

ReCoNodes – Optimierungsmethodik zur Steuerung hardwarekonfigurierbarer Knoten

Prof. Dr. Sándor Fekete

Dr. Tom Kamphans

Dipl.-Math. Jan van der Veen

Dipl.-Math.oec. Nils Schweer

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Teich

Dipl.-Inf. Josef Angermeier

Dipl.-Ing. Mateusz Majer

Gliederung

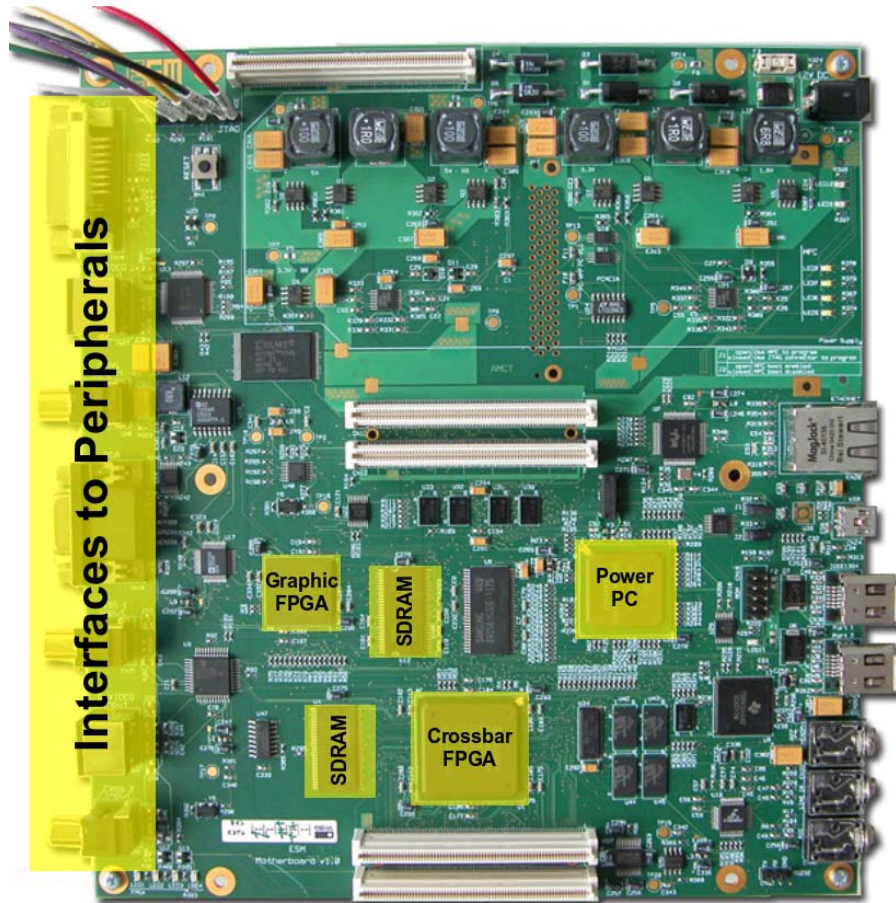
- **Stand der dritten Phase:**
 - Ergebnisse zur ESM
 - Unterbrechungsfreie Kompaktierung
 - Scheduling mit Rekonfigurationen
 - Virtuelle ESMs
 - Platzierung mit Inhomogenitäten
 - Publikationen
 - Kooperationen

Gliederung

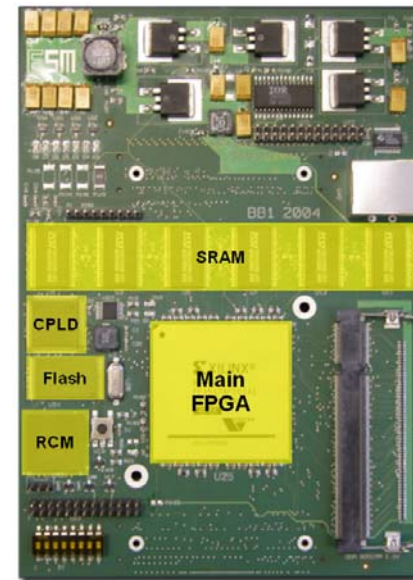
- **Stand der dritten Phase:**
 - **Ergebnisse zur ESM**
 - Unterbrechungsfreie Kompaktierung
 - Scheduling mit Rekonfigurationen
 - Virtuelle ESMs
 - Platzierung mit Inhomogenitäten
 - Publikationen
 - Kooperationen

ESM-Plattform

MotherBoard:

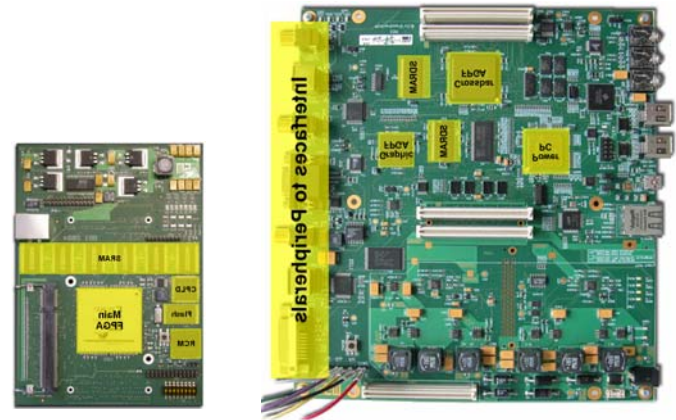


BabyBoard:



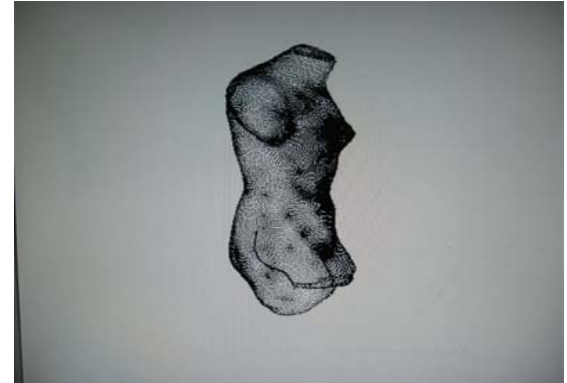
Nutzer der ESM

- Dr. Stechele – Fahrerassistenz, TU München
- Prof. Platzner – ReConOS, Uni Paderborn
- Prof. Rammig – Reconf.-Scheduling, Uni Paderborn
- Prof. Merker, TU Dresden
- Firma Softgate
- Prof. Teich, Uni Erlangen
- Prof. Fekete, TU Braunschweig



