



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN

Fakultät Informatik, Professur für VLSI-Entwurfssysteme, Diagnostik und Architektur

# Energieeffizienz und Performance von Networks-on-Chip

Marco Zulkowski  
[Marco.Zulkowski@mailbox.tu-dresden.de](mailto:Marco.Zulkowski@mailbox.tu-dresden.de)

Dresden, 11.01.2012



DRESDEN  
concept  
Exzellenz aus  
Wissenschaft  
und Kultur

# Übersicht

## **Einleitung**

### **NoC Architekturen im Vergleich**

- **Untersuchte Architekturen**
- **Energieeffizienz**
  - **Leistungsaufnahme**
  - **Energieaufnahme je Paket**
- **Performance**
  - **Paketlatenz - gleichmäßig verteilter Traffic**
  - **Paketlatenz - lokalisierter Traffic**
  - **Paketlatenz - Streaming Traffic**

## **Auswertung**

## Einleitung

- Performance und Energiebedarf moderner SoC zunehmend durch Kommunikation bestimmt
- Sehr großer Anspruch an Skalierbarkeit (vgl. Shared Bus)
- Möglichkeiten für Einsatz von QoS steigen
  - Leichter umzusetzen
  - Verbesserte Fehlertoleranz
- Flit – Flow Control Unit
  - Elementares Datenpaket der Flusskontrolle

# NoC Architekturen im Vergleich

## Untersuchte Architekturen

- Vier Architekturen die sehr großes Spektrum abdecken
  - Circuit Switched Router
  - Wormhole Router
  - Virtual Channel Router mit QoS
  - Spekulativer Virtual Channel Router

# NoC Architekturen im Vergleich

## Circuit Switched Router

- Einfache statisch geschedulete Daten-Pfade
- Statische Allokation von Ressourcen
- Packed-Switched Netzwerk zum Initialisieren
- Flit : 64 bit

# NoC Architekturen im Vergleich

## Wormhole Router

- Dynamische Allokation
  - Header-Flit bestimmt Route für folgende Flits
- Aufwand der Allokation aber gering
- Flit : 74 bit

# NoC Architekturen im Vergleich

## Virtual Channel Router mit QoS (GuarVC)

- Wormhole Router mit Virtual Channels
- Source-Routing
- Zusätzlicher Header-Flit mit Routeninformation
- QoS
  - Guaranteed Throughput (GT)
  - Best Effort (BE)
- Flit : 68 bit

# NoC Architekturen im Vergleich

## Spekulativer Virtual Channel Router (SpecVC)

- Spekulation, dass wartende Pakete VC allokiieren
  - Switch Allokation wird vorzeitig ausgeführt
- Verringerte Latenzen
- Große Anzahl an Allokationslogik für gute Ressourcenteilung
- Flit : 82 bit

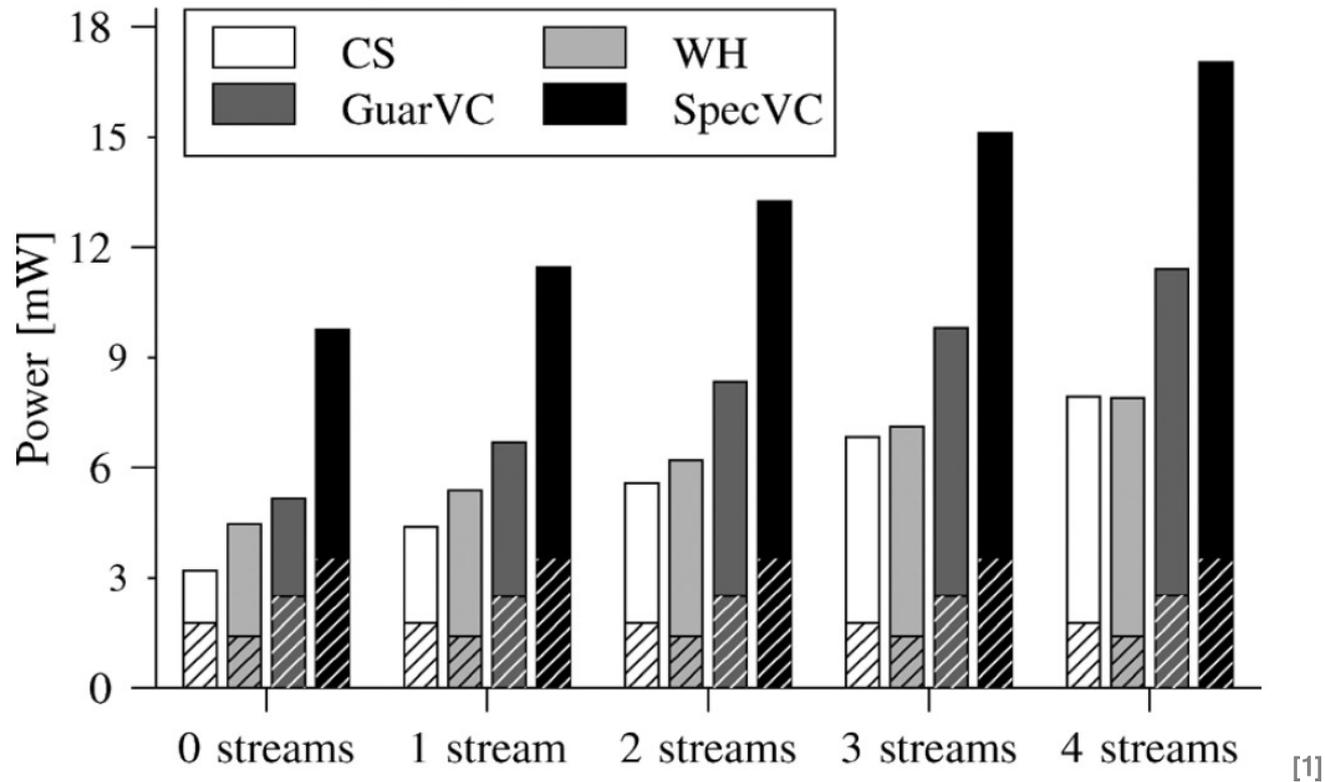
# Energieeffizienz

## Leistungsaufnahme

- Datenstrom durch einzelnen Router
- Ein Datenstrom je Port (N, S, O, W) zum gegenüberliegenden Port
- Paketgröße 256 Bit Nutzdaten
- Datenrate beträgt 30% der maximalen Linkbandbreite

