

KOMITEC automation GmbH
Albin-Trommler-Str. 2
08297 Zwönitz

Energieeffiziente Kühlung von Rechenzentren unter Verzicht auf die Verwendung von Klimaanlage

von

André Augustin & Jochen Schmitt-Ruenhorst

September 2009

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	27123-21/0	Referat	<input type="checkbox"/>	Fördersumme	125.000 EUR
Antragstitel		Energieeffiziente Kühlung von Rechenzentren unter Verzicht auf die Verwendung von Klimaanlage			
Stichworte					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
01.10.2008-30.09.2010	01.10.2008	30.09.2010	Projektende		
Zwischenberichte	31.03.09, 30.06.09				
Bewilligungsempfänger	Komitec automation GmbH Albin-Trommler-Str. 2 08297 Zwönitz			Tel	037754 143-0
				ax	
				Projektleitung	Franz J. Schmitt
			Bearbeiter	André Augustin	
Kooperationspartner	Keine				

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Die Entwicklung neuartiger, kältemittelbasierter Wärmetransportsysteme, der GraviTherm RAIL, ermöglicht die Wärmeabfuhr aus Serversystemen ohne die Zuhilfenahme klimatisierter Luft. Das Einsparpotential für die zum Betrieb eines Rechenzentrums notwendige Elektroenergie liegt bei bis zu 50%. In einem Großversuch soll nachgewiesen werden, dass die Kühlung eines Rechenzentrums mittels GraviTherm RAIL und eines frei gekühlten Wasserkreislaufs unter den klimatischen Bedingungen Mitteleuropas möglich ist.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Zunächst wurden unter Laborbedingungen die Wärmequellen Prozessor und Chipsatz zweier Server mittels GraviTherm RAIL an einen externen Kühlwasserkreislauf angeschlossen. Die Server wurden mit 75mm dickem Styropor eingehaust, um eine möglichst gute Isolation zur Umgebung herzustellen. Die von den unter Vollast laufenden Servern produzierte Wärme wurde mittels der GraviTherm RAIL nach außen transportiert und an den Wasserkreislauf übergeben. Der Vorversuch ergab, dass die Wärmeabfuhr aus den Servern bei Kühlwassertemperaturen von bis zu 40°C problemlos möglich ist. Um die gewonnenen Erkenntnisse auf Rechenzentren übertragen zu können, wurde in einem Serverraum eine frei gekühlte Versuchsanlage mit 40 Servern und einer Gesamtleistungsaufnahme von ca. 6800 W errichtet. Die CPU und der Chipsatz der Server wurden mittels GraviTherm RAIL direkt an den Kühlwasserkreislauf angekoppelt. Um die an die Luft gehende Restwärme abzuführen wurde ein Luft-Wasser-Wärmeübertrager in Kühlwasserkreislauf eingebunden. Die gesamte Anlage wurde in einem Schrank eingehaust. Der Wasserkreislauf wurde mittels eines extern aufgestellten Luft-Wasser-Wärmeübertragers rückgekühlt. In der Anlage wurden Temperatursensoren vom Typ K verteilt und mit einem Datenlogger Agilent 34970A verbunden. Die CPU- und Chipsatztemperaturen wurden mittels einer Software erfasst. Nach der Fertigstellung der Anlage wurden zunächst Funktionstests durchgeführt, um mögliche Fehlerquellen zu erkennen. Anschließend wurden die Grenzparameter der Anlage ermittelt, unter denen ein Betrieb mit freier Kühlung möglich ist. Danach wurde das Verhalten der Anlage bei Auftreten von Störungen, wie dem Ausfall der für den Kühlkreislauf benötigten Pumpen, und dem Ausfall der Ventilatoren untersucht. Den Abschluss bildeten Langzeituntersuchungen des Verhaltens der Anlage.

Ergebnisse und Diskussion

Die umfangreichen Untersuchungen an der Versuchsanlage haben ergeben, dass unter den in Mitteleuropa vorherrschenden Klimabedingungen der Betrieb eines Rechenzentrums ohne energieintensive mechanische Kühlung möglich ist. Die Funktionssicherheit der Anlage steht dabei der einer herkömmlichen Klimatisierung nicht nach.

Die Untersuchungen zum Ausfall wichtiger Systemkomponenten, wie Wasserpumpen und Ventilatoren haben gezeigt, dass die systemkritischen Temperaturen erst nach mehreren Minuten erreicht werden. Dies beruht darauf, dass die im System vorhandene Wassermenge als Puffer dient und dadurch nur eine langsame Erwärmung stattfindet. Ein plötzlich eintretender kritischer Zustand der Anlage, der einen Einsatz in einem Rechenzentrum unmöglich machen würde, konnte während dieser Untersuchungen nicht herbeigeführt werden.

Die Untersuchungen zum Verhalten der Anlage bei hochsommerlichen Temperaturen wurden nach Recherchen bei verschiedenen deutschen Rechenzentrumsbetreibern bei einer Eingangslufttemperatur von 35°C am externen Wärmeübertrager durchgeführt. Deutlich höhere Temperaturen über einen längeren Zeitraum in Tagesverlauf werden derzeit von den Rechenzentrumsbetreibern nicht erwartet. Die Klimatechnik für Rechenzentren wird nach unseren Erkenntnissen momentan für den Temperaturbereich bis 35°C Außentemperatur ausgelegt. Der externe Wärmeübertrager wurde über 24 Stunden mit 35°C kalter Luft rückgekühlt. Dabei ergaben sich eine Vorlauftemperatur von ca. 38°C und eine Rücklauftemperatur von ca. 43°C im Kühlwasserkreislauf. Die Server wurden mit 100% Last gefahren. Es wurden keine systemkritischen Temperaturen erreicht. Die Grenzwerte an den Prozessoren wurden um ca. 5 K unterschritten, was eine ausreichende Sicherheit gewährleistet. Im Falle des Überschreitens kritischer Temperaturen an der CPU würde diese sich selbsttätig herunterregeln und damit eine Beschädigung vermeiden. Die Lufttemperaturen im Serverraum liegen unter diesen extremen Bedingungen bei ca. 40°C. Dies führt aber zu keiner Beeinträchtigung der Hardware, da erst Temperaturen ab ca. 60°C zu einer verminderten Lebensdauer führen. Jedoch wird die Arbeit der Techniker in der durch die hohen Temperaturen erschwert. Da die Techniker aber für Wartungsarbeiten die Serverräume jeweils nur kurzzeitig betreten sehen, Rechenzentrumsbetreiber keinen Nachteil gegenüber klimatisierten Serverräumen. In vielen Rechenzentren wird zur Vermeidung von Bränden mit einer sauerstoffreduzierten Atmosphäre gearbeitet, so dass für das Betreten der Anlagen schon Sicherheitsregeln und Zeitbegrenzungen gelten.

Das Verhalten der Anlage im Normalbetrieb wurde ausführlich untersucht. Der größte Unterschied zu herkömmlich gekühlten Serveranlagen ist dabei die Lufttemperatur in den Serverräumen, die abhängig von den Außentemperaturen ansteigt oder fällt. Im Winter kann das Sinken der Lufttemperatur im Serverraum mittels Drosselung der Ventilatoren der internen und externen Wärmeübertrager verhindert und auf einem vom Betreiber gewünschten Niveau gehalten werden. Die eingesetzte Rechentechnik wurde durch das Kühlkonzept ausreichend gekühlt, so dass sich gegenüber klimatisierten Rechneranlagen keine Nachteile bezüglich Funktionalität und Lebensdauer ergaben. Die für die Kühlung aufzuwendende Energie konnte dauerhaft um ca. 80 % - 90 % gesenkt werden, wenn man davon ausgeht, dass für den Abtransport von 6800 W Wärmeenergie eine Klimaleistung von ebenfalls 6800 W benötigt wird. Die Versuchsanlage benötigte unter voller Auslastung der Rechner und bei einer Außentemperatur von 35°C nur 725 W für die zur Wärmeabfuhr Komponenten.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Untersuchungsergebnisse und die funktionierende Versuchsanlage wurden unter anderem der Strato AG, den Vorständen der Intergen AG und dem Vorstand der Hetzner online AG vorgestellt. Neben der Herstellung von Kontakten zu Webhostern haben wir auch eine Informationsveranstaltung durchgeführt, zu der Rechenzentrumsbetreiber und Serverhersteller eingeladen waren. Unter anderem nahmen an der Veranstaltung Vertreter von Fujitsu, Volkswagen, Infineon, Staatsbetrieb für Sächsische Informatikdienste und dem Sächsischen Staatsministerium des Innern teil.

Fazit

Die Kühlung eines Rechenzentrums mittels GraviTherm RAIL und eines frei gekühlten Wasserkreislaufs ist möglich. Das Einsparpotential für die Gesamtelektroenergieaufnahme von bis zu 50% gegenüber eines mit Klimaanlage gekühlten Rechenzentrums konnte bestätigt werden. Die verwendeten Technologien sind erprobt, die Fertigungsprozesse werden beherrscht. Die Umrüstung bestehender Rechenzentren auf diese Kühltechnologie ist auf Grund des hohen Aufwandes ökonomisch nicht sinnvoll. Jedoch können neu zu errichtende Anlagen ohne finanziellen Mehraufwand mit dem untersuchten Kühlsystem ausgestattet werden und damit schon ab der Inbetriebnahme ihr Einsparpotential ausspielen.

Inhalt

1. Zusammenfassung
2. Einleitung
3. Auswertung der gewonnenen Erkenntnisse
 - 3.1. 24h Dauerbetrieb der Anlage mit 100% Rechnerauslastung und Sommerlichem Tagestemperaturverlauf
 - 3.2. 24h Dauerbetrieb der Anlage mit 100% Rechnerauslastung und 35 °C Umgebungstemperatur
 - 3.3. Verhalten bei Ausfall der Lüftung
 - 3.4. Verhalten bei Ausfall der Pumpen
 - 3.5. Zusammenfassung
4. Marketingmaßnahmen
5. Ökonomie und Ökologie
 - 5.1. Ökonomie
 - 5.2. Ökologie

Verzeichnis der Abbildungen und Diagramme

Abbildungen

- Seite 9 Abbildung 1: Schematische Darstellung der Funktionsweise einer GraviTherm RAIL
- Seite 9 Abbildung 2: GraviTherm RAIL im Einbauzustand und GraviTherm Modul einzeln
- Seite 10 Abbildung 3: Schematische Darstellung der Funktionsweise eines indirekt frei gekühlten Rechenzentrums
- Seite 10 Abbildung 4: Koppelmodul zwischen Kühlwasserkreislauf und GraviTherm RAIL

Diagramme

- Seite 11 Diagramm 1: Kühlung mit Außenluft an einem Sommertag, CPU-Auslastung bei 100%, Durchflussmenge 17,0 l/min
- Seite 12 Diagramm 2: Dauerbelastungstest bei 35,0 °C Umgebungstemperatur und 100% CPU-Auslastung, Durchflussmenge 17,0 l/min
- Seite 13 Diagramm 3: Simulation Totalausfall der Lüftung über 15 Minuten, 100% CPU-Last, Durchflussmenge 17,0 l/min
- Seite 14 Diagramm 4: Simulation Ausfall der Pumpen, 100% CPU-Last, Anfahren der Pumpen bei Erreichen kritischer CPU-Temperaturen mit 17,0 l/min
- Seite 17 Diagramm 5: Energieaufnahme und SNE während Dauerbelastungstest bei 35,0 °C Umgebungstemperatur und 100% CPU-Auslastung, Durchflussmenge 17,0 l/min
- Seite 19 Diagramm 6: Energiekosten von Rechenzentren in Deutschland unter Berücksichtigung verschiedener Betriebsweisen

Begriffe und Definitionen

Stromnutzungs-Effektivität (SNE)

Die Stromnutzungs-Effektivität eines Rechenzentrums (RZ) gibt das Verhältnis zwischen Stromverbrauch der Rechentechnik eines RZ und der dafür notwendigen Kühlleistung an. Die SNE wird wie folgt ermittelt:

$$\text{SNE} = \frac{\text{Stromverbrauch gesamtes RZ}}{\text{Stromverbrauch IT-Geräte}}$$

Wärmerohr / Thermosiphon

Ein Wärmerohr ist ein Wärmeübertrager, der unter Nutzung von Verdampfungswärme eines Stoffes eine hohe Wärmestromdichte erlaubt, d. h. auf kleiner Querschnittsfläche können große Mengen Wärme transportiert werden.

Bei schwerkraftgetriebenen Wärmerohren (auch: Gravitationswärmerohre oder Zwei-Phasen-Thermosiphon) kreist das Medium aufgrund der Schwerkraft. Dadurch fließt das Wärmeträgermedium selbständig in den Verdampfer zurück. Die Wärme wird oft nur über den Sumpf, also bis zur Höhe des Flüssigkeitsspiegels, zugeführt. Dies ist von der Filmbildung durch das zurückfließende (flüssige) Medium abhängig. Sind Thermosiphons in flacher Neigung ausgerichtet, können sie austrocknen, falls das kondensierte Medium nicht schnell genug zurückfließt.

Heat Pipe

Innerhalb von Heatpipes wird mit Kapillaren nach dem Dochtprinzip die Flüssigkeit zum Verdampfer zurückgeführt. Das kondensierte Fluid fließt daher lageunabhängig in der Kapillare zurück zum Verdampfer. Heatpipes arbeiten daher auch unter Schwerelosigkeit. Sie neigen im Vergleich zum Thermosiphon (s. o.) kaum zum Austrocknen, da der Flüssigkeitsstrom durch die Dochtstruktur maßgeblich verbessert wird, was zu einer höheren übertragbaren Leistung führt. Der Docht sorgt außerdem dafür, dass, anders als beim Thermosiphon, die Wärme überall und über eine beliebige Höhe zugeführt werden kann. Verwendung finden Heatpipes überall dort, wo hohe Wärmestromdichten in beliebiger Orientierung gefordert sind.

CPU / Prozessor

Der Hauptprozessor (englisch central processing unit, CPU), im allgemeinen Sprachgebrauch oft auch nur als Prozessor bezeichnet, ist die zentrale Verarbeitungseinheit eines Computers, die in der Lage ist, ein Programm auszuführen.

Chipsatz

Mit Chipsatz bezeichnet man im Allgemeinen mehrere zusammengehörende integrierte Schaltkreise, die zusammen eine bestimmte Aufgabe erfüllen. Im Speziellen ist der Chipsatz auf einer PC-Hauptplatine gemeint, der einen Mikroprozessor bei seiner Aufgabe unterstützt. Grund für die Aufteilung auf mehrere Schaltkreise ist hierbei die Anzahl der benötigten elektrischen Anschlüsse.

Indirekte freie Kühlung

Bei der indirekt freien Kühlung werden Luft-Wasser-Wärmetauscher in den Kühlwasserkreislauf des Kühlsystems eingebunden. Die Wärmelast wird über die Wärmetauscher an die Außenluft abgeführt.

1. Zusammenfassung

In einem Großversuch mit 40 Servern sollte nachgewiesen werden, dass die Kühlung eines Rechenzentrums unter Verzicht auf die herkömmliche Klimatisierung möglich ist. Durch den Wegfall konventioneller Klimatechnik kann der Gesamtenergiebedarf eines Rechenzentrums um bis zu 50% gesenkt werden, da für die Abfuhr der anfallenden Verlustwärmeenergie Energie für die Klimatisierung in gleicher Höhe aufgewendet werden muss. Für den Nachweis wurde in den Aufbau einer Versuchsanlage investiert, die die klimatischen Bedingungen in Mitteleuropa, insbesondere während der Sommermonate, nachzubilden in der Lage war. Die Versuchsanlage wurde planmäßig errichtet und betrieben. Es konnte nachgewiesen werden, dass das Kühlkonzept auch in größeren Anlagen eingesetzt werden kann. Die eingesetzte Rechentechnik wurde durch das Kühlkonzept ausreichend gekühlt, so dass sich gegenüber klimatisierten Rechneranlagen keine Nachteile bezüglich Funktionalität und Lebensdauer ergaben. Die für die Kühlung aufzuwendende Energie konnte dauerhaft um ca. 80 % - 90 % gesenkt werden, wenn man davon ausgeht, dass für den Abtransport von 6800 W Wärmeenergie eine Klimaleistung von ebenfalls 6800 W benötigt wird. Die Versuchsanlage benötigte unter voller Auslastung der Rechner und bei einer Außentemperatur von 35°C nur 725 W für die zur Wärmeabfuhr eingesetzten Komponenten. Das anfallende Warmwasser könnte weiter verwendet werden.

2. Einleitung

Das Kühlkonzept nutzt die Wärmetransporteigenschaften von Wasser, sowie speziell entwickelte Gravitationsrohre (GraviTherm RAIL), um die entstehende Wärme direkt an einen Wasserkreislauf zu übertragen. Ziel ist es, die Raumluft sowenig als möglich für den Transport von Verlustwärme zu benutzen, da Wasser eine 3500fach bessere Wärmekapazität als Luft aufweist.

GraviTherm RAIL ist ein Wärmetransportsystem ähnlich einem Wärmerohr, nur deutlich effizienter und vielseitiger einsetzbar. Die GraviTherm RAIL nutzt den Wechsel zwischen der flüssigen und der gasförmigen Phase eines Kältemittels. Das flüssige Kältemittel nimmt durch das verdampfen an der Wärmequelle die anfallende thermische Energie auf. Der entstehende Dampf kann schnell und effizient über weite Strecken transportiert werden. In der Kondensationszone wird der Dampf verflüssigt und gibt dabei die transportierte thermische Energie ab. Das nun flüssige Kältemittel läuft angetrieben durch die Schwerkraft zurück an seinen Ausgangspunkt und schließt damit den Kreislauf. Der gesamte Kreislauf ist hermetisch verschlossen und wartungsfrei. Die Funktionssicherheit ist millionenfach in Kühlschränken belegt.

Die folgende Abbildung illustriert die Funktionsweise einer GraviTherm RAIL:

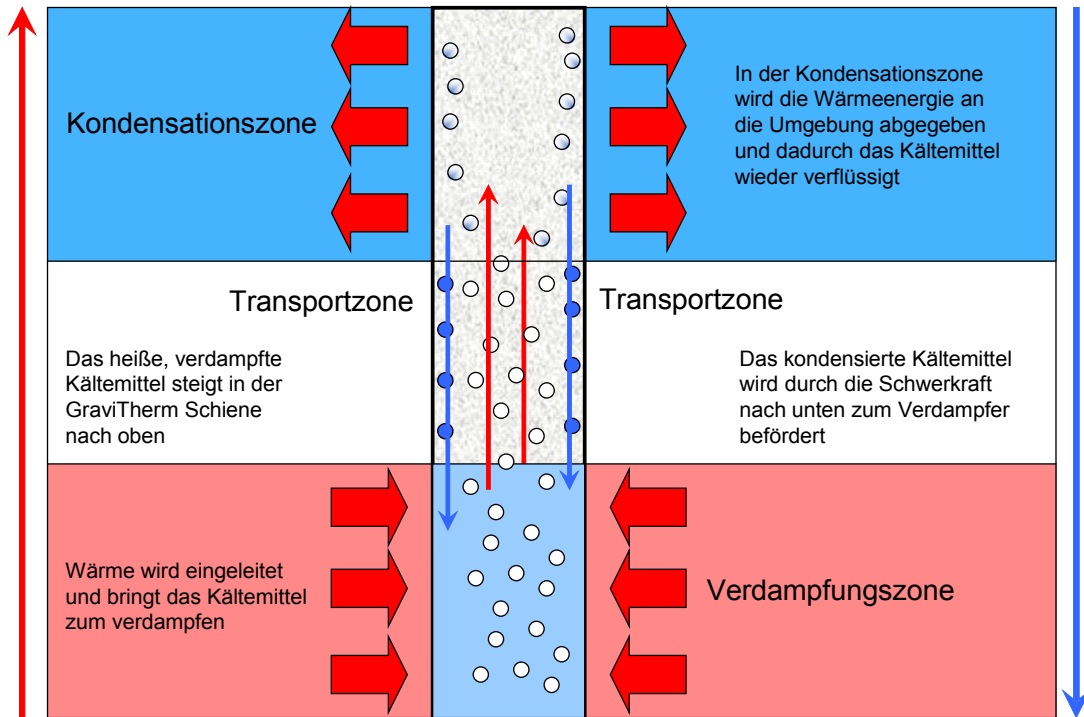


Abbildung 1; Schematische Darstellung der Funktionsweise einer GraviTherm RAIL

Die entstehende Verlustwärme beim Betrieb von Rechnern wird mittels der GraviTherm RAILS direkt an den signifikanten Entstehungsorten, wie CPU, Chipsatz, Grafikkarte, Laufwerke und Netzteil, aufgenommen und zu einem außerhalb des Rechners liegenden Wasserkreislauf transportiert. Damit wird bis zu 90% der Wärme direkt aufgenommen und abtransportiert. Die Restwärme entweicht an die Umgebungsluft und wird von dort durch geeignete Wärmeübertrager ebenfalls an den Wasserkreislauf übergeben.

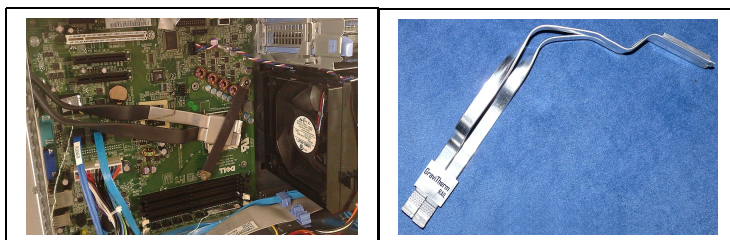
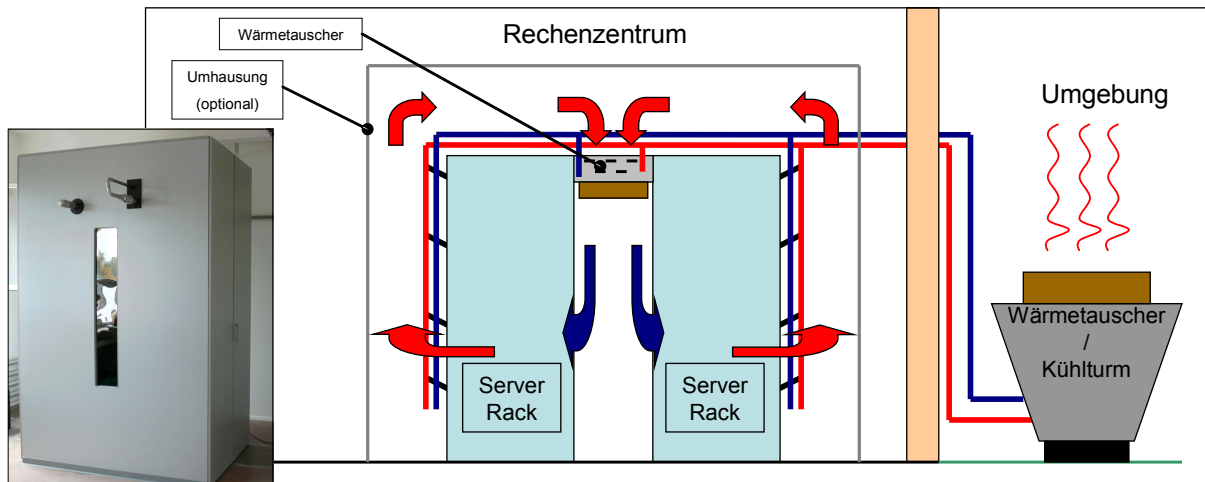


Abbildung 2; GraviTherm RAIL im Einbaustand und GraviTherm Modul einzeln

Über den Wasserkreislauf wird die eingetragene Wärmeenergie zu einem im Freien stehenden Wärmeübertrager transportiert, der die Wärme an die Umgebungsluft abgibt. Man spricht hier auch von indirekter freier Kühlung. Alternativ kann die Wärme auch zur weiteren Nutzung an geeignete Systeme übergeben werden. Das von uns entwickelte System kann bei Außentemperaturen von bis zu 40°C Rechenzentren sicher enthitzen, ohne auf Kälteanlagen zurückgreifen zu müssen. Damit können bis zu 50% der Energie, die für den Betrieb eines herkömmlichen Rechenzentrums mit Klimaanlage notwendig sind eingespart werden. Die anfallende Abwärme kann weiter genutzt werden. Die folgende Abbildung illustriert die Funktionsweise einer des Kühlkonzepts:



1. GraviTherm RAILS sammeln bis zu 80% der anfallenden Verlustwärme von den verbundenen Wärmequellen wie CPU, Chipsatz, Festplatten, Netzteilen etc. ein.
2. Die restlichen 20% Verlustwärme werden über einen Luft-Wasser Wärmeübertrager aus der Umgebungsluft aufgenommen und vom Wasserkreislauf abgegeben.
3. Außerhalb des Servers wird die Wärme direkt an den Wasserkreislauf übergeben. Der Wärmetransport erfolgt hier 3500fach effektiver als bei Luftkühlung.
4. Der Wasserkreislauf wird über die Außenluft rückgekühlt.

