

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Forschungsergebnisse Projekt GreenPad

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Projektüberblick

**Projekttitel:** GreenPad – Energieoptimierte IKT für regionale  
Wirtschafts- und Wissenscluster

**BMWi FKZ:** 01ME11043A

**Laufzeit:** 01.06.2011 bis 31.05.2014

**Konsortium:** unilab AG  
Universität Paderborn  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
Fujitsu Technology Solutions GmbH  
E.ON Westfalen Weser AG

**Projektleiter:** Dr. Lars Kemper, unilab AG

**Webseite:** [www.green-pad.de](http://www.green-pad.de)

## Forschungsthemen

Das Projekt adressiert die Entwicklung, Erprobung und Marktimplementierung eines energieoptimalen, cloudbasierten IKT-Infrastrukturmodells für regionale Wirtschafts- und Wissenschaftscluster.

- Energieeffizienz Aspekte bei der Geräteauswahl und IT-Beschaffung
- Messung und Analyse des Energieverbrauchs in Rechenzentren
- Entwicklung von Lastmanagementmethoden zur Auslastungssteigerung
- Untersuchung von Geschäftsmodellen für energieeffiziente Cloud-Dienste
- Effektive Nutzung von erneuerbaren Energien durch Verfügbarkeitsprognosen
- Entwicklung eines ganzheitlichen Energiemanagementsystems für einen hoch energieeffizienten Rechenzentrumsbetrieb (Grüner Leitstand)

## Energiemessung im Rechenzentrum

Im Zuge des Aufbaus eines neuen Rechenzentrums (RZ) wurden an der Universität Paderborn umfangreiche Energieverbrauchsmessungen geplant und durchgeführt:

- Aufbau eines Netzwerkes aus über 200 Messpunkten zur Etablierung eines kontinuierlichen Energiemonitorings
- Praxisnahe Messung von individuellen Energieverbräuchen bei Server-, Speicher- und Netzwerktechnik sowie Infrastrukturgeräten im Rechenzentrum
- Analyse der Wechselwirkung zwischen IT-Systemen und RZ-Infrastruktur

Erkenntnisse für eine Energieoptimierung im Rechenzentrum:

- Energieeffizienz muss bei der Planung von Rechenzentren von Anfang an ganzheitlich, d.h. alle Gewerke berücksichtigend, adressiert werden
- Die Überdimensionierung bzw. nicht bedarfsgerechte Konfiguration führt bei Servern und Switches zu unnötigen und z.T. substantziellen Energieverlusten
- Eine hohe Auslastung bzw. auch die Etablierung von Lastadaptivität spart nicht nur Energie sondern auch teure IT-Ressourcen (Konsolidierung)

# Energiemessung individuell konfigurierte IT-Systeme

Vergleichende Messung und Untersuchung der IT-Performance im Verhältnis zur elektrischen Leistungsaufnahme bei unterschiedlich konfigurierten Servern und Switches:

- Parallele Messung der elektrischen Leistungsaufnahme von drei unterschiedlich konfigurierten Servern über alle Lastbereiche
- Messung sowohl mit externen Messgeräten als auch Auslesen vorhandener Systemdaten über die IPMI-Schnittstelle
- Vergleich der Messergebnisse mit dem IPMI-basierten Werten zeigt eine hinreichend genaue Übereinstimmung mit einer Abweichung von unter drei Prozent
- Fazit: Für eine kosteneffiziente Energieanalyse aber auch für Abrechnungszwecke kann ein Energiemonitoring auf Basis von IPMI erfolgen

# Energiemessung und Lastmanagement bei WLANs

Im neuen Vorlesungsgebäude und am Campus der Universität Paderborn wurde umfangreiche Energiemessungen bezüglich der WLAN-Infrastruktur vorgenommen:

- Messung der Energieverbräuche und Auslastung von mehreren hunderten WLAN Access Point während der Vorlesungs- und vorlesungsfreien Zeit
- Die Auslastung schwankt deutlich sowohl zwischen Wochentag und Wochenende als auch zwischen Tag und Nacht. Durchschnittlich 65 Prozent der Access Points werden kaum genutzt.
- Optimierung des Energieverbrauchs erfolgt der WLAN Infrastruktur erfolgte über einen flexiblen Algorithmus, welcher RSSI-Signalwerte der Access Points analysiert und die Netztopologie berücksichtigt
- Auf dieser Basis konnten Antennen einzelner Access Points ohne Serviceverlust in der Gesamtabdeckung zeitweise abgeschaltet werden

Fazit: Der lastabhängige Betrieb der WLAN Access Points führt zur einer Energieeinsparung von 15 Prozent bei gleichbleibender Dienstgüte