ESM-Applikation: Punkt-Rendering

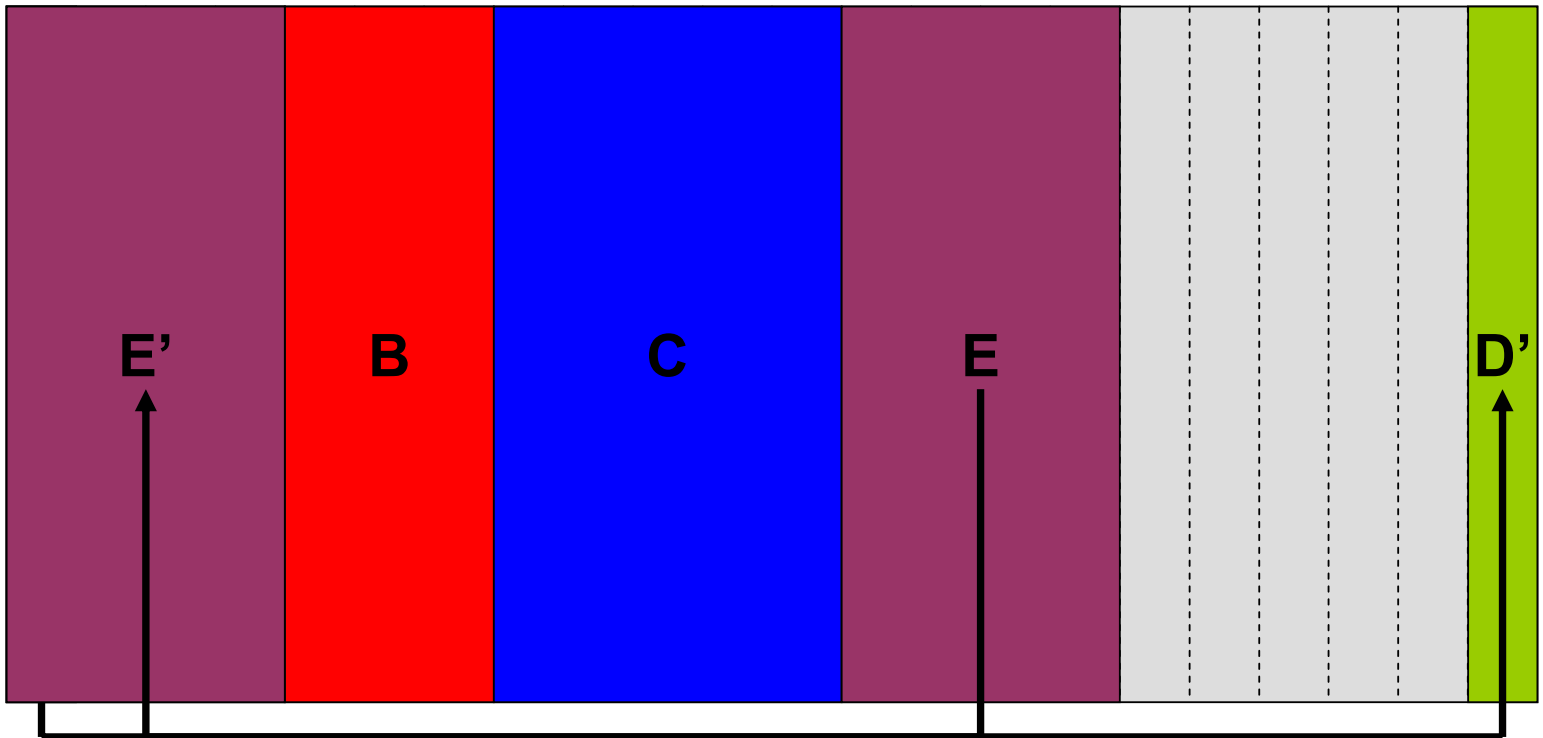
- Punkt-Rendering: Punktwolken statt Dreiecke für komplexe 3D-Modelle
- Berechnung des Venus-Modells mit 45357 Punkten auf ESM in Echtzeit
- Ressourcenverbrauch:
 - 1 Punkt pro Takt, 60.6 MHz
 - 13642 Slices (40.4 %)
 - 80 Block-Multiplizierer (56 %)



Gliederung

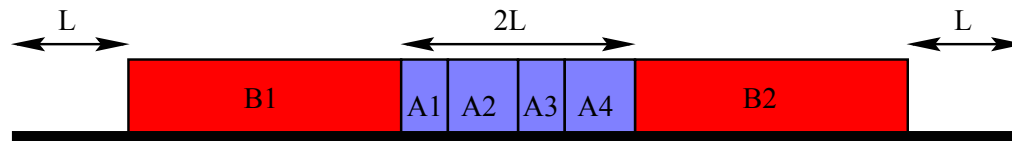
- **Stand der dritten Phase:**
 - Ergebnisse zur ESM
 - **Unterbrechungsfreie Kompaktierung**
 - Scheduling mit Rekonfigurationen
 - Virtuelle ESMs
 - Platzierung mit Inhomogenitäten
 - Publikationen
 - Kooperationen

Unterbrechungsfreie Kompaktierung



Unterbrechungsfreie Kompaktierung

- NP-vollständiges Problem
 - Reduktion auf *Partition*:



- Lösungsansätze
 - Enumeration
 - Greedystrategien
 - Tabu-Suche

Unterbrechungsfreie Kompaktierung

- Kann *greedy* gelöst werden, wenn Dichte klein genug ist:

$$\delta := \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\ell} \leq \frac{1}{2} - \frac{1}{2\ell} \cdot \max_{i=1, \dots, n} \{m_i\}$$

ℓ : Breite des FPGA, m_i : Breite von Modul M_i

```
FOR i = 1 TO n DO
  Schiebe  $M_i$  so weit nach links wie möglich
FOR i = n TO 1 DO
  Schiebe  $M_i$  so weit nach rechts wie möglich
```

Unterbrechungsfreie Kompaktierung

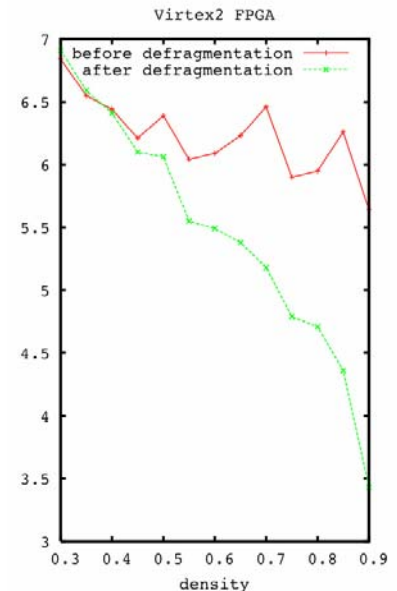
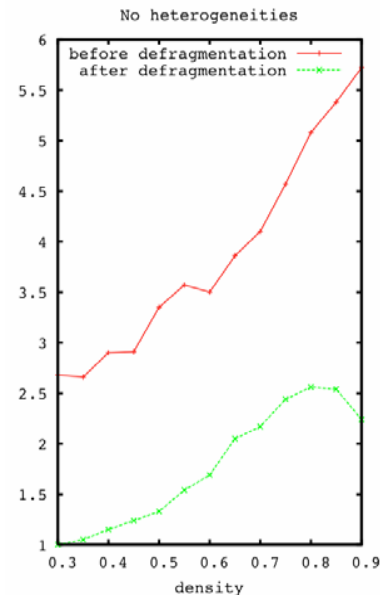
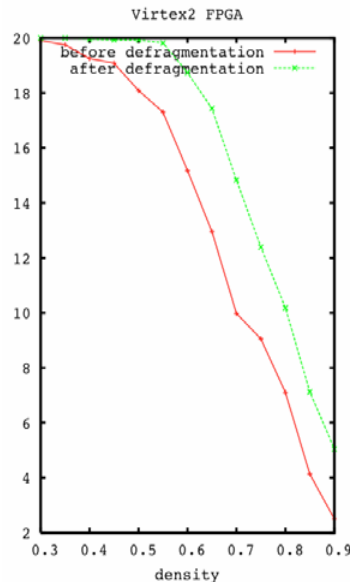
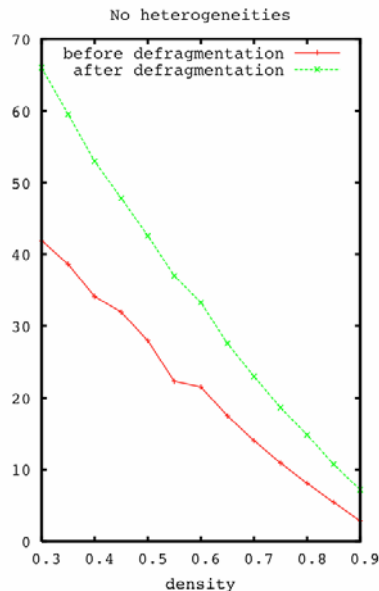
- Tabu-Suche:
 - Schiebe jedes homogene Modul an das rechte/linke Ende jeden Freiraums
 - Schiebe jedes heterogene Modul an jede gültige Platzierung
 - Bewerte jede Verschiebung mit:

$$\frac{\text{Größe des maximalen Freiraums}}{\text{Gesamter Freiraum}}$$

- Wähle Verschiebung mit höchstem Wert

Experimentelle Ergebnisse

- 94 Slots, 0/6 Heterogenitäten
- Dichten 0.3, 0.35, ..., 0.9, 100 Versuche pro Dichte
- Verbesserung bis zu 40% (max. Freiraum), 50% (Anzahl)



Größe des max. Freiraums

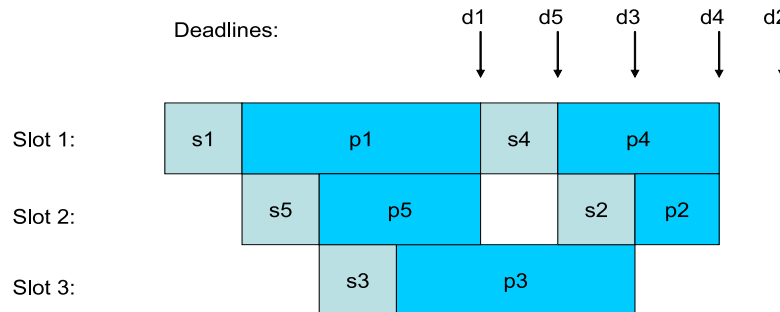
Anzahl Freiräume

Gliederung

- Stand der dritten Phase:
 - Ergebnisse zur ESM
 - Unterbrechungsfreie Kompaktierung
 - **Scheduling mit Rekonfigurationen**
 - Virtuelle ESMs
 - Platzierung mit Inhomogenitäten
 - Publikationen
 - Kooperationen

Scheduling mit Rekonfigurationen

- Scheduling unter Berücksichtigung von
 - Rekonfigurationszeit
 - Rekonfigurationsschnittstelle
- Optimierungsziele:
 - Minimierung der Gesamtausführungszeit (Makespan)
 - Minimierung der Anzahl benötigter Slots
 - Minimierung der Anzahl der Tasks mit überschrittener Deadline
 - Minimierung der Summe der Verspätungen



Scheduling mit Rekonfigurationen

- Optimierungsziel: Minimierung der Gesamtausführungszeit
- Heuristik *ShuffleFit*:
 - Berechne Ablaufplan ohne Rekonfiguration (opt/heuristisch)
 - Modifiziere Ablaufplan so, dass möglichst keine zwei Tasks gleichzeitig beenden

LPT

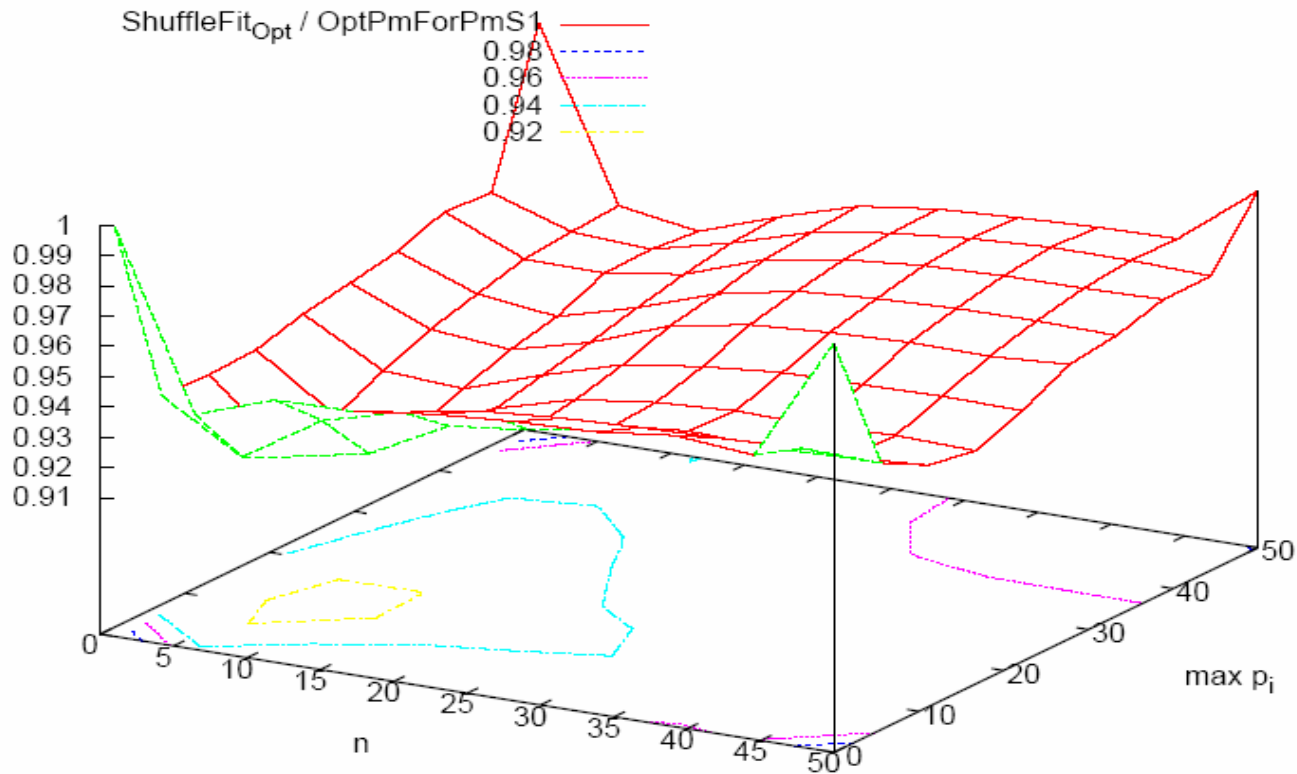
machine	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	6	6				3	3				17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7			
2	X	5	5				2	2																
3	X	4	4				1	1																