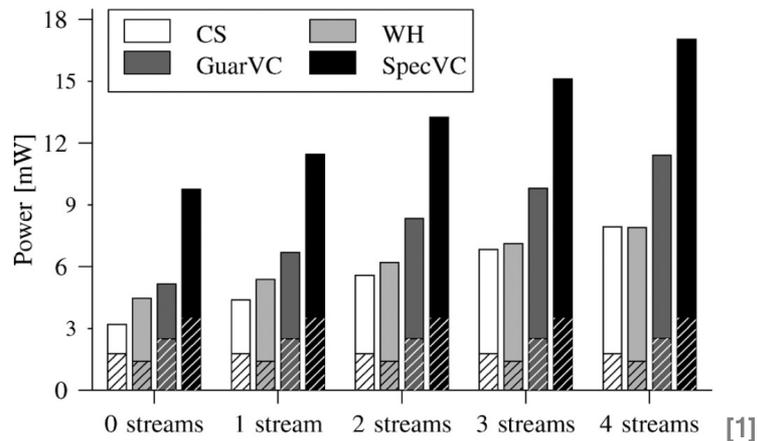
# Leistungsaufnahme

## Router



# Leistungsaufnahme

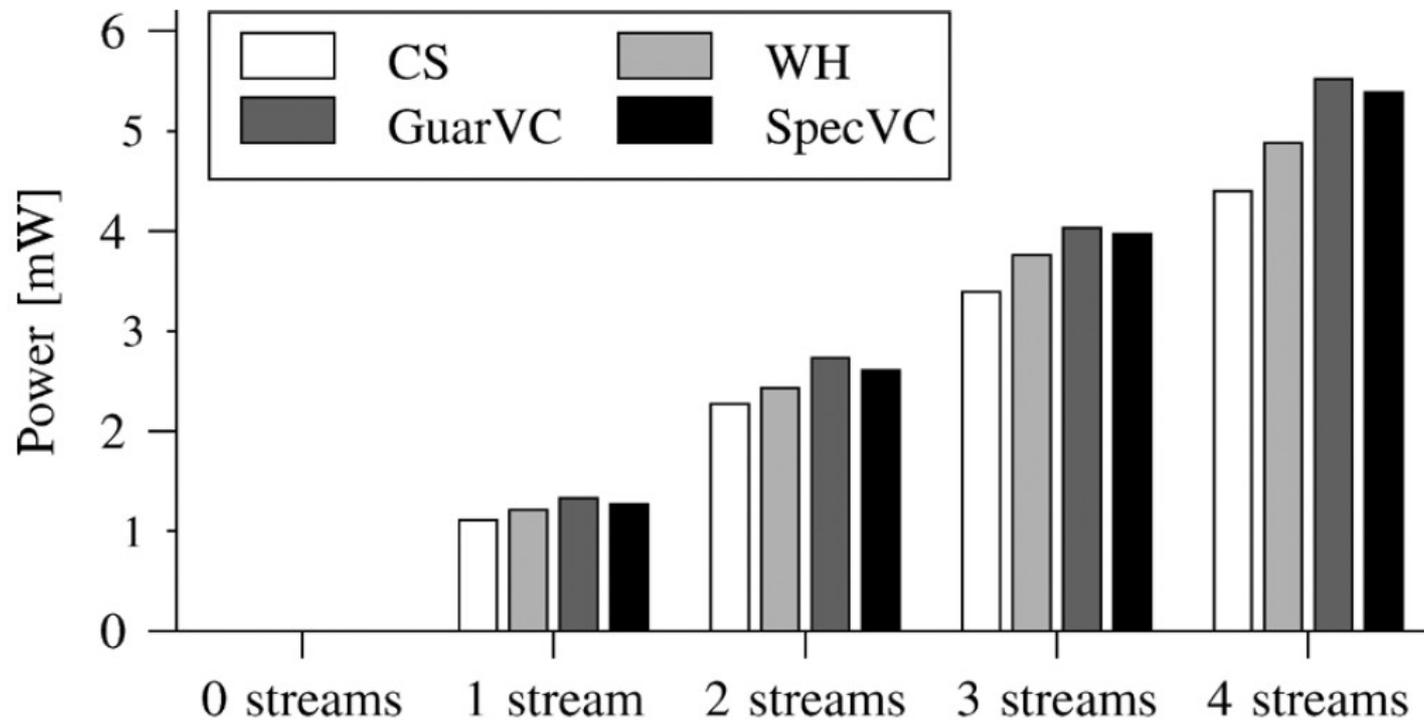
## Router



- Hohe Leistungsaufnahme ohne Belastung
  - Aktivität im Taktbaum
  - FIFOs
- Keine Techniken zur Reduktion der Verlustleistung (schraffierter Bereich)

# Leistungsaufnahme

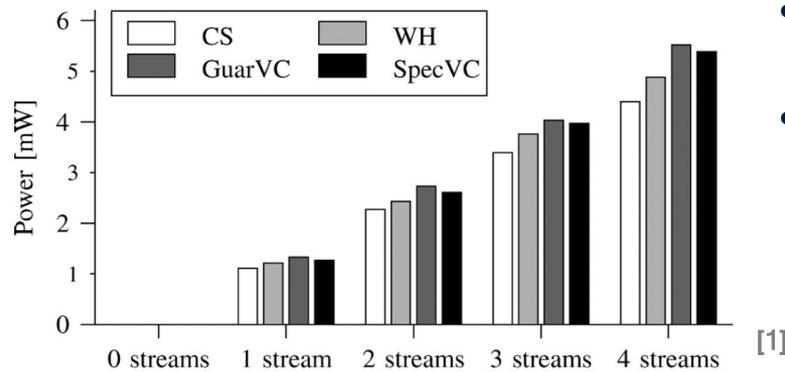
## Link



[1]

