



# Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Energiebedarf, Dienstgüte & Performanz bei der Ressourcensubstitution in Software-Systemen

Christian Bunse – Fachhochschule Stralsund  
Hagen Höpfner – Bauhaus-Universität Weimar

---

Echtzeit 2011 – Eingebettete Systeme

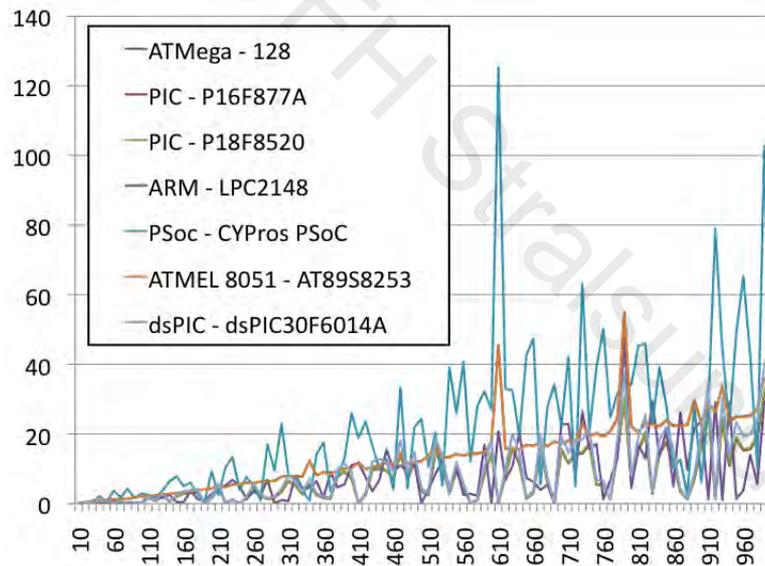
Boppard, 3/4.11.2011

# Energie & Informationstechnologie

- ◆ Ein Standard Computer (PC)
  - Typischer Energieverbrauch: 150 Watt → 125 KW/h pro Jahr
  - 62% aller Europäischen Haushalte (25 Länder) und 97% aller Firmen nutzen einen Computer
    - ◆ Europa verbraucht mehrere TW/h allein für Computer
    - ◆ Zusätzlich existieren in der EU mehr als 390 Millionen Mobiltelefone, ...
  - 2020 werden ca. 35% des globalen Energieverbrauchs für Computer/Computing aufgewandt.
  
- ◆ Verlagerung von Rechenzentren (Facebook, etc.)
  
- ◆ Eine Google-Suche repräsentiert einen CO<sub>2</sub> Ausstoß von 2-10g [Wissner-Gross]
  
- ◆ Forschung im Bereich Energie-Verbrauch fokussiert häufig auf Hardware Aspekte. Stichworte: Green-IT, Low-Power Design, „Dynamic Voltage Scaling“, ...
  
- ◆ Frage: Hat Software einen Einfluss auf den Energieverbrauch?

