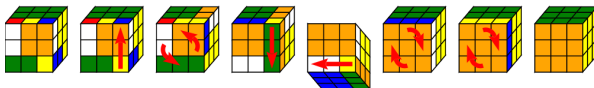


Lenses und Zauberwürfel



Tim Baumann

Curry Club Augsburg
13. August 2015



Welche Bibliothek?



Abbildung: Picking a Lens Library (Cartesian Closed Comic)



Welche Bibliothek?



Abbildung: Picking a Lens Library (Cartesian Closed Comic)

Die von Edward Kmett natürlich!



Welche Bibliothek?



Abbildung: Picking a Lens Library (Cartesian Closed Comic)

Die von Edward Kmett natürlich!

\$ cabal update



Welche Bibliothek?



Abbildung: Picking a Lens Library (Cartesian Closed Comic)

Die von Edward Kmett natürlich!

\$ cabal update

\$ cabal install lens



Welche Bibliothek?



Abbildung: Picking a Lens Library (Cartesian Closed Comic)

Die von Edward Kmett natürlich!

`$ cabal update`

`$ cabal install lens`

`Building profunctors...`



Welche Bibliothek?



Abbildung: Picking a Lens Library (Cartesian Closed Comic)

Die von Edward Kmett natürlich!

`$ cabal update`

`$ cabal install lens`

`Building profunctors...`

`Configuring semigroupoids...`



Welche Bibliothek?



Abbildung: Picking a Lens Library (Cartesian Closed Comic)

Die von Edward Kmett natürlich!

`$ cabal update`

`$ cabal install lens`

`Building profunctors...`

`Configuring semigroupoids...`

`Downloading kan-extensions...`



Was sind Lenses?

Eine Lens beschreibt eine (feste) Position in einer Datenstruktur, an der ein Wert eines bestimmten Typs gespeichert ist. Mit einer Lens ist es möglich, diesen Wert auszulesen und zu überschreiben.



Was sind Lenses?

Eine Lens beschreibt eine (feste) Position in einer Datenstruktur, an der ein Wert eines bestimmten Typs gespeichert ist. Mit einer Lens ist es möglich, diesen Wert auszulesen und zu überschreiben.

```
data Address = Address
  { _streetLine :: String
  , _townLine  :: String
  }
```

```
data Person = Person
  { _firstName :: String
  , _lastName  :: String
  , _address   :: Address
  }
```



Was sind Lenses?

Eine Lens beschreibt eine (feste) Position in einer Datenstruktur, an der ein Wert eines bestimmten Typs gespeichert ist. Mit einer Lens ist es möglich, diesen Wert auszulesen und zu überschreiben.

```
data Address = Address
  { _streetLine :: String
  , _townLine  :: String
  }
```

```
data Lens† s a = Lens†
  { getter :: s -> a
  , setter :: a -> s -> s
  }
```

```
data Person = Person
  { _firstName :: String
  , _lastName  :: String
  , _address   :: Address
  }
```



Was sind Lenses?

Eine Lens beschreibt eine (feste) Position in einer Datenstruktur, an der ein Wert eines bestimmten Typs gespeichert ist. Mit einer Lens ist es möglich, diesen Wert auszulesen und zu überschreiben.

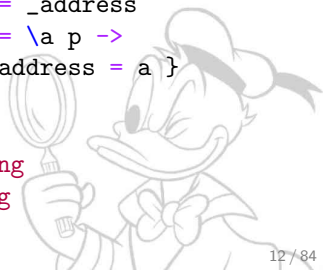
```
data Address = Address
  { _streetLine :: String
  , _townLine  :: String
  }
```

```
data Person = Person
  { _firstName :: String
  , _lastName  :: String
  , _address   :: Address
  }
```

```
streetLine, townLine :: Lens† Address String
firstName,  lastName :: Lens† Person String
```

```
data Lens† s a = Lens†
  { getter :: s -> a
  , setter :: a -> s -> s
  }
```

```
address :: Lens† Person Address
address = Lens†
  { getter = _address
  , setter = \a p ->
      p { _address = a }
  }
```



Was sind Lenses?

