

Abschlussbericht für das Projekt



| | |
|---|---------------------------------------|
| ZE: Universität Paderborn | Förderkennzeichen 01ME11044 |
| Vorhabensbezeichnung: GreenPAD – Energieoptimierte IKT für regionale Wirtschafts- und Wissenscluster Teilvorhaben: Konzeption und prototypische Umsetzung einer energie-effizienten regionalen Cloud in PPP | |
| Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2011 – 31.05.2014 | |
| Autor: Gudrun Oevel | |

Inhalt

| | | |
|-----|--|---|
| 1 | Kurze Darstellung | 3 |
| 1.1 | Aufgabenstellung..... | 3 |
| 1.2 | Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde | 3 |
| 1.3 | Planung und Ablauf des Vorhabens | 3 |
| 1.4 | Wissenschaftlicher und Technischer Stand an dem angeknüpft wurde | 4 |
| 1.5 | Zusammenarbeit mit anderen Stellen..... | 4 |
| 2 | Eingehende Darstellung | 5 |
| 2.1 | Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse | 5 |
| 2.2 | Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises..... | 5 |
| 2.3 | Bekannt gewordene Fortschritte während der Projektlaufzeit | 5 |
| 2.4 | Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse | 5 |
| 2.5 | Verbreitung der Ergebnisse..... | 6 |
| 2.6 | Liste der Veröffentlichungen | 6 |

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Die Einführung von Cloud-Computing gilt als einer der Motoren bei der Konsolidierung von Rechenkapazitäten. Auch dem zu erwartenden steigenden Stromverbrauch von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) soll mit Cloud-Technologien begegnet werden.

Ziel des Projektes GreenPAD war die Entwicklung, Erprobung und der Transfer eines energieoptimalen IKT-Infrastrukturmodells für regionale Wirtschafts- und Wissenschaftscluster. Dabei sollte die IKT-Infrastruktur des regionalen Raums zu einem gemeinsam genutzten Rechenzentrumsbetrieb (RZ) gebündelt werden, um so den gesamten Energiebedarf zu reduzieren. Zudem soll zukünftig möglichst regional erzeugte, regenerative Energie genutzt werden. Hierzu soll ein sogenannter „Grüner Leitstand“ beitragen, der Rechenleistung in Zeiten verlagert, in denen viel regenerative Energie produziert wird.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Ein konsequent auf ein Optimum ausgerichtetes Effizienzkonzept für den Betrieb von Rechenzentren war auch im internationalen Vergleich in dieser Form noch nicht umgesetzt worden. In einem Umkreis von 2km² um die Universität Paderborn waren universitäre Fachbereiche, wissenschaftliche Institute und etwa 100 Firmen im Technologiepark angesiedelt. Dies entsprach ca. 2.700 Arbeitsplätzen mit intensiver IT-Nutzung. Im Technologiepark waren elf Gebäude und 25 voll klimatisierte Serverräume vorhanden. Hinzu kamen ca. 50 kleinere Serverräume („Besenkammern“) in Kleinunternehmen und bei Gründern.

An der Universität Paderborn existierten ca. 3.200 PCs in den Fachbereichen und der Verwaltung sowie ca. 400 PCs in Poolräumen für Studierende. Die vorhandene Festnetztelefonie im Technologiepark und in der Universität war überwiegend analog aufgebaut.

Die Serverkapazitäten in Technologiepark und Universität orientierten sich überwiegend an temporären Spitzenlasten. Es existierte keine übergreifende (energetische) Optimierung.

Mikroökonomisch stellten sich folgende Fragen:

- Wie kann ein RZ-Betrieb für den Technologiepark und die Universität zentral gesteuert in ein energie-optimales Cloud-Computing-Angebot überführt werden?
- Wie muss ein IT-Service gestaltet sein, um eine hohe Akzeptanz bei den Unternehmen des Technologieparks zu erzielen?
- Wie kann das Energieverbrauchsverhalten der Nutzer beeinflusst werden?
- Wie müssen Vertrags- und Preisgestaltungen aussehen, damit Anreize für einen ressourcenschonenden Umgang geschaffen werden?

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Zur Regelung der Zusammenarbeit im Projekt wurde zwischen den einzelnen Projektpartnern ein Kooperationsvertrag geschlossen. Während der Projektlaufzeit ging die Projektpartnerschaft des Netzbetreibers E.ON Westfalen Weser auf den Nachfolger Westfalen Weser Energie über (beide Firmierungen können je nach Zeitpunkt der Bearbeitung genannt sein). Für den Austausch von Dokumenten und die Kollaboration hat die Universität Paderborn einen Projekt-SharePoint zur Verfügung gestellt.

Das Projekt teilte sich in drei Phasen auf, die jeweils unterschiedliche Arbeitspakete enthielten. Zunächst wurden in der Design-Phase Analysen bzgl. Nutzungsprofilen, Technologien und möglicher Dienstleistungen sowohl für wissenschaftliche als auch für privatwirtschaftliche Kunden durchgeführt. Außerdem wurde das Smart-Grid-Konzept untersucht, das dafür sorgen soll, dass nicht nur weniger Energie verbraucht wird sondern auch die „ökologisch richtige“. Im Anschluss an die Analyse wurden das zukünftige Netzwerkkonzept, das Cloud-Betriebskonzept, die Arbeitsplatzgestaltung mit PC's sowie das Leitungs- und Telekommunikationskonzept ausgearbeitet. Zudem erfolgte die Spezifikation des grünen Leitstandes.

Auf die Design-Phase folgte die Transition-Phase. In ihr wurde zunächst die Hardware des Funktionsdemonstrators in die neue Rechenzentrumsinfrastruktur der Universität Paderborn integriert. Danach begann die Installation und Konfiguration der benötigten Software-Schichten (Hypervisor, Cloud-Software) sowie die Integration der Smart Grid-Komponenten für die Verbrauchsmessung und -steuerung.

Nach Aufbau und Einrichtung der IT-Infrastruktur stand die Migration der Server und Storage Systeme, die Migration ausgewählter Applikationen sowie die beispielhafte Umstellung eines Poolraums mit 20 Arbeitsplätzen im Fachbereich Maschinenbau der Universität Paderborn auf Virtuelle Desktop Technologie (VDI) im Vordergrund. Exemplarisch wurde zudem eine VoIP-Telefonanlage installiert, um von der im Einsatz befindlichen analogen TK-Anlage zu migrieren. Es zeigte sich jedoch, dass dies aus energetischen Gesichtspunkten nicht vorteilhaft ist. Bestandteil dieser Phase war auch die Ausarbeitung möglicher Verrechnungspreise und Vertragsmodelle, sowohl für wissenschaftliche als auch für privatwirtschaftliche Kunden. Zudem wurde ein IT-Sicherheits-Audit gemäß BSI-Standard 100-2 durchgeführt.

Die letzte Phase stellt den funktionalen Testbetrieb dar. Hier wurden insbesondere intensive Tests zur Überprüfung des Energieverbrauchs im Pilotbetrieb und zur Steuerung des Rechenbetriebs in Abhängigkeit zur Verfügbarkeit regenerativer Energien durchgeführt.

1.4 Wissenschaftlicher und Technischer Stand an dem angeknüpft wurde

Das Projekt wurde unter Verwendung neutraler Schnittstellen aufgesetzt um eine allgemeine Verwertbarkeit zu sichern. Zum Einsatz kamen Produkte, die gängige Industriestandards erfüllen. Die Schutzrechte von Projektpartnern wurden nicht eingeschränkt. Die verwendete Fachliteratur kann den Berichten der jeweiligen Arbeitspakete entnommen werden.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Speziell zur Qualitätssicherung und Erarbeitung verallgemeinerungsfähigen Wissens für Politik, Wirtschaft und Forschung wurde die Begleitforschung initiiert. Gesteuert durch das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM wurden regelmäßige Fachgruppentreffen zu den Themen „Messung der Energieeffizienz“, „Neue Netze und Technologien“ sowie „Technoökonomische Wettbewerbsfaktoren“ abgehalten und durch Vorträge externer Experten ergänzt. Daran hat sich GreenPAD aktiv beteiligt und darüber hinaus auch zusätzlich den Austausch mit den thematisch ähnlichen Projekten im IT2Green-Verbund gesucht.

Die Projektergebnisse haben zu vielen Diskussionen mit Herstellern geführt. Zu nennen sind hier insbesondere Cisco im Rahmen von Untersuchungen zur lastorientierten Energieaufnahme von Netzwerkkomponenten sowie Knürr im Bereich der Unterteilung von Racks in Wärmezonen. Auch beim Projektpartner Fujitsu konnten Anregungen zur Lieferung von Verbrauchsdaten der Server-Hardware eingebracht werden.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Die Zuwendung wurde für die Beschaffung eines Funktionsdemonstrators und Messgeräte sowie für Personal verwendet.

Die Ergebnisse sind im Detail im gemeinsamen Abschlussbericht (siehe Anhang) dargestellt. Die Universität Paderborn hat schwerpunktmäßig die folgenden Inhalte bearbeitet: RZ-Betrieb, Messungen des Energieverbrauchs, Cloud Konzepte, Anwendungsmigration und Vertragsgestaltung für wissenschaftsnahe Bereiche (Ausgründungen, Vereine, öffentliche Auftraggeber, Bildungs- und Forschungseinrichtungen).

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wesentlichen Posten im Nachweis sind die Personalkosten, die Sachmittel zur Beschaffung des Funktionsdemonstrators (Cluster-System, Storage, Software) sowie Sachmittel zur Beschaffung von Kleingeräten (Messgerät).

2.3 Bekannt gewordene Fortschritte während der Projektlaufzeit

Während der Projektzeit wurde auch von anderer Seite bestätigt, dass Cloud-Vorhaben im Mittelstand noch nicht angekommen sind.

2.4 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Alle Projektergebnisse wurden veröffentlicht und sowohl im Wissenschafts- als auch im Industrieumfeld kommuniziert.

Sofern sich die Rahmenbedingungen wie oben geschildert weiter entwickeln, können basierend auf den Projektergebnissen regionale Wirtschafts- und Wissenschaftscluster erfolgreich aufgebaut werden.

Der „Grüne Leitstand“ lässt sich zu einem Produkt weiterentwickeln und ggf. vermarkten bzw. in vorhandene Monitoring-Werkzeuge und andere IKT-Management-Werkzeuge integrieren.

Die algorithmischen Ergebnisse im Netzwerkbereich (LAN und WLAN) wurden mit Herstellern diskutiert und können direkt in die Produkte übernommen werden, wenn dort Energieeffizienz der Geräte mit einer höheren Priorität versehen wird.

Das Abschalten von Serverkomponenten kann im Bereich der Serverschränke zu Hotspots führen. Hier wurden zusammen mit dem Hersteller Knürr (unter NDA) Konzepte entwickelt und befinden sich in der konkreten Erprobungsphase.

Die Arbeiten im Bereich WLAN wurden mit dem 1. Platz beim Deutschen Rechenzentrumspreis 2014 in der Kategorie „Ideen und Forschung“ ausgezeichnet

2.5 Verbreitung der Ergebnisse

| Lfd. Nr. | Verwertungsaktivität | Zeithorizont |
|----------|--|-------------------------------------|
| 1 | Vorstellung des Konzeptes auf Cebit 2012 und Folgejahren (Verbund) | März 2012 März 2013 März 2014 |
| 2 | Gezielte Ansprache von Kunden im wissenschaftsnahen Bereich und öffentliche Auftraggeber | Laufend |
| 3 | Gezielte Ansprache kommunaler Rechenzentren hinsichtlich Übertragbarkeit des Private-Public-Partnership-Konzeptes | Laufend |
| 4 | Öffentlichkeitsarbeit über regionale Gründernetzwerke und Initiativen, wie Wirtschaftsförderungsgesellschaft, Open Entrepreneur Lab Paderborn, IKT.NRW, InnoZent OWL etc 1. Industrie trifft Informatik 23.11.2011 2. Paderborner Tag der IT-Sicherheit 22.03.2012 | Laufend |
| 6 | Promotion durch Bereitstellung von Demo-Instanzen im Testbetrieb für potentielle Kunden | Ab 2013 |
| 7 | Vorstellung auf Fachtagungen und Arbeitskreisen Bewerbung beim Deutschen RZ Preis 2012 Vorstellung auf der Cisco Expo 2012 Bewerbung beim Deutschen RZ Preis 2014 | Laufend |

2.6 Liste der Veröffentlichungen

- [13] M. Bohner, "Optimization the Energy-Consumption of WLAN-Infrastructures", Master's Thesis, Universität Paderborn, 2012.
- [14] M. Bohner, S. Porombka und G. Oevel, „Energieeffizienz im WLAN,“ erscheint in: 7. DFN-Forum Kommunikationstechnologien - Verteilte Systeme im Wissenschaftsbereich , GI Lectures Notes in Informatics, 2014.

Abschlussbericht für das Projekt



GreenPAD – Energieoptimierte IKT für regionale Wirtschafts- und Wissenscluster

| |
|---|
| Vorhabensbezeichnung: GreenPAD – Energieoptimierte IKT für regionale Wirtschafts- und Wissenscluster Teilvorhaben: Sichere und energieeffiziente Cloud Migrationen im Mittelstand |
| Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2011 – 31.05.2014 |
| Autoren: Oevel, Gudrun Brinkmann, André Dyroff, Thomas Frohschammer, Daniel Mäsker, Markus Nagel, Lars |

Inhalt

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | Kurze Darstellung..... | 4 |
| 1.1 | Aufgabenstellung | 4 |
| 1.2 | Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde | 4 |
| 1.3 | Planung und Ablauf des Vorhabens | 4 |
| 1.4 | Wissenschaftlicher und Technischer Stand an dem angeknüpft wurde | 5 |
| 1.5 | Zusammenarbeit mit anderen Stellen..... | 5 |
| 2 | Eingehende Darstellung | 6 |
| 2.1 | Projektziele gemäß Projektantrag..... | 6 |
| 2.2 | Ergebnisse und Vorgehen: Energieeffizienz..... | 8 |
| 2.2.1 | Ergebnisse | 8 |
| 2.2.2 | Vorgehen..... | 13 |
| 2.3 | Vorgehen und Ergebnisse: Smart-Grid-Konzept..... | 26 |
| 2.3.1 | Situation in Paderborn..... | 26 |
| 2.3.2 | Energievorhersage im Stromnetz | 27 |
| 2.3.3 | Grüner Leitstand | 35 |
| 2.3.4 | Simulation | 40 |
| 2.3.5 | Energievorhersage im Rechenzentrum | 44 |
| 2.4 | Vorgehen und Ergebnisse: IT-Dienste: Planung, Betrieb, Management, Kundenverträge ... | 44 |
| 2.4.1 | Ergebnisse | 45 |
| 2.4.2 | Vorgehen..... | 45 |
| 2.4.3 | Anforderungsanalyse: Dienstangebot..... | 45 |
| 2.4.4 | High Performance Computing..... | 48 |
| 2.4.5 | Anforderungsanalyse: Vertragsfragen | 48 |
| 2.4.6 | Anforderungsanalyse: Software-Stack, SaaS..... | 48 |
| 2.4.7 | Anforderungsanalyse: Sicherheitsaspekte..... | 49 |
| 2.4.8 | Cloud-Betrieb | 49 |
| 2.4.9 | Verträge und Service Level Agreement..... | 52 |
| 2.4.10 | Sicherheit..... | 53 |
| 2.4.11 | Contracting..... | 53 |
| 2.4.12 | Migration / Change | 57 |
| 2.4.13 | Applikationsmigration | 60 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3 | Technische Umsetzung..... | 61 |
| 3.1.1 | Voraussetzungen der technischen Umsetzung (Phase Design) | 61 |
| 3.1.2 | Status Quo und Kapazitätsplanung im RZ..... | 61 |
| 3.1.3 | Anbindung der KMU..... | 62 |
| 3.1.4 | Sicherheitsaspekte | 64 |
| 3.1.5 | Messung der Energieeffizienz | 65 |
| 3.1.6 | Aufbau des Funktionsdemonstrators (Phase Transition) | 65 |
| 3.1.7 | Evaluierung (Phase Operation)..... | 65 |
| 4 | Verbreitung der Ergebnisse | 66 |
| 4.1.1 | Präsentationen für Dritte..... | 66 |
| 4.1.2 | Übersicht zu den Inhalten der Veröffentlichungen | 67 |
| 4.1.3 | Preise | 68 |
| 5 | Liste der Veröffentlichungen | 69 |
| 6 | Abbildungsverzeichnis..... | 71 |

1 Kurze Darstellung

1.1 Aufgabenstellung

Die Einführung von Cloud-Computing gilt als einer der Motoren bei der Konsolidierung von Rechenkapazitäten. Auch dem zu erwartenden steigenden Stromverbrauch von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) soll mit Cloud-Technologien begegnet werden.

Ziel des Projektes GreenPAD war die Entwicklung, Erprobung und der Transfer eines energieoptimalen IKT-Infrastrukturmodells für regionale Wirtschafts- und Wissenschaftscluster. Dabei sollte die IKT-Infrastruktur des regionalen Raums zu einem gemeinsam genutzten Rechenzentrumsbetrieb (RZ) gebündelt werden, um so den gesamten Energiebedarf zu reduzieren. Zudem soll zukünftig möglichst regional erzeugte, regenerative Energie genutzt werden. Hierzu soll ein sogenannter „Grüner Leitstand“ beitragen, der Rechenleistung in Zeiten verlagert, in denen viel regenerative Energie produziert wird.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Ein konsequent auf ein Optimum ausgerichtetes Effizienzkonzept für den Betrieb von Rechenzentren war auch im internationalen Vergleich in dieser Form noch nicht umgesetzt worden. In einem Umkreis von 2km² um die Universität Paderborn waren universitäre Fachbereiche, wissenschaftliche Institute und etwa 100 Firmen im Technologiepark angesiedelt. Dies entsprach ca. 2.700 Arbeitsplätzen mit intensiver IT-Nutzung. Im Technologiepark waren elf Gebäude und 25 voll klimatisierte Serverräume vorhanden. Hinzu kamen ca. 50 kleinere Serverräume („Besenkammern“) in Kleinunternehmen und bei Gründern.

An der Universität Paderborn existierten ca. 3.200 PCs in den Fachbereichen und der Verwaltung sowie ca. 400 PCs in Poolräumen für Studierende. Die vorhandene Festnetztelefonie im Technologiepark und in der Universität war überwiegend analog aufgebaut.

Die Serverkapazitäten in Technologiepark und Universität orientierten sich überwiegend an temporären Spitzenlasten. Es existierte keine übergreifende (energetische) Optimierung.

Mikroökonomisch stellten sich folgende Fragen:

- Wie kann ein RZ-Betrieb für den Technologiepark und die Universität zentral gesteuert in ein energie-optimales Cloud-Computing-Angebot überführt werden?
- Wie muss ein IT-Service gestaltet sein, um eine hohe Akzeptanz bei den Unternehmen des Technologieparks zu erzielen?
- Wie kann das Energieverbrauchsverhalten der Nutzer beeinflusst werden?
- Wie müssen Vertrags- und Preisgestaltungen aussehen, damit Anreize für einen ressourcenschonenden Umgang geschaffen werden?

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Zur Regelung der Zusammenarbeit im Projekt wurde zwischen den einzelnen Projektpartnern ein Kooperationsvertrag geschlossen. Während der Projektlaufzeit ging die Projektpartnerschaft des Netzbetreibers E.ON Westfalen Weser auf den Nachfolger Westfalen Weser Energie über (beide Firmierungen können je nach Zeitpunkt der Bearbeitung genannt sein). Für den Austausch von Dokumenten und die Kollaboration hat die Universität Paderborn einen Projekt-SharePoint zur Verfügung gestellt.

Das Projekt teilte sich in drei Phasen auf, die jeweils unterschiedliche Arbeitspakete enthielten. Zunächst wurden in der Design-Phase Analysen bzgl. Nutzungsprofilen, Technologien und möglicher Dienstleistungen sowohl für wissenschaftliche als auch für privatwirtschaftliche Kunden durchgeführt. Außerdem wurde das Smart-Grid-Konzept untersucht, das dafür sorgen soll, dass nicht nur weniger Energie verbraucht wird sondern auch die „ökologisch richtige“. Im Anschluss an die Analyse wurden das zukünftige Netzwerkkonzept, das Cloud-Betriebskonzept, die Arbeitsplatzgestaltung mit PC's sowie das Leitungs- und Telekommunikationskonzept ausgearbeitet. Zudem erfolgte die Spezifikation des grünen Leitstandes.

Auf die Design-Phase folgte die Transition-Phase. In ihr wurde zunächst die Hardware des Funktionsdemonstrators in die neue Rechenzentrumsinfrastruktur der Universität Paderborn integriert. Danach begann die Installation und Konfiguration der benötigten Software-Schichten (Hypervisor, Cloud-Software) sowie die Integration der Smart Grid-Komponenten für die Verbrauchsmessung und -steuerung.

Nach Aufbau und Einrichtung der IT-Infrastruktur stand die Migration der Server und Storage Systeme, die Migration ausgewählter Applikationen sowie die beispielhafte Umstellung eines Poolraums mit 20 Arbeitsplätzen im Fachbereich Maschinenbau der Universität Paderborn auf Virtuelle Desktop Technologie (VDI) im Vordergrund. Exemplarisch wurde zudem eine VoIP-Telefonanlage installiert, um von der im Einsatz befindlichen analogen TK-Anlage zu migrieren. Es zeigte sich jedoch, dass dies aus energetischen Gesichtspunkten nicht vorteilhaft ist. Bestandteil dieser Phase war auch die Ausarbeitung möglicher Verrechnungspreise und Vertragsmodelle, sowohl für wissenschaftliche als auch für privatwirtschaftliche Kunden. Zudem wurde ein IT-Sicherheits-Audit gemäß BSI-Standard 100-2 durchgeführt.

Die letzte Phase stellt den funktionalen Testbetrieb dar. Hier wurden insbesondere intensive Tests zur Überprüfung des Energieverbrauchs im Pilotbetrieb und zur Steuerung des Rechenbetriebs in Abhängigkeit zur Verfügbarkeit regenerativer Energien durchgeführt.

1.4 Wissenschaftlicher und Technischer Stand an dem angeknüpft wurde

Das Projekt wurde unter Verwendung neutraler Schnittstellen aufgesetzt um eine allgemeine Verwertbarkeit zu sichern. Zum Einsatz kamen Produkte, die gängige Industriestandards erfüllen. Die Schutzrechte von Projektpartnern wurden nicht eingeschränkt. Die verwendete Fachliteratur kann den Berichten der jeweiligen Arbeitspakete entnommen werden.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Speziell zur Qualitätssicherung und Erarbeitung verallgemeinerungsfähigen Wissens für Politik, Wirtschaft und Forschung wurde die Begleitforschung initiiert. Gesteuert durch das Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM wurden regelmäßige Fachgruppentreffen zu den Themen „Messung der Energieeffizienz“, „Neue Netze und Technologien“ sowie „Technoökonomische Wettbewerbsfaktoren“ abgehalten und durch Vorträge externer Experten ergänzt. Daran hat sich GreenPAD aktiv beteiligt und darüber hinaus auch zusätzlich den Austausch mit den thematisch ähnlichen Projekten im IT2Green-Verbund gesucht.

Die Projektergebnisse haben zu vielen Diskussionen mit Herstellern geführt. Zu nennen sind hier insbesondere Cisco im Rahmen von Untersuchungen zur lastorientierten Energieaufnahme von Netzwerkkomponenten sowie Knürr im Bereich der Unterteilung von Racks in Wärmezonen. Auch beim Projektpartner Fujitsu konnten Anregungen zur Lieferung von Verbrauchsdaten der Server-Hardware eingebracht werden.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Projektziele gemäß Projektantrag

Ziel des Projekts GreenPAD ist die Entwicklung, Erprobung und der Transfer eines energieoptimalen IKT-Infrastrukturmodells für regionale Wirtschafts- und Wissenschaftscluster, die in diesem Projekt durch Unternehmen des Technologieparks Paderborn und durch die Universität Paderborn repräsentiert werden. Diese Wirtschafts- und Wissenschaftscluster bündeln die IKT-Infrastruktur des regionalen Raums zu einem gemeinsam genutzten Rechen- und Serverzentrumsbetrieb (RZ) und reduzieren so den gesamten Energiebedarf für IKT dieses Raums. Das angestrebte Organisationskonzept ist eine Private-Public-Partnership, die den gesamten Wertschöpfungsprozess eines RZ-Betriebs abdeckt. Die Optimierung beginnt mit der Beschaffung regenerativen und regional erzeugten Stroms (Smart Grid) und der Verwendung von neusten, energieeffizienten Hardwarekomponenten. In der Leistungsproduktion erfolgt die Optimierung durch Standardisierung, Konsolidierung und Virtualisierung der IT-Infrastruktur sowie durch eine laufende Überwachung mittels eines „grünen Leitstands“. Die Verbrauchsoptimierung auf der Anwenderseite wird durch die Bereitstellung attraktiver Cloud-Computing-Angebote erzeugt, die Anreize für eine Migration aus dezentralen Strukturen liefern und energiesparendes Verhalten honorieren. Angestrebt wurde im Projektantrag eine Energieersparnis von bis zu 40% im Vergleich zu den aktuell dezentral betriebenen IT-Infrastrukturen.

Der technische und organisatorische Funktionsdemonstrator am Ende des Projektes wird im innovativen Kern somit aus drei eng verzahnten Komponenten bestehen. Die Energieeffizienz des Rechenzentrumsbetriebs wird, wie im Förderwettbewerb gefordert, durch die Ausnutzung der Potenziale über die gesamte Wertschöpfungskette erzielt. Ausgehend von dem Bedarf und der Bereitstellung von IT-Infrastrukturdiensten für Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung, werden rückwärtsgerichtet alle Schritte der Serviceproduktion im Rechenzentrum auf Energieoptimierung ausgerichtet. In Verbindung mit dem Smart Grid Ansatz wird nicht nur weniger Energie verbraucht, sondern auch die „ökologisch richtige Energie“ genutzt, nämlich möglichst regional erzeugte, regenerative Energie. Wichtige Bedingung für diese erfolgreiche Kombination ist die dritte Komponente: die regional zentralisierte, idealerweise in einer Private-Public-Partnership organisierte, IT-Unterstützung von Wirtschafts- und Wissenschaftsclustern. Ein so konsequent auf ein Optimum ausgerichtetes Effizienzkonzept ist auch im internationalen Vergleich in dieser Form noch nicht umgesetzt worden.

Die aus diesem Absatz des Projektantrags abgeleiteten Ziele und während der Projektlaufzeit untersuchten Fragestellungen ergeben sich damit zu:

- Energie-Effizienz und Energie-Einsparung beim IT-Betrieb
- Beschaffung, Produktion anhand des Treiberbaums
- Energieoptimierung durch
 - regionale physikalische Zentralisierung,
 - effizientere Hardware-Nutzung (Virtualisierung),
 - dynamischer Lastenausgleich und Skalierung mittels Cloud-Computing,
 - energie-effiziente Endgeräte
- Nutzung lokaler grüner Energie (Smart Grid / Grüner Leitstand)
- Regional zentralisierte IT-Unterstützung in einem Wirtschafts- und Wissenschaftscluster
- Anreize zur Migration durch attraktive Cloud-Computing-Angebote, Akzeptanz durch IT-Sicherheit und lokales Vertrauen, akzeptierte Organisations- und Vertragsmodelle

- Prognostizierte Energie-Einsparung bis zu 40%
- Nachhaltigkeit:
 - Entwicklung Geschäftsmodell
 - Best Practice zwischen Technologiepark und Hochschulen

Um die Ziele zu erreichen wurden im Projekt die drei Phasen Design-Phase, Transition-Phase und Operation-Phase unterschieden und die entsprechenden Arbeitspakete daran ausgerichtet. In der Design-Phase wurden die Anforderungen spezifiziert und die Grundlagen für die weiteren Arbeiten wie bspw. die Festlegung von Messstellen geschaffen, in der Transition-Phase der Funktionsdemonstrator aufgebaut und in der Operation-Phase der Energieverbrauch im Pilotbetrieb überprüft.

Methodisch wurden zusätzlich drei Schichten zur Optimierung des Energieverbrauchs in jeder Phase unterschieden. Aus der Beschaffungssicht wurden Räume und Geräte in der IKT an sich hinsichtlich ihres Energieverbrauchs vermessen. Aus der Produktions- (Betriebs-) Sicht wurde der Energieverbrauch im Betrieb analysiert und aus der Absatzsicht die Sicht der Kunden und Nutzer integriert (siehe Abbildung 1).

Zur Projektorganisation wurden die Aufgaben in Arbeitspakete (AP) unterteilt, deren Ergebnisse in dazugehörigen Berichten dokumentiert wurden. Die vollständigen Berichte befinden sich im Anhang. Dieser Abschlussbericht wiederum fasst die wesentlichen Ergebnisse und das Vorgehen mit Referenz auf die Berichte zu den Arbeitspaketen zusammen.

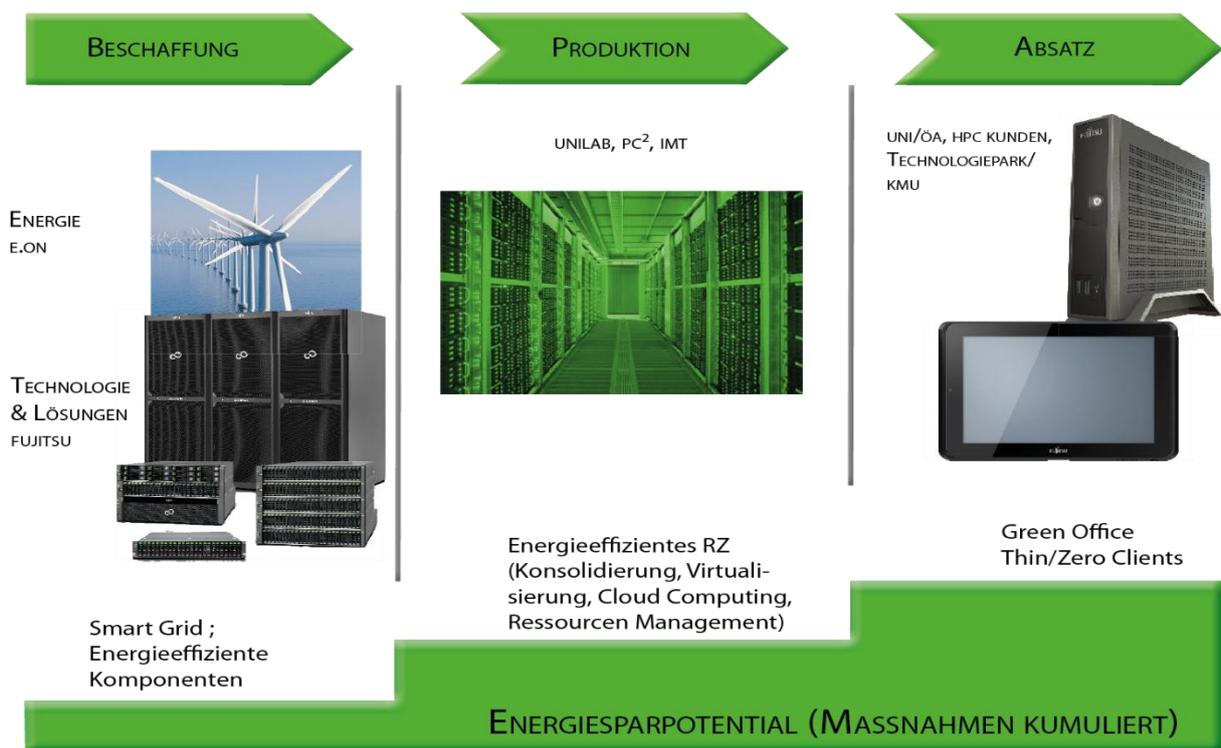


Abbildung 1: Ende-zu-Ende Sicht der Einsparmaßnahmen

Die untersuchten Komponenten orientieren sich dabei an dem Treiberbaum für CO₂-Emissionen (siehe Abbildung 2, Quelle SMART 2020 Addendum Deutschland, S.87).

