



Universität Hamburg



Projekt: Thermographieanalyse von Hochleistungsrechnern

Lehrende: Prof. Dr. Thomas Ludwig; Timo Minartz

Semester: Sommersemester 2010

Thema: Konzepte zur Führung des Luftstroms

Abgabe: 26. Oktober 2010

Ersteller: Andre Kreykenbohm

Matrikelnummer: 5859585

6kreyken@informatik.uni-hamburg.de

Britta Gerkens

Matrikelnummer: 5708013

4gerkens@informatik.uni-hamburg.de

Tobias Kopelke

Matrikelnummer: 5706800

4kopelke@informatik.uni-hamburg.de

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	3
2.	Energiesparkonzepte.....	5
2.1.	Direkte Luftstromführung .....	5
2.2.	Einhausung .....	6
2.2.1.	Warmgang- Prinzip .....	7
2.2.2.	Kaltgang-Prinzip.....	8
2.3.	Optimierungen .....	9
3.	Technisches .....	10
3.1.	Thermografie .....	10
3.1.1.	Die Physik hinter Wärmebildern .....	10
3.1.2.	Probleme der Infrarotmessung mit Wärmebildkameras .....	11
3.2.	Kamera und Software.....	12
3.3.	Thermometer .....	14
4.	Versuchsbeschreibungen .....	15
4.1.	Versuch „unterbrochener Luftstrom“ .....	15
4.1.1.	Beschreibung des Aufbaus .....	15
4.1.2.	Auswertung des Versuchs .....	16
4.2.	Versuch „eckige Einhausung“ .....	17
4.2.1.	Beschreibung des Aufbaus .....	17
4.2.2.	Auswertung des Versuchs .....	18
4.3.	Versuch „schräge Einhausung“ .....	19
4.3.1.	Beschreibung des Aufbaus .....	19
4.3.2.	Auswertung des Versuchs .....	19
5.	Kosten der Kühlung und mögliches Einsparpotential .....	21
6.	Probleme und Anmerkungen .....	24
7.	Fazit .....	26
8.	Quellenverzeichnis .....	28

Anlage 1: Angebot der Lehmann-IT für eine Kaltgang-Einhausung

## 1. Einleitung

Das Deutsche Klimarechenzentrum (DKRZ) in Hamburg stellt eine zentrale Service-Einrichtung für die deutsche Klimaforschung dar. Dabei dient es mit seinen Hochleistungsrechnern der angewandten sowie Grundlagen-Forschung in zahlreichen Wissenschaftsbereichen indem es durch Rechensimulationen eine Fülle von technischen und statistischen Daten ermittelt. So bietet es beispielsweise die Möglichkeit komplexe Berechnungen zur Klimaforschung durchzuführen, indem es sowohl die Rechenleistung als auch die entsprechend angegliederte Datenverwaltung zur Verfügung stellt.

Etwa der „Supercomputer“ Blizzard, der im Februar 2009 in Betrieb ging, stellt im Forschungszentrum durch seine technische Leistungsfähigkeit einen Meilenstein in dieser Klimaforschung im DKRZ bereit. Der Blizzard kann dabei mit folgenden Leistungsdaten aufwarten: 158 TeraFlop/s, 264 IBM Power6-Rechnerknoten, 16 Dual-Core-Prozessoren pro Knoten, das heißt insgesamt 8448 Kerne. Um zu verdeutlichen welche Leistung wirklich hinter den theoretischen Daten steht, hier ein kleiner Vergleich: „Das IBM Power6-Rechnersystem liefert mehr als 150 Tera-Flop/s Spitzenleistung. Jeder Mensch dieser Erde müsste 20.000 Multiplikationen pro Sekunde durchführen, damit alle zusammen dieselbe Rechenleistung erzielen könnten.“ (DKRZ-Broschüre, 2009: 10) Zurzeit hat der Hauptspeicher mehr als 20 Terabyte und wird ab 2011 sogar auf 7000 Terabyte Plattenspeicher aufgestockt werden. Gehen wir bei einem normalen PC von einer Festplatte mit 500 Gigabyte aus, bedeutet das, dass der Blizzard nun schon den Speicher von rund 14.000 PCs besitzt. Im Juni 2009 belegte der Blizzard damit in der Liste der schnellsten Rechner der Welt Platz 27, wobei er schon innerhalb eines Jahres um vierzehn Plätze nach unten sank (Platz 41 im Juni 2010). In Deutschland ist er hingegen nach zwei Hochleistungsrechnern in Jülich der drittschnellste Rechner.

Ein weiterer interessanter Rechner im DKRZ ist der Tornado, ein Linux-Rechnercluster. Dieser ist zwar bei weitem nicht so leistungsstark wie der Blizzard, hat aber immerhin eine maximale Leistung von 10 TeraFlop/s, 256 Sun Fire X2200M2-Rechnerknoten, 2 Quad-Core-Prozessoren pro Knoten und somit 2048 Kerne. Außerdem hat er 8,5 Terabyte Hauptspeicher und 300 Terabyte Plattenspeicher. Mit diesem Typ werden

Modellentwicklungen und Testläufe durchgeführt, wohingegen komplexere Berechnungen rein über den Blizzard ablaufen.

Da die Klimamodellierungen riesige Datenmengen produzieren unterhält das DKRZ ein High Performance Storage System, welches eine Gesamtkapazität von über 60 Petabyte besitzt. Dies klingt jedoch dann nicht mehr nach übermäßig viel wenn man weiß, dass am DKRZ allein jedes Jahr etwa 10 Petabyte an Daten produziert werden. Um eine Visualisierung der ermittelten Daten zu erleichtern, gibt es den Visualisierungsserver Vision, welcher 18 Nvidia FX5500-Grafikkarten besitzt. Dieser hat zentralen Zugriff auf sämtliche am DKRZ gespeicherten Daten, wodurch man keine weiteren leistungsstarken lokalen Rechner benötigt. Über ein Netzwerk werden die 3D-Visualisierungen auf lokale Rechner übertragen und können dort bearbeitet werden.

Dieses gesamte Netz aus Rechnern und weiteren Komponenten zu betreiben, benötigt man verständlicher Weise eine enorme Strommenge. Um die Kosten dabei ökologisch gerechtfertigt zu kalkulieren, hat das DKRZ mehrere Maßnahmen unternommen kostengünstiger zu agieren. Hierbei spielt die Kühlung der Geräte eine entscheidende Rolle in der ökonomischen Betrachtung der Betriebskosten. Wir befassen uns daher in der vorliegenden Projektarbeit mit der Fragestellung, inwieweit man die Kühlung durch eine bessere Führung des Luftstroms effizienter gestalten kann und somit Strom bzw. Kosten einspart.

## 2. Energiesparkonzepte

Konzepte zur Steigerung der Energieeffizienz von Rechenzentren gibt es viele. Angefangen bei Hardwareempfehlungen, über Isolierungen für die Räumlichkeiten bis hin zur Verlagerung des eigenen Rechenzentrums in die sogenannte Cloud. Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass viele Rechenzentren noch zu stark gekühlt werden. Die American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) hat in seinen Empfehlungen eine Betriebstemperatur von bis zu 26,6 Grad herausgegeben. Auch wenn diese Temperatur für nicht alle Rechenzentren eine Lösung ist, so kann eine schrittweise Anhebung bis auf 24 Grad deutliche Einsparungen beim Stromverbrauch bringen. Dasselbe gilt für regelbare Ventilatoren und Pumpen: Viele der heute noch eingesetzten Kühlanlagen nutzen noch unregelte Ventilatoren. Das Marktforschungsunternehmen Gartner, welches mehrere Umfragen und Berichte zur Energieoptimierung führen, empfiehlt ebenfalls den Einsatz von regelbaren Ventilatoren, deren Leistung sich abhängig von der Kühlanforderung steuern lässt. Die Konzepte zur Führung des Luftstroms hingegen beschränken sich in ihrer Anzahl auf zwei, welche im Weiteren genauer betrachtet und erörtert werden.