# Leistungsaufnahme

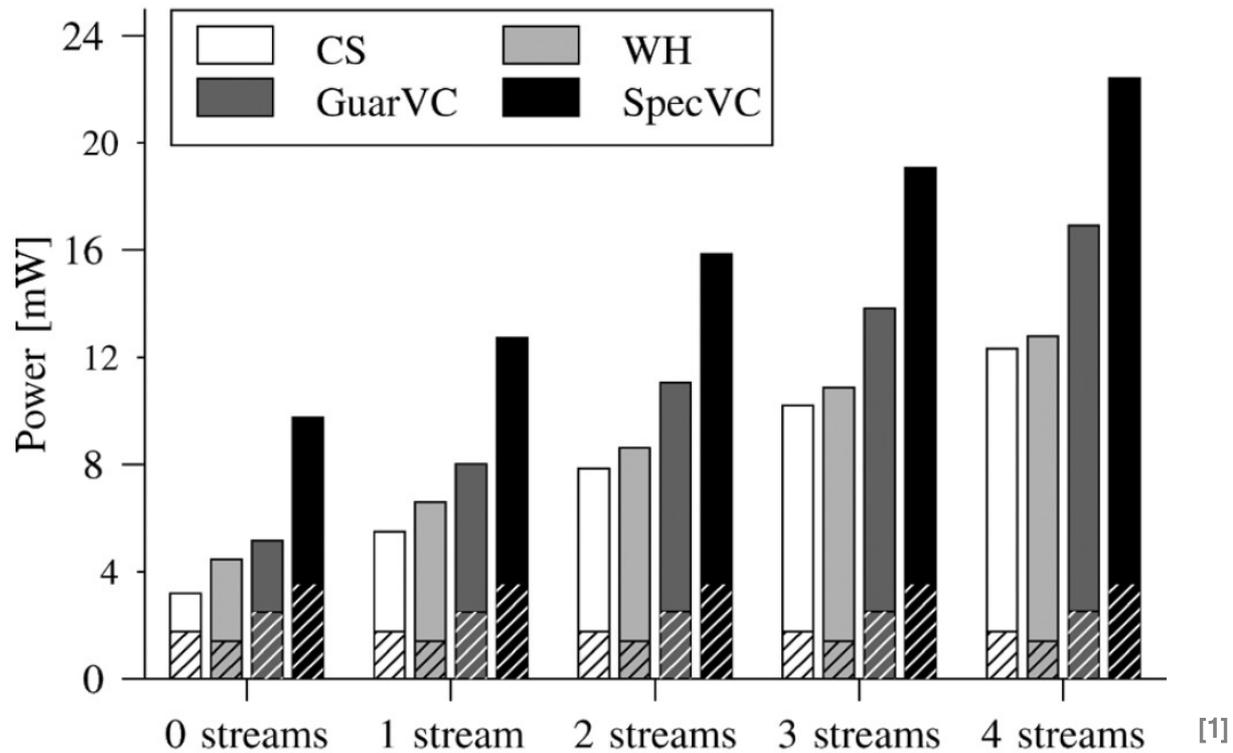
## Link



- Höchste Aufnahme bei GuarVC
  - Zusätzliches Header-Flit pro Paket
- Niedrigste Aufnahme bei CS
  - Nutzt kleinste Flit-Größe

# Leistungsaufnahme

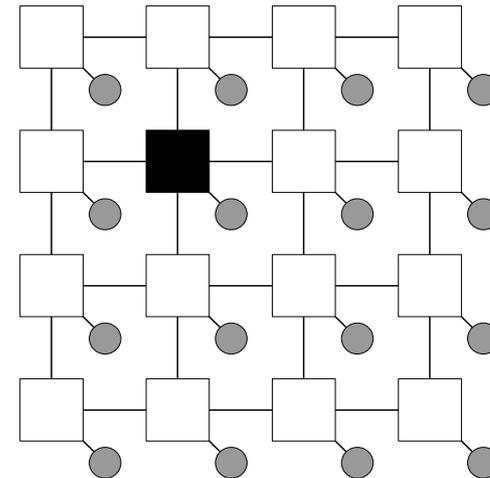
## Gesamtleistungsaufnahme



# Energieeffizienz

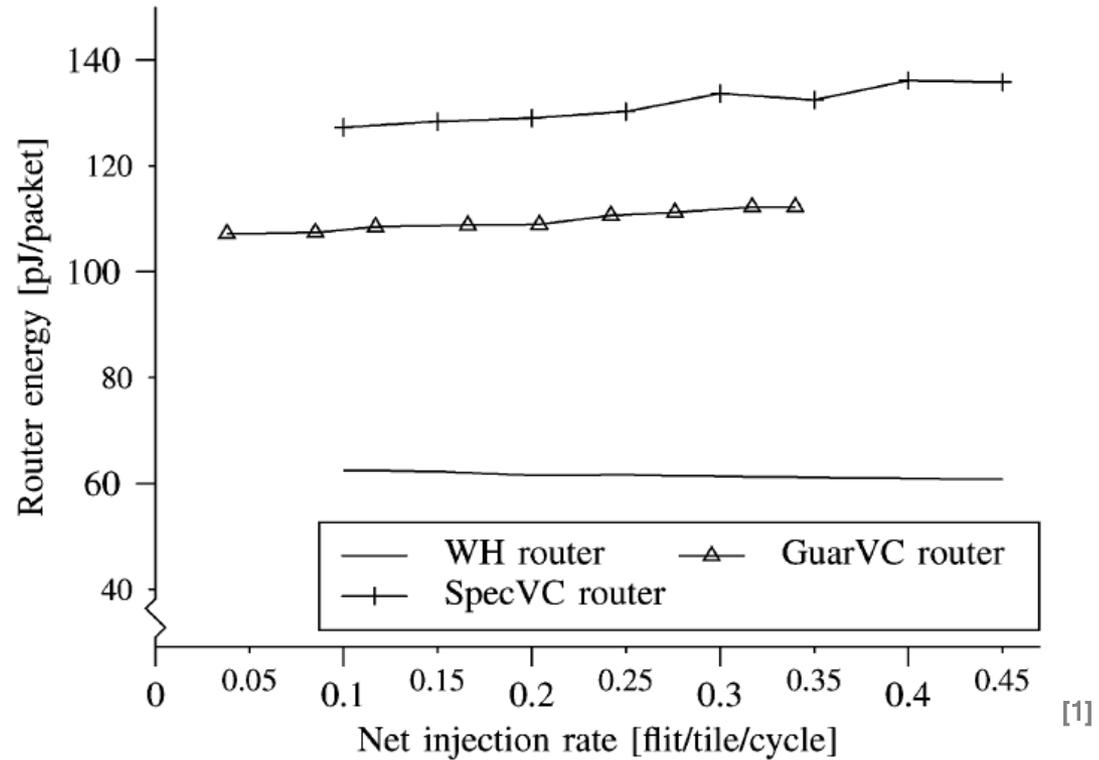
## Energieaufnahme je Paket

- 4x4 Mesh
- Injektion von Paketen an jedem Router
  - Zufälliges Ziel (ohne sich selbst)
  - Variierende Injektionsrate
- Paketgröße 256 Bit
- GuarVC mit BE Paketen
- Messung an einem Router
  - Position (2,2)