Eine Lens beschreibt eine (feste) Position in einer Datenstruktur, an der ein Wert eines bestimmten Typs gespeichert ist. Mit einer Lens ist es möglich, diesen Wert auszulesen und zu überschreiben.

```
data Address = Address
  { _streetLine :: String
  , _townLine  :: String
  }
```

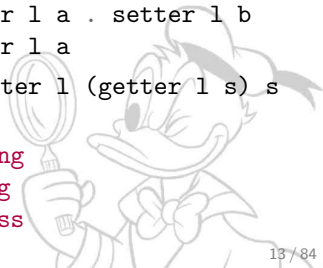
```
data Person = Person
  { _firstName :: String
  , _lastName  :: String
  , _address   :: Address
  }
```

```
streetLine, townLine :: Lens† Address String
firstName,  lastName :: Lens† Person String
address    :: Lens† Person Address
```

```
data Lens† s a = Lens†
  { getter :: s -> a
  , setter :: a -> s -> s
  }
```

Lens-Gesetze:

- ① $a = \text{getter } l (\text{setter } l \ a \ s)$
- ② $\text{setter } l \ a \ . \ \text{setter } l \ b = \text{setter } l \ a$
- ③ $s = \text{setter } l (\text{getter } l \ s) \ s$



Komponieren von Lenses

```
compose :: Lens† s a -> Lens† a b -> Lens† s b
```

```
personTownLine :: Lens† Person String  
personTownLine = compose address townLine
```



Komponieren von Lenses

```
compose :: Lens† s a -> Lens† a b -> Lens† s b
compose l m = Lens†
  { getter = getter m . getter l
  , setter = \b s -> setter l (setter m b (getter l s)) s
  }

personTownLine :: Lens† Person String
personTownLine = compose address townLine
```



Komponieren von Lenses

```
compose :: Lens† s a -> Lens† a b -> Lens† s b
compose l m = Lens†
  { getter = getter m . getter l
  , setter = \b s -> setter l (setter m b (getter l s)) s
  }
```

```
personTownLine :: Lens† Person String
personTownLine = compose address townLine
```

Folgende Hilfsfunktion ist oft nützlich:

```
modify :: Lens† s a -> (a -> a) -> s -> s
modify l f s = setter l (f (getter l s)) s
```

Zum Beispiel, um die Stadt in der Adresse in Versalien zu schreiben:

```
person' = modify personTownLine (map toUpper) person
```



Alles wunderbar? Leider nein

Problem Nr. 1: Bei der Auswertung

```
modify (compose l m) f s  
= setter (compose l m) (f (getter (compose l m) s)) s  
= setter l (setter m (f (getter m (getter l s)))) (getter l s)) s
```

wird **getter** l s zweimal berechnet. Besser wäre

```
modify (compose l m) f s  
= let a = getter l s in setter l (setter m (f (getter m a)) a) s
```



Alles wunderbar? Leider nein

Problem Nr. 1: Bei der Auswertung

```
modify (compose l m) f s
= setter (compose l m) (f (getter (compose l m) s)) s
= setter l (setter m (f (getter m (getter l s))) (getter l s)) s
```

wird `getter l s` zweimal berechnet. Besser wäre

```
modify (compose l m) f s
= let a = getter l s in setter l (setter m (f (getter m a)) a) s
```

Problem Nr. 2: In `modify` wird die Datenstruktur zweimal durchlaufen: Einmal, um den gesuchten Wert zu extrahieren, dann nochmal, um den neuen Wert abzulegen. Das kann kostspielig sein, z. B. bei der `Lens` rechts.

```
data NonEmpty a =
  Cons a (NonEmpty a) | Last a
last :: Lens† (NonEmpty a) a
last = Lens† getter setter
where
  getter (Cons _ xs) = getter xs
  getter (Last x) = x
  setter a (Cons x xs) =
    Cons x (setter a xs)
  setter a (Last _) = Last a
```

Alles wunderbar? Leider nein

Idee: Erweitere die Definition einer Lens um die `modify`-Funktion.

```
data Lens† s a = Lens†  
  { getter  :: s -> a  
  , setter  :: a -> s -> s  
  , modify  :: (a -> a) -> s -> s  
  }
```



Alles wunderbar? Leider nein `{-# LANGUAGE Rank2Types #-}`

Idee: Erweitere die Definition einer Lens um die `modify`-Funktion.

Wir verallgemeinern auch gleich `modify` auf effektvolle Updatefunktionen, d. h. solche, die beispielsweise `IO` verwenden:

```
data Lens‡ s a = Lens‡
{ getter  :: s -> a
, setter  :: a -> s -> s
, modifyF :: ∀ f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
}
```



Alles wunderbar? Leider nein `{-# LANGUAGE Rank2Types #-}`

Idee: Erweitere die Definition einer Lens um die `modify`-Funktion.

Wir verallgemeinern auch gleich `modify` auf effektvolle Updatefunktionen, d. h. solche, die beispielsweise `IO` verwenden:

```
data Lens† s a = Lens†
  { getter  :: s -> a
  , setter  :: a -> s -> s
  , modifyF :: ∀ f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
  }
```

Bahnbrechende Einsicht von Twan van Laarhoven:

`modifyF` umfasst `getter` und `setter`!

Alles wunderbar? Leider nein `{-# LANGUAGE Rank2Types #-}`

Idee: Erweitere die Definition einer Lens um die `modify`-Funktion.

Wir verallgemeinern auch gleich `modify` auf effektvolle Updatefunktionen, d. h. solche, die beispielsweise `IO` verwenden:

```
data Lens† s a = Lens†
  { {-getter  :: s -> a
    , setter  :: a -> s -> s
    , -} modifyF :: ∀ f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
  }
```

Bahnbrechende Einsicht von Twan van Laarhoven:

`modifyF` umfasst `getter` und `setter`!

modifyF umfasst getter und setter

```
type Lens' s a =  $\forall$  f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
```



modifyF umfasst 1. getter und setter

```
type Lens' s a =  $\forall$  f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
```

```
① (.^ ) :: s -> Lens' s a -> a
```



modifyF umfasst 1. getter und 2. setter

```
type Lens' s a =  $\forall$  f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
```

① $(.^)$:: s -> Lens' s a -> a

② $(.^~)$:: Lens' s a -> a -> s -> s



modifyF umfasst 1. getter und 2. setter

```
type Lens' s a =  $\forall$  f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
```

① $(.^) :: s \rightarrow \text{Lens}' s a \rightarrow a$

② $(.\sim) :: \text{Lens}' s a \rightarrow a \rightarrow s \rightarrow s$

```
newtype Id a = Id { getId :: a }  
instance Functor Id where  
    fmap f (Id a) = Id (f a)
```



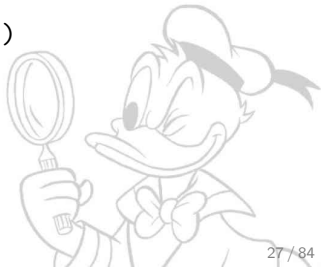
modifyF umfasst 1. getter und 2. setter

```
type Lens' s a =  $\forall$  f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
```

① $(\cdot^{\sim}) :: s \rightarrow \text{Lens}' s a \rightarrow a$

② $(\cdot^{\sim}) :: \text{Lens}' s a \rightarrow a \rightarrow s \rightarrow s$
 $(\cdot^{\sim}) l a s = \text{getId } (l (\backslash_ \rightarrow \text{Id } a) s)$

```
newtype Id a = Id { getId :: a }  
instance Functor Id where  
    fmap f (Id a) = Id (f a)
```



modifyF umfasst 1. getter und 2. setter

```
type Lens' s a =  $\forall$  f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
```

