Fortgeschrittene Funktionale Programmierung in Haskell

Universität Bielefeld, Sommersemester 2015

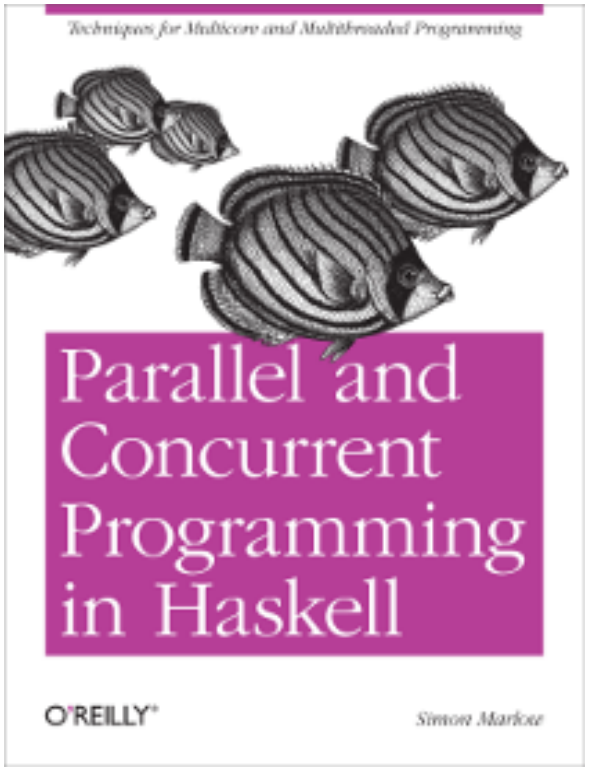
Jonas Betzendahl & Stefan Dresselhaus

Outline I

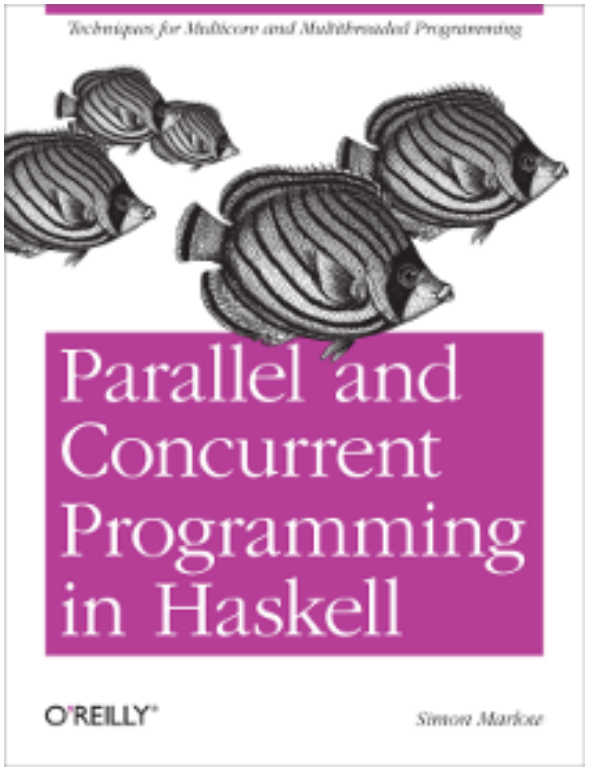
Übersicht für Heute:

