

Erfassung und Regelung des Stromverbrauchs in energiebewussten Betriebssystemen

Martin Waitz

IMMD4

Übersicht

- Motivation
- Bestimmung des Energieverbrauchs
- Zuordnung zum Verbraucher
- Regelung des Verbrauchs
- Messungen

Übersicht

- Motivation
- Bestimmung des Energieverbrauchs
- Zuordnung zum Verbraucher
- Regelung des Verbrauchs
- Messungen

Motivation: Energieverbrauch

- Hardware verbraucht Strom
- Energie ist teuer, selbst wenn sie aus der Steckdose kommt:
 - Kühlsysteme notwendig
 - eventuell Notstromversorgung

Motivation: Energieverbrauch

- Hardware verbraucht Strom
- Energie ist teuer, selbst wenn sie aus der Steckdose kommt:
 - Kühlsysteme notwendig
 - eventuell Notstromversorgung
- aber besonders, wenn keine Steckdose da ist:
 - nur begrenzte Batteriekapazität vorhanden
 - selbst Li-Ion Akkus benötigen viel Platz

Motivation: Regelung

- Garantie einer bestimmten Batterielaufzeit
- Einhaltung von Grenzwerten
 - Leistungsabgabe der Notstromversorgung
 - maximale Prozessortemperatur

Motivation: Accounting

- ein Regelkreis benötigt immer eine *Soll-* und *Ist-Größe*
- Stromverbrauch als Abrechnungseinheit

Motivation: Accounting

- ein Regelkreis benötigt immer eine *Soll-* und *Ist-Größe*
- Stromverbrauch als Abrechnungseinheit

Aber:

- Rechner bieten kaum Hardware zur Messung des Stromverbrauchs
- muss in Software abgeschätzt werden

Motivation: Zuordnung

- nicht alle Prozesse benötigen gleich viele Ressourcen
- nicht alle Prozesse sind gleich wichtig
- die verfügbare Energie soll fair auf Prozesse aufgeteilt werden

Motivation: Zuordnung

- nicht alle Prozesse benötigen gleich viele Ressourcen
 - nicht alle Prozesse sind gleich wichtig
 - die verfügbare Energie soll fair auf Prozesse aufgeteilt werden
- Verbrauch pro Prozess muss bekannt sein

Übersicht

- Motivation
- Bestimmung des Energieverbrauchs
- Zuordnung zum Verbraucher
- Regelung des Verbrauchs
- Messungen

Übersicht

- Motivation
- **Bestimmung des Energieverbrauchs**
- Zuordnung zum Verbraucher
- Regelung des Verbrauchs
- Messungen

Energieverbrauch: Hardware

- CPU
- Speicher
- Graphikkarte
- I/O Peripherie: Festplatten, Netzwerk

Energieverbrauch: generell

- Einteilung in verschiedene Zustände (active, standby, sleep,...)
- Je nach Zustand ist das Gerät für eine bestimmte Leistungsaufnahme verantwortlich
- Zusätzlicher Energieverbrauch pro Zustandswechsel

Gut geeignet für Peripheriegeräte

Energieverbrauch: CPU

- verschiedene Stromsparmodi
- jedoch kein konstanter Stromverbrauch während der Arbeit
- Performance Counter zur Bestimmung

Energieverbrauch: Speicher

- Ruhestromverbrauch
- Pro Zugriff fester Energieverbrauch
- Messung der Zugriffe per Performance Counter

Energieverbrauch: Graphikkarte

Modellierung der Leistungsaufnahme sehr schwierig:

- Treiber für Graphikkarte nicht im Kern, sondern im X-Server
- Graphikkarten enthalten viele eigene Prozessoren, auf die nicht direkt zugegriffen werden kann.