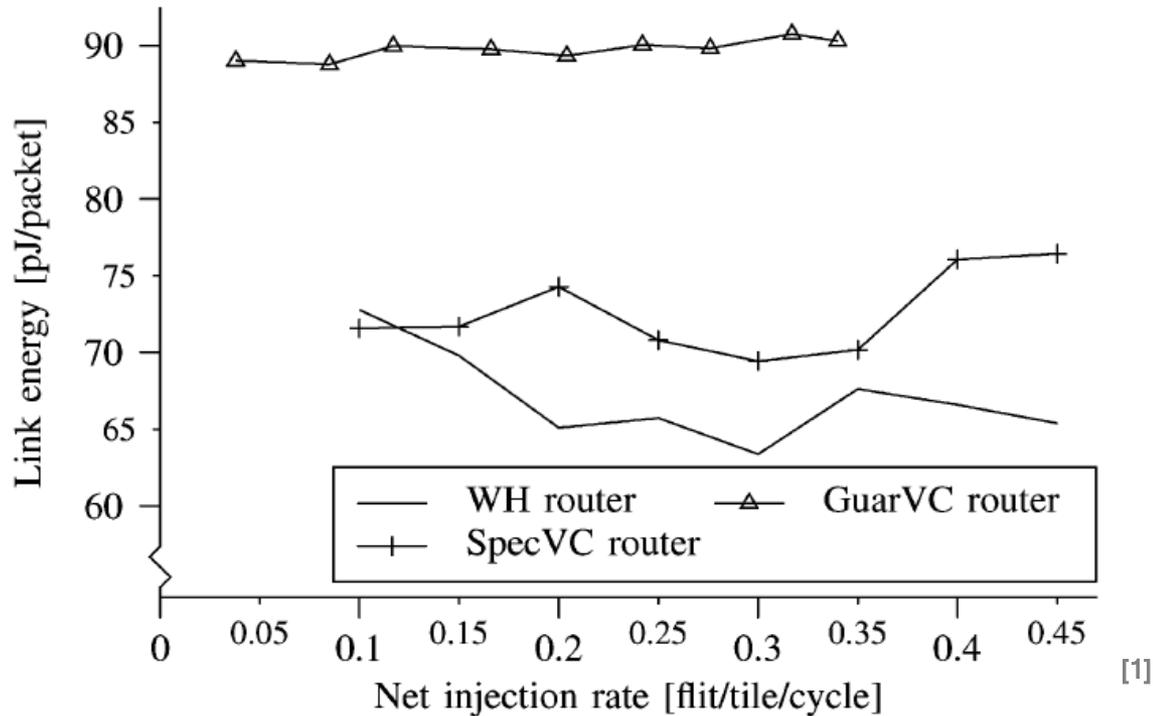
# Energieaufnahme

## Router



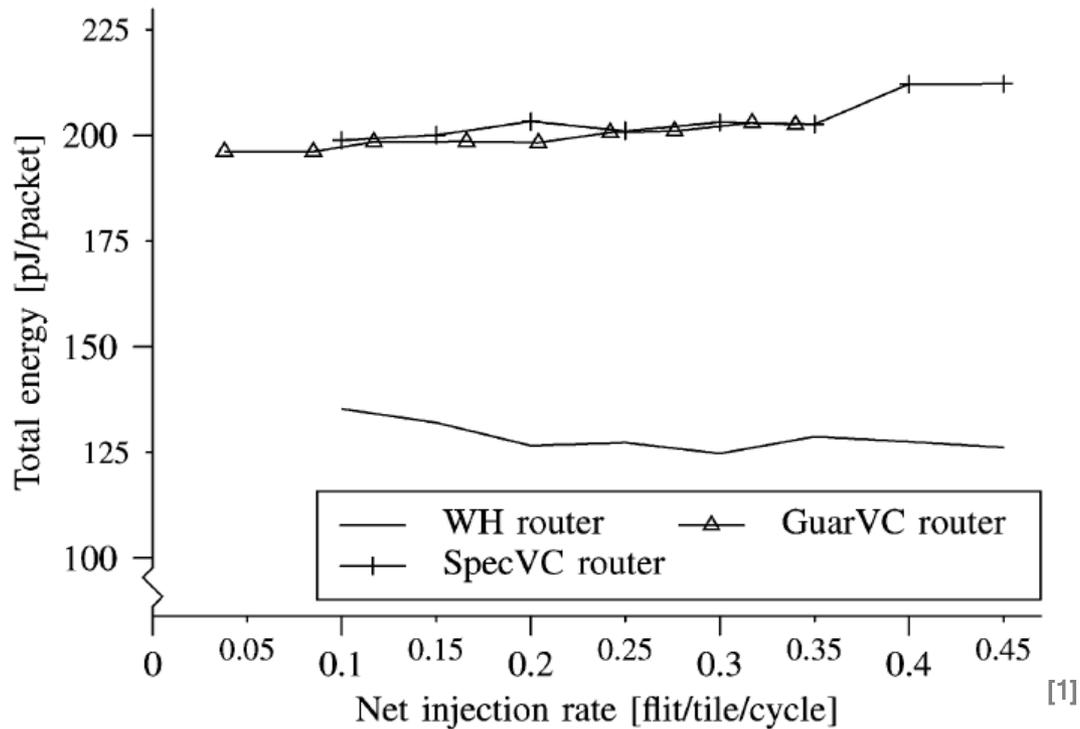
# Energieaufnahme

## Link



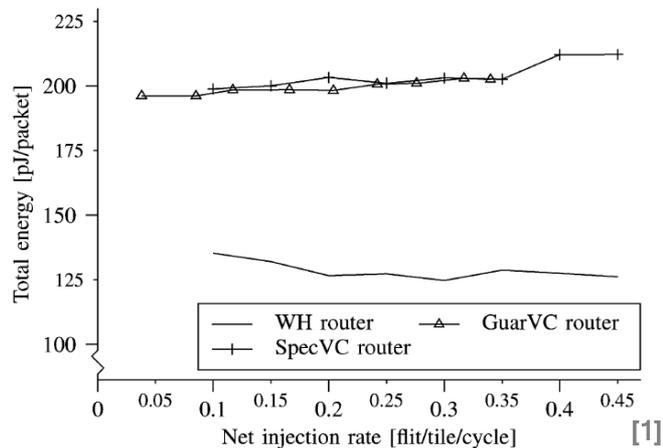
# Energieaufnahme

## Gesamtenergieaufnahme



# Energieaufnahme

## Gesamtenergieaufnahme

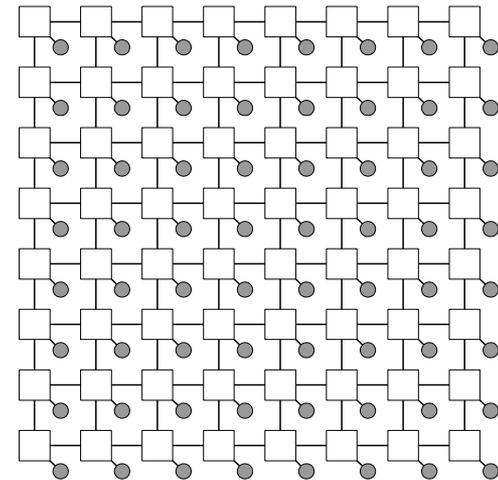


- Einfluss des zunehmenden Traffics sehr gering
  - Effektives Clock-Gating