Wiederholung

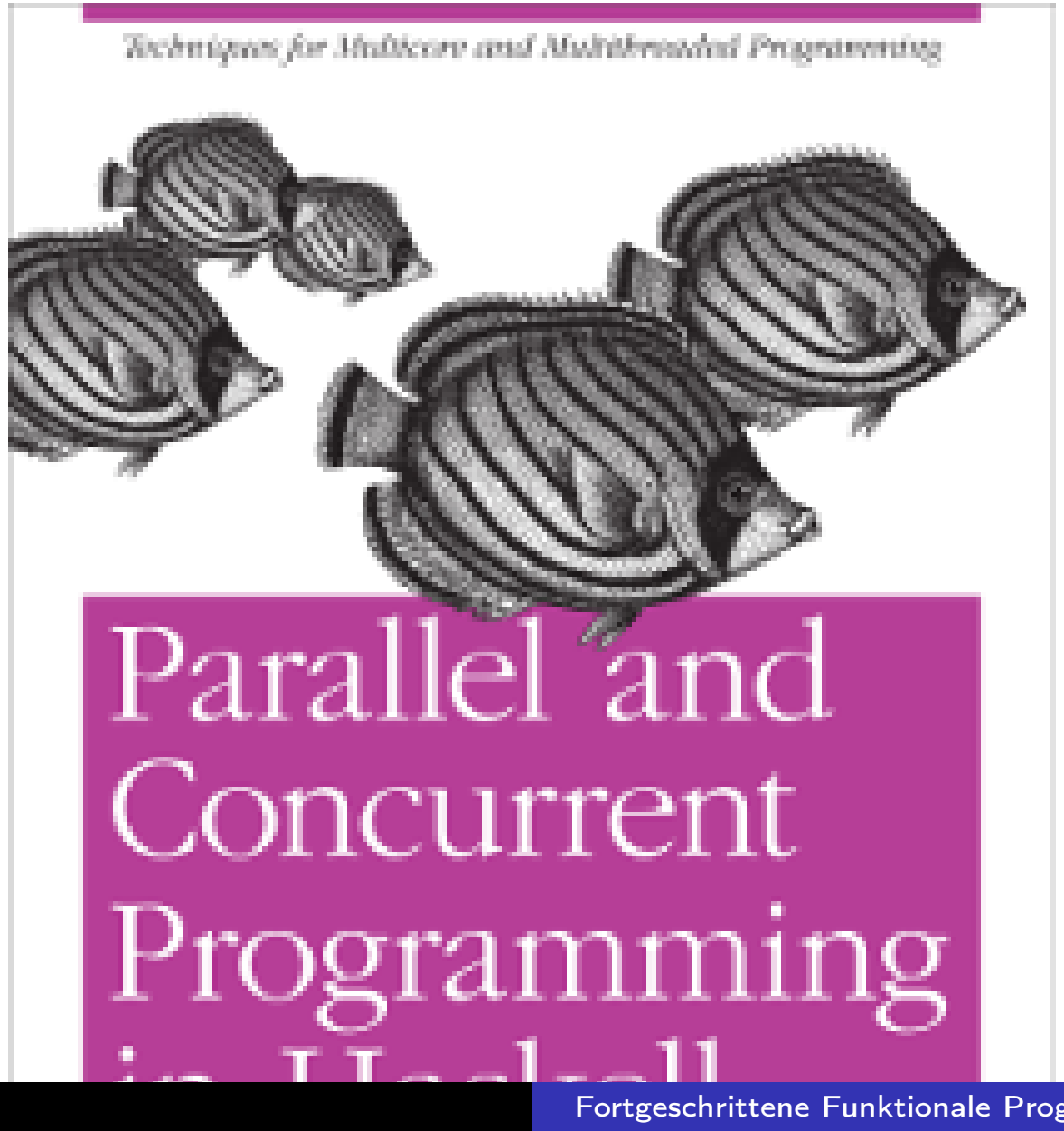
Leseempfehlung:



Leseempfehlung:



. . . srsly!


Techniques for Multicore and Multithreaded Programming
Parallel and
Concurrent
Programming

Überblick:

Überblick:

Parallelism:

- Mehrere Hardwareelemente

Überblick:

Parallelism:

- Mehrere Hardwareelemente
- Antwort schneller kriegen

Überblick:

Parallelism:

- Mehrere Hardwareelemente
- Antwort schneller kriegen
- deterministisch (i.d.R.)

Überblick:

Parallelism:

- Mehrere Hardwareelemente
- Antwort schneller kriegen
- deterministisch (i.d.R.)
- oft deklarativ

Überblick:

Parallelism:

- Mehrere Hardwareelemente
- Antwort schneller kriegen
- deterministisch (i.d.R.)
- oft deklarativ

Concurrency:

- Mehrere Threads

Überblick:

Parallelism:

- Mehrere Hardwareelemente
- Antwort schneller kriegen
- deterministisch (i.d.R.)
- oft deklarativ

Concurrency:

- Mehrere Threads
- Dinge gleichzeitig tun

Überblick:

Parallelism:

- Mehrere Hardwareelemente
- Antwort schneller kriegen
- deterministisch (i.d.R.)
- oft deklarativ

Concurrency:

- Mehrere Threads
- Dinge gleichzeitig tun
- nichtdeterministisch

Überblick:

Parallelism:

- Mehrere Hardwareelemente
- Antwort schneller kriegen
- deterministisch (i.d.R.)
- oft deklarativ

Concurrency:

- Mehrere Threads
- Dinge gleichzeitig tun
- nichtdeterministisch
- oft impertativ

Die Basics: Threads, MVars, etc.

Wir beginnen mit der Funktion, die einen neuen Thread erstellt:

```
forkIO :: IO () -> IO ThreadId
```

Wir beginnen mit der Funktion, die einen neuen Thread erstellt:

```
forkIO :: IO () -> IO ThreadId
```

Threads interagieren notwendigerweise mit der Welt, ergo ist die Berechnung, die wir übergeben vom Typ `IO ()`.

