

Rationalisierung

# Energieeinsatz in einem Rechenzentrum

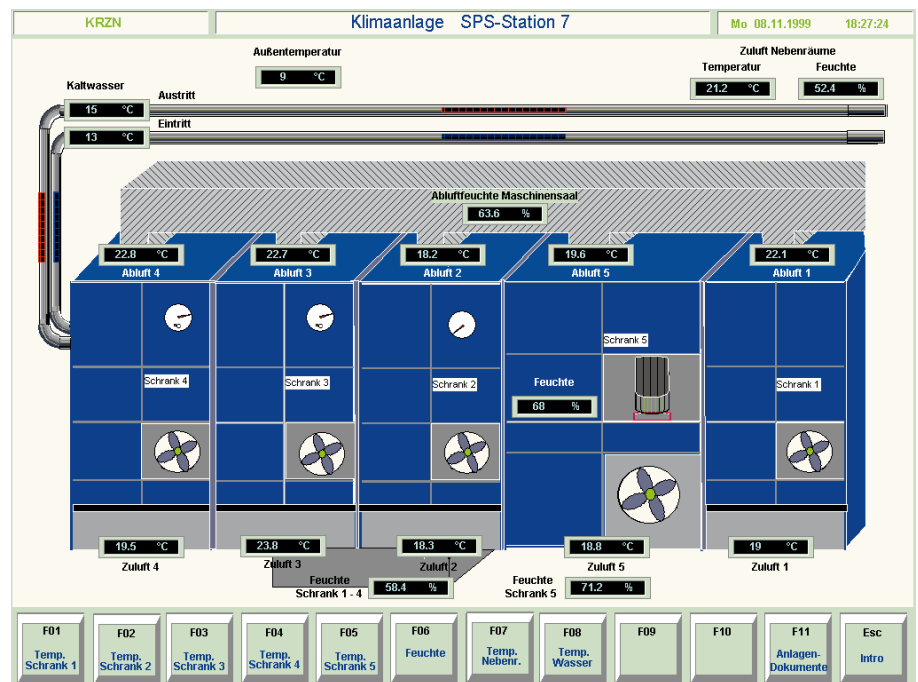
Othmar Verheyen, Duisburg

In einer durch den Auftraggeber veröffentlichten Studie [1] wies Prof. Volker Sperlich, Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, bereits 1988 nach, dass in Rechenzentren bei Nutzung des Temperaturgefälles zur Umgebung eine Einsparung von 60 % der zur Klimatisierung erforderlichen Energie möglich ist. Die Suche nach einem geeigneten Objekt für eine Demonstrationsmaßnahme war äußerst schwierig und führte eher zufällig Ende 1991 bei den Casiono-Gesprächen der Stadt Kamp-Lintfort zum Erfolg. Das Kommunale Rechenzentrum Niederrhein (KRZN) in Moers bot die besten Voraussetzungen, um verschiedene Energieeinsparmaßnahmen im Rahmen eines neuen Versorgungskonzeptes umzusetzen.

## Autor



Dipl.-Phys. Ing. Othmar Verheyen, Jahrgang 1954, studierte von 1973 bis 1978 Physik (DI) an der Universität-GH Paderborn. Seit 1979 ist er Mitarbeiter im Fachgebiet Energietechnik (Fachbereich Maschinenbau) der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg und beschäftigt sich seit 16 Jahren (bei Prof. Dipl.-Ing V. Sperlich) mit dem rationellen Energieeinsatz in Gebäuden und bei industriellen Prozessen.

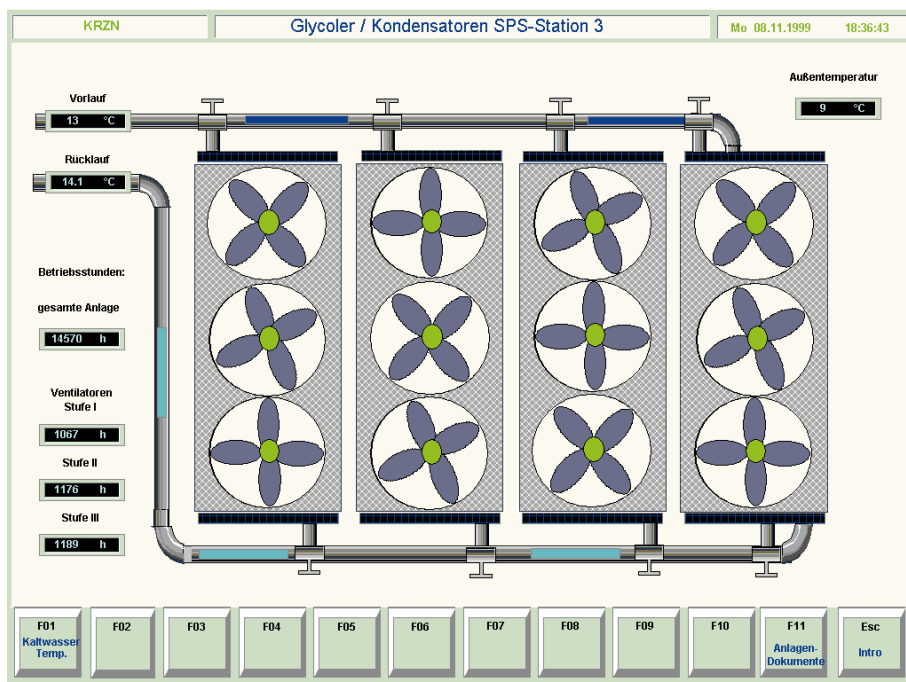


**Bild 1**  
Klimaanlage als Prozessleitbild

Das KRZN ist ein Zweckverband für eine kommunale Gemeinschaftsarbeit und somit eine Körperschaft des öffentlichen Rechts. Träger sind die Kreise Kleve, Viersen und Wesel sowie die Stadt Krefeld. Den dortigen 42 Kommunalverwaltungen und den Kreisen Borken und Steinfurt bietet das KRZN eine technikerunterstützte Informationsverarbeitung. Dazu muss ein 24-stündiger Rechnerbetrieb garantiert werden. Möglich ist dies nur, wenn einerseits die Stromversorgung für den Maschinensaal (500 m<sup>2</sup>) und andererseits

die notwendige Klimatisierung dauerhaft sicher gestellt ist.

Im Rahmen einer Diplomarbeit [2] wurden für das Rechenzentrum Einsparungen von 24 % für den Stromverbrauch und von 52 % für die Energiekosten prognostiziert. Dies sollte zunächst durch einzelne Einsparmaßnahmen (Be-



**Bild 2**  
Luftgekühlte Glycoler als Prozessbild

leuchtung u.ä.) erreicht werden, vor allem aber durch den Einsatz einer Außenluftkühlung und einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung.

Von 1994 bis 1996 wurden die Umbauten im KRZN durchgeführt. