

UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM
(BMU-Programm zur Förderung von Investitionen mit
Demonstrationscharakter zur Verminderung von
Umweltbelastungen)

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

Aufbau eines Green-IT-Housing-Centers in der Universität Bremen

Eine Maßnahme zu einer nachhaltigen Verbesserung
der Energie- und Materialeffizienz im IT-Betrieb der Universität

KfW –Aktenzeichen MBc3 - 001822

Fördernehmer/-in:

**Universität Bremen
Bibliothekstraße 1-3
28359 Bremen**

Umweltbereich

(Klimaschutz, Ressourceneffizienz, Energie)

Laufzeit des Vorhabens

Vom 01.01.2012 bis zum 31.10.2014

Autor

Dr. Martin Mehrrens

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit**

Datum der Erstellung

Mai 2015

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: MBc3 - 001822	Vorhaben-Nr.: 20229
Titel des Vorhabens: Aufbau eines Green-IT-Housing-Centers an der Universität Bremen	
Autor(en); Name(n), Vorname(n) Dr. Martin Mehrrens	Vorhabenbeginn: 23.12.2011
	Vorhabenende: 31.10.2014
Fördernehmer/ -in (Name, Anschrift) Universität Bremen Bibliothekstraße 1-3 28359 Bremen	Veröffentlichungsdatum: März 2015
	Seitenzahl: 30
Aufbau eines Green-IT-Housing-Centers in der Universität Bremen Eine Maßnahme zu einer nachhaltigen Verbesserung der Energie- und Materialeffizienz im IT-Betrieb der Universität	
Gefördert (aus der Klimaschutzinitiative) ¹ im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung/Summary: Seite 3f.	
Schlagwörter: Universität Bremen; Green-IT-Housing-Center; Energie- und Materialeffizienz; Servercluster; IT; CO ₂ -Emission; Power Usage Effectiveness; Nutzung der Abwärme aus der Müllverbrennung	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 3 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.uni-bremen.de

Zusammenfassung

Die Universität Bremen ist mit ca. 18.000 Studierenden eine Universität mittlerer Größe mit breitem Fächerspektrum und internationaler Spitzenforschung. Wie an allen Hochschulen erfordern die Forschungsprogramme immer leistungsfähigere Rechner mit neuen Rechner- und Prozessortechnologien. Diese Entwicklung benötigt zunehmend mehr Energie und Kühlleistung im IT-Bereich. Die Universität Bremen hat als Maßnahme zur Optimierung des steigenden Energieverbrauchs im IT-Bereich ein Green-IT-Housing-Center geplant und in 2013-2014 gebaut. Die hiermit verfolgten Ziele sind die relative Reduzierung des Energiebedarfs und eine deutliche Reduzierung der mit dem Energieverbrauch einhergehenden CO₂-Emissionen.

Mit der räumlichen Zusammenführung leistungsstarker Servercluster in der Universität in einem „Green-IT-Housing-Center“, der Nutzung vorhandener baulicher Anlagen und der Modernisierung der technischen Infrastruktur, neuen Installations- und Kühlsystemlösungen und der systematischen Nutzung von freier Kühlung und der bislang nicht genutzten Abwärme aus der örtlichen Müllverbrennungsanlage ist eine auf Energieeffizienz, die Energiebilanz und eine auf CO₂ Emissionen optimiert wirkende Lösung für die Installation und den Betrieb leistungsstarker und energieintensiver Servercluster in der Universität umgesetzt worden.

Mit der Nutzung von Abwärme aus der örtlichen Müllverbrennungsanlage mittels Absorptionstechnik für die Kühlung der installierten IT-Systeme über neueste Kühlsystemkonzepte für Serverracks mit hoher Leistungsdichte von über 20 KW ist ein Ansatz mit breitem Nutzungsspektrum gewählt und umgesetzt worden. Mit der im Rahmen dieses Vorhabens umgesetzten Kühlsystemlösung wird die ausreichend vorhandene und bislang nicht genutzte Abwärme der örtlichen Müllverbrennungsanlage nachhaltig und klimaneutral genutzt.

Mit der räumlichen Arrondierung leistungsstarker Servercluster an einem Standort werden Installations- und Betriebsvorteile genutzt, um hierüber einen weiteren Beitrag zu mehr Ressourcen- und Materialeffizienz zu leisten und zu einer weiteren Verbesserung der Energieeffizienz im IT-Betrieb der Universität zu kommen.

Das Green-IT-Housing-Center bietet mit zwei getrennten und unabhängig zu betreibenden Installationsbereichen Platz für 96 Serverracks mit je 47 Höheneinheiten. Es können bis zu 1,6 Megawatt installierte Rechenleistung bedient und betrieben werden. Die Gesamtkosten des Vorhabens belaufen sich auf rd. 5 Millionen Euro, davon werden 1,5 Millionen Euro vom Bundesumweltministerium (BMUB) aus dem Umweltinnovationsprogramm und 3,5 Millionen Euro von der Freien Hansestadt Bremen aus dem Sonderprogramm zur Modernisierung der Verwaltungs-Infrastruktur und aus Investitionszuschüssen für Anlauf- und Projektfinanzierungen im Forschungsbereich investiert.

Mit der Umsetzung dieses Vorhabens soll ein wirtschaftlicher IT-Betrieb gefördert werden. Der gängigste Messwert dafür ist heute die Power Usage Effectiveness (Energieeffizienz) -Kennzahl des Green Grid. Diese setzt den Gesamtenergieverbrauch eines Rechenzentrums (IT, Kühlung, Infrastruktur) ins Verhältnis zur Energiemenge, die für die IT-Anlagen - Server, Speichersysteme, Netzwerk-Komponenten, etc. - verbraucht wird. Die Umsetzung der modernen Kühlsystemlösung soll die PUE von vormals 2,5 auf 1,5 und niedriger deutlich optimieren.

Mit der Inbetriebnahme des Green-IT-Housing-Centers geht einher, dass bislang dezentral installierte und künftig neu zu beschaffende Servercluster mit hoher Leistungsaufnahme konsequent in das Green-IT-Housing-Center eingebracht werden. Entsprechende Anträge auf Mitfinanzierung von Großgeräten durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft aus der Umweltphysik sind bspw. mit der Auflage versehen, dass die Installation im Green-IT-Housing-Center erfolgt. Eingebracht sind bereits alle zentral in der Universität betriebenen Server-Cluster und die Rechnercluster der Geowissenschaften.

Insgesamt wird mit der Umsetzung der Maßnahme erwartet, dass in den ersten fünf Jahren unter der Voraussetzung der geschätzten aktuell installierten Rechnerleistung von 940 kW und einer jährlichen Migrationsrate von 20 % beginnend mit jährlich 571 Tsd. kWh bis zu 2,8 Mio. kWh jährlich an Energie eingespart werden können [THKL2010]. Noch umfänglicher fallen die Werte für die mit der Inbetriebnahme des Green-IT-Housing-Centers erwarteten Einsparungen im Bereich der Kühlung aus. In den ersten fünf Jahren sollen beginnend mit 656 Tsd. kWh bis zu 3,2 Mio. kWh jährlich an Kältebedarf eingespart werden. Die damit realisierbaren Energieeinsparungen machen es möglich, dass sich diese Investition innerhalb von vier Jahren amortisiert. Das Vorhaben wurde nach Mittelfreigabe durch das BMUB im geplanten Zeit- und Kostenrahmen umgesetzt.

Abstract

The University of Bremen is a medium-sized university with about 18.000 students. It offers a wide range of subjects and international research excellence. As in all institutes of higher education, the introduction of powerful computers, new computer architectures and processor technology implies an ever increasing installation density and energy consumption - especially for cooling. In 2014 the University of Bremen has set up a Green-IT-Housing-Center as a measure to enhance the support of environmental protection and to further optimize the energy requirements and the corresponding burden on CO₂ emissions due to computer operations.

With the local merging of the university's powerful server clusters in the Green-IT-Housing-Center, and by using existing buildings and technical infrastructure, new cooling system solutions, free-cooling and heat from the local waste-fed heating plant, it was possible to build a system that optimizes energy efficiency, carbon footprint and emissions.

Using the heat from a local waste-fed heating plant (using absorption technology) to cool IT systems in combination with the latest cooling system concepts for server racks with high power density of more than 20 KW is an approach with a wide range of usage scenarios that directly benefits energy balance and emissions. The merging of powerful server clusters at a single site uses the advantages of existing resources and at the same time provides the prerequisites to improve server utilization through virtualization, cloud computing and grid solutions.

The Green-IT-Housing-Center offers two separate and independently operated areas, accommodating 96 server racks with 47 height units each. The total cost of the project approximates 5 million Euros that are composed of 1.5 million Euros from the Environmental Innovation Program of the Federal Environment Ministry (BMUB) and 3.5 million Euros from the program to modernize administrative infrastructure and additional grants for kick-off and project support in the research area from the Free Hanseatic City of Bremen.

The project was able to achieve a geographical convergence of powerful computers that enables efficient and economic operations, and the key performance indicator for Power Usage Effectiveness (PUE) was reduced from 2.5 to 1.3. Overall, assuming a constant power consumption of 940 kW and a yearly migration of 20 % of the university's IT infrastructure into the housing center, it is expected that the project will result in energy savings of 2.8 million kWh per year starting with 571 thousand kWh per year [THKL2010]. The impact on expected reduction of cost regarding cooling is even more significant. In the first five years - beginning with 656 thousand kWh annually - a reduction of cooling cost of 3.2 million kWh per year is to be expected. Due to the achievable savings in energy cost, the investment will amortize in four years. Starting with the release of funds by the BMUB, the project has been implemented both within the available budget and within schedule.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Kurzbeschreibung des Universität	8
1.2	Ausgangssituation	8
2	Vorhabensumsetzung	9
2.1	Ziel des Vorhabens.....	9
2.2	Technische Lösung.....	10
2.2.1	Raumprogramm.....	10
2.2.2	Elektroinstallation und USV	11
2.2.3	Kühlung der IT-Schränke	12
2.2.4	Kaltwasserversorgung	13
2.2.5	IT-Ausstattung	14
2.3	Umsetzung des Vorhabens.....	17
2.4	Behördliche Anforderungen	18
2.5	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	18
3	Ergebnisse	18
3.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung	18
3.2	Umweltbilanz	19
3.3	Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms.....	19
3.4	Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	19
3.5	Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren.....	20
4	Empfehlungen	21
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	21
4.2	Modellcharakter	22
5	Zusammenfassung.....	23

5.1	Umweltentlastung	24
5.1.1	Energieeffizienz	24
5.1.2	Materialeffizienz.....	24
5.2	Modellcharakter des Förderprojektes.....	25
5.3	Technisches Risiko.....	25
5.4	Bundesinteresse	25
5.5	Berichtspflichten / Weiterentwicklung.....	26
6	Literatur.....	26
7	Anhang.....	27

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Universität

Die Universität Bremen ist mit 18.000 Studierenden, 242 Professuren, rd. 2.000 wissenschaftlichen Mitarbeitern und weiteren rd. 1.200 nichtakademischen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine Universität mittlerer Größe mit breitem Fächerspektrum und internationalem Forschungsprofil. Sechs Sonderforschungsbereiche der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), ein DFG-Forschungszentrum, ein Exzellenzcluster und zwei Graduiertenschulen der Exzellenzinitiative sind Beleg für das ausgeprägte Forschungsprofil dieser Universität.

Die Universität besitzt seit 2004 ein nach EMAS zertifiziertes und bundesweit beachtetes Umweltmanagementsystem (siehe auch www.emas.de und www.ums.uni-bremen.de), welches unter anderem Regeln zum Umweltmanagement in der Universität ausgibt und Handlungsleitlinien für umweltgerechtes Handeln in der Universität formuliert.

Die Universität Bremen ist eine Körperschaft öffentlichen Rechts, die bereits energetisch innovative Bauvorhaben mit öffentlicher Förderung erfolgreich umgesetzt hat. In der IT-Entwicklung stehen Maßnahmen, die zu mehr Energieeffizienz führen und auch einen Beitrag zur Verbesserung der Materialeffizienz leisten, im Fokus der Überlegungen.

1.2 Ausgangssituation

In der Universität Bremen sind mehr als 11 Tsd. Arbeitsplatzrechner und Server unterschiedlichster Bauart und Leistungsklassen im Einsatz. Jährlich werden mehr als 1.000 Rechner ausgetauscht und neu beschafft. Diese Rechner sind nicht nur ein erhebliches Potenzial zur Verbesserung der IT-Leistungsfähigkeit, sondern sie bieten über die laufende Erneuerung der eingesetzten IT-Technik Chancen zu einer weiteren energetischen Optimierung des IT-Bereichs. Diese Optimierungen über Neubeschaffungen gehen regelhaft mit einer gesteigerten Rechnerleistung je Rechereinheit einher. Die benötigte Leistungsaufnahme wird - bezogen auf die bereitgestellte Rechnerleistung - laufend erhöht. Im Ergebnis führt diese Optimierungsstrategie dazu, dass die insgesamt benötigte Energieleistung und die davon ausgehenden Emissionen in Relation zur Rechnerleistung abfallen.

Im Rahmen ihrer bisherigen Bestrebungen zur Optimierung des IT-Betriebs konnte die Universität Bremen bereits seit 2003 erhebliche Verbesserungen im Ressourcenverbrauch, des Energiebedarfs und der Emissionsentwicklung durch die Erschließung und Nutzung von Hochleistungsrechnerkapazität über eine kooperative Verbundlösung mit anderen Bremer Hochschulen und Forschungseinrichtungen erzielen. Hiermit wurde unter anderem die Beschaffung eines energieintensiven Hochleistungsrechners an der Universität Bremen entbehrlich.

Es sind bereits moderne und energieeffiziente IT-Technologien unter Beachtung neuer technischer Standards und Lösungen wie energieeffiziente Prozessortechnologien, neue Schalt- und Regeltechniken für Prozessoren, Blade-Technologien und moderne Rack-Kühlsysteme in der Universität im Einsatz.

Die teils schon mit modernen technischen Installationsstandards ausgestatteten Serverräume einzelner Fachbereiche und Forschungsgruppen erreichen mit den zugehörigen Klimaanlage und Kühlungssystemen derzeit ihre Leistungsgrenzen. Die Installation und Bereitstellung von verteilten Kühlungslösungen für leistungsstarke Servercluster > 20KW Leistungsaufnahme sind wirtschaftlich nicht mehr umzusetzen und verursachen auch hohe Emissionslasten im Vergleich zu einer räumlich arrondierten Installation.

2 Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Die Universität Bremen will ihren Energiebedarf und die CO₂-Emissionen weiter reduzieren. Die von Borderstep 2008 ermittelten Trends zu den künftigen Energieverbräuchen und Kühllasten im IT-Betrieb sind auch für die Universität Bremen zutreffend. Immer leistungsfähigere Rechner, neue Rechnerarchitekturen und Prozessortechnologien führen zu einer Optimierung des Watt-/Leistungsverhältnisses. Festzustellen ist aber auch, dass Rechnerleistungen immer kostengünstiger werden. Vor diesem Hintergrund und dem scheinbar unbegrenzt steigenden Bedarf an Rechnerleistung für die Umsetzung neuer Forschungsprogramme wird die IT-Installationsdichte künftig weiter zunehmen, so dass ein weiter steigender Energieverbrauch im IT-Bereich und in diesem Zusammenhang steigende Kühlleistungen im IT-Betrieb zu erwarten sind. In der Folge sind sowohl deutliche zusätzliche Belastungen für den universitären Haushalt als auch steigende CO₂- Emissionslasten zu erwarten.

Die Green-IT-Strategie der Universität soll hier entgegen wirken und zu einem deutlich verbesserten Wirkungsgrad im IT-Bereich, gemessen als PUE-Kennzahl¹, und geringeren Energiekosten führen.

Die verteilte Installation der universitären Server in teilweise kaum dafür geeigneten Räumen mit einer allenfalls punktuell ausgerichteten Kühlung und hohen Kühlleistungsverlusten bedingt sehr ungünstige PUE-Werte, die meist > 2,6 sind. Ansatzpunkt für eine Energieeffizienzentwicklung im IT-Bereich sind deshalb bauliche und technische Maßnahmen zum energieoptimierten IT-Housing von energieintensiven Serverclustern.

¹ Power Usage Effectiveness: Gesamtenergieverbrauch eines Rechnerraums im Verhältnis zur IT-genutzten Energie

Ausgehend von diesen Vorüberlegungen wurde im Rahmen des hier beschriebenen Projekts ein günstig gelegenes und nicht mehr genutztes Bestandsgebäude der Universität zu einem IT-Housing-Center umgebaut. Dabei stand insbesondere auch die Entwicklung einer speziell ausgerichteten Klimatisierung mit Nutzung der Abwärme der städtischen Müllentsorgungsanlage im Vordergrund, um den PUE-Wert der IT-Installation auf 1,5 oder niedriger zu senken.

Darüber hinaus spielen Strategien und Maßnahmen zur Verbesserung der Serverauslastung eine große Rolle. Die Virtualisierung ist hierbei eine zentrale Strategie, die im Rahmen der Green-IT-Bestrebungen der Universität Bremen vorangetrieben werden soll, um höhere Auslastungsgrade der eingesetzten Server zu erreichen und hierüber einen Beitrag zu mehr Materialeffizienz und auch zu mehr Energieeffizienz zu leisten.

„Insgesamt wird mit Umsetzung der skizzierten Maßnahmen erwartet, dass in den ersten fünf Jahren beginnend mit jährlich 571 Tsd. kWh bis zu 2,8 Mio. kWh p. a. allein an Energie eingespart werden kann. Noch umfänglicher fallen die Werte für die mit der Inbetriebnahme des Green-IT-Housing-Centers erwarteten Einsparungen im Bereich der Kühlung aus. In den ersten fünf Jahren können jährlich beginnend mit 656 Tsd. kWh bis zu 3,2 Mio. kWh p. a. Kältebedarf eingespart werden.“

[THKL2010], S. 5 - 7)

2.2 Technische Lösung

Die Green-IT-Strategie in der Universität Bremen ist auf ein energieoptimiertes IT-Housing gerichtet. Als geeigneter Standort wurde das in unmittelbarer Nähe zur Energiezentrale stehende Gebäude der ehemaligen Müllabsauganlage im Zentralbereich der Universität ausgewählt und baulich hinsichtlich der gesetzten Ziele entsprechend hergerichtet. Die in der Maschinenhalle untergebrachte 30 Jahre alte Abfallentsorgungsanlage entsprach nicht mehr den heutigen Anforderungen an eine ressourcenschonende Mülltrennung und sollte ohnehin zugunsten einer dezentralen Müllentsorgung rückgebaut sowie die Maschinenhalle einer neuen Nutzung zugeführt werden. Die Nähe zur universitären Energiezentrale bietet zudem erhebliche Vorteile hinsichtlich der Errichtung notwendiger Energiezuführungs- und Kühlinfrastrukturen.

2.2.1 Raumprogramm

Das Raumprogramm, basierend auf dem Prinzip weitest gehender Redundanz, umfasst zwei identische, als Brandabschnitte unabhängig voneinander zu betreibende IT-Räume mit den dazugehörigen Nebenräumen. Je IT-Einheit sind dies:

- eine Technikfläche zur Konfiguration der Serverracks

- ein Batterieraum
- ein RLT²-Raum
- ein USV-Raum
- ein NSHV³-Raum.

Das Housing-Konzept sieht vor, zwei autark arbeitende IT-Installationsbereiche zu errichten, die jeweils als eigener Brandabschnitt ausgeführt sind, um damit die Verfügbarkeit und Brandsicherheit der IT-Installationen zu verbessern. Periphere Technik im Bereich der Energiezentrale wird entsprechend ebenfalls redundant aufgebaut, um bei Ausfall eines Brandabschnitts den IT-Betrieb fortsetzen zu können. Die Einrichtung und Inbetriebnahme erfolgen stufenweise und modular in drei Teilabschnitten 800 kW, 1330 kW und 1860 kW. Der Endausbau ist planerisch komplett und hinsichtlich der baulichen und Passivtechnik vollständig umgesetzt. Die aktiven Komponenten der Anlagentechnik werden entsprechend der realisierten Belegung der installierten Kaltgänge mit Rechnerclustern ausgebaut.

Das Anlagenkonzept ist charakterisiert durch:

- die Anbindung an das zentrale Kaltwassersystem der Universität
- den Aufbau einer freien Kühlung
- die Herstellung der Kaltwasserversorgung innerhalb des Gebäudes
- den Aufbau der Rechnerkühlung (Luftsystem)
- Vorhalten der Rechnerkühlung (Wassersystem InRow-Kühlung)
- Aufbau der MSR-Technik⁴ für den Technikbereich
- Aufschaltung wesentlicher Meldungen auf die zentrale Gebäude- und IT-Leittechnik

2.2.2 Elektroinstallation und USV

Die Elektroversorgung des Housing-Centers erfolgt über ein redundantes Zubringer-Stromschiensystem aus der benachbarten Energiezentrale. Jeder IT-Raum wird unabhängig versorgt und besitzt eigene USV-Systeme und Batteriesätze. Es kommen moderne Online-USVen⁵

² Raumluftechnik

³ Niederspannungshauptverteilung

⁴ Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik

⁵ Unterbrechungsfreie Stromversorgung, um bei Störungen im Stromnetz die Funktion der Rechner sicherzustellen.

vom Typ AdPoS Maxi 200 und AdPoS Maxi 60 zum Einsatz, die ohne Transformatoren und mit einem Gleichrichter arbeiten. Sie erzielen nicht nur einen höheren Wirkungsgrad von bis zu 98 %⁶, sondern benötigen auch weniger Eisen und Kupfer bei ihrer Herstellung und erreichen selbst bei Halblast einen Wirkungsgrad von rd. 90 %. Im Green-IT-Housing-Center werden skalierbare USV-Systeme eingesetzt, die an den aktuellen Versorgungsbedarf angepasst werden können. USV-Module und Batteriesätze können in 200-kW-Schritten modular installiert werden. Die USVen sind so ausgelegt, dass bei Störungen im Stromnetz eine Überbrückungszeit von mindestens 10 Minuten erreicht wird. Dies ist zeitlich ausreichend für ein geordnetes Herunterfahren der Rechner ohne Risiko eines Datenverlusts.

In den IT-Räumen sind jeweils drei unabhängige Stromschienensysteme installiert. Zwei davon dienen der Standardversorgung der IT-Racks, eine davon ist USV-gesichert. Ein drittes System dient der Versorgung kritischer Infrastruktur und ist mit einem kleineren USV-System abgesichert.

Jedes Rack ist mit zwei Power Distribution Units (PDUs) ausgestattet, davon ist eine am USV-gesicherten Stromschienensystem, eine am ungesicherten System angeschlossen. Die PDUs können bei Bedarf leicht gegen leistungsfähigere oder mit speziellen Anschlusskonfigurationen ausgestattete Geräte ausgetauscht werden.

2.2.3 Kühlung der IT-Schränke

Die Kühlung der IT-Schränke erfolgt je nach Belegung mit Rechnereinheiten und der damit notwendigen Leistungsaufnahme durch zwei unterschiedliche Systeme.

System I basiert auf installierten Präzisionsklimaschränken, die im Bereich der Trennwand zwischen den beiden Rechnerräumen installiert werden. Die Klimaschränke sind an das zentrale Kaltwassersystem angeschlossen. Die Präzisionsklimaschränke verfügen über keine gesonderte, autarke Kälteerzeugung. Sie saugen die von den Servern abgegebene warme Luft aus dem Raum an und kühlen sie ab. Die gekühlte Luft wird dann in den Doppelboden und über Lüftungsplatten in die Kaltgänge eingeleitet. Die Anzahl der Umluftklimaschränke ist so bemessen, dass bei Ausfall eines Gerätes immer noch die gesamte anfallende Wärmeleistung der Rechner abgeführt werden kann.

System II kommt bei Punktlasten von mehr als 8 kW in einem Rack zum Einsatz. Anstelle offener, d.h. perforierter Türen, werden diese Racks mit geschlossenen Glastüren ausgerüstet. Eine Seitenwand fehlt bzw. wird entfernt. In einer seitlich neben dem Rack vorgehaltenen Aussparung wird ein spezielles Kühlgerät (sog. InRow-Kühler) installiert. Dieses wird durch die Ringleitung im Doppelboden mit Kaltwasser der zentralen Kälteversorgung gespeist. Die InRow-Geräte saugen an

⁶ Herstellerangaben, gemessen unter Optimalbedingungen, praktisch erreichbar sind unter guten Bedingungen etwa 90 %.

der Rückseite des geschlossenen Racks die von den Rechnern abgegebene warme Luft an und kühlen diese ab. Die so heruntergekühlte Luft wird in den Frontbereich der in dem Rack installierten Rechner wieder eingeblasen. Diese mit Wasserkühlung arbeitenden In-Row-Kühler kühlen also direkt das Rack und nehmen keinen Einfluss auf die durch System I realisierte Temperaturregelung im Kaltgang.

2.2.4 Kaltwasserversorgung

Die Kaltwasseranbindung erfolgt an das zentrale Leitungsnetz der Universität Bremen. Um eine unabhängige Versorgung der beiden IT-Bereiche sicher zu stellen, erfolgt die Anbindung der Kaltwasserleitungen an zwei der drei in der Energiezentrale vorhandenen Kaltwasserstränge. Die beiden Hauptstränge verlaufen in unmittelbarer Nähe zu den Technikbereichen des Housing-Centers. Diese Leitungsstränge sind in den Räumen RLT I und RLT II in den Technikbereichen des Green-IT-Housing-Centers aufgelegt. Beide Leitungen sind auf Seite der universitären Energiezentrale mit einem Bypass ausgestattet, so dass bei Stilllegung eines Stranges bei einem Schadensfall oder bei Wartung beide IT-Bereiche über den jeweils anderen Strang versorgt werden können.

Die Versorgung der Umluftkühlgeräte und der Ringleitung im Doppelboden der Rechnerinstallationsflächen erfolgt über jeweils getrennte Leitungen, um eine zuverlässige Versorgung sicherzustellen. Die Verteilerabgänge, Umluftkühlgeräte und Ringleitung im Doppelboden werden mit jeweils zwei Pumpen aus Gründen der Versorgungssicherheit ausgestattet. Die Redundanz wird zu 70% aufgebaut. Bei Pumpenausfalls kann somit eine Pumpe 70% der erforderlichen Wassermenge der Vollast fördern, damit ist ein geordneter Betrieb mit nur geringen Einschränkungen (Abschaltung von Systemen geringer Kritikalität) auch im Störfall gesichert. Beide Pumpen gemeinsam erbringen die volle Wassermenge.

Auf dem Dach des Green-IT-Housing-Centers sind bis zu sechs Rückkühlwerke installiert, um eine Kälteerzeugung durch die Nutzung kalter Außenluft zu ermöglichen. Das Prinzip der freien Kühlung basiert darauf, kalte Außenluft mittels Ventilatoren durch mit einem Trägermedium gefüllte Rohrleitungsregister zu fördern. Die kalte Luft kühlt hierdurch das in den Rohrleitungen/Registern zirkulierende Medium ab. Als Übertragungsmedium dient hierbei ein mit Glykol als Frostschutzmittel versetztes Wassergemisch, so dass eine Temperatur bis -30°C Außentemperatur ermöglicht wird.