Übersicht

- Motivation
- Bestimmung des Energieverbrauchs
- Zuordnung zum Verbraucher
- Regelung des Verbrauchs
- Messungen

Übersicht

- Motivation
- Bestimmung des Energieverbrauchs
- Zuordnung zum Verbraucher
- Regelung des Verbrauchs
- Messungen

Zuordnung: neue Datenstruktur

Ressourcenverbrauch direkt den Prozessen zuzuordnen ist nicht immer sinnvoll:

- wenn sich mehrere Prozesse Arbeit teilen
- wenn ein Prozess viele unterschiedliche Arbeiten erledigt
- wenn Arbeit in einen anderen Prozess oder den Kern ausgelagert wird

Zuordnung: neue Datenstruktur

Ressourcenverbrauch direkt den Prozessen zuzuordnen ist nicht immer sinnvoll:

- wenn sich mehrere Prozesse Arbeit teilen
- wenn ein Prozess viele unterschiedliche Arbeiten erledigt
- wenn Arbeit in einen anderen Prozess oder den Kern ausgelagert wird

→ eigene Datenstruktur zur Abrechnung

Zuordnung: Hierarchie

- Abrechnung sowohl im kleinen wie auch im großen Maßstab
 - pro Prozess
 - pro User
 - pro Service
 - pro Maschine
- erlaubt detaillierte Kontrolle über den Ressourcenverbrauch

Zuordnung: Hierarchie (2)

Entire Machine

Service 'http'

Process 'apache'

Process 'apache'

Process 'cgi-bin'

User 'mnwaitz'

Process 'zsh'

Process 'rxvt'

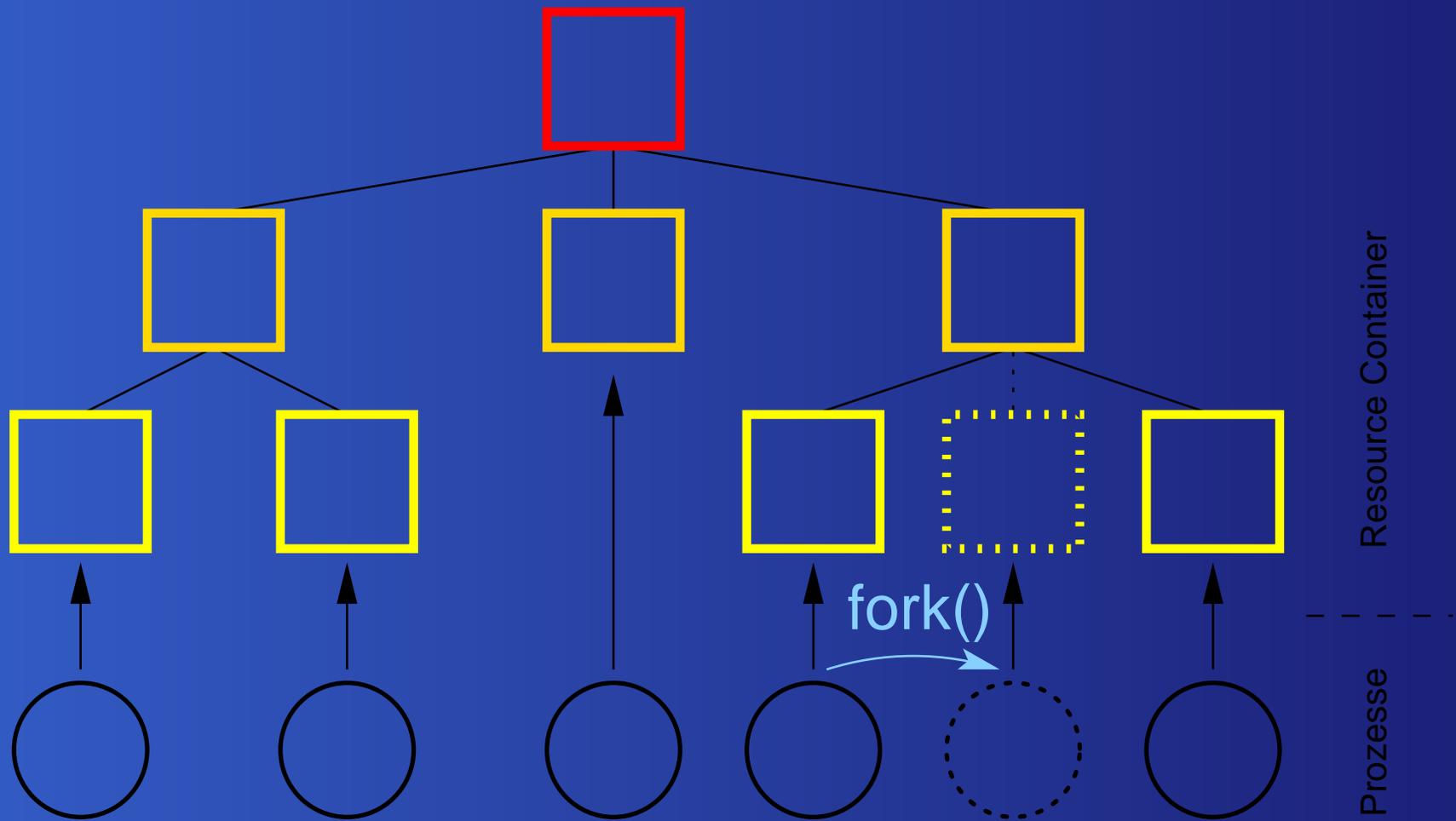
Process 'mutt'