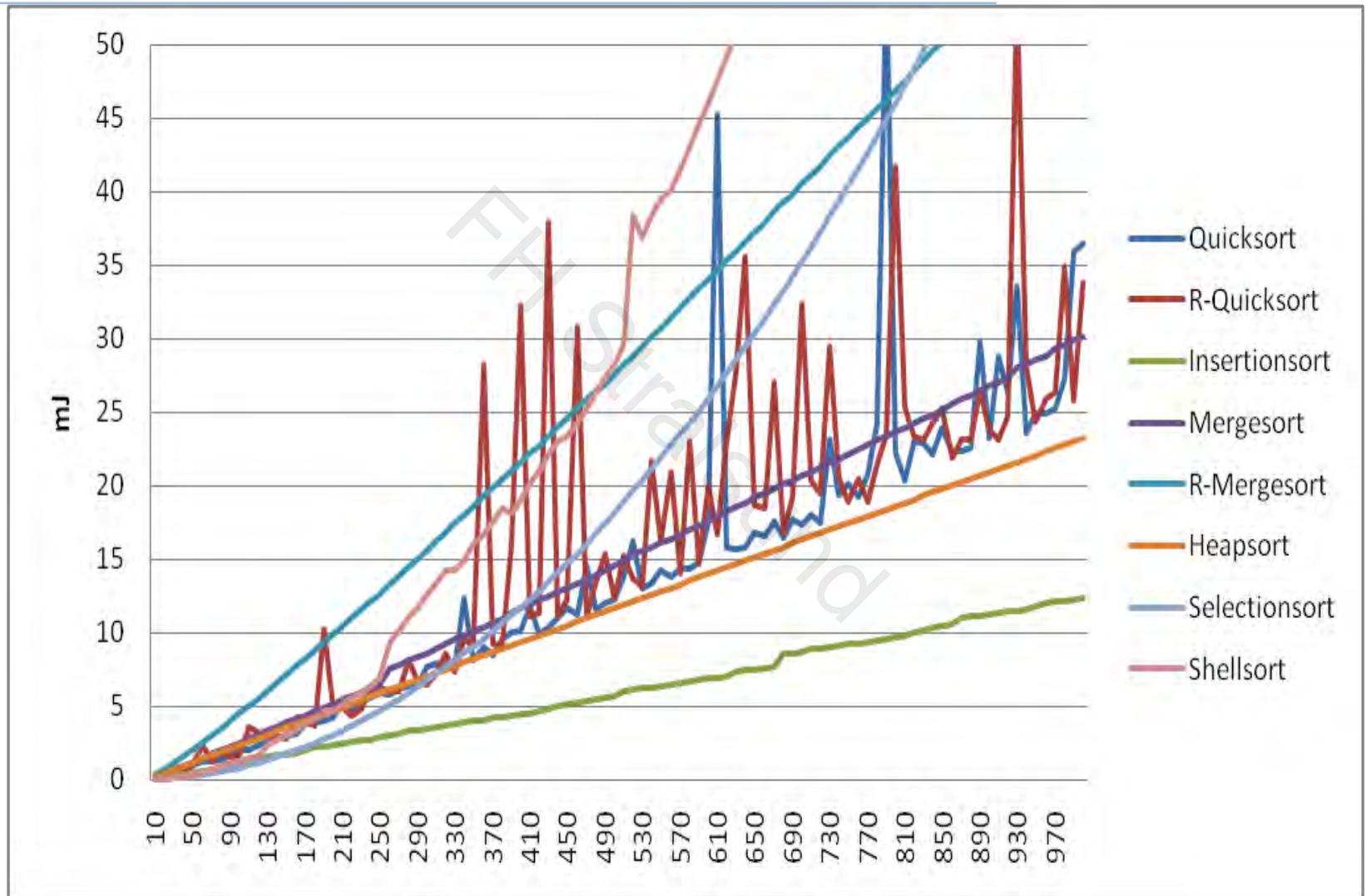
# Energie-Signaturen

- ◆ Fallstudien und Messwertanalyse lassen vermuten:
  - Algorithmen haben eine eindeutige Energiesignatur (statistisch signifikante Korrelation)



- Charakteristik lässt sich auf zusammengesetzte Systeme übertragen
- Hypothese: Trifft auch für Komponenten und Systeme zu
- Frage: Optimierung

# Energie & Software



# Ressourcen-Substitution

<i>Substitution</i>	CPU	Kommunikation	Speicher
CPU		Verlagerung v. Berechnungen auf einen Server	Materialisierung und WV temp. Ergebnisse
Kommunikation	Lokale Berechnung		Lokale Datenhaltung
Speicher	Datenkompression und kompakte Strukturen	Server-basiertes Datenmanagement	

# Ressourcen-Substitution & Energiebedarf

## ◆ Grundlagen

- Drahtlose Kommunikation erfordert einen signifikanten Energie-Einsatz
- CPU basierte Operationen benötigen weniger Energie als Auslagerung in externen Speicher
- Datenkompression (>10%), Übertragung und Dekompression erfordert weniger Energie als direkte Übertragung
- Dateikomprimierung führt zu signifikanten Energieeinsparungen bei Festplatten
- ...