Die Auslegung der freien Kühlung erfolgt systembedingt bis zu einer Grenztemperatur der Außenluft von $+10^{\circ}\text{C}$. Bis zu dieser Außenlufttemperatur kann dem Green IT Housing Center unter Einbezug der Verluste aus den Übertragungswegen die für den Betrieb benötigte Kälte mit der erforderlichen Leistung und Temperatur von 14°C zur Verfügung gestellt werden, ohne auf eine weitere Versorgungsquelle für die Kühlung zurückgreifen zu müssen. Bei Außentemperaturen über

+10°C wird der Fehlbedarf durch Absorptionskältemaschinen aufgefüllt. Hierüber sollen weitere Energiebedarfe eingespart werden.

2.2.5 IT-Ausstattung

Die Einrichtung und IT-Ausstattung des Housing-Centers basiert auf einer modularen Kaltganglösung für die Klimatisierung der Serverracks in den beiden je knapp 400 m² großen IT-Betriebsräumen. Im Rahmen des Projekts wurden 2 * 36 Serverracks installiert, in zwei Reserve- bzw. Sonderstellflächen können zukünftig weitere 2 * 12 Racks oder Rechneinheiten in Sondergrößen installiert werden.

Die elektrische Versorgung der Serverracks erfolgt über die von der Decke der IT-Betriebsräume abgehängt installierten Stromschienensysteme, die Versorgung mit Kaltwasser durch ein im Doppelboden verlegtes Rohrleitungssystem. Abgesehen von Niederspannungs-Messleitungen für Leckage-Sensoren ist der Doppelboden aus Sicherheitsgründen und Gründen einer optimierten Wartung frei von elektrischen Installationen.

Neben der Umluftkühlung werden für die Klimatisierung der Racks ab einer Leistung von 8 kW zusätzliche Kühleinheiten neben den Racks eingebaut. Die Kühlung erfolgt für diese Racks dann intern und nicht über den Kaltgang. Bei Bedarf lassen sich weitere Racks mit Kühleinheiten nachrüsten.

Mit der Umsetzung des IT-Housing-Konzepts werden der Strom- und Kältebedarf und damit verbundene CO₂-Emission erheblich reduziert. Eine erhöhte Energieeffizienz und ein optimierter Wartungsaufwand sind weitere positive Effekte, die mit Umsetzung dieser Green-IT-Strategie realisiert werden, weil die vielen, in der Universität verteilt installiert und betriebenen Kleinkühlgeräte abgelöst werden. Die Einbringung der derzeit verteilt installierten Serverracks wird darüber hinaus zu erheblichen Flächeneinsparungen führen. Weitere, nicht exakt quantifizierbare Wirkungen sind:

- verbesserte Auslastung der Rechner bei größerer zur Verfügung stehender Kapazität über die Umsetzung von Servervirtualisierung
- höhere Ausfallsicherheit, da die Strom- und Kälteversorgung durch die Direktversorgung aus der Energiezentrale mit redundanter Infrastruktur abgesichert ist
- leistungsfähige Kühlsystemlösungen für Serverracks mit hoher Leistungsdichte von über 8 KW
- zentrale Datenhaltung, -sicherung und Wiederherstellung zerstörter Daten(sätze)
- kooperative Betreuung der Rechner

- hohe Materialeffizienz und Nachhaltigkeit durch Anschlussnutzung eines bereits vorhandenen Gebäudes und die Kälteversorgung mittels bereits vorhandener Absorptionskältemaschinen mit Nutzung der Abwärme der Müllverbrennung
- reduzierte Investitionskosten durch Mit- und Nachnutzung vorhandener Infrastruktur und technischer Einrichtungen
- wirtschaftlicher Betrieb der Netzinfrastruktur für Fernwärme durch Einbindung von freier Kühlung⁷ statt Betrieb der Absorptionskältemaschinen auch zu Wärmelastspitzen in der Heizperiode, die aufgrund der gesteigerten Nachfrage der Fernwärme zu entsprechend erhöhten Abnehmerpreisen je genutzter Wärmeeinheit für die Universität führt
- optimierter Betrieb durch neue technisch-organisatorische Standards und verbindliche Regelungen mit den IT-Betreibern.

Ein weiterer Vorteil für die zukünftige Entwicklung der universitären IT liegt in der neuen Organisation des Rechnerbetriebs und den geschaffenen Ausbaureserven, die insbesondere auch die Entwicklung zentraler Dienste im Bereich Datenhaltung, -sicherung und -wiederherstellung einbeziehen. Auch hierüber werden deutliche Vorteile in der Materialeffizienz (weniger IT-Equipment für eine bestimmte Menge zu sichernder und zu speichernder Daten) erwartet.

Die Universität Bremen wird sich in der ersten Betriebsphase der Green-IT-Strategie auf folgende Schwerpunkte konzentrieren:

- Aufbau eines energieeffizienten zentralen Green-IT-Housing-Centers als Fundament eines übergreifenden Campus-Grid-Konzeptes zur kooperativen Nutzung und dem kooperativen Betrieb von Computer-Ressourcen unter Nutzung neuester Energie- und Kältesystemlösungen und einem intelligenten Kapazitätsmanagement
- Optimierung der Kühlinfrastruktur für Serverracks unter Nutzung einer energieoptimierenden Einhausung der Racks und einer Kühlung, die auf einer Kälteerzeugung durch Absorptionskältemaschinen basiert, die mit der Abwärme aus der naheliegenden Müllverbrennungsanlage angetrieben werden. Hierbei ist eine temperaturabhängige Steuerung der Kühlsysteme zur Anwendung gekommen, die den Einsatz von freier Kühlung bei Temperaturen von weniger als 10°C möglich macht.
- Server-/Speicher-/Netzwerk-Konsolidierung und -optimierung durch Virtualisierungstechniken

⁷ Nutzung der Außenluft, wenn die Außenlufttemperatur niedriger als die benötigte Kühlwassertemperatur für die Verbraucher ist.

- Aufbau einer unterbrechungsfreien Stromversorgung mit Wirkungsgrad > 93 % im Teillast- und > 96 % im Vollastbetrieb
- Entwicklung und Erprobung von Grid-Computing-Lösungen für Hochleistungsrechner auf der Grundlage des geplanten Green-IT-Housing-Centers
- Weiterentwicklung des Umweltmanagementsystems für Green-IT mit Monitoring der IT-, Energie- und Kältesysteme/-subsysteme

Mit einer installierten Wirkungsgradkontrolle über ein umfassendes Server-Monitoring (IT-Monitoring aller relevanten Auslastungsdaten, effizientes Auffinden von Auffälligkeiten, schnelle und detaillierte Analyse einzelner Phänomene und der daraus resultierenden notwendigen Maßnahmen) und einem Energie-Monitoring (Zusammenführung von IuK- und Energiemanagement) wird die Umsetzung einer nachhaltigen Energiestrategie im IT-Betrieb möglich.

Der Aufbau und der Betrieb eines zertifizierten Umweltmanagementsystems und konsolidierte Geschäftsprozesse im Umweltmanagement mit klar geregelten Verantwortlichkeiten in der Universität sind eine wesentliche Grundlage für dieses systematische und zielgerichtete Vorgehen. Bezogen auf den Bereich IT sind für die universitätsweite Steuerung der IuK-Prozesse und für die konsequente Umsetzung einer Green-IT der IT-Lenkungskreis (verantwortlich für die strategische Planung und das Controlling) und die IT-Steuergruppe (verantwortlich für die Umsetzung sowie für das Tagesgeschäft) in der Universität eingerichtet und aktiv. Die IT-Steuergruppe entwickelt in enger Abstimmung mit dem universitären Umweltmanagement Grundsätze für eine auch an ökologischen Kriterien ausgerichteten Beschaffung und für einen umweltgerechten Betrieb.

2.3 Umsetzung des Vorhabens

01.01.2012 - 31.01.2013 13 Monate	Entwurfs- und Genehmigungsplanung der baulichen und technischen Maßnahmen
01.02.2013 - 30.04.2013 3 Monate	Ausführungsplanung
01.05.2013 - 30.09.2013 5 Monate	Ausschreibung und Vergabe
01.10.2013 - 30 .09.2014 12 Monate	Umsetzung der baulichen Sanierung des Bestandsgebäudes und der technischen Maßnahmen
01.8.2014 - 31.12.2014 5 Monate	Installation der Serverracks und Aufbau eines kooperativen Betriebs des Green-IT-Housing-Centers

2.4 Behördliche Anforderungen

Das Vorhaben wurde von den Vorgaben der EnEV und der Energierichtlinie Bremen freigestellt. Die Voraussetzung für eine Befreiung sowohl von der EnEV 2009 als auch von der Richtlinie „Energetische Anforderungen der Freien Hansestadt Bremen“ lag vor, weil über die bauliche Hüllflächen, angesichts des großen ganzjährigen Wärmeüberschusses ganzjährig Wärme abgeführt werden kann, eine Wärmedämmung wirkt hier kontraproduktiv auf Kühlbedarfe und die Wirtschaftlichkeit und führt zu höheren Bau- und Betriebskosten. Von daher wurde eine Ausnahme erteilt.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Sämtliche betriebsrelevante Daten (Gerätezustände, Temperaturen, Energieverbräuche, ...) werden durch die zentrale Gebäudeleittechnik der Universität erfasst, über die vorhandenen Systeme aufbereitet und für den Gebäude- und Anlagenbetrieb genutzt. Die für den IT-Betrieb, die PUE-Ermittlung und für Kostenberechnungen zur internen Abrechnung der Aufwendungen und zur Abrechnung der Aufwendungen gegenüber Dritten erzeugten Betriebsdaten werden den betreffenden Abteilungen automatisiert zur weiteren Nutzung zur Verfügung gestellt. Den Nutzern des Housing-Centers (Forschergruppen etc.) werden relevante Betriebsdaten, beispielweise Temperaturwerte, Zustände der elektrischen und der Kälteversorgungssysteme sowie Ladezustände der USV-Anlagen automatisiert über verschiedene Standardprotokolle (HTTP, SNMP) zur Verfügung gestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Die Universität Bremen hat die räumliche Zusammenführung der bisher in verschiedenen Gebäuden auf dem Universitätscampus installierten Servercluster in einem neuen Green-IT-Housing-Center umgesetzt. Diese Zusammenführung wird bis Ende 2015 weitgehend abgeschlossen sein, so dass die damit frei gezogenen Flächen einer anderweitigen Nutzung zugeführt und die erwarteten Energieoptimierungspotentiale erschlossen werden können.