- Anstieg bei VC Router
  - Mehr Aktivität bei Allokation und Flow-Control durch höhere Belegung der Ressourcen

# Performance

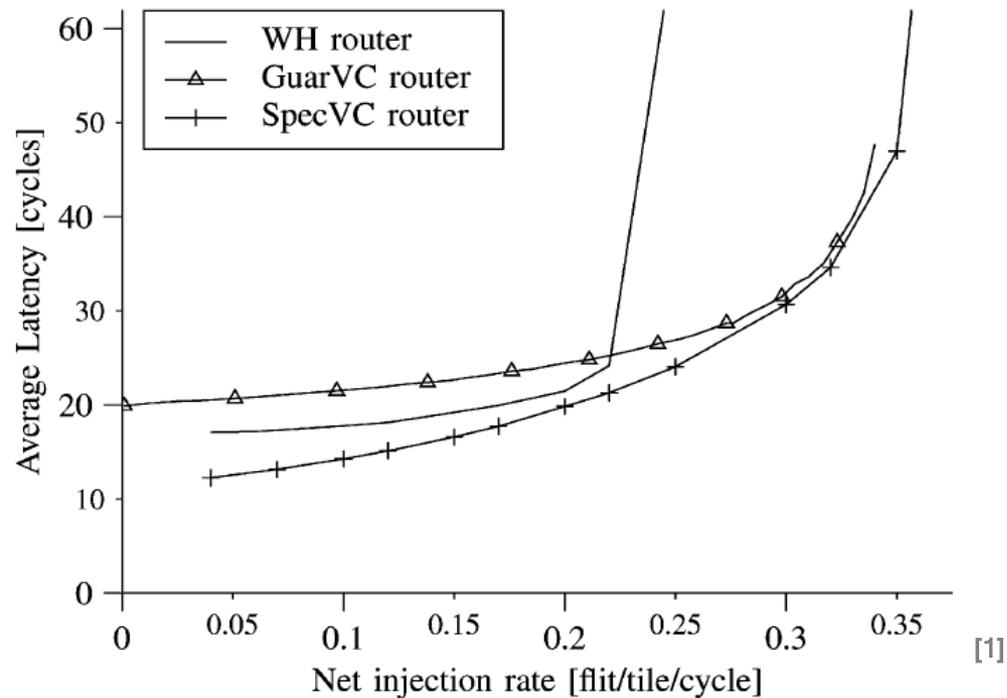
## Paketlatenz

- 8x8 Mesh
- Injektion von Paketen an jedem Router
  - Zufälliges Ziel (ohne sich selbst)
  - Variierende Injektionsrate
- 4 Flit lange Pakete
- Messung der Zeit zwischen Quell- und Ziel-Router