ShuffleFit

machine	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	1	1				4	4				7	10	13	16	X			
2	X	2	2				8	11	14	5	5				17			
3	X	9	12	15	3	3				6	6							

Experimentelle Ergebnisse

8 Slots; $n = 1, \dots, 50$ Tasks; max. Taskdauer $p_{max} = 0, \dots, 50$

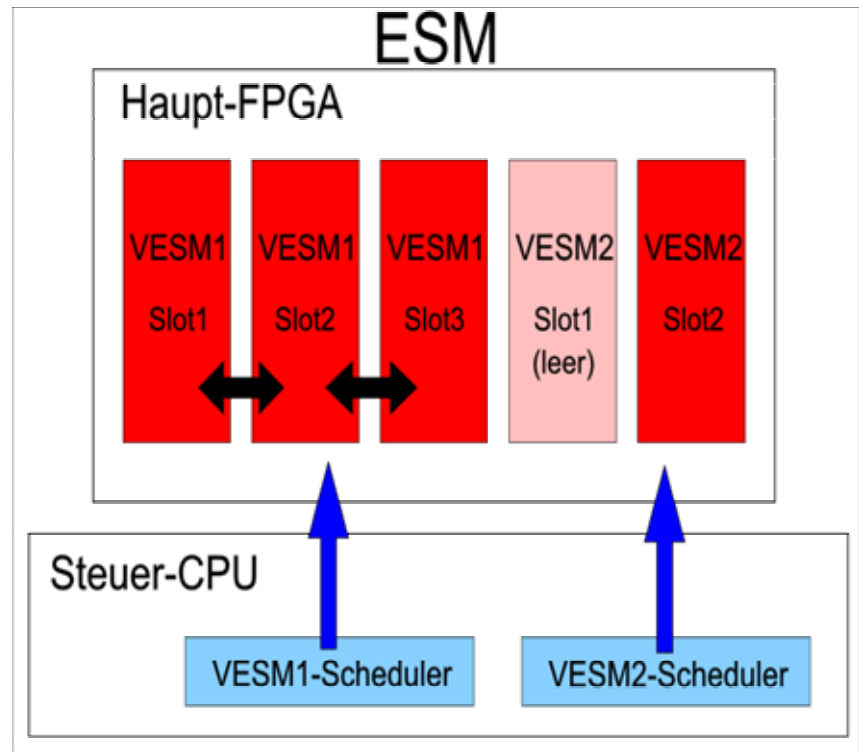


Gliederung

- **Stand der dritten Phase:**
 - Ergebnisse zur ESM
 - Unterbrechungsfreie Kompaktierung
 - Scheduling mit Rekonfigurationen
 - **Virtuelle ESMs**
 - Platzierung mit Inhomogenitäten
 - Publikationen
 - Kooperationen