Der gewählte Standort auf dem Campus hat durch die räumliche Nähe zur Energiezentrale zu den dort installierten Absorptionskältemaschinen der Universität erhebliche Installations- und Betriebsvorteile. Mit der Einbeziehung vorhandener Installationen der Energie- und Kälteversorgung (Mitnutzung verfügbarer Leistungen der vorhandenen Absorptionskältemaschinen) und der bedarfsgerechten Nachnutzung einer vorhandenen Gebäudesubstanz wurde eine innovative, wirksame und wirtschaftliche Lösung für die Installation und den Betrieb von leistungsstarken und energieintensiven Serverclustern in der Universität umgesetzt.

Mit dem Rückbau der zentralen Abfallentsorgung der Universität und der Nachnutzung der hierfür bislang genutzten Gebäudebereiche wird eine nachhaltige Materialeffizienz gefördert.

3.2 Umweltbilanz

Ausgehend von den durch das Büro Theurich & Klose ermittelten Energieeinsparungen ergeben sich bei einem angenommenen CO₂-Emissionsfaktor von 0,559 (deutscher Strommix 2013) abhängig von der Auslastung des Green-IT-Housing-Centers jährliche Einsparungen zwischen 319 t und 1565 t CO₂ für den Rechnerbetrieb und zwischen 319 t und 1561 t CO₂ für die Kühlung. Der BITKOM e.V. geht in einer Stellungnahme zum UIP-Projektantrag von 1079 t bzw. 1241 t CO₂-Einsparung durch Rechnerbetrieb und Kühlung aus⁸.

3.3 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Im Housing-Center kommt ein bewusst einfach gehaltenes Messkonzept zur Anwendung. Ermittelt werden summarisch die eingehende elektrische Energie sowie die für die Kühlung (E_K) eingesetzte Energie. Bei der elektrischen Energie wird unterschieden zwischen der von den IT-Geräten genutzten Energie (E_R) und der Energie für die Infrastruktur (E_I). Der PUE lässt sich damit als $PUE = (E_K + E_R + E_I) / E_R$ errechnen.

Der BITKOM e.V., das Ingenieurbüro Theurich und Klose und das mit einer Vorstudie⁹ beauftragte Ingenieurbüro Rauer halten unabhängig voneinander einen PUE-Wert von 1,5 oder niedriger für realistisch erreichbar. Aussagekräftige gemessene Verbrauchszahlen und damit der praktisch erreichte PUE-Kennwert liegen in der aktuellen Betriebsphase noch nicht vor, sondern sind erst im Jahresverlauf 2016 zu erwarten. Der Umzug dezentraler IT-Infrastruktur in das Housing-Center wird aus organisatorischen Gründen erst im vierten Quartal 2015 weitgehend umgesetzt sein. Zudem erfordert das gemischte Kühlkonzept eine Betrachtung über ein volles Kalenderjahr mit seinen unterschiedlichen klimatischen Bedingungen.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Hierfür wurde für beide Kältequellen - Absorptionskälte und freie Kühlung - der spezifische Kältepreis je MWh Kälte ermittelt. Weiterhin wurde die erforderliche Kältemenge des Green-IT-Housing-Centers zu Grunde gelegt. Für die ermittelte Kältemenge werden anschließend die Betriebskosten ermittelt. Somit ergeben sich entsprechend der folgende Versorgungsszenarien:

Szenario – 100 % Kälteversorgung durch Absorptionskälte

Kältepreisermittlung ohne Fixkosten		
spez. Wärmekosten pro MWh Kälte	5,3	€/MWhKälte
spez. Stromkosten Kälteerzeugung pro MWh Kälte	15,9	€/MWhKälte

⁸ BITKOM e.V. - green IT Beratungsbüro: Begutachtung UIP-Antrag der Uni Bremen, 29.08.2011

⁹ Rauer Kälte- & RZ-Technik: Vorstudie Green-IT-Housing Universität Bremen, 03.09.2012

spez. Wasserkosten pro MWh Kälte	14,5	€/MWhKälte
spezifischer Kältepreis	35,7	€/MWhKälte

Szenario - 70 % Kälteversorgung durch freie Kühlung und 30 % Kälteversorgung durch Absorptionskälte

Kältepreisermittlung freie Kühlung für 512 kW

spez. Stromkosten Rückkühlwerke pro MWh Kälte	6,6	€/MWhKälte
spez. Jahreswartungskosten pro MWh Kälte	1,9	€/MWhKälte
spez. Stromkosten Hilfsaggregate pro MWh Kälte	4,1	€/MWhKälte
Energiekosten Rückkühlwerke und Hilfsaggregate	12,6	€/MWhKälte

Betriebskostenvergleich und statische Amortisation

Kostenvergleich Absorptionskälte vs. freie Kühlung

Jahreskältebedarf Green-IT-Housing-Center	4.485,12	MWhKälte/a
Vollständiger Betrieb mittels Absorptionskälte		
spez. Kosten Absorptionskälte	35,7	€/MWhKälte
Kosten Deckung durch Absorptionskälte	160.134,27	€/a
Anteilige Deckung durch freie Kühlung		
spez. Kosten freie Kühlung	12,62	€/MWhKälte
Deckungsanteil freie Kühlung ca. 70 %	3.229,29	MWhKälte
Kosten freie Kühlung	40.738,02	€/a
Kosten Absorptionskälte [Differenz Jahresmenge- Anteil freie Kühlung)	44.837,60	€/a
Kosten Deckung freie Kühlung und Absorptionskälte	85.575,61	€/a

Betriebskostenreduzierung durch freie Kühlung	74.558,66	€/a
Investitionskosten	250.000,00	€
statische Amortisation [ohne Energiepreissteigerung]	3,4	a

Das o.a. Szenario von 70 % Kälteversorgung durch freie Kühlung entspricht den in einer vorlaufenden Machbarkeitsstudie zu diesem Vorhaben ermittelten Werten und ist von daher für diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gewählt worden. Diese Werte sollen nach Abschluss eines ersten realistischen Betriebsjahres 2017 evaluiert werden.

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Der maßgebliche Unterschied zwischen dem im Rahmen dieses Vorhabens errichteten Green-IT-Housing-Centers und konventionell errichteten Housing-Centern bzw. Rechenzentren besteht im Kühlkonzept. Es ist angesichts der ermittelten Klimabedingungen davon auszugehen, dass in der Zeit von Mitte September bis Mitte April eines Jahres über die aktivierte freie Kühlung eine hinreichende Kühlung des Housing-Centers mit einem nur sehr geringen Energieverbrauch für Pumpen, MSR, Lüfter, etc. zu erreichen ist. In der warmen Jahreszeit wird die benötigte Kälte durch Absorptionskältemaschinen aus der ansonsten ungenutzten Abwärme der städtischen Müllverbrennungsanlage ergänzt. Diese Abwärme wird anderenfalls ungenutzt abgeführt und ist daher äußerst kostengünstig zu beziehen. Die Nutzung dieser Energie ist umweltfreundlich und ohne Primärenergieverbrauch.

Rechenzentren und Housing-Center konventioneller Bauart, d.h. ohne Freikühlung und mit älteren, ineffizienteren USV-Anlagen erreichen in der Praxis nur ausnahmsweise PUE-Werte besser als 2,0 und liegen meist deutlich darüber. Das Green-IT-Housing-Center der Universität Bremen wird demgegenüber einen PUE von 1,5 oder niedriger erreichen. Diese hohe ökonomische und

ökologische Effizienz wird erreicht durch aufeinander abgestimmte, für sich genommen bekannte und bewährte technische Lösungen auf aktuellem Stand. Auf den Einsatz wenig erprobter experimenteller Technologien, mit denen ggf. hohe Kosten und inhärente Risiken verbunden sind, wurde bewusst verzichtet und stattdessen auf bewährte Technik in einer neuen und speziell auf die Nutzung hin optimierten Zusammenstellung gesetzt.

4 Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Der Verlauf von Planungs- und Bauphase war aus Sicht der Universität nahezu optimal. Die frühzeitig begonnene Planung und die angefertigten Studien zur Optimierung der Klimatisierung haben sowohl die Entscheidungsfindungen im späteren Verlauf beschleunigt und zur termingerechten Fertigstellung beigetragen, als auch entscheidend die Qualität des Ergebnisses befördert. Insbesondere auch durch die finanzielle Ausgangslage mit festem Kostendeckel war es absolut notwendig, die Mach- und Finanzierbarkeit von Komponenten und Konzepten frühzeitig verbindlich zu klären und das Projekt klar auszurichten.

Entscheidend für den Erfolg vergleichbarer Projekte zur Rezentralisierung universitärer IT-Infrastruktur sind aus unserer Sicht insbesondere zwei Faktoren:

Einerseits muss eine hohe Akzeptanz bei den späteren Nutzerinnen und Nutzern sichergestellt werden. Dazu sind die Ziele des Projekts, seine Rahmenbedingungen, seine geplante technische Umsetzung und seine Konsequenzen für die universitäre IT-Infrastruktur - bis herunter auf die Ebene der täglichen Arbeit der Systemadministratorinnen und Systemadministratoren - frühzeitig offensiv zu kommunizieren und die späteren Nutzerinnen und Nutzer sowohl auf Leitungs- als auch auf operativer Ebene in einem geregelten Rahmen konstruktiv zu beteiligen. Über fast den gesamten Projektverlauf hinweg wurden frühzeitig regelmäßige Informations- und Diskussionsveranstaltungen mit betroffenen IT-Leitungspersonen, IT-Administratorinnen und IT-Administratoren dezentraler Bereiche durchgeführt, in denen über die Projektplanung und den Fortschritt berichtet, aber auch Grenzen des Machbaren offen kommuniziert wurden. Notwendig und zielführend war weiter, auch über die Bedingungen des Betriebes offen und klar zu informieren. Hierbei müssen Erwartungen geklärt und Vorteile einer Housing-Installation aus Sicht der dezentralen Betreiber gemeinsam herausgearbeitet werden.

Wichtig ist auch, dass es nach der Inbetriebnahme gelingt, die dezentrale IT-Infrastruktur schnell zurückzubauen und die leistungsintensiven universitären Rechnercluster im Green-IT-Housing-Center zu konzentrieren. Daher ist eine konsequente und offensive Unterstützung des Projekts durch die Universitätsleitung sowohl in der Bauphase als auch in den ersten Betriebsjahren

unabdingbar. Nur die Leitungsebene der Universität kann die notwendigen Anreize setzen und die Forschungsgruppen zu einem möglichst zeitnahen Umzug ihrer Infrastruktur motivieren.

Da das Green-IT-Housing-Center den Bedarf der Universität an IT-Flächen für wenigstens 10 Jahre decken soll, ist bereits bei der Planung eine großzügige Dimensionierung und ein möglichst modularer Aufbau vorgesehen und umgesetzt worden. Hier sind insbesondere die eingeplanten Erweiterungsflächen zu nennen, da diese auch die flexible Unterbringung von Rechnern ermöglichen, die nicht ins übliche 19“-Schema passen, sondern – wie u. a. viele Großrechner, Tape-Libraries oder große Storage-Systeme – nur in Sonderformaten angeboten werden.

Der modulare, erweiterbare Aufbau von Klimatisierung und Elektroversorgung ermöglicht eine kostengünstige erste Betriebsphase. Aufgrund der unkomplizierten Erweiterbarkeit müssen nur geringe Überkapazitäten vorgehalten werden, was zu einem energieeffizienteren Betrieb führt, da die USV-Geräte bei höherer Auslastung verlustärmer arbeiten. Zudem sind Anpassungen der Infrastruktur, die sich aus heute nicht vorhersehbaren technischen Entwicklungen ergeben, durch den modularen Aufbau im Allgemeinen einfacher umzusetzen.

Schon in dieser frühen Betriebsphase wird deutlich, dass die Entscheidung, trotz des grundsätzlich modularen Aufbaus des Housing-Centers, die Elektroversorgung (das Stromschienensystem) und das im Doppelboden verlegte System zur Kaltwasserversorgung bereits von Anfang an für den Vollausbau auszulegen, äußerst sinnvoll war. Anderenfalls wäre eine eventuell notwendige spätere Erweiterung nur mit sehr hohem Aufwand und nicht ohne Gefährdung des laufenden Betriebs zu realisieren.

4.2 Modellcharakter

Die im Rahmen des Projekts umgesetzte Zentralisierung birgt aus Sicht der Universität Bremen erhebliches Potential für Verbesserungen universitärer IT-Infrastrukturen. Von der Errichtung des Green-IT-Housing-Centers wird sowohl die gesamte IT-Landschaft an der Universität durch bessere Betriebsbedingungen nachhaltig profitieren als auch der Universitätshaushalt mittelfristig in signifikantem Maße entlastet werden.

Die Bedingungen in Bremen waren für die Verwirklichung des Projekts nahezu ideal. Das günstige Jahrestemperaturprofil der Stadt erlaubt eine Kühlung mittels Außenluft über mehr als 5500 Betriebsstunden und die Nähe der Universität zur städtischen Müllverbrennungsanlage ermöglicht die äußerst kostengünstige und auch aus ökologischer Sicht vorteilhafte Kälteerzeugung durch Nutzung von Abwärme in den Monaten, in denen eine freie Kühlung aufgrund höherer Außentemperaturen nur eingeschränkt oder nicht möglich ist.

Die bauliche Nachnutzung eines vorhandenen Gebäudes in unmittelbarer Nähe der Energiezentrale auf dem Campus hat erst die Einrichtung und Anbindung des Green-IT-Housing-

Centers mit verhältnismäßig geringem baulichem und technischem Aufwand möglich gemacht. Es konnte so auf vorhandene Ressourcen und Infrastruktur zugegriffen werden und diese sinnvoll in das entwickelte Anlagen- und Betriebskonzept des Housing-Centers eingebunden werden.

Diese Bedingungen sind selbstverständlich nicht überall gegeben. An anderen Standorten sind die für ein Projekt dieser Art notwendigen Investitionen in vielen Fällen sicher erheblich höher und das Einsparpotential ist durch die optimierte Kühlung tendenziell geringer. Eine initiale Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in der Projektvorbereitung mit der Untersuchung von alternativen Lösungsansätzen ist daher unabdingbar, um zu nachhaltigen und wirtschaftlichen Entscheidungen zu kommen. Nicht übersehen werden darf dabei jedoch, dass die Errichtung eines zentralen Housing-Centers ein erster Schritt zu einer Rezentralisierung universitärer IT sein kann und damit auch Veränderungen ermöglicht, die mittel- bis langfristig zu Qualitätsverbesserungen, neuen Angeboten für Forschung und Lehre und Einsparungen durch Synergieeffekte im IT-Bereich führen können. Hierzu gehört auch eine an ökonomischen wie ökologischen Aspekten orientierte zentrale Beschaffung von IT-Geräten, die Einbindung der IT in ein zentrales Umweltmanagement und die Einführung von Cloud-Infrastrukturen (Infrastructure as a Service (IaaS), Storage as a Service (StaaS)).

5 Zusammenfassung

Durch die Konzentration auf eine einfache Verfahrenskombination im Projektansatz der Universität Bremen geht das Konzept deutlich über eine herkömmliche Rechenzentrumsoptimierung hinaus. Die Optimierung ist strukturell so angelegt, dass die Einrichtung des Green-IT-Housing-Centers unter Energie- und Materialeffizienz Gesichtspunkten erfolgt und zusätzliche Optimierungspotentiale die Wirksamkeit erhöhen.

Es soll campusweit mehr Energieeffizienz im IT-Bereich erreicht werden:

- Umbau einer vorhandene Liegenschaft auf dem Uni-Campus statt eines Neubaus
- energieoptimiertes IT-Housing
- Senkung der PUE-Wertes < 1,5 im Housing-Center
- neue Installations- und Kühllösungen für das IT-Housing-Center
- Kühlung der installierten IT-Systeme durch eine Absorptionskältemaschine und Nutzung der Abwärme aus der örtlichen Müllverbrennungsanlage
- Einsatz skalierbarer USV-Systeme mit hohem Wirkungsgrad
- örtliche Zusammenführung leistungsstarker Servercluster in der Universität und deutliche Verbesserung der Serverauslastung durch:

- Virtualisierung
- Cloud-Computing
- Grid-Computing-Lösungen
- Ausbau des Umweltmanagementsystems mit Wirkungsgradkontrolle (Monitoring) für IT-, Energie- und Kältesysteme/-subsysteme
- Berücksichtigung der „SPECpower Benchmarks“ bei der künftigen Beschaffungsstrategie.

5.1 Umweltentlastung

5.1.1 Energieeffizienz

Mit dem Erreichen eines PUE-Werts $< 1,5$ im Green-IT-Housing-Center und nach Auflösung der dezentralen Standorte für Servercluster mit hoher Leistungsaufnahme wird ein durchschnittlicher PUE-Wert $< 1,8$ in der Universität als realistisch angesehen.

