



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 27. November 2009

Wärmerückgewinnung in USV-Anlagen

Analyse einer Erstanlage und Potentialabschätzung

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien & -anwendungen
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

awtec AG für Technologie und Innovation
Leutschenbachstrasse 48
CH-8050 Zürich
www.awtec.ch

Autoren:

Stefan Stahl, awtec AG für Technologie und Innovation, stefan.stahl@awtec.ch
Dr. Andreas Schlegel, awtec AG für Technologie und Innovation,
andreas.schlegel@awtec.ch

BFE-Bereichsleiter: Dr. Michael Moser

BFE-Programmleiter: Roland Brüniger

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153914 / 103016

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Resumé	4
Abstract	5
Ausgangslage	7
USV-Anlagen	7
IT-Räume	7
Ziel der Arbeit	8
Methode	8
Ergebnisse	9
Analyse Erstanlage <i>SAP Regensdorf</i>	9
Aufbau der Anlage	10
Betriebsdaten	11
1. Auslastung	11
2. Gewonnene Betriebsdaten	11
Wärmerückgewinnung und Energieeinsparung	11
Potentialabschätzung	13
Konzepte Kühlung/Wärmerückgewinnung	13
1. Luftkühlung mit Kältemaschine	13
2. Aussenluftkühlung	14
3. Wasserkühlung (Direkte Kühlung)	14
4. Kühlung mit Erdsonde	15
Analyse	16
Projektion	19
1. Kleinserversystem in KMU	19
2. IT-Raum (<i>Messe Basel</i>)	20
3. Rechenzentrum (<i>SAP Regensdorf</i>)	20
4. Projektion auf die ganze Schweiz	21
Diskussion	23
USV-Wärmerückgewinnungsanlage <i>Gretag/SAP</i>	23
Kombinierbarkeit von Wärmerückgewinnung und Freecooling	23
Potential der direkten Kühlung	23
Potential der Kombination mit Wärmepumpe	24
Schlussfolgerungen	25
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	26
Referenzen	26
Anhang	27
Messdatenauswertung USV-WRG-Anlage <i>Gretag/SAP</i>	27
Wärmerückgewinnung USV-WRG-Anlage	28
Szenarien Kühlung	29
Szenarien Kühlung	29
Szenarien Beispielsysteme	30
Szenarien Beispielsysteme	31

Zusammenfassung

USV-Anlagen (Unterbrechungsfreie Stromversorgung) erzeugen grosse Verlustleistungen, die mit Kälteaggregaten abgeführt werden müssen.

awtec hat eine bisher einzigartige USV-Anlage mit integrierter Wärmerückgewinnung (WRG) entwickelt und 2001 installiert (Gebäude *Gretag/SAP* in Regensdorf), die bis heute störungsfrei in Betrieb ist. Mit dieser Anlage kann die Verlustwärme zurückgewonnen und dazu auch elektrische Energie für die Kühlanlage eingespart werden.

Aus den Messdaten ist ersichtlich, dass die Anlage während der Heizperiode praktisch die gesamte Verlustwärme (ca. 20 MWh/Jahr) ans Heizsystem abgegeben hat. Die energieoptimierte Kälteanlage des Gebäudes besitzt jedoch eine eigene WRG-Anlage, die die Wärme zurückgewinnt. Deshalb kann die reale jährliche Energieeinsparung nur mit ca. 4 MWh elektrischer Energie beziffert werden. Der Prototyp zeigt, dass das System robust funktioniert und in einem geeigneten System grosses Einsparungspotential (ohne zentrale WRG: 4 MWh elektrisch + 20 MWh Wärme) ohne erhöhte Investitionskosten besitzt.

Basierend auf der USV-WRG-Entwicklung, früheren BFE-Projekten und einer Marktrecherche wurden Szenarien für die Kühlung und Wärmerückgewinnung von USV-Anlagen generiert. Da die gleichen Konzepte auch für die Kühlung von anderen IT-Komponenten funktionieren, wurden diese mit betrachtet.

Bei der Analyse der Szenarien hat sich gezeigt, dass in diesem Bereich ein grosses Einsparpotential für elektrische Energie und für Wärme vorhanden ist.

Insbesondere die direkte Kühlung der IT-Komponenten mit Kühlwasser bietet gegenüber der gebräuchlichen Raumluftkühlung grosse Vorteile für die Rückgewinnung der Wärme und den Freecooling-Betrieb (Kühlung ohne Einsatz der Kältemaschine). Diese Systeme werden im Moment hauptsächlich für Spezialanwendungen oder als Notlösungen bei Überhitzungsproblemen eingesetzt.

Die passive Kühlung via Erdsonden, welche heute hauptsächlich bei Gebäuden mit kleinen Wärmepumpenanlagen verwendet werden, bietet aufgrund des Temperaturniveaus ein interessantes, kaum verbreitetes Konzept zur Kühlung von IT-Anlagen.

Weiter ist zu sehen, dass das Kosten- und CO₂-Einsparungspotential von Systemen mit Wärmerückgewinnung je nach Anlagegrösse und -ausstattung grösser sein kann als beim üblicherweise bevorzugten Freecooling.

Um das grosse Energieeinsparungspotential ausschöpfen zu können, müssten allerdings die Lösungen im Markt bekannt sein und die Planung interdisziplinär mit Klima-, Heizungs- und IT-Technikern durchgeführt werden, was heute nicht der Fall ist. Nur mit interdisziplinärer Planung und systemübergreifendem Denken kann das optimale System aus den vorhandenen Komponenten erstellt werden.

Resumé

Des systèmes d'alimentation sans interruption (ASI) génèrent des pertes significantes, qui doivent être dissipées avec installations réfrigérantes.

awtec a développée un système ASI unique avec récupération de la chaleur intégrée qui était installé en 2001 (bâtiment *Gretag/SAP* à Regensdorf) et fonctionne sans problème jusqu'à présent. Avec ce système, la chaleur perdue peut être récupérée et l'énergie électrique demandée par le système de réfrigération peut être économisée.

Le mesurage montre que pendant la saison de chauffage, quasi toutes les pertes de chaleur (environ 20 MWh/an) étaient transférées au système de chauffage. Puisque le système de réfrigération du bâtiment a sa propre récupération de la chaleur, les économies d'énergie électrique réelles annuelles peuvent être estimées qu'environ 4 MWh. Le prototype montre la

fonction robuste du système qui donne la possibilité d'économiser beaucoup d'énergie (sans récupération de la chaleur centrale: 4 MWh électrique + 20 MWh chaleur) sans augmenter les investissements.

Sur la base du développement de l'ASI avec récupération de chaleur, des projets précédents au BFE et d'une étude de marché, on a généré des scénarios pour le refroidissement et la récupération de la chaleur des systèmes ASI. Puisque les mêmes concepts s'appliquent également au refroidissement des serveurs et à autres composantes de l'informatique, ils étaient aussi considérés.

Dans l'analyse des scénarios on a constaté la possibilité de grandes économies d'énergie électrique et thermique dans ce domaine.

En particulier, le refroidissement direct des composants informatiques avec un système de refroidissement par eau donne de gros avantages pour la récupération de la chaleur et le free cooling (refroidissement sans utilisation du refroidisseur) en comparaison au refroidissement à air conventionnel. Ces systèmes sont actuellement utilisés principalement pour des applications spéciales ou comme solution en cas de problèmes de surchauffe.

Le refroidissement passif avec sondes géothermiques, qui sont aujourd'hui principalement utilisées pour les bâtiments avec des systèmes de petite pompe à chaleur, offre une intéressante approche au refroidissement des équipements informatiques en raison des niveaux de température.

L'analyse montre aussi que la réduction des coûts et de CO₂ potentielle des systèmes de récupération de chaleur, dépendant du système et l'environnement, peut être supérieure à celle du freecooling.

Pour réaliser le grand potentiel d'économies d'énergie, les solutions devraient être connus dans le marché et la conception des bâtiments doit être exécutée interdisciplinairement avec des techniciens d'aération, de chauffage et de refroidissement, ce qui aujourd'hui n'est pas le cas. Seulement avec une planification interdisciplinaire, le meilleur système contenant des éléments existants peut être créé.

Abstract

UPS units (uninterruptible power supply) generate large heat losses, which have to be dissipated with cooling units.

awtec has developed a unique UPS system with integrated heat recovery which was installed in 2001 (Building *Gretag/SAP* in Regensburg) and which is still running error-free. With this system the waste heat can be recovered and electrical energy for the refrigeration system can be saved likewise.

The measured data shows that during the heating season, the unit transfers virtually all heat loss (about 20 MWh/year) to the heating system. The building's refrigeration system, however, has its own heat recovery system, so the actual annual energy savings can be estimated to be only about 4 MWh of electricity. The prototype shows that *awtec* built a robust unit which – given an appropriate cooling and heating system – has the potential for high energy savings (without central heat recovery system: 4 MWh electric + 20 MWh thermal) without increased investment.

Based on the UPS heat recovery development, previous projects of the Swiss Department of Energy and a market research, scenarios for the cooling and heat recovery from UPS units were generated. Since the same concepts also apply to the cooling of servers and other IT components, they were also included in the analysis.

The scenario analysis shows that a high potential for savings of electric energy and heat exists in this area.

In particular, the direct cooling of the IT components with cooling water offers big benefits for heat recovery and free cooling (cooling without the use of the refrigeration system) compared

to conventional air cooling. These direct cooling systems are currently mainly used for special applications or as a fallback in case of overheating problems.

Passive cooling through ground sources, which are now mainly used for buildings with small heat pump systems, provides an interesting approach to the cooling of IT equipment due to the temperature level.

It can further be noted that the cost and CO₂ saving potential of systems with heat recovery, depending on plant size and equipment, may be greater than of the usually preferred freecooling.

To realize the great potential to save energy, the solutions have to be known in the market and the planning process of the building has to be conducted interdisciplinary with experts for air-conditioning and heating as well as IT technicians. Today this is not the case. Only by interdisciplinary planning and cross-system thinking the best system can be created from available components.

Ausgangslage

USV-Anlagen

USV-Anlagen (Unterbrechungsfreie Stromversorgungs-Anlage) erzeugen trotz verbesserten Wirkungsgraden von bis zu 97% grosse Verlustleistungen. Diese Abwärme kann in den meisten Fällen nicht genutzt werden und muss in der Regel sogar mit hohem zusätzlichem Energieaufwand und hohen Kosten mit Hilfe von Kühlaggregaten "entsorgt" werden.

Moderne Gebäudetechnik in autoregulativen Gebäuden erlaubt heute, mit geringen Rücklauftemperaturen (ca. 25 - max. 32 °C) im Heizsystem zu arbeiten. Dadurch wird es möglich, die Abwärme von Gross-USV-Anlagen mit Leistungen ab 80 kVA direkt für Heizzwecke zu nutzen. Im Sommer, bzw. falls keine Heizenergie benötigt wird, kann die Abwärme über das bereits bestehende Gebäudesystem sehr viel günstiger "entsorgt" werden (z.B. free cooling).

Eine USV-Anlage mit integrierter WRG (SAP Regensdorf, 2 x 80 kVA) wurde von *awtec* entwickelt, 2001 installiert und ist bis heute störungsfrei in Betrieb.

Uns sind keine Projekte bekannt, welche sich mit der direkten Wärmerückgewinnung von USV-Abwärme beschäftigen (direkte Nutzung als Heizenergie bzw. Abführen der Wärme ohne Kühlaggregate); die Anlage ist bisher einzigartig.

IT-Räume

Wie bereits in früheren BFE-Projekten gezeigt [1], ist die Kühlung von IT-Räumen ein sehr energieintensiver Prozess, dessen Umsetzung in der Praxis häufig grosses Optimierungspotential hat.

Ziel der Arbeit

Ziel des Projektes ist eine Beurteilung des Nutzens und des Marktes für Wärmerückgewinnungssysteme für Gross-USV-Anlagen anhand von realen Anlagedaten.

Die Kühlung von IT-Räumen stellt abgesehen von wesentlich höheren abzuführenden Wärmemengen die gleichen Anforderungen. Deshalb sollen die erarbeiteten Modelle auch darauf angewendet und dafür beurteilt werden.

Methode

In einem ersten Schritt wurden die Betriebsdaten der bestehenden USV-WRG-Anlage, welche bereits seit über 7 Jahren in Betrieb steht, erfasst und analysiert und die Effizienz dieser Anlage ermittelt.

Im zweiten Schritt wurden Szenarien zur Rückgewinnung der Abwärme aus USV-Anlagen und von grossen Rechenzentren erstellt, mit anderen Kühlszenarien verglichen und daraus das entsprechende Energierückgewinnungspotential abgeschätzt.

Ergebnisse

Analyse Erstanlage *SAP* Regensdorf

Zwischen 2000 und 2002 hat *awtec* für die Firma *Gutor Electronic Ltd.* eine Wärmerückgewinnungs-Einheit (WRG) zu ihren bestehenden USV-Anlagen konzipiert und bis zur Serienreife entwickelt.

Eine Erstanlage wurde Ende 2001 im Gebäude *Gretag/SAP* in Regensdorf installiert und ist bis heute störungsfrei im Betrieb.



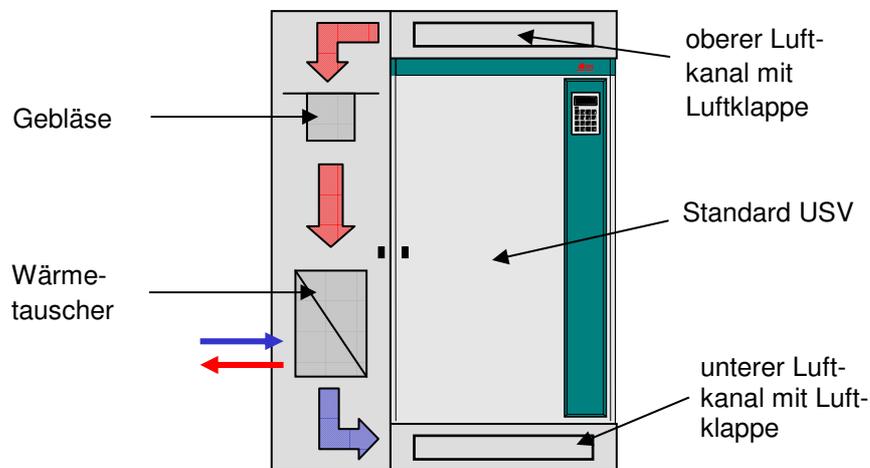
Figur 1: Die zwei redundanten 80kVA-USV-Anlagen mit WRG-Zusatz (rechts) und die zugehörigen Batterien (links) des Gebäudes *Gretag/SAP*

Nach unserem Wissen sind seither keine vergleichbaren Anlagen mehr hergestellt und installiert worden. Es ist nahe liegend, dass dies vor allem an der Art liegt, wie Haustechnik- und EDV-Systeme in grossen Bauprojekten geplant und ausgeführt werden: Die USV-Anlage wird vom IT-Verantwortlichen zur Offerte ausgeschrieben und ausgewählt, die Kälte- und Heiztechnik hingegen vom HLK-Planer. In der Regel plant und installiert der USV-Verantwortliche „seine“ USV-Kühlung unabhängig, als dezentrales System und somit ohne Einbezug des HLK-Planers; er braucht lediglich einen Stromanschluss und hat damit nur eine Schnittstelle zum Elektroplaner. Dies ergibt zwei grosse Hindernisse für dieses Konzept:

- Da die Kühleinheit in dieser USV-Anlage bereits integriert ist, wird die Anlage mit WRG immer teurer sein als eine herkömmliche Anlage und fällt deshalb in der Offertrunde durch, obwohl das Gesamtsystem durch die Einsparung der Luftkühleinheit im Kältesystem etwa gleich viel kostet und im Betrieb Wärmekosten einspart.
- Für die Planung und die Installation dieser Anlage müssten Heizungs-, Kälte- und IT-Techniker zusammen planen und ihre Systeme aufeinander abstimmen. Eine solche enge Zusammenarbeit ist sehr ungewöhnlich.

Aufbau der Anlage

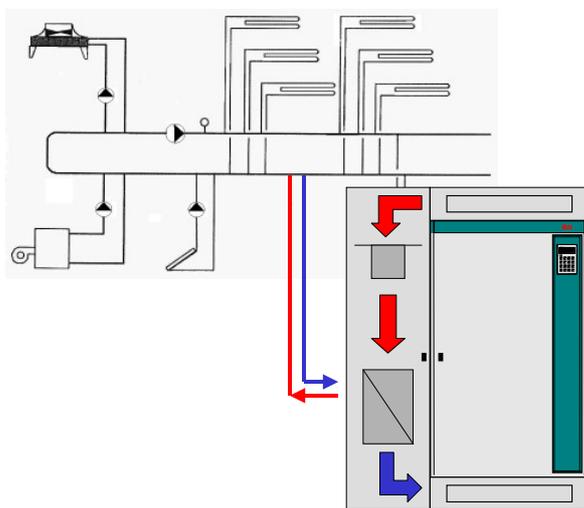
Die WRG-Einheit wurde als Zusatz zu einem Standard-USV-Gerät entwickelt, so dass am USV-Gerät ausser der Erhöhung der Innentemperatur auf 35 - 38 °C keine Änderung vorzunehmen ist. Figur 2 zeigt das Konzept des Gerätes:



Figur 2: Das WRG-Konzept mit Luftführung und Positionierung der wesentlichen Komponenten

Die Abluft der USV (oben, max. 38 °C) wird mit einem Gebläse durch einen Wärmetauscher gedrückt, der die Luft mit dem Wasser aus dem Heizungs-Rücklauf (<30 °C) kühlt. Anschliessend wird die gekühlte Luft (ca. 35 °C) wieder zur USV geführt.

Die Wärmerückgewinnungsanlage in Regensdorf wird im Normalbetrieb durch den Rücklauf der Bauteilheizung gekühlt (Siehe Figur 3). So wird die eingebrachte Energie direkt verwendet und bei den Heizkosten eingespart.



Figur 3: Schema zur Einbindung der Wärmerückgewinnungsanlage im Rücklauf der Bauteilheizung

Wenn das Kühlwasser im Rücklauf zu warm wird (Schwellentemperatur: 26 °C) oder die Bauteilheizung im Sommer ausgeschaltet ist, wird die Abwärme der USV-Anlage über das Kühlnetz abgeführt. Das Kühlnetz besitzt eine eigene Wärmerückgewinnung mit Wärmespeicher; im Sommer ist aber meist Wärme im Überfluss vorhanden, so dass die Wärme dann über die Kälteanlage an die Umgebung abgegeben wird. Bei der Abnahme der Kälteanlage wurde im WRG-Betrieb ein COP von 4 erreicht.

Neben der Energieeinsparung durch Wärmerückgewinnung hat das System auch den Vorteil, dass durch die direkte Abführung der Wärme die Batterien im selben Raum wie die USV-Anlage stehen können. Da sich hohe Temperatur negativ auf die Batterielebensdauer auswirkt, werden bei herkömmlichen USV-Anlagen mit Wärmeabfuhr über die Raumluft die Batterien getrennt von der Anlage gelagert.

Nach den Berechnungen von *awtec* ist eine solche Wärmerückgewinnungsanlage für die betrachtete USV-Anlagenfamilie von *Gutor/APC* ab einer Ausgangsleistung von ca. 80 kVA sinnvoll. Bei tieferen Leistungen wird zuwenig Abwärme produziert, um diese mit einem Luft-Wasser-Wärmetauscher mit Gebläse effizient zurückzugewinnen zu können.

Betriebsdaten

Um die Energieeinsparung durch die WRG-Anlage berechnen zu können, wurden die internen Wärmezähler der WRG-Geräte ausgelesen und Daten zur USV-Auslastung und zur Heizungsanlage der Liegenschaft erhoben.

1. Auslastung

Die Anlage mit 2 x 80 kVA wurde redundant ausgelegt, so dass jede der beiden USV-Geräte die gesamte Last bewältigen kann. Die maximale Auslastung der Anlage beträgt also 80 kVA. Die Aufteilung der Anschlussleistung ist 50/50, so dass beide Geräte die gleiche Leistung (max. 40 kVA) absichern.

Da der Betreiber vor dem Bau mit dem Aufbau eines grossen Schulungszentrums gerechnet hat, dieses aber nicht umgesetzt wurde, ist die Anlage stark überdimensioniert. In der Realität wurde anfangs 20 %, in den letzten drei Jahren sogar nur noch 17 - 18 % der möglichen Auslastung genutzt.

Bei dieser tiefen Auslastung liegt der Anteil der Verlustleistung markant höher als bei Volllast; der gemessene Wärmerückgewinnungs-Durchschnitt von 2.1 kW (15.3%) liegt sehr nahe an der vom Hersteller angegebenen Leerlaufverlustleistung von 1.8 kW. In Messungen bei der Installation der Anlage wurde gezeigt, dass bei Verlustleistungen dieser Grössenordnung praktisch die gesamte Wärme ins Haussystem zurück gewonnen werden kann.

2. Gewonnene Betriebsdaten

Bei der Überprüfung der Wärmezähler in den beiden USV-Geräten hat sich gezeigt, dass bei einem davon die Batterie nicht die versprochene Laufzeit erfüllte. Deshalb sind nur die monatlichen Daten vom 2.2006 bis zum 4.2009 des Geräts USV2 vorhanden. Da die Aufteilung der Last auf die Geräte aber symmetrisch erfolgt, können die Zahlen für eine Analyse verwendet werden.

Das System hat in der Messperiode durchschnittlich 33.8 MWh Wärme pro Jahr ans Heiz-/Kühlsystem abgegeben (Details siehe Anhang)

Wärmerückgewinnung und Energieeinsparung

Das Haustechnik-Steuersystem des Gebäudes *Gretag/SAP* lässt keine Aussage über die Verwendung der durch das WRG-System zugeführten Wärme oder den Anteil der Wärmeabgabe in Heiz- oder Kühlsystem zu.

Deshalb wird als Basis für die Abschätzung der erreichten Energieeinsparung die Anzahl Heitztage (Tagesmitteltemperatur < 12°C) in Zürich verwendet. Da die Last an der USV-Anlage und damit auch die eingebrachte Wärme konstant bleibt, wurde mit Monatsdurchschnitten gerechnet.

Wenn die USV-Anlage nicht über ein WRG-System verfügen würde, würde die Wärme an den Raum abgegeben und müsste auch an den Heitztagen über das Kältesystem entsorgt

werden, wie dies an Nicht-Heiztagen geschieht. Unter der Annahme, dass das Kältesystem ein ähnlich dimensioniertes Lüftungssystem wie das eingebaute Gebläse verwenden würde, besteht im Sommer (nicht-Heiztage) kein Unterschied zwischen dem System mit und ohne USV-WRG.

An Heiztagen wird die Wärme vollumfänglich ins Heizsystem eingespielen. Da auch das Kühlsystem über eine Wärmerückgewinnungsanlage verfügt, kann nicht die gesamte eingebrachte Wärme, sondern nur die notwendige elektrische Energie zur Kälteerzeugung als eingespart betrachtet werden.

Bei einer ans Heizsystem abgegebenen Wärme von 19.6 MWh pro Jahr entspricht dies unter den genannten (konservativen) Annahmen einer jährlichen Einsparung an elektrischer Energie von 3.9 MWh.

Potentialabschätzung

In diesem Kapitel wird das Energieeinsparpotential von verschiedenen Möglichkeiten der Einbindung von USV- und Server-Anlagen mit und ohne Wärmerückgewinnung in das Heiz-/Kühlsystem von Gebäuden gezeigt.

Konzepte Kühlung/Wärmerückgewinnung

Grundsätzlich sind für Server- und USV-Anlagen mehrheitlich die gleichen Rahmenbedingungen und damit auch die gleichen Integrationsszenarien verwendbar. Die Unterschiede liegen hauptsächlich in der stark unterschiedlichen Abwärmeleistung (USV:Server 1:20, da USV-Verlustleistung ca. 5%).

1. Luftkühlung mit Kältemaschine

Die Standardlösung im IT-Bereich ist die Abgabe der Verlustwärme der Geräte mit Ventilatoren an die Raumluft und die Kühlung des Raumes mit einem Luftkühlgerät. Je nach Gebäudegrösse, Anzahl IT-Geräte und Ausbaustandard des Klimasystems wird dies durch ein dezentrales Kühlgerät oder die Anbindung ans Hauskühlsystem gelöst.

Die folgenden Faktoren beeinflussen die Energieeffizienz des Gesamtsystems stark:

1.1. Raumtemperatur

Die Temperatur des Raumes und damit die Temperatur des Kältesystems haben einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz des Kältesystems. Viele IT-Verantwortliche sorgen sich um die Geräte und halten deshalb die Temperatur möglichst tief (18-22°C bei einer Kaltwassertemperatur von 6/12°C). Eine Studie des BFE [1] zeigt, dass eine Erhöhung der mittleren Raumlufttemperatur von 22°C auf 26°C und den entsprechenden Systemtemperaturen (14/20°C) den Stromverbrauchsanteil für die Kühlung beinahe halbiert. Diese Temperaturerhöhung ergibt keine Beeinträchtigung der Komponentenverfügbarkeit; die zulässige Maximaltemperatur liegt bei den meisten Komponenten bei 35°C.

1.2. Freecooling

Die durchschnittlichen Temperaturen in der Schweiz ermöglichen während eines Grossteils des Jahres die Kälte mittels Freecooling, d.h. mit Wärmeabgabe an die Aussenluft ohne Kältemaschine, zu erzeugen.

Auch dabei ist die Raumtemperatur ein wichtiger Faktor, da sich bei einer Erhöhung der mögliche Freecooling-Anteil vergrössert.

Weiter ist die Freecooling-Strategie entscheidend: Im Gegensatz zum Seriebetrieb, der nur entweder Freecooling oder Kältemaschinenbetrieb erlaubt, kann im Mixbetrieb bereits ein Teil der Wärme direkt an die Aussenluft angegeben werden, sobald die Rücklauftemperatur unter der Aussentemperatur liegt.

1.3. Wärmerückgewinnung

Die der Raumluft entzogene Wärme kann über eine Wärmerückgewinnungsanlage für Raum- oder Warmwasserheizung verwendet werden, sofern sie auf einem genügend hohen Temperaturniveau liegt; je höher die Raumtemperatur, desto höher die zurückgewinnbare Energie.

Da im Sommer, wenn kein Raumheizbedarf besteht, am meisten Wärme anfällt und im Winter nur wenig gekühlt werden muss, kann meist nur ein Teil der vorhandenen Wärme zurückgewonnen werden.

Weiter müssen auch die zur Verfügung stehenden und die benötigten Wärmeleistungen in einem sinnvollen Verhältnis zueinander stehen; im Gebäude *Gretag/SAP* müsste z.B. in der Übergangszeit, wenn nur die Serverräume gekühlt werden, für die Rückgewinnung von 15 kW Wärmeleistung eine Umwälzpumpe mit ähnlich grosser elektrischer Leistung gestartet werden.

2. Aussenluftkühlung

Die direkte Kühlung mit Aussenluft ist energetisch sehr interessant, da im Vergleich zu Freecooling keine Wärmetauscher eingesetzt werden müssen und das Konzept somit bei höheren Aussenlufttemperaturen eingesetzt werden kann.

Da die Grenzen für die zulässige Luftfeuchtigkeit bei EDV-Geräten aber relativ eng sind, ist diese Kühlmöglichkeit momentan kaum realisierbar und wird in dieser Studie nicht weiter vertieft.

3. Wasserkühlung (Direkte Kühlung)

Anstelle der Kühlung der Raumluft als Schnittstelle zu den Geräten könnte auch direkt Wasser (oder ein anderes Kühlmedium) zur Kühlung zu den Geräten geführt werden. Dies ermöglicht eine höhere Wärmeabfuhr und kompaktere Bauweise. Weiter wird so gezielter und kontrollierter gekühlt, so dass die Durchschnittstemperatur auf der Elektronik höher angesetzt werden kann.

Auf dem Markt sind Lösungen für Serverschränke mit Wasserkühlung vorhanden; diese sind aber kostspieliger und benötigen meist bauliche Veränderungen. Deshalb werden Sie normalerweise nur punktuell eingesetzt, um Bereiche mit extrem hoher Wärmeentwicklung gezielt zu kühlen. Im USV-Markt sind momentan keine solchen Geräte erhältlich¹; die von awtec für *Gutor/APC* entwickelte Aufsetzlösung ist soweit einzigartig.

Die direkte Kühlung mit Kältemittel ermöglicht auch die direkte Wärmerückgewinnung in den Heizungs-Rücklauf (wie im Gebäude *Gretag/SAP* gezeigt), die einfach baulich umgesetzt werden kann. Eine Bedingung dafür ist allerdings ein Niedertemperaturheizsystem und eine relativ hohe Temperatur innerhalb des Gerätes (*Gutor/APC*: 35-38°C, da der Heizungs-Rücklauf bereits eine Temperatur von max. 30°C besitzt). Wenn die Elektronik dafür zugelassen ist (normalerweise <35°C) und die Wärmeabfuhr funktioniert, ist diese Lösung sehr robust, wie die Pilotanlage zeigt.

Da auch bei diesen Systemen Luft die Schnittstelle zwischen Elektronikkomponenten und Kühlflüssigkeit ist, sind die erreichbaren Temperaturen stark beschränkt. Die Kühlung könnte wesentlich effektiver gestaltet werden, wenn das Kühlwasser direkt zu den Komponenten geleitet würde.

IBM hat im April 2008 mit dem Rack-Einschub „*Power 575 Hydro-Cluster*“ ein Cluster-System für Supercomputer vorgestellt, in dem wassergekühlte Kupferkühlkörper auf den Prozessoren angebracht werden. Erste Anlagen wurden inzwischen installiert. Damit soll ein Temperaturniveau von 60-70°C erreicht werden, so dass auch hier die Wärme direkt für herkömmliche Heizung und Fernwärme eingesetzt werden kann [2], [3]. Weiter kann bei zu geringem Wärmebedarf die Energie das ganze Jahr über per Freecooling abgegeben werden. Momentan arbeitet *IBM* daran, das Kühlwasser direkt auf den Chip zu bringen, was den Wärmeübergang nochmals verbessern soll.

¹ Quelle: Hr. Jörn Ruders, APC

Die folgende Tabelle zeigt die unterschiedlichen Möglichkeiten der direkten Kühlung mit Wasser:

Schnittstelle	System	Erreichbare RL-Temperaturen	Verfügbarkeit
Wasser wird zum Gerät geführt,	Gekühlter Serverschrank	25-30°C, falls Komponenten dafür ausgelegt sind	Im Markt von div. Anbietern erhältlich
	USV-WRG-Aufbau	25-30°C	Pilot installiert und getestet; bisher kein weiteres Gerät verkauft
Wasser wird bis zur Komponente geführt	Gekühlter Kupferkörper auf zu kühlender Komponente	60-70°C	Neu im Markt erhältlich, erste Pilotanlagen sind installiert
	Wasser direkt auf zu kühlender Komponente	>60-70°C	In der Entwicklung

Tabelle 1: Übersicht über Möglichkeiten zur direkten Kühlung

Wenn im Folgenden von direkter Kühlung gesprochen wird, sind Systeme gemeint, bei denen das Wasser bis zum Gerät geführt wird (gek. Serverschrank, USV-WRG). Bei Anlagen mit Wasserkühlung auf den Komponenten, die höhere Rücklauftemperaturen ermöglichen, wird dies explizit erwähnt.

4. Kühlung mit Erdsonde

Falls eine Erdsonde (Soletemp. 7-12°C) für eine Wärmepumpe mit genügend Leistungspotential zur Verfügung steht, kann alternativ zur Wärmeabgabe im Kühlbetrieb an die Umgebung mittels passiver Kühlung ins Erdreich gekühlt werden. Im Heizbetrieb wird die Wärme in den Heizungsvorlauf oder bei zu tiefer Temperatur in den Vorlauf der Wärmepumpe abgegeben.

Dies ergibt ein einfach umzusetzendes Kühl- und Heizsystem mit „Freecooling“ (Kühlen ohne Kältemaschine) und Wärmerückgewinnung. Weiter wird die abgegebene Wärme je nach Untergrund zum Teil im Boden gespeichert, was die mögliche Nutzungszeit der Sondenbohrung verlängert bzw. das mittlere Temperaturniveau der Sole erhöhen kann.

Analyse

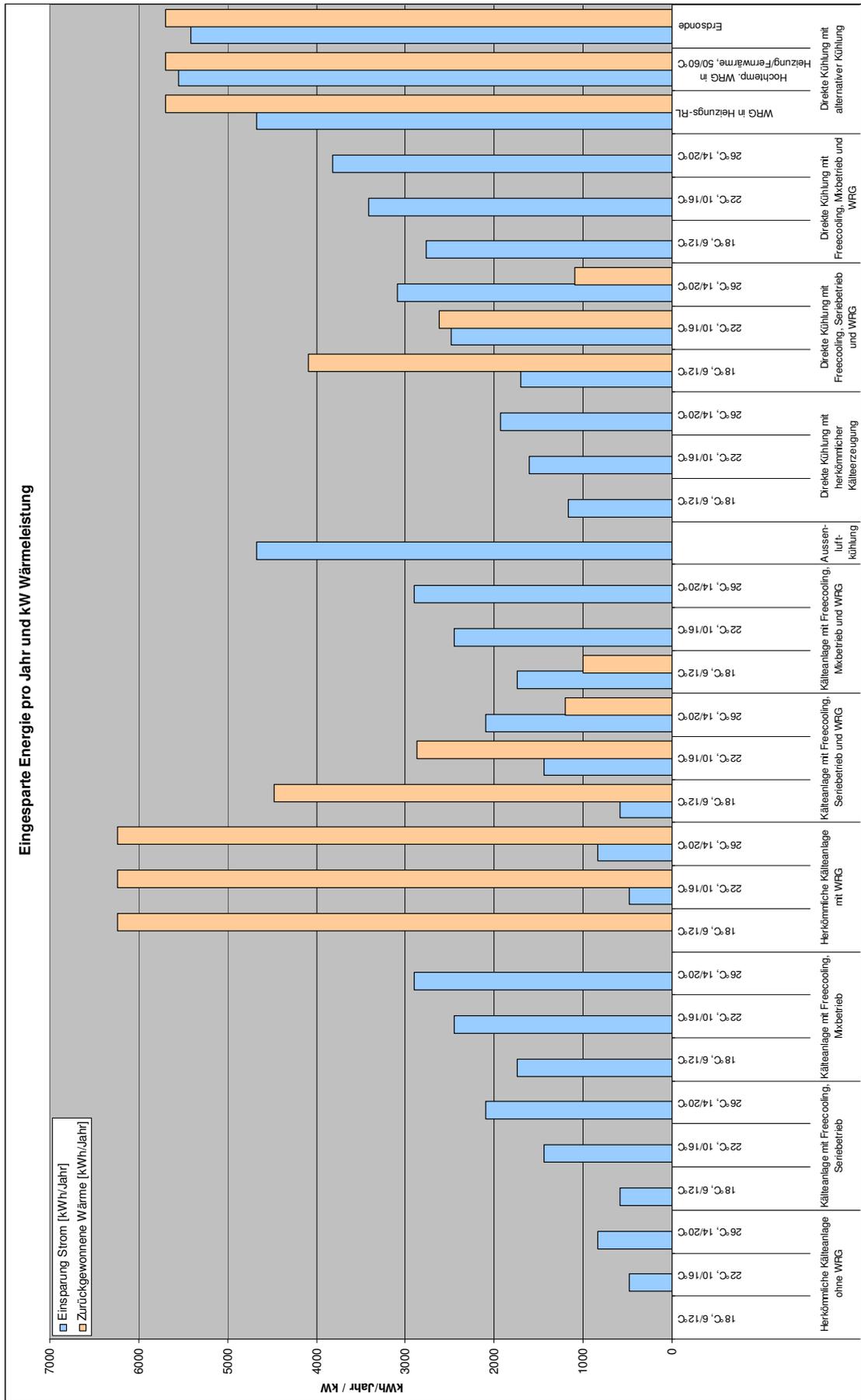
Für die im letzten Kapitel aufgezeigten Konzepte wurden die Energieverbräuche der einzelnen Komponenten abgeschätzt und miteinander verglichen. In Figur 4 sind die berechneten Einsparungen an elektrischer Energie und Wärme pro Jahr pro kW abzuführende Wärmeleistung, d.h. 20kW USV-Leistung (ergibt bei 5% Verlustleistung 1kW Verlustwärme) oder 1kW Serverleistung, gegenüber dem grössten Verbraucher zu sehen. In den weiteren Diagrammen (Figur 5) werden die jährlichen Einsparungen an CO₂ und Kosten gegenüber dem grössten Verbraucher gezeigt.

Die Zahlen beruhen auf dem Kältesystem-Modell von [1] und der Annahme, dass mit dem WRG-System während der Heiztage die gesamte Abwärmeleistung in die Heizung zurückgewonnen werden kann, im Sommer aber keine Wärmerückgewinnung möglich ist. Insbesondere mit dem Hochtemperatur-Wärmerückgewinnungssystem lassen sich noch höhere Einsparungen an Wärme erzielen, wenn diese für die Warmwasserherstellung oder für Fernwärme verwendet werden kann.

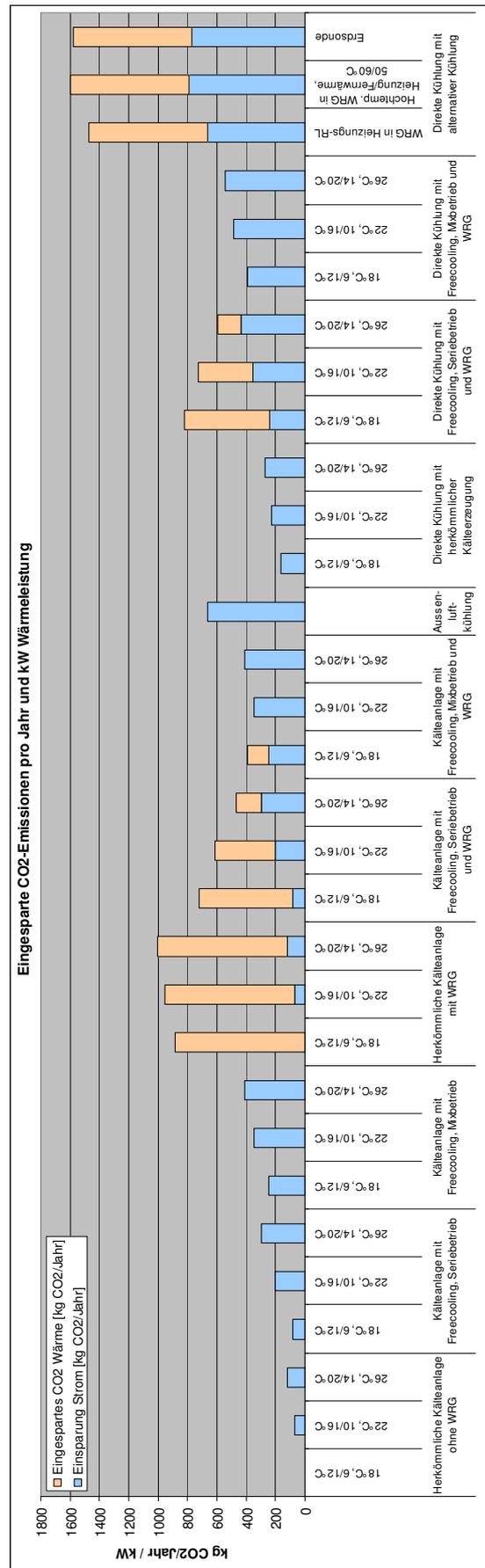
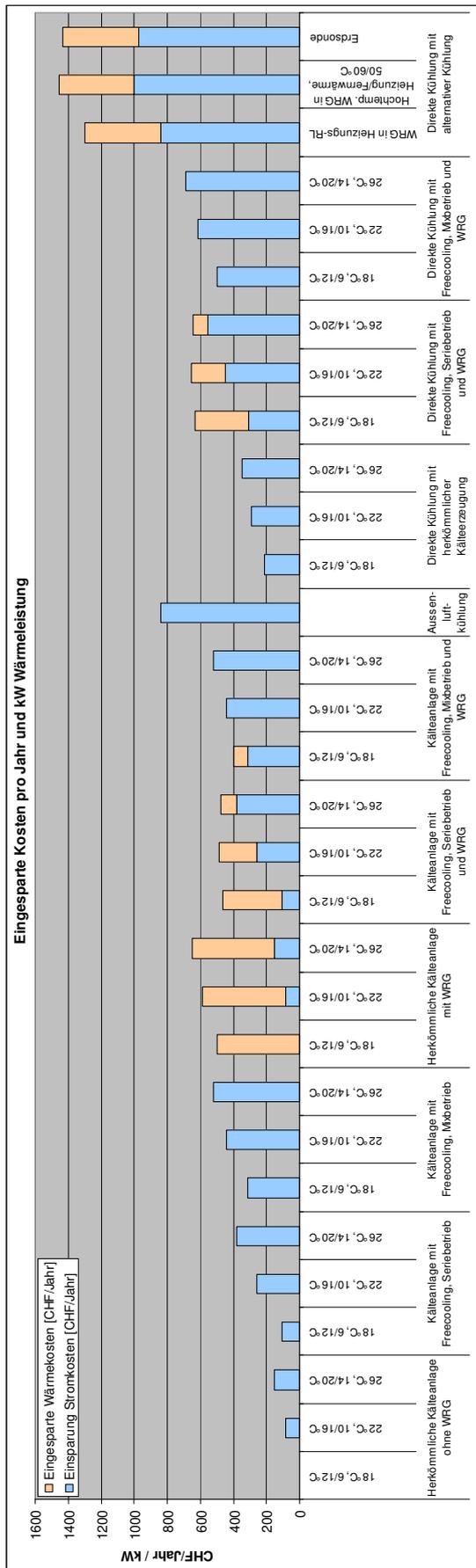
Als Basis für die Kosten- und Emissionseinsparungen dienen ein Strompreis von CHF 0.18/kWh, ein Wärmepreis von CHF 0.08/kWh sowie CO₂-Emissionen von 142g/kWh (Strommix Verbrauch Schweiz [4]) resp. 219g/kWh (Erdgas [5]). Beim Verbrauch von Heizöl EL statt Erdgas würden CO₂-Emissionen von 293g/kWh entstehen [5].

Die Resultate zeigen nur die Einsparungen im Energieverbrauch des jeweiligen Kältesystems im Betrieb; Investitionskosten, unterschiedliche aufwendige Wartung, etc. sind im Modell nicht inbegriffen. Die Annahmen für die Komponentenverbräuche sind Durchschnittswerte und können bei unterschiedlichen Leistungsbereichen variieren.

Weitere Details zur Berechnung der Resultate sind im Anhang zu finden.



Figur 4: Vergleich der berechneten Energieeinsparung der unterschiedlichen Kühlsysteme gegenüber dem grössten Verbraucher



Figur 5: Vergleich der berechneten Kosten- (links) und CO₂-Einsparungen (rechts) der unterschiedlichen Kühlsysteme gegenüber dem grössten Verbraucher

Projektion

Um die Konzepte konkreter vergleichen zu können, wurden Szenarien für den Einsatz der Konzepte in unterschiedlichen Situationen/Leistungsklassen erstellt.

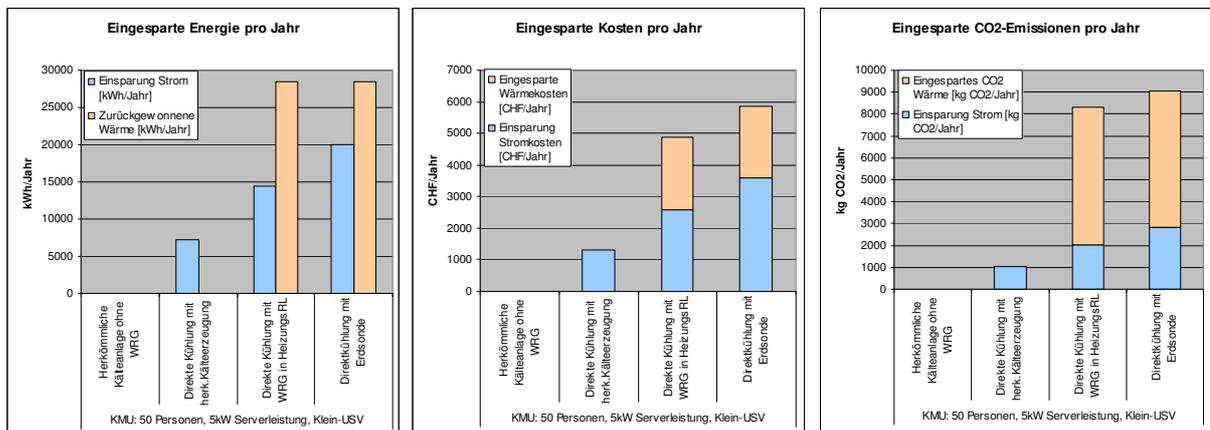
1. Kleinserversystem in KMU

Für ein KMU im Dienstleistungsbereich mit 50 Personen wurde als IT-Ausrüstung ein Server mit Klein-USV-Anlage mit insgesamt 5kW Verlustleistung angenommen. Die folgenden Szenarien werden angenommen:

- Die IT-Komponenten (resp. der Serverschrank) stehen in einem gekühlten Raum (22°C), der auch noch für anderes genutzt wird. Die Wärme wird nicht zurückgewonnen.
- Die IT-Komponenten sind in einen gekühlten Serverschrank (Direktkühlung) eingebaut, die Abwärme wird direkt an die Aussenluft abgegeben (Split-Aufstellung). Damit können höhere Rücklauftemperaturen erreicht werden, was einen höheren COP ergibt. Weiter wird weniger Ventilatorleistung benötigt.
- Der Serverschrank wurde (analog zum *awtec-/Gutor-/APC-Projekt*) so ausgerüstet, dass er auf 35/38°C Lufttemperatur genutzt werden kann und betreibt Wärmerückgewinnung in den Heizungsrücklauf. Das System benötigt aber trotzdem eine Kältemaschine (Sommer).
- Die Firma besitzt eine Erdwärmepumpe und integriert die IT-Anlage so, dass die Verlustwärme im Heizbetrieb die Sole vor der Wärmepumpe aufheizt und im Kühlbetrieb über passive Kühlung ans Erdreich abgegeben wird.

Bei einer angenommenen Nutzfläche von 750m² benötigt die Unternehmung eine Heizleistung von ca. 15kW; die 5kW Abwärme der IT-Komponenten kann also im Heizbetrieb voll genutzt werden.

Figur 6 zeigt die berechneten Einsparungen an Energie, Kosten und CO₂ der verschiedenen Szenarien.



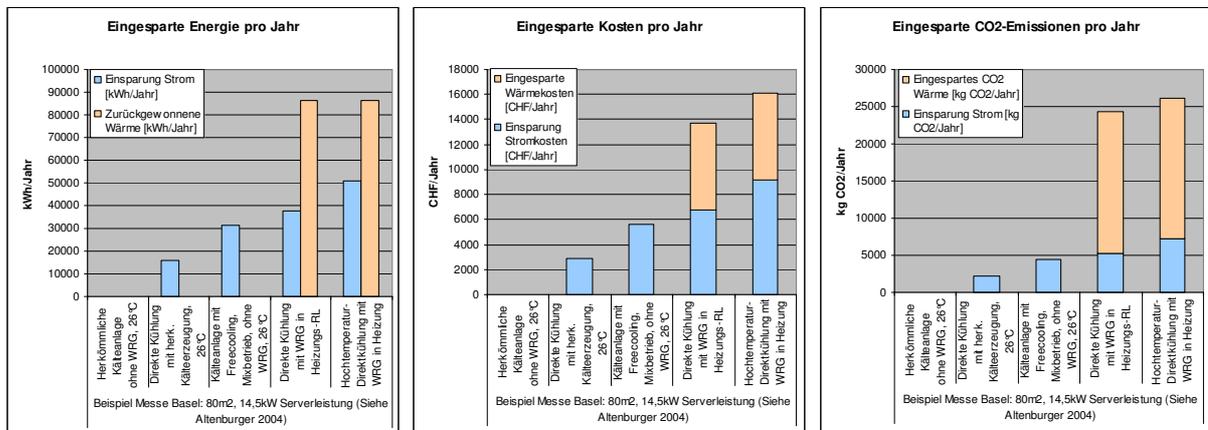
Figur 6: Vergleich der berechneten Energie- (links), Kosten- (Mitte) und CO₂-Einsparungen (rechts) der unterschiedlichen Kühlsysteme für IT-Anlagen im KMU (50 Personen, 5kW) gegenüber dem grössten Verbraucher. Die Zahlen für die Wärme basieren auf der Verwendung von Erdgas [5].

2. IT-Raum (Messe Basel)

Als zweites Beispiel wurde der IT-Raum der *Messe Basel* (80m², 14.5kW) gewählt, der in [1] optimiert wurde. Folgende Szenarien wurden angenommen:

- Die bestehende Anlage mit einer zentralen Kälteerzeugung läuft mit Kaltwassersystemtemperaturen von 14/20 °C, einer Raumtemperatur von 26 °C und ohne Freecooling-Betrieb.
- Nicht die Raumluft, sondern die Serrerracks werden mit der Kälteanlage aus dem 1. Szenario direkt mit Kältemittel gekühlt. So wird weniger Ventilatorleistung zur Kühlung benötigt.
- Die zentrale Kälteanlage arbeitet mit Freecooling im Mixbetrieb.
- Die IT-Komponenten aus dem 2. Szenario werden (analog zum *awtec-/Gutor-/APC*-Projekt) so ausgerüstet, dass sie bei 35/38 °C Lufttemperatur verwendet werden können. So kann die Abwärme aus den Serrerracks während des Heizbetriebes direkt in den Heizungsrücklauf gespiesen werden.
- Die IT-Komponenten werden direkt gekühlt, so dass Rücklauftemperaturen von 60-70 °C erreicht werden können. Dies ermöglicht die direkte Wärmenutzung für Heizung und Fernwärme und bei zu geringem Wärmebedarf ganzjähriges Freecooling. Die berechnete Wärmeeinsparung basiert darauf, dass nur während der Heizperiode WRG betrieben wird (konservative Annahme). Bei einer ganzjährigen Nutzung (z.B. für Fernwärme oder Warmwasser) würde sich die eingesparte Wärme noch mal um 50% erhöhen. Bei Kühlung und Wärmerückgewinnung mit einer Erdsonde würden sich ähnliche, nur leicht tiefere Werte ergeben.

Figur 7 zeigt das grosse Sparpotential von Lösungen mit Wärmerückgewinnung:



Figur 7: Vergleich der berechneten Energie- (links), Kosten- (Mitte) und CO₂-Einsparungen (rechts) der unterschiedlichen Kühlsysteme für einen IT-Raum (Beispiel Messe Basel, 14,5kW) gegenüber dem grössten Verbraucher. Die Zahlen für die Wärme basieren auf der Verwendung von Erdgas [5].

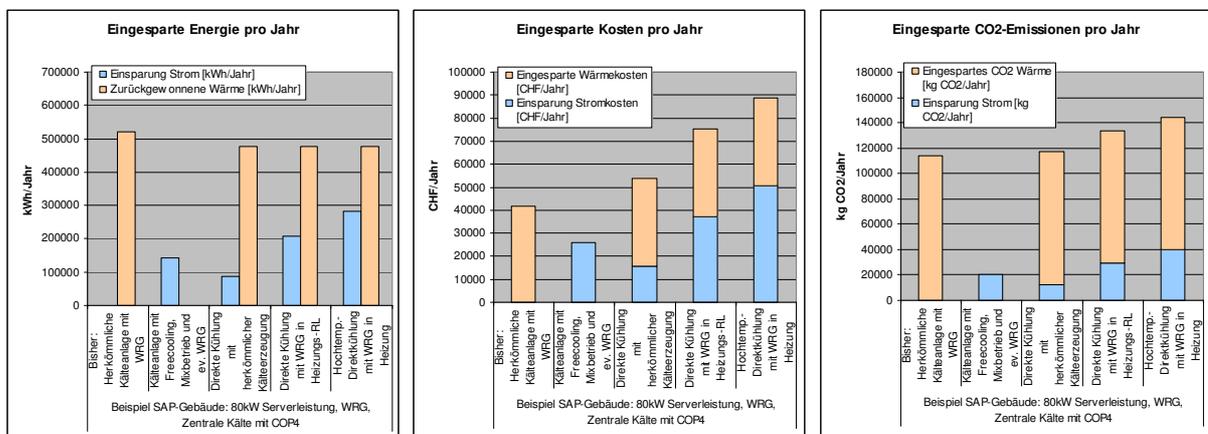
3. Rechenzentrum (SAP Regensdorf)

Das Rechenzentrum im *Gretag/SAP*-Gebäude in Regensdorf (80kW geplante Serverleistung) wurde als weiteres Beispiel gewählt. Die folgenden Szenarien wurden angenommen:

- Die bestehende zentrale Kälteanlage erreichte bei der Instandsetzung einen COP von 4 und besitzt eine Wärmerückgewinnungsanlage, jedoch kein Freecooling.
- Zusätzlich zum bestehenden Stand wird eine Freecooling-Anlage integriert. Damit wird zwar im Winter Strom eingespart, es kann aber in dieser Zeit auch keine Wärme zurückgewonnen werden.

- Die bestehende Kälteerzeugung mit WRG wird mit einer Direktkühlung (gekühlte Serverschränke) kombiniert, wodurch sich die notwendige Ventilatorleistung verringert.
- Die IT-Komponenten aus dem 3. Szenario werden so ausgerüstet, dass sie bei 35/38°C Lufttemperatur verwendet werden können und die Abwärme direkt in den Heizungs-rücklauf eingebracht (analog zum *awtec-/Gutor-/APC*-Projekt).
- Die IT-Komponenten werden direkt gekühlt (Rücklauftemperatur 60-70°C), was die direkte Wärmenutzung für Heizung und Fernwärme und bei zu geringem Wärmebedarf ganz-jähriges Freecooling ermöglicht. Die berechnete Wärmeersparnis basiert darauf, dass nur während der Heizperiode WRG betrieben wird (konservative Annahme). Bei einer ganzjährigen Nutzung (z.B. für Fernwärme oder Warmwasser) würde sich die eingesparte Wärme noch mal um 50% erhöhen.
Bei Kühlung und Wärmerückgewinnung mit einer Erdsonde würden sich ähnliche, nur leicht tiefere Werte ergeben.

In Figur 8 lässt sich erkennen, dass eine Kälteanlage mit hohen Freecooling-Anteilen zwar weniger Strom benötigt, die Kosten- und CO₂-Einsparungen mit Wärmerückgewinnung und kleinerem Freecooling-Anteil aber trotzdem höher sein können.



Figur 8: Vergleich der berechneten Energie- (links), Kosten- (Mitte) und CO₂-Einsparungen (rechts) der unterschiedlichen Kühlsysteme für ein Rechenzentrum (Beispiel Gretag/SAP, 80kW) gegenüber dem grössten Verbraucher. Für Strom entspricht dieser der ersten, für Wärme dem zweiten Szenario.. Die Zahlen für die Wärme basieren auf der Verwendung von Erdgas [5].

4. Projektion auf die ganze Schweiz

Um die gewonnenen Daten auf die ganze Schweiz zu projizieren, sind Marktzahlen für USV- und IT-Anlagen in den verschiedenen Leistungsklassen notwendig. Neben der Nachfrage bei verschiedenen Herstellern wurde nach Studien oder Marktübersichten gesucht, es konnten jedoch keine aktuellen Marktzahlen mit einer geeigneten Auflösung gefunden werden.

Aufgrund der Messresultate kann aber gesagt werden, dass es mit dem vorliegenden USV-WRG-System möglich ist, während der Heizperiode praktisch die gesamte Verlustwärme einer USV-Anlage ab 80kVA (ca. 5% der Lastleistung) ohne zusätzlichen Energieaufwand im Vergleich zur Standardlösung direkt in den Heizkreislauf einzuspeisen.

Wärmerückgewinnungsanlagen für grosse zentrale Kälteanlagen sind heute Stand der Technik; die erarbeiteten Szenarien zeigen aber, dass auch bei den in der Schweiz stark verbreiteten IT-Systemen mit kleiner Leistung (KMU) erhebliche Einsparungen möglich sind.

Eine quantitative Aussage über das Einsparungspotential in der Schweiz ist im Rahmen dieser Studie aufgrund der fehlenden Zahlen mit dem notwendigen Detaillierungsgrad nur schwer möglich. Die folgende Abschätzung soll aber das Gesamtpotential des USV-Marktes grob darstellen:

Der Anteil der Informationstechnik am Gesamtstromverbrauch der Schweiz liegt bei rund 10% [6]. Laut einer Studie des Fraunhofer-Institutes [7] wird in Deutschland 16% des

Stromverbrauches für Informations- und Kommunikationstechnik durch Server und Rechenzentren verursacht; in der Schweiz wird dieser Wert aufgrund der kleineren Anzahl Grossunternehmen eher tiefer liegen. In [1] wird gezeigt, dass der Stromverbrauch des eigentlichen IT-Prozesses (Serverleistung), der durch die USV abgesichert wird, davon 25% beträgt. Wenn man nun Verlustleistungen in den USV-Anlagen von 5-10% annimmt, ergibt dies eine Verlustwärme von ca. 10-20 GWh pro Jahr in Schweizer USV-Anlagen, die heute grösstenteils mit Kältemaschinen abgeführt wird..

Unter der Annahme einer Kältemaschine mit COP von 4 und vorhandener Wärmerückgewinnung als Standard (analog zum Gebäude *Gretag/SAP*) würden sich bei einer flächendeckenden Einführung von USV-WRG-Anlagen jährlich 3-6 GWh elektrische Energie einsparen. (Gesamtverbrauch elektrische Energie Schweiz 2008: 58'700 GWh [8]). Bei der Annahme einer herkömmlichen Kälteanlage mit COP von 3.5 ohne Freecooling und Wärmerückgewinnung als Durchschnittsanlage beträgt die Einsparung gesamthaft 3-7 GWh elektrisch und 7-14 GWh Wärme. Wie bereits erwähnt sind dies grobe Abschätzungen, die eine Angabe zur Grössenordnung des Einsparpotentials geben sollen.

Dabei muss beachtet werden, dass zwar bereits viele IT-Räume mit effizienten Kühlgeräten, Freecooling und/oder Wärmerückgewinnungsanlagen ausgerüstet sind; da die Verlustleistung dort aber um den Faktor 10-20 höher ist, bergen Optimierungsmassnahmen in diesem Bereich trotzdem sehr viel Potential.

Diskussion

USV-Wärmerückgewinnungsanlage *Gretag/SAP*

Über die letzten acht Jahre hat sich gezeigt, dass das USV-WRG-System robust funktioniert und die Verlustwärme zum grössten Teil ins Heizsystem abführt.

Das *Gretag/SAP*-Gebäude ist bereits stark energieoptimiert und besitzt eine Wärmerückgewinnung für die Kälteanlage. Weiter sind die Verlustleistungen der USV-Anlage im Vergleich zum Gesamtkältebedarf klein, so dass die USV-WRG nicht als wichtiges Element ins Heiz- und Kühlkonzept integriert wurde.

Deswegen und aufgrund der schwachen Auslastung der USV-Anlage ist die Energieeinsparung mit 3.9 MWh/Jahr elektrisch nicht sehr gross. In einem anderen Gebäude besitzt eine entsprechende USV-WRG-Anlage aber ein grosses Energieeinsparungspotential (Siehe Potentialabschätzung). Wenn die zentrale Kälteanlage beispielsweise keine Wärmerückgewinnungsmöglichkeit hätte, würden zusätzlich zu den 3.9 MWh elektrischer Energie auch 19.6 MWh Wärme eingespart.

Die Investitionskosten für die USV-WRG-Anlage bewegen sich im gleichen Rahmen wie für eine herkömmliche USV-Anlage plus das notwendige Kühlgerät, verursachen insofern also keine Mehrkosten. Der Entscheid für ein USV-WRG-System bietet aber folgende Vorteile: Neben den eingesparten Energiekosten (ca. CHF 700/Jahr) besitzt die Anlage auch den Vorteil, dass die Batterien im gleichen Raum gelagert werden können und die Installation zur Wärmeabfuhr vergleichsweise einfach gelöst werden kann (keine Kühlgeräte resp. Luftkanäle notwendig).

Kombinierbarkeit von Wärmerückgewinnung und Freecooling

Betrachtet man das Modell für die Kühl- und Wärmerückgewinnungskonzepte, fällt auf, dass die Konzepte mit Freecooling, welche gegenüber herkömmlichen Kühlanlagen viel Strom sparen, bei der Berechnung der gesamten eingesparten Kosten und insbesondere der CO₂-Emissionen gegenüber Wärmerückgewinnungsanlagen jedoch häufig ein schlechteres Resultat erzielen.

Dies kommt daher, dass Freecooling und Wärmerückgewinnung nur schlecht vereinbar sind: nur in der Heizperiode kann WRG betrieben werden; in dieser Zeit kann aber auch Freecooling am effektivsten betrieben werden.

Da die Berechnungen von Durchschnittswerten ausgehen, die je nach Standort, Wärmebedarf, Abwärmeleistung der IT-Anlage und weiteren Voraussetzungen stark abweichen können, muss die Eignung für Freecooling und/oder Wärmerückgewinnung individuell abgeklärt werden. Es ist auch denkbar, dass in einer Optimierung der Anlagensteuerung in diesem Punkt viel Potential steckt. Während der Recherche für dieses Projekt konnte zu diesem Thema nur wenig Literatur gefunden werden.

In dieser Studie wurden auch die Investitionskosten für die jeweiligen Konzepte nicht betrachtet, die je nach Anlagengrösse und weiteren Kriterien stark unterschiedlich ausfallen können. Die grossen Einsparungsmöglichkeiten sollten aber auch zusätzliche Investitionen rechtfertigen können.

Potential der direkten Kühlung

Die berechneten Resultate der verschiedenen Kühlkonzepte zeigen auf, dass in der direkten Kühlung mit Kühlflüssigkeit (Wasser) anstelle der gebräuchlichen Kühlung der IT-Raumluft viel Potential liegt. Dies kommt einerseits vom geringeren Energiebedarf von Umwälzpumpen gegenüber Ventilatoren zum Energietransport, hauptsächlich aber von den höheren Rücklauftemperaturen, die durch eine kleinere Anzahl von Wärmeübergängen, weniger

Vermischung von kaltem und warmem Fluid und dem besseren Wärmeübergang von den zu kühlenden Komponenten ins Kühlmittel zustande kommen. Sie ermöglichen es, die Wärme direkt zu Heizwecken zu nutzen oder zumindest früher Freecooling zu betreiben. Weiter ist mit Wasser (oder Sole, etc.) der Wärmeaustausch im WRG-System einfacher zu erreichen.

Neben den energetischen Vorteilen ergibt sich beim Einsatz von direkter Kühlung auch ein Raumgewinn: für die Zirkulation von Kühlwasser wird wesentlich weniger Raum benötigt und die gekühlten Racks, die USV-Anlage mit Batterien etc. können alle im gleichen Raum stehen.

Potential der Kombination mit Wärmepumpe

Erdgekoppelte Wärmepumpen können mit einem zusätzlichen Wärmetauscher sehr effizient ohne Einsatz des Kältekreises zum Kühlen im Sommer verwendet werden. Dieses Konzept wird bereits in diversen Minergiebauten umgesetzt. Die Szenarien haben gezeigt, dass die Kombination der Erdsonde mit IT-Räumen, die ganzjährig gekühlt werden, speziell interessant ist.

Wenn eine Niedertemperatur-Heizung und eine direkte Kühlung verwendet werden, ist es möglich, durch das tiefe Temperaturniveau der Sole (7-12°C) und des Heizkreises (RL 20-25°C) im Winter die Wärme direkt in die Heizung zurückzugewinnen und im Sommer ohne Kältemaschine passiv zu kühlen.

Bei einer herkömmlichen Kühlanlage mit Raumlufkühlung lässt sich die Wärme zwar nicht direkt zurückgewinnen, die Sole kann aber im Winter vorgewärmt und damit die Effizienz der Wärmepumpe gesteigert werden. Im Sommer sollte die Soletemperatur ausreichend tief sein, um auch in diesem Fall eine passive Kühlung zu ermöglichen.

Schlussfolgerungen

Das von *awtec* für *Gutor/APC* entwickelte USV-WRG-System hat sich im Praxiseinsatz bewährt, wurde aber bisher nur im *Gretag/SAP*-Gebäude in Regensdorf eingesetzt. Der Grund dafür liegt ganz wesentlich bei den heutigen Planungsstrukturen und -abläufen: Für den Einsatz eines solchen USV-WRG-Systems müssten der HLK- und der USV-Planer zusammenarbeiten, was heute kaum der Fall ist. Diese Planungsstrukturen müssen im Zuge der „Green IT“-Bewegung in Zukunft abgebaut werden, da die Optimierung des Gesamtsystems (sowohl energetisch als auch finanziell) eine engere Zusammenarbeit zwischen Planern, Lieferanten und Installateuren erfordert. Um dies zu erreichen, muss das Potential und die Verfügbarkeit solcher Systeme im Markt bekannt gemacht und gefördert werden.

Die Problematik der Vereinbarkeit von Freecooling und Wärmerückgewinnung und die finanziellen und ökologischen Auswirkungen der gewählten Strategie scheint bisher noch kaum bearbeitet worden sein. Bisherige Studien, Richtlinien und Empfehlungen beschränken sich meist auf eine der beiden Konzepte. Aufgrund des in dieser Studie aufgezeigten Potentials erscheint den Verfassern eine vertiefte Beschäftigung mit dem Thema wichtig.

Wassergekühlte Serverschränke und ähnliche Lösungen sind schon lange erhältlich, Racks mit wassergekühlten Kühlelementen direkt auf den Prozessoren kommen gerade auf den Markt: die direkte Kühlung, welche grosse Vorteile für Freecooling, Wärmerückgewinnung und die Anbindung an alternative Kühlkonzepte bietet, kann umgesetzt werden, findet aber heute im Markt nur als Notlösung und in Spezialfällen Beachtung. Im USV-Markt ist ausser dem *awtec-/Gutor-/APC*-System bisher keine Anlage mit direkter Kühlung verfügbar; die Schnittstelle zur Kühlung ist immer Luft. Da kaum Beispiele vorhanden sind, wie solche Konzepte in der Praxis umgesetzt werden können, müssen das Potential vertieft betrachtet, Gesamtlösungen für verschiedene Einsatzzwecke generiert und damit Planungsgrundlagen geschaffen werden.

Die Möglichkeit der passiven Kühlung mit Erdsonden von erdgekoppelten Wärmepumpen ist vor allem im kleinen Leistungsbereich Stand der Technik. Da gerade bei der Kühlung von IT-Räumen dieses Konzept energetisch und installationstechnisch viel versprechend erscheint, wäre eine Abklärung der Umsetzbarkeit und des Potentials interessant.

