



Reduction of Thermal Imbalances and Hot Spots in NoCs Using Proactive Temperature Management

Tim Wegner, Martin Gag, Dirk Timmermann, Adelinde Uhrmacher

5. GMM/GI/ITG-Fachtagung Zuverlässigkeit und Entwurf (ZuE)



Gliederung

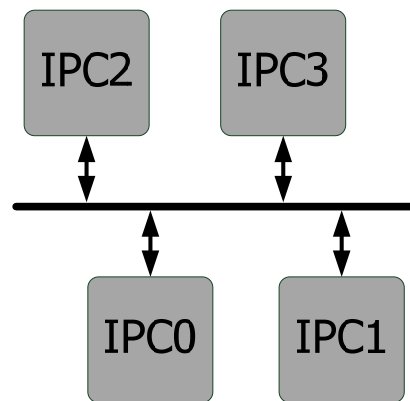
- Motivation
- Temperatur
- Proaktives Management
- Ergebnisse

Einleitung

Technologischer Fortschritt

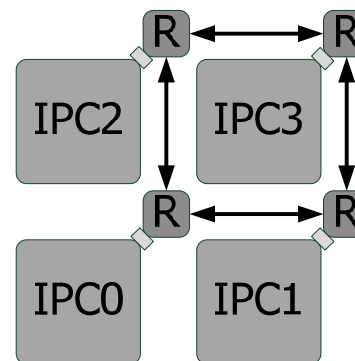
Anforderungen:

- Leistungsfähigkeit, Vielseitigkeit
- Energieeffizienz, Größe
- Zuverlässigkeit, Robustheit



synchron
(clock skew)

„Internet-on-a-Chip“



asynchron

- Dezentralität
- Parallelität
- Modularität

Einleitung

Herausforderungen

Krit. Trends:

- Leistungsaufnahme/Energie
- Leistungsdichte
- Defektwahrscheinlichkeit (# Strukturen)
- Anfälligkeit gegen Umwelteinflüsse (Strukturgröße ICs)



Temperaturbezogene Probleme zunehmend dominant und sicherheitskritisch (Leistung → Wärme)

Temperatur



Einfluss der Temperatur

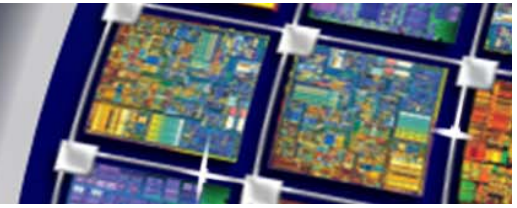
Problem:

- Thermischer Stress
 - Hot Spots
 - Temperaturungleichgewichte
- Hohe Temp. begünstigt phys. Effekte (TDDB, EM, ...)
- IC-Verhalten temperaturabhängig (U_{th} , ΔT_{switch})

Beeinträchtigung:

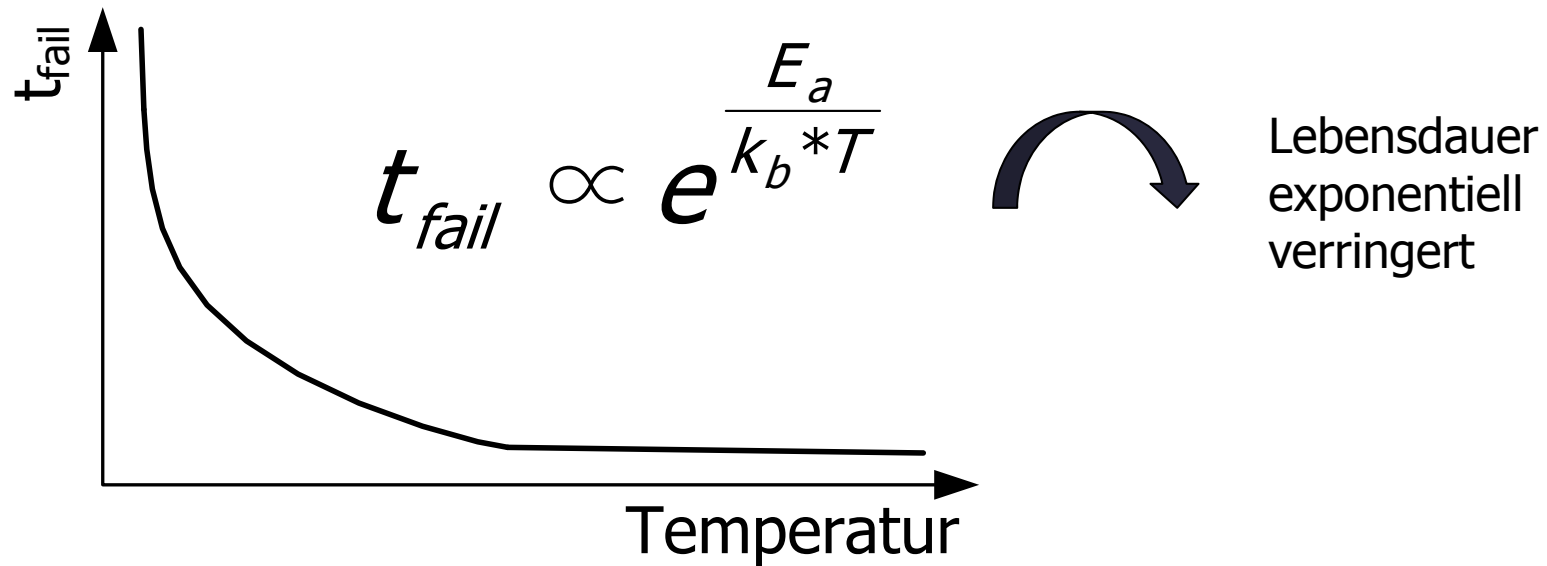
- Lebensdauer
- Funktionsfähigkeit
- Performance