Wir beginnen mit der Funktion, die einen neuen Thread erstellt:

```
forkIO :: IO () -> IO ThreadId
```

Threads interagieren notwendigerweise mit der Welt, ergo ist die Berechnung, die wir übergeben vom Typ `IO ()`.

Die `ThreadId` kann später benutzt werden um z.B. den Thread vorzeitig zu töten oder ihm eine Exception zuzuschmeißen.

Ein kleines Beispiel:

```
import Control.Concurrent
import Control.Monad
import System.IO

main :: IO ()
main = do
  hSetBuffering stdout NoBuffering
  forkIO (replicateM_ 100000 (putChar 'A'))
  replicateM_ 100000 (putChar 'B')
```

Ein kleines Beispiel:

```
import Control.Concurrent
import Control.Monad
import System.IO

main :: IO ()
main = do
  hSetBuffering stdout NoBuffering
  forkIO (replicateM_ 100000 (putChar 'A'))
  replicateM_ 100000 (putChar 'B')
```

. . . Output?

Ein kleines Beispiel:

```
import Control.Concurrent
import Control.Monad
import System.IO

main :: IO ()
main = do
  hSetBuffering stdout NoBuffering
  forkIO (replicateM_ 100000 (putChar 'A'))
  replicateM_ 100000 (putChar 'B')
```

. . . Output?

```
AAAAAAAAABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABAB
ABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABAB
ABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABAB
ABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABABAB
```

Aber. . .

Aber. . . wie kriegen wir jetzt Ergebnisse aus der Berechnung raus?
Der Typ ist nur `IO ()`, das liefert nichts (interessantes) zurück!

Aber. . . wie kriegen wir jetzt Ergebnisse aus der Berechnung raus? Der Typ ist nur `IO ()`, das liefert nichts (interessantes) zurück!

Das gleiche Problem hatten wir schon in der `Par`-Monade. Lösung damals waren `IVars`:

```
data IVar a  -- instance Eq

new :: Par (IVar a)
put :: NFData a => IVar a -> a -> Par ()
get :: IVar a -> Par a
```

Introducing: . . .

Introducing: . . . MVars!

```
data MVar a  -- abstract

newEmptyMVar :: IO (MVar a)
newMVar      :: a -> IO (MVar a)
takeMVar     :: MVar a -> IO a
putMVar      :: MVar a -> a -> IO ()

readMVar     :: MVar a -> IO a
```

Introducing: ...MVars!

```
data MVar a  -- abstract

newEmptyMVar :: IO (MVar a)
newMVar      :: a -> IO (MVar a)
takeMVar     :: MVar a -> IO a
putMVar      :: MVar a -> a -> IO ()

readMVar     :: MVar a -> IO a
```

Wir brauchen hier keine eigene Monade wie `Par`. Da Concurrency so oder so effektvoll ist, reicht `IO` vollkommen aus.

Unterschied zwischen `IVars` und `MVars`: erstere sind ***i***mmutable, letztere sind ***m***utable.

Ein Beispiel zu MVars:

```
main :: IO ()
main = do
  m <- newEmptyMVar
  forkIO $ do putMVar m 'x'; putMVar m 'y'
  r <- takeMVar m
  print r
  r <- takeMVar m
  print r
```

Ein Beispiel zu `MVars`:

```
main :: IO ()
main = do
  m <- newEmptyMVar
  forkIO $ do putMVar m 'x'; putMVar m 'y'
  r <- takeMVar m
  print r
  r <- takeMVar m
  print r
```

Wie wir sehen kann die gleiche `MVar` über Zeit mehrere Zustände annehmen und erfolgreich zur Kommunikation zwischen Threads benutzt werden.

Generell haben `MVars` drei Hauptaufgaben:

Generell haben `MVars` drei Hauptaufgaben:

- **Channel mit nur einem Slot**
  Eine `MVar` kann als Nachrichtenkanal zwischen Threads benutzt werden, allerdings maximal eine Nachricht auf einmal halten.

Generell haben `MVars` drei Hauptaufgaben:

- **Channel mit nur einem Slot**
  Eine `MVar` kann als Nachrichtenkanal zwischen Threads benutzt werden, allerdings maximal eine Nachricht auf einmal halten.
- **Behältnis für shared mutable state**
  In Concurrent Haskell brauchen oft mehrere Threads Zugriff auf einen shared state. Ein beliebtes Designpattern ist, das dieser State als normaler (immutable) Haskell-Datentyp repräsentiert und in einer `MVar` verpackt wird.