Es ist das vordringliche Ziel der Green-IT-Optimierung, das Ausmaß an nutzbringender Rechenleistung durch die IT-Systeme im Hinblick auf die Energiemengen zu maximieren, die insgesamt von den Geräten selbst und ihrer unterstützenden Infrastruktur verbraucht werden. Durch die Zentralisierung der Server im Green-IT-Housing-Center erwartet die Universität eine Reduzierung des jährlichen Strombedarfs um 1.712.700 kWh, gemittelt über 5 Jahre. Bei einem Quotienten kgCO_2/kWh von 0,559 (deutscher Strommix 2013) ergibt sich eine CO_2 -Reduktion um 957 t pro Jahr (in fünf Jahren 4.785 t). Die Reduzierung der notwendigen Kälteleistung um 1.969.605 kWh ergibt bei gleichem Szenario eine zusätzliche jährliche CO_2 -Reduktion von 1.101 t (in fünf Jahren 5.505 t). Diesen mit der kompletten Umsetzung des Housing-Konzeptes – voraussichtlich in 2019 - erwarteten Einsparwerten liegt eine hohe Installationsdichte und das umgesetzte Betriebs-, Installations- und Kühlkonzept zu Grunde.

5.1.2 Materialeffizienz

Die Zentralisierung und die damit einhergehende Außerbetriebnahme über den Campus verteilter Einzellösungen bringt konzeptionell eine hohe Materialeffizienz, d.h. Kühlaggregate und Systeme der unabhängigen Stromversorgung müssen bspw. nicht mehrfachredundant vorgehalten werden, mit sich. Die an vielen Stellen vorhandenen Systeme für Kühlung, Datensicherung, USV, Netzwerkanbindung werden eingespart und durch zentral vorhandene und nur einmal redundant ausgelegte Installationen ersetzt. Für den zu erwartenden höheren Wirkungsgrad und damit die Verbesserung des PUE-Wertes ist diese Zentralisierung ebenfalls hilfreich. Insbesondere IT-Systeme weisen bei Betriebszuständen mit einer durchschnittlichen Auslastung von ungefähr 70 % bis 80 % der installierten Servercluster den höchsten und somit besten Wirkungsgrad auf. Mit der

Integration eines Anteils an freier Kühlung werden einerseits Fernwärmelastspitzen in der Heizperiode vermieden, andererseits durch den Einbezug der Absorptionskältemaschinen in den Sommermonaten aber auch Datennetzinfrastruktur und bereitstehende Abwärme optimiert genutzt.

5.2 Modellcharakter des Förderprojektes

Die Summe der dargestellten Einzelmaßnahmen und die Nutzung der Sekundärenergie aus der Müllverbrennungsanlage stellen in der Gesamtbetrachtung ein außerordentlich vorbildhaftes Projekt für öffentliche IT-Infrastruktur und eine deutsche Universität dar und bieten nicht zuletzt durch die vielfältigen Technologiekombinationen ein hohes Energie- und Materialeffizienzpotential. Es ist davon auszugehen, dass dieses Projekt Vorbildcharakter für ähnliche öffentliche Einrichtungen und Campusorganisationen hat, die eine individuelle Technologiekombination nach den vorherrschenden Gegebenheiten zusammenstellen.

5.3 Technisches Risiko

Die technischen Risiken der Maßnahme sind überschaubar. Die Wärmeversorgung aus der Müllverbrennung hat eine hohe Versorgungssicherheit. Die Herausforderung liegt in der Abstimmung aller Einzelkomponenten über eine integrierte Gesamtplanung mit neuer und vorhandener baulicher und technischer Infrastruktur, die auf einen maximalen Wirkungsgrad einer größtmöglichen Energie- und Ressourceneffizienz hin optimiert werden muss. Hierfür waren die Erfahrungen der Universität aus 40 Jahren Anlagenbetrieb und die Einschaltung qualifizierter Fachplaner sehr zielführend.

5.4 Bundesinteresse

Von besonderem Interesse ist an dieser Maßnahme die Optimierung von dezentral verteilten und über einen längeren Zeitraum unstrukturiert gewachsenen IT-Infrastrukturen und -Systemen unter Einbeziehung von vorhandener Sekundärenergie, die anderenorts auch durch einen großen Anteil an regenerativen Energieformen oder eine Kraft-Wärme-Kopplung substituiert werden könnte.

Typischerweise gibt es in Campusorganisationen neben den reinen technischen Gesichtspunkten eine Vielzahl von Ansprüchen und Vorbehalten, die einer einheitlichen und technisch optimalen Struktur (Energie- und Materialeffizienz) im Wege stehen. Dieses Vorhaben kann für viele andere Organisationen mit ähnlicher Struktur ein Beispiel sein, ihre eigene IT-Struktur entsprechend anzupassen. Denkbar wäre beispielsweise auch eine Übertragung auf die öffentliche Verwaltung.

Darüber hinaus zeigt dieses Vorhaben, dass Abwärme von Müllverbrennungsanlage, die es in Deutschland in großer Zahl gibt, ökologisch sinnvoll und wirtschaftlich für den IT-Betrieb genutzt werden kann. Diese Lösung kann von daher sinnvoll für entsprechend ausgestattete Kommunen sein, die eine Müllverbrennungsanlage und ein Rechenzentrum betreiben.

5.5 Berichtspflichten / Weiterentwicklung

Die Universität hat in nationalen und universitären Foren, wie z.B. die HIS-Hochschulbauforen und der IT-Arbeitskreis des Wissenschaftsrates, das Vorhaben präsentiert, um die gemachten Erfahrungen an andere Hochschulen und ähnliche Campusorganisationen weiterzugeben. Mit Publikationen in den Runden der Abfall- und Energiewirtschaft sowie der Öffentlichen Hand soll weiter über die Ergebnisse des Projektes und über erste Betriebserfahrungen berichtet werden.

6 Literatur

[BITKOM2010] Schriftenreihe Umwelt & Energie, Band 2: Energieeffizienz im Rechenzentrum; Berlin 2010

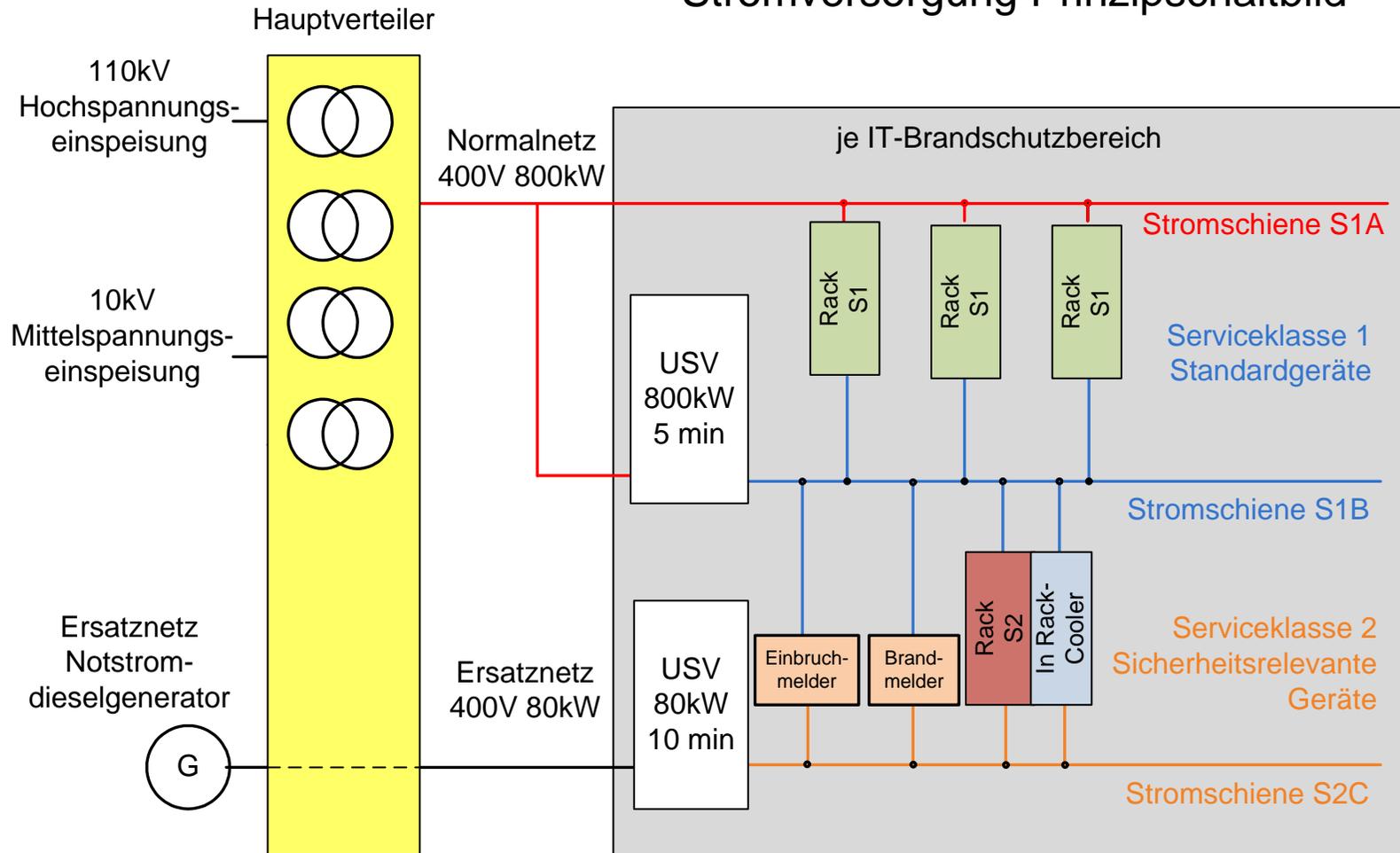
[BITKOM2013] Leitfaden Betriebssicheres Rechenzentrum; Berlin 2013