Temperatur

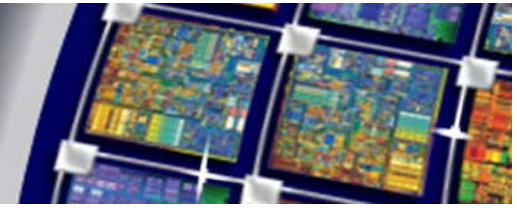


Arrhenius-Modell

- Bindeglied zwischen Temp. und phys. Effekten
- Abhängigkeit d. Geschwindigkeit chem. Reaktionen von Temp.
- Annahme: restliche Parameter konst.



Temperatur



Temperaturmanagement

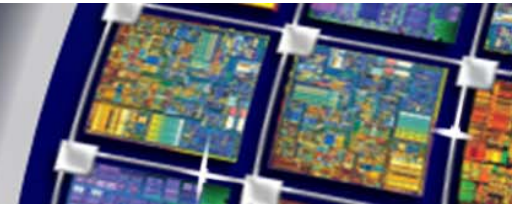
Ziel:

- Reduzierung von Temperaturen und Temperaturungleichgewichten
- ➔ Hinauszögern von Fehlfunktionen/Defekten
- ➔ Erhaltung der Leistungsfähigkeit

Weg:

- Temperaturüberwachung + -steuerung
 - schnell + effizient
 - geringe Systembeeinträchtigung
 - geringer Aufwand/Kosten

Temperatur



Temperaturmanagement

Überwachung:

- Kombination aus HW + SW
- Sensoren, Messfühler auf der Hardware
- Auswertung durch Monitoring-Software (z.B. Intel Active Monitor, CoreTemp, Everest)

Steuerung:

- Frequenz (DFS)
- Spannung (DVS)
- Task Relocation (TR)
- Abschaltung

Temperatur

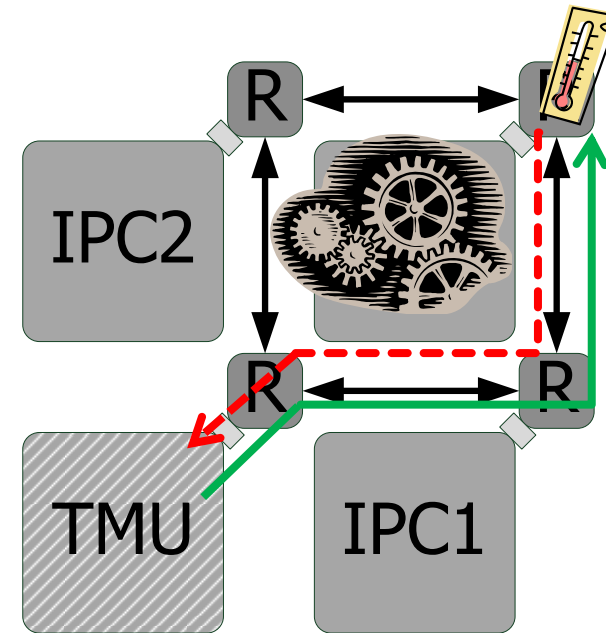
Reaktives Management

State-of-the-Art:

- (Schalt-)Aktivität
- Temperaturänderung
- Detektion (Sensoren)
- Weiterleitung zu zuständiger Stelle
- Reaktion (DFS, TR)

$$\Delta T_{react} = \Delta T_{activity} + 2 * \Delta T_{trans}$$

- Lange Antwortzeiten (therm. Zeitkonstante)
- u.U. hohe Verkehrslast



$$\Delta T_{trans} \approx 25...30 \text{ Takte} \\ (4x4 \text{ NoC})$$

$$(\tau_{th} = R_{th} * C_{th})$$

Temperatur

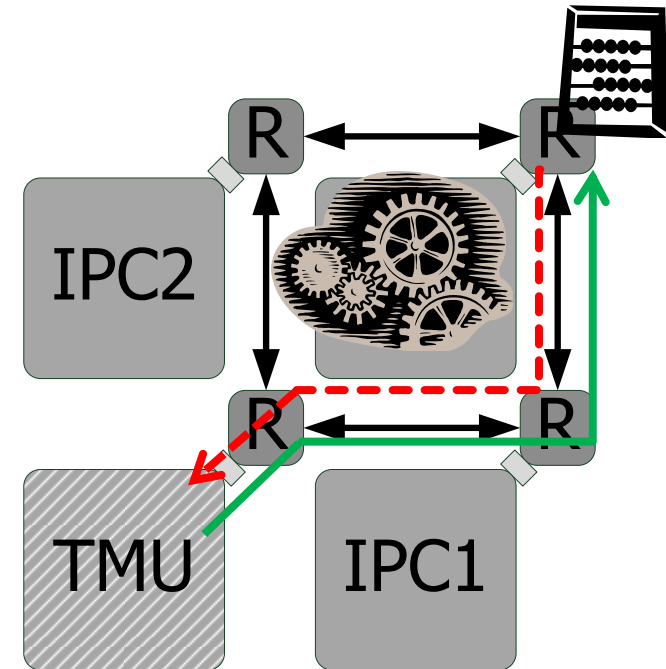
Proaktives Management

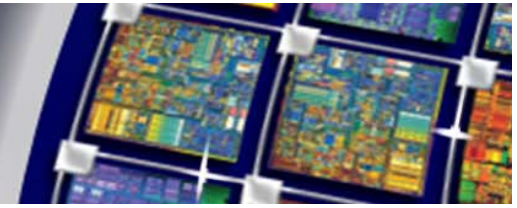
Idee:

- (Schalt-)Aktivität
- Detektion (Zähler)
- Weiterleitung zu zuständiger Stelle
- Temp.-änderung berechnen
- Gegenmaßnahmen (DFS, TR)

$$\Delta T_{react} = \Delta T_{compute} + 2 * \Delta T_{trans}$$

- verkürzte Antwortzeiten
- weniger Verkehrslast





Proaktives Management

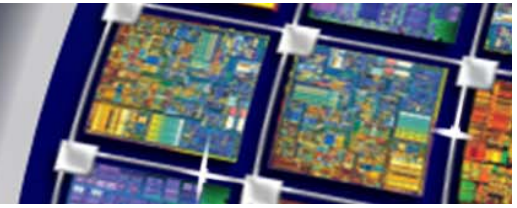
Aktivität:

- digitale Zählung (statt analoge Messung + AD-Wandlung)
- Fokus: Netzwerk, Router-Traffic
- Für IPC-interne Aktivität integrierte Elemente nutzen, Schätzung über Lastfaktoren

Ansätze:

- auf Flit-Basis
- **Anzahl Bit-Switches**

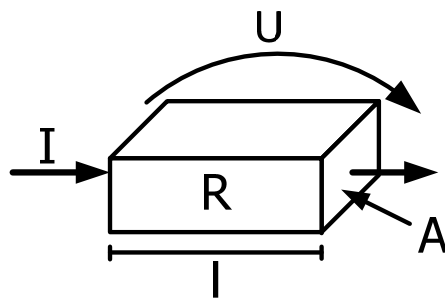
Proaktives Management



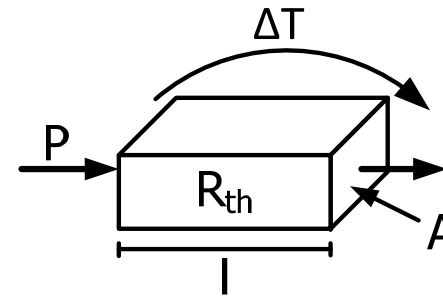
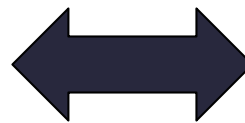
Temperaturmodell

Temp.-Modell	Formelzeichen	Elektr. Modell	Formelzeichen
Wärmefluss	P [W]	Strom	I [A]
Temp.	T [K]	Spannung	U [V]
Widerstand	R_{th} [K/W]	Widerstand	R [V/A]
Kapazität	C_{th} [J/K]	Kapazität	C [As/V]

Dualismus elektr. und therm. Energieflüsse



$$R = \frac{l}{\sigma * A}$$



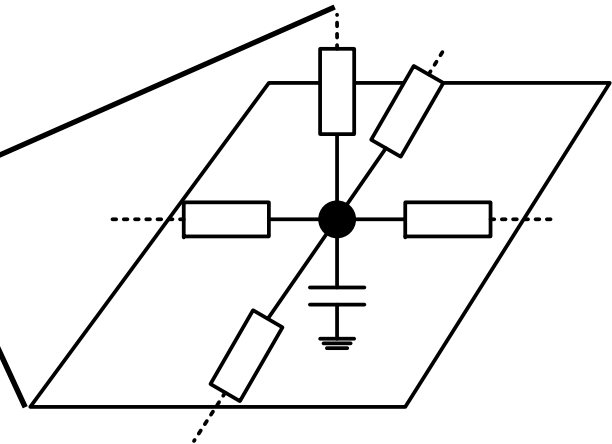
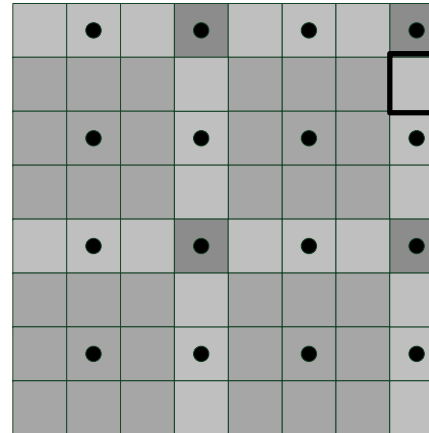
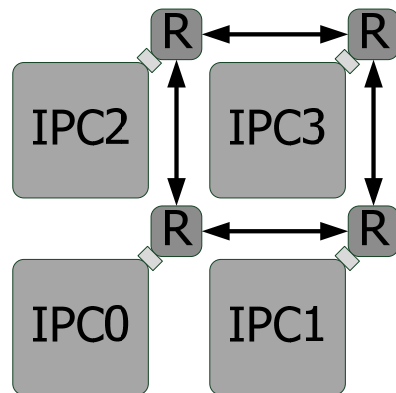
$$R_{th} = \frac{l}{\lambda * A}$$