## ◆ Die Abschätzung der Substitutionskosten erfolgt in zwei Phasen:

- **Phase 1 ist die „rasche“ Approximation des Energiebedarfs der verwendeten Algorithmen und Komponenten anhand der Energiekomplexitätsklasse**
- Phase 2 umfasst in einem separaten d.h. parallelen Prozess eine detaillierte Abschätzung unter Berücksichtigung aller relevanten Faktoren (Datengrößen, Benutzerwünsche, Plattform, etc.).

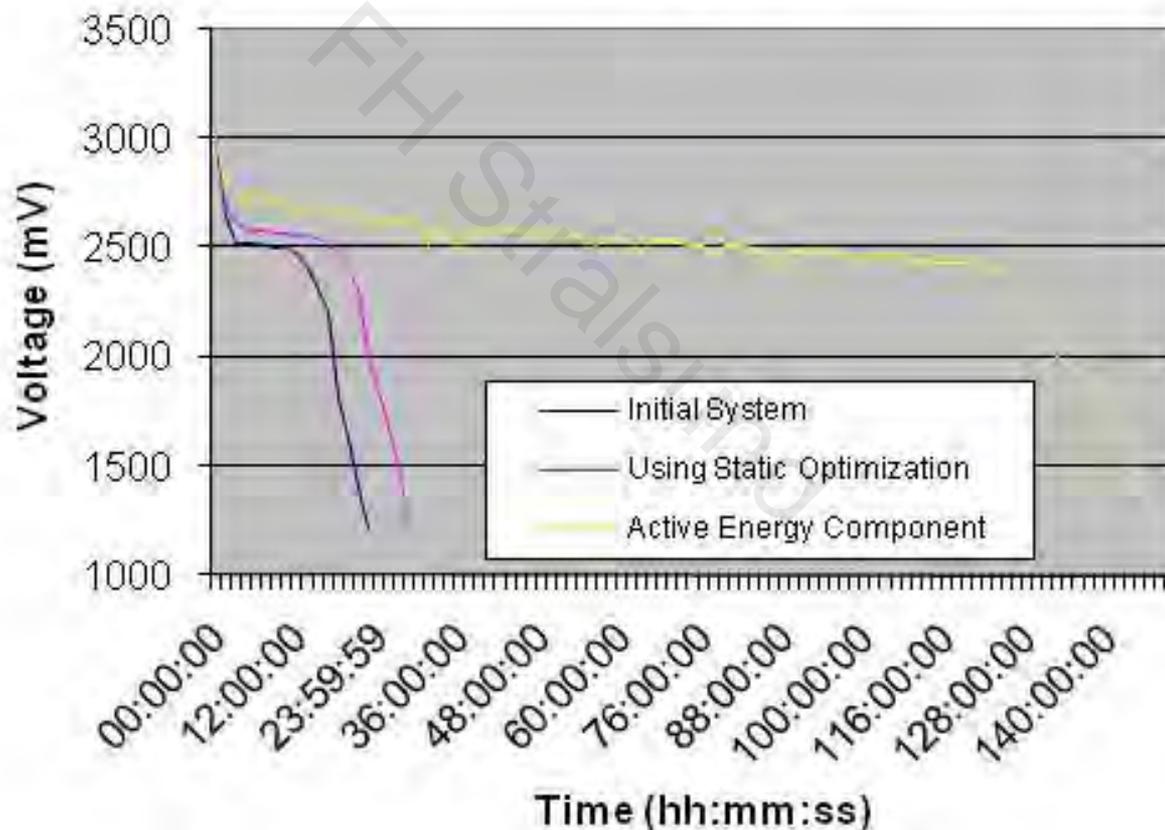
# Fallstudie – Wireless Sensor Network



- ◆ Controller, Router-, und End-Knoten
- ◆ Überwachung von Vital- und Geodaten bei Herdentieren
- ◆ Kommunikation mittels ZigBee und WLAN
- ◆ JN5139, 32-bit RISC, 16MIPS, 192kB ROM, 96kB RAM