Abbildung 3; Schematische Darstellung der Funktionsweise eines indirekt frei gekühlten Rechenzentrums

Zum Transport der Wärmeenergie von den Wärmequellen zum Kühlwasserkreislauf wurden GraviTherm RAILS mit dem Querschnitt 16 x 3 mm eingesetzt. Eine solche GraviTherm RAIL kann ca. 60 W Verlustwärme über eine Distanz von bis zu 1000 mm sicher abtransportieren. Um die an den Kontaktierten Wärmequellen CPU und Chipsatz anfallende Verlustwärme von ca. 115 W an den Wasserkreislauf übergeben zu können, wurden 2 GraviTherm RAIL zu einem Modul zusammengefasst (siehe Abb. 2). Um noch größere Wärmemengen zu transportieren, können auch mehrere GraviTherm RAIL mit der Wärmequelle kontaktiert werden. Die Übergabe der Wärmeenergie an den Wasserkreislauf erfolgte über ein Koppelmodul.

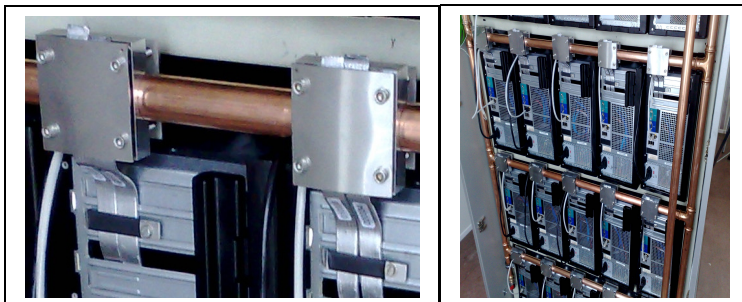


Abbildung 4; Koppelmodul zwischen Kühlwasserkreislauf und GraviTherm RAIL

3. Auswertung der gewonnenen Erkenntnisse

Die Errichtung der Anlage verlief planmäßig. Den vorangegangenen Zwischenberichten ist zu entnehmen, dass während des Aufbaus der Anlage für den Großversuch einige wichtige Erkenntnisse zur effizienteren Gestaltung der Bauteile der Anlage gewonnen werden konnten. Besonders zu erwähnen sind dabei die Modulbauweise der GraviTherm RAILS, welche zu einer erheblichen Vereinfachung des Montageaufwandes führt, sowie die Entwicklung optimierter Koppellemente zwischen GraviTherm und dem Wasserkreislauf.

Zur Evaluation des Kühlkonzeptes und für die Gewinnung von Kunden wurden die nachfolgend beschriebenen Messungen an der Anlage durchgeführt.

3.1. 24h Dauerbetrieb der Anlage mit 100% Rechnerauslastung und Sommerlichem Tagestemperaturverlauf

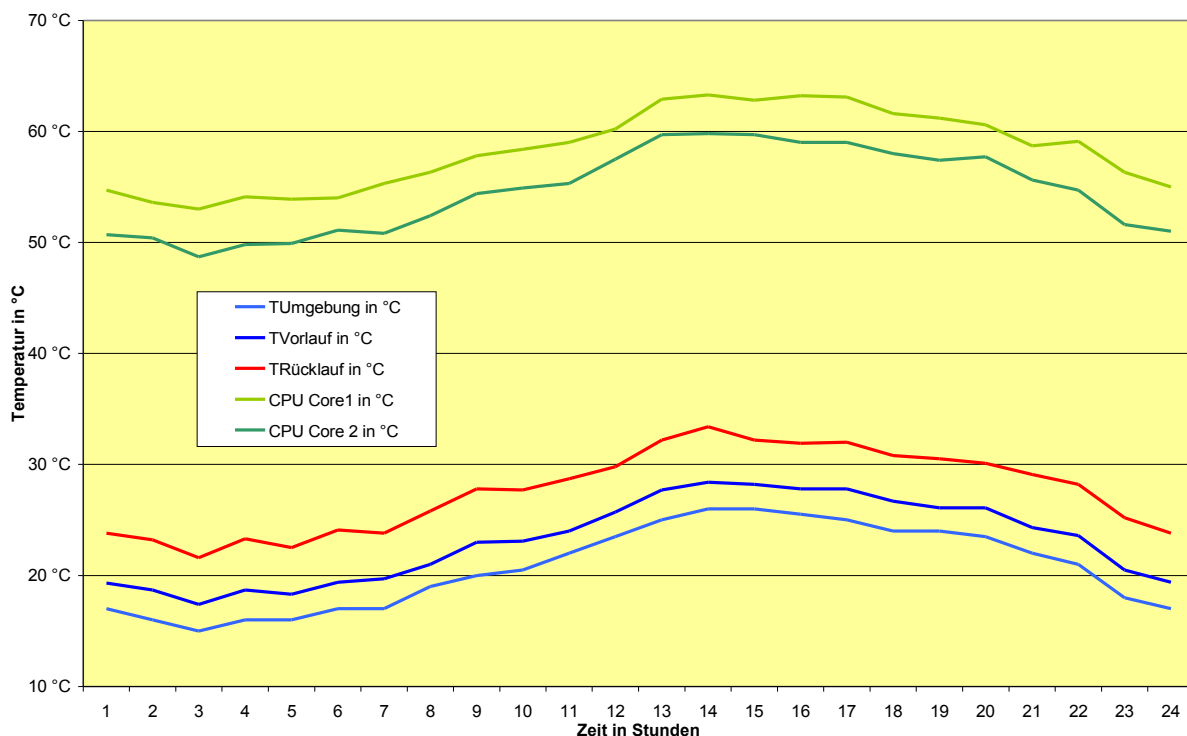


Diagramm 1; Kühlung mit Außenluft an einem Sommertag, CPU-Auslastung bei 100%, Durchflussmenge 17,0 l/min

Die zu Grunde liegenden Messwerte wurden wie folgt ermittelt:

- Dell PowerEdge T105 mit durchschnittlich je 169,6 W Leistungsaufnahme, Messwerte gemittelt
- Kühlung der CPU und des Chipsatzes über 2 GraviTherm RAIL angebunden an den externen Wasserkreislauf
- Datenlogger Agilent 34970A mit Temperatursensoren Typ K zur Erfassung der Temperaturen im Testaufbau
- Datenlogger für die Erfassung der Elektrischen Leistung

Aus den während des Dauertests aufgezeichneten Daten konnten die im Diagramm gezeigten Verläufe gewonnen werden. Die Umgebungsluft, welche zur Rückkühlung der Anlage genutzt wurde lag, je nach Tageszeit, zwischen 15 °C und 26 °C. Die CPU-Grenztemperatur wurde in keinem Fall überschritten.

Die Anlage hatte während des Versuchs eine mittlere Leistungsaufnahme von 7510 W (6785 W Rechnerleistung, 725 W Kühlleistung). Dies entspricht einer Stromnutzungs-Effektivität von 1,1. Der Betrieb der Anlage mit 100%iger Rechnerauslastung ist unter den gemessenen Umgebungszuständen ohne Einschränkungen möglich.