Proaktives Management

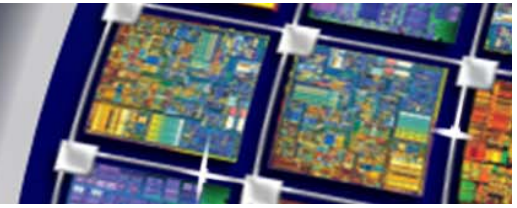


Temperaturmodell - Umsetzung

- Einteilung des NoCs in Kacheln
→ Abbildung auf Modell (inkl. Links)
- Granularität des RC-Netzwerks
→ Geschwindigkeit vs. Genauigkeit

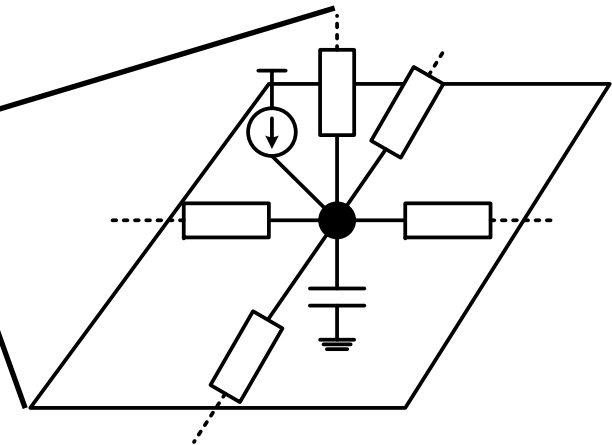
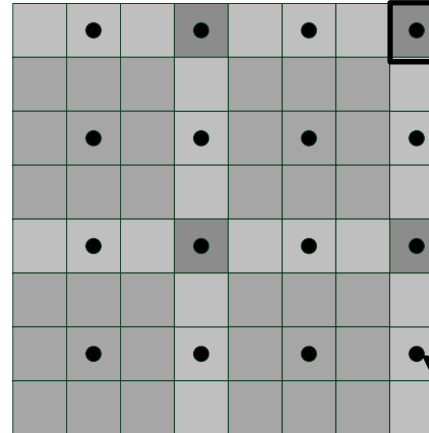
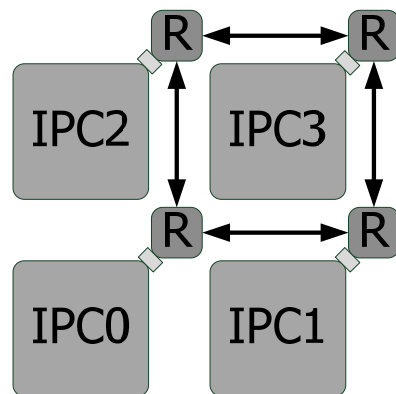


Proaktives Management



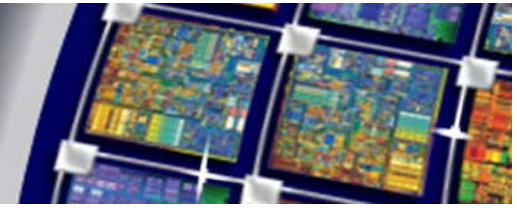
Temperaturmodell - Umsetzung

- Einteilung des NoCs in Kacheln
→ Abbildung auf Modell (inkl. Links)
- Granularität des RC-Netzwerks
→ Geschwindigkeit vs. Genauigkeit



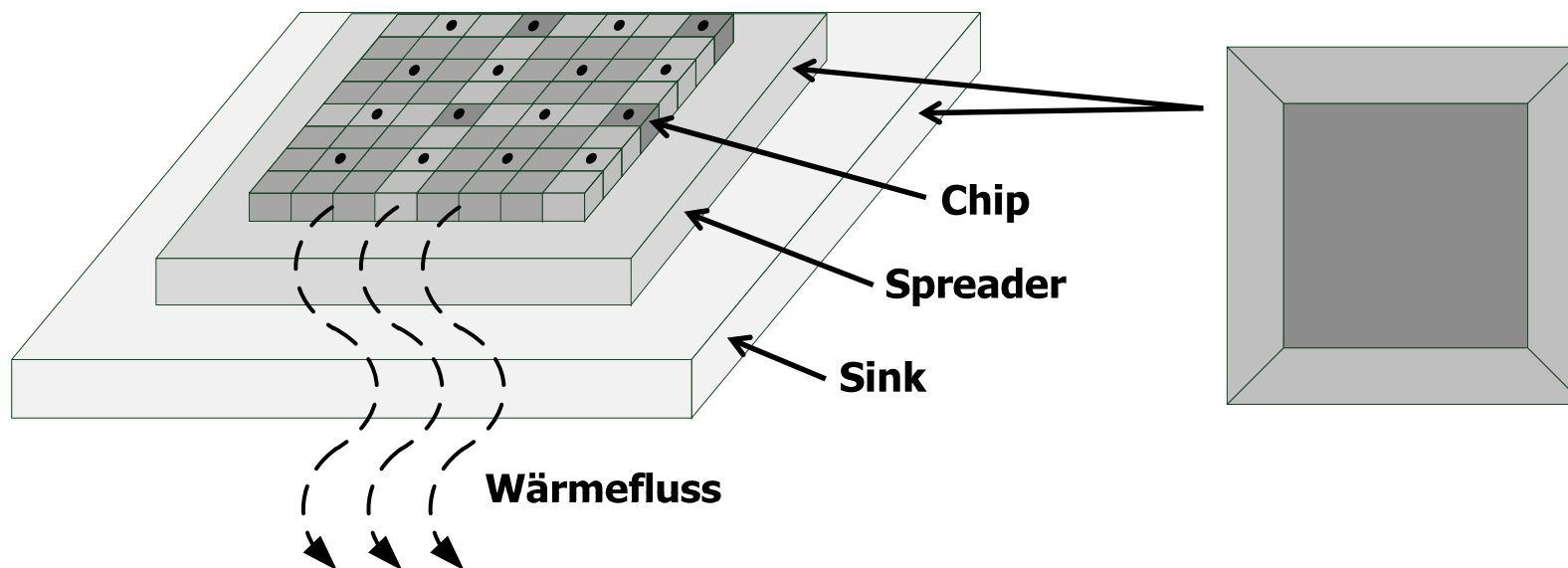
Strom-/Wärmequelle:
 $I \sim \text{Aktivität}$

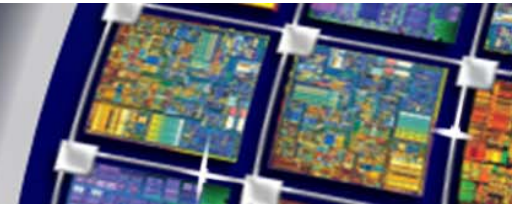
Proaktives Management



Temperaturmodell - Überblick

- Vollständiges Package (inkl. Heat Spreader + Heat Sink)
 - RC-Glieder, keine Wärmequellen
- NoC-Simulator = SystemC + OSCI TLM + SystemC AMS
 - SystemC + TLM: funktionale Simulation
 - SystemC AMS: Temperatursimulation

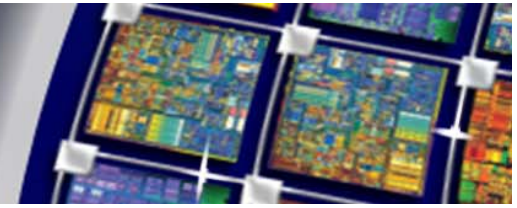




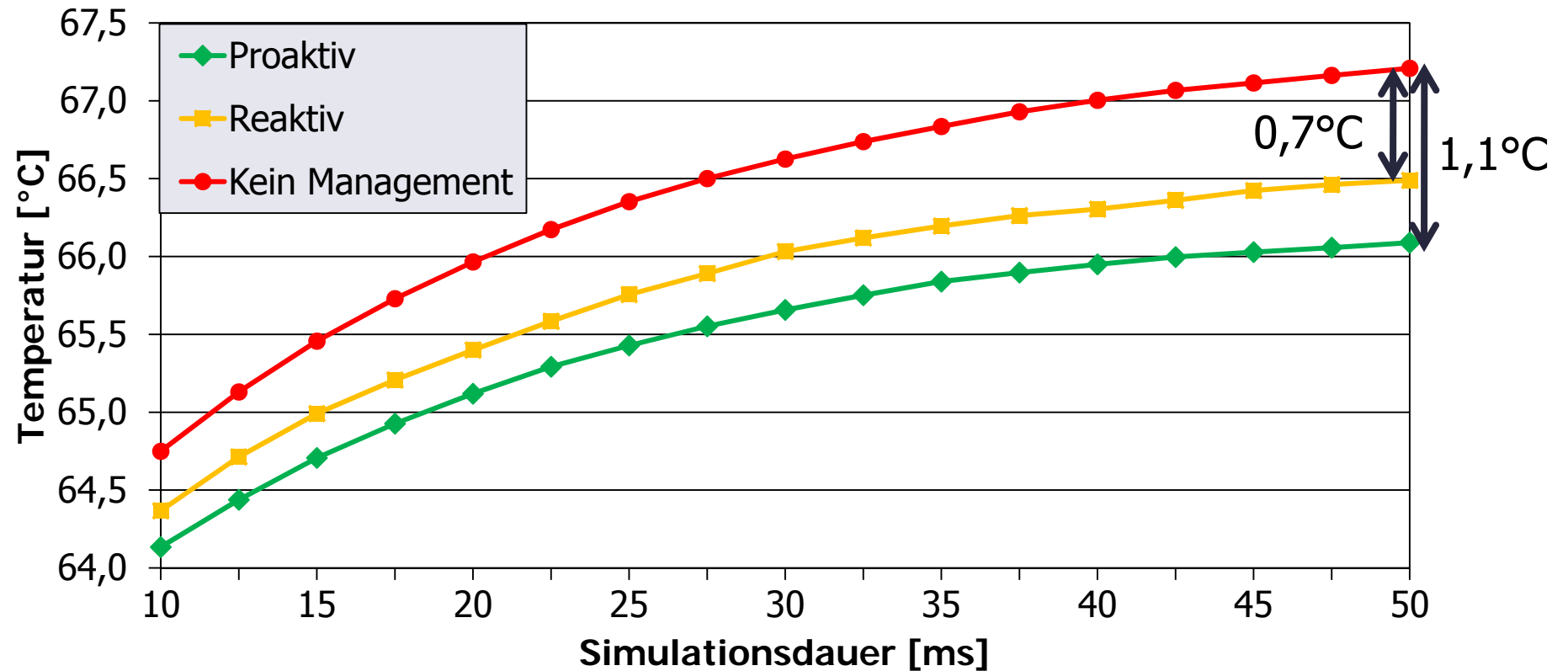
Simulationsparameter

- Granularität des RC-Netzwerks: 1 Kachel pro Komponente
- Verkehrsgenerierung:
 - Zufällige Paketgenerierung (Länge + Häufigkeit)
 - IPCs: versch. Lastfaktoren
- Temperaturüberwachung für IPCs, Router, Links
- Temperatursteuerung:
 - DFS (aktive Komponenten)
 - TR (IPCs)
- Vergleich: Proaktiv vs. Reaktiv vs. kein Management
 - Temperatur- und Leistungsparameter