### 2.1. Direkte Luftstromführung

Wie schon erwähnt benötigt ein Rechenzentrum eine Klimatisierung. Den kalten Luftstrom nun einfach irgendwo in den gesamten Raum einzuspeisen wäre fatal. Wie in vielen anderen Bereichen, so muss auch bei der Kühlung der Weg vom Erzeuger zum Verbraucher möglichst gering gehalten werden. Das Prinzip der direkten Luftstromführung wird in den meisten Fällen durch einen Doppelboden realisiert und garantiert so, dass der kalte Luftstrom dort ausgegeben wird, wo er benötigt wird.

Ein Doppelboden besteht aus Stützen und Platten und wird über dem eigentlichen Boden errichtet, so dass ein Hohlraum zwischen Boden und den aufgetragenen Platten entsteht. In diesen Hohlraum wird mit Ventilatoren der kalte Luftstrom eingespeist und dort wo man im eigentlichen Raum einen kalten Luftstrom benötigt, wird eine normale Bodenplatte durch eine luftdurchlässige Platte (welche Schlitze oder Löcher enthält) ersetzt.

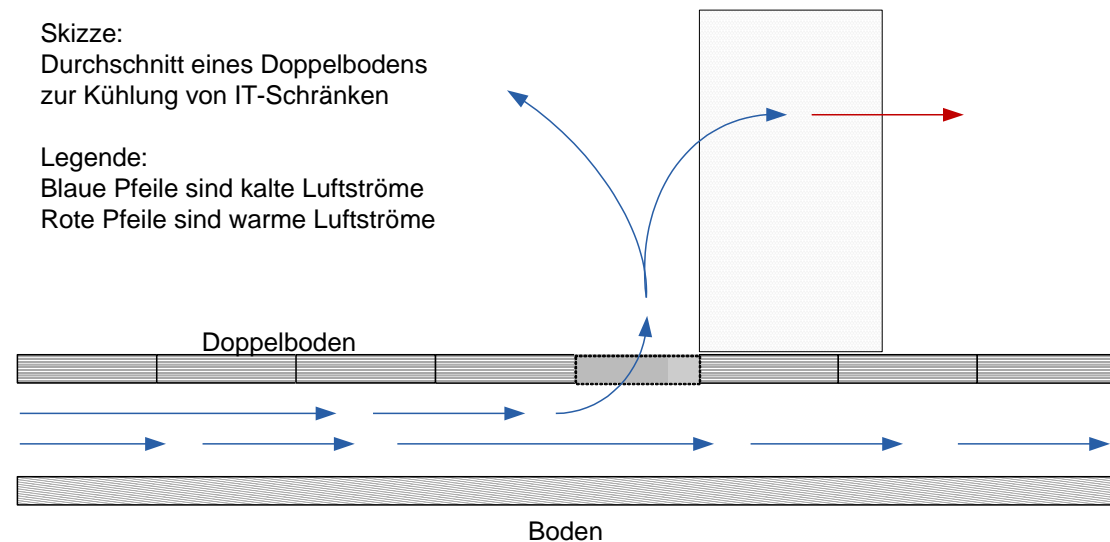


Abbildung 1: Skizze eines Doppelbodens

Der große Vorteil eines reinen Doppelbodens ist die Variabilität. Benötigt man nach einigen Monaten oder Jahren einen weiteren Rack bzw. IT-Schrank, da die Performance der vorhandenen Server nicht mehr ausreicht, so kann dieses an einem beliebigen Punkt im Rechenzentrum aufgebaut werden und man schafft leicht einen neuen kalten Luftstrom. Allerdings gibt es auch einen kleinen Nachteil, denn die kalte Luft verteilt sich im gesamten Hohlraum und wird so an einigen Stellen aufgewärmt und entweicht auch an undichten Stellen des Doppelbodens. Diesem kann man dadurch entgegenwirken, dass man in den Hohlboden ein Schlauchsystem verbaut welches den Luftstrom gezielt bis an die Lochplatten heranführt. Dadurch wird die Installation wiederum nicht so variabel und man sollte genau wissen wo man Schläuche und Schlauchverteiler unter den Bodenplatten verlaufen hat um nachträgliche Erweiterungen möglichst einfach bewerkstelligen kann.

## 2.2. Einhausung

Sobald der kalte Luftstrom in den in den Serverraum eingespeist wird erfolgt ein Wärmeaustausch mit der gesamten schon im Raum vorhandenen Luft. Die zum kühlen der IT-Komponenten benutzte Luft ist dadurch um einige Grad Celsius wärmer als direkt aus der Klimaanlage. Das Konzept welches sich etabliert hat ist das trennen der kalten Luft von der die aus den Racks herausgeblasen wird. Hierfür gibt es zwei Herangehensweisen die im Folgenden weiter erörtert sind.

### 2.2.1. Warmgang- Prinzip

Beim Warmgang-Modell werden die IT-Schränke mit den Rückseiten gegenüberliegend in zwei Reihen aufgestellt. Das IT-Equipment wird somit von außen nach innen mit Luft durchströmt, die Abwärme sammelt sich zwischen den beiden Schrankreihen und bildet somit den Warmgang. Dieser wird mittels Türen und Dachelementen zum umgebenden Raum hin luftdicht abgeschottet und konzentriert dadurch die Warmluft im Inneren. Leistungsfähige, in die Schrankreihen integrierte Reihenkühlungselemente entziehen dem Warmgang die erwärmte Luft, kühlen sie über einen geschlossenen Wasserkreislauf auf Raumtemperatur ab und leiten sie horizontal wieder nach außen in die Umgebung.

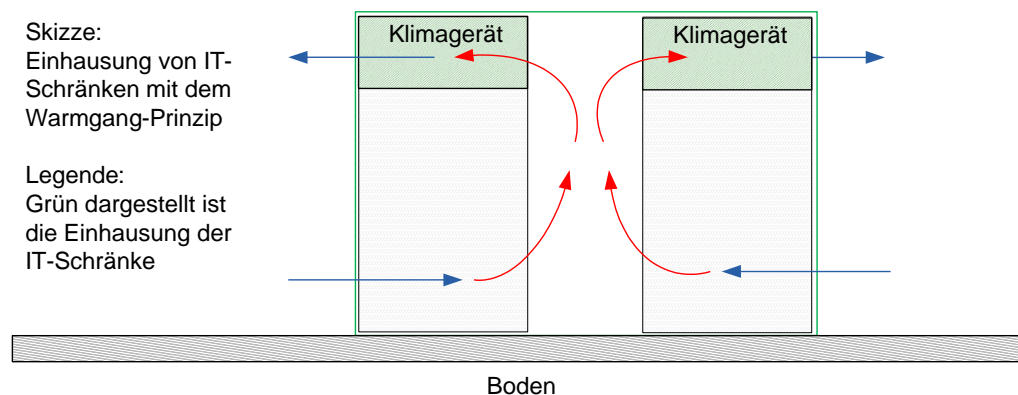


Abbildung 2: Skizze einer Warmgang-Einhausung

Eine Einhausung mit dem Warmgangprinzip ist nur mit in die IT-Schränke integrierten reihenbasierten Kühlungen möglich. Somit ist für diese Methode aber auch kein Doppelboden von Nöten und man spart die Kosten einer zusätzlichen Installation. Eine nachträgliche Erweiterung des IT-Equipments ist ebenfalls ohne Änderung an der vorhandenen Kühlarchitektur eines Rechenzentrums möglich.

Die Klimageräte arbeiten besonders effizient, da das Luftvolumen, welches es zu kühlen gilt, gegenüber einer raumbasierten Kühlung, sehr gering gehalten ist. Da sich die Klimageräte bei den genannten reihenbasierten Kühlsystemen direkt an der Wärmequelle befinden muss der Luftstrom auch nicht aufwendig mit Hilfe von Ventilatoren und Röhrensystemen transportiert werden. Dieses spart weitere Energiekosten ein. Allerdings gibt es auch einen Nachteil und dieser kommt unserer Meinung nach zu Zuge, sobald die Klimageräte ausfallen. Denn die erwärmte Luft wird nicht mehr zurückgeführt und wärmt sich so immer weiter auf. Zwar kann weiterhin stets kalte Luft von außen eingesaugt werden, aber ein Wärmestau

entsteht trotz allem und kann empfindliches IT-Equipment zum Abstürzen bringen oder sogar beschädigen.

### 2.2.2. Kaltgang-Prinzip

Kaltgang-Lösungen gehen den umgekehrten Weg. Die Vorderseiten der Racks stehen sich gegenüber, die Abwärme des eingebauten IT-Equipments wird frei in den Serverraum oder das Rechenzentrum abgegeben. Die erwärmte Luft im umgebenden Raum steigt nach oben und sammelt sich als Warmluftpolster unter der Decke. Von dort aus wird sie mittels Raumklimaanlage abgesaugt, gekühlt und anschließend über einen Doppelboden wieder in den Kaltgang zwischen den IT-Schränke eingespeist. Entgegen dem Warmgang-Prinzip benötigt diese Variante zwingend einen Doppelboden was mit zusätzlichen Kosten verbunden ist.

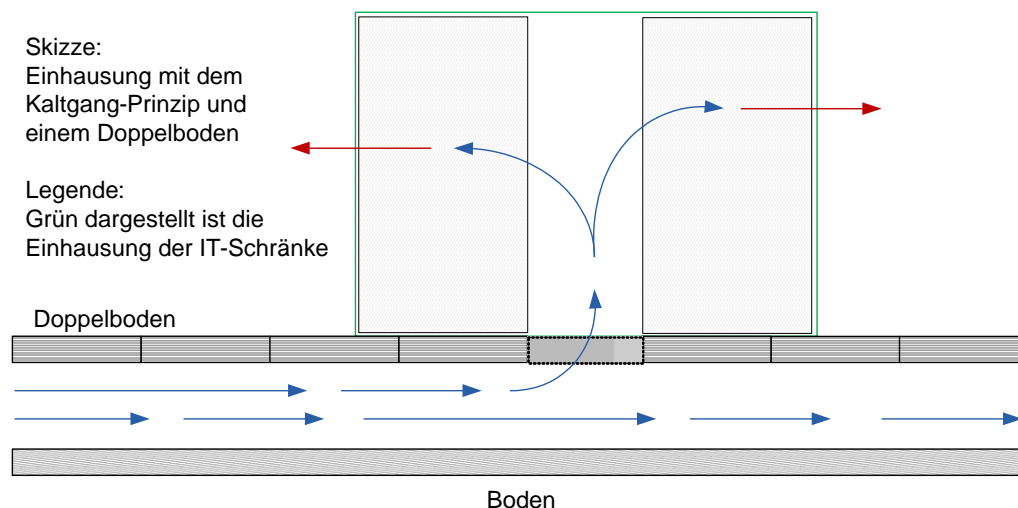


Abbildung 3: Skizze einer Kaltgang-Einhausung mit Doppelboden

Bei der Kaltgangeinhausung ist die Energieeffizienz geringer als bei der Warmgangeinhausung, da für den Transport der Luft zusätzlich Energie aufgewendet werden muss. Da in Kaltgang-Einhausungen die warme Luft nach außen gespeist wird, erhöht sich die Temperatur im Raum unter Umständen auf über 30°C. Es muss also dafür gesorgt sein, dass übriges IT-Equipment, welches sich nicht in der Einhausung befindet, angemessen gekühlt wird.



### 2.3. Optimierungen

Die Optimierungen beziehen sich auf alle Konzepte zur Führung des Luftstroms und werden deshalb gesammelt in diesem Unterkapitel besprochen. Hierzu zählt in erster Linie, dass Rohrleitungen, welche für den Transport der Luft zuständig sind isoliert und abgedichtet sind.

Bei der Gestaltung der IT-Schränke ist darauf zu achten, dass keine undichte Stellen existieren und dieses auch regelmäßig zu prüfen. Schlitze zwischen den Komponenten können dazu führen, dass zum einen an dieser Stelle unnötig kalte Luft eingesaugt wird oder was wesentlich Schlimmer wäre warme Luft wieder in den Kalt-Luftstrom käme und so erneut von den Komponenten eingesaugt werde. Auf diese Weise bilden sich „Wärmenester“ bzw. „Hot Spots“.

Des Weiteren ist bei Verwendung der Kaltgangeinhausung mit einem Doppelboden eventuell der Einsatz des Konzeptes der direkten Luftstromführung mit Röhrensystemen zu berücksichtigen, da im Laufe der Jahre die Kabelansammlungen im Doppelboden immer mehr Luftwiderstand und Verwirbelungen erzeugen, welche die effiziente Luftstromzufuhr mindern. Zudem sollte der Doppelboden natürlich nur dort Luftauslässe besitzen, wo diese auch wirklich benötigt werden. Dieses bezieht sich auf nicht mehr genutzte perforierte Bodenplattenauslässe, aber auch auf die Dichtigkeit der Bodenplatten.

Mittlerweile werden auch Bodenplatten zur Luftzuführung benutzt welche nicht nur passiv die Luft durchströmen lassen, sondern intern verbaut einen Ventilator besitzen. Der Vorteil bei einer solchen Installation ist, dass man die Ventilatoren zum Aufbau des Drucks im Doppelboden drosseln bzw. gänzlich weg lassen kann. Zu bedenken ist jedoch, dass dieses unter Umständen wieder zusätzliche Energiekosten darstellt und die Luft, im Vergleich zu passiven Bodenplatten, nicht unerheblich wieder erwärmt

### 3. Technisches

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zum Thema Thermografie und Wärmebildanalyse aufgezeigt und besprochen. Es wird auch nicht zu sehr darauf eingegangen, aber um die Abläufe hinter dem Projekt zu verstehen müssen diese Inhalte ebenfalls bearbeitet und dargelegt werden.

#### 3.1. Thermografie

Alle Materialien mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes (-273,15°C = 0°K) senden elektromagnetische Strahlung aus, deren Intensität und Wellenlängen-Verteilung von der Temperatur abhängt. Eine Wärmebildkamera misst die elektromagnetische Strahlungsleistung in einem bestimmten Wellenlängenbereich, genau wie ein Fotoapparat das sichtbare Licht misst. Der für Infrarotbildkameras interessante Wellenlängenbereich liegt zwischen 1µm und 50µm.

##### 3.1.1. Die Physik hinter Wärmebildern

Wärmebilder basieren auf den Arbeiten von Josef Stefan und Ludwig Boltzmann und dem nach Ihnen benanntem Stefan-Boltzmann Gesetz

$$P = \varepsilon_{Material} \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Mittels dieses Gesetzes kann aus der Strahlungsleistung eine Temperatur berechnet werden. Diese ist vom Emissionsgrad des Objektes abhängig. Der empfangenen Leistung wird so jedem Pixel ein Grauwert zugeordnet der dann, in ein Falschfarbenbild umgewandelt, für den Menschen sichtbar gemacht wird. Es gibt 2 verschiedene Arten der Thermographiekamera. Gekühlte und Ungekühlte Systeme.

Gekühlte Systeme sind für unsere Zwecke ungeeignet, die Notwendigen Temperaturen liegen hier zwischen 4 K und 110 K. Weit unter 0 °C. Moderne Systeme arbeiten hier mit 80 K Betriebstemperatur. Sie besitzen durch das Kühlen eine stark erhöhte Temperaturempfindlichkeit.

Ungekühlte Systeme arbeiten mit Veränderungen von Spannung oder Widerstand der Detektoren beim Erhitzen durch die Infrarotstrahlung. Hieraus lässt sich die Strahlungsleistung ermitteln.