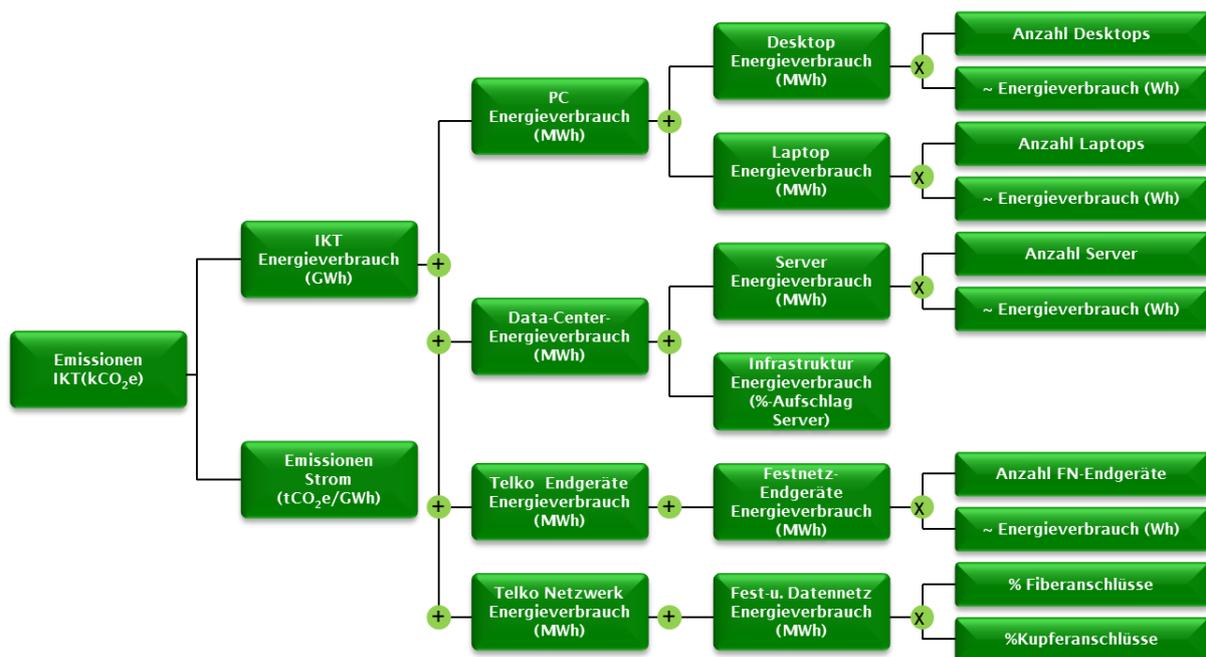


Abbildung 2: Treiberbaum für CO₂e-Emissionen der IKT

2.2 Ergebnisse und Vorgehen: Energieeffizienz

Im Bereich Energieeffizienz wurden im Bereich der Beschaffung, der Produktion und des Absatzes folgende Bestandteile der IKT-Infrastruktur im Projekt im Detail untersucht:

- (a) RZ-Infrastruktur an der Universität Paderborn
- (b) Clients (PC, Thin-Clients, Zero-Clients, Mobilgeräte)
- (c) Telefonie
- (d) Server
- (e) Netzkomponenten (LAN und WLAN)
- (f) Anwendungen

Grundsätzlich war es dafür notwendig zunächst die entscheidenden Messparameter für Vergleiche zwischen Gerätefamilien aus der Beschaffungssicht und im Betrieb aus der Produktionssicht festzulegen, zu erheben, dynamisch zu beobachten und zu analysieren. Bei den Clients wurde in der Produktionssicht insbesondere das Szenario eines serverbasierten Betriebs mittels Virtual Desktop Infrastructure (VDI) im Vergleich zu einer klassischen Client-Server-Anbindung untersucht.

2.2.1 Ergebnisse

2.2.1.1 RZ-Infrastruktur an der Universität Paderborn

Das Rechenzentrum an der Universität Paderborn wurde vermessen, alle Messdaten stehen als Live-Daten online unter <http://groups.uni-paderborn.de/greenpad/> zur Verfügung. Der PUE wurde als Vergleichskennzahl festgelegt und liegt zwischen 1.22 und 1.27.

Parallel wurden alle RZ-Komponenten aufgenommen und in den Benchmark der TU Berlin integriert, um die beiden Ansätze Live-Messung der Produktivität vs. Benchmark der Beschaffungssicht zu vergleichen. Das Verfahren ist noch nicht abgeschlossen, da die komplette Inventarisierung des Datacenters nur mit großen Hürden zu meistern ist. So teilen sich bspw. die Bereiche IMT und das PC² an der Universität Paderborn die Messstellen für die Stromversorgungen. Ebenso fehlen Personalressourcen und Berechtigungen, um im fremden RZ-Bereich eine genügend genaue Inventarisierung vorzunehmen.

Ebenfalls parallel wurde versucht, mit dem Simulationswerkzeug CERES von FTS die Komponenten im RZ zu modellieren, um Veränderungen bspw. in der Außentemperatur, in der Innentemperatur, im Lastverhalten vorab simulieren zu können. In der Evaluation hat sich gezeigt, dass das Werkzeug derzeit noch nicht für eine dynamische Simulation ausgelegt ist. Es konnte daher im Projektverlauf nicht mehr weiter eingesetzt werden.

2.2.1.2 Clients

Bei den Clients wurden unterschiedliche Baureihen von Standard-PCs (Fat Clients) bis hin zu Zero Clients und mobilen Geräten in unterschiedlichen Nutzungsszenarien von „Büroarbeitsplatz“ über „Entwicklerplatz“ hin zu „Poolräumen“ betrachtet und analysiert. Bei dem Vergleich der Energieaufnahme hat sich gezeigt, dass nachgewiesen durch die vorhandenen Prüfsiegel moderne Standard-PCs über ein sehr gutes Energiemanagement verfügen, das lastorientiert die Leistungsaufnahme regelt. Im Anwendungsszenario „Poolräume“ wurde die gesamte Ende-zu-Ende-Beziehung bzgl. Energieverbrauch detailliert analysiert. Hier hat sich erwiesen, dass das Szenario Zero Client und VDI-Infrastruktur nicht zu einer besseren Energiebilanz im Vergleich zu aktuellen Standard-PCs und klassischer Client-Server-Struktur führt. VDI lohnt sich aus Sicht der gewonnenen Flexibilität bzgl. des Managements von Anwendungsszenarien und der Raumnutzung trotzdem und wurde daher an der Universität Paderborn für den Poolraumbetrieb in die Produktivnutzung geführt. Details zu den Ergebnissen finden sich im Anhang im Bericht zum AP 2.2.3.

2.2.1.3 Telefonie

Die Untersuchung der bestehenden TK-Infrastruktur an der Universität Paderborn zeigte, dass eine Migration von analoger Telefonie zu VoIP unter energetischen Gesichtspunkten nicht sinnvoll ist. Es existieren allerdings qualitative Aspekte (z.B. Redundanz, Callroutings, Voicemailboxen etc.), die durch den Einsatz der analogen Telefonanlage nicht realisierbar sind.

2.2.1.4 Server

Im Bereich der Server wurde die im Projekt benötigte Server-Hardware im Hinblick auf Energieeffizienz eingehend ausgewählt und analysiert. Die Entscheidungs- und Auswahlkriterien beinhalten insbesondere energieeffiziente Hardware-Komponenten und die Berücksichtigung des SPECpower_ssj2008 und sind im Detail im Bericht zum Arbeitspaket (AP) 2.2.1 (siehe Anhang) erläutert. Für die Produktionssicht und den Projektverlauf war entscheidend, ob (a) den veröffentlichten Ergebnissen des SPECpower_ssj2008 und (b) der Selbstauskunft der im Projekt erworbenen Server (Blades sowie Einzel-Server) mittels des Standards IPMI vertraut werden kann. Letzteres konnte für die Einzel-Server durch die im Projekt durchgeführten Messungen eindeutig positiv bestätigt werden. Bei den Blade-Servern setzt sich der Gesamtverbrauch eines Chassis zusammen aus dem Verbrauch der einzelnen Server-Blades, welcher über IPMI abgefragt werden kann, und dem Verbrauch der gemeinsamen Chassis-Infrastruktur (Netzteile, Lüfter, Netzwerk-Switches, Chassis-Management), der wiederum von der Gesamt-Auslastung aller Server abhängt. Für Abrechnungszwecke muss dies durch einen Aufschlag für die nicht direkt zurechenbaren Infrastruktur-Verbrauchswerte zu den per IPMI gemessenen Server-Verbrauchswerten berücksichtigt werden.

Die Hardwarekonfigurationen für die veröffentlichten Hersteller-Messergebnisse für den Benchmark SPECpower_ssj2008 sind auf minimalen Energieverbrauch hin optimiert. Dementsprechend lagen unsere Verbrauchs-Messwerte für die mit redundanten Komponenten und mehr Hauptspeicher bestückten Konfigurationen höher, sie waren grob betrachtet aber konsistent mit den veröffentlichten Werten. Für die Details wird auf den Bericht zur IPMI-Messgenauigkeit BX900 im Anhang (bezogen auf die Arbeitspakete 1.3 und 9) verwiesen. Eine weitere wichtige Fragestellung im Projekt war, welchen Einfluss die Blade-Infrastruktur im Vergleich zu den identisch ausgestatteten Rackservern auf die Energieeffizienz hat. Hier hat sich in unseren Messungen wie im Vergleich mit dem SPECpower_ssj2008 gezeigt, dass eine höhere Energieeffizienz der Blade-Server (zumindest im Vergleich BX 900 S2 vs. RX200 S7) nicht vorhanden ist. Der Infrastruktur-Grundverbrauch der Blade-Systeme trägt insbesondere dann überproportional zum Gesamtverbrauch bei, wenn man lastbezogen einzelne Blades abschaltet. Details finden sich im Bericht „Zusammenfassung der Messergebnisse zur Server-Leistungsaufnahme“ im Anhang (AP 1.3).

2.2.1.5 Netzkomponenten

Im Netzbereich wurden sowohl das LAN als auch das WLAN hinsichtlich Energieeffizienz bei der Beschaffung und im Betrieb analysiert.

Aus der **Beschaffungssicht** wurden im LAN die Daten des Herstellers Cisco aus Datenblättern, dem Cisco PowerCalculator und der Selbstauskunft von Switchen mit eigenen Messungen im Versuchslabor verglichen. Als Ergebnisse lassen sich festhalten:

- Die Ergebnisse aus den Datenblättern lassen sich reproduzieren (Datacenter und Campus)
- Die Messergebnisse sind bei Nexus 55xx, Nexus 2xxx, C3560G-48TS-S, WS-C4506-E besser als in den Datenblättern.
- Bei der Serie C3560G-48PS-S ergibt sich ein schlechteres Messergebnis. Eine mögliche Erklärung könnte der Betrieb des Netzteilbereiches in einem Teillastbereich sein.

Aus der **Produktions- bzw. Betriebssicht im LAN** wurden die folgenden Ergebnisse festgestellt:

- Die Leistungsaufnahme steigt nach einer relativ hohen Grundlast mit der Portbelegung linear, d.h. Router/Switches sind bei Vollbelegung am energie-effizientesten.
- Im Vergleich von modularen ausbaufähigen Switchen zu sogenannten stackable Switches sollte man aus energetischer Sicht den Aufbau zunächst stacked beginnen, modular lohnt sich erst bei Fast-Vollbelegung (der Break-Even-Point liegt beginnt bei einer Belegung mit mehr als 50% des modularen Switches).
- Die Energieaufnahme der Switches ist von ihrer Verkehrslast fast unabhängig. Eine Differenz ergibt sich im Versuchsaufbau bei den PoE-fähigen Switches. Eine mögliche Erklärung könnte auch hier der Betrieb des Netzteilbereiches in einem Teillastbereich sein.
- Die Energieaufnahme pro Port entscheidet sich dramatisch pro Portgeschwindigkeit. Ein 1 GBit-Port ist energetisch deutlich teurer als ein 10 oder 100Mbit-Port. Dies gilt insbesondere bei den kleineren stackable Switches der Serie 3560. Es zeigt sich keine Differenz zwischen IDLE und 10 Mbit. Selbst aktuelle Switches können die Portgeschwindigkeit nicht dem Lastprofil anpassen, obwohl entsprechende Patente und Standards existieren.
- Die Portbelegung am Switch in einem typischen Beispielgebäude bei Nacht zeigt nur eine minimale Änderungsrate von 10% abgeschalteten Geräten. Dies führt insbesondere mit der

Strategie der Vollauflegung und den obigen Ergebnissen bzgl. Portgeschwindigkeit zu erheblicher Energieverschwendung.

Insgesamt lässt sich als Ergebnis festhalten, dass die vermessenen aktiven Netzkomponenten der Firma Cisco noch energiehungrig und energetisch lastabhängig zu wenig managebar sind.

Als Anforderung an die Hersteller von Netzkomponenten ergibt sich daher:

- Ports müssen einzeln abschaltbar sein
- Die Portgeschwindigkeit muss lastabhängig aushandelt werden (Patent existiert, Standard 802.3az existiert)
- Der Standard 802.3az muss flächendeckend implementiert werden (zum Zeitpunkt der Untersuchung nur in HP E 8200 z1 und 5400 z1 und Cisco 4500E mit WS-X4748-RJ45-E oder WS-X4748-UPOE+E umgesetzt). Angeblich soll die nächste Generation von Cisco Komponenten den o.a. Standard flächendeckend implementieren.

Bis dahin muss aus energetischer Sicht festgehalten werden:

- Keine Überkapazitäten: Nur das in Betrieb nehmen, was wirklich gebraucht wird.
- Dies gilt sowohl für Hardware als auch für die Port-Geschwindigkeit als auch für PoE-Fähigkeit.

Eine genaue Analyse der Produktion/des Betriebs pro Standort ist notwendig um bspw. die beobachteten Phänomene genauer analysieren zu können. Zudem wäre eine Kopplung mit der Leittechnik sinnvoll, um Energieeinsparpotentiale durch automatisierte Abschaltung bei Nicht-Nutzung von Gebäuden zu realisieren. Details zu den Ergebnissen befinden sich im Bericht zu Arbeitspaket 1.3: Netzkomponenten im Anhang.

Dynamische Abschaltungsszenarien wurden im Projekt noch intensiver im WLAN untersucht. Hier konnte gezeigt werden, dass Algorithmen zur bedarfsabhängigen Schaltung von Access Points (AP) signifikante Einsparungen an Energie ermöglichen. Konkret konnte gezeigt werden, dass durch die Entwicklung eines neuen Resource-On-Demand-Verfahrens zum Clustern von Access Points Einsparpotentiale von bis zu 30% bei Einschränkungen der Dienstgüte durch hartes Abschalten möglich sind. Wenn man die Dienstgüte nicht deutlich einschränken will, sind immerhin noch Einsparungen in der Höhe von 15 % realisierbar. Die Ergebnisse und das neue Verfahren wurden veröffentlicht und können von Hardware-Herstellern einfach in ihre Produkte integriert werden. Die Universität Paderborn hat die Verfahren in den Produktivbetrieb übernommen. Wesentliche Mess- und Implementierungsarbeiten wurden mit Unterstützung einer Masterarbeit ([siehe 13]) erreicht, die mit dem 1. Platz beim Deutschen Rechenzentrumspreis 2014 in der Kategorie „Ideen und Forschung“ ausgezeichnet wurde. Details zu den Ergebnissen befinden sich [14].

2.2.1.6 Anwendungen

Auf der Anwendungsebene konnten im Bereich der Öffentlichen Auftraggeber, der StartUps und der wissenschaftsnahen Einrichtungen Anwendungen für insgesamt 15 Organisationen zentralisiert und konsolidiert werden. Die Energieeinsparungen konnten nicht valide ermittelt werden, da vor der Zentralisierung die Anwendungen oft auf Arbeitsplatzrechnern unter dem eigenen Schreibtisch liefen. Wie im Kapitel 2.4 weiter ausgeführt wird, konnten Cloud-Modelle nicht umgesetzt werden, so dass es im Bereich der Standard-IT-Dienste für diese GreenPAD-Zielgruppe kein aussagekräftiges Szenario zum Vergleich gab. Gleichwohl konnten die Energiesparpotentiale für Anwendungen im klassischen RZ-Betrieb, für das VDI-Szenario und für HPC-Kunden ermittelt werden.

Die Anwendungsklasse „VDI“ zeichnet sich dadurch aus, dass es in ihr klar identifizierbare Leistungsspitzen und Leistungsreserven gibt, die mittels des Grünen Leitstandes und Anwendungen aus dem HPC-Bereich optimiert werden können (siehe Abbildung 3). Die Anwendungsklasse „klassischer RZ-Betrieb“ zeichnet sich an der Universität Paderborn dadurch aus, dass die Last- und Leistungsaufnahme durch die Virtualisierungsschicht (VMware ESX) gut optimiert wird und daher nahezu auf einem Niveau verläuft (siehe Abbildung 4).

Alle Daten stehen live online unter <https://monitoring.uni-paderborn.de/drraw> (Login greenpad, passwort Gr33nPA)) zur Verfügung.

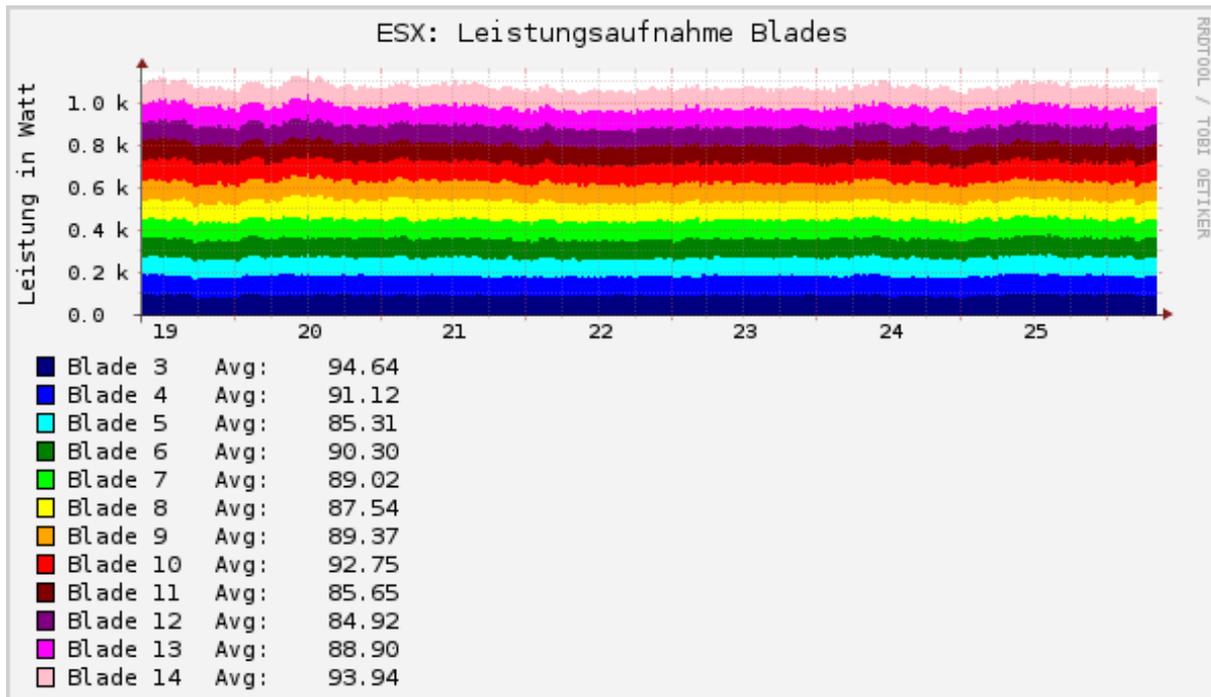


Abbildung 3: Leistungsaufnahme ESX-Blades im Wochenverlauf

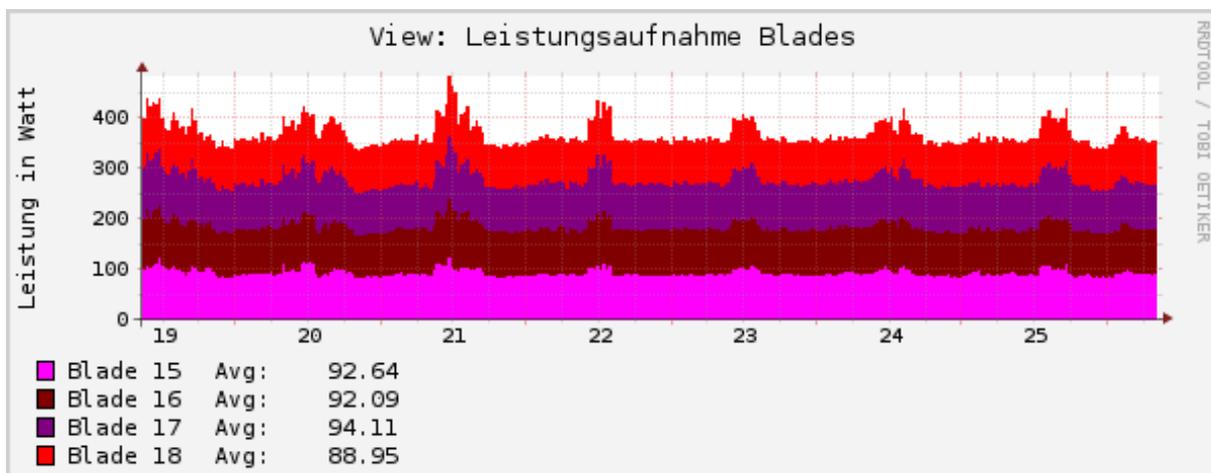


Abbildung 4: Leistungsaufnahme der VDI-Blades im Wochenverlauf

2.2.2 Vorgehen

Das im Projekt gewählte Vorgehen der Analyse und Optimierung der Verbrauchstreiber orientiert sich insgesamt am Treiberbaum (siehe Abbildung 2) und im RZ selbst an den klassischen Ebenen wie in der folgenden Abbildung 5 dargestellt.

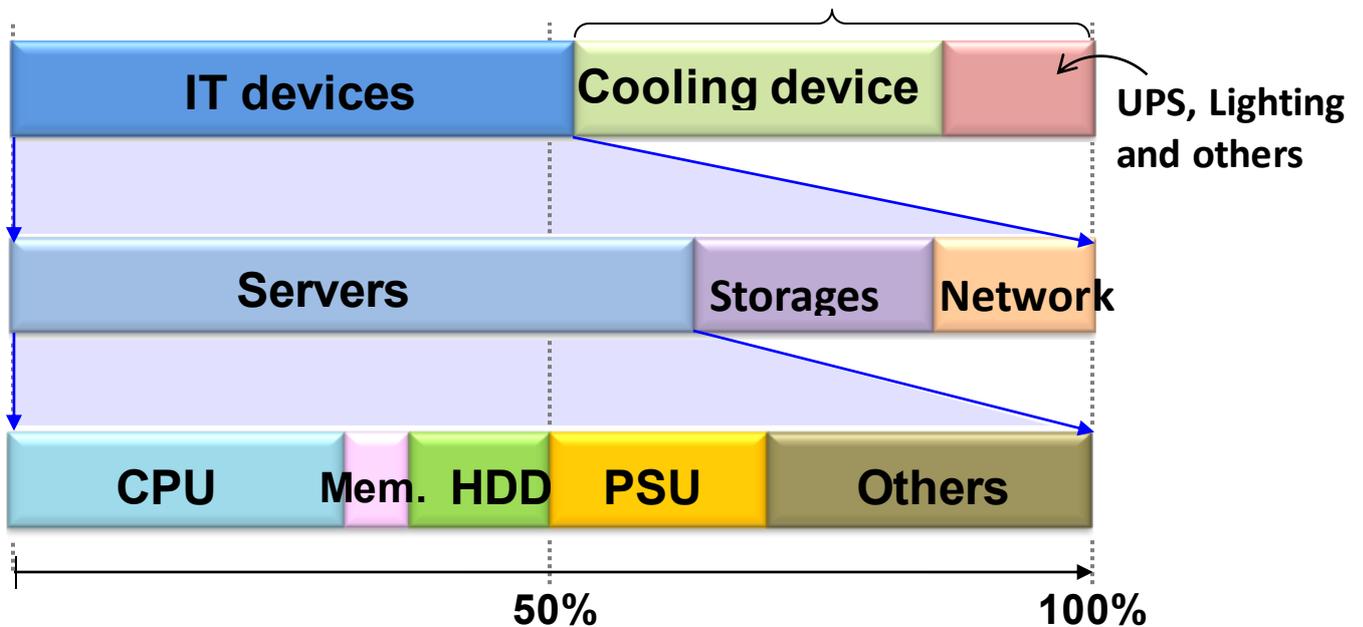


Abbildung 5: Energieverbraucher im RZ

2.2.2.1 RZ-Infrastruktur an der Universität Paderborn

Das Rechenzentrum war an der Universität Paderborn vor Projektbeginn gebaut worden und wurde daher im Projekt einem Review unterworfen. Dazu hat FTS das vorhandene Lastenheft und die tatsächliche Realisierung Anfang 2012 untersucht.

Als Ergebnisse und weitere notwendige Aktionen wurden festgestellt und in Folge umgesetzt:

Ergebnis zur Energie-Effizienz:

- Die Energie-Effizienz lässt sich nur beurteilen, wenn man weiß, welche Geräte eingebaut sind.
 - Notwendige Aktion: Gerätetyp der USVs muss geklärt werden.
 - Status seit Ende 2012: Typ ist geklärt.
- Es muss die Auslastung der USVs online abgefragt werden können, um den optimalen Wirkungsgrad zu steuern und Asymmetrie in der Auslastung zu vermeiden.
 - Notwendige Aktion: USVs an's Netz und lesender Zugriff für IMT/PC²
 - Status seit Ende 2012: USVen sind an das IP-Netz angeschlossen, ein lesender Zugriff für IMT/PC² ist eingerichtet. Daten werden online ausgelesen.

Ergebnis zur Arbeitssicherheit

- Dringend erforderlich sind Nottelefone.
 - Notwendige Aktion: autarke Nottelefone (unabhängig von Stromversorgung) installieren
 - Status seit Ende 2012: installiert
- Dringend erforderlich ist es Panik-Öffnung zu realisieren
 - Notwendige Aktionen: Panik-Beschläge installieren
 - Status seit Ende 2013: installiert
- Dringend erforderlich ist die Protokollierung von Zutritten, um im Notfall entscheiden zu können, ob sich noch Personen in den Räumen aufhalten
 - Notwendige Aktion: Protokollierung des Zutritts
 - Status seit Ende 2013: eine Protokollierung findet durch die Schleuse statt
- Unklar ist, ob die Brandabnahme stattgefunden hat
 - Notwendige Aktionen: Brandabnahme klären
 - Aktueller Status: Die Brandabnahme ist noch nicht komplett erledigt. Es fehlt die Inbetriebnahme der Löschanlage, was auf Grund fehlender Notausgänge noch nicht erledigt ist.

Ergebnis zur Sicherheit der Infrastruktur

- Dringend empfohlen wird eine 2-Faktor-Authentifizierung (was man hat und was man weiß)
 - Notwendige Aktion: anderes elektronisches Schließsystem installieren
 - Status seit Ende 2012: die Schließanlage wird betrieben mit einer 1-Faktor-Authentifizierung (was man hat). Andere Lesegeräte mit PIN könnten bei Bedarf nachgerüstet werden.
- Absolut notwendig sind aktuelle Leitungspläne für die korrekte Dokumentation
 - Notwendige Aktion: aktuelle Leitungspläne vorlegen
 - Status seit Ende 2012: die Leitungspläne liegen im Dez 5, PC² und IMT in aktueller Form vor
- Es wird empfohlen die Klimageräte rollierend einzusetzen, um Ausfälle zu vermeiden
 - Notwendige Aktion: Planung klären
 - Status seit Ende 2012: die Klimageräte werden rollierend eingesetzt
- Ein Betriebshandbuch (wer darf was wie, wer informiert wen) muss erstellt werden
 - Notwendige Aktionen: Betriebshandbuch erstellen
 - Aktueller Status: Betriebshandbuch existiert nicht
- Ein Notfallhandbuch (welche Alarmläufe wo auf, wer wird wann wie informiert) ist dringend notwendig
 - Notwendige Aktion: Notfallhandbuch erstellen
 - Aktueller Status: Notfallhandbuch existiert nicht

Es ist geplant, die noch notwendigen Aktionen mit den zuständigen Stellen in der Universität weiter zu diskutieren und umzusetzen.

Bzgl. der Messstellen und online-Messungen waren Nachrüstungen an unterschiedlichen Stellen im Rechenzentrum notwendig. Diese konnten sukzessive erledigt werden. Unterteilt wurde in elektrische (siehe Abbildung 6, Abbildung 7) und klimatechnische (siehe Abbildung 8) Messstellen sowie in elektronisch und manuell ablesbare Einrichtungen. Dazu wurden noch Wettermerkmale der lokalen Wetterstation aufgezeichnet.

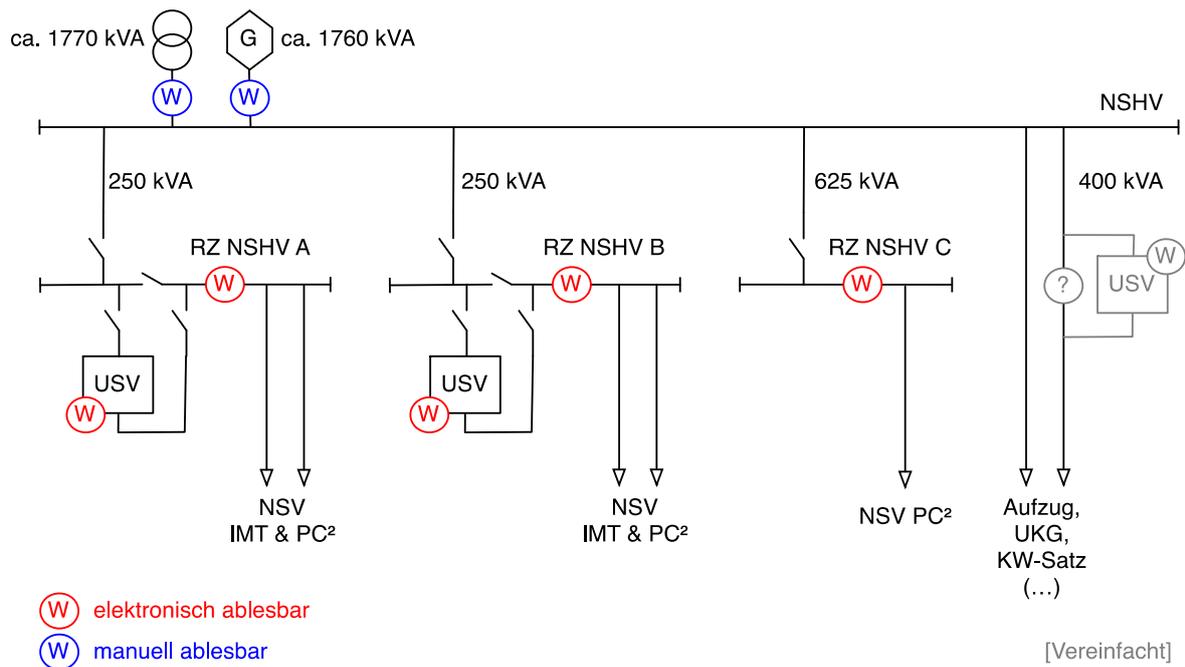


Abbildung 6: Stromverteilung - Abschnitt Gebäude / Niederspannungshauptverteilung (NSHV)

Die elektrischen Messstellen im Bereich der Niederspannungshauptverteilung (schematisch dargestellt in Abbildung 6) wurden von der Betriebstechnik installiert und über einen Feldbus automatisch abfragbar ausgeführt. Manuell ablesbar existieren Zähler am Übergang Mittelspannung / Niederspannung bei der Übergabe ins Gebäude. Sowie ein Tableau an der Netzersatzanlage (NEA) zum Ablesen der Leistung während der Versorgung des Gebäudes mit Notstrom.

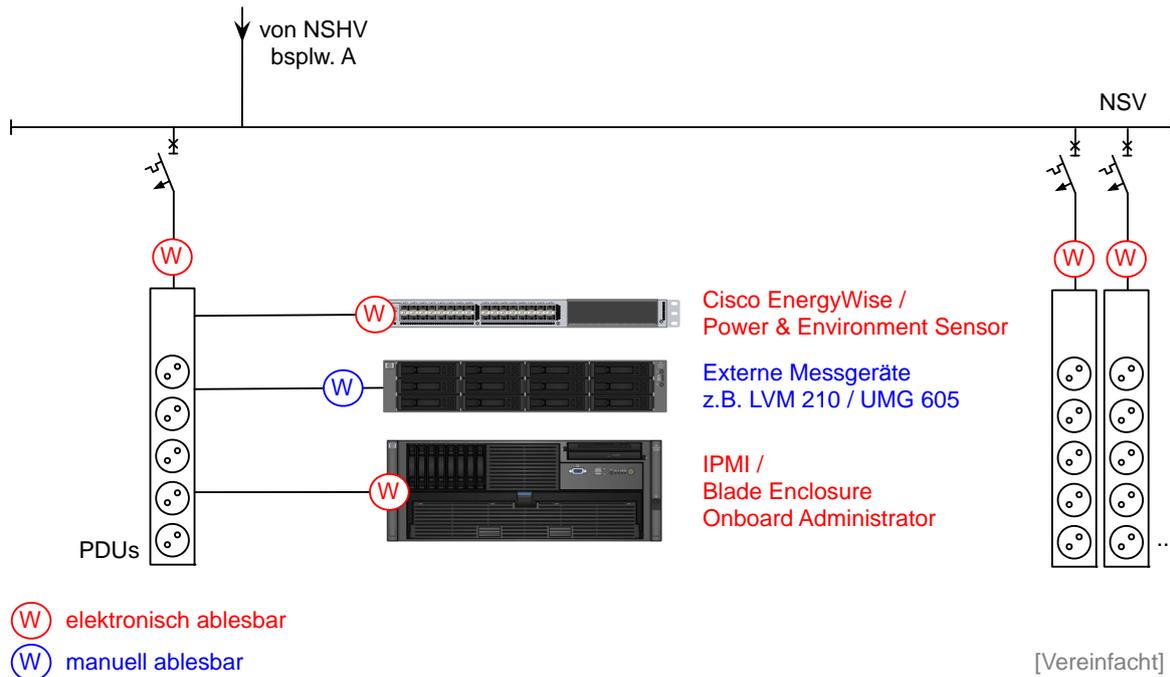


Abbildung 7: Stromverteilung - Abschnitt RZ / Niederspannungsverteilung (NSV)

Alle Messstellen hinter der Niederspannungshauptverteilung wurden vom IMT / PC² installiert. Dazu gehören jeweils 2-3 Mehrfachsteckdosen in den Server-Racks mit Messmöglichkeiten an den Phasen, sowie einzelne Messungen mit externen Messgeräten und das Abfragen der einzelnen per IPMI.

Tabelle 1 fasst die einzelnen elektrischen Messpunkte zusammen.

| | Messstellen | Einheit | Auto./Man. | Zyklus |
|------|--|---------|-------------|----------------------|
| NSHV | Anbindung Gebäude Netz – Elektr. Leistung | W | manuell | Auf Anforderung |
| | Versorgung NEA Gebäude – Elektr. Leistung | W | manuell | Auf Anforderung |
| | USV Strang A – Elektr. Leistung | W | | - nicht realisiert - |
| | USV Strang B – Elektr. Leistung | W | | - nicht realisiert - |
| | RZ Strang A – Elektr. Leistung | W | automatisch | 1 min |
| | RZ Strang B – Elektr. Leistung | W | automatisch | 1 min |
| | RZ Strang C – Elektr. Leistung | W | automatisch | 1 min |
| | RZ Strang A – Elektr. Verbrauch | WH | automatisch | 1 min |
| | RZ Strang B – Elektr. Verbrauch | WH | automatisch | 1 min |
| | RZ Strang C – Elektr. Verbrauch | WH | automatisch | 1 min |
| | Betriebstechnik Gebäude USV – Elektr. Leistung | W | | - nicht realisiert - |

| | | | | |
|-----|---|---|-------------|---------------------|
| NSV | Mehrfach-Steckdosen im Rack – Elektr. Strom | A | automatisch | 1 min |
| | IPMI Messungen Server | W | automatisch | - unterschiedlich - |
| | Externe Messgeräte | W | manuell | - unterschiedlich - |

Tabelle 1: Aufzählung der Messpunkte in NSHV und NSV

Auf der Ebene der Kälteversorgungen wurden Kältemengenzähler an den einzelnen, für den RZ-Betrieb relevanten, Unterkreisen installiert. Dabei wurden bei der Planung des Gebäudes die Kälteversorgung für den Umluft-klimatisierten Betrieb und die direktgekühlten Racks einzeln ausgeführt. Dies war aufgrund der verschiedenen Vorlauftemperaturen und Temperaturspreizungen notwendig.

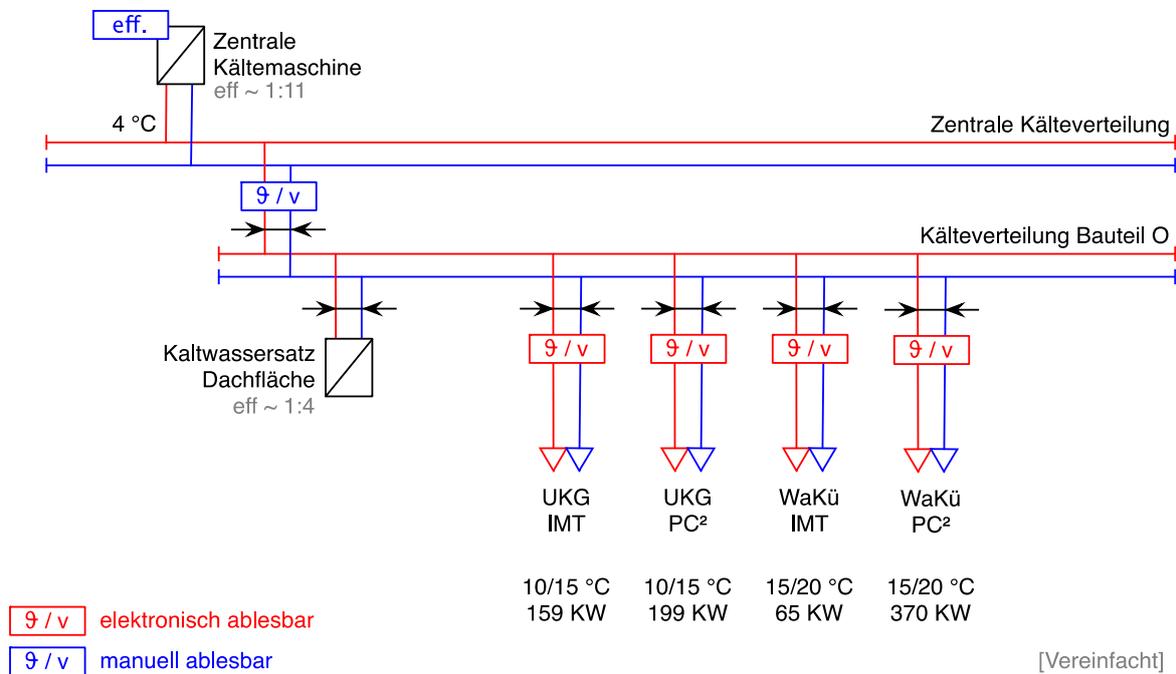


Abbildung 8: Kälteverteilung

Abbildung 8 skizziert die Verteilung der Zähler. Ebenso wurden die Arbeitspunkte der zwei vorhandenen Kältemaschinen in der zentralen Kälteversorgung analysiert und eine Approximation des Gesamtwirkungsgrades über das Jahr erzeugt. Mit diesem Modell ist es möglich, eine Annäherung an den tatsächlichen Energieverbrauch der Kältezentrale über das Jahr abzuschätzen. Dies war für die Kennzahl PUE im RZ notwendig. Live-Daten konnten hier nicht erhoben werden.

| Messstellen | Einheit | Auto./Man. | Zyklus |
|---|---------|------------|----------|
| Effizienz zentrale Kälteerzeugung (COP) | | manuell | Einmalig |

| | | | | |
|--|--|----------------|-------------|-------|
| | Kälte UKG IMT Vorlauftemperatur | °C | automatisch | 1 min |
| | Kälte UKG IMT Rücklauftemperatur | °C | automatisch | 1 min |
| | Kälte UKG IMT Volumenstrom | m ³ | automatisch | 1 min |
| | Kälte UKG IMT Temperaturdifferenz | K | automatisch | 1 min |
| | Kälte UKG IMT Leistung | W | automatisch | 1 min |
| | Kälte UKG PC2 Vorlauftemperatur | °C | automatisch | 1 min |
| | Kälte UKG PC2 Rücklauftemperatur | °C | automatisch | 1 min |
| | Kälte UKG PC2 Volumenstrom | m ³ | automatisch | 1 min |
| | Kälte UKG PC2 Temperaturdifferenz | K | automatisch | 1 min |
| | Kälte UKG PC2 Leistung | W | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks IMT Vorlauftemperatur | °C | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks IMT Rücklauftemperatur | °C | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks IMT Volumenstrom | m ³ | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks IMT Temperaturdifferenz | K | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks IMT Leistung | W | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks PC2 Vorlauftemperatur | °C | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks PC2 Rücklauftemperatur | °C | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks PC2 Volumenstrom | m ³ | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks PC2 Temperaturdifferenz | K | automatisch | 1 min |
| | Kälte Wassergekühlte Racks PC2 Leistung | W | automatisch | 1 min |

Tabelle 2: Auflistung der Messstellen im Bereich Klimatechnik

Tabelle 2 fasst die Messstellen im Bereich Klimatechnik zusammen. Neben der zentralen Kälteerzeugung gibt es noch ein Notfall-Kühlsystem auf dem Dach des Rechenzentrums und eine Wärmepumpe für die Einspeisung der erzeugten Abwärme in das Heizungsnetz der Uni. Beide Geräte wurden aber, bis auf Abnahmetests im Ende der Bauphase, noch nicht erwähnenswert in Betrieb genommen.

| | Messstellen | Einheit | Auto./Man. | Zyklus |
|--|----------------------|----------------|-------------------|---------------|
| | Lufttemperatur Außen | °C | automatisch | 1 min |
| | Luftdruck Außen | Pascal | automatisch | 1 min |

| | | | |
|------------------------|---|-------------|-------|
| Luftfeuchtigkeit Außen | % | automatisch | 1 min |
|------------------------|---|-------------|-------|

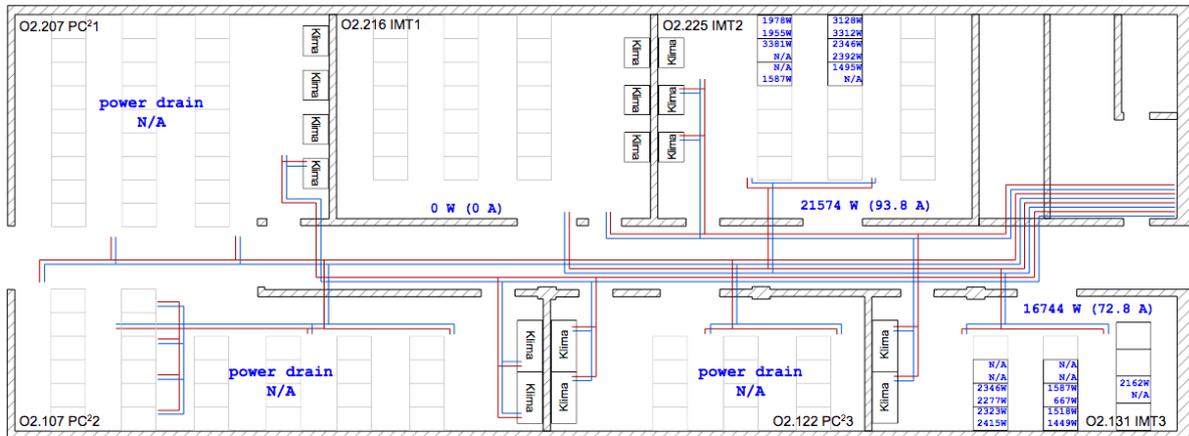
Tabelle 3: Aufgezeichnete Kenngrößen aus der Wetterstation

Neben elektrischen und klimatechnischen Messgrößen wurden auch die Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck von einer Wetterstation eines Nachbargebäudes aufgezeichnet. Diese Werte wurden benutzt um den aktuellen Arbeitspunkt der Kälteerzeugung abzuschätzen.

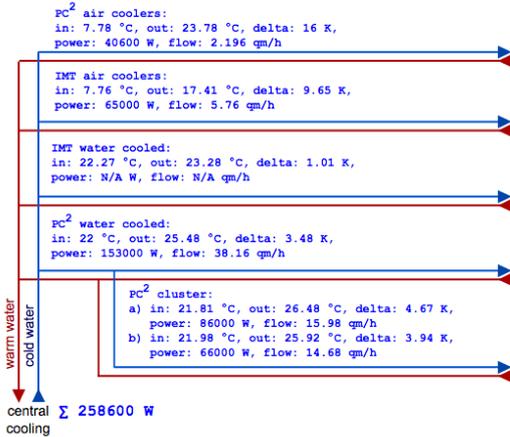
Floor Plan

PUE (Total facility power / IT equipment power) : 1.238

2014-11-24 21:22:40



Cooling



Electricity

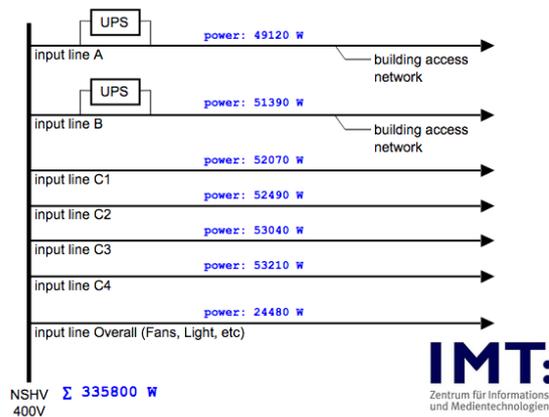


Abbildung 9: Screenshot der Messdatenübersicht

Alle Daten wurden mit den angegebenen Intervallen aufgezeichnet und eine Übersicht wurde erzeugt. Abbildung 9 zeigt eine Momentaufnahme des Systems. Dargestellt werden Kälte- und Energieflüsse vom Detailgrad Verteilung bis Schrank sowie eine Live-Abschätzung des PUE.

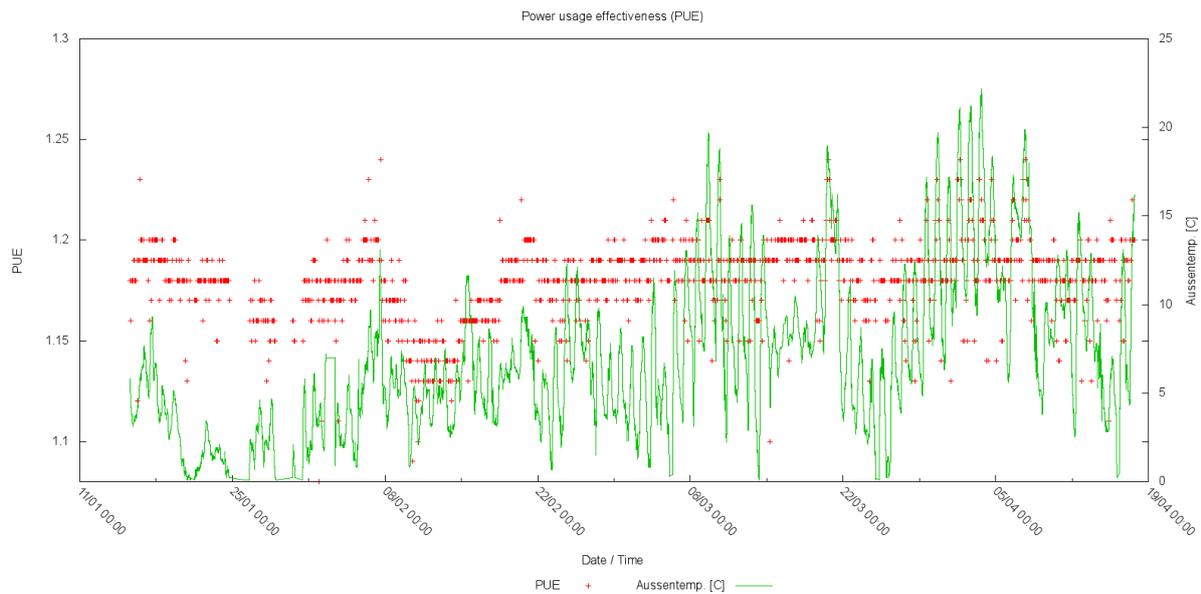


Abbildung 10: zeitlicher Verlauf des PUE im RZ

Alle Werte des Monitoring können geplottet werden. Abbildung 10 stellt exemplarisch den berechneten PUE und die Außentemperatur über den Zeitraum 11.01.2013 bis 19.04.2013 da. Hier ist sichtbar, dass der PUE in dem aufgezeigten Intervall etwas von der Außentemperatur abhängt, aber recht stabil ist. Das ist auch nicht verwunderlich, da an der Uni Paderborn die Kühlung des RZ im größten Teil durch Umluftkühlung stattfindet und der Luftwechsel mit der Außenluft minimal ist.

2.2.2.2 Clients

Von unterschiedlichen Herstellern wurden im Projekt unterschiedliche Client-Baureihen bzgl. Leistungsaufnahme im Betrieb und im Standby-Modus vermessen. Um die Gesamtsicht auf die Ende-zu-Ende-Beziehung zu bekommen, wurde an der Universität Paderborn das Szenario „Poolraum“, d.h. viele identische Rechner in einem Raum mit identischen Anwendungsszenarien und klaren zeitlichen Leerläufen intensiv analysiert. Dazu konnte die Fakultät Maschinenbau für die Umsetzung eines Prototyps gefunden werden, der sich nach weiteren Re-Konfigurationsmaßnahmen nun im Produktivzustand befindet. Detaillierte Informationen zum Vorgehen in diesem VDI-Pilotprojekt befinden sich im Bericht zum Arbeitspaket 2.2.3 im Anhang.

2.2.2.3 Server

Im Bereich der Serverkomponenten wurden die im Projekt beschafften Systeme BX 900 S2 und RX 200 S7 von FTS analysiert. Der Beschaffung vorausgegangen war eine intensive Beschäftigung mit den Baureihen des Herstellers und deren Energieeffizienz. Im Zuge der Analyse und der Ankündigung seitens des Herstellers in der nächsten Generation noch energieeffizientere Bauteile zu verwenden, wurde die Beschaffung deutlich verschoben. Die Auswahlkriterien für die Beschaffung sind im Bericht zum Arbeitspaket 2.2.1 im Detail beschrieben (siehe Anhang).

Für die Vergleiche der Aussagekraft von SPECpower_ssj2008 und IPMI wurden umfangreiche Messungen sowohl an den BX 900- als auch an den RX 200-Systemen durchgeführt. Detaillierte Informationen finden sich im Bericht „Zusammenfassung der Messergebnisse zur Server-Leistungsaufnahme“ im Anhang (AP 1.3).

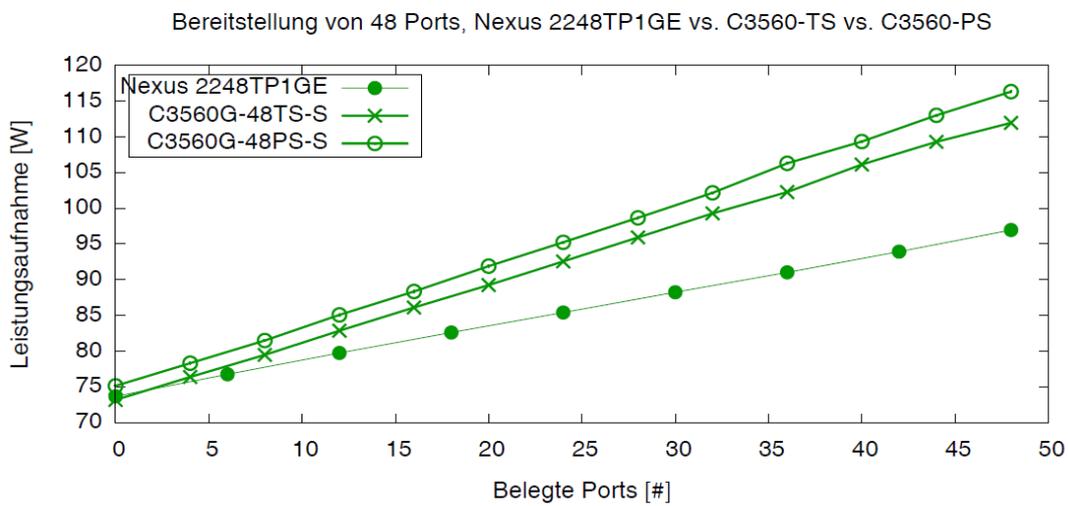
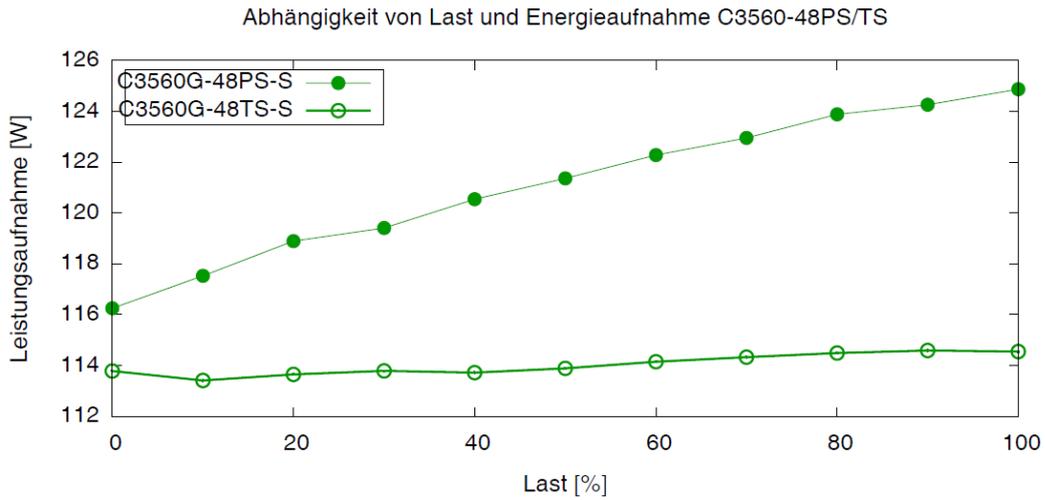
2.2.2.4 Netzkomponenten

Für die Analyse der Energieeffizienz im Bereich der Netzkomponenten wurden Messungen im Bereich LAN und WLAN durchgeführt und Optimierungsmethoden für den energieeffizienten Betrieb entwickelt. Konkrete Messungen wurden anhand der an der Universität vorhandenen Komponenten der Firma Cisco durchgeführt.

Im LAN wurden mittels Versuchsaufbauten die vom Hersteller für unterschiedliche Fabrikate und Auslastungsszenarien (Portbelegung, Portgeschwindigkeit) angegebenen Energieverbrauchsdaten mit Hilfe der Selbstauskunft der Geräte und einem externen Messgerät überprüft (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11: Aufbau der Messumgebung



Für die Produktionssicht wurden Auswirkungen von Design-Entscheidungen (welche Geräte, Policy der Schaltung und Belegung von Ports sowie diverse Nutzungsszenarien bspw. Tag vs. Nacht in Hinblick auf den Energieverbrauch analysiert (siehe vorherige Graphen und Abbildung 12 bis Abbildung 14). Details zu den Ergebnissen befinden sich im Bericht zu Arbeitspaket 1.3: Netzkomponenten im Anhang.

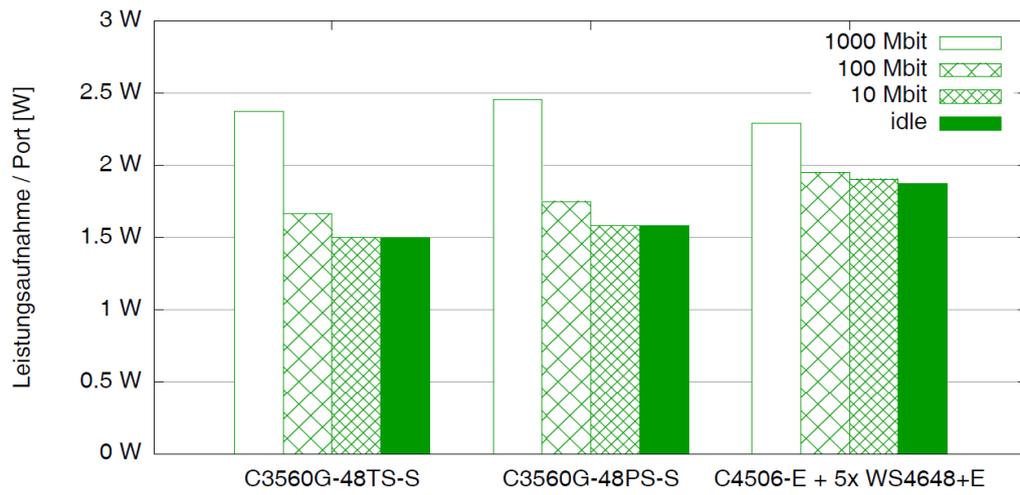


Abbildung 12: Energiekosten pro Port bei unterschiedlichen Verbindungsgeschwindigkeiten

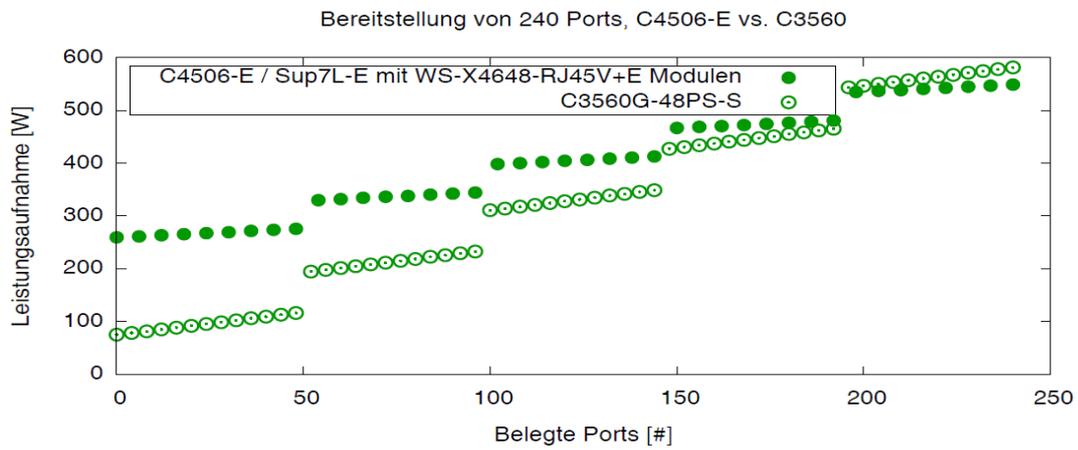


Abbildung 13: Leistungsaufnahme nach Anzahl belegter Ports im Vergleich

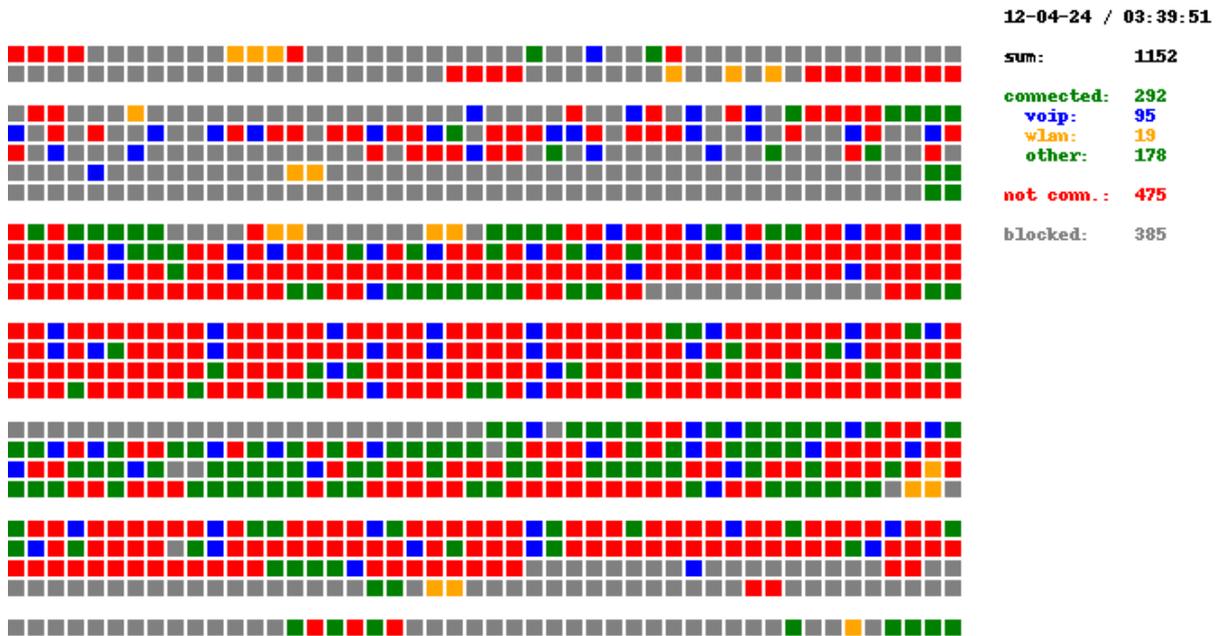


Abbildung 14: Aktive Ports nachts

Im WLAN wurde in Analogie zum LAN der Energieverbrauch der Access Points unter unterschiedlichen Lastszenarien vermessen. Ebenfalls wurden umfangreiche Daten zum Betrieb und zur Auslastung im Netz der Universität Paderborn erhoben und analysiert. Zunächst wurden auch hier am Beispiel der Universität Paderborn die in der Literatur bekannten Befunde, dass durchschnittlich 20-60% der Access Points in einer größeren WLAN-Infrastruktur nicht genutzt werden, belegt. An der Universität Paderborn beträgt dieser Anteil sogar 65%. Weiterhin hat sich durch Messungen bestätigt, dass die Nutzerzahlen im WLAN insgesamt stark schwanken, wobei zusätzlich aber die Verteilung der Nutzer auf die Access Points im Universitätsbereich einigermaßen vorhersagbar ist (siehe Abbildung 15 bis Abbildung 17). Mit Hilfe von neuen Verfahren zum Clustering von Access Points konnte der Energieverbrauch optimiert werden. Details zum Vorgehen befinden sich in ([13], [14]).

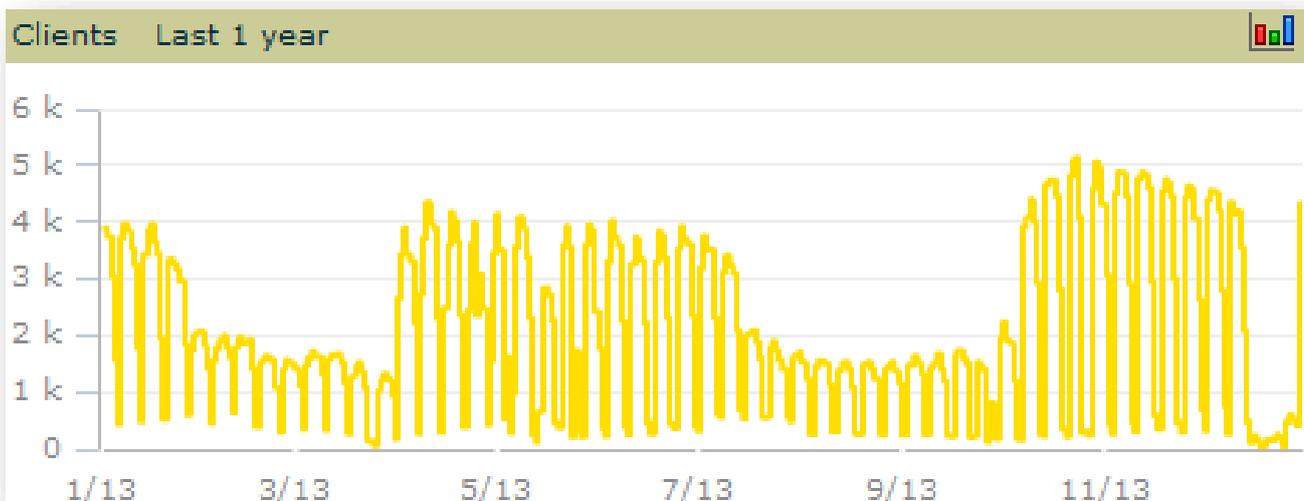


Abbildung 15: Anzahl der Clients im WLAN von Januar bis Dezember 2013

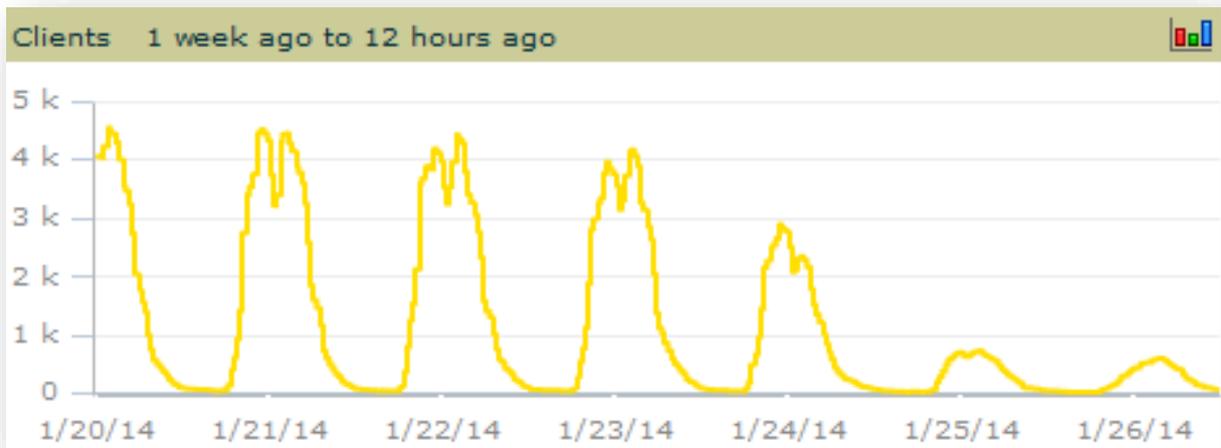


Abbildung 16: Anzahl der Clients im WLAN im Wochenverlauf

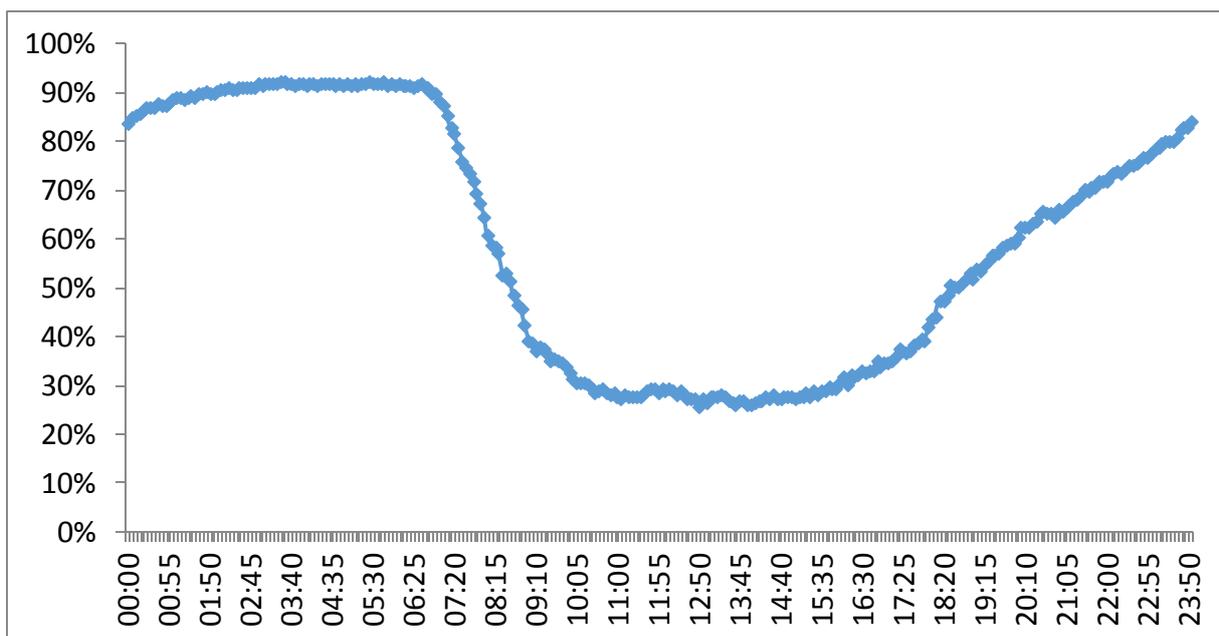


Abbildung 17: Access Points ohne Nutzer (Tagesverlauf im Durchschnitt)

2.2.2.5 Anwendungen

Das Monitoring der Anwendungen erfolgt mittels IPMI, ICINGA und VMware.