Ergebnisse

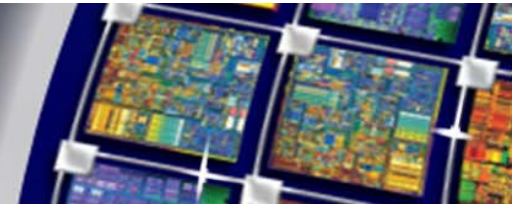


Durchschnittl. Temperatur - 4x4 NoC

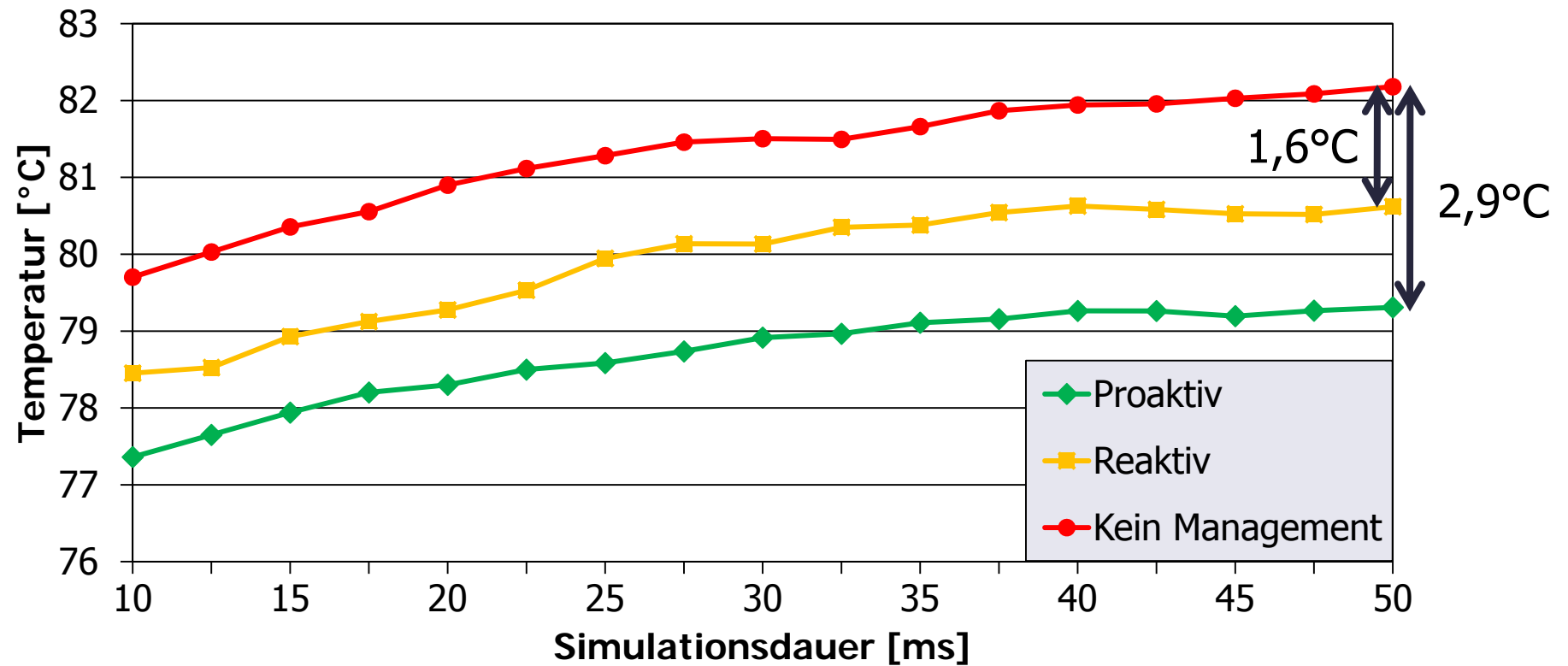


Durchschnittl. Verbesserung um 54%

Ergebnisse

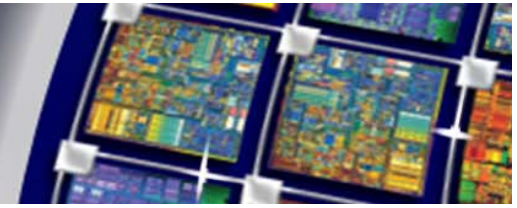


Max. Temperatur - 4x4 NoC



Durchschnittl. Verbesserung um 81%