### 3.1.2. Probleme der Infrarotmessung mit Wärmebildkameras

Da Wärmebilder durch das Stefan-Boltzmann Gesetz in sichtbare Bilder umgewandelt werden müssen die Einschränkungen dieses Gesetzes betrachtet werden.

$$P = \varepsilon_{Material} \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Es folgt:

$$T = \sqrt[4]{\frac{P}{\varepsilon_{Material} \cdot \sigma \cdot A}}$$

Werden nun auf dem gleichen Wärmebild Aluminium ( $\varepsilon_{Aluminium}$ , poliert = 0,05) und Kabel mit Gummiummantelung ( $\varepsilon_{Gummi} = 0,93$ ) angezeigt hat man das Problem mit der Einstellung des Emissionwertes  $\varepsilon$  der Kamera.

$$T_{Aluminium} = \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{Gummi} \cdot T_{Gummi}^4}{\varepsilon_{Aluminium}}}$$

$$T_{Aluminium} = T_{Gummi} \cdot \sqrt[4]{\frac{\varepsilon_{Gummi}}{\varepsilon_{Aluminium}}}$$

$$T_{Aluminium} = T_{Gummi} \cdot \sqrt[4]{\frac{0,93}{0,05}} = T_{Gummi} \cdot \sqrt[4]{18,6} = 2,07 \cdot T_{Gummi}$$

Wird die Kamera nun so eingestellt, dass sie mit dem Thermometer für das Gummi übereinstimmt, bekommt man abweichende Werte für das Aluminium.

Die aufgenommenen Daten unterscheiden sich um den Faktor 2 von einem Material zu einem Anderen. Die Temperaturen bleiben aber immer Proportional zueinander. Es ist daher nur wichtig für alle Messungen den gleichen Emissionswert  $\epsilon$  zu benutzen.

### 3.2. Kamera und Software

Die vom DKRZ bereitgestellte Wärmebildkamera ist die VarioCAM hr inspect. Eine für den professionellen Einsatz gedachte Thermographiekamera von InfraTec mit Jenoptik Sensor. Sie ist ausgestattet mit 2 Lithium-Ionen-Akkus deren Leistung für einige Stunden ausreicht.

Eine integrierte CMOS Kamera macht es einfach die Fotos nachträglich den Objekten



Abbildung 4: VarioCAM (VarioCam Flyer, 2007)

zuzuordnen. Der Sensor der Kamera ist für Wellenlängen von  $7,5\mu\text{m}$  bis  $14\mu\text{m}$  aufnahmefähig. Dies entspricht einem Temperaturbereich von ungefähr 200 K bis 390 K oder  $-70\text{ }^\circ\text{C}$  bis  $115\text{ }^\circ\text{C}$ . Ausreichend für die unsere Zwecke.

Die mitgelieferte Software zur VarioCAM von InfraTec ist IRBIS 3. Die Software bietet eine vollständige Integration in Windows und verwaltet die Dateiformate \*.irb, \*.iri und außerdem auch \*.sid. Diese werden im

Explorer direkt als Bilder in den gewählten Falschfarben für die Thermobilder angezeigt.

- \*.irb Das aktuelle Bildformat für Thermogrammdaten der IRBIS 3 Software. Es ist das Ausgabeformat der Software.
- \*.iri Das Bildformat für die Kameras vom Typ mobileIR und damit unwichtig für dieses Projekt.
- \*.sid Das Bildformat für Kameras der VARIOSCAN Reihe, auch unwichtig für dieses Projekt.

Die Software bietet im Hauptfenster die Standartelemente für Windowssoftware. Sie besteht aus einer Menüleiste und verschiedenen Symbolen zum Bearbeiten der Thermogramme. Weiter bietet sie eine Schnellstartleiste über dem Arbeitsbereich und eine Statuszeile darunter.

Der Arbeitsbereich beinhaltet eine Favoritenliste die die gerade geöffneten Thermogramme als Schnellstart bereitstellt. In der Mitte der Arbeitsfläche ist das geöffnete Thermogramm. Es gibt zum Zuschalten verschiedenste Diagramme wie Histogramme und ein Profildigramm.

Das Profildigramm zeigt den Temperaturverlauf entlang einer Linie oder einer Messfläche innerhalb des Thermogramms. Das Histogramm zeigt ähnlich wie in anderer Fotosoftware eine Häufigkeitsverteilung über die Daten des Bildes. Es wird die Verteilung über das gesamte Bild, oder eine gewählte Region gebildet.

Die Thermogramme können mit Messpunkten und Messbereichen ausgestattet werden. Diese werden schon von der Kamera erzeugt und müssen nicht nochmal angelegt werden falls es schon auf der VarioCAM passiert ist. Leider bietet die Software keine Möglichkeit die Messbereiche zu speichern und auf andere Thermobilder zu übertragen. Es muss also schon beim Fotografieren darauf geachtet werden diese anzulegen um sich Arbeit zu ersparen.

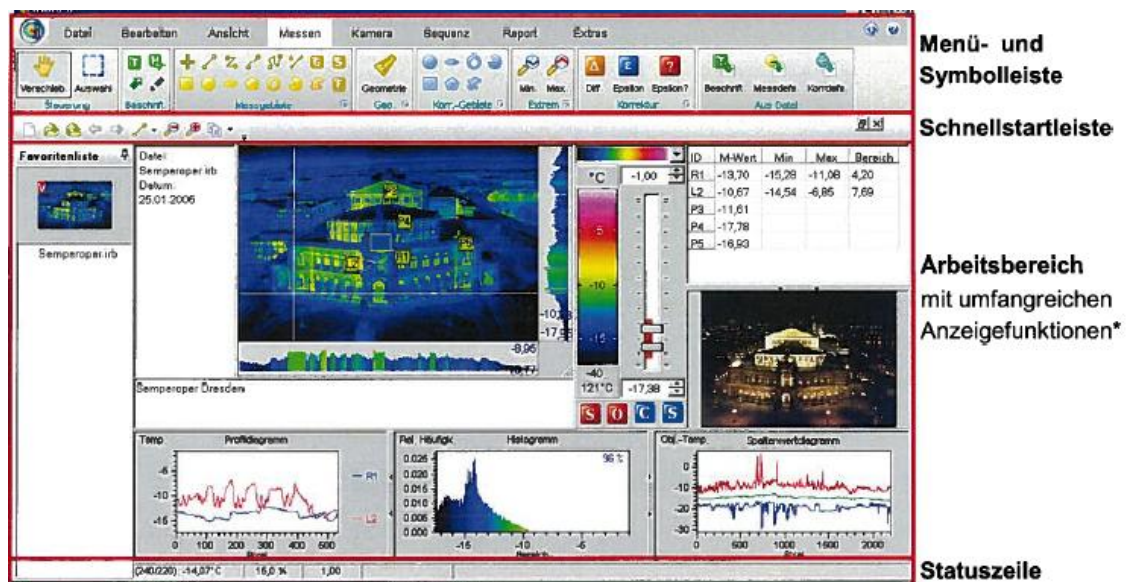


Abbildung 5: GUI der Software IRBIS 3<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (IRBIS Software - Nutzerhandbuch, 2009)

Weiterhin bietet die Software an die Voreingestellte Farbskala des Thermogrammes zu bearbeiten. Es gibt wie schon auf der Kamera vorgefertigte Profile, weiter ist es möglich eigene Farbräume zu definieren. Außerdem kann der Emissionswert angepasst werden und es können die Farben unterschiedlichen Temperaturen zugeordnet werden. Die Software arbeitet hier erwartend gut die richtigen Standarteinstellungen für den Farbraum des Thermogramms zu bilden.

Die Software bietet weiterhin verschiedenste Exportmöglichkeiten. Neben den Standardbildformaten wie \*.jpeg, \*.bmp oder \*.png ist der Export als Text oder Excelmappe möglich. Dies bietet einen einfachen Weg die gesammelten Daten eines Thermogramms in Excel weiter zu verarbeiten. Leider fehlt auch hier eine Art Batch-Modus bei dem die Daten aller im Verzeichnis enthaltenen Thermogramme in eine Mappe zu speichern. Es gibt eine Reportfunktion die einen Export zu Microsoft Word darstellt.

Die Software bietet zwar die Möglichkeit die Kamera über einen Firewire Port fernzusteuern, mangels eines Firewire Ports ist uns dies aber nicht möglich gewesen.

### 3.3. Thermometer

Als Thermometer wurde für das Projekt von Extech das Modell EX623 angeschafft. Es ist ein Multifunktionswerkzeug das neben den Temperaturmessfunktionen mittels Infrarot und Messfühler auch als Multimeter dienen kann. Wichtig war vor allem die Möglichkeit über einen Messfühler die Temperatur an den Messpunkten im Serverrack zu messen. Es liefert im Messbereich von 1-100 °C eine Genauigkeit von 1%.

Der Infrarot Messfühler des EX623 war für unsere Zwecke ungeeignet, da es die gleiche Technik wie die Thermographiekamera benutzt und dazu dienen sollte diese zu kontrollieren. Wir haben den



Abbildung 6: Extech EX623 (Conrad.de)

Messfühler während des Versuchs durch Kreppklebeband im inneren des Serverracks angebracht um weniger Störungen durch Berührungen hervorzurufen.

## **4. Versuchsbeschreibungen**

Bei dem Rack, an dem wir unsere Messungen vorgenommen haben, handelt es sich um einen einzelnen und freistehenden Rack, der über direkte Luftstromzufuhr durch ein Bodengitter gekühlt wird. Für unsere Tests ist das Rack suboptimal. Denn Einhausung betrifft normalerweise ganze Rackgänge. Zudem unterliegt der Rack Schwankungen bei der Auslastung, was zu Änderungen in der Temperatur führt. Unsere Tests beziehen sich alle auf die Einhausung von Racks, die nach dem Kaltgangprinzip aufgestellt sind. Einhausung nach dem Warmgangprinzip wäre sehr viel aufwändiger zu simulieren. Wir hatten keine Möglichkeit die warme Abluft gekühlt wieder an den Raum abzugeben.

Um zu testen, wie sich die Einhausung auswirkt, haben wir mit Hilfe von Kartons, Baufolie und Paketklebeband verschiedene Versuchsaufbauten erstellt. Die Messungen wurden mit einer Thermokamera sowie einem Temperaturfühler durchgeführt. Mit der Kamera wurden in regelmäßigen Zeitabständen Bilder mit festgelegten Messpunkten gemacht. An einem dieser Punkte wurde gleichzeitig mit dem Temperaturfühler gemessen, um einen Vergleich ziehen zu können. Die Dauer der Versuche und somit die Anzahl der Messungen haben wir davon abhängig gemacht, wann die Temperatur sich nur noch minimal verändert hat. In den weiteren Auswertungen haben wir aber immer nur die Ergebnisse eines Messpunktes genommen, da dieser neben dem Thermometer platziert war und somit Vergleichsmöglichkeiten bietet.

### **4.1. Versuch „unterbrochener Luftstrom“**

#### **4.1.1. Beschreibung des Aufbaus**

Der erste Schritt war, herausfinden, wie effektiv die derzeitige Kühlung durch direkte Luftstromführung ist. Auf die Art haben wir eine Vergleichsmöglichkeit, wie lohnenswert Einhausung im Gegensatz zu anderen und herkömmlichen Kühlungsmethoden ist. Zur Durchführung haben wir die Bodengitter vor dem Rack mit einem großen Pappkarton abgedeckt, sodass die direkte Zufuhr des kalten Luftstroms unterbrochen wird und die Kühlung ausschließlich aus der im Raum vorhandenen Luft erfolgt. Dies simuliert einen nicht vorhandenen Doppelboden zur direkten Luftstromführung.

#### 4.1.2. Auswertung des Versuchs

Messung	Uhrzeit	Anmerkungen und Beschreibungen	Thermometer	Thermokamera
1	9:00	Bestimmung der Ausgangstemperatur. Danach wurde die Lüftung sofort abgedeckt.	26,2°C	26,3°C
2	9:10	10 Minuten nach dem Abdecken der Lüftung.	27,1°C	25,8°C
3	9:20	20 Minuten nach dem Abdecken der Lüftung.	28,2°C	25,6°C
4	9:30	30 Minuten nach dem Abdecken. Danach wurde die Lüftung sofort wieder aufgedeckt.	28,9°C	25,2°C
5	9:40	Kontrollmessung (Ausgangstemperatur) Danach wurde die Einhausung aufgebaut.	26,1°C	-

Tabelle 1: Messergebnisse aus dem Versuch „unterbrochener Luftstrom“ – Messung 1

Der erste Versuch verlief in fünf Phasen. Zunächst bestimmten wir den Ausgangswert indem wir die Temperatur im Rack in seiner ursprünglichen Aufbauweise und Kühlung maßen. Danach deckten wir die Lüftung ab und führten die zweite Messung nach 10 Minuten Laufzeit durch. Nach weiteren 10-Minuten-Intervallen kontrollierten wir die Temperatur nach 20 Minuten ohne Luftstromkühlung sowie nach 30 Minuten. Nach dieser Messung entfernten wir die Abdeckung und maßen nach weiteren 10 Minuten ein letztes Mal die Temperatur im Rack. Dieser erste Ablauf lieferte einerseits erwartete Ergebnisse durch das Thermometer jedoch unerwartete durch die Wärmebildkamera. Die Temperatur sank laut dieser von Beginn der Lüftungsabdeckung bis zur Öffnung des Luftstroms um 1,1°C, wohingegen das Thermometer einen Temperaturanstieg von 2,7°C anzeigte. Aufgrund dieses Ergebnisses entschlossen wir uns den Versuch zu wiederholen.

Die zweite Messung wurde exakt wie die vorherige durchgeführt und die Temperaturmessung im gleichen Intervall und zu den gleichen Zeitpunkten genommen. Die Temperaturwerte stimmen nun mit den theoretischen Ergebnissen überein. Die Temperatur stieg sowohl laut Thermometer als auch laut Thermokamera um mehr als 2°C an. Die Richtigkeit der nun erhaltenen Daten wird durch die Ergebnisse der ersten Messung beim Thermometer bestätigt und unterstützt. Weshalb die Wärmekamera beim ersten Versuchsaufbau eine gegenläufige Temperaturentwicklung angezeigt hat konnte abschließend nicht geklärt werden.



Messung	Uhrzeit	Anmerkungen und Beschreibungen	Thermometer	Thermokamera
1	11:00	Bestimmung der Ausgangstemperatur. Danach wurde die Lüftung sofort abgedeckt.	26,4°C	25,8°C
2	11:10	10 Minuten nach dem Abdecken der Lüftung.	27,5°C	27,1°C
3	11:20	20 Minuten nach dem Abdecken der Lüftung.	28,4°C	27,9°C
4	11:30	30 Minuten nach dem Abdecken. Danach wurde die Lüftung sofort wieder aufgedeckt.	28,8°C	28,0°C
5	11:40	Kontrollmessung (Ausgangstemperatur). Danach wurde die Einhausung aufgebaut.	26,4°C	-

Tabelle 2: Messergebnisse aus dem Versuch „unterbrochener Luftstrom“ – Messung 2

## 4.2. Versuch „eckige Einhausung“

### 4.2.1. Beschreibung des Aufbaus

Der nächste Schritt war Versuche zur Einhausung durchzuführen. Unsere erste Idee dazu war, einen klassischen eingehausten Kaltgang zu simulieren. Dazu haben wir mittels eines Kartonstapels, der ungefähr der Höhe des Racks entspricht, die Baufolie so drapiert, dass ein rechteckiger Hohlraum über dem Bodengitter entstanden ist. Mit dem Klebeband wurde die Folie so befestigt, dass ein Ausströmen der kalten Luft weitestgehend verhindert werden konnte. Hätten wir einen weiteren Karton benutzt, so wäre in der oberen rechten Ecke eine Wärmeansammlung möglich gewesen. Aus diesem Grund haben wir die Anzahl um einen verringert und so ein Gefälle erstellt, welches die Luft eher zum Rack leitet.



Abbildung 7: Bild der eckigen Einhausung

Die Kartons besaßen durch ihren Hohlraum und die enthaltenen Styropor-Platten eine sehr gute thermische Isolation. Die Folie war sehr dick und wurde dreifach gefaltet und war so ebenfalls thermisch nicht leitend.