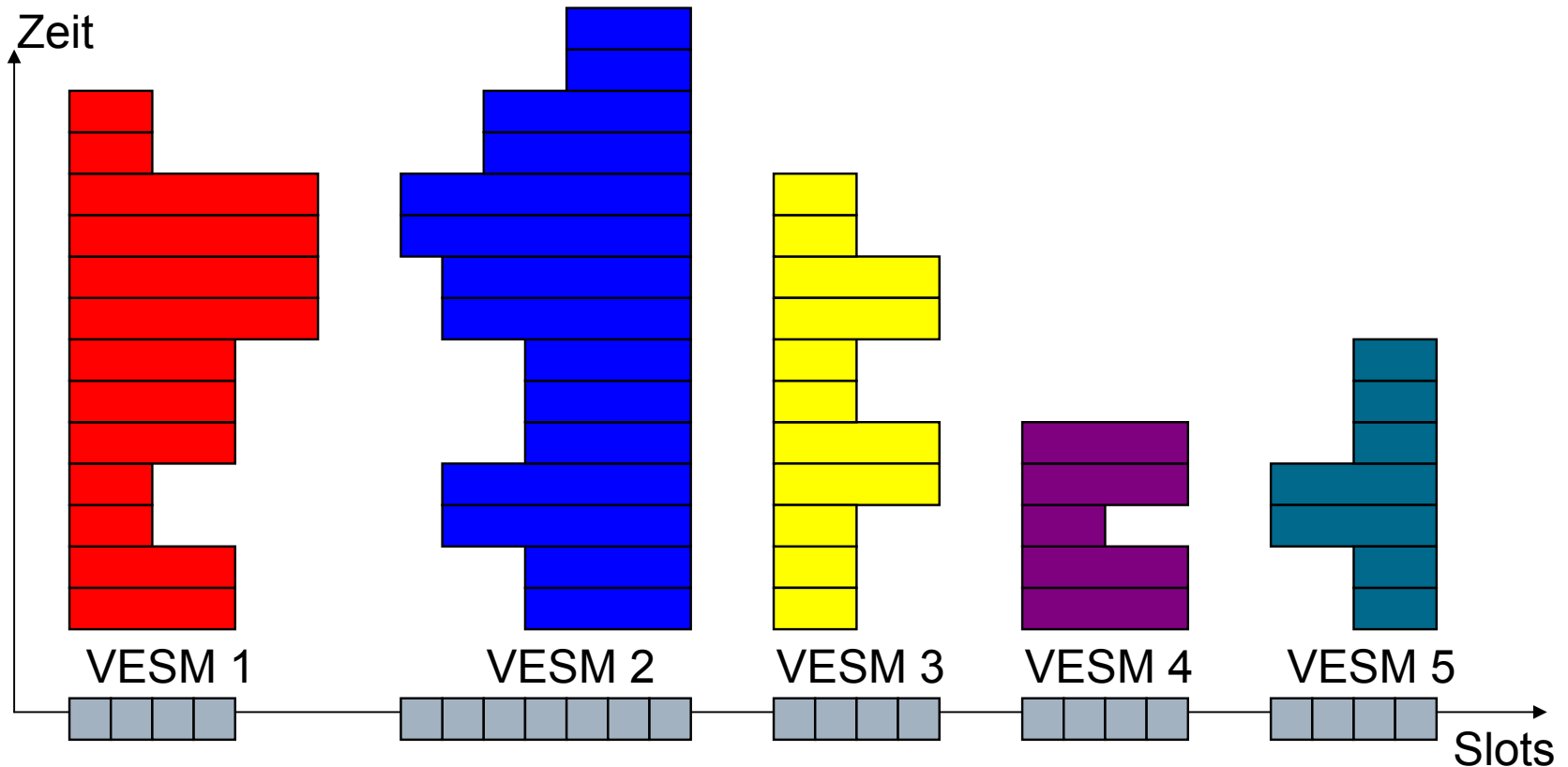
Virtuelle ESMs

- Unterteilung einer ESM in mehrere virtuelle
- Vorteile durch VESMs:
 - Beschränkung der Ressourcen
 - Unterstützung mehrerer Ablaufplanungsverfahren
 - Schutz der Ressourcen
- Beispiel:
 - QoS-Anwendungen