3.2. 24h Dauerbetrieb der Anlage mit 100% Rechnerauslastung und 35 °C Umgebungstemperatur

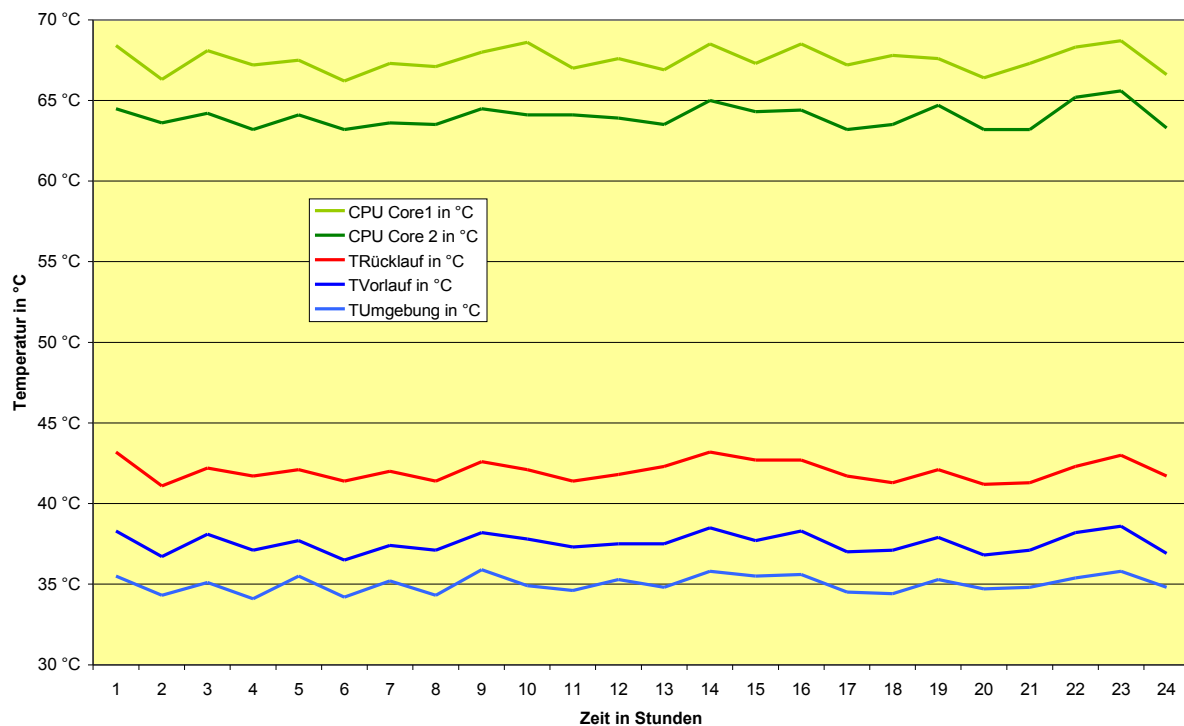


Diagramm 2; Dauerbelastungstest bei 35,0 °C Umgebungstemperatur und 100% CPU-Auslastung, Durchflussmenge 17,0 l/min

Die zu Grunde liegenden Messwerte wurden wie folgt ermittelt:

- Dell PowerEdge T105 mit durchschnittlich je 169,6 W Leistungsaufnahme, Messwerte gemittelt
- Kühlung der CPU und des Chipsatzes über 2 GraviTherm RAIL angebunden an den externen Wasserkreislauf
- Datenlogger Agilent 34970A mit Temperatursensoren Typ K zur Erfassung der Temperaturen im Testaufbau
- Datenlogger für die Erfassung der Elektrischen Leistung

Aus den während des Dauertests aufgezeichneten Daten konnten die im Diagramm gezeigten Verläufe gewonnen werden. Die Umgebungsluft, welche zur Rückkühlung der Anlage genutzt wurde lag, im Mittel bei 35°C. Diese Temperatur wird zurzeit von Rechenzentrumsbetreibern als Obergrenze für in Deutschland dauerhaft auftretende Außentemperaturen angesehen und dient als Referenzwert für Belastungstests.

Die CPU-Grenztemperatur wurde in keinem Fall überschritten.
 Die Anlage hatte während des Versuchs eine mittlere Leistungsaufnahme von 7510 W (6785 W Rechnerleistung, 725 W Kühlleistung). Dies entspricht einer Stromnutzungs-Effektivität von 1,1. Der Betrieb der Anlage mit 100%iger Rechnerauslastung ist unter den gemessenen Umgebungszuständen ohne Einschränkungen möglich. Es konnte nachgewiesen werden, dass selbst bei solch hohen Umgebungstemperaturen auf eine maschinelle Kühlung verzichtet werden kann.

3.3. Verhalten bei Ausfall der Lüftung

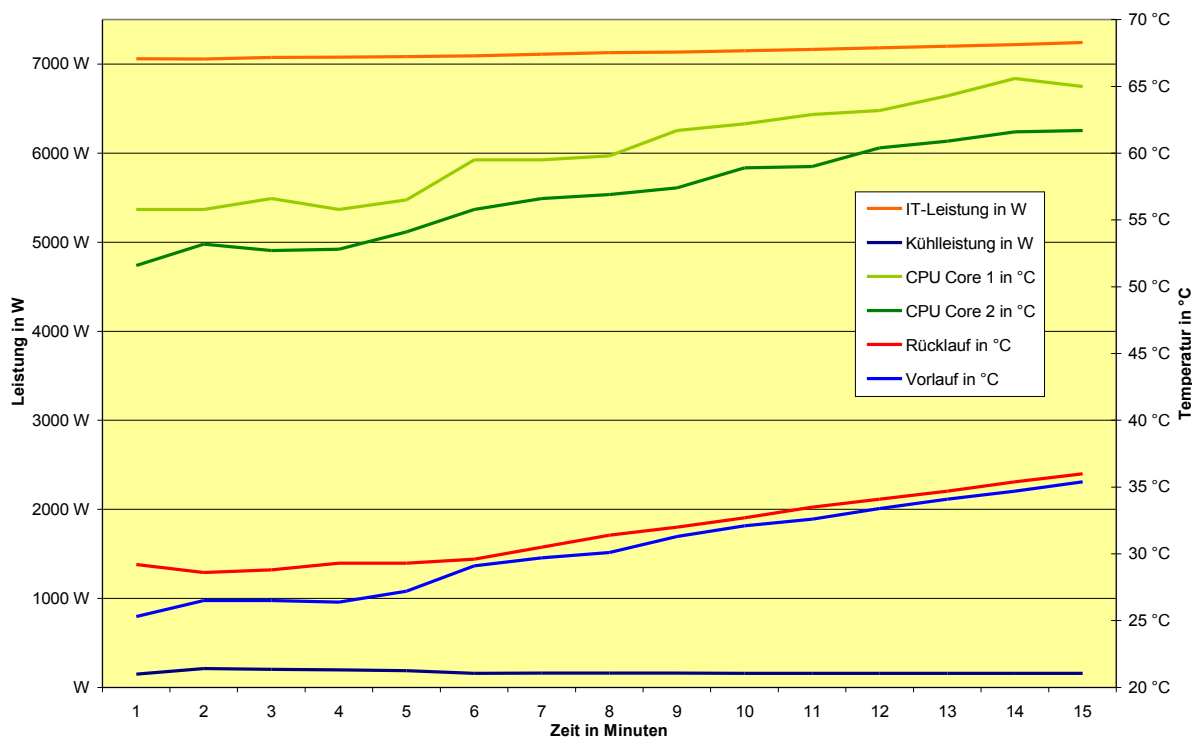


Diagramm 3; Simulation Totalausfall der Lüftung über 15 Minuten, 100% CPU-Last, Durchflussmenge 17,0 l/min

Die zu Grunde liegenden Messwerte wurden wie folgt ermittelt:

- Dell PowerEdge T105 mit durchschnittlich je 169,6 W Leistungsaufnahme, Messwerte gemittelt
- Kühlung der CPU und des Chipsatzes über 2 GraviTherm RAIL angebunden an den externen Wasserkreislauf
- Datenlogger Agilent 34970A mit Temperatursensoren Typ K zur Erfassung der Temperaturen im Testaufbau
- Datenlogger für die Erfassung der Elektrischen Leistung

Während des Versuchs wurden für 15 Minuten alle Lüfter, einschließlich des Ventilators des Rückkühlers abgeschaltet. Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, wie viel Reaktionszeit im Havariefall verbleibt.