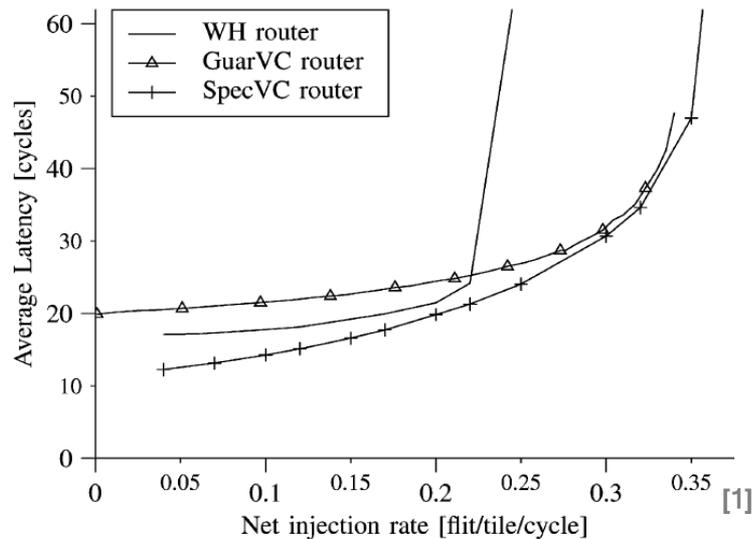
# Paketlatenz

## Gleichmäßig verteilter Traffic



# Paketlatenz

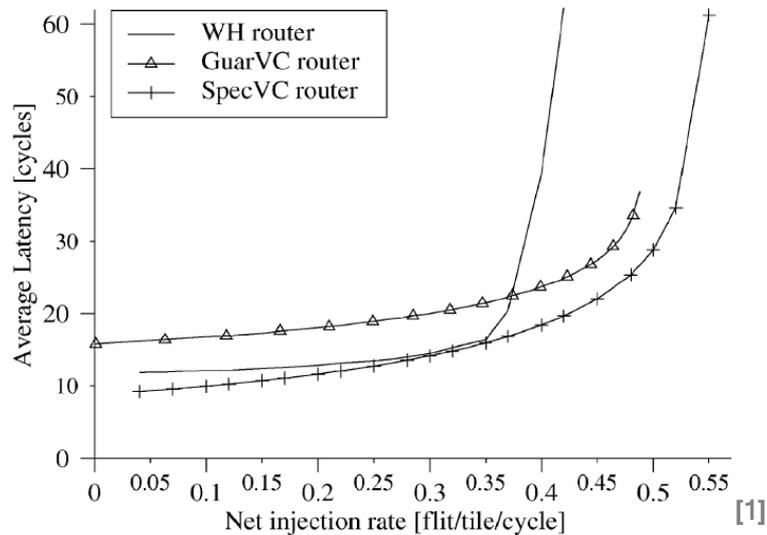
## Gleichmäßig verteilter Traffic



- GuarVC mit höchstem Delay
  - Einfache, statische VC alloktion
  - VCs für gesamten Pfad an Quelle allokiert
- Sättigung bei VC Router später

# Paketlatenz

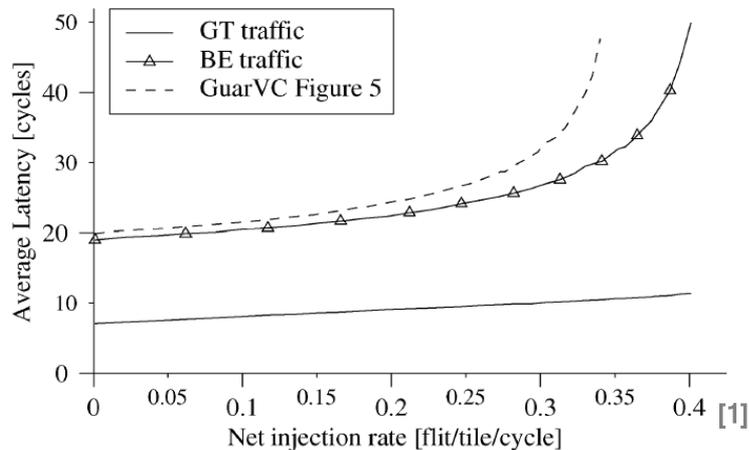
## Lokalisierter Traffic



- Allgemein
  - Verringerte Latenz
  - Höherer Sättigungspunkt
- Statische VC Allokation des GuarVC mit negativem Einfluss auf Sättigung

# Paketlatenz

## Streaming Traffic



- Für ein Paket mit GT gilt:
  - Alle Ressourcen sind pre-allokiert  
→ Serialisierungs-Delay und Hop-Distanz verursachen Latenz
- Keine Sättigung für Pakete mit GT
  - Da mind. 50% Linkbandbreite
- Sättigung für Pakete mit BE höher
  - Weniger Flits werden für längere Perioden geblockt

# Auswertung

- Auswertung mittels „Energy – Latency – Product“

$$\text{IELP}_{\text{sum}} = \int_0^{r_{\text{sat}}} \frac{1}{E(r) \cdot L(r)} dr$$

Network	<b>IELP<sub>sum</sub> [×10<sup>7</sup>] (excl. links)</b>		
	Uniform random	Local random	Streaming
WH	8.9 (19.1)	21.6 (45.5)	–
GuarVC – BE	6.8 (12.4)	12.8 (23.4)	8.5 (15.5)
– GT	–	–	29.7 (55.9)
SpecVC	9.6 (15.0)	19.4 (30.2)	–

[1]

## Auswertung

- WH und SpecVC ungefähr gleichauf
- Zusätzlicher Energiebedarf des SpecVC durch erhöhte Leistung ausgeglichen
- Spezialisierung des GuarVC liefert hohe Effizienz für GT
  - Aber abgeschlagen bei BE
- SpecVC als favorisierte Wahl gegenüber WH
  - Höchste Leistungsfähigkeit
  - Keine Reduktion des Energieeffizienz

## Quellen

[1] Banerjee et al.:

An energy and performance exploration of network-on-chip architectures, IEEE Trans. Very Large Scale Integr. Syst., 2009. Bandnummer: 17, Nummer: 3, Seiten: 319–329.

[2] Robert Mullins : The Design and Implementation of a Low-Latency On-Chip Network

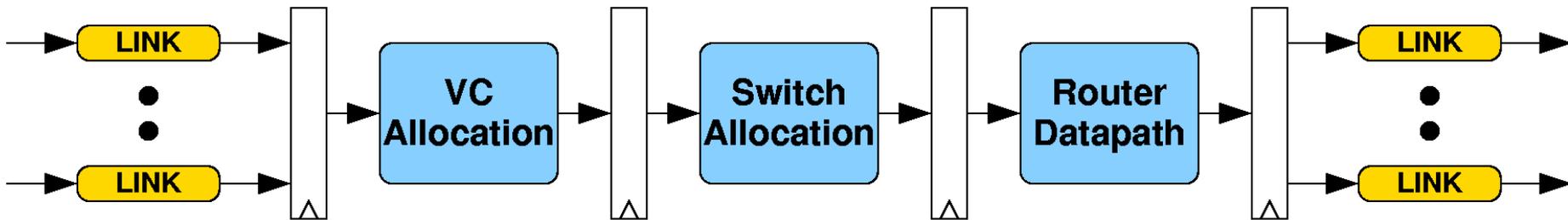
**Vielen Dank  
für ihre Aufmerksamkeit!**