① $(\dot{\sim}) :: s \rightarrow \text{Lens}' s a \rightarrow a$

```
newtype Const a b = Const { getConst :: a }  
instance Functor (Const a) where  
  fmap _ (Const b) = Const b
```

② $(\dot{\sim}) :: \text{Lens}' s a \rightarrow a \rightarrow s \rightarrow s$
 $(\dot{\sim}) l a s = \text{getId } (l (\backslash_ \rightarrow \text{Id } a) s)$

```
newtype Id a = Id { getId :: a }  
instance Functor Id where  
  fmap f (Id a) = Id (f a)
```



modifyF umfasst 1. getter und 2. setter

```
type Lens' s a =  $\forall$  f. Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
```

① $(.^) :: s \rightarrow \text{Lens}' s a \rightarrow a$

```
s .^ l = getConst (l Const s)
```

```
newtype Const a b = Const { getConst :: a }
```

```
instance Functor (Const a) where
```

```
  fmap _ (Const b) = Const b
```

② $(.\sim) :: \text{Lens}' s a \rightarrow a \rightarrow s \rightarrow s$

```
(.\sim) l a s = getId (l (\_ -> Id a) s)
```

```
newtype Id a = Id { getId :: a }
```

```
instance Functor Id where
```

```
  fmap f (Id a) = Id (f a)
```



Komponieren von `Lens`'es

Gegeben: `l :: Lens' s a`

und `m :: Lens' a b`

Gesucht: `? :: Lens' s b`



Komponieren von **Lens**'es

Gegeben: $l :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (a \rightarrow f a) \rightarrow s \rightarrow f s$
und $m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow a \rightarrow f a$
Gesucht: $? :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow s \rightarrow f s$



Komponieren von **Lens**'es

Gegeben: $l :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (a \rightarrow f a) \rightarrow (s \rightarrow f s)$
und $m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (a \rightarrow f a)$
Gesucht: $? :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (s \rightarrow f s)$



Komponieren von **Lens**'es

Gegeben: $l :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (a \rightarrow f a) \rightarrow (s \rightarrow f s)$
und $m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (a \rightarrow f a)$
Gesucht: $l.m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (s \rightarrow f s)$



Komponieren von **Lens**'es

Gegeben: $l :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (a \rightarrow f a) \rightarrow (s \rightarrow f s)$
und $m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (a \rightarrow f a)$
Gesucht: $l.m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (s \rightarrow f s)$

Dabei ist $.$ die stinknormale Funktionsverkettung aus der Prelude!



Komponieren von **Lens**'es

Gegeben: $l :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (a \rightarrow f a) \rightarrow (s \rightarrow f s)$
und $m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (a \rightarrow f a)$
Gesucht: $l.m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (s \rightarrow f s)$

Dabei ist `.` die stinknormale Funktionsverkettung aus der Prelude!

Im Beispiel vom Anfang:

```
address :: Lens' Person Address  
address f (Person first last addr) =  
  fmap (Person first last) (f addr)
```



Komponieren von `Lens`'es

Gegeben: $l :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (a \rightarrow f a) \rightarrow (s \rightarrow f s)$
und $m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (a \rightarrow f a)$
Gesucht: $l.m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (s \rightarrow f s)$

Dabei ist `.` die stinknormale Funktionsverkettung aus der Prelude!

Im Beispiel vom Anfang:

```
address :: Lens' Person Address
address f (Person first last addr) =
  fmap (Person first last) (f addr)
```

```
streetLine, townLine :: Lens' Address String
firstName, lastName :: Lens' Person String
```



Komponieren von `Lens`'es

Gegeben: $l :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (a \rightarrow f a) \rightarrow (s \rightarrow f s)$
und $m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (a \rightarrow f a)$
Gesucht: $l.m :: \forall f. \text{Functor } f \Rightarrow (b \rightarrow f b) \rightarrow (s \rightarrow f s)$

Dabei ist `.` die stinknormale Funktionsverkettung aus der Prelude!