2.3 Vorgehen und Ergebnisse: Smart-Grid-Konzept

2.3.1 Situation in Paderborn

Mit den Beschlüssen zur Energiewende und den ambitionierten Klimaschutzzielen zur CO₂-Reduzierung steht Deutschland vor großen Herausforderungen. Die durch staatliche Subventionierung geförderte und von der Bevölkerung befürwortete Energieerzeugung aus regenerativen Quellen führt zu einer dezentralen Versorgung aus wetterabhängigen Minikraftwerken, für die das bisherige Stromnetz nicht ausgelegt ist.

Probleme ergeben sich daraus, dass sich der Energiebedarf nicht (unbedingt) nach dem Wetter richtet und dass die Transformatoren zum Mittelspannungsnetz oftmals nicht ausreichen, den überschüssigen Strom abzuleiten, wenn der Wind kräftig weht oder die Sonne scheint. Aus diesem Grund ist es wünschenswert, Energie lokal zu verbrauchen und zwar genau dann, wenn sie erzeugt wird.

Das Projekt GreenPAD hilft, diese sporadisch auftretende „überschüssige“ regenerative Energie mit Hilfe regelbarer Verbraucher ökonomisch und ökologisch sinnvoll zu kompensieren. Im Rahmen dieses Projektes diente hier das neue, auf Energieeffizienz ausgelegte Rechenzentrum der Universität Paderborn als variabel steuerbarer Verbraucher.

Die Voraussetzungen dazu sind regional hervorragend: in 2km² um die Universität Paderborn sind universitäre Fachbereiche, wissenschaftliche Institute und etwa 100 Firmen im Technologiepark angesiedelt. Zudem befindet sich in unmittelbarer Nähe ein Windpark, dessen erzeugter Strom direkt vom Rechenzentrum der Universität Paderborn abgenommen werden könnte. Potenzielle Kunden von Cloud-Diensten, ein Rechenzentrum als Anbieter dieser Dienste und ein Windpark als möglicher Lieferant erneuerbarer Energien stehen also in räumlich direktem Zusammenhang.

Das Ziel war, das Rechenzentrum vorrangig dann rechnen zu lassen, wenn grüne Energie im Überschuss vorhanden ist. Diese Möglichkeit besteht, weil die Auslastung von Clouds normalerweise deutlich unter 70% liegt und weil es insbesondere an der Universität eine verschiebbare Masse aus unterbrechbaren Rechenjobs gibt. Allerdings ist es dazu notwendig, das Aufkommen an grüner Energie vorherzusagen. Aus diesem Grund wurden Wetter- und Energiedaten für Paderborn bezogen und in den Scheduling-Prozess des Rechenzentrums einbezogen.

Neben den Einrichtungen der Universität Paderborn wurden die etwa 100 Firmen im Technologiepark als potentielle Pilotkunden angesehen, mit denen während des Projekts Gespräche geführt wurden.

In den nachfolgenden Abschnitten werden wir näher auf die Datensituation und die Energievorhersage eingehen und den Grünen Leitstand beschreiben, der die neu entwickelte Scheduling-Komponente fürs Rechenzentrum darstellt. Weitere Informationen zum Stromnetz, zum Strompreis und zum geplanten Smart Grid finden sich im Deliverable AP 2.1.3.

Für die Diskussion der Anforderungen aus Kundensicht und den grundlegenden Konflikt zwischen Energieeffizienz im RZ-Betrieb und Quality of Service in Bezug auf Stabilität und Leistung sei auf das nachfolgende Kapitel 2.4 verwiesen.

2.3.1.1 Maßnahmen

Als Schlussfolgerung aus den vorherigen Unterabschnitten wurden nachfolgend die notwendigen Maßnahmen zur Umsetzung festgelegt:

Messpunkte im Stromnetz, die Livedaten an den Grünen Leitstand senden und damit das Scheduling unterstützen.

Planung des neuen Rechenzentrums an der Universität Paderborn: Bei der Auswahl der Hardware spielte die Energieeffizienz eine stärkere Rolle, und das Rechenzentrum wurde mit einer Vielzahl von Sensoren versehen, um den Ressourcenbedarf und den Energieverbrauch während des Betriebs zu überwachen. Die Planung des Rechenzentrums wird in Abschnitt 2.2.1.1 eingehender behandelt.

Bewertung des Rechenzentrums mit Hilfe von Metriken und Benchmarks: Die Messungen im Rechenzentrum müssen mit Hilfe von Benchmarks und Metriken ausgewertet werden, um die Entwicklung zu verfolgen und neue Konfigurationen und Konzepte zu bewerten. Die ausgewählten Benchmarks und Metriken sind im Messkonzept (AP 1.3) und in Abschnitt 2.2.1.1 beschrieben.

Energieeffizienter Cloud-Softwarestack: Die Erfassung und Verarbeitung der Überwachungsdaten erfordert leistungsfähige Komponenten im Stack. Das Hauptaugenmerk liegt in GreenPAD auf der Monitoringinfrastruktur und auf dem Scheduler. Zusätzliche Komponenten werden benötigt, um die Messungen auszuwerten und Energievorhersagen durchzuführen. Monitoringwerkzeuge wurden in AP 5 evaluiert. Die restlichen Komponenten wurden weitgehend selber entwickelt, wobei aktuelle Ergebnisse aus der Forschung eingeflossen sind.

Grüner Leitstand: Der Grüne Leitstand ist die wichtigste Komponente im Stack, wenn es um die Einsparung konventioneller Energie geht. Sie umfasst den Scheduler und mehrere Komponenten, die den Scheduler mit den notwendigen Daten füttern. Zusammen mit der Energievorhersage wird er in den nachfolgenden Abschnitten behandelt. Der Scheduler wird zudem in einer Simulation mit anderen Schemulern verglichen.

Energievorhersage im Stromnetz: Die im Netz vorhandene regenerative Energie wird vorhergesagt, um langfristige Scheduling-Entscheidungen treffen zu können. Die Energievorhersage wird im nächsten Abschnitt behandelt.

Energievorhersage im Rechenzentrum: Neben der Vorhersage der regenerativen Energie im Netz ist es auch für die Platzierung von virtuellen Maschinen nützlich, ihren voraussichtlichen Stromverbrauch im Rechenzentrum zu bestimmen. Die Arbeiten in diesem Bereich konzentrieren sich darauf, für eine Menge von virtuellen Maschinen vorherzusagen, wie viel Energie sie verbräuchten, wenn sie zusammen auf einem bestimmten Server liefern. Auf Basis dieser Vorhersage kann dann entschieden werden, welche virtuellen Maschinen zusammengelegt werden sollten.

2.3.2 Energievorhersage im Stromnetz

Die Energievorhersage im Paderborner Mittelspannungsnetz wird in zwei Phasen durchgeführt. In der ersten Phase werden auf Basis von Messwerten Vorhersagemodelle für die Windenergieproduktion, die Photovoltaikproduktion und die Gesamtsituation aus Produzenten und Verbrauchern im Mittelspannungsnetz erstellt. Mit Hilfe von Wettervorhersagedaten kann anschließend eine Energieproduktionsvorhersage erfolgen.

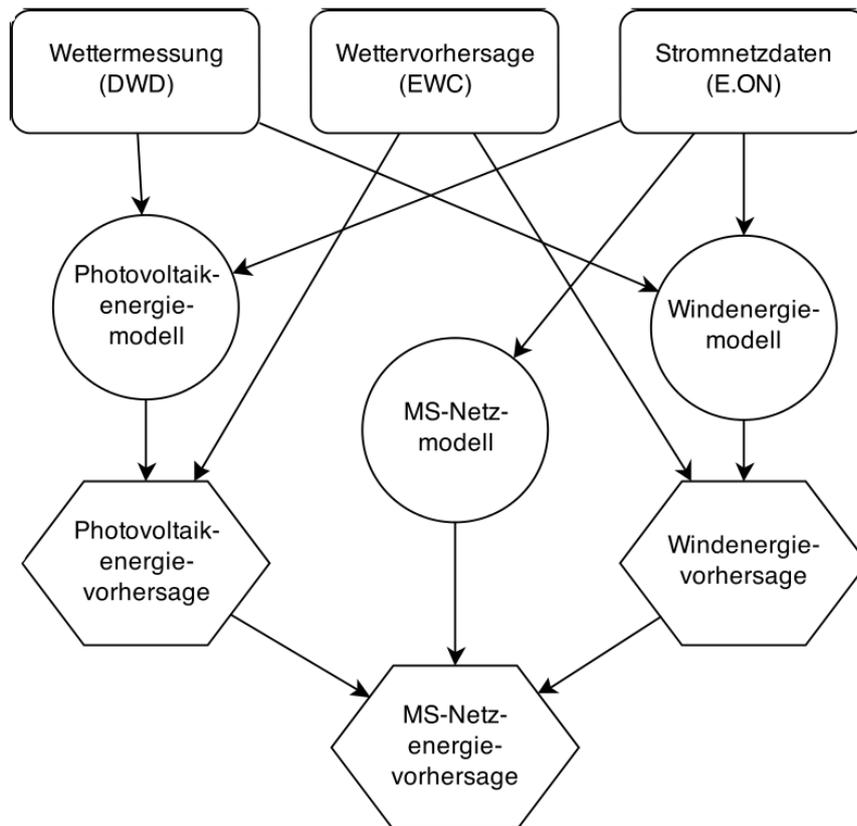


Abbildung 18 Architektur der Energievorhersage

Abbildung 18 zeigt die Architektur der Energievorhersage. Die Rechtecke repräsentieren die Messwerte für die Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), die Wettervorhersagedaten des European Weather Consult (EWC) und die Energiemesswerte der E.ON Westfalen Weser (E.ON). Die Kreise repräsentieren die Vorhersagemodelle und die Sechsecke die konkreten Vorhersagen.

Die Wetter- und Energiedaten werden im nächsten Unterabschnitt, die Vorhersagemodelle in den nachfolgenden Abschnitten erklärt.

2.3.2.1 Daten

Vom Deutschen Wetterdienst (DWD) erhielten wir Wetteraufzeichnungen der nächstgelegenen Station „Bad Lippspringe“, die den Zeitraum vom 01.06.2011 bis zum 31.08.2012 abdecken. Die Messwerte umfassen Temperatur, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Sonnenscheinminuten, Luftdruck und Regenintensität. Die Station Bad Lippspringe befindet sich ca. 18 km nördlich des Windparks Asseln und ca. 10 km nordöstlich des Paderborner Stadtzentrums.

Die Energiedaten, die E.ON zur Verfügung stellte, wurden an den folgenden Punkten im Paderbomer Stromnetz gemessen (vgl. Abbildung 19):

- „ONS PB 2“ ist ein Messpunkt an einem NS-MS-Transformator und liefert den gemessenen Energiebedarf bzw. die Energieproduktion eines Niederspannungsnetzes. Er wird genutzt, um die Photovoltaikproduktion zu berechnen.
- „UW Paderborn-Südost“ ist der Messpunkt am Trafo, der das Paderborner Mittelspannungsnetz mit dem Hochspannungsnetz verbindet.

- Windpark 1, 2 und 3 sind drei Messpunkte im Windpark.

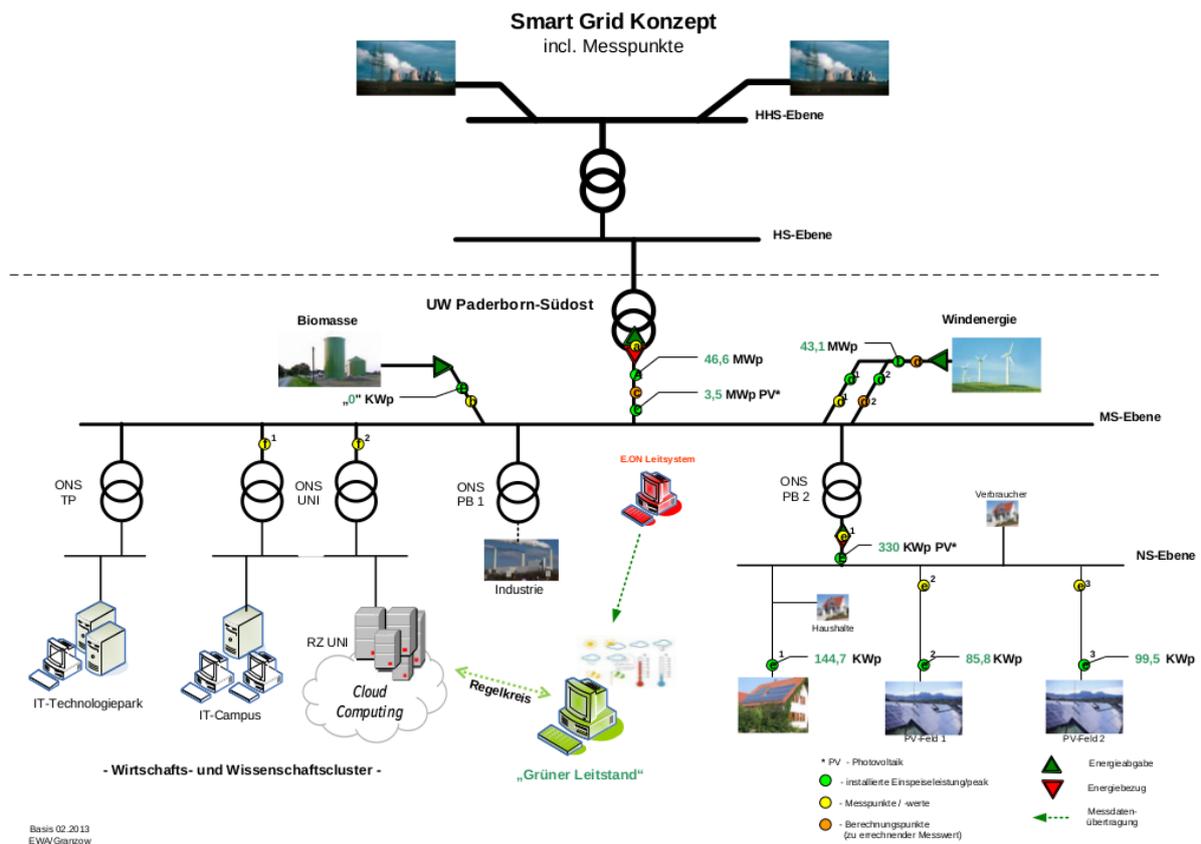


Abbildung 19 Messpunkte im lokalen Stromnetz

Die vom „European Weather Consult“¹ (EWC) eingekaufte Wettervorhersage deckt den Zeitraum vom 01.06.2011 bis zum 30.01.2013 ab. Die Daten umfassen Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Luftdruck und der Grad der Wolkenbedeckung. Letzterer lässt sich in eine Prognose der Sonnenscheinminuten übersetzen, so dass die Parameter mit denen der DWD-Daten übereinstimmen.

2.3.2.2 Windenergievorhersage

Für die Windenergievorhersage werden in einem ersten Schritt die relevanten Wetterattribute identifiziert, indem ihre Pearson-Korrelation mit der erzeugten Windenergie bestimmt wird. Anschließend wird mittels linearer Regression ein Vorhersagemodell erstellt.

Korrelationsanalyse: Die Tabelle in Abbildung 20 zeigt die Pearson-Korrelation der DWD-Wetterattribute mit den drei Windparks. Ein Wert nahe 0 entspricht keiner erkennbaren Korrelation und ein Wert nahe -1 oder 1 einer starken (negativen bzw. positiven) Korrelation.

¹ www.weather-consult.com

| | Windpark 1 | Windpark 2 | Windpark 3 |
|----------------------|------------|------------|------------|
| DWD Wetterattribut | in MW | | |
| Windgeschwindigkeit | 0.67808 | 0.62216 | 0.59111 |
| Windrichtung X-Achse | 0.09340 | 0.13745 | 0.09716 |
| Windrichtung Y-Achse | 0.30506 | 0.15088 | 0.05644 |
| Sonnenminuten | -0.17243 | -0.13387 | -0.10847 |
| Temperatur | -0.18145 | -0.16443 | -0.13972 |
| Luftdruck | -0.22915 | -0.24886 | -0.23392 |
| Regenmenge | 0.11785 | 0.08327 | 0.09266 |

Abbildung 20: Pearson-Korrelation der Wetterdaten und Windenergieproduktion

Auf dieser Basis haben wir uns dazu entschieden die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung, die Temperatur und den Luftdruck als Parameter zu verwenden. Allerdings waren zwischenzeitlich starke Diskrepanzen zwischen den Windgeschwindigkeitsmessungen und der Energieerzeugung erkennbar. Aufgrund der Distanz von rund 18 km schien die Übertragbarkeit der Wettermessungen in Bad Lippspringe auf den Windpark Asseln nur bedingt möglich zu sein.

Zur Aufklärung dieses Sachverhalts lieferte uns E.ON Windgeschwindigkeitsmesswerte, die direkt an der Nabe einer Windkraftanlage gemessen wurden. Die Tabelle in Abbildung 21 zeigt einen Vergleich der Windgeschwindigkeitsmessung auf Hubhöhe im Windpark und der DWD-Werte aus der Wetterstation Bad Lippspringe.

| Monat | Windpark 1 | | Windpark 2 | | Windpark 3 | |
|-----------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| | Hub | DWD | Hub | DWD | Hub | DWD |
| Juni | 0.780 | 0.780 | 0.681 | 0.555 | 0.603 | 0.495 |
| Juli | 0.859 | 0.791 | 0.837 | 0.793 | 0.762 | 0.731 |
| August | 0.795 | 0.675 | 0.717 | 0.671 | 0.600 | 0.596 |
| September | 0.854 | 0.740 | 0.813 | 0.706 | 0.695 | 0.612 |
| Oktober | 0.860 | 0.765 | 0.784 | 0.660 | 0.647 | 0.531 |
| November | 0.863 | 0.744 | 0.795 | 0.598 | 0.731 | 0.556 |
| Dezember | 0.862 | 0.780 | 0.802 | 0.762 | 0.770 | 0.738 |

Abbildung 21: Pearson-Korrelation der Windenergie mit der Windgeschwindigkeit im Windpark auf Hubhöhe und der DWD-Werte in Bad-Lippspringe

Die Werte der Monate Juni bis Dezember 2011 wurden verglichen und die qualitativen Unterschiede beider Messwerte sind offensichtlich. Zur Vorhersage der Energieproduktion lassen sich die Messwerte auf Nabenhöhe nicht nutzen, da die Wettervorhersagedaten für die Messstationen in Bad Lippspringe gelten und nicht auf die Nabenmessungen übertragbar sind. Eine exakte Wettervorhersage unter Angabe der exakten Koordinaten und den nötigen Luftschichten zwischen 30 und 70 Metern ist unter Kosten-Nutzen-Betrachtung nicht sinnvoll.

Zusätzlich ist zu beachten, dass der Energievorhersagequalität durch die Wettervorhersagequalität Grenzen gesetzt sind. Im Arbeitspaket 5 "Smart Grid" haben wir die Güte der Windgeschwindigkeitsvorhersage und der Sonnenscheindauervorhersage in Abhängigkeit von der Vorhersagedistanz untersucht. Für die Windgeschwindigkeit (vgl. Abbildung 22) haben wir einen Fehler von $\pm 20\%$ ermittelt und bei der Sonnenscheindauer einen Fehler von bis zu $\pm 40\%$.

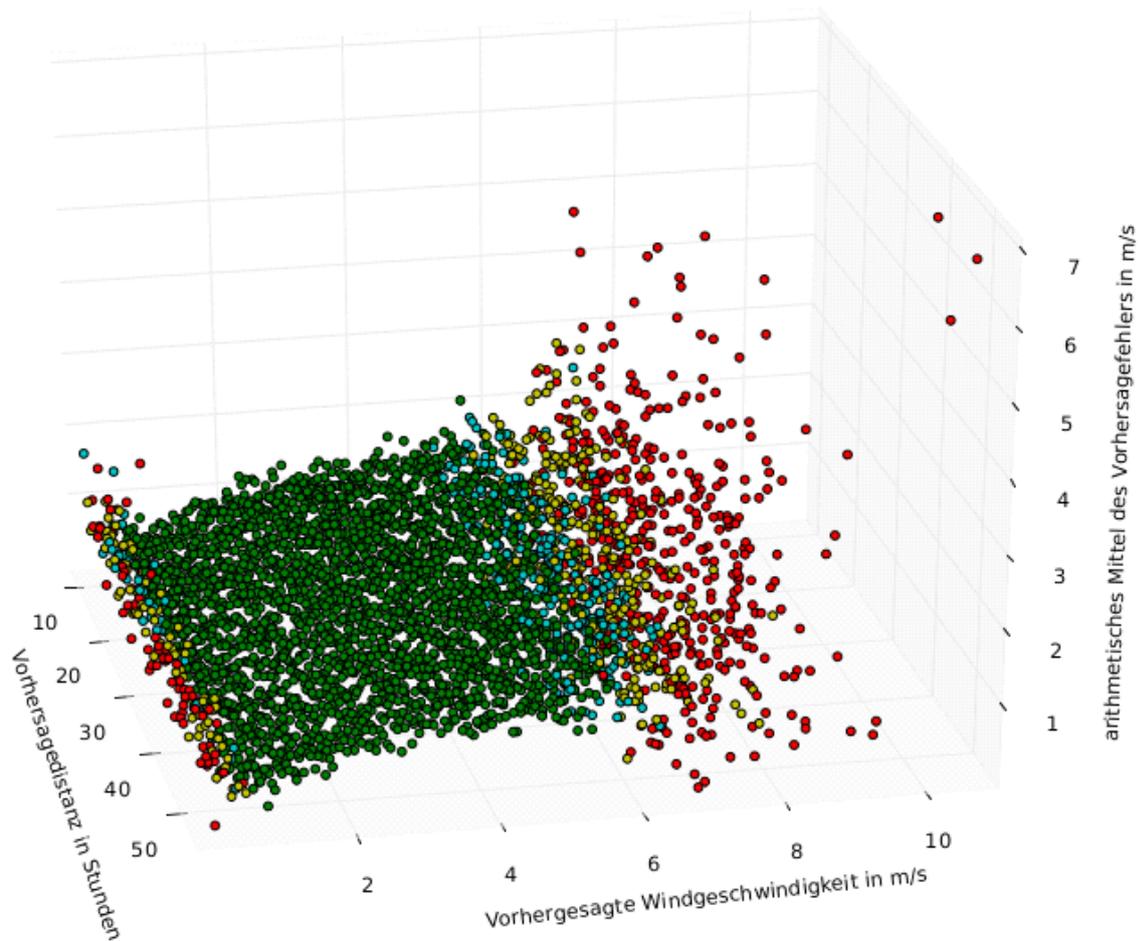


Abbildung 22: Qualität der Windgeschwindigkeitsvorhersage

Vorhersagemodell: Zur Vorhersage nutzen wir die lineare Regression, d. h. wir lösen ein Problem der Form:

$$y(a, x) = a_0 * x_0 + a_1 * x_1 + \dots + a_n * x_n$$

Dabei ist $y(a, x)$ die produzierte Windenergie in Abhängigkeit der Wetterparameter x_i und der Koeffizienten a_i . Die Koeffizienten a_i werden auf Basis der protokollierten Energie- und Wetterdaten und mittels der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt.

Ergebnis: Der Fehler der Windenergievorhersage beträgt bis zu 30%. Abbildung 23 stellt den mittleren Fehler in Abhängigkeit von der Vorhersagedistanz und der vorhergesagten Energiemenge dar.

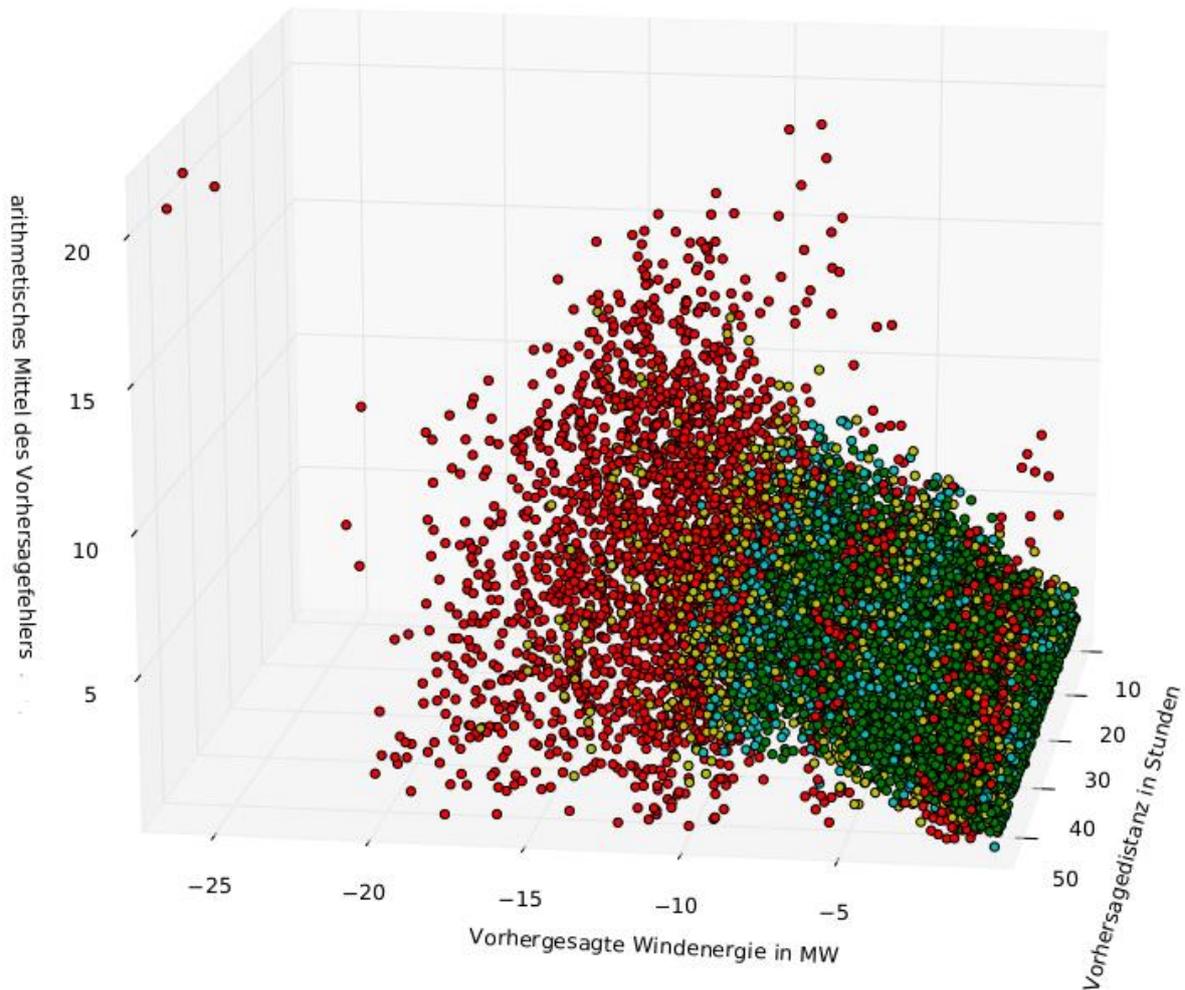


Abbildung 23: Qualität der Windenergievorhersage

Andere Arbeiten (z. B. [1]) nutzen die Leistungskurve (power curve), welche die Energieproduktion in Relation zur Windgeschwindigkeit setzt. Allerdings ist diese für jedes Anlagenmodell unterschiedlich. Im Windpark Asseln stehen 62 Anlagen von sieben Herstellern und 17 unterschiedliche Modelle. Anstatt die Leistungskurve für jedes Modell von den Herstellern zusammenzutragen, entschieden wir uns aus den Energie- und Wetterdaten eine Leistungskurve für den gesamten Windpark abzuleiten. Aufgrund der mäßigen Übertragbarkeit der Wetterdaten und der unterschiedlichen Anlagentypen resultierte dies allerdings in keiner Verbesserung gegenüber dem linearen Modell.

2.3.2.3 Solarenergievorhersage

Bei der Photovoltaikenergie haben wir keine reinen Produktionswerte wie bei der Windenergie. Hier bekommen wir den Messwert eines Niederspannungsnetztransformators. Das heißt, wir arbeiten in diesem Abschnitt mit dem Bedarf der Verbraucher innerhalb des NS-Netzes und der Produktion der installierten Photovoltaikanlagen. Ein positiver Messwert am Transformator bedeutet, dass die Verbraucher einen höheren Bedarf haben, als die Photovoltaikanlagen produzieren können. Ein negativer Wert bedeutet einen Produktionsüberschuss und Energieabgabe in das Mittelspannungsnetz. Der Einfluss der Verbraucher wird daher auch ein Unsicherheitsfaktor bei der Analyse und Vorhersage sein.

Korrelationsanalyse: Analog zur Windenergievorhersage wurde auch hier eine Pearson-Korrelation durchgeführt, um die relevanten Wetterparameter zu identifizieren. Die Ergebnisse sind in der Tabelle in Abbildung 24 dargestellt.

| DWD Wetterattribut | Korrelation |
|----------------------|-------------|
| Windgeschwindigkeit | 0.18967 |
| Temperatur | 0.44410 |
| Windrichtung X-Achse | 0.02072 |
| Windrichtung Y-Achse | 0.05713 |
| Sonnenminuten | 0.67093 |
| Luftdruck | 0.01274 |
| Regenmenge | -0.07279 |

Abbildung 24: Pearson-Korrelation der Wetterdaten mit der Photovoltaikproduktion

Nicht überraschend ist, dass die Sonnenscheindauer der dominierende Faktor bei der Photovoltaikproduktion ist. Die Qualität der Vorhersage ist insbesondere bei Teilbedeckung mit einem mittleren Fehler von $\pm 40\%$ sehr hoch. Bei dauerhafter Bedeckung oder dauerhaftem Sonnenschein ist der Fehler mit rund $\pm 20\%$ akzeptabel.