Zuordnung: Resource Container

Herauslösen der Ressourcenabrechnung und -kontrolle aus der Prozess-Struktur durch Einführung von *Resource Containern* (RC)

- verantwortlich für einen bestimmten Teilbereich
- Speichert Ressourcennutzung
- kann Limits oder Prioritäten beinhalten

Zuordnung: RCs und Prozesse



Zuordnung: Konfiguration

Korrekte Hierarchie der Resource Container und deren Bindung zu Prozessen ist essentiell für eine gute Ressourcenverwaltung

- manuelle Einflussnahme der Applikation durch spezielle API
- automatische Konfiguration
 - Bereitstellung guter Grundeinstellungen
 - System muss auch ohne Unterstützung der Anwendungen funktionieren

Zuordnung: Konfiguration (2)

- Aufbau der Hierarchie
 - Gruppierung von Prozessen & Aktivitäten
 - Compartmentierung
- Wahl des aktuellen Resource Containers
 - um wechselnden Arbeiten gerecht zu werden

Zuordnung: Aufbau der Hierarchie

Automatisch:

- Erstellung eines Resource Containers bei fork()

Manuell:

- Erstellen neuer Resource Container
- Umstrukturierung der bestehenden Hierarchie

Zuordnung: Wahl des aktuellen RC

Automatisch:

- Änderung bei Kernel-internen Aktivitäten oder Kontext-Wechseln
- Weitergabe von Resource Containern bei Zugriff auf einen Server Prozess

Manuell:

- direkte Auswahl des aktiven RC
- Nutzung von weitergegebenem RC kann pro File Descriptor eingestellt werden

Zuordnung: Client-Server

- Server kann Ressourcen des Clients mitbenutzen
- Transferierter RC:
 - vom Server fest konfiguriert
 - aus globaler Datenbank (Netfilter)
 - RC des Clients
- Erweiterung von Sockets und Pipes: Transfer von Resource Containern

Übersicht

- Motivation
- Bestimmung des Energieverbrauchs
- Zuordnung zum Verbraucher
- Regelung des Verbrauchs
- Messungen