**»Wissen schafft Brücken.«**

# Anhang

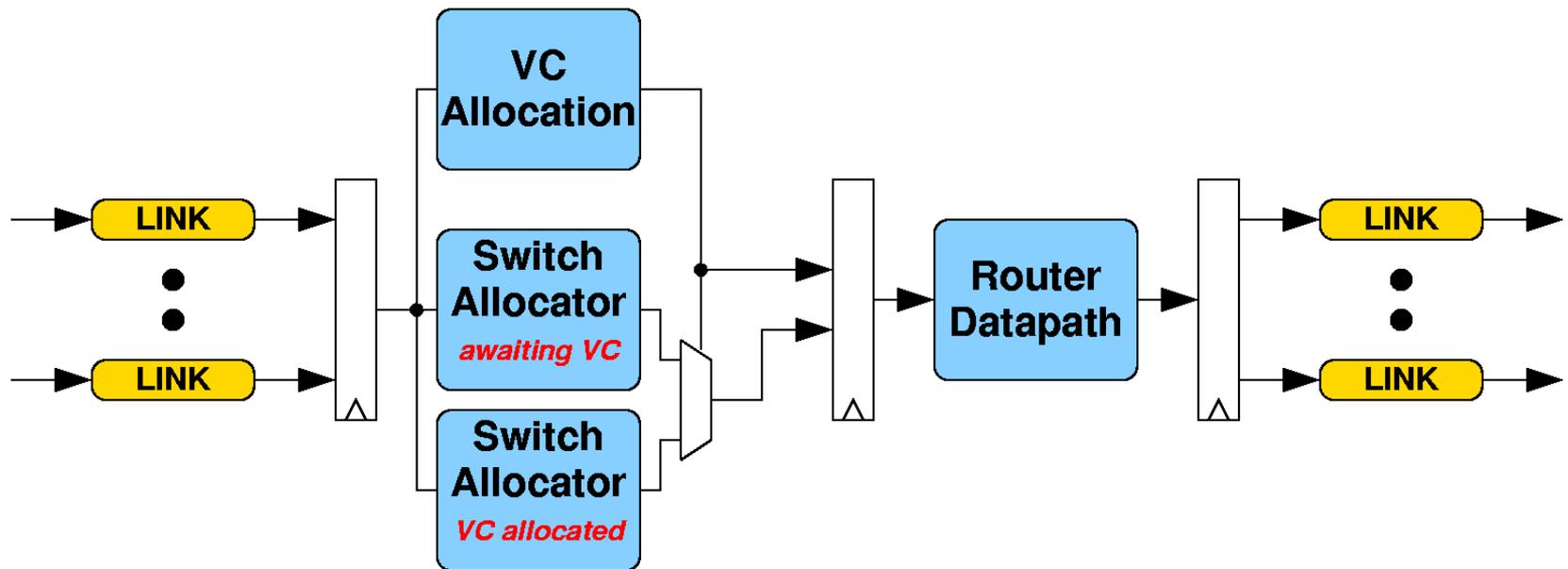
## Synchrone Pipeline



[2]

# Anhang

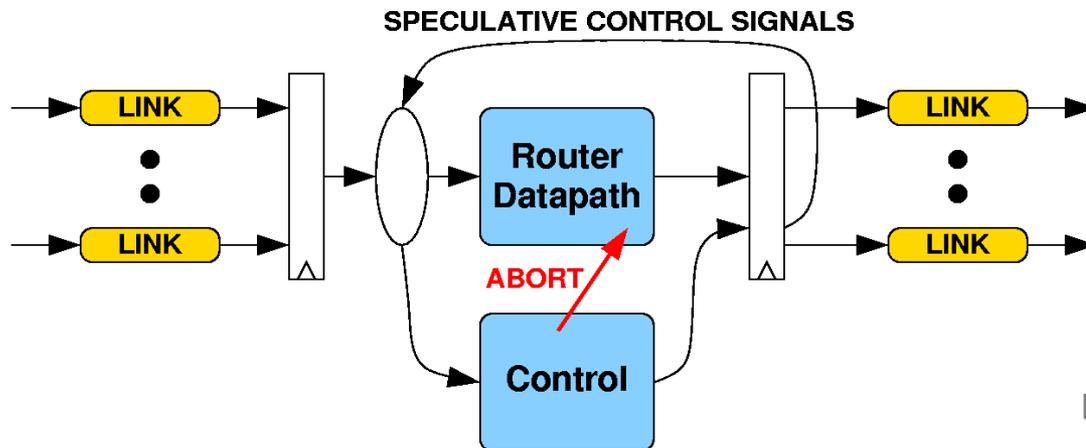
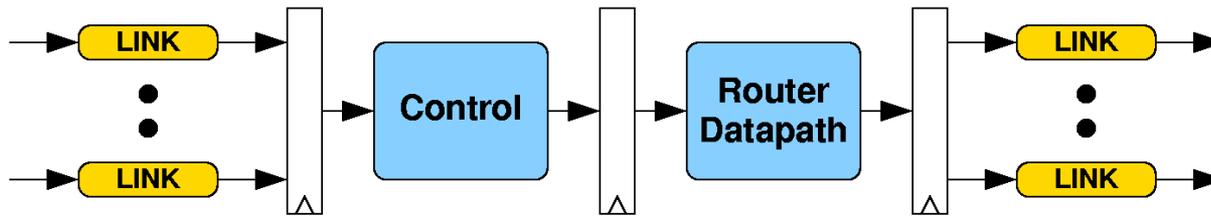
## Speculative Router



[2]

# Anhang

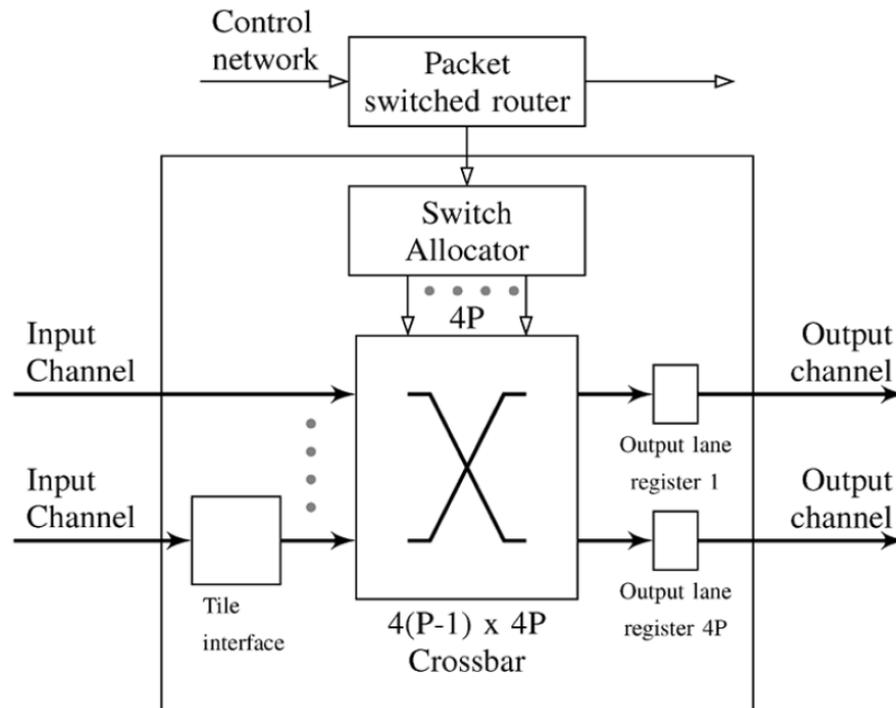
## Single Cycle Speculative Router



[2]