Vorhersagemodell: Die durch Photovoltaikanlagen erzeugte Energie ist proportional zur Energie, die die Oberfläche der Erde erreicht. Diese hängt neben dem Bewölkungsgrad von dem Sonnenstand ab. Abbildung 25 zeigt den schematischen Verlauf des Sonnenstands über das Jahr. Zur Berechnung des momentanen Sonnenstands in Paderborn benutzen wir das Python-Modul „Pysolar“².

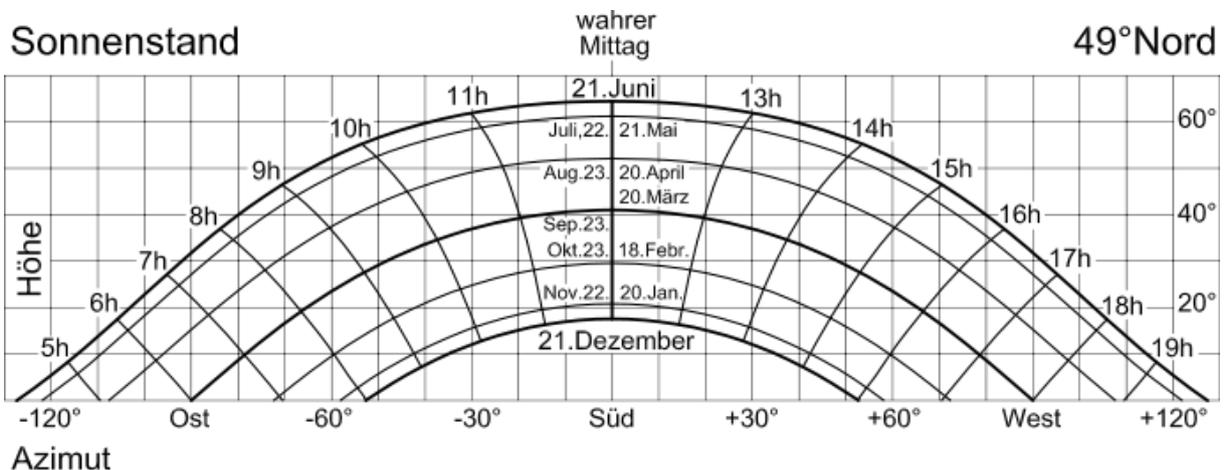


Abbildung 25: Skizze des Verlaufs des Sonnenstandes übers Jahr³

Zusätzlich zur Temperatur, der Sonnenscheindauer und dem Sonnenstand verwenden wir die Uhrzeit und einen Binärwert der angibt, ob es ein Sonntag oder ein Werktag ist. Diese Werte werden genutzt, um die unterschiedlichen Verbrauchssituationen abzubilden. Detailliertere Informationen zur Identifizierung von Verbrauchsmustern wären an dieser Stelle wünschenswert, können aber aufgrund mangelnder Verbreitung der Smart Meter und aus Datenschutzgründen nicht ermittelt werden.

² pysolar.org

³ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/de/a/a8/SonnStand49Nord.svg>

Die Vorhersage erfolgt wie bei der Windenergie mittels linearer Regression.

Ergebnis: Abbildung 26 zeigt das Ergebnis der Solarenergievorhersage des betrachteten Niederspannungsnetzes. Die Bandbreite der gemessenen Leistung am Transformator beträgt -322.2 bis 120.7 KW und umfasst damit rund 440 KW. Gemessen an dieser Bandbreite besitzen die Vorhersagen im Intervall 0 bis -100 KW einen mittleren Fehler von 15% und im Bereich ab -100 KW einen mittleren Fehler von rund 20%.

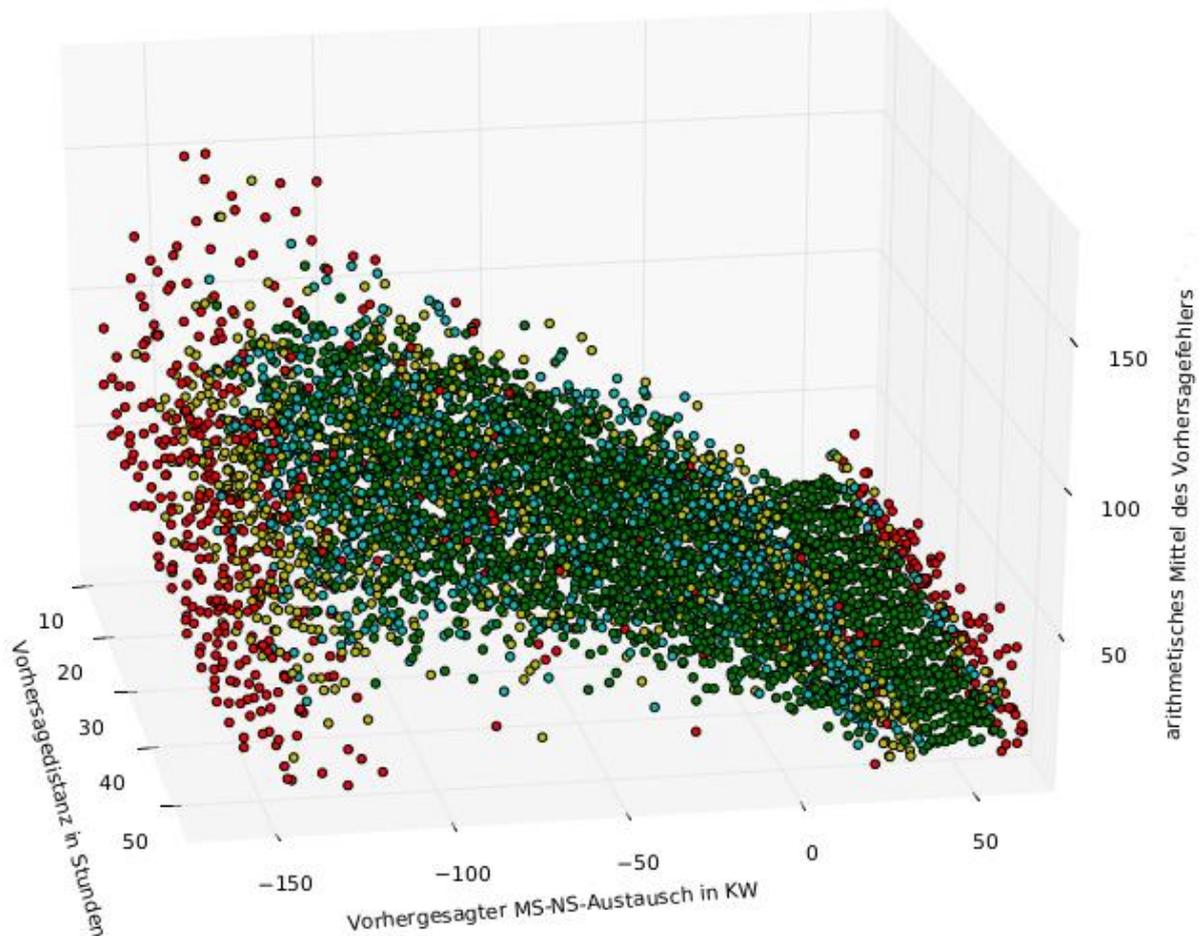


Abbildung 26: Qualität der Photovoltaikenergievorhersage

2.3.2.4 Gesamtvorhersage Grid

Die Energiesituation im Paderborner Mittelspannungsnetz setzt sich zusammen aus der erzeugten Energie durch Photovoltaik- und Windkraftanlagen und dem Energieverbrauch der Konsumenten in Paderborn.

Vorhersagemodell: Unsere Vorhersage basiert auch hier auf einem linearen Modell. Neben der Wind- und Photovoltaikenergievorhersagen nutzen wir die Uhrzeit und Wochentagattribute, um die unterschiedlichen Verbrauchereinflüsse abbilden zu können.

Ergebnis: Abbildung 27 zeigt die Qualität der Energievorhersage. Den größten Fehler sehen wir bei Vorhersagen von 8-9 MW Produktionsüberschuss. Im Mittel kann man den Fehler mit rund 20% abschätzen.

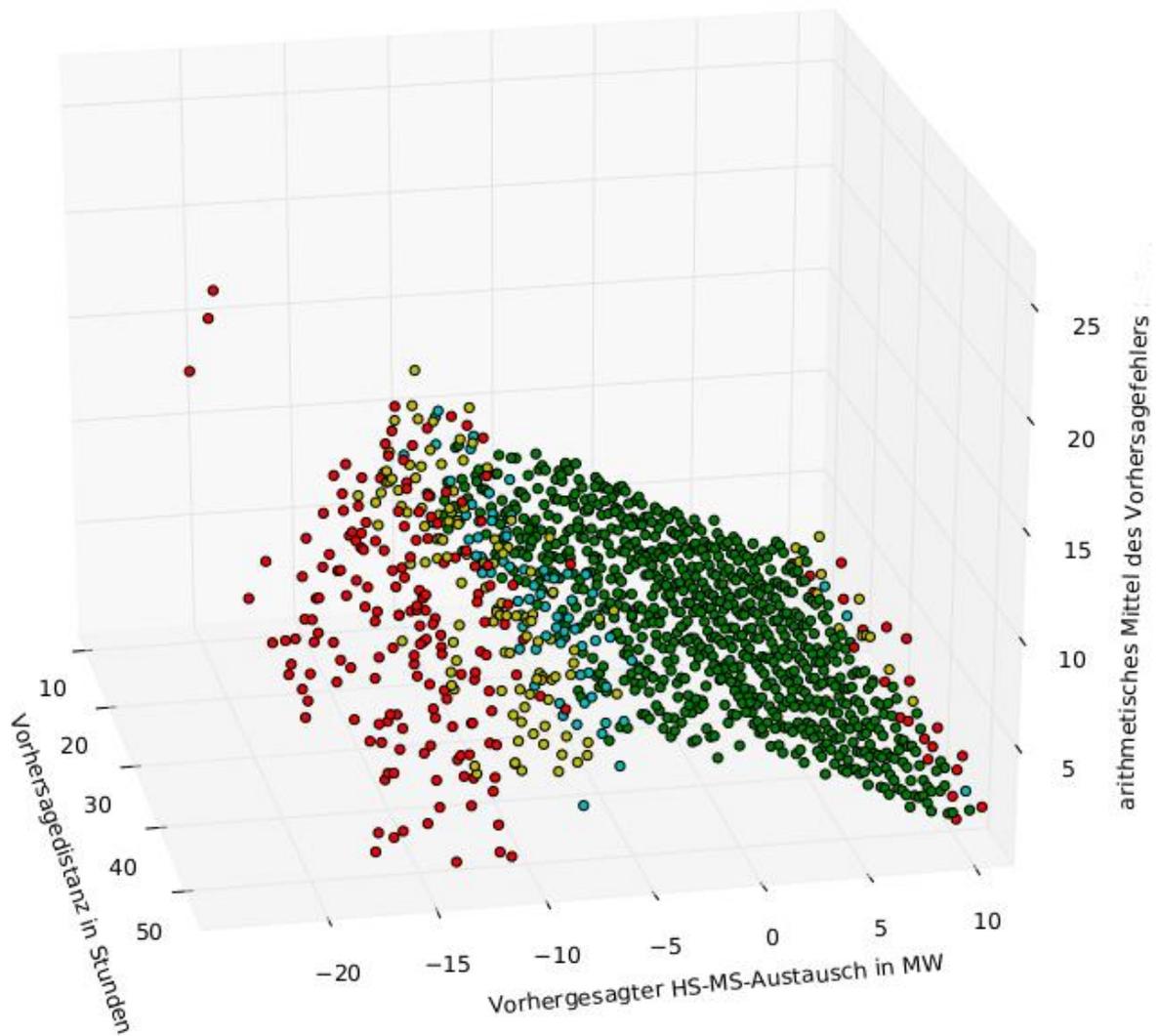


Abbildung 27: Qualität der Mittelspannungsnetzvorhersage

Schlussfolgerung: Die Vorhersagequalität ist in Anbetracht der dürftigen Wetterdaten akzeptabel. Insbesondere die mangelhafte Übertragbarkeit der Wettervorhersage und -messung in der Station Bad Lippspringe auf den Windpark Asseln und die Stadt Paderborn erklären die Probleme bei der Energieproduktionsvorhersage.

Genauso wichtig und nicht weniger schwierig ist die Vorhersage der verbrauchten Energie im Mittelspannungsnetz. Die Identifikation von reinen Verbrauchsmustern gestaltet sich schwierig, da entsprechende Messwerte fehlen. Neben den technischen Schwierigkeiten mangels Smart Meter sind hier auch Datenschutzkriterien zu beachten.

2.3.3 Grüner Leitstand

Im Grünen Leitstand werden die in Abschnitt 2.3.2.1 beschriebenen Daten zusammengeführt, gespeichert und verarbeitet. Auf Basis dieser Daten wird ein Schedule erzeugt, nach dem die virtuellen Maschinen in der Cloud platziert werden. Die Architektur des Grünen Leitstandes wird im nächsten Abschnitt erläutert, die Arbeitsweise des Schedulers in Abschnitt 2.3.3.2 und die Einbindung des Grünen Leitstandes in die graphische Benutzeroberfläche von OpenStack in Abschnitt 2.3.3.3.

2.3.3.1 Architektur

Abbildung 28 zeigt die Architektur des Grünen Leitstandes. Dieser besteht aus zwei Hauptkomponenten: Während „GL-Vorhersage“ die Energievorhersage für das Smart Grid erstellt, übernimmt „GL-Scheduler“ das energieeffiziente Cloud-Management.

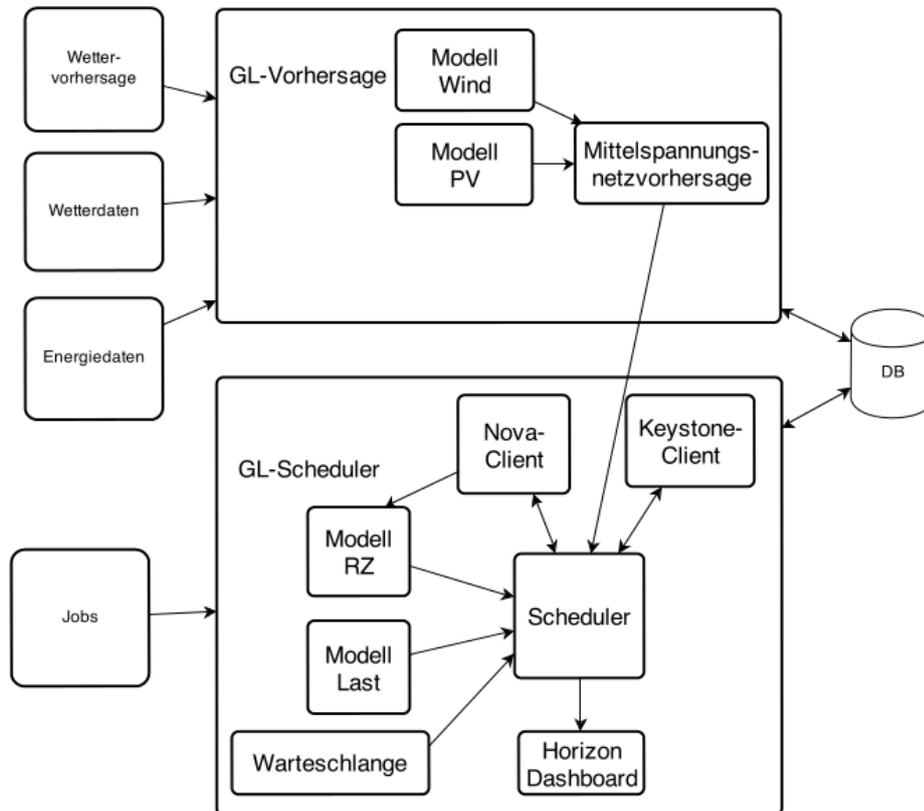


Abbildung 28: Komponenten des Grünen Leitstands

Wie bereits erwähnt, werden Wettermess-, Wettervorhersage- und Energiedaten an den Grünen Leitstand übertragen und in einer Datenbank gespeichert. Zur Entwicklung und Evaluierung der Energievorhersage und der Scheduling-Strategien waren Live-Wetterdaten nicht nötig. Als Proof-of-Concept wurde mit Hilfe des Projektpartners E.ON eine Infrastruktur aufgebaut, in der Live-Daten in Echtzeit verarbeitet werden. Die Daten werden im 15-Minuten-Takt per E-mail an die Uni Mainz versendet. Durch die Mailserveranbindung lässt sich der Leitstand problemlos um weitere Datenquellen erweitern. Details zur Umsetzung sind in Arbeitspaket 5 „Smart Grid“ im Abschnitt 6.3 „Schnittstelle zwischen Rechenzentrum und Energielieferant“ zu finden. Die weiteren dargestellten Elemente der Komponente „GL-Vorhersage“ entsprechen den Implementierungen der in Abschnitt 2.3.2 erläuterten Vorhersagekomponenten.

Der GL-Scheduler ist die Implementierung der energieeffizienten Cloud-Management-Komponente. Zentrales Element ist der Scheduler, welcher die Planung und Steuerung übernimmt. Details dieser Komponente werden im folgenden Abschnitt erläutert.

2.3.3.2 Scheduler

Der Scheduler ist die Hauptkomponente des Grünen Leitstands. Er übernimmt das Scheduling in der Cloud bzw. dem Rechenzentrum und platziert die Jobs zeitlich und räumlich so, dass grüne Energie besser genutzt wird und dass konventionelle Energie und damit Kosten eingespart werden.

Im Cloud-Computing-Umfeld unterscheidet man zwischen zwei Arten von Anwendungen, Service Jobs und Batch Jobs. Unter Service Jobs versteht man Services die kontinuierlich laufen müssen. Klassische Beispiele sind Web-, Mail- oder Datenbankserver. Anders ist dies bei Batch Jobs, also Rechenjobs ohne Interaktivität, deren lange Berechnungen angehalten und zu einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt werden können (sofern sie Checkpointing unterstützen). Beispiele für solche Anwendungen finden sich in der medizinischen und naturwissenschaftlichen Forschung (Gromacs⁴, Freesurfer⁵).

Die Strategie des Schedulers wurde mit Hilfe einer Simulation entwickelt, die ein Rechenzentrum auf Basis der Traces des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK) simuliert. Das PIK unterhält einen HPC-Cluster⁶, der nicht nur zu eigenen Forschungszwecken verwendet wird, sondern auch zahlende externe Kunden hat. Damit entspricht er weitgehend dem im Projekt anvisierten Anwendungsfall und ermöglicht eine realistische Simulation.

Batch-Verarbeitung bedeutet das sequentielle Abarbeiten von Jobs im Rechenzentrum. In OpenStack ist ein entsprechendes System zum Verwalten von Jobs nicht enthalten und musste neu entwickelt werden („Warteschlange“ im Architekturbild). Zusätzlich zur Warteschlange betreibt das System einen NFS-Server, auf dem jeder Nutzer vom Keystone-Client ein Homeverzeichnis erhält. In diesem legt er Jobbeschreibung und Eingabedaten ab und empfängt die Ausgabedaten.

Die Komponenten „Modell RZ“ und „Modell Last“ bestimmen die momentan zur Verfügung stehenden Cloud-Ressourcen und die Last, die die Jobs in der Warteschlange auf diesen Ressourcen erzeugen werden. Der „Nova-Client“ bedient die Schnittstelle von OpenStack, die Informationen zum Zustand der Hosts und virtuellen Maschinen bereitstellt. Sie ermöglicht zudem, Instanzen zu starten und zu stoppen. „Horizon“ ist die webbasierte Benutzeroberfläche von OpenStack, die von uns um den Menüpunkt „Greenpad“ erweitert wurde. Diese GUI wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

Scheduling-Algorithmus: Im folgenden Pseudocode wird der Ablauf des Scheduling erläutert.

⁴ <http://www.gromacs.org>

⁵ <http://freesurfer.net>

⁶ <https://www.pik-potsdam.de/services/it/hpc>

Green Schedule:

```
while StayActive == True do
  sleep(20)
  if GreenEnergyAvailable or Queueindex > $THRESHOLD then
    BootNewInstance()
    continue
  end if
  JobLatestStartingTime ← Jobs.getMinimalLatestStartingTime()
  if JobLatestStartingTime < (time.now() + 1hour) then
    BootNewInstance()
    continue
  end if
  fullSchedule ← createFullSchedule()
  if fullSchedule.hasUrgentJob() then
    while urgent ← fullSchedule.getUrgentJob() do
      BootNewInstance(urgent)
    end while
    continue
  end if
  SuspendInstance()
end while
```

In jedem Schleifendurchlauf wird entweder (genau) ein IF-Block ausgeführt oder eine Instanz angehalten.

- Block 1: Eine neue Instanz wird gestartet, falls noch grüne Energie zur Verfügung steht oder die Warteschlange zu lang ist.
- Block 2: Eine neue Instanz wird gestartet, falls die Deadline eines Jobs dies unbedingt erfordert.
- Block 3: Ein neuer Schedule wird erzeugt. Für jeden „urgent“ Job, der nach dem Schedule gestartet werden muss, wird eine neue Instanz erzeugt.

Bevor sie eine neue Instanz erzeugt, prüft die Unterfunktion BootNewInstance(), ob genügend Platz vorhanden ist. Die Funktion SuspendInstance() wird ausgeführt, wenn nicht genügend grüne Energie zur Verfügung steht und wenn keine „dringenden“ Jobs auszuführen sind. Sie prüft, ob sie eine virtuelle Maschine anhalten kann und wählt diejenige mit der niedrigsten Priorität.

Da dieses Scheduling-Problem NP-vollständig ist, kann „createFullSchedule“ es nur approximativ lösen. Jeder Job wird so spät wie möglich gestartet, ohne seine Deadline zu überschreiten und ohne Ressourcenkonflikte auf seinem Host zu erzeugen.

2.3.3.3 Graphische Benutzeroberfläche

Die graphische Benutzeroberfläche des Grünen Leitstands wurde in die existierende Oberfläche von OpenStack integriert (vgl. Abbildung 29).

Die Hauptmenüpunkte „Projekt“ und „Admin“ sind OpenStack Standardmenüs und dienen der Cloud-Verwaltung. Der Menüpunkt „Greenpad“ wurde von uns hinzugefügt und ist nur für Cloud-Nutzer mit Administratorrechten sichtbar. Dessen Menüstruktur unterteilt sich in die Gruppen „Batchprocessing“ und „Energiedaten“.

Der Menüpunkt „Zentrale“ bietet eine Zusammenfassung des aktuellen Rechenzentrumsstatus (Auslastung und Warteschlange), Wettermesswerte und Energiewerte (Messungen, Vorhersage, Energieverbrauch aufgeteilt in erneuerbare und fossile Energie).

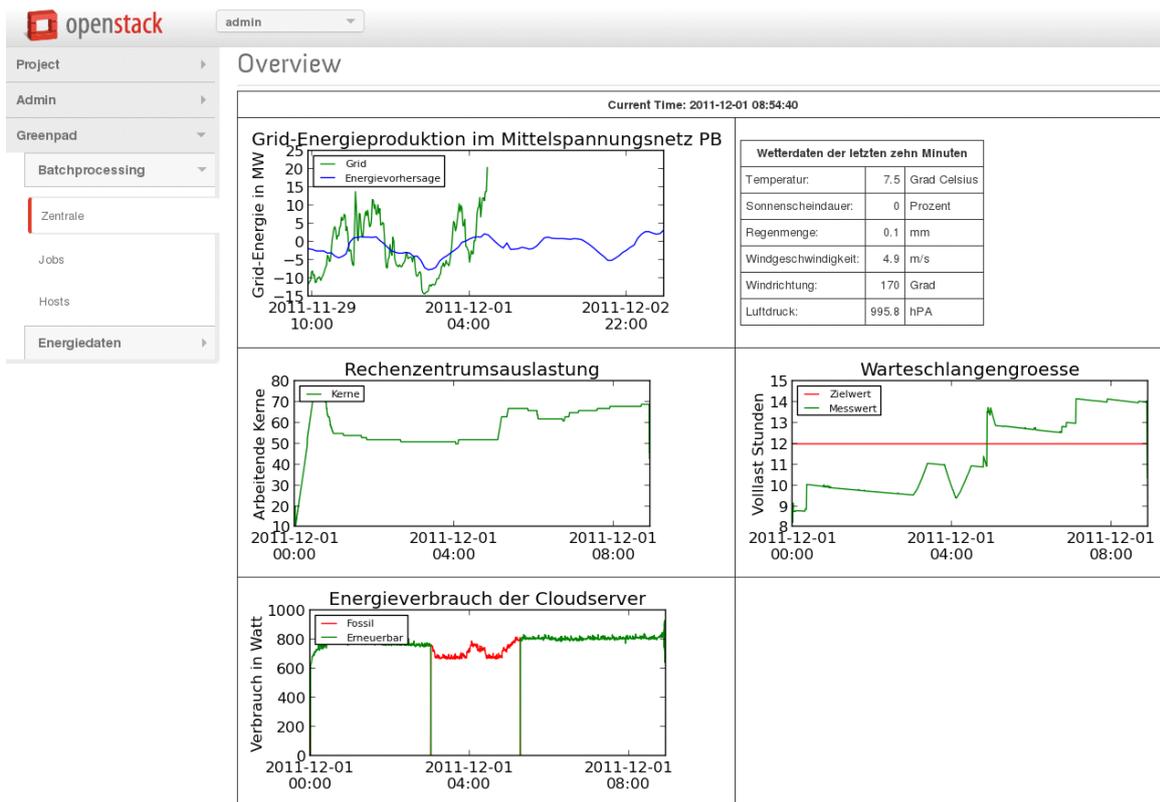


Abbildung 29: Hauptansicht des Grünen Leitstands, eingebettet in das Webfrontend von OpenStack

Abbildung 30 zeigt die Darstellung der „Jobs“. Die Tabelle listet die Batchjobs mit den wichtigsten Daten auf, darunter die globale Job-ID, die Jobeingangszeit, die Deadline, die angefragte Laufzeit, die bis zur Deadline verbleibende Zeit, die bereits bearbeitete Zeit, die genutzten Ressourcen und der aktuelle Status.

Der Menüpunkt „Hosts“ zeigt den Auslastungs- und Energieverbrauchsverlauf der einzelnen Server.

Jobs

| Current Time: 2011-12-01 08:54:40 | | | | | | | |
|--|---------------------|---------------------|------------------|-------------------|-----------|---------------|----------|
| Id | Submitted | Deadline | req. Runtime | Timeleft | Processed | CPUs/Ram/Disk | Status |
| maesker-a0548d46c2664842b03ca89d2e4bc04-152442 | 2011-11-30 04:14:59 | 2011-12-13 07:31:00 | 12 days, 3:16:16 | 11 days, 22:36:20 | 8:50:20 | 1 / 512 / 5 | arbeitet |
| maesker-a0548d46c2664842b03ca89d2e4bc04-152443 | 2011-11-30 04:17:00 | 2012-01-06 14:05:00 | 12 days, 3:16:16 | 36 days, 5:10:20 | 8:28:10 | 1 / 512 / 5 | arbeitet |
| maesker-a0548d46c2664842b03ca89d2e4bc04-152444 | 2011-11-30 04:28:39 | 2011-12-05 17:42:00 | 1 day, 12:24:32 | 4 days, 8:47:20 | 8:36:10 | 4 / 8192 / 5 | arbeitet |
| maesker-a0548d46c2664842b03ca89d2e4bc04-152445 | 2011-11-30 04:36:46 | 2011-12-13 07:53:00 | 6 days, 1:38:08 | 11 days, 22:58:20 | 8:31:50 | 1 / 2048 / 5 | arbeitet |
| maesker-a0548d46c2664842b03ca89d2e4bc04-152447 | 2011-11-30 04:36:53 | 2011-12-04 05:25:00 | 18:12:16 | 2 days, 20:30:20 | 8:38:00 | 1 / 2048 / 5 | arbeitet |

Abbildung 30: Detaillierte Batchjobsansicht

In der Gruppe „Energiedaten“ gibt es die Menüpunkte „Live Energiedaten“ und „Live Wetterdaten“. Abbildung 31: Panel mit Live-Energiedaten zeigt das Panel der Energiedaten, was den Verlauf der Energieproduktion (Wind, Photovoltaik, Gesamtnetz) und den entsprechenden Vorhersagen (in blau) aufzeichnet.

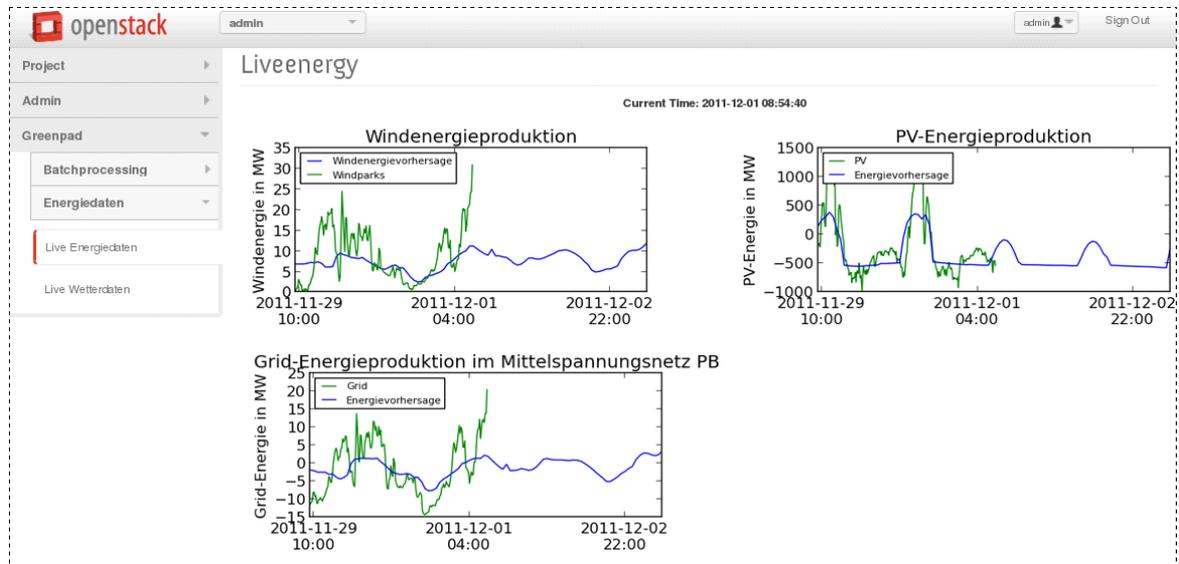


Abbildung 31: Panel mit Live-Energiedaten

Die GreenPAD-Benutzeroberfläche ist momentan als Read-only-Schnittstelle konzipiert. Das Starten und Stoppen einzelner Instanzen, das Usermanagement und die Hostkonfiguration sind dem Administrator über das OpenStack Menü „Admin“ möglich. Der Scheduler ist als ein Daemon konfiguriert, der als Eingabe Wetter- und Energiedaten erwartet und entsprechend seiner Strategie einen Schedule erzeugt. Eine Feineinstellung des Schedules durch den Administrator ist nicht vorgesehen. Die Schedulerstrategie lässt sich durch Austauschen der Konfigurationsdatei ändern.

2.3.4 Simulation

Der Grüne Leitstand ist dafür gedacht, ein Echtzeitsystem zu überwachen und zu steuern. Um Aussagen über die Güte und das Potential des Scheduling-Algorithmus zu tätigen, bedarf es allerdings Langzeittests unter verschiedenen Bedingungen. Weil dies durch den Grünen Leitstand nicht gewährleistet werden kann, wurde ein Simulator entwickelt.

2.3.4.1 Architektur

Abbildung 32 zeigt die Architektur des Simulators. Sie ist im Wesentlichen an die Architektur des Grünen Leitstandes angelehnt. Die Energievorhersage ist identisch mit der in Abschnitt 2.3.2 („Energievorhersage im Stromnetz“) beschriebenen. Das Rechenzentrumsmodell dient in diesem Fall nicht nur der Informationsbeschaffung durch den Scheduler wie im Grünen Leitstand, sondern auch der Simulation der Hardware. Während der Simulation reduziert das RZ-Modell die verbleibende Laufzeit der auf der jeweiligen Hardware verteilten Jobs und berechnet den dabei erwarteten Energieverbrauch. Den Energieverbrauch schätzen wir in der Simulation basierend auf den IPMI-Messwerten. Das Lastmodell generiert wie im Grünen Leitstand die Batchjobs basierend auf den Potsdam-Traces. Das Preismodell simuliert ein mögliches Smart Grid und bietet dem Rechenzentrumsbetreiber wirtschaftliche Anreize, energieeffizientes Scheduling anzuwenden. Dabei wird eine lineare Beziehung zwischen dem Überschuss an erneuerbarer Energie in Paderborn und dem Strompreis hergestellt.

