // this associated type is using 'a already
    type Item = &'a T;
    fn next(&mut self) -> Option<Self::Item> {
        if self.slice.is_empty() {
            None
        } else {
            let out = &self.slice[0];
            self.slice = &self.slice[1..];
            Some(out)
        }
    }
}
```

```rust
// The slice saves a pointer
// to the first element and
// the length. By overwriting
// it with the subslice [1..]
// each step, we can iterate.
struct Iter<'a, T: 'a> {
    slice: &'a [T],
}
```

Beispiel: Vec-Iterator

```rust
/// Just a wrapper type for testing, because we can't
/// implement  `IntoIterator` for the real `Vec`.
struct MyVec<T>(Vec<T>);

// We implement it for a reference to MyVec!
impl<'a, T: 'a> IntoIterator for &'a MyVec<T> {
    // We use 'a for both associated types!
    type Item = &'a T;
    type IntoIter = Iter<'a, T>;
    fn into_iter(self) -> Self::IntoIter {
        Iter { slice: &self.0 }
    }
}
```

```rust
fn main() {
    let v = MyVec(vec![1, 2, 3]);
    for e in &v {
        println!("{}", e);
    }
}
```