Im Beispiel vom Anfang:

```
address :: Lens' Person Address  
address f (Person first last addr) =  
    fmap (Person first last) (f addr)
```

```
streetLine, townLine :: Lens' Address String  
firstName, lastName :: Lens' Person String
```

Dann haben wir `address.townLine :: Lens' Person String`



Was ist ein Traversal?

```
class (Functor t, Foldable t) => Traversable t where  
  traverse :: Applicative f => (a -> f b) -> t a -> f (t b)
```



Was ist ein Traversal?

```
class (Functor t, Foldable t) => Traversable t where  
  traverse :: Applicative f => (a -> f b) -> t a -> f (t b)
```

Ein **Traversal** `s a` ermöglicht das Durchlaufen und Abändern von mehreren Werten vom Typ `a` in einem vom Typ `s` mit applik. Effekten.



Was ist ein Traversal?

```
class (Functor t, Foldable t) => Traversable t where  
  traverse :: Applicative f => (a -> f b) -> t a -> f (t b)
```

Ein `Traversable` `s a` ermöglicht das Durchlaufen und Abändern von mehreren Werten vom Typ `a` in einem vom Typ `s` mit applik. Effekten.

```
type Traversal' s a = forall f.  
  Applicative f => (a -> f a) -> s -> f s  
  
traverse :: Traversable t => Traversal' (t a) a
```



Was ist ein Traversal?

```
class (Functor t, Foldable t) => Traversable t where
  traverse :: Applicative f => (a -> f b) -> t a -> f (t b)
```

Ein `Traversal' s a` ermöglicht das Durchlaufen und Abändern von mehreren Werten vom Typ `a` in einem vom Typ `s` mit applik. Effekten.

```
type Traversal' s a = forall f.
  Applicative f => (a -> f a) -> s -> f s
```

```
traverse :: Traversable t => Traversal' (t a) a
```

```
evenIx :: Traversal' [a] a
```

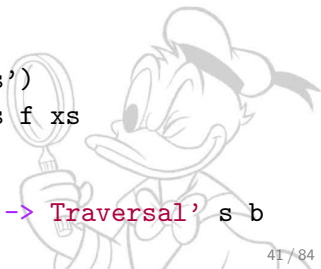
```
evenIx f [] = pure []
```

```
evenIx f [x] = (:[]) <$> f x
```

```
evenIx f (x:y:xs) = (\x' xs' -> x':y:xs')
                   <$> f x <*> evenIx f xs
```

Traversals lassen sich wie Lenses verknüpfen:

```
(.) :: Traversal' s a -> Traversal' a b -> Traversal' s b
```

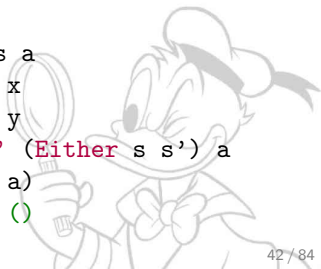


Weitere optische Gerätschaften aus `lens`

Lens

`Lens` ein `s` besteht aus einem `a` und anderen Daten

```
lens :: (s -> a) -> (s -> a -> s) -> Lens' s a
_1 :: Lens' (x,y) x      _1 :: Lens' (x,y,z) x
_2 :: Lens' (x,y) y      _2 :: Lens' (x,y,z) y
choosing :: Lens' s a -> Lens' s' a -> Lens' (Either s s') a
inside :: Lens' s a -> Lens' (e -> s) (e -> a)
devoid :: Lens' Void a    united :: Lens' a ()
```



Weitere optische Gerätschaften aus `lens`

Traversal

Lens

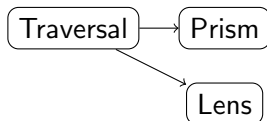
Traversal ein `s` besteht aus `a`'s und anderen Daten