# Messergebnisse – Batterie-Laufzeit

## Wireless Sensor Network - ZigBEE Communication



# Optimierungsproblematik

- ◆ Optimierung bewegt sich in einem sog. Qualitätsdreieck
- ◆ Optimierung ist immer zum Nachteil „eines“ Aspekts
  - Hohe Güte und geringer Energiebedarf  
→ Niedrige Performanz
  - Geringer Energiebedarf und hohe Performanz  
→ Geringe Güte
  - Hohe Qualität & hohe Performanz  
→ Hoher Energiebedarf
- Herausforderung ist die Definition einer systematischen Optimierungsstrategie



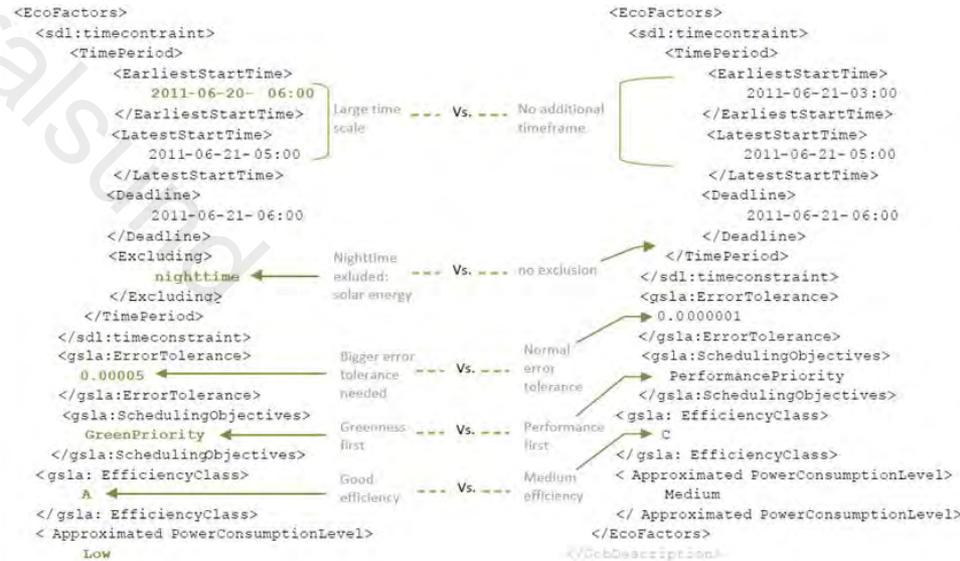
# „Service Level Agreement“

## ◆ Dienstgütevereinbarung

- Schnittstelle zwischen Auftraggeber und Dienstleister
- Definiert zugesicherte Leistungseigenschaften