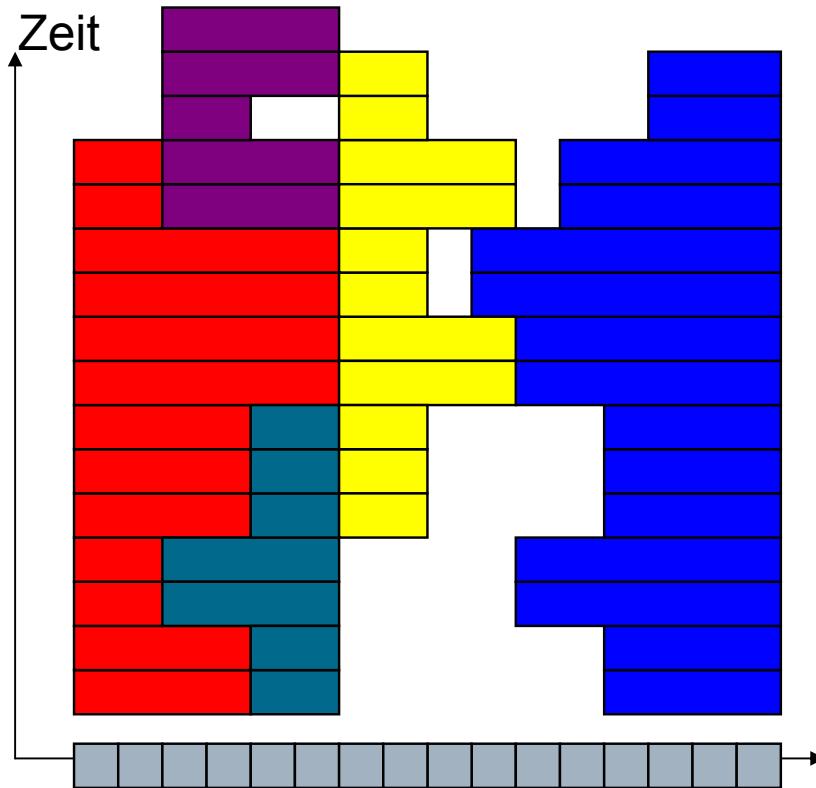
Virtuelle ESMs: Beispiel

Beispiel: Schedule für 5 VESMs auf ESM mit 16 Slots

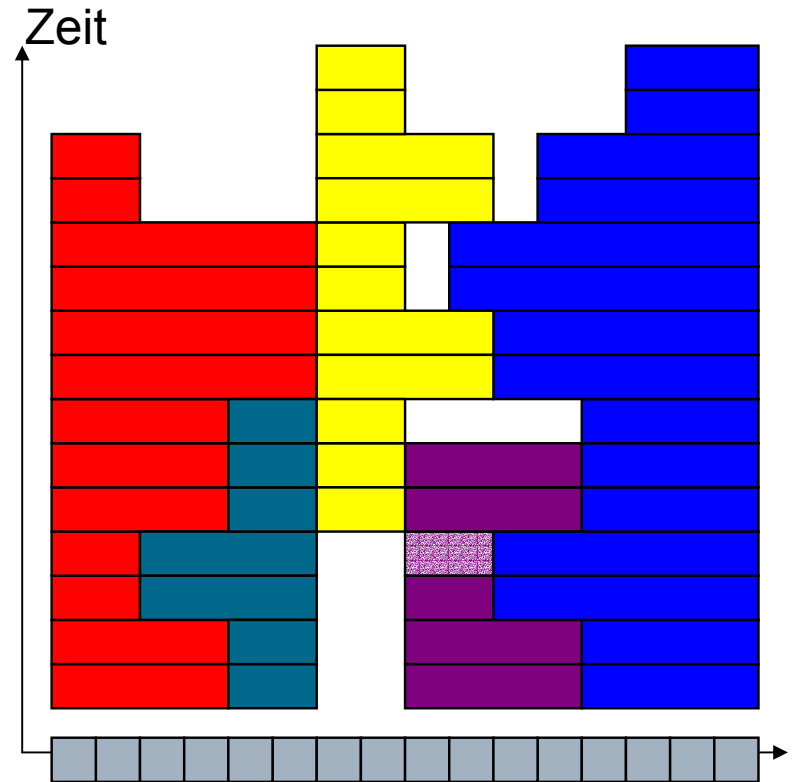


Virtuelle ESMs: Offline

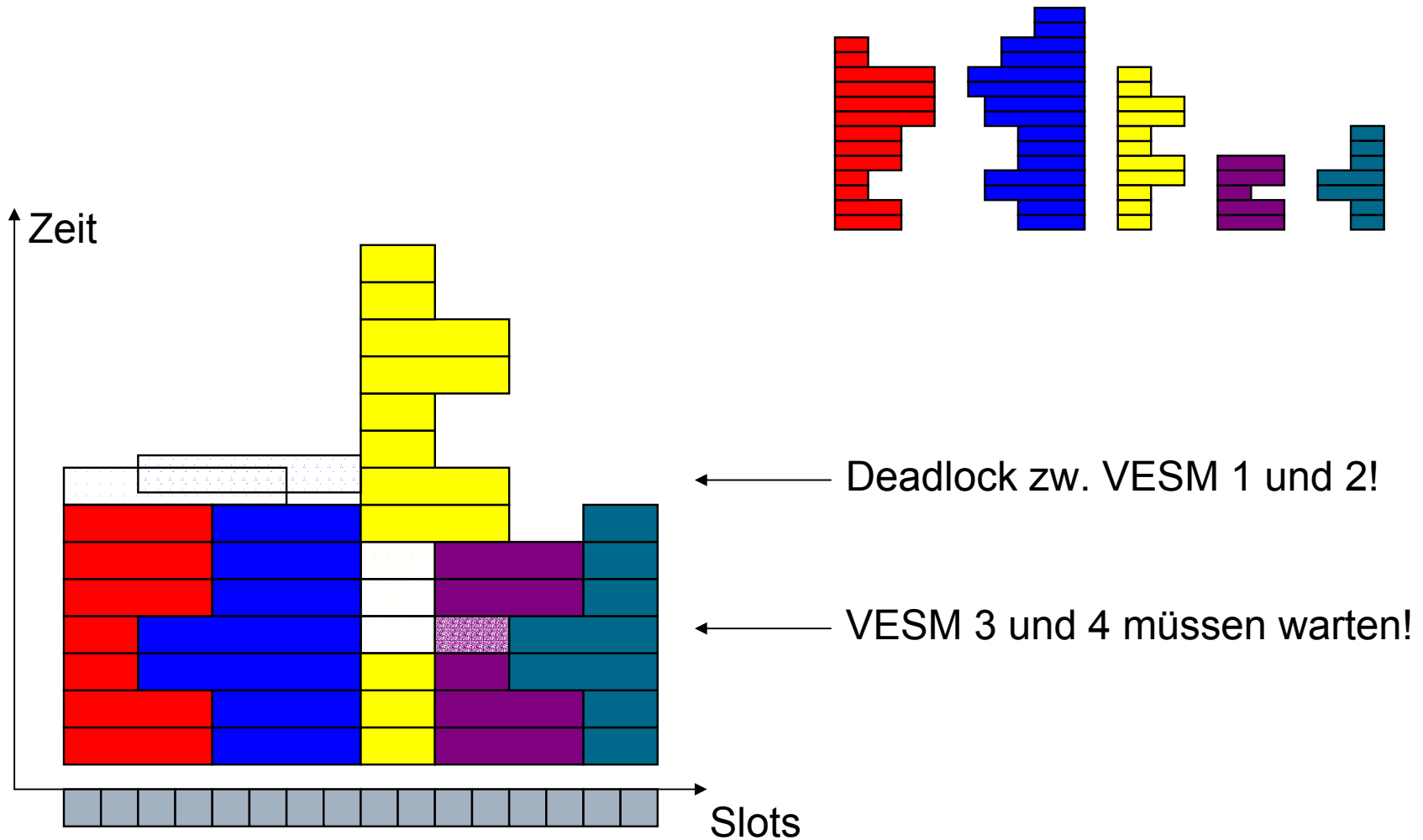
Ohne Wartezeiten



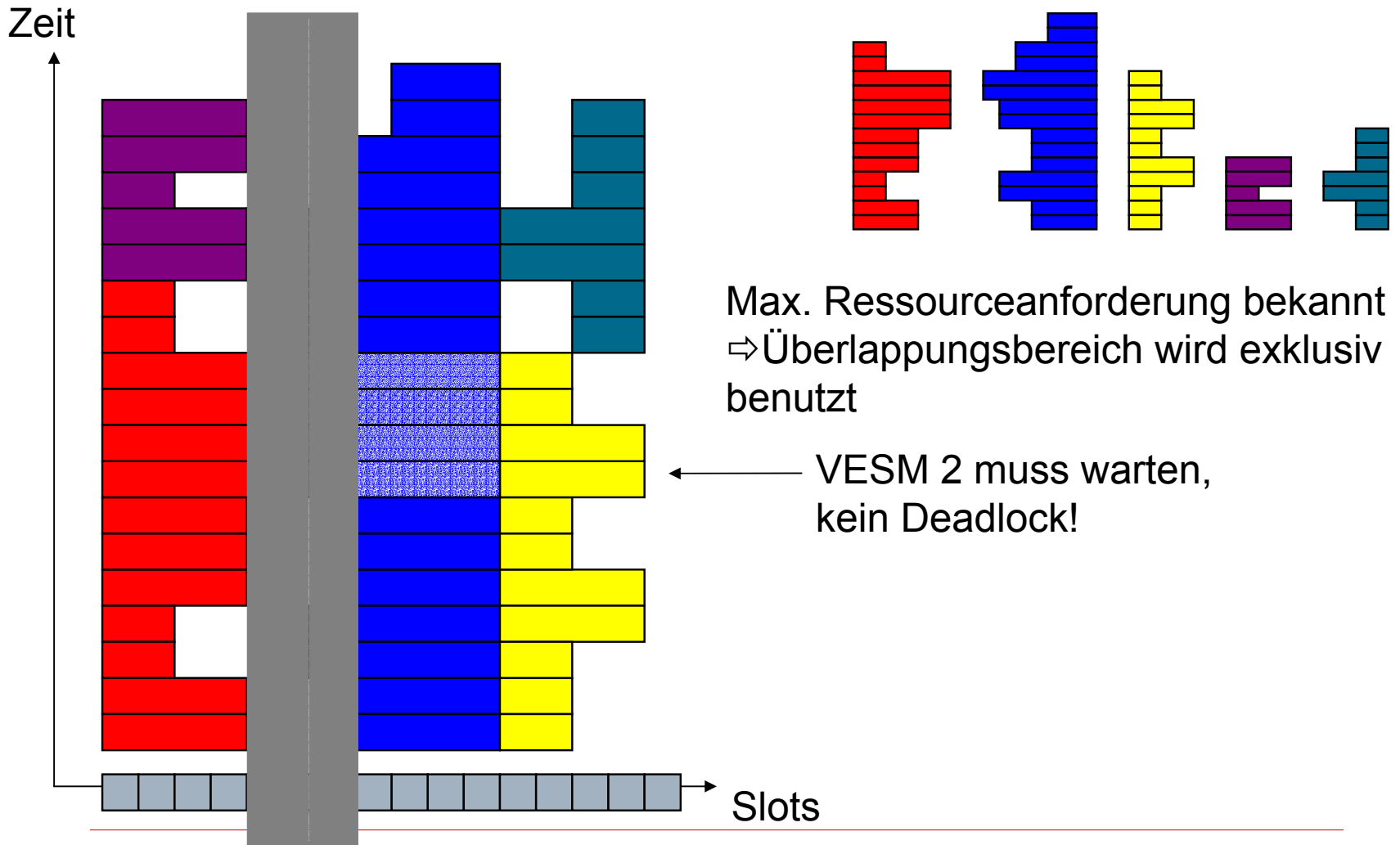
Mit Wartezeiten



Virtuelle ESMs: Online



Virtuelle ESMs: Online



Virtuelle ESMs

□ Fragestellungen:

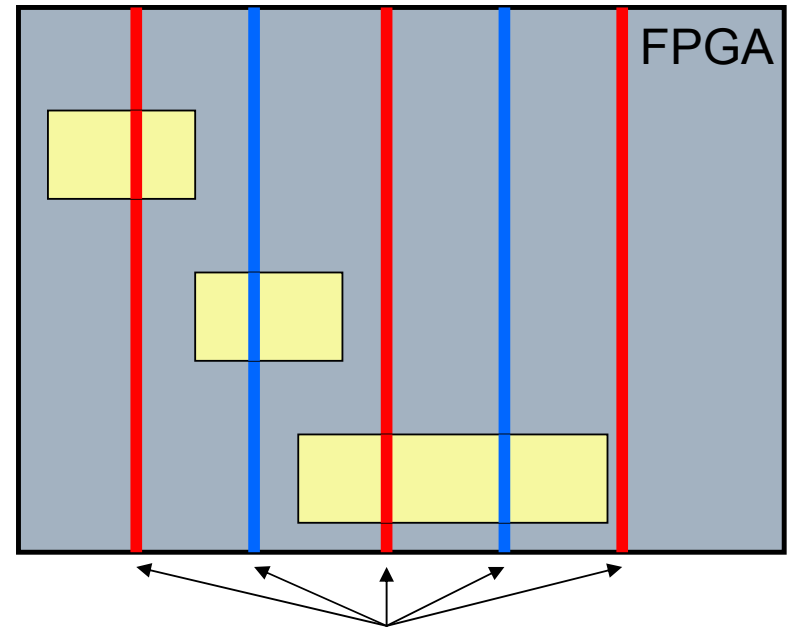
- Offline
 - ohne Wartezeiten (⇨ Strip-Packing)
 - mit Wartezeiten (⇨ Schedulingaspekte)
- Online (Wartezeiten, Deadlockvermeidung)
 - Ressourcenbedarf unbekannt
 - Max. Ressourcenbedarf bekannt
 - Ressourcenbedarf bekannt (⇨ „FPGAtris“)

Gliederung

- **Stand der dritten Phase:**
 - Ergebnisse zur ESM
 - Unterbrechungsfreie Kompaktierung
 - Scheduling mit Rekonfigurationen
 - Virtuelle ESMs
 - **Platzierung mit Heterogenitäten**
 - Publikationen
 - Kooperationen

Platzierung mit Heterogenitäten

- Ziel: Heterogenitäten im FPGA (Speicher, DSPs, usw.) berücksichtigen
- ⇒ Module dürfen nur an bestimmte Stellen im FPGA platziert werden
- Ansatz: vorhandene Platzierungsverfahren erweitern



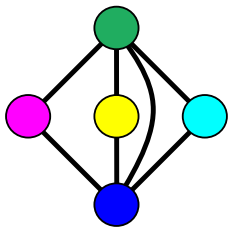
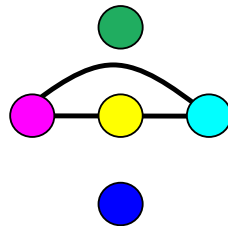
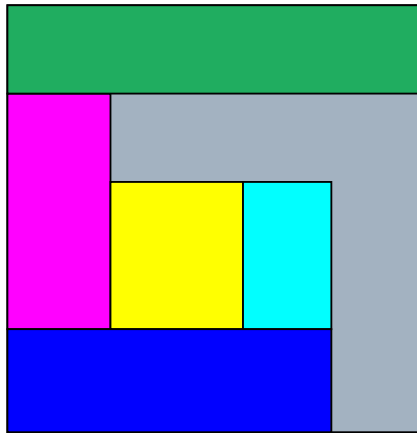
Heterogenitäten



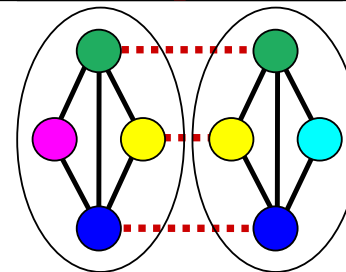
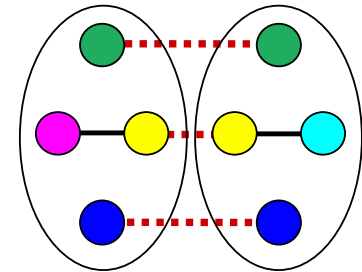
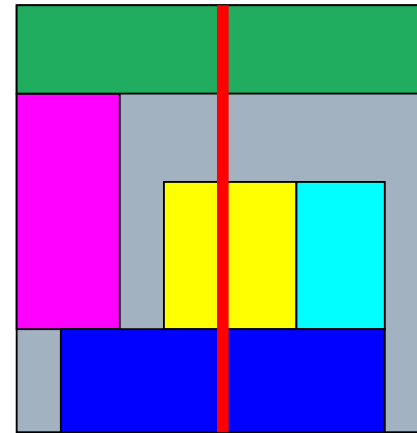
Module mit Heterogenitäten

Platzierung mit Heterogenitäten

Optimale Platzierung durch Enumeration von Intervallgraphen:



Ohne Heterogenitäten



Mit Heterogenitäten

Platzierung mit Heterogenitäten

- Ausblick:
 - Anpassung der optimalen Offline-Methoden
 - Heuristiken
 - Online-Strategien

Gliederung

- **Stand der dritten Phase:**
 - Ergebnisse zur ESM
 - Unterbrechungsfreie Kompaktierung
 - Scheduling mit Rekonfigurationen
 - Virtuelle ESMs
 - Platzierung mit Inhomogenitäten
 - **Publikationen**
 - Kooperationen

Publikationen

- [38] **No-Break Dynamic Defragmentation of Reconfigurable Devices.**
S. Fekete, T. Kamphans, N. Schweer, J. van der Veen, J. Angermaier, D. Koch, and J. Teich.
To appear in: Proceedings 18th International Conference on Field-Programmable Logic and Applications (FPL 2008), Heidelberg, September, 2008.
- [37] **Heuristics for Scheduling Reconfigurable Devices with Consideration of Reconfiguration Overheads.**
J. Angermeier and J. Teich.
Proceedings 15th Reconfigurable Architectures Workshop (RAW 2008), Miami, Florida, April 2008.
- [36] **Reconfigurable HW/SW Architecture of a Reconfigurable HW/SW Architecture of a Real-Time Driver Assistance System.**
J. Angermeier, U. Batzer, M. Majer, J. Teich, C. Claus, and W. Stechele.
Proceedings of the Fourth International Workshop on Applied Reconfigurable Computing (ARC), Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Springer, London, United Kingdom, March 26-28, 2008.
- [35] **Offline and Online Aspects of Defragmenting the Module Layout of a Partially Reconfigurable Device.**
S. Fekete, J. van der Veen, A. Ahmadiania, D. Göhringer, M. Majer, and J. Teich.
IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, to appear 2008.
- [34] **Reconfigurable Computing Systems.**
J. Teich.
it - Information Technology, <http://it-information-technology.de>, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, vol. 49(3):139-142, 2007.