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

COP:	Coefficient of Performance, Leistungszahl COP = Kälteleistung / eingebrachte elektrische Leistung
USV:	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
WRG:	Wärmerückgewinnung

Referenzen

- [1] A. Altenburger: **Energieeffizientes Kühlen von IT-Räumen**, Schlussbericht Dezember 2004, BFE-Programm Elektrizität, DIS-Projekt Nr. 100 160.
- [2] T. Tauer: **Energieeffizienz im Rechenzentrum**, Präsentation 10. Juli 2008
- [3] C. Hammerschmidt: **IBM wärmt Wasserkühlung für Rechenzentren neu auf**, EE Times Europe, 17.6.2009, <http://eetimes.eu/showArticle.jhtml?articleID=218000075>
- [4] Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Klima, Ökonomie, Umweltbeobachtung: **Wieviel CO₂ entsteht mit dem Verbrauch von einer Kilowattstunde Strom in der Schweiz?**
- [5] **Webseite Verband der Schweizerischen Gasindustrie (VSG)**, 1.11.2009, <http://www.erdgas.ch/de/energietraeger-erdgas/umwelt/co2.html>
- [6] B. Aebischer: **Betreuung des Kompetenzzentrums Energie und Informatik**, Jahresbericht 2008, Bundesamt für Energie BFE, BFE-Projekt Nr. 30 963.
- [7] Dr. L. Stobbe: **Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft**, Abschlussbericht März 2009, Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration in Kooperation mit Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung
- [8] BFE: **Rekord-Stromverbrauch in der Schweiz**, Pressemeldung 15.04.2009, <http://www.bfe.admin.ch /energie/00588/-00589/00644/index.html?lang=de&msg-id=26388>

Anhang

Messdatenauswertung USV-WRG-Anlage Gretag/SAP

Wärmerückgewinnung USV2 SAP Regensdorf

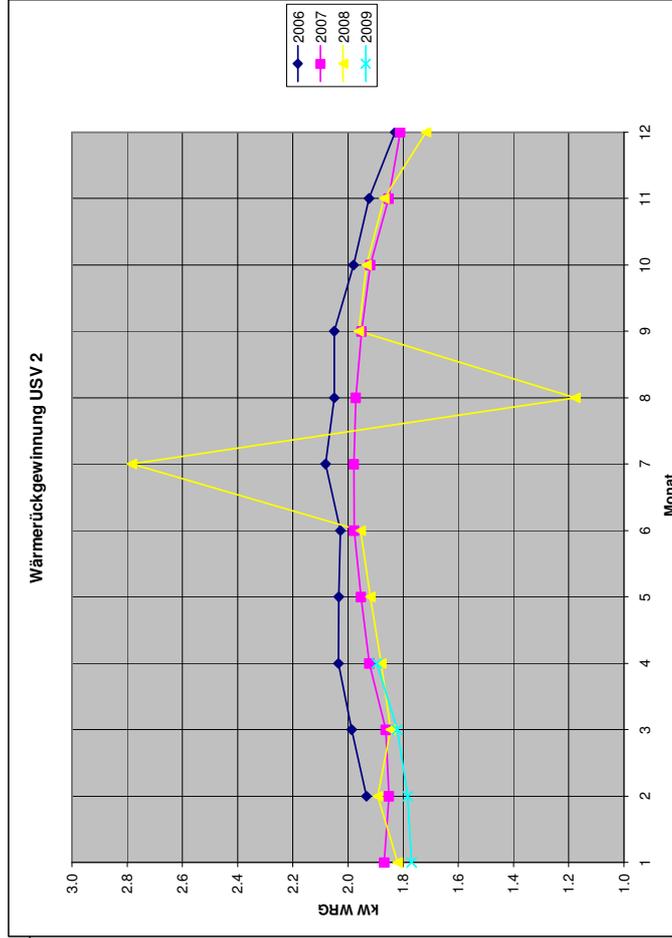
Max. Anschlussleistung [kVA] 80
 Auslastung max. [kVA] 50%
 Auslastung max. [kVA] 40
 Auslastung real [kVA] 17%
 Auslastung real [kVA] 13.6

da Redundanz notwendig
 Laut Hr. Rückstuhl/SAP anfangs 20%, jetzt 17-18%

MWh WRG/Monat	2006	2007	2008	2009
1	1.299	1.390	1.354	1.316
2	1.478	1.244	1.271	1.199
3	1.465	1.386	1.373	1.355
4	1.513	1.384	1.353	1.365
5	1.460	1.453	1.428	
6	1.548	1.424	1.407	
7	1.472	1.472	2.071	
8	1.525	1.467	0.875	
9	1.476	1.404	1.412	
10	1.473	1.428	1.438	
11	1.385	1.334	1.346	
12	1.361	1.347	1.277	

kW WRG	2006	2007	2008	2009
1	1.933	1.868	1.820	1.769
2	1.987	1.851	1.891	1.784
3	2.035	1.863	1.845	1.821
4	2.034	1.922	1.879	1.896
5	2.028	1.953	1.919	
6	2.081	1.978	1.954	
7	2.050	1.972	2.784	
8	1.980	1.176	1.176	
9	1.924	1.950	1.961	
10	1.829	1.919	1.933	
11		1.853	1.869	
12		1.810	1.716	

Mittlere eingebrachte Wärme [MWh/Jahr] USV2
 Mittlere eingebrachte Wärmeleistung [kW] 16.88
 Verlustleistung USV2 2.08
 Gesamtanlage 33.758
 4.16
 15.3%



Anmerkungen: Die Ausreisser im 7./8.2008 ist auf einen Fehler in der Erfassung des Datums zurückzuführen, da sich die beiden Spitzen in der Summe aufheben. Auf die Resultate sie keinen wesentlichen Einfluss. Der charakteristische Verlauf übers Jahr lässt sich dadurch erklären, dass in den Sommermonaten mit der Kälteanlage und nicht mit dem Heizungsrücklauf gekühlt wird. Durch die höhere Temperaturdifferenz lässt sich eine leicht höhere Wärmeleistung abführen.

Wärmerückgewinnung USV-WRG-Anlage

Wärmezähler SAP USV 2

Datum	Zählerstand (MWh)	Differenz Vormonat	Heiztage	Tage	WRG (MWh)
01.02.2006	66.821			31	0.00
01.03.2006	68.12	1.299		28	1.30
01.04.2006	69.598	1.478		28	1.33
01.05.2006	71.063	1.465		25	1.22
01.06.2006	72.576	1.513		8	0.39
01.07.2006	74.036	1.46		6	0.29
01.08.2006	75.584	1.548		0	0.00
01.09.2006	77.109	1.525		4	0.20
01.10.2006	78.585	1.476		0	0.00
01.11.2006	80.058	1.473		13	0.62
01.12.2006	81.443	1.385		30	1.38
01.01.2007	82.804	1.361		31	1.36
01.02.2007	84.194	1.39		30	1.35
01.03.2007	85.438	1.244		28	1.24
01.04.2007	86.824	1.386		31	1.39
01.05.2007	88.208	1.384		9	0.42
01.06.2007	89.661	1.453		9	0.42
01.07.2007	91.085	1.424		3	0.14
01.08.2007	92.557	1.472		2	0.09
01.09.2007	94.024	1.467		1	0.05
01.10.2007	95.428	1.404		11	0.51
01.11.2007	96.856	1.428		23	1.06
01.12.2007	98.19	1.334		30	1.33
01.01.2008	99.537	1.347		31	1.35
01.02.2008	100.891	1.354		31	1.35
01.03.2008	102.162	1.271		29	1.27
01.04.2008	103.535	1.373		31	1.37
01.05.2008	104.888	1.353		27	1.22
01.06.2008	106.316	1.428		5	0.23
01.07.2008	107.723	1.407		5	0.23
01.08.2008	109.794	2.071		0	0.00
01.09.2008	110.669	0.875		0	0.00
01.10.2008	112.081	1.412		17	0.80
01.11.2008	113.519	1.438		17	0.79
01.12.2008	114.865	1.346		30	1.35
01.01.2009	116.142	1.277		31	1.28
01.02.2009	117.458	1.316		31	1.32
01.03.2009	118.657	1.199		28	1.20
01.04.2009	120.012	1.355		31	1.36
01.05.2009	121.377	1.365		15	0.68

Total USV2 16.44 MWh/Jahr Wärmerückgewinnung USV2 9.81 MWh/Jahr

Wärmerückgewinnung Gesamtanlage (USV1+USV2):

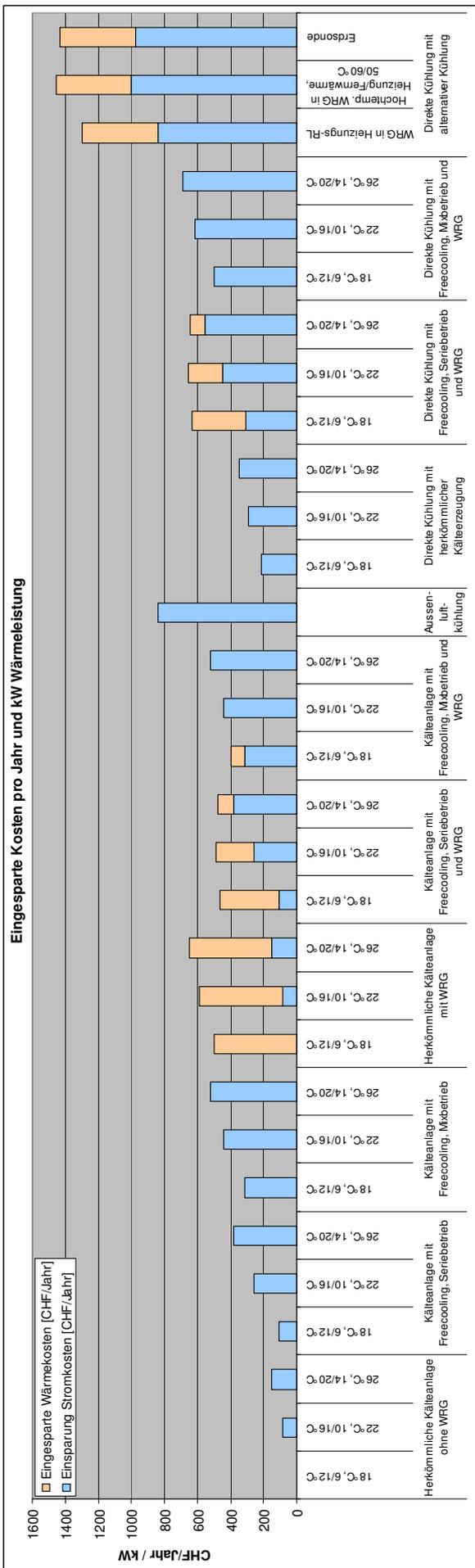
19.63 MWh Wärme/Jahr

Entspricht bei einem COP von 4 einer Einsparung von

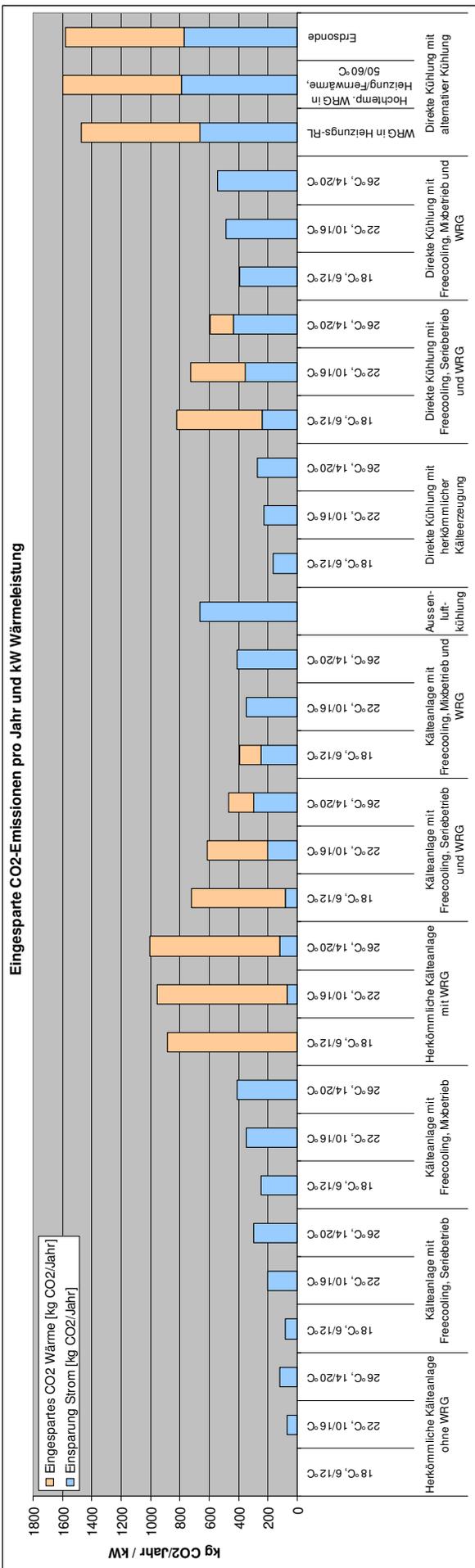
3.93 MWh Strom/Jahr

Heiztage: Meteodaten Zürich Fluntern,
Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich
Datengrundlage: MeteoSchweiz