Lens ein `s` besteht aus einem `a` und anderen Daten

```
traverse :: Traversable t => Traversal' (t a) a
beside :: Traversal' s a -> Traversal s' a b
        -> Traversal' (s,s') a
taking :: Int -> Traversal' s a -> Traversal' s a
```



Weitere optische Gerätschaften aus `lens`

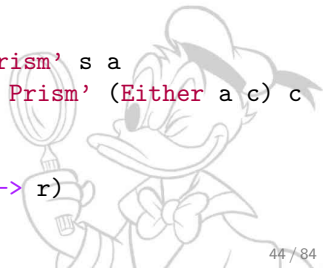


`Traversal` ein `s` besteht aus `a`'s und anderen Daten

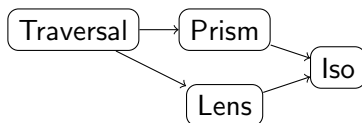
`Lens` ein `s` besteht aus einem `a` und anderen Daten

`Prism` ein `s` ist ein `a` oder etwas anderes

```
prism :: (a -> s) -> (s -> Either s a) -> Prism' s a
_Left :: Prism' (Either a c) a    _Right :: Prism' (Either a c) c
_Just :: Prism' (Maybe a) a
_Void :: Prism' s Void
outside :: Prism' s a -> Lens' (s -> r) (a -> r)
```



Weitere optische Gerätschaften aus `lens`



`Traversal` ein `s` besteht aus `a`'s und anderen Daten

`Lens` ein `s` besteht aus einem `a` und anderen Daten

`Prism` ein `s` ist ein `a` oder etwas anderes

`Iso` ein `s` ist dasselbe wie ein `a`

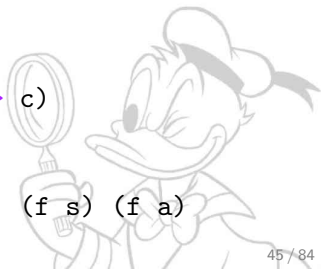
`iso :: (s -> a) -> (a -> s) -> Iso' s a`

`curried :: Iso' ((a, b) -> c) (a -> b -> c)`

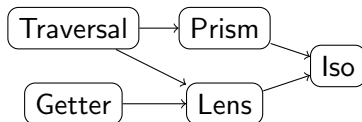
`packed :: Iso' String Text`

`from :: Iso' s a -> Iso' a s`

`mapping :: Functor f => Iso' s a -> Iso' (f s) (f a)`



Weitere optische Gerätschaften aus `lens`



Getter Funktion `s -> a`

Traversal ein `s` besteht aus `a`'s und anderen Daten

Lens ein `s` besteht aus einem `a` und anderen Daten

Prism ein `s` ist ein `a` oder etwas anderes

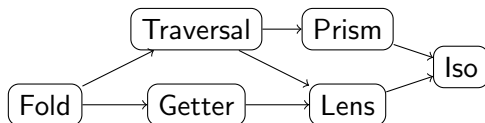
Iso ein `s` ist dasselbe wie ein `a`

```
to :: (s -> a) -> Getter s a
```

```
to length :: Getter [a] Int
```



Weitere optische Gerätschaften aus `lens`



Fold Funktion `s -> [a]`

Getter Funktion `s -> a`

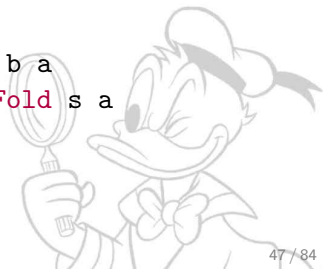
Traversal ein `s` besteht aus `a`'s und anderen Daten

Lens ein `s` besteht aus einem `a` und anderen Daten

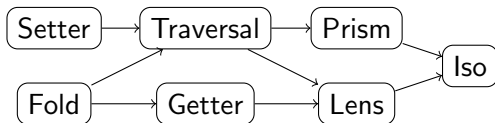
Prism ein `s` ist ein `a` oder etwas anderes