Ausgehend von einer Vorlauftemperatur von 25 °C, wurde ermittelt wie lange das System bei 100% Rechnerauslastung stabil läuft ohne kritische Temperaturwerte zu erreichen.

Das Ergebnis der Untersuchung ist im oben stehenden Diagramm abgebildet. Im Falle eines Ausfalls der Lüftungstechnik würden also mehr als 15 Minuten Zeit bleiben, um geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten. Im Verhältnis zu den wenigen Sekunden Reaktionszeit, die bei einem Stromausfall im Rechenzentrum für Gegenmaßnahmen verbleiben ist dies ein hervorragendes Ergebnis.

3.4. Verhalten bei Ausfall der Pumpen

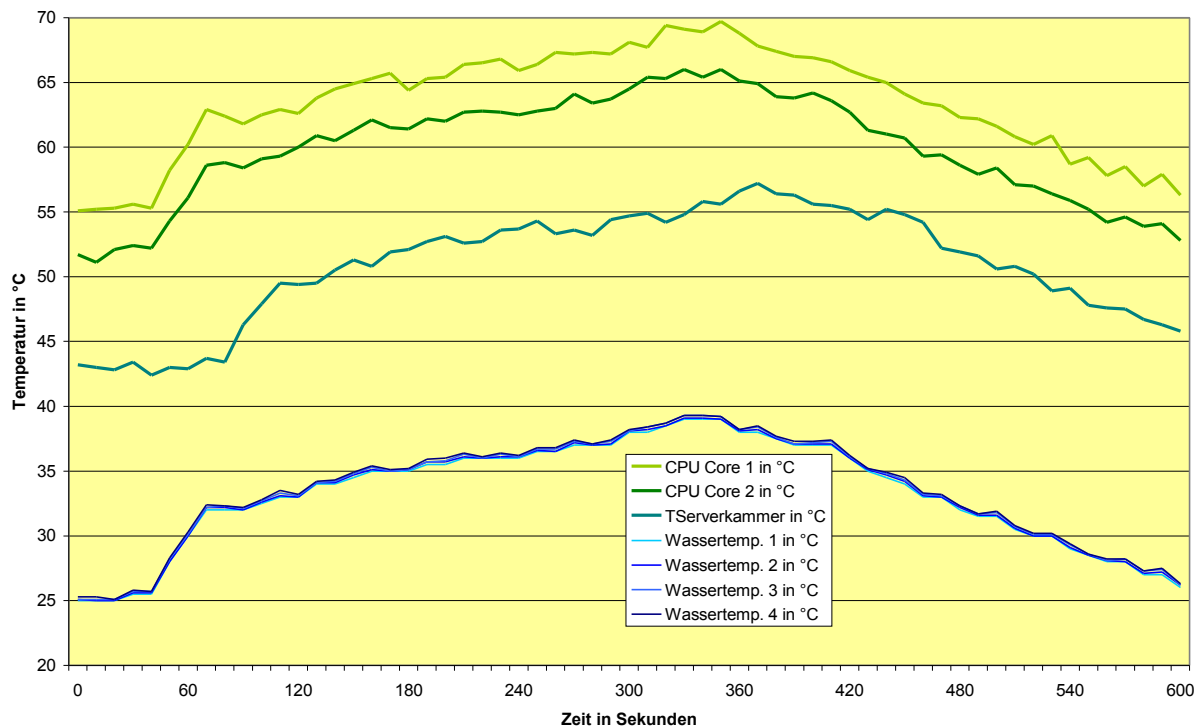


Diagramm 4; Simulation Ausfall der Pumpen, 100% CPU-Last, Anfahren der Pumpen bei Erreichen kritischer CPU-Temperaturen mit 17,0 l/min

Die zu Grunde liegenden Messwerte wurden wie folgt ermittelt:

- Dell PowerEdge T105 mit durchschnittlich je 169,6 W Leistungsaufnahme, Messwerte gemittelt
- Kühlung der CPU und des Chipsatzes über 2 GraviTherm RAIL angebunden an den externen Wasserkreislauf
- Datenlogger Agilent 34970A mit Temperatursensoren Typ K zur Erfassung der Temperaturen im Testaufbau
- Datenlogger für die Erfassung der Elektrischen Leistung

Die Wassertemperaturen wurden an 4 Messpunkten jeweils direkt neben einer Koppelstelle zwischen Server und Wasserkreislauf erfasst.

Die Abschaltung der Pumpe führte zu einem zunächst sprunghaften, dann verlangsamten Anstieg der erfassten Temperaturen. Kritische Temperaturwerte wurden erst nach ca. 6 Minuten erreicht. Um Schäden an der Anlage zu verhindern wurde deshalb die Pumpe nach 6 Minuten wieder in Betrieb genommen. Die Temperaturwerte in der Anlage konnten innerhalb weniger Minuten wieder stabilisiert werden.

Der Versuchsaufbau ist also träge genug, um mehrere Minuten ohne Wasserzirkulation Verlustwärme aufzunehmen und die Rechentechnik sicher zu kühlen. Da die Pumpensysteme immer redundant ausgelegt werden, führt ein Ausfall der Pumpen nicht sofort zur Notabschaltung des Gesamtsystems. Für das Anfahren der zweiten Pumpe ist genügend Puffer vorhanden.

3.5. Fazit

Die umfangreichen Untersuchungen an der Versuchsanlage haben ergeben, dass unter den in Mitteleuropa vorherrschenden Klimabedingungen der Betrieb eines Rechenzentrums ohne energieintensive mechanische Kühlung möglich ist. Die Funktionssicherheit der Anlage steht dabei der einer herkömmlichen Klimatisierung nicht nach. Die Untersuchungen zum Ausfall wichtiger Systemkomponenten, wie Wasserpumpen und Ventilatoren haben gezeigt, dass die Systemkritischen Temperaturen erst nach mehreren Minuten erreicht werden. Dies beruht darauf, dass die im System vorhandene Wassermenge als Puffer dient und dadurch nur eine langsame Erwärmung stattfindet. Ein plötzlich eintretender kritischer Zustand der Anlage, der einen Einsatz in einem Rechenzentrum unmöglich machen würde, konnte während dieser Untersuchungen nicht herbeigeführt werden.

Die Untersuchungen zum Verhalten der Anlage bei hochsommerlichen Temperaturen wurden nach Recherchen bei verschiedenen deutschen Rechenzentrumsbetreibern bei einer Eingangslufttemperatur von 35°C am externen Wärmeübertrager durchgeführt. Deutlich höhere Temperaturen über einen längeren Zeitraum im Tagesverlauf werden derzeit von den Rechenzentrumsbetreibern nicht erwartet. Die Klimatechnik für Rechenzentren wird nach unseren Erkenntnissen momentan für den Temperaturbereich bis 35°C Außentemperatur ausgelegt. Der externe Wärmeübertrager wurde über 24 Stunden mit 35°C kalter Luft rückgekühlt. Dabei ergaben sich eine Vorlauftemperatur von ca. 38°C und eine Rücklauftemperatur von ca. 43°C im Kühlwasserkreislauf. Die Server wurden mit 100% Last gefahren. Es wurden keine Systemkritischen Temperaturen erreicht. Die Grenzwerte an den Prozessoren wurden um ca. 5 K unterschritten, was eine ausreichende Funktionssicherheit gewährleistet. Im Falle des Überschreitens kritischer Temperaturen an der CPU würde diese sich selbsttätig herunterregeln und damit eine Beschädigung vermeiden. Die Lufttemperaturen im Serverraum liegen unter diesen extremen Bedingungen bei ca. 40°C. Dies führt aber zu keiner Beeinträchtigung der Hardware, da erst Temperaturen ab ca. 60°C zu einer verminderten Lebensdauer führen. Jedoch wird die Arbeit der Techniker in der durch die hohen Temperaturen erschwert. Da die Techniker aber für Wartungsarbeiten die Serverräume jeweils nur kurzzeitig betreten sehen Rechenzentrumsbetreiber keinen Nachteil gegenüber klimatisierten Serverräumen. In vielen Rechenzentren wird zur Vermeidung von Bränden mit einer sauerstoffreduzierten Atmosphäre gearbeitet, so dass für das Betreten der Anlagen schon Sicherheitsregeln und Zeitbegrenzungen gelten.