## ◆ GreenSLA

- Berücksichtigung von Energieaspekten
- Realisierung mittels XML

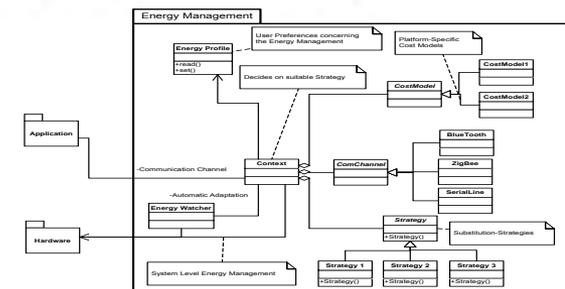
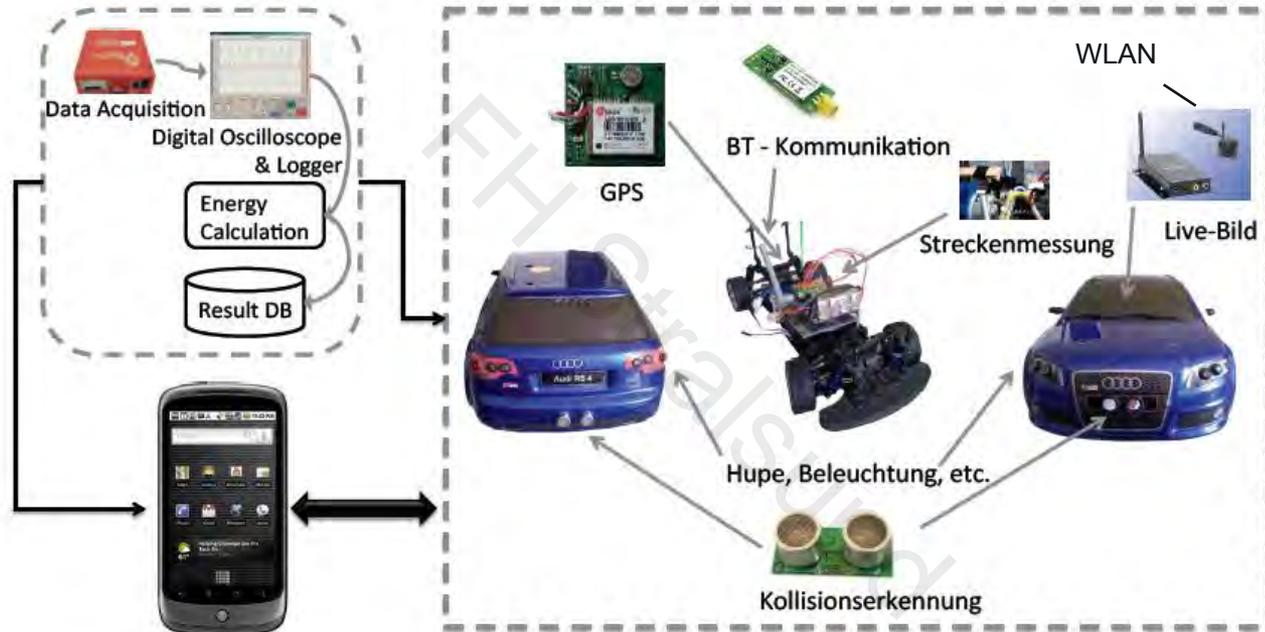


# Vorgehen

- ◆ **Vorbedingungen**
  - Nutzung von Ressourcen-Substitution
  - Realisierung mittels adaptierter EMC-Komponente (Echtzeit 2010)
  - Erweiterte Kostenmodelle (einschl. SLA) für Energie, Dienstgüte und Kosten
  
- ◆ **Untersuchung von drei Optimierungsstrategien**
  - *Standardstrategie (Full Power)*  
strikte Einhaltung von Güte- und Performanz-Vorgaben unter Vernachlässigung des Energiebedarfs.
  - *Energiefokussierte Strategie (Energy Saver)*  
maximale Energieeinsparung unter Vernachlässigung von Güte- und Performanz-Vorgaben.
  - *Ausgewogene Strategie (Green Job)*  
„Einschränkung des Dreieck“

# Fallstudie - Referenzsystem

◆ Herausforderung: Praxisbezug und Attraktivität



# Überblick

- ◆ Optimierungsfaktoren (Dienstgüte, Performanz, Energie)
  - Spezifikation und Quantifizierung
  - Optimierung ausgerichtet auf das Smartphone
  
- ◆ Rahmenbedingungen
  - Auflösung GPS-Sensor: ~3m
  - Kamera für „Vorfeldabtastung“
  - Höchstgeschwindigkeit: 35Km/h
  - Reichweite Ultraschall: 6m
  