## Energiemessung bei Thin Clients

Der Energiebedarf einer Thin Client Lösung wurde im Projekt über die gesamte Wegstrecke – vom Terminal über das Netzwerk bis zum Rechenzentrum – untersucht. Die Energieeffizienz von Thin-Clients wird durch mehrere Faktoren bestimmt:

- Leistungsstarkes aber nicht über- oder unterdimensioniertes Netzwerk
- Effektive Bereitstellung der Anwendungen auf den Serversystemen, d.h. möglichst hohe Auslastung der physischen Server durch Virtualisierungsmaßnahmen
- Flexible Skalierung der Serversysteme (Lastadpativität)
- Cloudmanagement-Software wie OpenNebula, OpenStack und Eucalyptus bieten graphische Benutzerschnittstellen für Selbstbedienung nach Bedarf
- Monitoring und Buchführung können durch eine Vielzahl von Werkzeugen umgesetzt werden, z. B. Nagios oder Collectd.

## Entwicklung eines „Grünen Leitstandes“

Um Energieeffizienz und insbesondere auch die Nutzung regenerativer Energien im Rechenzentrumsbetrieb zu etablieren, wurde im Projekt GreenPAD ein sogenannter Grüner Leitstand mit folgenden Komponenten entwickelt bzw. erprobt:

- Hypervisor: KVM (und Libvirt als vorgeschaltete API), VMware ESX
- Cloud-Software inklusive Graphic User Interface: OpenStack, OpenNebula
- Authentifizierung: OpenStack Keystone, LDAP
- Monitoring: Nagios, Collectd, ICINGA, ManageNow
- Energiemessung: IPMI, externe Strommessgeräte
- Energievorhersagen: Eigenentwicklung
- Scheduler: Eigenentwicklung

# Energievorhersagen für erneuerbare Energien

Die effektive Nutzung regenerativer Energien im Kontext von Rechenzentren erfordert relativ präzise Verfügbarkeits- und Preisprognosen:

- Prognosen zur lokalen Verfügbarkeit erneuerbarer Energien (Wind / Solar) wurden auf Basis von Messwerten und Wettervorhersagedaten erstellt
- Die Genauigkeit der Energievorhersage wird begrenzt durch die Qualität und Entfernung der Wettermessung /Vorhersage:
  - für die Windgeschwindigkeit wurde ein Fehler von  $\pm 20\%$  ermittelt
  - bei der Sonnenscheindauer einen Fehler von bis zu  $\pm 40\%$  ermittelt
- Vorhersagequalität ist in Anbetracht der begrenzten Wetterdaten akzeptabel:
  - Der Fehler für die Windenergievorhersage beträgt bis zu 30%
  - Der Fehler für die Solarenergievorhersage beträgt bis zu 20%
- Da Messwerte (Smart Meter) fehlen ist auch die Vorhersage der verbrauchten Energie im Mittelspannungsnetz schwierig.
- Auch Datenschutzkriterien sind in diesem Zusammenhang zu beachten

# Energieeffizienter Scheduler

Im Projekt wurde ein intelligenter energieorientierter Scheduler entwickelt, der die zeitliche Ausführung bzw. auch dynamische Verschiebung von Tasks mit Ziel einer Maximierung der Nutzung regenerativer Energien steuert.

- Zur Beurteilung des Schedulers wurde die Turnaround-Zeit jedes Jobs gemessen, also die Zeit zwischen dem Eintreffen des Jobs im Rechenzentrum bis zu dessen vollständiger Abarbeitung.
- Vergleichswerte zum Energieeffizienten Scheduler wurden durch einen traditionellen First-In-First-Out (FIFO) Scheduler erzeugt

Ergebnisse:

- Mit dem FIFO-Scheduler verbraucht das RZ etwa 26 % erneuerbare Energien
- Mit dem Energieeffizienten Scheduler bis zu 40 % erneuerbare Energien
- Das Projekt zeigt, dass sich der Anteil regenerativer Energien signifikant steigern lässt ohne allzu große Verlängerung der Bearbeitungszeit
- Steigerung von 7,6 Stunden auf max. 44,4 Stunden

# Patente und Veröffentlichungen

## Patentschriften

- keine aktuellen Anmeldungen

9 nationale und internationale wissenschaftliche Veröffentlichungen

## Präsentationen:

- IEEE/ACM Conference on Grid Computing 2011, Lyon
- International Workshop on Randomization and Computation (RANDOM'2012), Boston

## Weiteres:

- Deutscher Rechenzentrumspreis 2014: 1. Platz Kategorie „Ideen und Forschung“