Eingesparte Kosten pro Jahr und kW Wärmeleistung

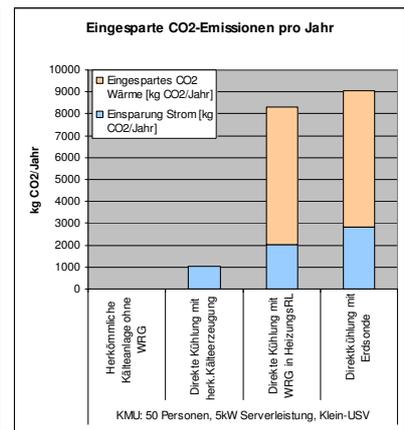
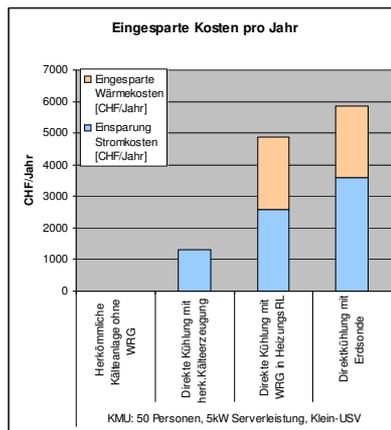
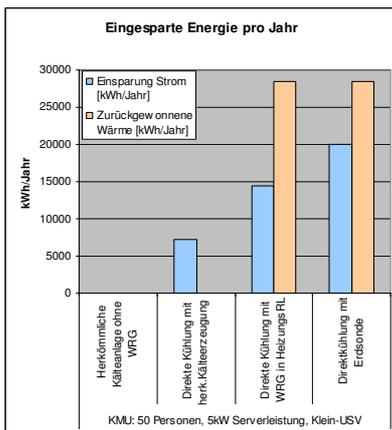


Eingesparte CO2-Emissionen pro Jahr und kW Wärmeleistung



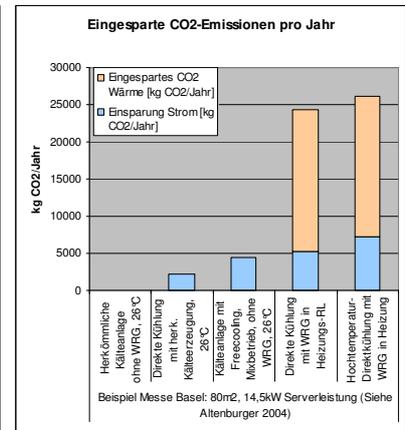
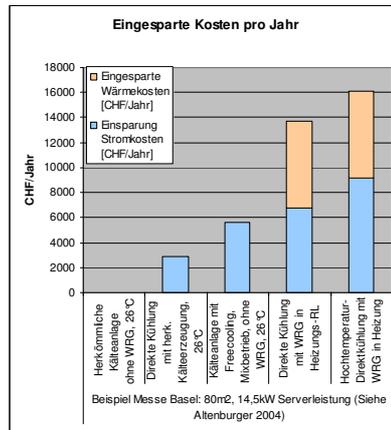
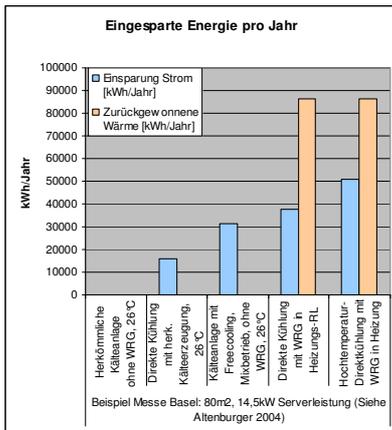
Szenarien Beispielsysteme

KMU: 50 Personen, 5kW Serverleistung, Klein-USV						Annahmen:	
	Herkömmliche Kälteanlage ohne WRG	Direkte Kühlung mit herk.Kälteerzeugung	Direkte Kühlung mit WRG in HeizungsRL	Direktkühlung mit Erdsonde			
Temperatur Luft, Kaltwasser VL/RL	22°C, 10/16°C	26°C, 14/20°C	38°C, 14/20°C	12/20°C			
Server-/USV-Leistung	5	5	5	5 kW			
Gebläse Raum	0.75	0.25	0.25	0.25 kW	Luft:	0.15	
Abzuführende Wärmeleistung	5.75	5.25	5.25	5.25 kW	Kühlmittel (Wasser)	0.05	
Systemtemperaturen					°C		
Anteil Freecooling	0	0	0.61944444	1			
Energie Freecooling	0	0	3.252083333	5.25 kW/kW			
COP Kälteerzeugung	3.5	4	4	4 W/W			
Energie Kälteerzeugung	1.642857143	1.3125	0.499479167	0 kW			
Energie Kälte-/Wärmeverteilung	0.16	0.16	0.16	0.025	Umwälzpumpe: 10W	0.01 kW/kW	
Energie Kühlung Total	2.552857143	1.7225	0.909479167	0.275 (Durchschnitt)	Ventilator: 150W	0.15 kW/kW	
Einsparung Strom/Jahr	0	7273.928571	14395.99107	19954.02857 kWh			
Anteil WRG	0	0	0.61944444	0.61944444 %			
Zurückgewonnene Wärme	0	0	3.252083333	3.252083333 kW	Heiztage	223 Tage/Jahr	
Einsparung Wärme/Jahr	0	0	28488.25	28488.25 kWh			
Kosten Strom/Jahr	4025	2716	1434	434 CHF	Stromkosten	0.18 CHF/kWh	
Einsparung Stromkosten/Jahr	0	1309	2591	3592 CHF			
Einsparung Wärmekosten/Jahr	0	0	2279	2279 CHF	Heizkosten	0.08 CHF/kWh	
Einsparung Total	0	1309	4870	5871 CHF			
Einsparung CO2 Strom	0	1032.897857	2044.230732	2833.472057 kg CO2/Jahr	CO2 Strom:	142 g CO2/kWh	
Einsparung CO2 Wärme	0	0	6238.92675	6238.92675 kg CO2/Jahr	CO2 Gas:	219 g CO2/kWh	



Beispiel Messe Basel: 80m2, 14,5kW Serverleistung (Siehe Altenburger 2004)

	Herkömmliche Kälteanlage ohne WRG, 26 °C	Direkte Kühlung mit herk. Kälteerzeugung, 26 °C	Kälteanlage mit Freecooling, Mixbetrieb, ohne WRG, 26 °C	Direkte Kühlung mit WRG in Heizungs-RL	Hochtemperatur-Direktkühlung mit WRG in Heizung
Temperatur Luft, Kaltwasser VL/RL	22 °C, 14/20 °C	26 °C, 14/20 °C	26 °C, 14/20 °C	38 °C, 14/20 °C	50/60 °C
Server-Leistung	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5 kW
USV-Verlustleistung	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725
Gebläse Raum	2.175	0.725	2.175	0.725	0.725 kW
Abzuführende Wärmeleistung	17.4	15.95	17.4	15.95	15.95 kW
Systemtemperaturen					°C
Anteil Freecooling	0	0	0.82	0.619444444	1
Energie Freecooling	0	0	14.268	9.880138889	15.95 kW/kW
COP Kälteerzeugung	4	4	4	4	4 W/W
Energie Kälteerzeugung	4.35	3.9875	0.783	1.517465278	0 kW
Energie Kälte-/Wärmeverteilung	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Energie Kühlung Total	6.685	4.8725	3.118	2.402465278	0.885 kW (Durchschnitt)
Einsparung Strom/Jahr	0	15877.5	31246.92	37515.00417	50808 kWh
Anteil WRG	0	0	0	0.619444444	0.619444444 %
Zurückgewonnene Wärme	0	0	0	9.880138889	9.880138889 kW
Einsparung Wärme/Jahr	0	0	0	86550.01667	86550.01667 kWh
Kosten Strom/Jahr	10541	7683	4916	3788	1395 CHF
Einsparung Stromkosten/Jahr	0	2858	5624	6753	9145 CHF
Einsparung Wärmekosten/Jahr	0	0	0	6924	6924 CHF
Einsparung Total	0	2858	5624	13677	16069 CHF
Einsparung CO2 Strom	0	2254.605	4437.06264	5327.130592	7214.736 kg CO2/Jahr
Einsparung CO2 Wärme	0	0	0	18954.45365	18954.45365 kg CO2/Jahr



Beispiel SAP-Gebäude: 80kW Serverleistung, WRG, Zentrale Kälte mit COP4

	Bisher: Herkömmliche Kälteanlage mit WRG	Kälteanlage mit Freecooling, Mixbetrieb und ev. WRG	Direkte Kühlung mit herkömmlicher Kälteerzeugung	Direkte Kühlung mit WRG in Heizungs-RL	Hochtemp.- Direktkühlung mit WRG in Heizung
Temperatur Luft, Kaltwasser VL/RL	26 °C, 14/20 °C	26 °C, 14/20 °C	26 °C, 14/20 °C	25/60 °C	50/60 °C
Server-Leistung	80	80	80	80	80 kW
USV-Verlustleistung	4	4	4	4	4
Gebläse Raum	12	12	4	4	4 kW
Abzuführende Wärmeleistung	96	96	88	88	88 kW
Systemtemperaturen					°C
Anteil Freecooling	0	0.685	0	0.619444444	1
Energie Freecooling	0	65.76	0	54.511111111	88 kW/kW
COP Kälteerzeugung	4	4	4	4	4 W/W
Energie Kälteerzeugung	24	7.56	22	8.372222222	0 kW
Energie Kälte-/Wärmeverteilung	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Energie Kühlung Total	36.16	19.72	26.16	12.532222222	4.16 kW (Durchschnitt)
Einsparung Strom/Jahr	0	144014.4	87600	206979.3333	280320 kWh
Anteil WRG	0.619444444	0	0.619444444	0.619444444	0.619444444 %
Zurückgewonnene Wärme	59.46666667	0	54.511111111	54.511111111	54.511111111 kW
Einsparung Wärme/Jahr	520928	0	477517.3333	477517.3333	477517.3333 kWh
Kosten Strom/Jahr	57017	31094	41249	19761	6559 CHF
Einsparung Stromkosten/Jahr	0	25923	15768	37256	50458 CHF
Einsparung Wärmekosten/Jahr	41674	0	38201	38201	38201 CHF
Einsparung Total	41674	25923	53969	75458	88659 CHF
Einsparung CO2 Strom	0	20450.0448	12439.2	29391.06533	39805.44 kg CO2/Jahr
Einsparung CO2 Wärme	114083.232	0	104576.296	104576.296	104576.296 kg CO2/Jahr