#### 4.2.2. Auswertung des Versuchs

Nachdem die Daten aus dem ersten (oben beschriebenen) Versuch aufgenommen waren haben wir uns an die Auswertung gesetzt. Hierzu haben wir die Messwerte zunächst in eine Tabelle übertragen.

Die erste Messung ist eine Kontrollmessung, da wir zuvor einen anderen Versuch durchgeführt haben und anschließend auf die Ausgangstemperatur gewartet haben. Die zweite Messung ist somit unsere Starttemperatur und beträgt 26,2°C. Bereits nach 10 Minuten sinkt die Temperatur am Rack um 1,3°C und fällt im weiteren Verlauf weiter ab. Nach 40 Minuten hat sich die Temperatur am Rack auf 24,4°C eingestellt und bleibt über längere Zeit konstant. Nach 20 Minuten haben wir einen kleinen Anstieg gemessen, welcher nach unserer Einschätzung aber eher an einer temporären Last der Serverkomponenten lag. Somit erhielten wir als Temperaturabfall mit einer eckigen Einhausung einen Wert von 1,8°C.

Messung	Uhrzeit	Anmerkungen und Beschreibungen	Thermometer	Thermokamera
1	9:40	Kontrollmessung (Ausgangstemperatur) Danach wurde die Einhausung aufgebaut.	26,1°C	-
2	9:55	Erste Messung direkt nach dem Aufbau der Einhausung. Der Aufbau dauerte 15 Minuten.	26,2°C	24,5°C
3	10:05	10 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	24,9°C	23,6°C
4	10:15	20 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	23,8°C	23,1°C
5	10:25	30 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	23,5°C	23,5°C
6	10:35	40 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	24,4°C	23,5°C
7	10:45	50 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	24,4°C	23,6°C
8	10:55	60 Minuten nach dem Aufbau. Danach wurde die Einhausung direkt wieder abgebaut.	24,6°C	23,6°C
9	11:05	10 Minuten nach Abbau der Einhausung.	26,2°C	-
10	11:15	20 Minuten nach Abbau der Einhausung	26,2°C	-

Tabelle 3: Messergebnisse aus dem Versuch „eckige Einhausung“

Nach dem Abbau haben wir ebenfalls Werte aufgenommen um unsere Messung noch einmal gegen zu prüfen. Da sich die Werte innerhalb kürzester Zeit (10 Minuten) wieder an die Starttemperatur angeglichen haben und dann auch konstant blieben, haben wir beschlossen, dass diese Daten korrekt und repräsentativ sind.

### 4.3. Versuch „schräge Einhausung“

#### 4.3.1. Beschreibung des Aufbaus

Während wir uns beim ersten Einhausungsversuch stark an der üblichen Technik zur Einhausung orientiert haben, ist dieser Versuch auf unser einzeln stehendes Rack abgestimmt. Auf die Idee, die Einhausung wie in der Abbildung 8 zu sehen komplett schräg anzulegen sind wir während des Aufbaus zum ersten Versuch gekommen. Denn dort erzeugten wir ein



Abbildung 8: Bild der provisorischen schrägen Einhausung

kleines Gefälle in der Einhausung, welches wir nun einfach konsequent durchgezogen haben.

Bei diesem Aufbau läuft die Folie vom oberen Ende des Racks schräg nach unten zum Boden, auf den sie kurz hinter dem Ende des Bodengitters trifft. Theoretisch wird für ein einzeln und frei stehendes Rack die kalte Luft auf diese Art optimal herangeführt.

Die praktische Anwendung ist jedoch ungünstig, da diese Art der Einhausung nur bei freistehenden Racks nutzbar ist. Jede Reihe einzeln einzuhausen ist allerdings sehr kostspielig. Hinzu kommt, dass man nicht mehr bzw. nur eingeschränkt an die Vorderseite der Racks gelangt.

#### 4.3.2. Auswertung des Versuchs

Die erste Messung ist zur Ermittlung der Ausgangstemperatur. Nachdem der Aufbau komplett war, haben wir die Starttemperatur ermittelt, die gegenüber der Ausgangstemperatur bereits um  $1,7^{\circ}\text{C}$  gesunken ist. Innerhalb der nächsten 20 Minuten gab es noch einen Temperaturrückgang um  $0,6^{\circ}\text{C}$ . Danach blieb die Temperatur für die restlichen 40 Minuten relativ konstant. Das bedeutet einen Gesamttemperaturabfall von  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Nach dem Abbau war die Ausgangstemperatur innerhalb von 10 Minuten fast erreicht, nach 20 Minuten stimmt die Endtemperatur mit der Ausgangstemperatur überein. Dieses diente erneut als Kontrollmessung für unsere Messergebnisse.

Messung	Uhrzeit	Anmerkungen und Beschreibungen	Thermometer	Thermokamera
1	11:40	Kontrollmessung (Ausgangstemperatur). Danach wurde die Einhausung aufgebaut.	26,2°C	-
2	11:50	Erste Messung direkt nach dem Aufbau der Einhausung. Der Aufbau dauerte 15 Minuten.	24,5°C	25,0°C
3	12:05	10 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	24,1°C	23,5°C
4	12:15	20 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	23,9°C	22,9°C
5	12:25	30 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	23,8°C	22,9°C
6	12:35	40 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	23,7°C	23,0°C
7	12:45	50 Minuten nach dem Aufbau der Einhausung.	23,6°C	23,0°C
8	12:55	60 Minuten nach dem Aufbau. Danach wurde die Einhausung direkt wieder abgebaut.	23,7°C	23,1°C
9	13:05	10 Minuten nach Abbau der Einhausung.	26,0°C	-
10	13:15	20 Minuten nach Abbau der Einhausung	26,2°C	-

Tabelle 4: Messergebnisse aus dem Versuch „schrägen Einhausung“

Wie bereits vermutet, hat es sich bei unseren Messungen bestätigt, dass eine schräge Einhausung die Kühlung effektiver gestaltet. Vermutlich wird dieses an weniger Luftverwirbelungen in der Einhausung liegen, aber dieses nachzuweisen würde den Rahmen dieses Projektes sprengen. Festzuhalten ist, dass eine schräge Einhausung besser kühlt, aber praktisch nicht einzusetzen ist.

## 5. Kosten der Kühlung und mögliches Einsparpotential

Die Höhe der Einsparung von Betriebskosten, welche man durch den Einsatz einer Einhausung erhält, hängt im Wesentlichen von der Ausgangslage ab, in der sich das bisherige Kühlungssystem befindet. Wenn zum Zeitpunkt der Planung einer Einhausung eine reine Raumkühlungsstrategie gefahren wurde, so muss man bei der Kosten-Nutzen-Berechnung zunächst die Temperatureinsparungen aus dem vorgestellten ersten Versuch (Unterbrechung des Luftstroms) berücksichtigen und darüber hinaus ebenso den des zweiten Versuches (eckige Einhausung) integrieren. Da im DKRZ allerdings bereits die Kühlung über einen Doppelboden und die dafür notwendigen Lochbodenplatten geregelt wird, sind für uns im Weiteren nur die Ergebnisse aus den Einhausungsversuchen von Bedeutung. Korrekter Weise sogar nur das Ergebnis aus dem Versuch der eckigen Einhausung, da eine schräge Einhausung nicht wirklich realisierbar ist.

Wie schon angesprochen beträgt die Temperatursenkung am Rack bei einer eckigen Einhausung 1,8°C. Um aus diesem Wert eine Einsparung zu errechnen müsste man wissen, um wie viel man die Klimageräte drosseln könnte um sich an den ursprünglichen Wert wieder anzunähern. Die Energiekosten die man durch eben diese Drosselung einsparen würde, wären jene Einsparungen, welche man durch die Einhausung ermittelt hat. Dieser Wert ist aber vorweg theoretisch nicht exakt errechenbar, sondern nur nach der Installation der Einhausung auszuloten.