- ◆ Faktoren (Auszug)
  - Full Power: Höchstgeschwindigkeit, volle Videoauflösung, Hohe Sensorfrequenzen, etc.
  - Energy Saver: max. 0,7J pro Fahrauftrag
  - Green Job: „Optimierung im Dreieck“

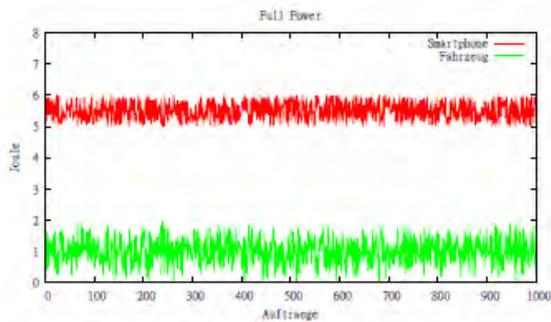
# Praktische Durchführung

- ◆ Definition von Fahraufträgen über das Hochschulgelände
- ◆ Wiederholte Abarbeitung einer zuvor definierten Sequenz von Aufträgen.
  - Ein Auftrag umfasst die Route zwischen zwei Geo-Koordinaten.
  - Der Abstand zwischen zwei Wegpunkten beträgt ~3m.
  - Statische und dynamische Hindernisse
  - Hindernisse sind zumeist „vordefiniert“
- ◆ Aufgrund der geringen Kommunikationsreichweite (WLAN, Bluetooth) wurde das Fahrzeug von einem Studierenden begleitet
- ◆ Messungen
  - App: Custom-ROM und externe Schnittstelle
  - System: Mess-Pins über Spannungsabfall

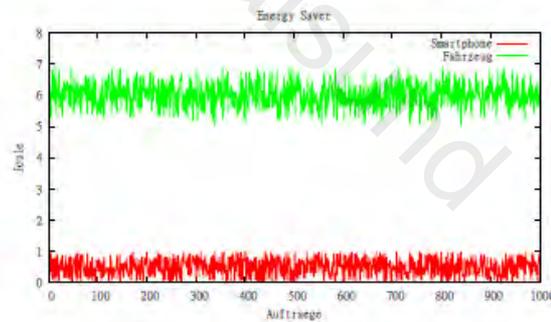
# Ergebnisse

## ◆ Begrenzung von „Unfällen“ durch „Downscaling“

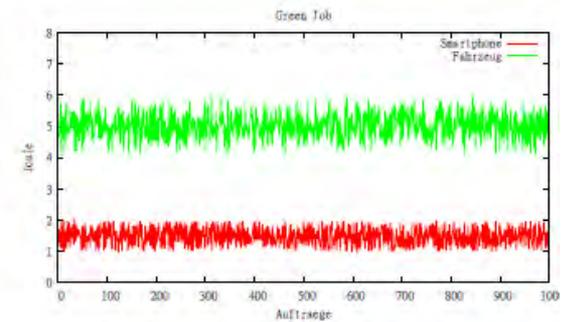
	Energie-Bedarf		Verletzung der Vorgaben		
	Gesamt (Wh)	ØPro Auftrag	Performanz	Güte	Energie
Lauf 1 (Full Power)	1,6124	5,8J	0,05%	0,99%	9,43%
Lauf 2 (Energy Saver)	0,1946	0,7J	20,3%	18,67%	0,05%
Lauf 3 (Green Job)	0,36140	1,3J	4,37%	9,55%	0,87%