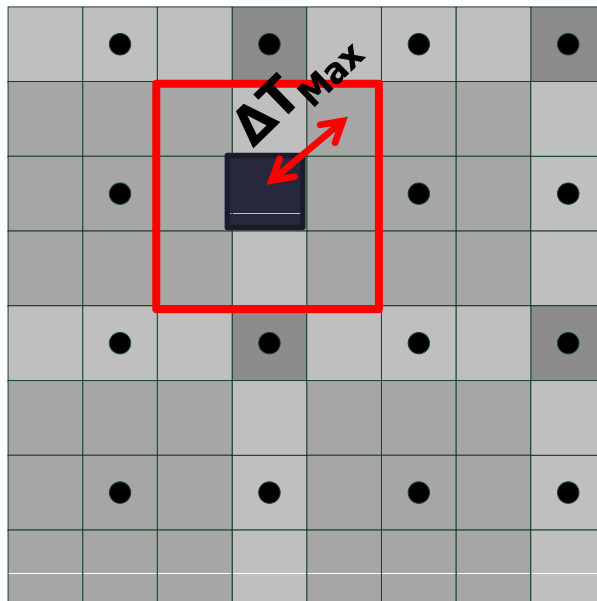
Ergebnisse



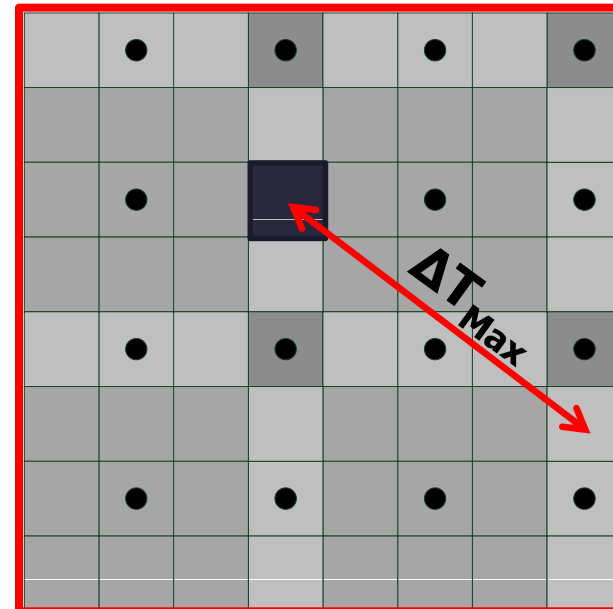
Temperaturbalance

- lokal: ΔT_{Max} zwischen benachbarten Kacheln
- global: ΔT_{Max} zwischen allen Kacheln

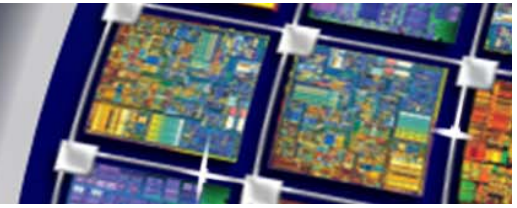
lokal:



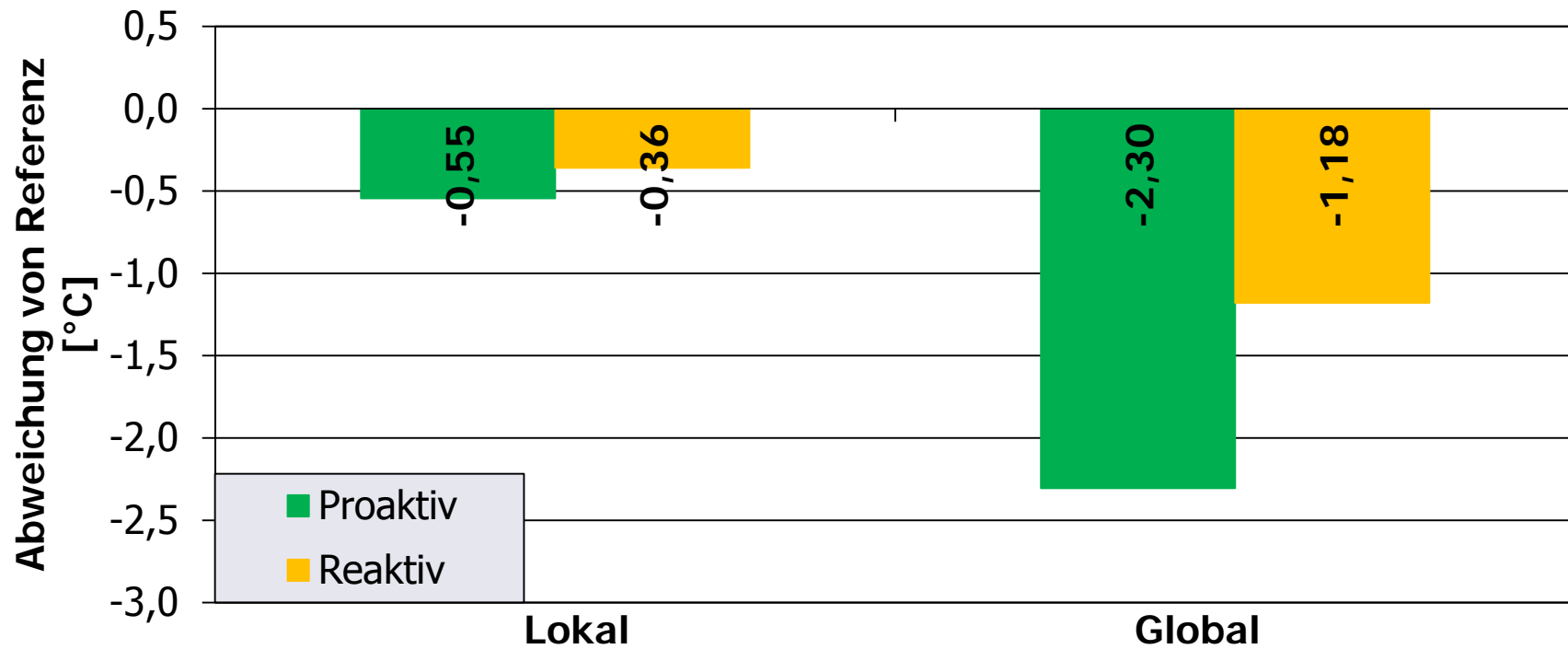
global:



Ergebnisse



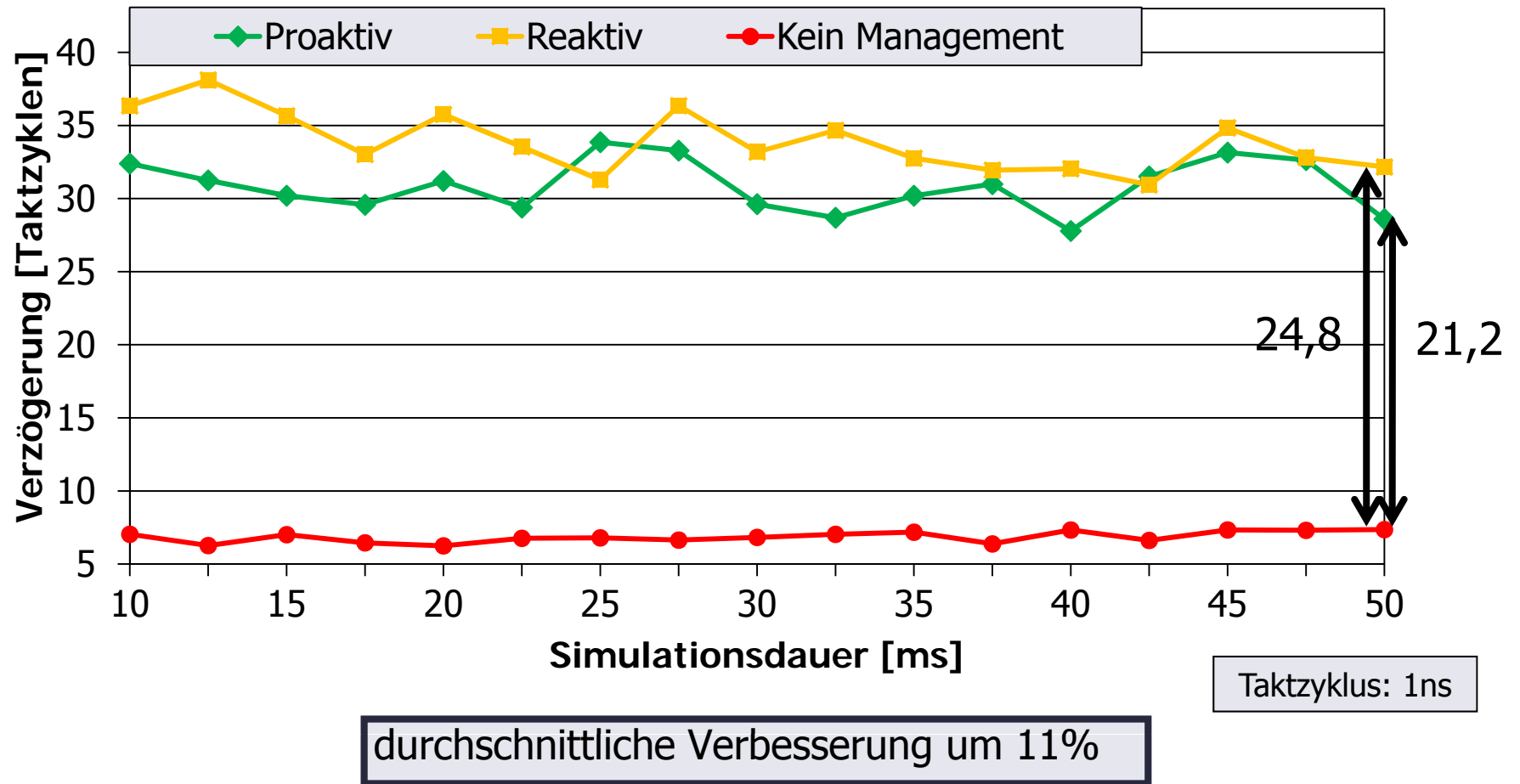
Temperaturbalance – 4x4 NoC



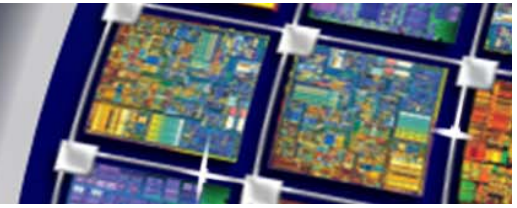
Verbesserung um 52% bzw. 96%

Ergebnisse

Router Delay



Zusammenfassung



Grenzen, offene Fragen:

- Kein vollständiger Ersatz für Sensoren (Korrektur, Kalibrierung)
→ Berechnung erzeugt zusätzlich Wärme (je nach Aufwand)
- Einfluss Technologieparameter?
- Portierbarkeit/Vergleich andere Simulatoren?

- Simulation der Temp.-verteilung NoC-basierter Systeme
- Proaktives Temperaturmanagement
 - Temp.-berechnung (Schaltaktivität)
 - Geschwindigkeit vs. Genauigkeit
 - Aufwand vs. Zielstellung

Vielen Dank! Fragen?

Kontakt: tim.wegner@uni-rostock.de



Homepage: www.imd.uni-rostock.de
www.networks-on-chip.com