Generell haben `MVars` drei Hauptaufgaben:

- **Channel mit nur einem Slot**
  Eine `MVar` kann als Nachrichtenkanal zwischen Threads benutzt werden, allerdings maximal eine Nachricht auf einmal halten.
- **Behältnis für shared mutable state**
  In Concurrent Haskell brauchen oft mehrere Threads Zugriff auf einen shared state. Ein beliebtes Designpattern ist, das dieser State als normaler (immutable) Haskell-Datentyp repräsentiert und in einer `MVar` verpackt wird.
- **Baustein für kompliziertere Strukturen**

Mehr Leckerlis:

Was passiert, wenn wir folgenden Code ausführen?

```
main :: IO ()
main = do m <- newEmptyMVar
          takeMVar m
```

Mehr Leckerlis:

Was passiert, wenn wir folgenden Code ausführen?

```
main :: IO ()
main = do m <- newEmptyMVar
          takeMVar m
```

Wir bekommen eine Fehlermeldung, dass das Programm hängt, statt einfach nur ein hängendes Programm.

```
$ ./mvar3
mvar3: thread blocked indefinitely in an MVar operation
```

Deadlock detection:

Threads und `MVars` sind Objekte auf dem Heap. Das `RTS` (i.e. der Garbage collector) durchläuft den Heap um alle lebendigen Objekte zu finden, angefangen bei den laufenden Threads und ihren Stacks.

Alles was so nicht erreichbar sind (z.B. ein Thread der auf eine `MVar` wartet, die nirgendwo sonst referenziert wird), blockiert und bekommt eine Exception geschmissen.

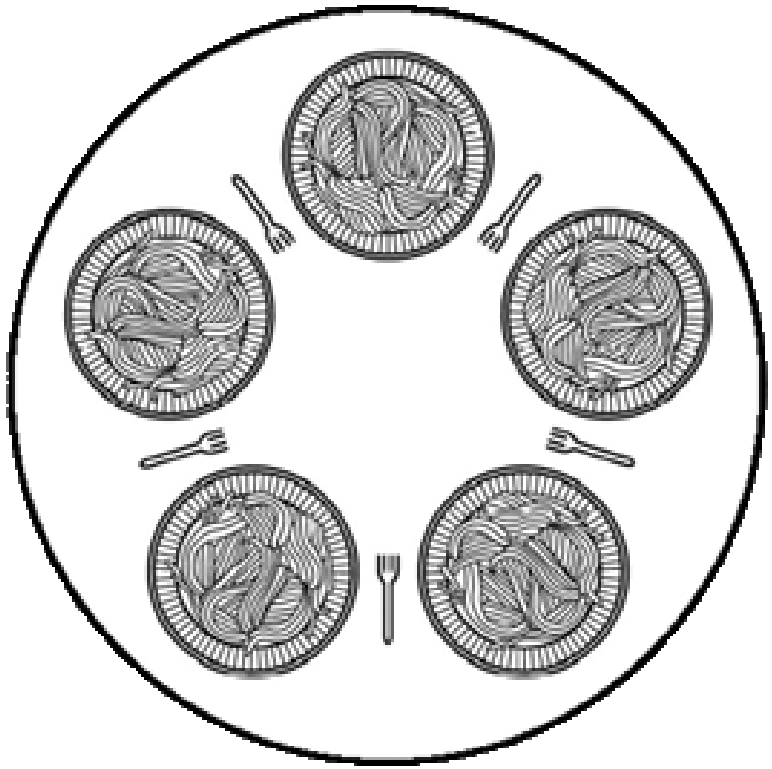


Abbildung: dining philosophers

Deadlock detection:

Dieses Vorgang funktioniert allerdings nicht immer wie man zunächst denkt. Beispiel: Was passiert mit diesem Code?

```
main :: IO ()
main = do
  lock <- newEmptyMVar
  complete <- newEmptyMVar
  forkIO $ takeMVar lock `finally` putMVar complete ()
  takeMVar complete
```

Deadlock detection:

Dieses Vorgang funktioniert allerdings nicht immer wie man zunächst denkt. Beispiel: Was passiert mit diesem Code?

```
main :: IO ()
main = do
  lock <- newEmptyMVar
  complete <- newEmptyMVar
  forkIO $ takeMVar lock `finally` putMVar complete ()
  takeMVar complete
```

Da nicht nur der geforkte Thread sondern auch der ursprüngliche gedeadlocked sind, wird hier die Fehlermeldung geprintet, statt die rettende Exception an das Kind zu sende.

Software Transactional Memory (STM)

Parallelism through Concurrency

Distributed Programming