In unterschiedlichen Quellen findet man zwar Angaben zu dem Einsparpotential von Einhausungen gegenüber der konventionellen Kühlung, jedoch sind diese mit bis zu 30% unserer Meinung nach zu hoch angegeben und unrealistisch. Da die Energiekosten zur Kühlung des Rechenzentrums im DKRZ bei 2Millionen Euro liegen, wäre dieses eine Einsparung von 600.000 Euro pro Jahr. Dieser Wert ist jedoch keines Falls realistisch. Um trotzdem einen Wert nutzen zu können haben wir uns zunächst einer anderen prozentualen Annäherung bedient.

In dem White Paper Nr. 135 der American Power Conversion (APC: 2008) „Gegenüberstellung von Warmgang- und Kaltgang-Einhausungen“ wird erwähnt, dass bei herkömmlichen Kühlsystemen die Kühltemperatur auf einen wesentlich niedrigeren Wert (um die 13°C) eingestellt wird, als für die Kühlung der IT-Geräte erforderlich ist. Zudem steht

dort, dass bei Kaltgang-Einhausungen und somit auch bei Benutzung einer Raumkühlung die Temperatur im Raum über den der Racks und somit an der Decke der Racks Werte von 27°C bis sogar 38°C annehmen kann. Die Umluft wird also mit einer Durchschnittstemperatur von etwa 31°C eingeblasen und mit einer Temperatur von 13°C in den Raum abgegeben. Diese Differenz wird mit 100% gewichtet und mit den Energiekosten die für die Kühlung benötigt wird gleichgesetzt. Diese beträgt beim DKRZ etwa 2 Millionen Euro pro Jahr. Da die Temperatur durch unsere Einhausung um 1,8°C am Rack gesenkt wurde, verringert sich auch die Temperaturdifferenz, welche durch die Klimaanlage ausgeglichen werden muss. Die Temperaturdifferenz betrug vorher 18°C und somit ist ein Einsparpotential von 10% vorhanden. Dieses würde bei den genannten Energiekosten für die Kühlung eine Einsparung von 200.000 Euro bedeuten.

Auch diese herangezogene Annäherung scheint uns realistisch nicht korrekt zu sein. Um aber unsere Ergebnisse mit den Anschaffungskosten und den Einsparmöglichkeiten in Verbindung zu setzen benötigt man verlässliche Werte. Im Informationsmaterial der Firma Lehmann-IT über Energieeffizienz von Einhausungen wird angegeben, dass 1°C Temperaturunterschied ca. 3 - 4% des gesamten Energieaufwandes entspricht. Dies wären bei unseren ermittelten 1,8°C etwa 5,4 - 7,2% Energiekosteneinsparungen und entspräche damit bei gemittelten 6,3% etwa 126.000 Euro.

Wirklich sinnvoll arbeitet eine Kaltgangeinhausung aber nur, wenn wirklich alle Serverkomponenten eingehaust sind. Da eine Kaltgang-Einhausung warme Luft in die Umgebung abgibt ziehen nicht eingehauste IT-Komponenten die von dem Kaltgang ausgestoßene Luft wieder ein. Sollte man planen seine Racks nur teilweise einzuhausen, so empfiehlt sich eine Warmgangeinhausung, da sich hier die warme Luft in der Einhausung befindet und die gekühlte Luft wieder in den Raum abgegeben wird.

Also ist die von uns berechnete Energiekosten-Einsparung von 126.000 Euro nur möglich, wenn alle Server in dem Serverraum eingehaust werden. Um nun eine Amortisationsrechnung durchzuführen haben wir zunächst ein Angebot der oben genannten Firma Lehmann-IT eingeholt, welche sich auf Einhausungen von IT-Komponenten spezialisiert. Eine typische Einhausung wird über 8-12 Rackelemente durchgeführt, dies entspricht zwei Reihen aus 4-6 nebeneinander stehenden Racks. Das von uns eingeholte

Angebot bezog sich auf 8 Rackeinheiten. Das Angebot der Firma Lehmann-IT ist als Anlage 1 diesem Projekt angeheftet und beinhaltet folgende Komponenten:

- acht 19" Rackgehäuse
- die eigentliche Einhausung (Türelemente und Dach)
- empfohlenes Zubehör
- passende PDUs

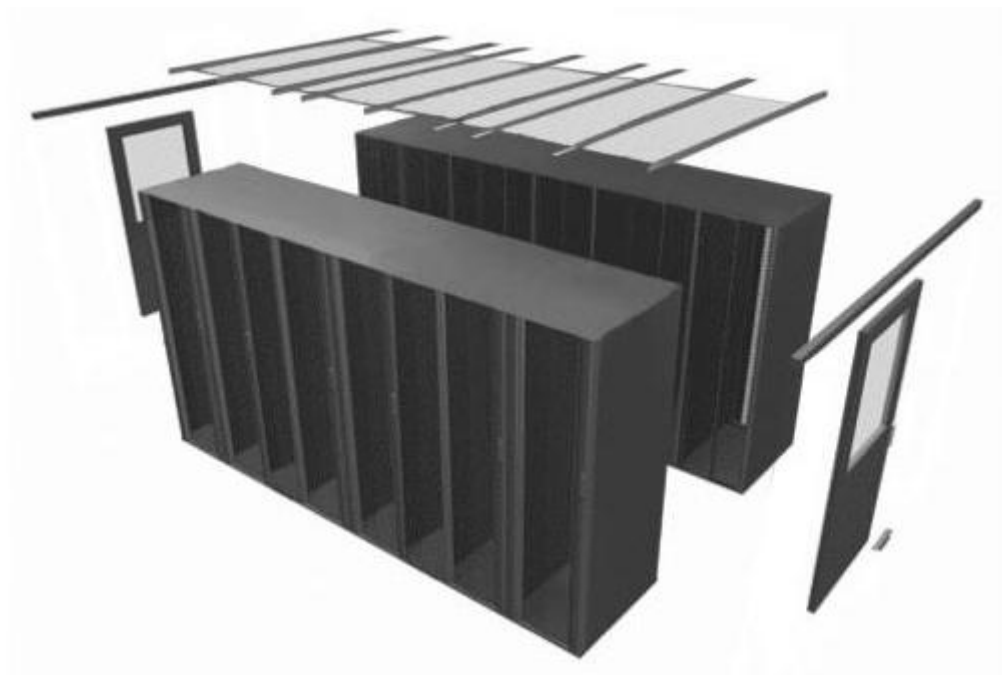


Abbildung 9: Komponenten einer Einhausung

Die Kosten für die Einhausung betragen 14.259 Euro und liegen damit weit unter der von uns berechneten Einsparung von 126.000 Euro pro Jahr. Dies würde bedeuten, dass sich eine Einhausung auf jeden Fall rentieren würde, denn man hätte die Investitionskosten innerhalb eines Monats durch die eingesparten Energiekosten getilgt. Dieses liegt zum einen daran, dass die Annäherung weder genau noch repräsentativ ist. Wahrscheinlicher wäre unserer Meinung nach eine Einsparung von maximal einigen Tausend Euro pro Jahr realistischer. Zudem müsste die Einhausung wie schon erwähnt alle Racks einschließen, so dass die optimierte Kühlung flächendeckend im Serverraum wirken kann. Somit ist es nötig die Kosten der Einhausung noch einmal zu multiplizieren. Selbst dann kann man aber keine exakte Aussage zur Kosten/Nutzung-Rechnung angeben, da diese von zu vielen weiteren Faktoren abhängig ist.

## 6. Probleme und Anmerkungen

Unsere Simulationen waren nur bedingt hilfreich in Bezug auf Einhausung, da wir an einen einzeln stehenden Rack gearbeitet haben. Es fehlte ein gegenüberstehender Rack, um Einhausung optimal zu testen. Zudem haben wir mit provisorischen Materialien (Baufolie) gearbeitet, bei denen man nicht sagen kann, wie sich das auf die Temperatur des Luftstroms ausgewirkt hat. Es ist weiterhin zweifelhaft, dass wir mit dem Klebeband alle Ritzen abdichten konnten, um ein Ausströmen der kalten Luft zu verhindern.