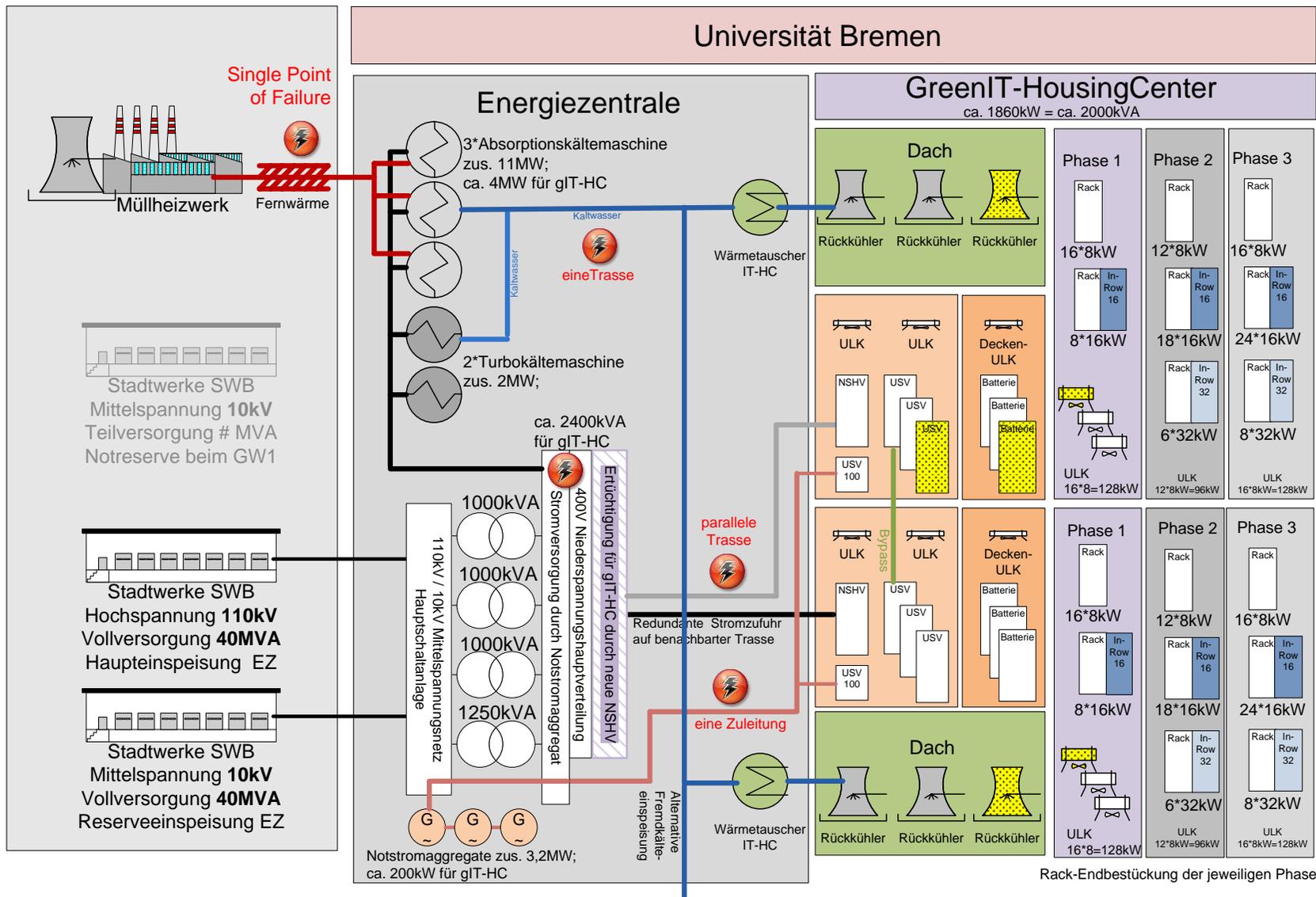
[BORDERSTEP2008] Fichter, K., Clausen, J. & Eimertenbrink, M.; Energieeffiziente Rechenzentren – Best-Practice Beispiele aus Europa, USA und Asien. Bundesumweltministerium (BMU) (Hrsg.); Berlin 2008

[THKL2010] Theurich + Klose Ingenieur-Gesellschaft mbH & Immobilien Bremen; Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Green-IT Housing Center an der Universität Bremen; Bremen 2010

7 Anhang

Stromversorgung Prinzipschaltbild





Übersicht zu den Vergabeeinheiten und der Kostenentwicklung

Projekt-
Nr.: IMBD120020

		Kosten-berechnung	LV-Kosten	Datum Sub- mission	Submissions- ergebnis	Datum Beauf- tragung	Auftrag einschl. Kalt- gang 1 u. 2	Kostenfeststel- lung einschl. Ein- richtung des Kalt- gang 3
1.	Hochbau							
1.1	Abbrucharbeiten	46.720,00 €	33.000,00 €		36.000,00 €	30.11.2012	36.000,00 €	34.000,00 €
1.2	Rohbauarbeiten	229.585,00 €	230.000,00 €	11.07.2013	253.940,91 €	13.08.2013	253.940,91 €	257.176,94 €
1.3	Systemdoppelboden	80.000,00 €	85.000,00 €	10.07.2013	53.638,89 €	07.08.2013	52.029,73 €	62.000,00 €
1.4	Malerarbeiten	56.740,00 €	33.000,00 €	01.10.2013	19.050,71 €	23.10.2013	19.050,71 €	25.000,00 €
1.5	Stahlbauarbeiten	88.450,00 €	85.000,00 €	12.07.2013	72.089,61 €	07.08.2013	75.243,70 €	90.000,00 €
1.6	Dachdecker	63.900,00 €	59.000,00 €	07.08.2013	63.054,53 €	16.08.2013	63.054,53 €	63.054,53 €
1.7	Trockenbau	13.800,00 €	23.000,00 €	27.09.2013	15.683,13 €	21.10.2013	15.683,13 €	15.000,00 €
1.8	Aussenanlagen	28.000,00 €	39.500,00 €	09.10.2013	30.272,41 €	23.10.2013	30.272,41 €	32.943,08 €
1.9	Estricharbeiten	- €	10.800,00 €	24.09.2013	13.380,12 €	18.10.2013	13.380,12 €	12.500,00 €
1.10	Sonstiges						32.000,00 €	32.000,00 €
2.	Elektrotechnik (Pachaly)							989.549,24
2.1	Starkstromanlagen	1.067.400,00 €	1.067.400,00 €	05.07.2013	906.645,77 €	31.07.2013	897.320,98 €	€ 316.730,39
2.2	Fernmeldeanlagen einschl. Schließsystem - Zugang Gebäude und IT	197.700,00 €	197.000,00 €	01.07.2013	201.968,93 €	31.07.2013	196.946,85 €	€
2.3	Blitzschutz	20.700,00 €	20.700,00 €	16.09.2013	17.840,33 €	01.10.2013	17.840,33 €	17.840,33 € 4.734,82
2.4	Sonstige						€	
3.	Heizung, Lüftung, Sanitärtechnik							
3.1	Abwasser-, Wasser-, Wärme-, Luft+Klimatechnik	893.900,00 €	893.900,00 €	17.07.2013	725.251,34 €	09.08.2013	707.877,34 €	942.285,30 €
3.2	Gebäudeautomation	219.000,00 €	219.000,00 €	21.10.2013	162.596,83 €		176.164,46 €	268.630,74 €
3.3	Sonstiges							18.390,50 €
	Zwischensumme	3.005.895,00 €	2.996.300,00 €		2.571.413,51 €		2.586.805,20 €	3.181.835,87 €
4.	IT - Ausstattung und Einrichtung							
4.1	aktives Datennetz (ZfN)	396.000,00 €	396.000,00 €	28.02.2014	310.000,00 €	28.02.2014	308.992,13 €	308.992,13 €
4.1	aktives Datennetz (ZfN) Ergänzung VPN				- €		- €	- €

4.1	aktives Datennetz (ZfN) 2.Kaltgang				82.081,61 €	28.02.2014	82.081,61 €	82.081,61 €
4.2	IT - Einrichtung (RSG) Stand 01.03.2014	519.613,93 €	490.000,00 €					
	Los 1: Racks, InRow (4700004168)			28.02.2014	167.780,96 €	28.02.2014	157.532,68 €	167.780,96 €
	Los 2: PDU (4700004169)			28.02.2014	64.598,91 €	28.02.2014	64.598,91 €	64.598,91 €
	Los 3: RauchAnsaugSysteme (4700004170)			28.02.2014	50.150,17 €	28.02.2014	41.796,37 €	50.150,17 €
	3. Kaltgang							165.468,40 €
4.3	Schließsystem - Zugang Gebäude und IT			28.02.2014	72.500,00 €	28.02.2014	72.500,00 €	
4.4	Sonstiges							8.698,90 €
Zwischensumme		915.613,93 €	886.000,00 €		747.111,65 €		727.501,70 €	847.771,08 €
5.	Baunebenkosten / Sonstiges / Sicherheit	1.196.491,07 €	1.196.491,07 €		1.196.491,07 €		1.196.491,07 €	1.088.393,05 €
	Mittel/Budgetansatz	5.118.000,00 €						5.118.000,00 €