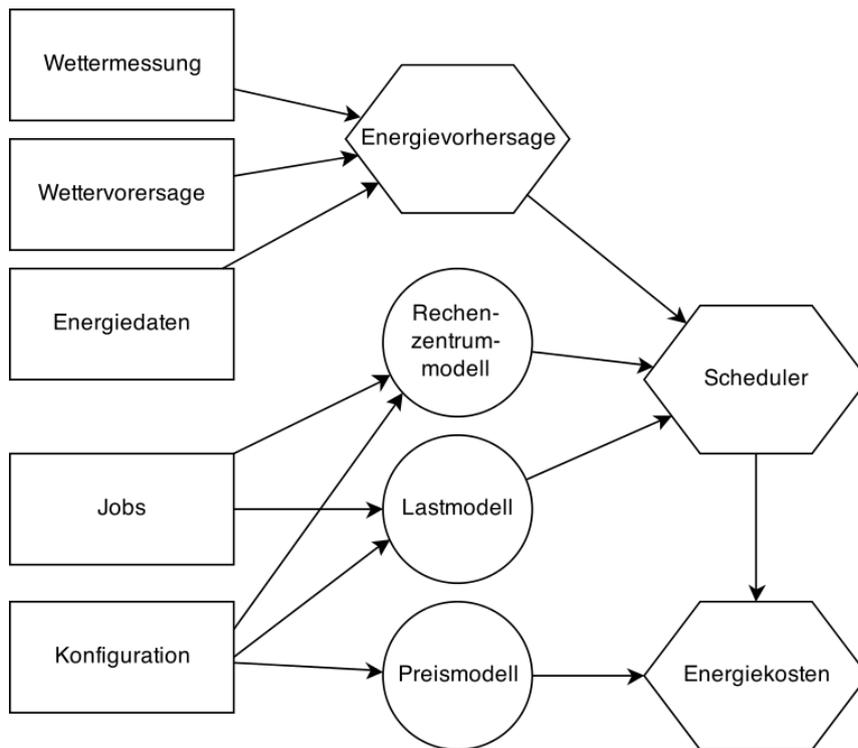


Abbildung 32: Architektur der Simulation

2.3.4.2 Energieeffizientes Scheduling vs. FIFO Scheduling

Ziel des „Energieeffizienten Schedulers“ ist die Maximierung des Verbrauchs erneuerbarer Energie. Um den Gewinn durch diesen Scheduler einschätzen zu können, wird ein Vergleichswert benötigt, den im Folgenden ein FIFO Scheduler liefert.

Deadlines wurden bei den Simulationen nicht gesetzt. Stattdessen wird die Tournaround-Zeit jedes Jobs gemessen. Das ist die Zeit zwischen dem Eintreffen des Jobs im Rechenzentrum bis zu dessen vollständiger Abarbeitung.

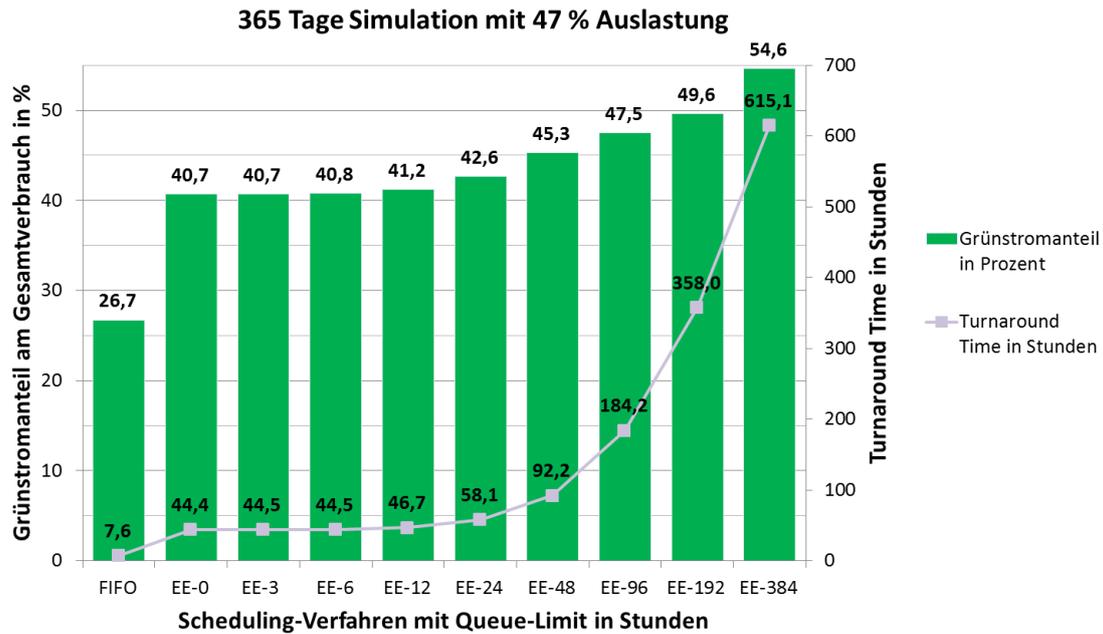


Abbildung 33: Simulation mit 47% Auslastung

Abbildung 33 zeigt eine Übersicht der Simulationen mit aufs Jahr gesehen 47% Rechenzentrumsauslastung. Die Balken repräsentieren den Anteil der Grünen Energie am Gesamtenergieverbrauch des Rechenzentrums während des Simulationszeitraums. Die blaue Linie entspricht der mittleren Tournarround-Zeit aller Jobs in Stunden.

In der FIFO-Simulation verbraucht das Rechenzentrum 26,7% grüne Energie, was ungefähr dem Aufkommen an grüner Energie im betrachteten Zeitraum entspricht. Die „EE-X“ Werte entsprechen den Simulationen des Energieeffizienten Schedulers. Das X steht dabei für die Queuegröße in RZ-Stunden. Das heißt, bei der EE-3 Simulation wird ein 48-Stunden-Schedule erstellt, der es erlaubt Jobs mit einer Gesamtlaufzeit von 3 Rechenzentrumsstunden zu pausieren. Dass immer ein 48-Stunden-Zeitraum betrachtet wird, erklärt auch die beim EE-0 direkt auf 44,4 Stunden steigende Tournarround-Zeit. Allerdings folgt auch direkt eine Verbesserung des Verbrauchs erneuerbarer Energie auf 40,7 %. Dieser Anteil kann mit steigender Queuegröße leicht verbessert werden, bis bei einer Größe von 384 Stunden das Maximum erreicht ist. Bei der gegebenen Auslastung und einer EE-Verfügbarkeit von 26,5% kann der EE-Anteil von 54,6 % nur noch durch Absenken der Auslastung und damit einhergehender Verringerung des fossilen Energieanteils erreicht werden.

Dies wird auch in Abbildung 34 deutlich: Durch die Erhöhung der Rechenzentrumsauslastung muss zwangsläufig der Anteil fossiler Energie am Gesamtverbrauch steigen. Verglichen mit dem FIFO-Scheduler, sinkt die Tournarround-Zeit vom 5,8-fachen auf das 2,7-fache⁷.

⁷ $44,4 / 7,6 = 5,8$ und $65,6 / 24,2 = 2,7$

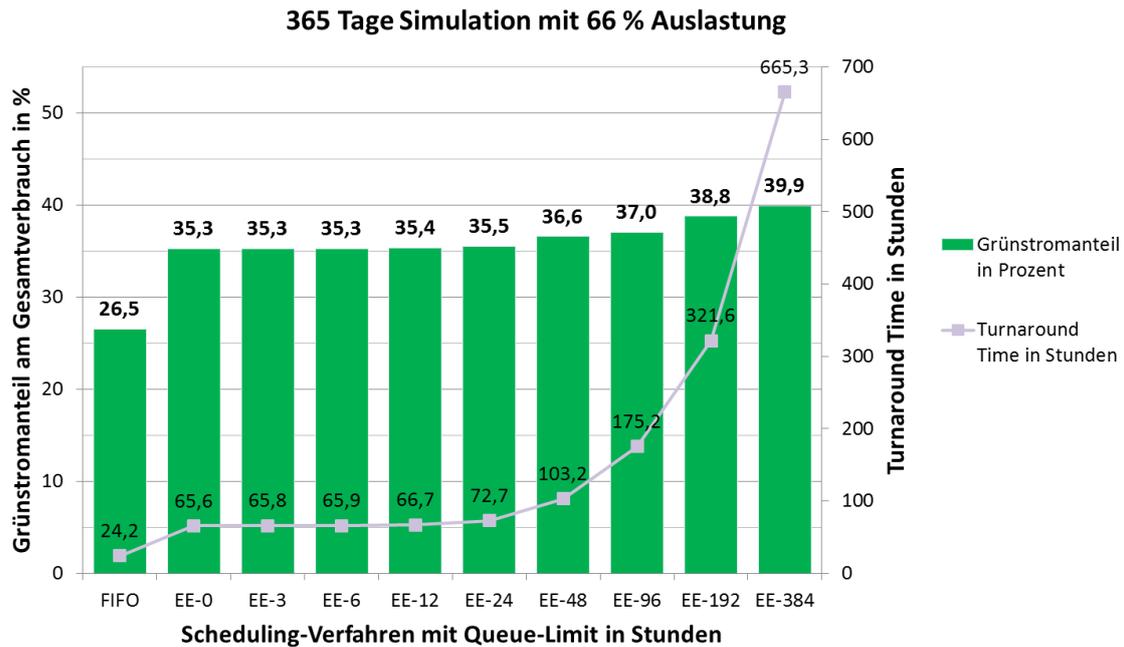


Abbildung 34: Simulation mit 66% Auslastung

2.3.4.3 Preismodelle

Diese Simulationen betrachten nur den Unterschied zwischen dem Verbrauch erneuerbarer und fossiler Energieträger. Im Sinne der Energiewende und mit Blick auf die Netzstabilität ist dies auch der richtige Ansatz, bietet dem Rechenzentrumsbetreiber allerdings keinen wirtschaftlichen Vorteil und somit keine Anreize. Aufgrund des mangelhaften Smart-Grid-Ausbaus fehlen bis heute konkrete Preismodelle, mit denen wir mögliche Ersparnisse hätten quantifizieren können.

Ein lastvariabler Verbraucher im Sinne des Smart-Grid-Ansatzes kann aus Netzbetreibersicht als Lastbalancierer betrachtet werden. Bei Energieüberschussituationen kann dieser Verbraucher seinen Bedarf erhöhen und den Überschuss abbauen. Dies verringert die abzutransportierende Strommenge und wird sich positiv auf die Netzstabilität aus. Analog verhält es sich bei Strommangel und Verringerung des Energieverbrauchs. Daher ist anzunehmen, dass Smart-Grid-Strommodelle den Gesetzen des Marktes folgen werden und sinkende Strompreise bei Energieüberschussituationen und steigende Preise bei Energiemangel zu beobachten sein werden.

Dies lässt sich bereits an der europäischen Energiebörse EEX erkennen. Im Projekt Green PAD betrachten wir allerdings nicht die gesamtdeutsche Energiesituation, sondern fokussieren uns auf das Energieaufkommen in Mittelspannungsnetzen am Beispiel Paderborns. Bei der Bestimmung eines Strompreismodells haben wir uns daher gegen eine Bindung an den EEX Strompreis entschieden und stattdessen ein Modell gewählt, dessen Variabilität von der Energiesituation im Mittelspannungsnetz abhängt.

$$P(X) = \text{Basis} + X * \text{Varianz}$$

Unser Strompreis $P(X)$ hängt linear von der Energiesituation X in Paderborn ab, wobei X ein Wert in $[-1, 1]$ ist. Ist im Paderborner Mittelspannungsnetz ein Energieüberschuss von 10 MW oder mehr vorhanden, gilt $X = -1$. Bei einem Energiemangel von 10 MW oder mehr gilt $X = 1$. Die Werte dazwischen werden entsprechend gebildet.

Bei einem Basispreis von 15 ct / kWh und einer Varianz von 5 ct / kWh ist mit dem Energieeffizienten Scheduler im Simulationszeitraum eine Ersparnis von 2-4 % gegenüber dem FIFO-Scheduler zu erwarten. Je nach Größe der Varianz, Rechenzentrumsauslastung, der Art der Jobs und dem Energieaufkommen dürften Einsparungen im einstelligen Prozentbereich realistisch sein. Größere Einsparpotentiale könnten über Rabatte bei Steuern und Netzentgelte erzielt werden. Bei lastgeregelten Kühlsystemen dürften die Kosten in ähnlichem Maße sinken.

2.3.5 Energievorhersage im Rechenzentrum

Neben der Energievorhersage im Stromnetz wurde auch die Energievorhersage im Rechenzentrum betrachtet, genauer: die Vorhersage des Stromverbrauchs von virtuellen Maschinen auf einem Server. Dabei wird davon ausgegangen, dass sowohl der Servertyp als auch der Ressourcenverbrauch der virtuellen Maschinen bekannt ist.

Eine Komponente, die solche Vorhersagen macht, kann vom Scheduler verwendet werden, um beim Platzieren und Migrieren von virtuellen Maschinen die energetisch günstigste Konfiguration zu finden.

2.3.5.1 Vorgehensweise

Das Vorhersagewerkzeug nutzt Methoden des maschinellen Lernens und durchläuft eine Trainingsphase, bevor es zum Einsatz kommt. Sei eine Konfiguration definiert als ein Server und eine Menge von virtuellen Maschinen inklusive ihrer aktuellen Ressourcenverbräuche. Dann lernt die Vorhersagekomponente, Konfigurationen auf Energiewerte abzubilden.

Als Lernverfahren ist eine Kombination aus Clustering mittels Selbstorganisierten Karten und linearer Regression. Eine verbesserte Genauigkeit gegenüber bestehenden Techniken wird dadurch erzielt, dass beim Scheduling darauf geachtet wird, das Overprovisioning von Ressourcen zu vermeiden. Auf diese Weise ist die Abbildung, die das Lernverfahren lernt, „linearer“ und besser zu erfassen.

2.3.5.2 Ergebnisse

Die Software für die Energievorhersage wurde in einer OpenStack-Testumgebung implementiert. Sie wurde mit den während des Betriebs aufgezeichneten Daten trainiert, wobei der Stromverbrauch der Server mit Hilfe von IPMI gemessen wurde.

In den ersten Testläufen war die Vorhersage bis auf 5% genau. Es stehen aber noch weitere Tests und anschließende Verbesserungen der Software aus. Die Ergebnisse dieser Forschung werden voraussichtlich Anfang des nächsten Jahres bei einer Konferenz oder einem Journal eingereicht werden.

2.4 Vorgehen und Ergebnisse: IT-Dienste: Planung, Betrieb, Management, Kundenverträge

Das Dienstangebot eines Cloud-Betreibers setzt sich aus verschiedenen IT-Diensten zusammen. Die allgemein bekannten Geschäftsmodelle sind IaaS, PaaS und SaaS, was für Infrastructure, Platform und Software as a Service steht. In GreenPAD lag der Fokus auf IaaS und SaaS für Kunden aus Universitäten und KMUs (kleine und mittlere Unternehmen).

Im Rahmen des Projekts wurde untersucht, inwieweit solche Angebote für Firmen des Paderbomer Technologieparks und für Einrichtungen der Universitäten Paderborn und Mainz interessant sind. Dazu wurden Anforderungsanalysen durchgeführt und Konzepte für den Cloud-Betrieb und die Migration bestehender Anwendungen und Dienste entwickelt.

Diese Konzepte umfassen u. a. Infrastrukturmaßnahmen, Datensicherheit und Abrechnungsmodelle.

2.4.1 Ergebnisse

Die Anforderungen an ein Cloud Computing Angebot unterscheiden sich stark nach der Zielgruppe. Dies zeigte sich insbesondere anhand der Liste möglicher Softwareprodukte, die als Cloud-Anwendungen angeboten werden sollen. Universitäten und Forschungseinrichtungen setzen verstärkt auf Open Source Produkte, KMU auf proprietäre lizenzpflichtige Software. Zudem ließ sich für den universitären Bereich eine abgeschlossene Menge möglicher Leistungen definieren, die in einen Angebotskatalog aufgenommen wurden (vgl. Zwischenbericht 2013 Seite 11f.). Bei KMU hat sich herausgestellt, dass sich das Szenario von Fall zu Fall unterscheidet und KMU-spezifisch untersucht werden muss. Diese zeitintensive Beratung und Entwicklung individueller Lösungen konnte im Rahmen des Projektes nicht geleistet werden. Es resultiert hieraus, dass bisher nur universitäre und wissenschaftliche Kunden etabliert werden konnten.

Neben der Identifizierung potenzieller Anwendungen und Kunden mussten auch die Themen Verträge und Kostenkalkulation betrachtet werden. Die systematische Berechnung von Verrechnungspreisen stellte sich an der Universität Paderborn als schwierig heraus. Erst während der Projektlaufzeit wurde auf eine kaufmännische Buchführung umgestellt, die eine Modellentwicklung ermöglichte. Resultat ist derzeit eine Preisliste für wissenschaftsnahe Kunden.

Die Einbeziehung des kunden- oder dienstabhängigen Energieverbrauchs in das Verrechnungsmodell wurde zunächst nicht weiter betrachtet. Auf Grund fehlender ausreichend dimensionierter Hebel lohnt sich die Betrachtung zumindest monetär für den Kunden nicht.

Das zu Projektbeginn geplante Modell eines Private-Public-Partnership wurde unter Betrachtung der gegebenen Voraussetzungen evaluiert. Es hat sich gezeigt, dass es sich derzeit noch nicht realisieren lässt, die Universität Paderborn für ein solches Modell noch nicht ausreichend gerüstet ist. Die am Markt befindlichen Vertrags- und Abrechnungsmodelle sind zudem für den gegebenen Projektrahmen nicht passgenau anwendbar. Zum jetzigen Stand lagen lediglich drei Anfragen von KMU vor, die sich ein Housing ihrer Infrastruktur im Rechenzentrum der Universität Paderborn vorstellen konnten. Die Überlegungen und die Entwicklung eines Modells können und sollen fortgeführt werden, wenn eine ausreichende Anzahl interessierter Kunden vorhanden ist.

2.4.2 Vorgehen

Zunächst wurden in unterschiedlichen Bereichen Anforderungsanalysen erstellt. Diese waren die Grundlage für Konzeptionierungen von Vertrags- und Preismodellen, Leitungs- und Sicherheitskonzepten sowie der anschließenden Umsetzung im Funktionsdemonstrator.

2.4.3 Anforderungsanalyse: Dienstangebot

2.4.3.1 Universitäten / Öffentliche Auftraggeber

Zu Beginn der Bearbeitung wurde in den AP 2.1.1 und AP 2.1.2 zunächst eine Bestandsaufnahme vorhandener Sourcing Modelle (Organisationsform zur Versorgung mit IT-Diensten) vorgenommen. Hierbei wurden die folgenden Modelle identifiziert und beschrieben:

- Bündelung von Anwendungen und deren Erbringung an einer Stelle für eine ähnliche Nutzergemeinschaft
- Kooperation der Willigen
- D-Grid
- HPC-Computing und Gauß-Allianz

- Cloud-Dienste

Im Anschluss erfolgte die Festlegung der einzelnen Formen des Cloud Computing. Hierzu zählen Public, Private, Hybrid und Trusted Cloud. Als Diensttypen lassen sich Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS) sowie Software as a Service (SaaS) unterscheiden.

Zuletzt wurden im Rahmen der Analyse zwei Standard-Anwendungsfälle näher betrachtet. Hierbei handelte es sich um „E-Mail in der Cloud“ sowie Anwendungen im Bereich „High Performance Computing“.

Zum Bearbeitungszeitpunkt Ende 2011 stellte sich heraus, dass Cloud Computing im universitären Umfeld noch nicht weit verbreitet und nachgefragt wird. Dies lag unter anderem an fehlenden nötigen Kenntnissen der Technologie. Das Interesse änderte sich, nachdem potenzielle Kunden im wissenschaftlichen Umfeld über die Vorteile des Cloud Computing informiert wurden. Bezüglich der Service-Anforderungen liegt der Fokus der Anwender eher auf einem „Full-Service“ als auf einem „Self-Service“. Da die Kunden zusätzlich Service fordern, erscheint eine passgenaue Kombination von regionalen IT-Angeboten mit service-unterstütztem Übergang in die Cloud erfolgversprechend.

Als Ergebnis der Anforderungsanalyse konnten Standard-Anwendungsfälle, die immer wieder nachgefragt werden und sich als Cloud-Anwendungen eignen, identifiziert werden:

- Bereitstellung von virtuellen Servern (mit oder ohne Betriebssystem)
- Bereitstellung einer Mail-Domäne (inkl. Adressverwaltung, Anti Viren- und Anti Spam-Dienst)
- Verwaltung von Netz-Domänen und Netzanschlüssen inkl. DHCP-Dienst

2.4.3.2 Kleine und mittelständische Unternehmen

Im Rahmen der Analyse der Anforderungen für KMU wurden zunächst Untersuchungen der Markt- und Wettbewerbssituation von Cloud-Angeboten durchgeführt. Betrachtet wurden folgende Angebote:

- Amazon Web Services
- Fujitsu Cloud
- Google Cloud
- IBM SmartCloud Enterprise
- Microsoft Cloud Services
- Salesforce.com

Anschließend wurden die jeweiligen Angebote nach ITIL hinsichtlich der Zweckmäßigkeit (Utility) und der Einsatzgeeignetheit (Warranty) hin untersucht und in einer Scorecard visualisiert. Hierbei wurden folgende Faktoren berücksichtigt:

Utility:

- **Green IT Bezug:** Bewertet, inwieweit ein Bezug zwischen Green IT und Cloud Computing hergestellt wird. Z.B. geteilte Hardwarenutzung oder RZ-Betrieb mit Hilfe von regenerativen Energieformen.
- **Integration in bestehende IT:** Bewertet die Integrationsmöglichkeiten der Cloud Angebote in bestehende IT-Umgebungen. Z.B. VPN oder dedizierte Anbindung möglich.
- **Monitoring:** Bewertet die Möglichkeiten, genutzte Cloud Dienste zu überwachen.
- **Leistungsanpassung:** Bewertet die Möglichkeiten, die Leistung gebuchter Dienste anzupassen. Dies sollte zeitnah und wahlweise automatisch oder manuell möglich sein. Zusätzlich sollte

eine Möglichkeit geboten werden die entstehenden Kosten zu prognostizieren und ggf. zu begrenzen.

- **Konfigurierbarkeit:** Bewertet, inwieweit die angebotenen Dienste individuell konfigurierbar sind. Z.B. Anzahl der Varianten von vorkonfigurierten VM im IaaS Bereich.
- **Abrechnungskomplexität:** Bewertet, inwieweit die entstehenden Kosten klar vorhersagbar sind und einfach zu verstehen sind.
- **Testzugang:** Bewertet die Möglichkeiten, das Cloud Angebot kostenfrei zu testen. Dauer und Umfang des Testangebotes sowie nötige Verpflichtungen des Kunden.
- **ISV Unterstützung:** Bewertet die vom Cloud Anbieter gewährte Unterstützung für Independent Software Vendors. Z.B Partnerprogramme, Marktplatz für Anwendungen etc.

Warranty:

- **Auswählbarer RZ Standort:** Bewertet, ob mehrere RZ zur Verfügung stehen und ob diese gezielt auswählbar sind. Z.B. Garantierte Datenhaltung in RZ mit deutschem Standort.
- **Datensicherheit, Redundanz:** Bewertet die Datensicherheitsleistungen durch den Cloud Anbieter. Optimaler Weise sorgt der Cloud Anbieter für eine redundante Datenhaltung und übernimmt sämtliche Backups ohne Aufwand für den Kunden.
- **Datenschutz, Zertifikate:** Bewertet den Schutz von Kundendaten vor unbefugtem Zugriff und ob diese Zusicherungen durch Zertifikate des Cloud Anbieters gestützt werden.
- **Support/Schulungsangebot:** Bewertet die Vielfalt des angebotenen Supports / Schulungsangebots für Mitarbeiter des potentiellen Kunden. Z.B. Forum, FAQs, Telefonsupport, Ticketsystem, Schulungsangebote etc.

Bei den Untersuchungen wurde speziell auf die Besonderheiten von KMU eingegangen. Hierzu gehören z.B. das mangelnde IT-Know How, die Bedenken zu Datenschutz und Datensicherheit sowie die Integrationsschwierigkeiten von „on-premise“ und Cloud Anwendungen.

Im Anschluss wurden die Erwartungen der KMU an eine Cloud Computing Lösung sowie die möglichen Vorteile für KMU beim Einsatz von Cloud Computing untersucht. Als Erwartungen ergaben sich u.a. die Nutzung aktueller Technologien, um damit einen Technologievorsprung anderer Unternehmen zu verringern, oder auch eine geringere Kapitalbindung und damit erhöhte finanzielle Flexibilität des KMU.

Neben der Sicht des KMU wurden auch die nötigen Kompetenzen eines Systemhauses, welches die Migration in eine Cloud Lösung begleitet und/oder den Kunden im Cloud Bereich betreut, analysiert. Hierbei wurden Punkte wie Support, Verfügbarkeit und Zertifizierungen betrachtet. Ergebnis war eine Vergleichsübersicht, die mittels eines Ampelsystems die einzelnen Kompetenzen nach Vorhandensein kennzeichnet (vgl. Bericht zu AP 2.1.2 CC im Startup-Life-Cycle S. 29f). Ein Großteil der geforderten Kompetenzen konnte bereits abgedeckt werden, andere müssen durch Schulungen aufgebaut werden oder können durch ein Systemhaus nicht geleistet werden (vor allem im Bereich der Bereitstellung branchenspezifischer Software).

Zuletzt wurden Vorgaben zur Spezifikation von Diensten ausgearbeitet. Hier wurde nach allgemeinen Diensten (z.B. Verwaltung und Monitoring), Leitungskonzepten (Anbindung des KMU an das Rechenzentrum), RZ und Netzwerk Konzept (Bereitstellung von Internetzugängen), Client-PC Konzept (z.B. Thin Clients, Desktopvirtualisierung), TK-Konzept (Bereitstellung der TK-Infrastruktur für den Kunden) sowie dem Cloud Betriebskonzept (IaaS, PaaS und SaaS) unterschieden.

2.4.4 High Performance Computing

An Universitäten wird High Performance Computing (HPC) vor allem von internen oder externen Forschungsgruppen aus den Naturwissenschaften (Physik, Chemie, Biologie), der Mathematik und Informatik, der Medizin, der Ingenieurs- und Geowissenschaften genutzt. Externe Kunden, die das Rechenzentrum für kommerzielle Zwecke nutzen, gab es in Mainz oder Paderborn Ende 2011 nicht.

Die Ansprechpartner der einzelnen Forschungsgruppen, die für die Anforderungsanalyse befragt wurden, waren Techniker oder Wissenschaftler mit guten Kenntnissen über Rechnernetze und Hochleistungscomputer. Nichtsdestotrotz wurde deutlich, dass der Kenntnisstand hinsichtlich Cloud Computing zu Anfang des Projekts eher gering war. Jeder der Befragten hatte davon gehört, aber die wenigsten hatten ausreichendes Wissen oder gar praktische Erfahrung, so dass die meisten keine cloudspezifischen Anforderungen formulieren konnten. Ein potentieller Kunde interessierte sich für die Entwicklung von cloudspezifischen Anwendungen (mittels PaaS), während alle anderen die Cloud höchstens als neue Rechenressource ansahen.

Die Anwendungen, die im HPC-Bereich eingesetzt werden, sind fast ausschließlich Rechenjobs ohne Interaktion und mit langen Laufzeiten. Sie sind in der Regel frei verfügbar oder selbstgeschrieben. Die verwendete lizenzierte Software umfasst Mathematiksoftware (Matlab, Mathematica, Ansys) und TURBOMOLE, ein Programm für quantenchemische Berechnungen.

Bezüglich Matlab und Ansys wurden von den deutschen Vertriebsfirmen Informationen eingeholt, ob diese Anwendungen in der Cloud angeboten werden dürfen. Es gab noch keine speziellen Lizenzmodelle für Cloud Computing, aber, wenn die Universität eine Netzwerklizenz erworben hat, darf Matlab bzw. Ansys in der Cloud angeboten und von einer limitierten Anzahl Benutzern gleichzeitig benutzt werden. Generell sind Lizenzen für Lehre und Forschung relativ preiswert, während Lizenzen für die kommerzielle Nutzung und teilweise auch für drittmittelfinanzierte Forschung deutlich teurer sind. Lizenzfragen müssen daher in einem PPP-Modell besonders beachtet werden.

2.4.5 Anforderungsanalyse: Vertragsfragen

Untersucht wurden zum Bearbeitungszeitpunkt verfügbare Verträge von Cloud Anbietern u.a. im Hinblick auf Vertragsgestaltung, Leistungsverrechnung, Wirkung auf Unterauftragnehmer oder Datenschutz. Diese waren allerdings nicht einfach zu sichten und unterlagen stetigem Wandel. Es stellte sich im Projektumfeld heraus, dass vor allem noch Unklarheiten bzgl. der Themen Lizenzrecht und Datenschutzrecht existieren. Ferner waren im Projektumfeld kaum Vorstellungen über die Dienstgüte eines Cloud Computing Angebotes vorhanden.

Im Bereich Service Level Agreements wurden Punkte erläutert, die Bestandteil einer Vereinbarung zwischen KMU und Cloud Betreiber sein können. Hierzu zählen u.a. Verfügbarkeit, Wartungsfenster, Backupmechanismen oder Datenschutzmaßnahmen.

2.4.6 Anforderungsanalyse: Software-Stack, SaaS

Bei der technischen Umsetzung von Cloud Konzepten wurden zunächst zwei Software-Schichten betrachtet. Der Hypervisor, der die Virtualisierungsumgebung bereitstellt und die Ressourcen verteilt, sowie die Cloud-Management-Software. Letztere nutzt die virtualisierte Hardware, um virtuelle Maschinen und eine Management-Umgebung zur Verfügung zu stellen. Es wurden diverse Anbieter / Lösungen bzgl. Lizenzen und Funktionsumfängen gegenüber gestellt.

Wesentliche Komponente des grünen Leitstandes sollte der Scheduler werden, der Rechenjobs in Zeiten verlagern kann, zu denen ein Maximum an regenerativen Energien anfällt. In diesem

Zusammenhang wurden die Scheduling-Komponenten freier Cloud-Management-Systeme untersucht. Diese stellen allerdings nur relativ einfache Scheduling-Mechanismen zur Verfügung.

Als typischen Anwendungsfall, der als Cloud-Lösung angefragt wird, wurde E-Mail untersucht. Hierbei wurde sowohl ein funktionaler als auch ein finanzieller Vergleich verschiedener Anbieter wie Microsoft, Google, Telekom oder das IMT der Universität Paderborn gegenüber gestellt.

2.4.7 Anforderungsanalyse: Sicherheitsaspekte

Untersucht wurden die Sicherheitsaspekte betreffenden Mindestanforderungen an den Betrieb einer Cloud Computing Lösung. Als Basis wurde der Quickcheck nach BSI zu Grunde gelegt. Dieser betrachtet u.a. die Punkte RZ-Sicherheit (Redundanz, Brandschutz etc.), Datensicherheit, Rechtemanagement und Monitoring.

2.4.8 Cloud-Betrieb

2.4.8.1 Cloud-Software-Stack

Anforderungen an den Cloud-Softwarestack ergeben sich aus der Definition des Cloud Computing, aus den Erwartungen der Kunden und – speziell in GreenPAD – auch aus der Vorgabe, kostengünstige Energie aus regenerativen Quellen zu verwenden.

Die Forderungen aus der NIST-Definition⁸ lassen sich mit Stacks aus frei verfügbarer Software weitgehend realisieren. Hypervisor wie KVM und Xen ermöglichen Ressourcenmanagement und Skalierbarkeit mittels Virtualisierung. Cloudmanagementsoftware wie OpenNebula, OpenStack und Eucalyptus bieten graphische Benutzerschnittstellen für Selbstbedienung nach Bedarf, und Monitoring und Buchführung können durch eine Vielzahl von Werkzeugen umgesetzt werden, z. B. Nagios oder Collectd. Ausgereifte, frei verfügbare Abrechnungssysteme gab es noch nicht als die Anforderungsanalyse durchgeführt wurde, und auch zum Projektende ist das Angebot eher dürftig.

Die Befragung potentieller Kunden schränkte die Softwareauswahl nicht ein, weil die Wünsche entweder von allen oder keinem der betrachteten Cloud-Stacks abgedeckt waren. Der Forderung nach einem Scheduler wie LSF für Batchjobs kamen die Entwickler des Grünen Leitstands nach, indem sie einen Scheduler entwickelten, der spezielle Funktionen für Batchjobs aufweist und sie nach Priorität, Größe und Energiesituation platziert.