Ein weiteres Problem in der Auswertung unserer Messungen ist die schlechte Vergleichsmöglichkeit der Versuche, da in der Zeit zwischen unseren Aufbauten Änderungen im Aufbau des Racks vorgenommen wurden. Wir wissen dazu weder inwiefern diese Umbauten die Temperatur im Rack verändern, noch wie sich das auf die Kühlung auswirkt. Auch hatten wir keinen Zugriff auf die Auslastung des Serversystems. Die Temperatur schwankt je nach Auslastung, sodass kurzzeitige Temperaturspitzen die Ergebnisse wahrscheinlich verfälscht haben.

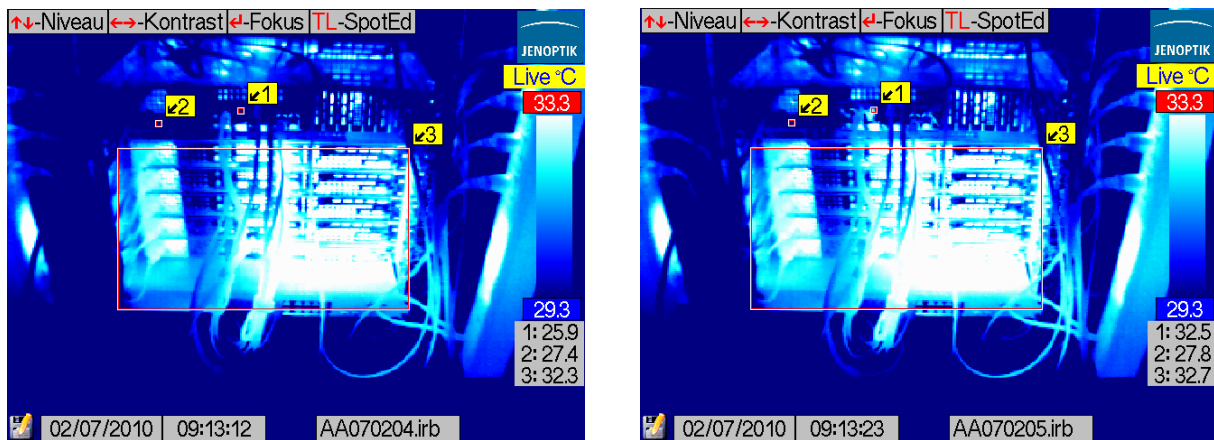


Abbildung 10: Zwei Wärmebilder, welche innerhalb von 10 Sekunden einen Temperaturunterschied von 7°C anzeigen

Wir konnten außerdem nur Tests zur Einhausung von Racks, die im Kaltgangprinzip aufgestellt sind durchführen, da uns die technischen Mittel fehlten eine Einhausung eines Warmgangs zu simulieren. Wir hätten die warme Abluft nicht kühlen können, um sie wieder in die Raumluft abzugeben.

Des Weiteren ist es bei einigen Messungen geschehen das sich die Temperaturwerte des Thermometers unproportional zu denen der Thermogramme verhielten.



Der erste Versuch zur Unterbrechung des Luftstroms verlief laut den Werten der Thermobilder entgegengesetzt unseren Erwartungen. Die Temperatur fiel demnach, obwohl wir den kalten Luftstrom unterbrochen haben und die Temperatur somit hätte steigen müssen. Dies konnten wir uns nicht erklären und haben den Versuch als Messfehler abgetan und wiederholt.

Unsere Kostenberechnungen bestehen aus Schätzungen, da uns konkrete Zahlenwerte nicht zur Verfügung standen. Wir mussten also Werte zur Energieeinsparung durch Einhausung aus anderen Texten entnehmen.

## 7. Fazit

Im Zuge dieses Projektes haben wir uns eingehend mit den Möglichkeiten zur effizienten Kühlung von Rechnerräumen befasst. Wir haben recherchiert, was die Führung des Luftstroms ist und dass man Racks in Reihen nach dem Kaltgang- oder dem Warmgang-Prinzip aufstellen sollte. Da das DKRZ seine IT-Schränke bereits nach dem Kaltgang-Prinzip aufgestellt hat und mittels direkter Luftstromführung durch Bodengitter kühlt, haben wir uns damit beschäftigt, wie sich Einhausung auf die Temperatur der Server auswirkt.

Dazu haben wir Überlegungen angestellt, wie wir eine Einhausung simulieren und wie wir Messungen vornehmen können. Wir haben die Temperaturwerte bei unseren Tests mit einem Messfühler und der Thermokamera gleichzeitig am selben Punkt gemessen. Mit Baufolie, Klebeband und Kartons haben wir Versuche durchgeführt, die einer Einhausung möglichst nahe kommen sollten. Zuerst haben wir den direkten Luftstrom unterbrochen, indem wir einen Karton auf die Bodenplatte gestellt haben. So konnten wir testen wie effektiv die direkte Luftstromführung zur Kühlung ist. Anschließend haben wir zwei Einhausungen simuliert, eine eckige und eine schräge.

Wie erwartet, haben wir mit unseren Einhausungssimulationen nachweisen können, dass die Kühlung durch Einhausung effektiver wird. Wobei eine schräge Einhausung in unseren Tests eine bessere Kühlleistung bewirkt als eine eckige Einhausung. Die Praktikabilität ist allerdings bei eckiger Einhausung besser, sowohl weil es für die Einhausung zweier gegenüberliegender Rackreihen geeigneter ist, als auch weil eine schräge Einhausung es schwer macht, an die Vorderseite des Racks zu gelangen.

Mit den Messergebnissen aus den Tests konnten wir dann weiterarbeiten. Wir haben ein Angebot für eine Einhausung eingeholt.

Leider können wir aufgrund fehlender Informationen zu den Energiekosten, um die Racks am DKRZ um 1°C herunterzukühlen, keine konkrete Aussage über das Einsparpotential und entsprechend der Amortisation der Einhausung laut unserem eingeholten Angebot treffen. Aber wir haben in diversen Quellen prozentuale Werte zum Einsparpotential durch Einhausung gefunden mit denen wir dann eine Hochrechnung angestellt haben.

Unserer Meinung nach wäre es effizienter gewesen auf die Kamera zu verzichten und stattdessen einige Messfühler an den Servern anzubringen. Die Daten der Messfühler wären

sinnvoller auszuwerten gewesen. Vor allem wenn diese mit der zeitlichen Auslastung der Server kombiniert werden könnten.

In jedem Fall ist es sinnvoll für eine solche Aufgabe ein automatisiertes System zu haben. So könnten Langzeitversuche durchgeführt werden. Es werden statistische Ungenauigkeiten und Messfehler minimiert und der Datenbestand besser zu verarbeiten.

## 8. Quellenverzeichnis

DKRZ Broschüre (2009):

[http://www.dkrz.de/pdf/brochure/DKRZ\\_Brochure\\_2009\\_DE\\_screen.pdf](http://www.dkrz.de/pdf/brochure/DKRZ_Brochure_2009_DE_screen.pdf)

letzte Sichtung 19. 10.2010, 12:20 Uhr

IRBIS Software – Software Info (2009):

[http://www.infratec.de/fileadmin/downloads/pdf/IRBISv3\\_Flyer\\_DE.pdf](http://www.infratec.de/fileadmin/downloads/pdf/IRBISv3_Flyer_DE.pdf)

letzte Sichtung 22.10.2010, 21:13 Uhr

Lehmann-IT - Energieeffiziente RZ-Infrastruktur (2010):

Auf Anfrage über [www.lehmann-it.de](http://www.lehmann-it.de) verfügbar

VarioCam Flyer (2007):

[http://www.infratec.de/fileadmin/downloads/pdf/Flyer\\_VC2\\_basic\\_de\\_mail.pdf](http://www.infratec.de/fileadmin/downloads/pdf/Flyer_VC2_basic_de_mail.pdf)

letzte Sichtung 19. 10 2010, 13:45 Uhr

Niemann, John (2008): Gegenüberstellung von Warmgang- und Kaltgang-Einhausungen.

In White Paper Nr. 135 im Auftrag von APC