# Anhang

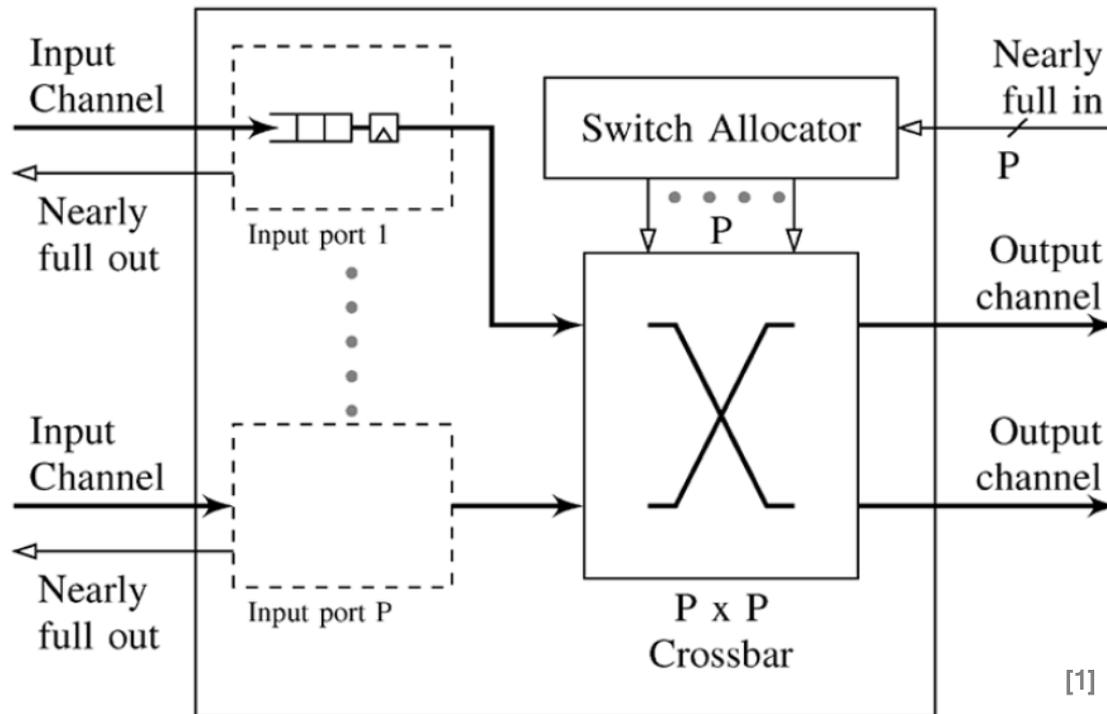
## CS Router



[1]

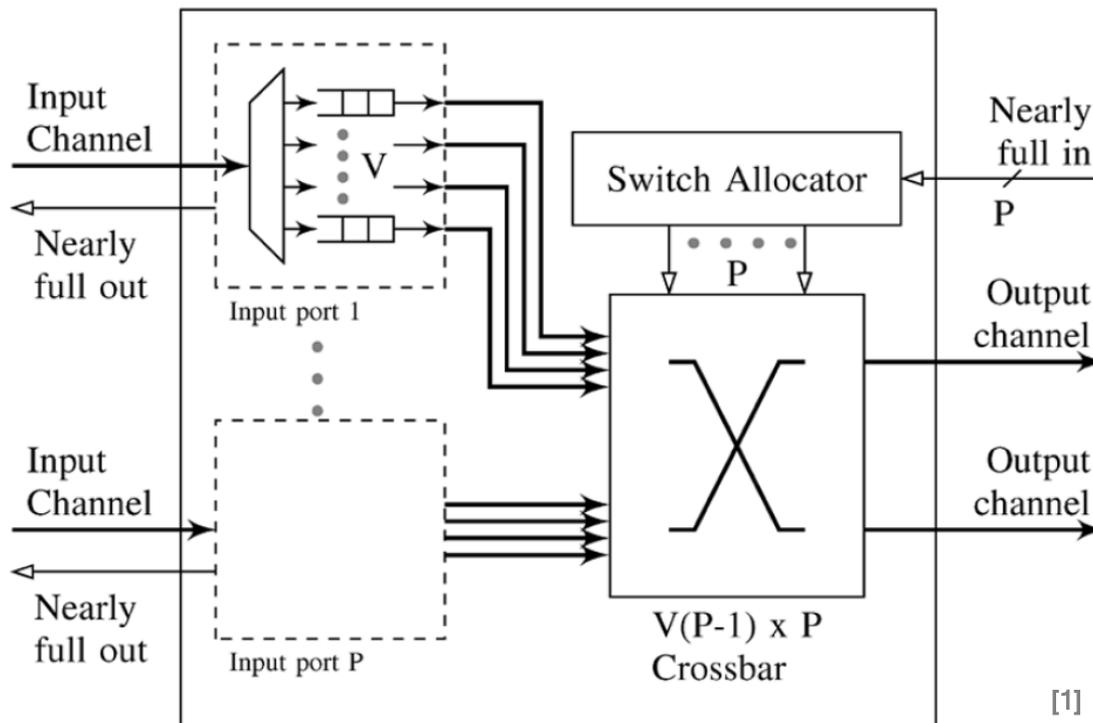
# Anhang

## WH Router



# Anhang

## GuarVC Router



[1]

# Anhang

## SpecVC Router