Iso ein `s` ist dasselbe wie ein `a`

```
unfolded :: (b -> Maybe (a, b)) -> Fold b a
folding  :: Foldable f => (s -> f a) -> Fold s a
folded   :: Foldable f => Fold (f a) a
replicated :: Int -> Fold a a
```



Weitere optische Gerätschaften aus `lens`



Setter in `s` gibt es veränderbare `a`'s

Fold Funktion `s -> [a]`

Getter Funktion `s -> a`

Traversal ein `s` besteht aus `a`'s und anderen Daten

Lens ein `s` besteht aus einem `a` und anderen Daten

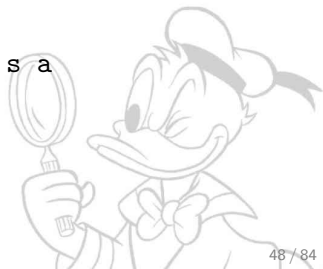
Prism ein `s` ist ein `a` oder etwas anderes

Iso ein `s` ist dasselbe wie ein `a`

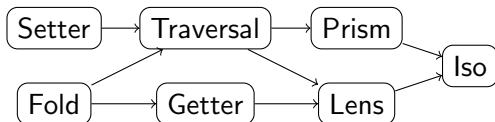
`sets :: ((a -> a) -> s -> s) -> Setter' s a`

`mapped :: Functor f => Setter' (f a) a`

`mapped :: Setter' (x -> a) a`



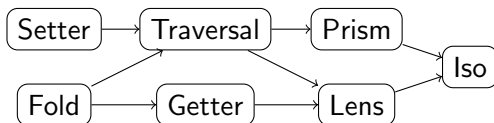
Weitere optische Gerätschaften aus `lens`



```
Setter' s a = (a -> Id a) -> s -> Id s
Fold s a = (Contrav't f, Applicative f) => (a -> f a) -> s -> f s
Getter s a = (Contrav't f, Functor f) => (a -> f a) -> s -> f s
Traversal' s a = Applicative f => (a -> f a) -> s -> f s
Lens' s a = Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
Prism' s a = (Choice p, Applicative f) => p a (f a) -> p s (f s)
Iso' s a = (Profunctor p, Functor f) => p a (f a) -> p s (f s)
```



Weitere optische Gerätschaften aus `lens`

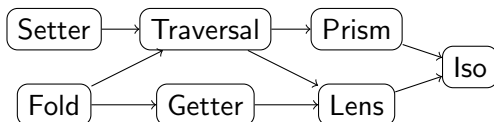


```
Setter' s a = (a -> Id a) -> s -> Id s
Fold' s a = (Contrav't f, Applicative f) => (a -> f a) -> s -> f s
Getter' s a = (Contrav't f, Functor f) => (a -> f a) -> s -> f s
Traversal' s a = Applicative f => (a -> f a) -> s -> f s
Lens' s a = Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
Prism' s a = (Choice p, Applicative f) => p a (f a) -> p s (f s)
Iso' s a = (Profunctor p, Functor f) => p a (f a) -> p s (f s)
```

- Durch Subtyping ist jeder Iso eine Lens, jedes Prism ein Traversal ...

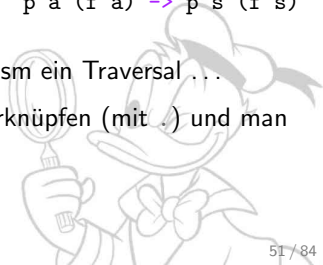


Weitere optische Gerätschaften aus `lens`

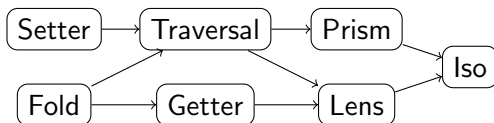


```
Setter' s a = (a -> Id a) -> s -> Id s
Fold' s a = (Contrav't f, Applicative f) => (a -> f a) -> s -> f s
Getter' s a = (Contrav't f, Functor f) => (a -> f a) -> s -> f s
Traversal' s a = Applicative f => (a -> f a) -> s -> f s
Lens' s a = Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
Prism' s a = (Choice p, Applicative f) => p a (f a) -> p s (f s)
Iso' s a = (Profunctor p, Functor f) => p a (f a) -> p s (f s)
```