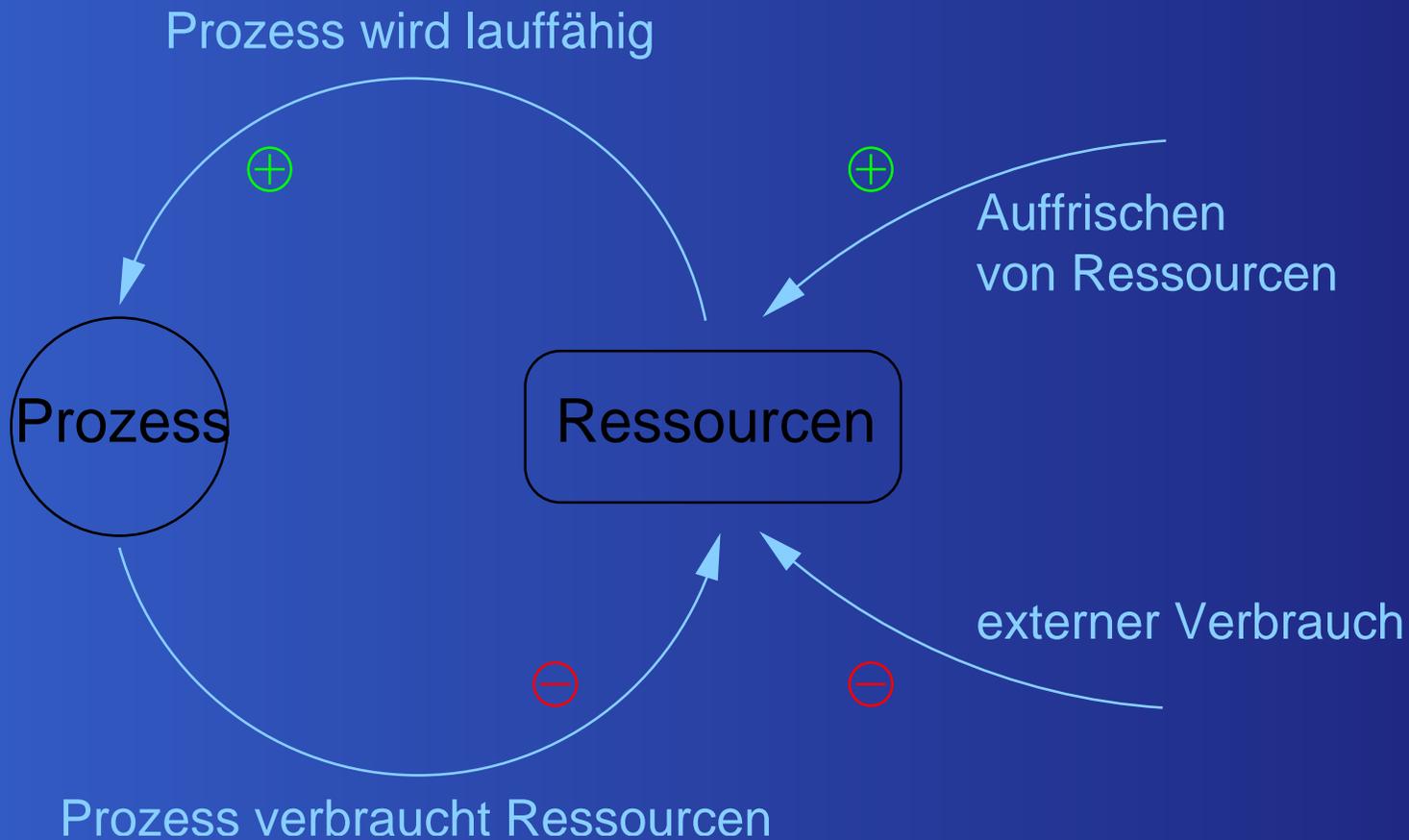
Übersicht

- Motivation
- Bestimmung des Energieverbrauchs
- Zuordnung zum Verbraucher
- **Regelung des Verbrauchs**
- Messungen

Regelung des Verbrauchs

- Verringerung der Leistungsaufnahme durch zeitweise Abschaltung von Verbrauchern
 - Einhaltung vordefinierter Limits
 - der für eine bestimmte Arbeit erforderliche Energieverbrauch bleibt gleich
- Durch Verzögern von Prozessen kann die Leistungsaufnahme gesteuert werden

Regelkreis



Regelung: Zuweisung von Ressourcen

- Auffrischen der verfügbaren Ressourcen in regelmäßigen Intervallen
- durch Verwendung von mehreren unabhängigen Zählern können sowohl kurz- als auch langfristige Grenzwerte eingehalten werden

Regelung: Anhalten von Prozessen

- regelmäßige Kontrolle der verfügbaren Ressourcen
- sind diese erschöpft, wird der Prozess angehalten
 - Herausnahme aus den Scheduler Datenstrukturen
- der Prozessor wird angehalten, wenn keine lauffähigen Prozesse übrig sind

Regelung: Konfiguration

Festlegung von Ressourcenlimits

- absolut / prozentual zum übergeordneten Container
- unabhängig für unterschiedliche Ressourcen
- für verschiedene Zeitintervalle

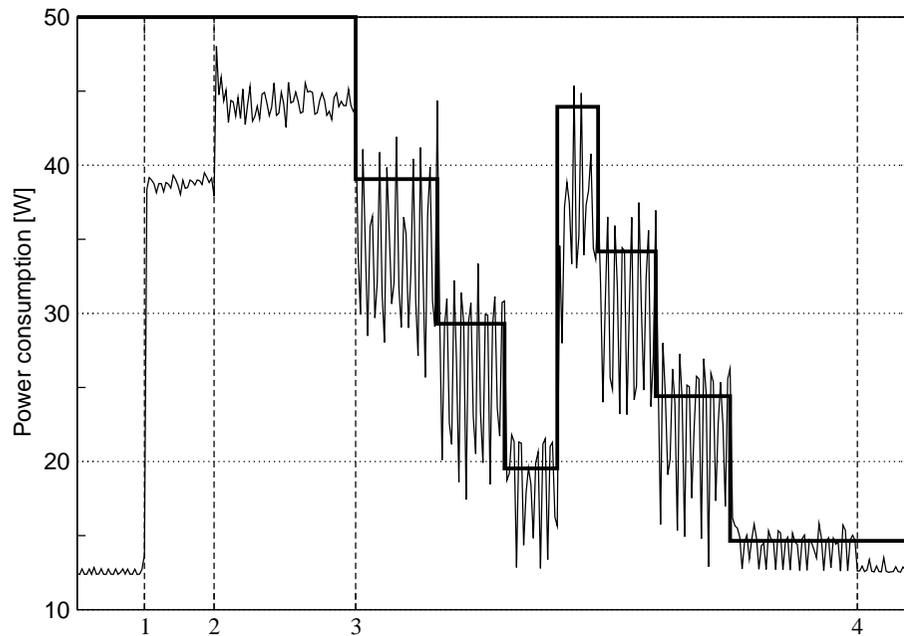
Übersicht

- Motivation
- Bestimmung des Energieverbrauchs
- Zuordnung zum Verbraucher
- Regelung des Verbrauchs
- Messungen

Übersicht

- Motivation
- Bestimmung des Energieverbrauchs
- Zuordnung zum Verbraucher
- Regelung des Verbrauchs
- Messungen

Messung: Drosselung



Messung: Effizienz

- beeinflusste Komponenten
 - Kontext-Wechsel: 33% langsamer
 - Timer Interrupt: $2,6\mu\text{s}$ langsamer
- Hauptanteil: Auswertung der Performance Counter

Gesamtsystem ist etwa 1% langsamer

Zusammenfassung

- Stromverbrauch kann den Bedürfnissen angepasst werden
- Korrekte Abrechnung und Limitierung verbrauchter Ressourcen
- Berücksichtigung von Client-Server Interaktionen

Ende

Fragen?

Ende

Vielen Dank.