Das Verhalten der Anlage im Normalbetrieb wurde ausführlich untersucht. Der größte Unterschied zu herkömmlich gekühlten Serveranlagen ist dabei die Lufttemperatur in den Serverräumen, die abhängig von den Außentemperaturen ansteigt oder fällt. Im Winter kann das Sinken der Lufttemperatur im Serverraum mittels Drosselung der Luftzufuhr durch die Ventilatoren an den internen und externen Wärmeübertragern verhindert und auf einem vom Betreiber gewünschten Niveau gehalten werden.

Die eingesetzte Rechentechnik wurde durch das Kühlkonzept ausreichend gekühlt, so dass sich gegenüber klimatisierten Rechneranlagen keine Nachteile bezüglich Funktionalität und Lebensdauer ergaben. Die für die Kühlung aufzuwendende Energie konnte dauerhaft um ca. 80 % - 90 % gesenkt werden, wenn man davon ausgeht, dass für den Abtransport von 6800 W Wärmeenergie eine Klimaleistung von ebenfalls 6800 W benötigt wird. Im Gegensatz dazu benötigte die Versuchsanlage unter voller Auslastung der Rechner und bei einer Außentemperatur von 35°C nur 725 W für die zur Wärmeabfuhr eingesetzten Komponenten.

4. Marketingmaßnahmen

Bereits in der Planungsphase bestanden Kontakte zum Vorstand der Intergen AG. Wir konnten dadurch auf umfangreiches Fachwissen zur Auslegung von Rechenzentren mit dedizierten Servern zurückgreifen.

Die Ergebnisse des Großversuches konnten den Vorstand der Intergen AG überzeugen das geplante Rechenzentrum in Straßburg mit der GraviTherm Kühltechnologie auszustatten. Das Projekt wurde jedoch auf Grund des durch die Wirtschaftskrise geringer ausfallenden Kundenzuwachses vorerst gestoppt.

Der Vorstandsvorsitzende der Hetzner Online AG hat die Versuchsanlage besichtigt. Bei dem Besuch haben wir erfahren, dass die Hetzner Online AG im vogtländischen Falkenstein eine größere Gewerbefläche erworben hat, auf der in den kommenden Jahren je nach Bedarf Hallen für jeweils 10 – 12000 Server errichtet werden. Das von uns vorgestellte Kühlkonzept ist für Hetzner Online interessant. Derzeit wird geprüft, inwieweit unser Konzept für den Einsatz in zukünftig geplanten Serverhallen in Falkenstein einsetzbar ist.

Neben der Herstellung von Kontakten zu Webhostern haben wir auch eine Informationsveranstaltung durchgeführt, zu der Rechenzentrumsbetreiber und Serverhersteller eingeladen waren. Unter anderem nahmen an der Veranstaltung Vertreter von Fujitsu, Volkswagen, Infineon, Staatsbetrieb für Sächsische Informatikdienste und dem Sächsischen Staatsministerium des Innern teil. Es konnten dadurch wertvolle neue Kontakte geknüpft werden, jedoch gibt es derzeit noch keine konkreten Ansätze für Projekte, bei denen unser Kühlkonzept zum Einsatz kommen wird.

5. Ökonomische und Ökologische Auswertung

5.1. Ökonomie

Der Energieaufwand für die Betriebliche Rechentechnik ist in den letzten Jahren permanent angestiegen. Das liegt zum einen an der immer aufwändigeren Rechentechnik und zum anderen an der Zunahme der Aufgaben, die durch Computer in den Unternehmen gelöst werden müssen.

Die anfallende Verlustwärme ist so groß, dass bereits der Betrieb von wenigen Servern den Einsatz einer Klimaanlage notwendig macht. Der Energiebedarf der Klimaanlage entspricht in etwa dem der zu kühlenden Rechentechnik. Daraus lässt sich die Stromnutzungs-Effektivität (SNE) eines Rechenzentrums (RZ) ermitteln:

$$\text{SNE} = \frac{\text{Stromverbrauch gesamtes RZ}}{\text{Stromverbrauch IT-Geräte}}$$

Bei herkömmlichen Rechenzentren ergibt sich ein SNE die zwischen 1,8 und 2 liegt. Es werden also 80% - 100% zusätzliche Energie benötigt, um die für den Betrieb des Rechenzentrums notwendigen Grenztemperaturen einzuhalten.

Modernere Konzepte zur Klimatisierung von Rechenzentren erreichen eine SNE von 1,3 bis 1,2. Da diese Konzepte hohe Anforderungen an die Effizienz der eingesetzten Rechentechnik haben und damit erhöhte Kosten verbunden sind, werden sie derzeit aber noch selten umgesetzt.

Jedoch wird in Zeiten stetig ansteigender Energiepreise das Betreiben von Servern zu einem immer größeren Kostenfaktor. Weitere Zusatzkosten entstehen durch die Notwendigkeit von abgeschlossenen separaten Serverräumen, um die Klimatisierungs- und Sicherheitsanforderungen zu erfüllen.

Aufbau und Betrieb einer Anlage nach dem Vorbild unseres im Großversuch getesteten Systems verursachen deutlich weniger Kosten, als herkömmliche Kühlösungen. Die Anschaffungskosten liegen auf dem gleichen Niveau, wie die sonst üblichen Kosten für die Kühltechnik eines Rechenzentrums. Die Betriebskosten sind jedoch minimal, da der Energieaufwand für die Kühlung nur noch ca. 1/10 der Energieaufnahme der installierten Rechentechnik ausmacht. Das durch den Prozess erzeugte Warmwasser kann einer weiteren Nutzung zugeführt werden.

Das folgende Diagramm zeigt einen 24stündigen Belastungstest mit 100 % CPU-Auslastung. Eine SNE von 1,1 wurde dabei dauerhaft erreicht.

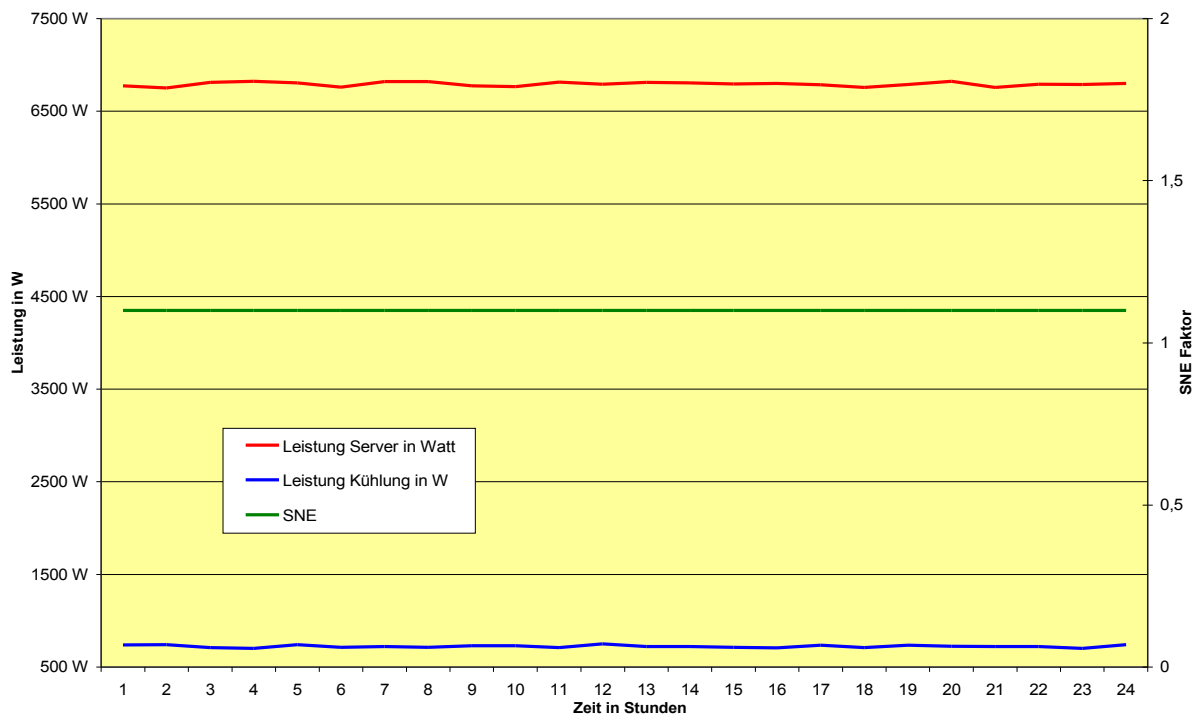


Diagramm 5; Energieaufnahme und SNE während Dauerbelastungstest bei 35,0 °C Umgebungstemperatur und 100% CPU-Auslastung, Durchflussmenge 17,0 l/min

Bei geringerer Belastung des Rechenzentrums kann die SNE durch das Drosseln der Pumpen- und Lüfterleistung weiter verbessert werden.