- Durch Subtyping ist jeder Iso eine Lens, jedes Prism ein Traversal ...
- Man kann z. B. eine Lens mit einem Traversal verknüpfen (mit `.`) und man bekommt ein Traversal.

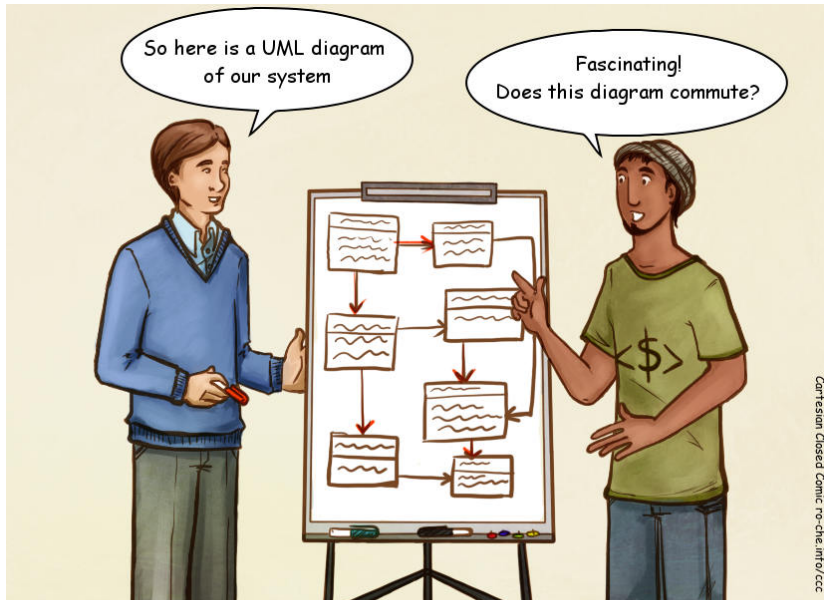


Weitere optische Gerätschaften aus `lens`



```
Setter' s a = (a -> Id a) -> s -> Id s
Fold s a = (Contrav't f, Applicative f) => (a -> f a) -> s -> f s
Getter s a = (Contrav't f, Functor f) => (a -> f a) -> s -> f s
Traversal' s a = Applicative f => (a -> f a) -> s -> f s
Lens' s a = Functor f => (a -> f a) -> s -> f s
Prism' s a = (Choice p, Applicative f) => p a (f a) -> p s (f s)
Iso' s a = (Profunctor p, Functor f) => p a (f a) -> p s (f s)
```

- Durch Subtyping ist jeder Iso eine Lens, jedes Prism ein Traversal ...
- Man kann z. B. eine Lens mit einem Traversal verknüpfen (mit `.`) und man bekommt ein Traversal.
- Viele Beispielfunktionen haben einen allgemeineren Typ als angegeben.



~~Transition from Haskell to Java~~ can be awkward
Learning the lens library

Wo kann ich mehr über `lens` erfahren?

- **Das Lens-Wiki:** <https://github.com/ekmett/lens/wiki>
- Blogserie “Lens over Tea” <http://artyom.me/lens-over-tea-1>
- Vortrag von Simon Peyton Jones bei Skills Matter
- Blogpost: “Program imperatively using Haskell lenses”
- School of Haskell: “A Little Lens Starter Tutorial”
- Cheat Sheet für `Control.Lens`:
<https://github.com/anchor/haskell-cheat-sheets>