Die Vorgabe, vorrangig grüne Energie zu verwenden, erfordert einen solchen Grünen Leitstand, der Jobs migrieren und unterbrechen und ungenutzte Hardware abschalten kann. Um diese Funktionen erfüllen zu können, muss die Scheduler-Komponente Informationen über den Zustand in der Cloud (inklusive Jobs und SLAs) und eine Vorhersage des Energiebedarfs und des Energieangebots erhalten.

2.4.8.2 Software-Stack gemäß Service- und Sicherheitsaspekten

Um einen Cloud-Software-Stack für das Projektumfeld zu entwerfen wurden zunächst die wesentlichen Anforderungen sowohl der Anbieter als auch der Kunden und Benutzer analysiert. Hierzu wurden zunächst fünf Benutzertypen festgelegt:

⁸ <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>

- **Wissenschaftliche Benutzer**
befinden sich in der Regel an Universitäten und Forschungseinrichtungen und nutzen die Computercluster der zugehörigen Rechenzentren oder Institute, um große Rechenaufgaben oder Simulationen durchzuführen, die ihre Desktop- / Laptop-Computer nicht bewältigen können
- **Mobile Benutzer**
sind Angestellte oder Studenten, die einen (großen) Teil ihrer Arbeit von mobilen Geräten aus erledigen, d. h. von Laptops oder Smartphones/ Tablets. Sie arbeiten häufig von zu Hause aus oder reisen viel für ihren Job und verbinden sich dann mit öffentlichen „Hot Spots“, um Programme und Daten der Firma oder Universität zu nutzen
- **Administrative Benutzer**
erledigen administrative Aufgaben für die Universität oder Firma. In Universitäten und in Firmen gibt es solche Benutzer z.B. als Nutzer von Office oder ERP Anwendungen in der Verwaltung
- **Studentische Nutzer**
nutzen Mehrbenutzercomputersysteme an der Universität oder anderen Lehrinstitutionen. Die Computer stehen meistens in Poolräumen, in denen sich die Studenten mit ihrer Benutzerkennung einloggen, und werden von Studenten aller Fakultäten genutzt
- **Firmennutzer**
umfassen die Benutzer in kleinen oder mittleren Unternehmen, die meistens vom Büro aus arbeiten, teilweise aber auch mobile Geräte verwenden. Sofern es sich nicht um Technik- oder IT-Firmen handelt, sind die typischen Anwendungen E-Mail, Büro- und Webanwendungen

Zur Durchführung einer Anforderungsanalyse wurden zwei Fragebögen entworfen. Der erste enthielt benutzertypische Fragen, der zweite enthielt allgemeine Fragen (vgl. Bericht zu AP_2.2.2_Cloud-Betriebskonzept Seite 8ff).

Aus den Antworten der Befragten wurden folgende Anforderungen abgeleitet:

- Die Energieeffizienz des Rechenzentrums und der Client-Rechner soll insgesamt verbessert werden. D. h. Reduzierung des Verbrauchs bei gleicher Rechenleistung.
- Die Energie, die im Rechenzentrum eingesetzt wird, soll nach Möglichkeit aus regenerativen Quellen stammen: Windkraft- und Solaranlagen. Die Energie aus konventionellen Quellen – Kohlekraftwerke, Atomkraftwerke etc. – soll minimiert werden. In diesem Kontext wäre ein Anstieg des Gesamtenergieverbrauchs hinnehmbar, wenn sich dadurch eine Minimierung der konventionellen Energie erreichen ließe.
- Der Energieverbrauch sollte von einem Monitoring-System überwacht werden.
- Die initiale Versorgung (Provisioning) der virtuellen Maschinen sollte dem Scheduler bekannt sein.
- Der Ressourcenverbrauch der virtuellen Maschinen sollte vom Monitoring-System überwacht werden.
- Die Migration von virtuellen Maschinen sollte unterstützt werden und möglichst effizient stattfinden.
- Server sollten leicht ein- und ausgeschaltet werden können.
- Es muss einen Scheduler geben, der die virtuellen Maschinen den Servern gemäß den oben genannten Kriterien zuordnet und sie zwischen den Servern migriert. Lernverfahren könnten

während der Laufzeit eingesetzt werden, um die Regelung der Ressourcenzuordnung zu verbessern.

- Anwendungen wie Batchjobs, die nicht durchgehend laufen müssen, sollten unterbrochen werden können. Sollte es sich um Batchjobs handeln, sollten sie Checkpointing unterstützen.
- Anwendungen, die unterbrochen werden können, sollten zwischenzeitlich gestoppt werden, wenn es den beiden Energiezielen dient. Dazu muss dem Scheduler bekannt sein, auf welchen virtuellen Maschinen diese Anwendungen laufen.

Nachdem die Anforderungen ausgearbeitet wurden, erfolgte eine Beschreibung des Cloud Stacks, der den Anforderungen weitestgehend entspricht. Hierzu wurden zunächst verschiedene Hypervisor-Systeme im Hinblick auf die Ausführbarkeit der Cloud-Software-Pakete und die benötigten Lizenzen betrachtet. Mögliche Hypervisor-Systeme waren z.B. VMware ESXi, Xen oder Oracle VM. In Frage kommende Cloud-Software-Pakete waren z.B. OpenStack, OpenNebula oder CloudStack.

Im Kontext der Untersuchung wurden zudem auch weitere Kriterien untersucht, die innerhalb des Projektes wichtige Funktionen abbilden sollten. Hierzu zählte die Bereitstellung sog. Images (Betriebssysteme, Entwicklungssoftware und Anwendungssoftware) in einem Image Store, der benötigte Speicher sowie die Vernetzung (innerhalb der Cloud und nach außen) und die Benutzerverwaltung. An Letztere stellt eine Cloudumgebung besondere Anforderungen. Bei einer Vielzahl parallel verarbeiteter Projekte muss sichergestellt werden, dass Benutzern Zugriff zu ihren Konten und Ressourcen gewährt und Unbefugten dieser verwehrt wird. Weiteres Augenmerk wurde auf das Monitoring der Cloud-Umgebung gelegt. Sowohl die Cloud-Infrastruktur als auch die Cloud-Dienste sollen permanent überwacht werden. Das Monitoring liefert Daten für

- Systemüberwachung (Hard- und Softwareressourcen)
- Abrechnung und Buchführung
- Dienstgütevereinbarungen (Service Level Agreements)

Speziell für das Projekt GreenPAD ergab sich als weitere Monitoring-Komponente die Überwachung des aktuellen Stromverbrauchs der einzelnen Bausteine der Cloud-Umgebung. Die Werte des Monitoring können teilweise direkt in der Cloud-Software abgerufen oder aber auch über externe Speziallösungen wie z.B. Nagios abgefragt und ausgewertet werden.

Eine zentrale Komponente, die im Projektkontext betrachtet wurde, war das Scheduling. Generell steuert diese Komponente die Bereitstellung der virtuellen Maschinen in der Cloud-Umgebung. Spezielle Anforderung für GreenPAD ist das Ziel, die verwendete Energie aus regenerativen Quellen zu maximieren. Mittels Vorhersagen der Last innerhalb der Cloud-Umgebung sowie der verfügbaren regenerativen Energie sollen die verschiebbaren Jobs in den „besten“ Ablaufzeitraum verlagert werden.

Neben den beschriebenen technischen Anforderungen existiert auch die Anforderung der Schaffung eines Abrechnungs- und Buchführungsprozesses. Dies ist insbesondere im Umgang mit KMU notwendig, um die von diesen Kunden in Anspruch genommenen Leistungen abrechnen zu können.

Hierzu müssen die einzelnen Leistungen den jeweiligen Projekten und Benutzern zuzuordnen sein. Mögliche Abrechnungsmodelle am Beispiel des Anbieters Amazon sind:

- die Nutzung der virtuellen Maschinen nach Dauer und Typ („flavour“)
- die Nutzung des Blockspeichers nach Dauer, Größe und Zugriffen
- die zur Verfügung gestellten IP-Adressen nach Dauer und Anzahl
- die Nutzung des Benachrichtigungsdienstes nach Anzahl der Nachrichten
- der Datentransfer

Denkbar ist auch ein Einfluss des aktuellen Energiepreises und / oder des eingesetzten Energietyps (regenerativ oder konventionell).

Nachdem die Anforderungen erhoben und eine Studie zu den Komponenten erarbeitet worden war, wurden Software-Stacks für das Projekt GreenPAD bestimmt, die aus den folgenden Komponenten bestehen:

- **Hypervisor:** KVM (und Libvirt als vorgeschaltete API), VMware ESX
- **Cloud-Software** inkl. GUI: OpenStack (in Mainz und Paderborn) und OpenNebula (zwischenzeitlich in Paderborn)
- **Authentifizierung:** OpenStack Keystone, LDAP
- **Monitoring:** Nagios und Collectd (in Mainz), ICINGA (in Paderborn) und ManageNow (bei Fujitsu)
- **Energiemessung:** IPMI, externe Strommessgeräte
- **Energievorhersagen:** Eigenentwicklung
- **Scheduler:** Eigenentwicklung
- **Abrechnung:** offen

Eine detaillierte Begründung befindet sich in Abschnitt 3 des Deliverables zum AP 2.2.2. Abweichend von diesem Deliverable wurde für das Monitoring zusätzlich Collectd verwendet, weil es im Gegensatz zu Nagios funktionierende Plug-ins für Libvirt und IPMI anbietet, die für die Ressourcen- und Energieverbrauchsüberwachung benötigt werden.

Die Daten, die von Collectd gesammelt werden, werden vom Grünen Leitstand verwertet.

2.4.9 Verträge und Service Level Agreement

Mit den Kunden der Cloud-Computing Lösung sollen sog. Dienstgütevereinbarungen (Service Level Agreement – SLA) geschlossen werden. In solchen Vereinbarungen werden bestimmte Leistungseigenschaften wie Reaktions- oder Antrittszeiten definiert. Die Einhaltung der Vereinbarungen soll mit der Monitoring-Komponente überwacht werden, deren Daten aus Transparenzgründen beiden Vertragsparteien zugänglich sein sollten.

Eine Bestandsaufnahme bei wissenschaftlichen Kunden zeigte, dass diese ihre Anforderungen bislang nicht spezifiziert hatten oder nicht genau spezifizieren konnten. Das IMT der Universität Paderborn bot zum Bearbeitungszeitpunkt folgende, allerdings nicht explizit vereinbarte Dienstgüten:

| Service Level | Anforderung der Kunden | IMT-Leistung 12/2011 |
|------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Betrieb 24/7 | Ja | Ja |
| Verfügbarkeit | Nicht spezifiziert | Je nach Dienst: geschätzt 90% bis 98% |
| Supportzeiten: Mo-Fr 8-16Uhr | Ja | Ja |

| | | |
|---|--------------------|-----------------------------|
| Bereitstellungszeit von Diensten | Nicht spezifiziert | Bisher nicht spezifiziert |
| Wartungsfenster: Marktübliche Wartungszeit | Nicht spezifiziert | Nein |
| Patchfenster: während der Arbeitszeit | Nein | Ja |
| Angabe zur Redundanz verwendeter Komponenten | Nein | Implizit (im Jahresbericht) |
| Datensicherheitsmaßnahmen | Nicht spezifiziert | Ja – nicht explizit |
| Datenschutzmaßnahmen | Nicht spezifiziert | Ja – nicht explizit |
| Definierter Datenstandort | Nicht spezifiziert | Ja |
| Im- und Export von Daten incl. VM | Teilweise | Ja – manuell |
| Integriertes Backup (derzeit nur PaaS und SaaS) | Nicht spezifiziert | Ja |
| Methoden und Zeitangaben zur sicheren Datenlöschung | Nicht spezifiziert | Ja |
| Monitoring u. Verwaltungslösung (Start, Stop, Snapshot Handling, allgemeiner Cloud-Status incl. Kriseninfo) | Nicht spezifiziert | Nein |

2.4.10 Sicherheit

Kernelemente einer Benutzerverwaltung sind die Feststellung der Identität (Authentifizierungen) eines Benutzers und die Verwaltung seiner Rechte (Autorisierung). Eine Cloud-Umgebung stellt besondere Anforderungen an diese Funktionen, da viele Projekte parallel verarbeitet werden. Zu jedem Zeitpunkt muss sichergestellt werden, dass Benutzern Zugriff zu ihren Konten und Ressourcen gewährt und Unbefugten dieser verwehrt wird.

Als Hauptmerkmale der Authentifizierung wurden identifiziert:

- das Rechtemanagement, z. B. User und Gruppen mit definierbaren Rechten / Einschränkungen
- Anbindung an bestehende Identitätsprovider, z. B. LDAP, Host-PAM
- sichere Authentifizierung, z. B. per Passwort, X.509 Zertifikat, SSH-RSA Schlüssel

Eine anbieterspezifische Auflistung kann dem Bericht zu „AP 2.2.2 Cloud-Betriebskonzept“ Seite 23f entnommen werden.

2.4.11 Contracting

2.4.11.1 Verrechnungspreise

Ziel im AP 6.1 war die modellhafte Entwicklung von Verfahren für die Ermittlung kostendeckender und steuernder Verrechnungspreise, zugehöriger Verträge sowie Modelle zur Abrechnung von Dienstleistungen. Betrachtung fanden hierbei sowohl universitäre bzw. universitätsnahe als auch privatwirtschaftliche Kunden. Für wissenschaftliche Kunden wurden Dienstleistungen wie die Installation und Konfiguration virtueller Server, der Betrieb einer Maildomäne oder die Bereitstellung eines Webservers / Webauftritts identifiziert. Bei privatwirtschaftlichen Kunden wurde zusätzlich die Bereitstellung von Speicherplatz identifiziert.

Ausgehend von den identifizierten Dienstleistungen war das Ziel, ein Kalkulationsschema für Dienstleistungen zu entwickeln. Hierzu wurde zunächst das herkömmliche Kalkulationsschema für Wirtschaftsprojekte an der Universität untersucht. Dieses Schema ist für die Kalkulation einzelner zeitlich abgeschlossener Projekte mit definiertem Auftraggeber geeignet, jedoch nicht für auf Dauer ausgelegte Dienstleistungen.

Als Kombination aus dem herkömmlichen Kalkulationsschema der Universität und dem klassischen Kalkulationsschema privatwirtschaftlicher Unternehmen wurde ein angepasstes Kalkulationsschema für GreenPAD entworfen. Hierbei werden Strom, Kälte und Miete sowie Rückstellungen für die Wartung von Netz und Hardware als Einzelkosten ausgewiesen.

| | |
|--|---|
| I. Direkte Kosten | |
| I.a Personalkosten | |
| | |
| <u>projektfinanziertes Personal</u> | |
| | wissenschaftliche Beschäftigte |
| | nicht-wissenschaftliche Beschäftigte |
| | |
| <u>haushaltsfinanziertes Personal</u> | |
| | wissenschaftliche Beschäftigte |
| | nicht-wissenschaftliche Beschäftigte |
| | |
| Zwischensumme I.a | |
| | |
| I.b Sach- und Dienstleistungskosten | |
| | Strom |
| | Kälte |
| | Miete (Raum für GreenPad-Infrastruktur) |
| | Wartung |
| | Sachmittel |
| | Reisekosten |
| | Unterverträge (Werk-/Dienstleistungsvertrag/Honorarvertrag) |
| Zwischensumme I.b | |
| | |
| I.c Aufwand Investitionen | |
| | Anteilige Abschreibung |
| Zwischensumme I.c | |

| | |
|---|--|
| | |
| Summe direkte Kosten | Zwischensummen I.a+I.b+I.c |
| II: Indirekte Kosten | |
| | Gemeinkostenzuschlagssatz spezifisch für Fakultät oder Einrichtung auf haushaltsfinanzierte Personalkosten |
| Indirekte Kosten | |
| III: Gesamtkosten | |
| Gesamtkosten | Summe direkte Kosten+ Indirekte Kosten |
| IV Gewinnzuschlag | |
| Gewinnzuschlag | Zuschlag auf Gesamtkosten |
| VI: Angebotspreis | |
| Netto-Angebotspreis (III+IV+V) | |
| | MwSt. (19%) |
| Brutto-Angebotspreis (inkl. 19% MwSt.) | |

Tabelle 4: Kalkulationsschema GreenPAD

Die benötigten Bewertungen für Kälte und Miete sind zum Zeitpunkt des Projektendes noch nicht belastbar zu erheben. Eine „produktive“ Kalkulation nach diesem Schema ist daher derzeit nicht sinnvoll möglich.

Grundsätzlich soll die Nutzung regional erzeugter erneuerbarer Energien gefördert werden. Hierfür können die Anreizsysteme „Bestrafung“ und „Belohnung“ unterschieden werden. Es wird entweder ein Preisaufschlag für die Nutzung nicht erneuerbarer Energien erhoben oder ein Preisnachlass für die Nutzung erneuerbarer Energiengewährt. Beispielhafte Berechnungen mehrerer Modelle zeigten, dass Einzelabschaltungen von Servern für kleinere Kunden bei den heutigen Strompreisen (ohne variable Netznutzungsentgelte) keine monetären Vorteile bringen.

2.4.11.2 Vertrags- und Abrechnungsmodelle

Im Rahmen des Projektes wurden in AP 6.2 mehrere mögliche Abrechnungsmodelle beschrieben, die je nach in Anspruch genommener Dienstleistung herangezogen werden können.

- **Dienst-Mitnutzung**
z.B. Mitnutzung eines ausreichend groß dimensionierten Mailservers durch mehrere Kunden
- **Bereitstellung virtueller Server (Hosting)**
Eine Standardmaschine wird zu einem monatlichen Pauschalpreis berechnet. Für zusätzliche Ausstattungsmerkmale werden entsprechende Aufpreise fällig.

- **Speicherplatzbereitstellung**
Die Abrechnung erfolgt auf Basis der benötigten Kapazität und kann durch zusätzliche Dienste (z.B. Backup) erweitert werden.
- **High Performance Computing (HPC)**
Hierbei wurden drei verschiedene Szenarien unterschieden und mit einem monatlichen Festpreis versehen:
 - o Housing
 - o Housing und Basis Hardware-Support
 - o Housing und Basis Hardware- und Software-Support
- **Housing**
Kundenindividuelle Berechnung unter Betrachtung der benötigten Fläche, Stromverbrauch etc.

Für die Vertragsgestaltung wurden die universitätsinternen und die privatwirtschaftlichen Kunden getrennt betrachtet.

Für die universitätsinternen bzw. –nahen Kunden wurde eine Dienstbeschreibung und eine Nutzungsvereinbarung entworfen. Diesen Kunden kann ein Support für fünf Tage pro Woche mit je acht Stunden angeboten werden.

Für externe Kunden ist die Vertragsgestaltung weiterhin in der Entwicklung, da zu Projektende noch viele offene Fragen auf Kunden- und Universitätsseite zu klären sind.

Wie im Bericht zum entsprechenden Arbeitspaket beschrieben wurde eine telefonische Beratung durch die Partnerschaften Deutschland ÖPP Deutschland AG im Februar 2014 durchgeführt. Dabei stellte sich die Situation bzgl. der möglichen Eignung der Organisationsform PPP folgendermaßen dar:

- Es gilt unabhängig von der Organisationsform das Vergaberecht. Eine freihändige Vergabe muss grundsätzlich klar dokumentiert werden.
- Der Aufbau einer Verbund-Organisation mit mehreren Miteigentümern, damit die Leistungen als Inhouse-Service zwischen verschiedenen Organisationen erbracht werden können, ist komplex und aufwändig. Die Initialkosten werden mit mehr als 100.000 € abgeschätzt. Der Aufwand ist in Relation zum erwarteten Ertrag sehr hoch, das Vorgehen ist wirtschaftlich nicht sinnvoll.
- Die Alternative ist die freiwillige Vergabe durch die Kunden an die Universität. Hierbei ist bei den Kunden auf eine Dokumentation der Vorgehensweise zu achten, damit nicht der Vorwurf der Marktverzerrung gemacht werden kann.
- Bei einer Leistungserbringung von weniger als 20.000 € im Jahr ist zu überlegen, ob überhaupt in einen Verrechnungsmodus gegangen wird.
- Sicherheit, Datenschutz und Kontinuität müssen grundsätzlich beachtet werden.
- Haftung und Verbindlichkeiten gegenüber den Kunden sollte ausgeschlossen werden.
- Eine Erbringung von Service in der Größenordnung von 10 % (maximal 20%) an Externe ist dem IMT auch Änderung der Organisationsform grundsätzlich möglich (mit der Begründung: keine signifikanten Aufwände, Grenzkosten) ohne dem Vorwurf einer Marktverzerrung ausgesetzt zu sein. Bei einer freihändigen Vergabe der Kunden kann dann an das IMT vergeben werden. Wichtig aus Sicht des IMT und der Universität sind die Haftungs- und Verbindlichkeitsfragen.
- Derzeit ist daher auf Grund des nur punktuell vorhandenen Interesses keine Ausweitung der wirtschaftlichen Tätigkeiten im IMT geplant. Die nachgefragte Mitversorgung von wissenschaftsnahen Einrichtungen und StartUps soll aber vertraglich abgesichert werden. Dazu wird jeweils eine bilaterale Kooperations- und Vertragsgestaltung nach dem Angebotsschema

GreenPAD mit den Kunden erarbeitet. Grundsätzlich wäre eine Vollkostenrechnung notwendig. Da diese Daten derzeit nicht ermittelbar, erfolgt die Abschätzung über allgemeinen Gemeinkostenzuschlagssatz.

2.4.12 Migration / Change

2.4.12.1 Server / Storage

Die Ausstattung des Funktionsdemonstrators wurde zunächst im Projektumfeld grob spezifiziert und anschließend von Spezialisten der Fujitsu verfeinert. Die Lieferung erfolgte im Frühsommer 2012. Der Funktionsdemonstrator besteht aus HPC-Subsystem, Virtualisierungs-Subsystem, Forschungssystem und Shared-Subsystem. Details hierzu siehe Abschnitt 3.1.2.

2.4.12.2 PC Konzept

Während der Ausarbeitung des Konzeptes zum energie-optimalen Betrieb von PC Arbeitsplätzen in AP 2.2.3 wurden zunächst anhand gängiger Benutzungsszenarien vier Benutzertypen definiert:

- Power-User
- Mobile-User
- Verwaltungs-User
- Poolraum-User

Anschließend wurden die Potenziale von Virtualisierungstechnologien untersucht und deren Vor- und Nachteile gegenüber gestellt. Hierbei wurden Anwendungsvirtualisierung und Desktop-Virtualisierung unterschieden. Ergebnis war ein Entscheidungsbaum für die Virtualisierungsstrategie.

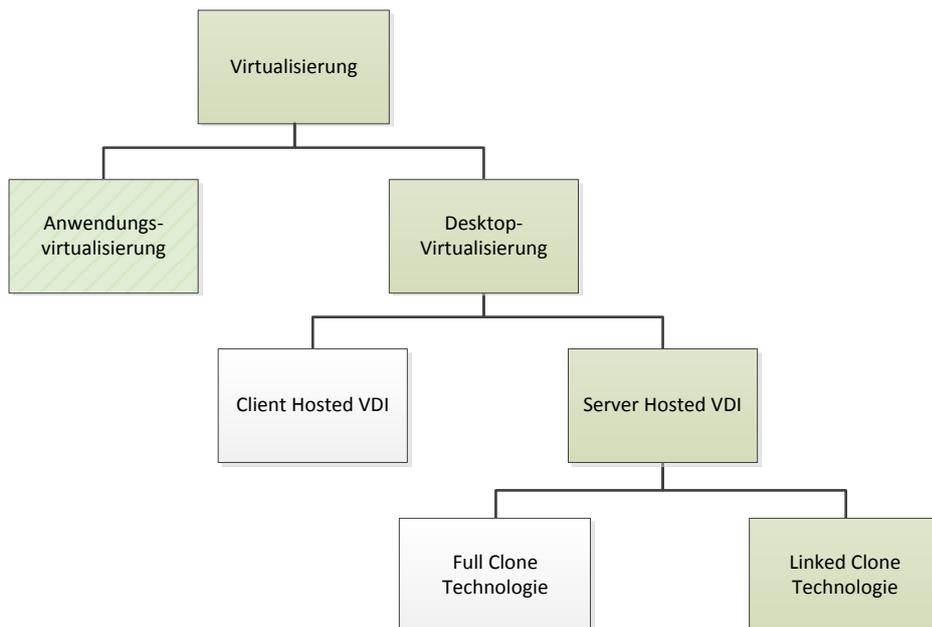


Abbildung 35: Entscheidungsbaum Virtualisierungsstrategie

Hinweis: Die schraffiert dargestellte Anwendungsvirtualisierung ermöglicht zwar keine signifikanten Einsparpotenziale im Rahmen der Energieeffizienz-Betrachtung, sollte aber dennoch nicht in der Konzeption der Virtualisierungslösung ausgeschlossen werden.

Hardwareseitig ergaben die theoretischen Untersuchungen, dass einige Arbeitsplätze zukünftig mit energieeffizienten Zero-Clients ausgestattet werden können. Die folgende Übersicht zeigt die geplante Ausstattung der Arbeitsplätze je Benutzertyp.

| Benutzertyp | Zukünftiger Arbeitsplatz |
|--------------------|----------------------------|
| - Power-User | - Desktop-PC - Notebook |
| - Mobile-User | - Notebook - Tablet |
| - Verwaltungs-User | - Zero-Client |
| - Poolraum-User | - Zero-Client |

Tabelle 5: geplante Ausstattung der Arbeitsplätze

2.4.12.3 TK Konzept

Zunächst wurde die technische Ausgangslage an der Universität Paderborn (Standort Campus und Fürstenallee) sowie bei der unilab als Beispiel-KMU untersucht. Die Universität betreibt eine Telefonanlage aus den frühen 1990er Jahren. Die unilab betreibt eine aktuelle serverbasierte VoIP-Telefonanlage.

An der Universität Paderborn stellte sich heraus, dass eine Migration von analoger Telefonie zu VoIP unter energetischen Gesichtspunkten nicht sinnvoll ist. Es existieren allerdings qualitative Aspekte (z.B. Redundanz, Callroutings, Voicemailboxen etc.), die durch den Einsatz der analogen Telefonanlage nicht realisierbar sind.

Für Startups könnte folgendes Szenario eingerichtet werden:

- Schaltung eines zentralen Telefonanschlusses für den Technologiepark im Rechenzentrum
- Zuteilung einzelner Nebenstellen-Blöcke an die Startups

Hierbei sind die rechtlichen Fragestellungen zu beachten, da ein Betreiber einer solchen Lösung ggf. als Telekommunikations-Provider auftritt.

2.4.12.4 Datenleitungen

Ziel der Betrachtung in AP 2.2.4 war die Spezifikation der Leitungs- und Übertragungswege für die Anbindung der Nutzer und die Übertragung der Daten des „Grünen Leitstands“. Hierzu wurden zunächst die bereits vorhandenen Datenleitungen untersucht. In Paderborn war bereits ein Glasfaserring-Netz verfügbar (vgl. Abbildung 36), an das die Universitätseinrichtungen an der Fürstenallee und innerhalb des Technologieparks direkt angeschlossen sind.

IKT-Infrastruktur

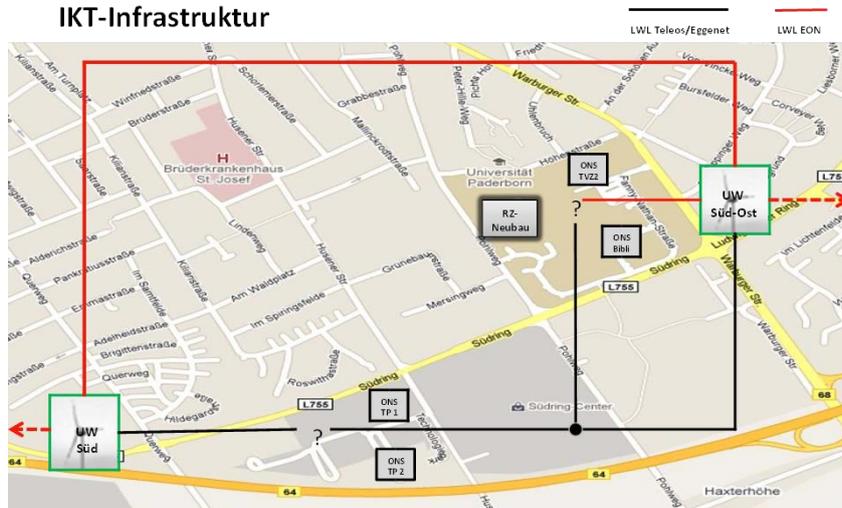


Abbildung 36: Glasfaserinfrastruktur

Die Internetanbindung der Universität Paderborn wurde zum Zeitpunkt der Untersuchung durch zwei redundante Leitungen mit je 600 Mbit/s über das deutsche Forschungsnetz realisiert. unilab n utzte eine symmetrische 34 Mbit/s Internetanbindung.

Auf dem Campus der Universität Paderborn ist eine flächendeckende Netzinfrastruktur vorhanden, über die die öffentlichen und universitätsnahen Auftraggeber auf das Rechenzentrum zugreifen können.

Zukünftig wurden einige Ausbauoptionen identifiziert:

- Ausbau einer redundanten Leitung in die Fürstenallee (kostenintensiv)
- Hochrüstung der bestehenden Anbindung des Technologieparks
- Potenzielle Kunden im Stadtgebiet könnten an die vorhandenen Glasfaserleitungen angebunden werden

Detaillierte Ergebnisse finden sich in Abschnitt 3.1.3.

2.4.12.5 IT-Sicherheit

Im Rahmen des Projektes sollte eine IT-Sicherheitsrichtlinie beschrieben und daraus resultierend ein IT-Sicherheitskonzept umgesetzt werden. Die Bestandsaufnahme der Infrastrukturkomponenten wurde in mehreren Phasen durch verschiedene Projektbeteiligte durchgeführt. Der gesamte Datenerfassungsvorgang berücksichtigt dabei grundlegend die vorgeschlagene Methodik, die vom BSI im BSI-Standard 100-2⁹ beschrieben ist.

Detaillierte Angaben zu den Ergebnissen finden sich in Abschnitt 3.1.4.

⁹ Vgl.

https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/ITGrundschutzstandards/standard_1002_pdf.pdf?__blob=publicationFile, Zugriff am 21. November 2014

2.4.13 Applikationsmigration

Im Bereich der Applikationsmigration (AP 8) wurden bisher nur wissenschaftliche Kunden migriert. Hierbei war hauptsächlich die Bereitstellung virtueller Maschinen gefragt. In einigen Bereichen der Universität Paderborn wurde zudem auf den Betrieb einer Desktop-Virtualisierung umgestellt.

Die derzeit möglichen Leistungen zeigt die folgende Übersicht:

| |
|--|
| IaaS Storage Virtualisierung |
| Synchrone / Asynchrone Spiegelung |
| Backup-Lösung innerhalb RZ |
| |
| IaaS Server Virtualisierung |
| Cloud Lösung mit HA Cluster |
| Installation + Konfiguration VM |
| Migration bestehender VM |
| Migration bestehender phys. Server zu VM |
| |
| IaaS Desktop Virtualisierung |
| Desktop Virtualisierung |
| Anwendungsvirtualisierung |
| <ul style="list-style-type: none">- Freesurfer (https://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/)- Basic Local Alignment Search Tool (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST/)- GROMACS (http://www.gromacs.org/)- RUBiS (http://rubis.ow2.org/doc/index.html) |
| |
| PaaS Lösung |
| Mailserver (z.B. Exchange) |
| Fileserver |
| Terminal Server |
| SharePoint |
| Datenbankserver |
| WebServer (LAMP) |
| Typo3-Server |

Das Migrationspotenzial von Anwendungen privatwirtschaftlicher Nutzer wurde wegen der Heterogenität der genutzten Anwendungen fallbasiert untersucht.

3 Technische Umsetzung

In diesem Kapitel wird das Vorgehen im Projekt bzgl. der technischen Umsetzung beschrieben. Für Details wird jeweils auf die angehängten Arbeitsberichte verwiesen.

3.1.1 Voraussetzungen der technischen Umsetzung (Phase Design)

Bei Projektbeginn wurden in der ersten Phase (Design-Phase) die Anforderungen aufgenommen und die vorhandenen technischen Gegebenheiten genauer analysiert. Zusätzlich wurde der Funktionsdemonstrator geplant und beschafft.

3.1.2 Status Quo und Kapazitätsplanung im RZ

Mit Projektbeginn war das neue RZ an der Universität Paderborn gerade gebaut und befand sich im Aufbau. Alle Komponenten waren mit Hilfe einer externen Firma geplant worden. Als Klimatisierungskonzepte wurden Freiluftkühlung, Kaltgangeinhausung sowie Wasserkühlung gemäß „Good Practice“ realisiert. Im Projekt konnte durch Nachrüstung von Messstellen im RZ der PUE ermittelt und nun permanent beobachtet werden. Von den Kapazitäten war das RZ auf Zuwachs ausgelegt, so dass die GreenPAD- Komponenten des Funktionsdemonstrators dort ohne Probleme aufgenommen werden konnten.