(a) Full Power



(b) Energy Saver



(c) GreenJob

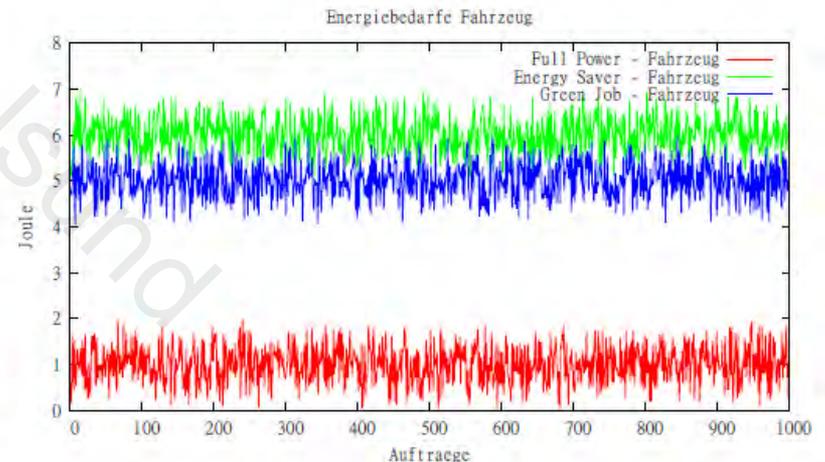
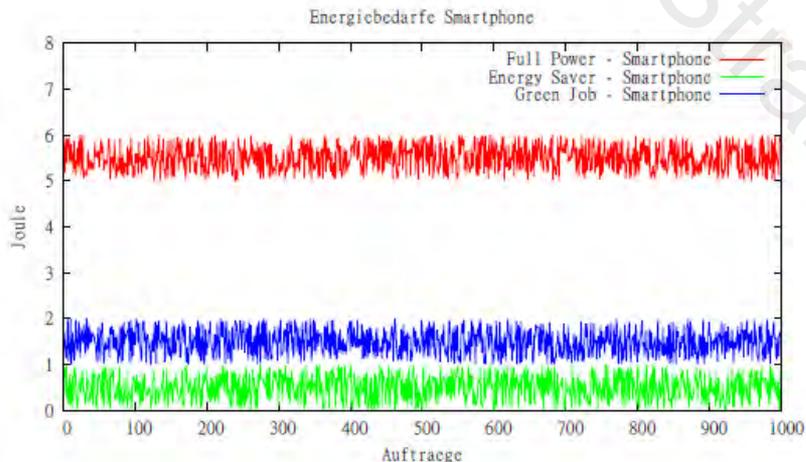
# Ergebnisse – Relaxierung

- ◆ „Aufweichung“ der Grenzwerte  
 → **Hohe Materialverluste!**

	Energie-Bedarf		Verletzung der Vorgaben		
	Gesamt	ØPro Auftrag	Performanz	Güte	Energie
Lauf 1 (Full Power)	1,63888	5,90J	0,10%	1,00%	30,43%
Lauf 2 (Energy Saver)	0,25000	0,90J	39,70%	29,33%	0,15%
Lauf 3 (Green Job)	0,52777	1,9J	12,49%	14,66%	1,47%

# Diskussion

- ◆ Ressourcensubstitution kann den Energiebedarf signifikant senken
- ◆ Gefahr: Gesamtenergiebedarf (Kontrolleinheit und kontrollierte Einheit) steigt aufgrund des Mehraufwandes der Substitution
  - Enge Verflechtung von Dienstgüte, Performanz und Energiebedarf.
  - Verlagerungseffekte zwischen Teilkomponenten



- ◆ Maximale Energieeinsparung „negativ“ für Performanz und Zeittreue

# Zusammenfassung

- ◆ Energiebedarfe unterliegen einem stetigen Wachstum
- ◆ Maßnahmen zur Optimierung von Energiebedarfen erforderlich
- ◆ Isolierte Optimierung führt oft zu gegenteiligen Effekten
- ◆ Software-Optimierung darf die Zusammenhänge zwischen Energiebedarf, Dienstgüte & Performanz nicht vernachlässigen
- ◆ Chance: Gleichbleibende Güte und Performanz bei hoher Nutzerakzeptanz
- ◆ Offene Fragen
  - Effiziente Kostenabschätzung
  - **Auswahl und Substitution der „günstigsten“ Alternative in garantierter Zeit**