Publikationen

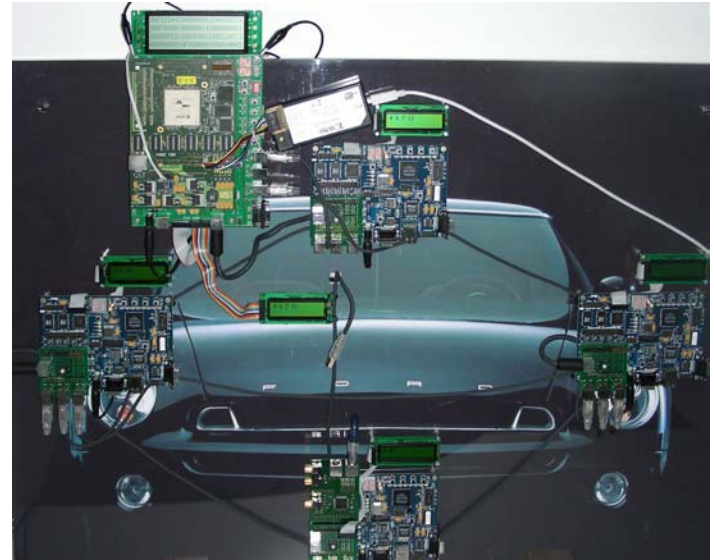
- [32] The Erlangen Slot Machine: A flexible FPGA-platform for partially reconfigurable applications at run-time.
J. Angermeier, D. Göhringer, M. Majer, and J. Teich.
[Tutorial, 20th International Conference on Architecture of Computing Systems \(ARCS 2007\), Springer LNCS series, Swiss Federal Institute of Technology \(ETH\) Zurich, Switzerland, March 12-15, 2007.](#)
- [33] Scheduling and communication-aware mapping of HW-SW modules for dynamically and partially reconfigurable SoC architectures.
S. Fekete, J. van der Veen, J. Angermeier, D. Göhringer, M. Majer, and J. Teich.
[In Proceedings of the Dynamically Reconfigurable Systems Workshop \(DRS 2007\), Zürich, Switzerland, pages 151-160, March 15, 2007.](#)
- [31] The Erlangen Slot Machine: A Dynamically Reconfigurable FPGA-Based Computer.
M. Majer, J. Teich, A. Ahmadiania, and C. Bobda.
[Journal of VLSI Signal Processing Systems, Springer, vol. 46\(2\), March 2007.](#)
- [30] The Erlangen Slot Machine - A Platform for Interdisciplinary Research in Reconfigurable Computing.
J. Angermeier, D. Göhringer, M. Majer, J. Teich, S. Fekete, and J. van der Veen.
[it - Information Technology, Heft 3/2007, Oldenbourg, München, 2007.](#)
- [29] Optimal free-space management and routing-conscious dynamic placement for reconfigurable computing.
A. Ahmadiania, C. Bobda, S. Fekete, J. Teich, and J. van der Veen.
[IEEE Transactions on Computers, volume 56, number 3, 2007.](#)

Gliederung

- **Stand der dritten Phase:**
 - Ergebnisse zur ESM
 - Unterbrechungsfreie Kompaktierung
 - Scheduling mit Rekonfigurationen
 - Virtuelle ESMs
 - Platzierung mit Inhomogenitäten
 - Publikationen
 - **Kooperationen**

Kopplung: ReCoNodes – ReCoNets

- Rekonfigurations-Management:
 - Remote-Rekonfiguration
 - HW Bitstream-Dekomprimierer
z.B.: 120 LUTs, 400 MB/s,
garantierter Mindestdurchsatz,
Kompressionsrate $\sim \text{gzip --best}$
- Modul-Kompaktierung
 - Dynamik im Laufzeitsystem
bewirkt Fragmentierung der
rekonfigurierbaren FPGA-Fläche
 - Problem: die Anzahl der aktuell zur Verfügung stehenden Slots
sagt allein nicht aus, ob ein Modul platziert werden kann.
 - Lösung: unterbrechungsfreie Kompaktierung



• S. Fekete, T. Kamphans, N. Schweer, J. van der Veen, J. Angermaier, D. Koch, und J. Teich:
No-Break Dynamic Defragmentation of Reconfigurable Devices, Akzeptiert für die FPL 2008

Kooperationen

- Dr.-Ing. W. Stechele, Dipl.-Ing. C. Claus, TU München
 - Integration von Fahrerassistenz-Engines auf ESM-Plattform ✓
 - Echtzeitbedingung: $t = 19 \text{ ms} < 40 \text{ ms}$ (video @ 25FPS) ✓
 - Ressourcen: 23% der Slices auf Virtex-II-6000,
 - Max Frequenz: 60Mhz



Kooperationen

- Demo der Fahrerassistenz-Engines auf der CeBIT:



Kooperationen

- Prof. Dr. Rosenstiel
 - Erweiterung des bestehenden Optimierungsmodells um das Scheduling von Verbindungen
- Prof. Dr. Becker
 - Anpassung des Optimierungsmodells auf das Zellenmodell der Honeycomb-Architektur
 - Neues Optimierungsmodell zur Abbildung der zellinternen globalen Kommunikationsstrukturen auf sogenannte Generalized Fat Trees (GFTs)
- Prof. Dr. Rammig
 - Optimierungsmodelle für Scheduling unter Berücksichtigung des Rekonfigurationsports

Bearbeitungsstand (Dritte Förderperiode)

- Modellierung
 - AP1 Virtuelles Slotmanagement
 - AP2 Heterogene und regalartige Platzierung
 - AP3 Kommunikationsstrukturen
- Algorithmen
 - AP4 Unterbrechungsfreie Kompaktierung
 - AP5 Reconfiguration Port Scheduling
 - AP6 Zeitmultiplex
 - AP7 Ressource Brokerage
 - AP8 Heterogene u. regalartige Platzierung
- Implementierung
 - AP9 Unterbrechungsfreie Kompaktierung
 - AP10 SlotComposer
 - AP11 2D-RMB
 - AP12 Virtualisierung von Video- und Audiofiltern
- Kopplung der Mikro- und Makroebene
 - AP13 Online-Platzierungsverfahren
 - AP14 Unterstützung der ESM in der ReCoNets-Entwurfsmethodik

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

ReCoNodes

Tom Kamphans

Algorithmik

TU Braunschweig

Regalartige Platzierung

- Neuere FPGAs unterstützen Rekonfiguration von Spaltenabschnitten
- Neue Herausforderungen an Packungsstrategien und Kommunikationsstrukturen
- Kommunikation: baumartiges Verbindungsnetzwerk