5.2. Ökologie

Durch die Messungen konnte nachgewiesen werden, dass die Kühlung eines Rechenzentrums nach unserem Konzept die Gesamtenergieaufnahme um 40% senken kann. Selbst gegenüber teurerer State of the Art Kühllösungen kann die Energieaufnahme noch um 15% verringert werden. Da die mehr benötigte Energie auch nicht erzeugt werden muss werden dadurch auch die bei der Energieerzeugung Emissionen reduziert.

Ein weiterer Vorteil des Konzeptes liegt im Einsatz der GraviTherm RAILS. Neben den technologischen Vorteilen hat die Verwendung von GraviTherm RAILS auch einen Ressourcenschonenden Effekt. Eine GraviTherm RAIL aus Aluminium mit einer Leistungsfähigkeit von 120 Watt wiegt ca. 60 Gramm. Eine ebenso effektive Anordnung von Heat Pipes wiegt ca. 500 Gramm und besteht aus Kupfer. Neben der Gewichtseinsparung wird bei der Herstellung der notwendigen Aluminiummenge auch nur 50% der Energie verbraucht, die zur Herstellung des Kupfermaterials notwendig wäre.

Bezogen auf ein geplantes Rechenzentrum mit 5760 Servern mit je 80 W Leistungsaufnahme ergibt sich folgende Vergleichsrechnung:

5760 Server á 80 W haben eine Gesamtleistungsaufnahme von 460,8 kW

Die aufgenommene Elektroenergie wird in Wärmeenergie umgewandelt. Es sind also 460,8 kW Wärmeenergie anzuführen.

Herkömmliche Klimaanlage

Die Abwärme der Server wird durch die in den Servern verbauten Kühler an die Raumluft im Rechenzentrum übergeben. Die Raumluft wird mittels Klimaanlage auf 16°C – 20°C, je nach Anforderung des Rechenzentrumsbetreibers, rückgekühlt. Der notwendige Energieaufwand entspricht der zu kühlenden Leistung. Es sind also 460,8 kW Klimaleistung notwendig, um die Wärme aus dem Rechenzentrum abzuführen. Der Gesamtenergiebedarf des Rechenzentrums beträgt 921,6 kW

Kühlung mit GraviTherm

Um 460,8 kW Wärmeleistung abzuführen werden 1,6 kW Pumpenleistung für den Wasserkreislauf, sowie 45,0 kW Ventilatorleistung an den Wärmeübertragern benötigt. Der Gesamtenergiebedarf des Rechenzentrums beträgt 507,4 kW.

Gegenüber der herkömmlichen Klimatisierung werden also nur noch 10,1% Kühlleistung benötigt.

Laut einer Studie der Österreichischen Energieagentur aus dem Jahr 2007 verbrauchen die Rechenzentren innerhalb der EU 40 Terrawattstunden Elektroenergie pro Jahr. Weltweit wurden im Jahr 2005 180 Terrawattstunden Elektroenergie für den Betrieb von Servern verbraucht. Dies entspricht der Leistung von 18 Kernkraftwerken. Man geht davon aus, dass sich der Energiebedarf bis zum Jahr 2011 noch einmal verdoppeln wird.

Der Ersatz von herkömmlichen Kälteanlagen durch das in unserem Projekt entwickelte Kühlsystem führt zu einer Einsparung von bis zu 45% der vorher für den Betrieb eines Rechenzentrums notwendigen Elektroenergie. Zusätzlich wird die Abwärme in einem verwertbaren Zustand zur weiteren Verwendung bereitgestellt. Da Rechenzentren unterbrechungsfrei arbeiten ist die Abwärme ganzjährig unter stabilen Bedingungen verfügbar und damit werthaltig.

Energiekosten von Rechenzentren in Deutschland

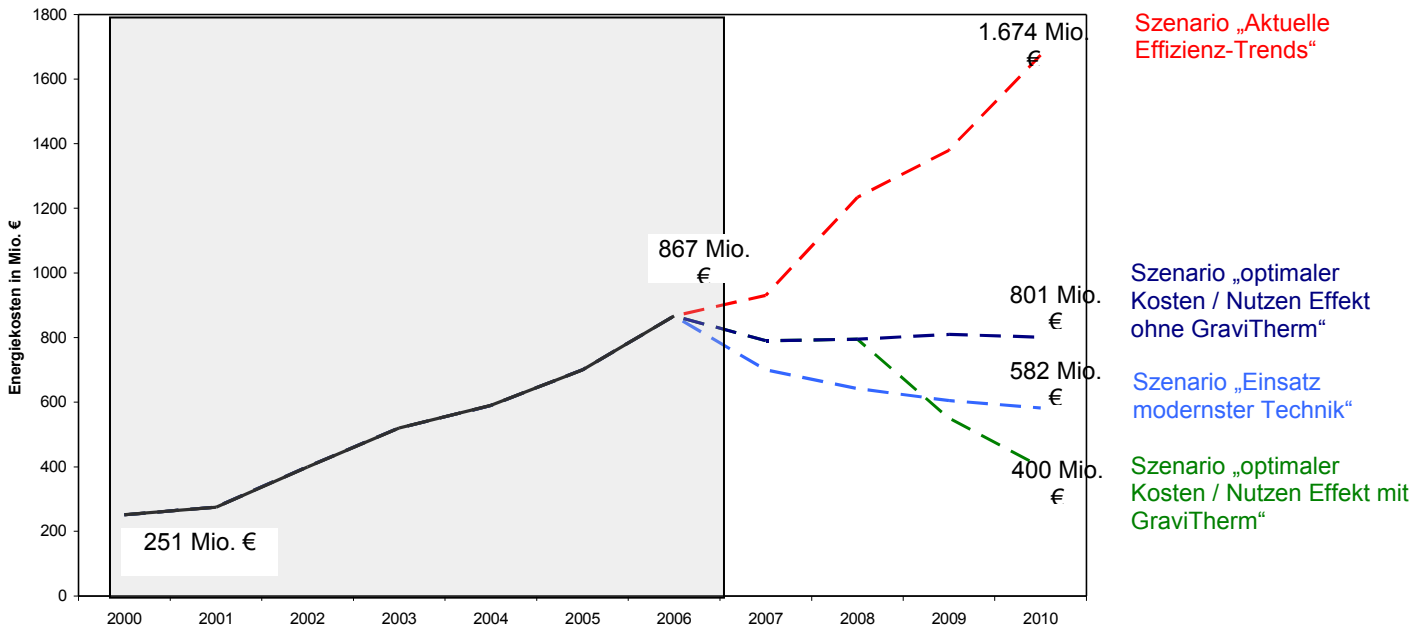


Diagramm 6; Energiekosten von Rechenzentren in Deutschland unter Berücksichtigung verschiedener Betriebsweisen
Quelle: Dr. Fichter/Borderstep 2007

Durch den flächendeckenden Einsatz der von uns entwickelten Technologie kann der Energieverbrauch von Rechenzentren signifikant gesenkt werden. Eine weitere Nutzung der anfallenden Abwärme führt zu einer neutralen Energiebilanz von Rechenzentren.