Durch den Weggang von Prof. Brinkmann vom PC² der Universität Paderborn an die Universität Mainz wurde diese zusätzlicher Projektpartner. Der geplante GreenPAD-Cluster wurde dementsprechend so aufgeteilt, dass an beiden Universitäten Vergleichsmessungen und prototypische Implementierungen stattfinden konnten. Nach intensiver Diskussion der Anforderungen im Projekt wurde entschieden, dass der Funktionsdemonstrator grundsätzlich aus vier Subsystemen besteht:

- ein Subsystem als Produktionsumgebung im Bereich Hochleistungsrechnen (**HPC-Subsystem**) mit den folgenden funktionalen Anforderungen:
 - optimiert in Hinblick auf typische HPC-Anforderungen bei CPU und Speicher
 - hohe Netzwerkbandbreiten für Diskless Knoten Unterstützung
 - Low Latency Netzwerk
 - Unterstützung von Hardware-Virtualisierung (Intel-VT oder AMD-V Technik)
- ein Subsystem als Produktionsumgebung für die Anforderungen aus dem Bereich KMU/ÖA (**Virtualisierungs-Subsystem**) mit den folgenden funktionalen Anforderungen:
 - optimiert in Hinblick auf klassische Virtualisierung
 - redundante Auslegung aller Komponenten (Strom, Netz, Blades)
 - hohe Netzwerkbandbreiten zur Anbindung Storagepool
 - Unterstützung von Hardware-Virtualisierung (Intel-VT oder AMD-V Technik)
- ein Subsystem als Forschungsumgebung zur Untersuchung von Forschungsfragen im Bereich der Energie-Effizienz (**Forschungssystem**) mit den folgenden funktionalen Anforderungen:
 - optimiert bezüglich Energieeffizienz und Nutzung regenerativer Energien durch verbessertes Scheduling
 - optimiert in Hinblick auf Algorithmen, Lasten und Bauteile / Hardware; die Versuche und Ergebnisse dienen weitgehend der Beantwortung von Fragen und Problemen aus der Forschung
 - bietet zu Testzwecken einen Cloud-Dienst für eine begrenzte Anzahl Nutzer im wissenschaftlichen Bereich

- Um zusätzlich die Migration von Anwendungen testen zu können, gibt es ein weiteres Subsystem, das einen Kompromiss zwischen dem HPC-Subsystem und dem Virtualisierungs-Subsystem darstellt (**Shared-Subsystem**) mit den folgenden Anforderungen:
 - optimiert in Hinblick auf gemeinsame Nutzungs- und Migrations-Szenarien zwischen HPC-Cluster und Virtualisierungs-Cluster
 - Anforderungen wie bei HPC- und Virtualisierungs-Subsystem
 - Redundanz im Netzwerk über Ethernet und Infiniband.

Aufgrund der o.a. Anforderungen wurde mit dem Partner FTS die technischen Spezifikationen erarbeitet und schließlich 3 Systeme BX 900 S2 und 36 RX 200-Systeme S7 für das Forschungssystem beschafft. Die Details der Spezifikation der Systeme, die Verfügbarkeits- und Kapazitätsplanungen sowie die Beschreibung der Installation befinden sich im Abschlussbericht zum AP 2.2.1 – RZ-Konzept. Bei der Beschaffung wurden die BX 900-Systeme diskless beschafft, was im Verlauf des Projektes zu erheblichen Problemen führte, so dass zusätzlich noch Storage-Infrastruktur als Erweiterung des an der Universität Paderborn vorhandenen SANs beschafft werden musste.

3.1.3 Anbindung der KMU

Bei der Anbindung der KMUs im Technologiepark stellte sich früh heraus, dass eine Glasfaservernetzung der Gebäude im Technologiepark gerade erst in der Planung war und im Laufe des Projekts realisiert werden konnte. Vorher war jedes KMU per DSL einzeln an Provider angebunden; eine Erhöhung der Bandbreiten war zu Beginn des Projekts noch problematisch. Das hat sich im Laufe des Projekts geändert. Im Arbeitspaket 2.2.4 wurden die Bereitstellung ausreichender Datenleitungskapazitäten für die Anbindung der Nutzer im Technologiepark und die Übertragung der Daten des „grünen Leitstandes“ intensiv evaluiert. Es wurden die vorhandenen Glasfaser-Anbindungen, die Internet-Anbindungen der Projektpartner und die der öffentlichen Auftraggeber sowie mögliche Ausbauoptionen und die Nutzung von Power Over Ethernet untersucht. Beispielhaft zeigt die folgende Abbildung eine Ergebnisvisualisierung:

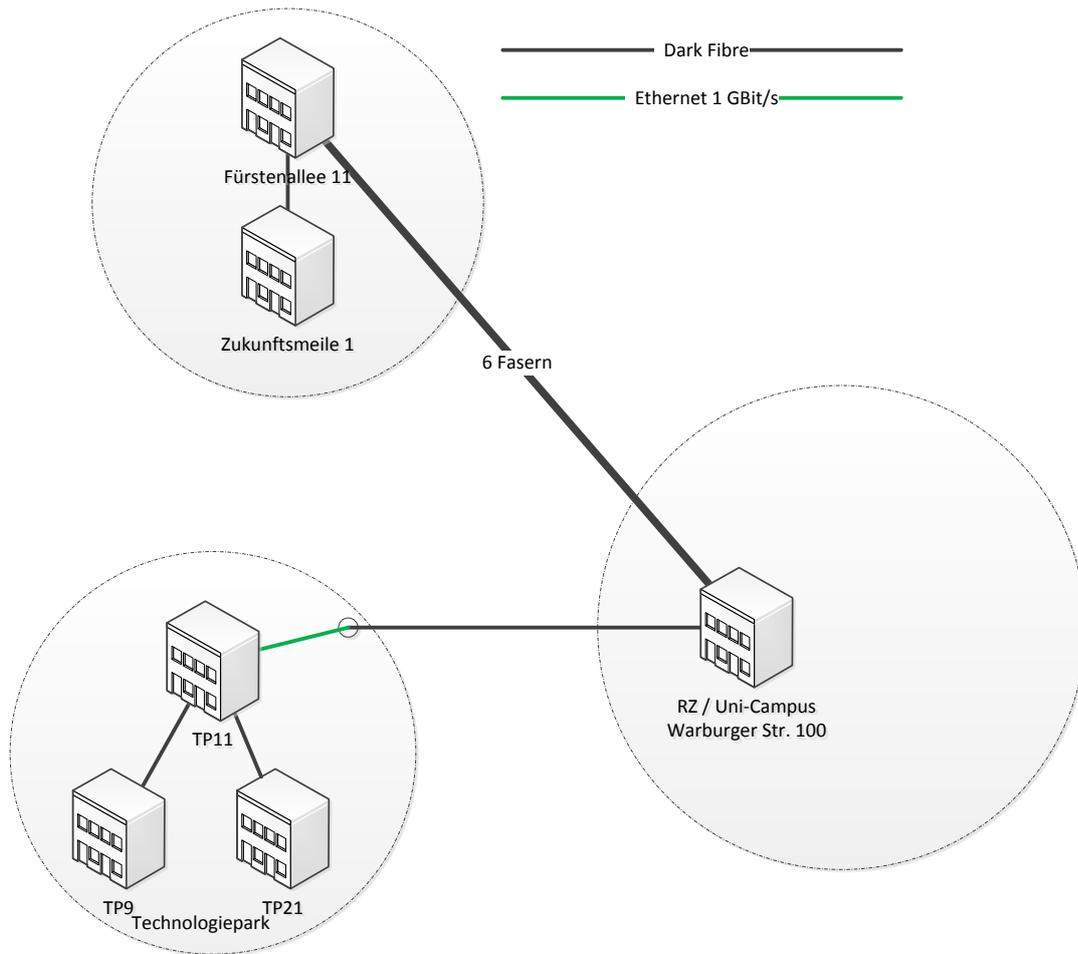


Abbildung 37: Leitungsverbindungen für die öffentlichen Auftraggeber

Als Ergebnis wurde festgehalten (Details siehe Arbeitsbericht zu AP 2.2.4): Für den grünen Leitstand müssen die aktuellen Daten zur Energieproduktion regelmäßig von der E.ON Westfalen Weser zur Universität übertragen werden. Die genauere Planung ergab, dass aufgrund der insgesamt relativ geringen Datenmengen und der Übertragungsintervalle im Minutenbereich eine Übermittlung über die vorhandenen Internetanschlüsse von E.ON Westfalen Weser zur Universität Paderborn voll ausreichend ist. Für eine Testphase ist sogar eine regelmäßige Übermittlung per E-Mail ausreichend, dauerhaft soll dies auf eine virtuelle Online-Verbindung geändert werden. Die grundsätzlich mögliche, aber mit hohem Zusatzaufwand verbundene direkte Glasfaser-Hochgeschwindigkeitsverbindung wird nach derzeitigem Planungsstand nicht benötigt.

Bezüglich der für die Anbindung zusätzlicher Kunden benötigten Übertragungsbandbreiten und Übertragungs-Qualitätsparameter (Latenz, Jitter) ergaben die im Rahmen des Arbeitspaketes geführten Diskussionen noch keine endgültige Klarheit. Natürlich sind möglichst direkte breitbandige Verbindungswege dringend wünschenswert und über die vorhandene Leitungsinfrastruktur auch grundsätzlich realisierbar, allerdings nur in Verbindung mit hohen Investitions- und Folgekosten. Nach Einschätzung seitens Teamnet, dem Netzprovider im Technologiepark, sind speziell für kleine Startup-Unternehmen im Technologiepark die Einstiegskosten eine für die Akzeptanz eines Angebotes ausschlaggebende Größe, sie sollten maximal einige wenige hundert Euro pro Monat nicht

übersteigen. Auch bezüglich des Energiebedarfs ist die von Teamnet standardmäßig angebotene 100 MBit-Anbindung günstiger als eine Gigabit- oder Multi-Gigabit-Verbindung.

Als Konsequenz sollen die GreenPAD-Dienste soweit möglich auch als normale Cloud-Dienste über die ohnehin benötigten, in der Regel bereits vorhandenen und auch in der Energiebilanz bereits berücksichtigten Internet-Anbindungen der Nutzer möglich sein. Über große Versorgungsgebiete hinweg sind solche Internet-Anbindung kostengünstig erhältlich. Möglichkeiten und Grenzen der GreenPAD-Nutzung bei diesen Übertragungsleistungen sind im weiteren Projektverlauf für konkrete Nutzungsszenarien genauer zu untersuchen. Gegenpol ist die Untersuchung von Energiebedarf und tatsächlicher Netzauslastung für die bereits realisierten breitbandigen Direktverbindungen.

3.1.4 Sicherheitsaspekte

Ein angemessenes Sicherheitsniveau für den Betrieb eines Wirtschafts- und Wissenschaftsclusters war während der Projektantragsphase für notwendig erachtet worden. Dies hat sich im Laufe des Projekts bestätigt.

Im Projekt wurde daher entschieden, sich an die etablierten Sicherheitsstandards des BSI (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik) zu halten. Dies sind zum einen die Kataloge des Grundschutzes aber auch die Empfehlungen zum Cloud-Betrieb. Die Risikoanalyse und das Audit des Rechenzentrums an der Universität Paderborn wurden bzgl. physikalischer Gegebenheit, Server, Speicher und Netzwerkkomponenten in Anlehnung an den BSI-Grundschutz auditiert.

Bei der Bestandsaufnahme wurde die Open Source-Applikation verinice¹⁰ eingesetzt, um die relevanten Infrastrukturkomponenten zu modellieren. Daran anschließend konnten die einzelnen Bausteine, die in dem IT-Grundschutz-Katalog des BSI ausführlich beschrieben sind, auf diese Infrastrukturkomponenten angewendet und die Ergebnisse dokumentiert werden. Dabei wurden jeweils die genannten Gefährdungen innerhalb der zutreffenden Bausteine mit den dafür vorgesehenen Maßnahmen abgeglichen, um mögliches Gefahrenpotenzial zu erkennen. Ebenfalls wurde der von den Projektbeteiligten der Universität Paderborn definierte Schutzbedarf für die Sicherheitseigenschaften Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität bei dieser Betrachtung berücksichtigt.

Es hat sich gezeigt, dass das im Projekte erreichte Sicherheitsniveau durchgehend als gut bezeichnet werden kann. Einzelne Maßnahmen müssten bei einem produktiven Betrieb für Externe mit hohen Sicherheitsanforderungen nachgebessert werden. Da eine weitergehende Geschäftstätigkeit nach Abschluss des Projektes nicht konkret avisiert ist, wurden diese Maßnahmen im Projekt nicht noch tiefer verfolgt. Mit dem Vorgehen konnte aber die grundsätzliche Eignung des aufgebauten Rechenzentrums und der Prozesse im IMT auch für externe Partner nachgewiesen werden.

Für die Migration von Applikationen auf den Funktionsdemonstrator war es zudem notwendig, ein Identitätsmanagement für GreenPAD-Kunden einzuführen. Vor dem GreenPAD-Projekt gab es als Nutzer von IMT-Diensten lediglich Mitglieder und Angehörige der Universität. Diese sind nach dem Hochschulgesetz berechtigt, die Ressourcen der Hochschule zu nutzen. Externe sind es in der Regel nicht. Während der Projektlaufzeit von GreenPAD konnten die Projektbeteiligten als Gäste registriert werden, um so auf den GreenPAD-Cluster zugreifen zu können.

Im Projekt wurde ein Konzept entwickelt, nach dem Externe auf Grund von Rollen Rechte auf dedizierte IT-Dienste erhalten können. Externe erhalten dann im Gegensatz zu Gästen keine E-Mail-Adresse der

¹⁰ Vgl.: <http://www.verinice.org/>, Zugriff am 10. Oktober 2013

Universität und können auch Netzzugänge wie WLAN oder VPN nicht mehr automatisch nutzen. Die Nutzung muss explizit beantragt und autorisiert werden.

Externe in diesem Sinn könnten Mitarbeitende der unilab sein, die auf dem GreenPAD-Cluster Dienste anbieten. Es sind aber auch die wissenschaftsnahen Personen gemeint, die auf Grund von besonderen Kooperationsabkommen, Zugriff auf bestimmte IT-Dienste erhalten. Dazu gehören insbesondere HPC-Nutzer. Zusätzlich zu der Erweiterung des Identitätsmanagement wurde der Zugang für die wissenschaftlichen Nutzer mittels des föderierten Ansatzes der DFN-AAI¹¹ (Authentifizierungs- und Autorisierungs-Infrastruktur des Deutschen Forschungsnetzes) geschaffen.

3.1.5 Messung der Energieeffizienz

Die Messung der Energieeffizienz erfolgte differenziert pro Szenario. Die Details zum Vorgehen und zu den Ergebnissen sind im Kapitel 2.2 dargestellt.

3.1.6 Aufbau des Funktionsdemonstrators (Phase Transition)

Am Ende der Design-Phase waren die Anforderungen der KMUs und der öffentlichen und wissenschaftsnahen Auftraggeber dokumentiert. Der Funktionsdemonstrator wurde geliefert und auf Grund der diskless-Konfiguration mit einiger Mühe aufgebaut. Auf dem Virtualisierungs-Subsystem wurde VMware installiert und die dokumentierten Applikationen von lokalen Servern auf den Cluster migriert (siehe 2.4.13). Auf dem HPC-Subsystem und dem Shared-Subsystem wurde zunächst der quelloffene Cloud-Stack OpenNebula¹² installiert. Im Laufe des Projekts stellte sich aber heraus, dass die Projektanforderungen besser mittels OpenStack¹³ abgedeckt werden können, so dass die o.a. Systeme nochmals neu installiert, in die Gesamtumgebung integriert und in Betrieb genommen wurden. Wie sich im Projektverlauf zeigte wurden Cloud-Installationen im Bereich der KMUs noch nicht nachgefragt, so dass diese Systeme für Projektzwecke (Evaluation, Tests) sowie für wissenschaftliche Kunden genutzt wurden. Diese haben sich bedarfsorientiert aus den vorhandenen Templates (Windows- und Linux-Server) ihre Maschinen gestartet und damit gearbeitet.

In einen Produktivstatus konnte ebenfalls das VDI-Pilotprojekt migriert werden. Dort wurden wie im Abschlussbericht zum AP 2.2.3 detailliert ausgeführt, Poolräume an der Universität Paderborn von einem Fat Client in ein Thin Client-Konzept überführt.

3.1.7 Evaluierung (Phase Operation)

Die migrierten Applikationen im RZ an der Universität Paderborn wurden zum einen in das klassische Monitoring via ICINGA¹⁴ eingebunden, zudem werden die Last- und Energieverbrauchsdaten aufgezeichnet. Die Details und Ergebnisse im Bereich Energie-Effizienz und Grüner Leitstand (Smart Grid) wurden in den Kapiteln 2.2 und 2.3 dieses Berichts erläutert.

¹¹ <https://www.aai.dfn.de/>

¹² <http://opennebula.org/>

¹³ <http://www.openstack.org/software/>

¹⁴ <https://www.icinga.org/>

4 Verbreitung der Ergebnisse

4.1.1 Präsentationen für Dritte

| Lfd. Nr. | Verwertungsaktivität | Zeithorizont |
|----------|--|---|
| 1 | Vorstellung des Konzeptes auf Cebit 2012 und Folgejahren (Verbund) | März 2012 März 2013 März 2014 |
| 2 | Gezielte Ansprache der 83 Unternehmen im Technologiepark Paderborn. Durchführung von Seminaren und Kundenworkshop 1. Vortragsveranstaltung am 8.9.2011 im Technologiepark | Sept. 2011 |
| 3 | Gezielte Ansprache kommunaler Rechenzentren hinsichtlich Übertragbarkeit des Private-Public-Partnership-Konzeptes | Laufend |
| 4 | Öffentlichkeitsarbeit über regionale Gründernetzwerke und Initiativen, wie Wirtschaftsförderungsgesellschaft, Open Entrepreneur Lab Paderborn, IKT.NRW, InnoZent OWL etc 1. Industrie trifft Informatik 23.11.2011 2. Paderborner Tag der IT-Sicherheit 22.03.2012 3. Wissenschaftsforum 13.12.2012 | Laufend |
| 5 | Gezielte Ansprache von Software -Herstellern, ihre Lösungen der Cloud bereitzustellen, um die Attraktivität des Angebotes zu erhöhen | laufend |
| 6 | Promotion durch Bereitstellung von Demo-Instanzen im Testbetrieb für potentielle Kunden | Ab 2013 |
| 7 | Vorstellung auf Fachtagungen und Arbeitskreisen Vorstellung GreenPAD auf der Fujitsu Hausmesse 2013 Bewerbung beim Deutschen RZ Preis 2012 Bewerbung beim Deutschen RZ Preis 2014 | Laufend |
| 8 | Vorstellung auf der Cisco Expo 2012 | März 2012 |

4.1.2 Übersicht zu den Inhalten der Veröffentlichungen

Während der Projektlaufzeit veröffentlichten die GreenPAD-Partner Arbeiten über praktische und theoretische Probleme im Bereich Scheduling und Ressourcenmanagement.

Ein Anbieter von Clouddiensten verfolgt das Ziel, seine Ressourcen kostenoptimal auszunutzen und gleichzeitig die Dienstgütereinbarungen mit den Kunden einzuhalten. Diese Dienstgütereinbarungen, auch Service Level Agreements (SLA) genannt, sind Verträge zwischen den Providern und den Kunden, deren Nichteinhaltung zu Strafzahlungen des Providers führen.

Das Scheduling in der Cloud ist ein essentieller Bestandteil des Grünen Leitstands, der Energievorhersagen für Stromnetz und Hardware (im Rechenzentrum) dazu nutzt, Jobs so zu platzieren, dass sie möglichst mit regenerativer Energie berechnet werden.

Veröffentlichungen zu den Energievorhersagen und zum Grünen Leitstand sind noch in Arbeit und werden erst nach Ende des Projekts fertiggestellt werden.

4.1.2.1 Lastbalancierung

Es gibt zwei einfache, grundlegende Scheduling-Strategien, die entweder die Ressourcenoptimierung und Energieeffizienz oder die Dienstqualität in den Vordergrund rücken.

Die erste Strategie sieht vor, dass die virtuellen Maschinen auf möglichst wenige Maschinen konzentriert werden, so dass die anderen Maschinen abgeschaltet oder in einem Ruhemodus betrieben werden können. Die zweite Basisstrategie zielt darauf ab, die Last gleichmäßig über alle Server bzw. Ressourcen zu verteilen, damit kein Job im Vergleich zu den anderen unterversorgt wird.

Lastbalancierungsstrategien sind in der Regel deterministisch, können aber je nach Größe des Systems und der gewünschten Qualität komplex werden, da sie nicht beliebig skalieren und selber Ressourcen verbrauchen. Aufgrund ihrer Einfachheit sind randomisierte Verfahren deshalb eine interessante Alternative, die sich oftmals sogar mathematisch analysieren lässt. Im einfachsten Fall wählt jeder Job zufällig einen Server aus, auf dem er dann ausgeführt wird. Leider führt dieses simple Verfahren nachweislich zu einem relativ großen Ungleichgewicht.

In den 90ern wurde bewiesen, dass wesentlich balanciertere Jobverteilungen möglich sind, wenn jeder Job nicht einen, sondern zwei Server zufällig auswählt und sich auf dem platziert, der die geringere Last hat [2] [3] [4]. Geht man davon aus, dass die Jobs auf den Servern verbleiben, also nicht abgearbeitet werden, so bleibt die Maximallast mit hoher Wahrscheinlichkeit $m/n + O(\log \log n)$, wobei m die Anzahl der Jobs und n die Anzahl der Server ist. D. h., oberhalb der durchschnittlichen Last m/n sind nur $O(\log \log n)$ viele Jobs.

Dieses Resultat gilt nur, wenn die Jobs sequentiell zugewiesen werden, weil die Auswahl der Server von deren Last abhängt. In der Publikation „Multiple-Choice Balanced Allocation in (Almost) Parallel“ [5] wurde nun gezeigt, dass die Last oberhalb der durchschnittlichen Last m/n mit $O(\log n)$ immer noch unabhängig von m bleibt, wenn jeweils n Jobs parallel zugewiesen werden.

In zwei weiteren Veröffentlichungen des GreenPAD-Projekts wurde die Balancierung von Datenobjekten (bzw. Jobs) in geographisch verteilten Speichersystemen (bzw. Clouds) betrachtet [6] [7]. Die Annahme hierbei ist, dass Datenobjekte einerseits nach Möglichkeit in der Nähe des Erzeugers gespeichert werden sollen, dass andererseits die Auslastung der Speicher aber auch gleichmäßig sein soll. Aus diesem Grund wird die zufällige Auswahl der Datenspeicher so gesteuert, dass Speicher in der näheren Umgebung das Objekt mit höherer Wahrscheinlichkeit erhalten als entferntere Speicher.

Das Paper „Balls Into Bins With Related Random Choices“ [6] analysiert theoretisch, unter welchen Bedingungen beide Ziele erreicht werden können, während „Distributing Storage in Cloud Environments“ [7] den Anwendungsfall auch praktisch für unterschiedliche Netzwerktypen simuliert.

4.1.2.2 SLA- und Ressourcenmanagement

Das Platzieren von Jobs in Cloud-Systemen ist eine komplexe Optimierungsaufgabe, die nur annäherungsweise gelöst werden kann. Selbst wenn man die zusätzliche Forderung in GreenPAD, die Jobs möglichst mit grüner Energie auszuführen, außer Acht lässt, gibt es genügend Faktoren, die der Cloud-Betreiber zu beachten hat. Diese ergeben sich aus den Dienstgütereinbarungen (Service Level Agreements, SLAs), die er mit den Kunden geschlossen hat, und dem Ziel, diese möglichst kostengünstig zu gewährleisten.

Während sich viele SLOs (Service Level Objectives) einfach einhalten lassen, gibt es auch einige, die sich nur mit einer relativ aufwändigen Überwachung gewährleisten lassen. Ein Beispiel ist die Antwortzeit von Webservern. Wenn ein Webserver auf einer virtuellen Maschine läuft, hängt dessen Antwortverhalten maßgeblich davon ab, wie viele Anfragen gestellt werden und welche anderen virtuellen Maschinen auf dem gleichen Server laufen. Verlängern sich die Antwortzeiten, kann es sinnvoll sein, die virtuelle Maschine auf einen anderen, weniger ausgelasteten Server zu migrieren oder einen weiteren Webserver zu starten und die Anfragen auf die beiden Webserver zu verteilen. Nimmt die Zahl der Anfragen später ab, sollte einer der Webserver wieder entfernt werden.

In verschiedenen Veröffentlichungen [8] [9] [10] [11] wurde untersucht, wie sich SLAs durch Voraussicht und automatische Anpassungen der Ressourcenzuteilung kostengünstig einhalten lassen. Die Idee ist, Anwendungen, die auf einer oder mehreren virtuellen Maschinen laufen, mit Agenten zu versehen, die für die Einhaltung einzelner SLOs verantwortlich sind. Diese bewerten das Verhalten der Anwendung in regelmäßigen Abständen (z. B. mit Hilfe von Klassifikatoren wie Support Vector Machines [8], Wissensdatenbanken [9] oder regelbasierten Systemen [11]) und steuern den Ressourcenbedarf über Regelkreise. Solche selbstadaptiven Steuerungssysteme können auch gut für die Energieoptimierung eingesetzt werden, wie in [10] und [11] demonstriert wird.

In einer weiteren Arbeit [12] wurde zudem untersucht, weshalb High Performance Computing in virtualisierten Umgebungen (wie Clouds) nicht so performant ist wie in herkömmlichen Rechenclustern. Ein wesentlicher Grund ist z. B. die fehlende Unterstützung für Hochgeschwindigkeitsnetzwerke, die in parallelen Anwendungen äußerst wichtig ist. Nach der Identifizierung der Probleme präsentiert das Paper Lösungen und neue Bibliotheken für das „virtualisierte HPC“.

4.1.3 Preise

1. Platz beim Deutschen Rechenzentrumspreis 2014 in der Kategorie „Ideen und Forschung“ (Maximilian Boehner: Optimization the Energy-Consumption of WLAN-Infrastructures)

5 Liste der Veröffentlichungen

- [1] N. Sharma, J. Gummesson, D. Irwin und P. Shenoy, „Cloudy Computing: Leveraging Weather Forecasts in Energy Harvesting Sensor Systems,“ *IEEE International Conference on Sensing, Communication and Networking*, pp. 1-9, 2010.
- [2] R. Karp, M. Luby und F. Meyer auf der Heide, „Efficient PRAM Simulation on a Distributed Memory Machine,“ *Proceedings of the twenty-fourth annual ACM symposium on Theory of computing*, pp. 318-326, 1992.
- [3] Y. Azar, A. Broder, A. Karlin und E. Upfal, „Balanced allocations,“ *Proceedings of the 26th ACM Symposium on Theory of Computing (STOC)*, pp. 593-602, 1994.
- [4] P. Berenbrink, A. Czumaj, A. Steger und B. Vöcking, „Balanced allocations: the heavily loaded case,“ *Proceedings of the thirty-second annual ACM symposium on Theory of computing*, pp. 745-754, 2000.
- [5] P. Berenbrink, A. Czumaj, M. Englert, T. Friedetzky und L. Nagel, „Multiple-choice balanced allocation in (almost) parallel,“ *APPROX-RANDOM*, pp. 411-422, 2012.
- [6] P. Berenbrink, A. Brinkmann, T. Friedetzky und L. Nagel, „Balls Into Bins With Related Random Choices,“ *Journal of Parallel and Distributed Computing*, pp. 246-253, 2012.
- [7] P. Berenbrink, A. Brinkmann, T. Friedetzky, D. Meister und L. Nagel, „Distributing Storage in Cloud Environments,“ *Proceedings of the High-Performance Grid and Cloud Computing Workshop (HPGC)*, pp. 963-973, 2013.
- [8] O. Niehörster und A. Brinkmann, „Autonomic Resource Management Handling Delayed Configuration Effects,“ *CloudCom 2011*, pp. 138-145, 2011.
- [9] O. Niehörster, A. Krieger, J. Simon und A. Brinkmann, „Autonomic Resource Management with Support Vector Machines,“ *GRID 2011*, pp. 157-164, 2011.
- [10] O. Niehörster, A. Keller und A. Brinkmann, „An Energy-Aware SaaS Stack,“ *MASCOTS 2011*, pp. 450-453, 2011.
- [11] O. Niehörster, A. Brinkmann, A. Keller, C. Kleineweber, J. Krüger und J. Simon, „Cost-Aware and SLO-Fulfilling Software as a Service,“ *Journal of Grid Computing*, pp. 553-577, 2012.
- [12] G. Birkenheuer, A. Brinkmann, J. Kaiser, A. Keller, M. Keller, C. Kleineweber, C. Konersmann, O. Niehörster, T. Schäfer, J. Simon und M. Wilhelm, „Virtualized HPC: a contradiction in terms?,“ *Software - Practice and Experience*, pp. 485-500, 2012.
- [13] M. Boehner, "Optimization the Energy-Consumption of WLAN-Infrastructures", Master's Thesis, Universität Paderborn, 2012.

- [14] M. Boehner, S. Porombka und G. Oevel, „Energieeffizienz im WLAN,“ erscheint in: 7. DFN-Forum Kommunikationstechnologien - Verteilte Systeme im Wissenschaftsbereich , GI Lectures Notes in Informatics, 2014.

6 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Ende-zu-Ende Sicht der Einsparmaßnahmen | 7 |
| Abbildung 2: Treiberbaum für CO ₂ e-Emissionen der IKT..... | 8 |
| Abbildung 3: Leistungsaufnahme ESX-Blades im Wochenverlauf | 12 |
| Abbildung 4: Leistungsaufnahme der VDI-Blades im Wochenverlauf | 12 |
| Abbildung 5: Energieverbraucher im RZ..... | 13 |
| Abbildung 6: Stromverteilung - Abschnitt Gebäude / Niederspannungshauptverteilung (NSHV)..... | 15 |
| Abbildung 7: Stromverteilung - Abschnitt RZ / Niederspannungsverteilung (NSV) | 16 |
| Abbildung 8: Kälteverteilung..... | 17 |
| Abbildung 9: Screenshot der Messdatenübersicht..... | 19 |
| Abbildung 10: zeitlicher Verlauf des PUE im RZ | 20 |
| Abbildung 11: Aufbau der Messumgebung | 21 |
| Abbildung 12: Energiekosten pro Port bei unterschiedlichen Verbindungsgeschwindigkeiten | 23 |
| Abbildung 13: Leistungsaufnahme nach Anzahl belegter Ports im Vergleich | 23 |
| Abbildung 14: Aktive Ports nachts..... | 24 |
| Abbildung 15: Anzahl der Clients im WLAN von Januar bis Dezember 2013 | 25 |
| Abbildung 16: Anzahl der Clients im WLAN im Wochenverlauf..... | 25 |
| Abbildung 17: Access Points ohne Nutzer (Tagesverlauf im Durchschnitt)..... | 25 |
| Abbildung 18 Architektur der Energievorhersage | 28 |
| Abbildung 19 Messpunkte im lokalen Stromnetz..... | 29 |
| Abbildung 20: Pearson-Korrelation der Wetterdaten und Windenergieproduktion | 30 |
| Abbildung 21: Pearson-Korrelation der Windenergie mit der Windgeschwindigkeit im Windpark auf Hubhöhe und der DWD-Werte in Bad-Lippsprünge | 30 |
| Abbildung 22: Qualität der Windgeschwindigkeitsvorhersage | 31 |
| Abbildung 23: Qualität der Windenergievorhersage..... | 32 |
| Abbildung 24: Pearson-Korrelation der Wetterdaten mit der Photovoltaikproduktion..... | 33 |
| Abbildung 25: Skizze des Verlaufs des Sonnenstandes übers Jahr..... | 33 |
| Abbildung 26: Qualität der Photovoltaikenergievorhersage | 34 |
| Abbildung 27: Qualität der Mittelspannungsnetzvorhersage..... | 35 |
| Abbildung 28: Komponenten des Grünen Leitstands | 36 |
| Abbildung 29: Hauptansicht des Grünen Leitstands, eingebettet in das Webfrontend von OpenStack | 39 |
| Abbildung 30: Detaillierte Batchjobansicht | 39 |
| Abbildung 31: Panel mit Live-Energiedaten..... | 40 |
| Abbildung 32: Architektur der Simulation | 41 |
| Abbildung 33: Simulation mit 47% Auslastung..... | 42 |
| Abbildung 34: Simulation mit 66% Auslastung..... | 43 |
| Abbildung 35: Entscheidungsbaum Virtualisierungsstrategie | 57 |
| Abbildung 36: Glasfaserinfrastruktur..... | 59 |
| Abbildung 37: Leitungsverbindungen für die öffentlichen Auftraggeber | 63 |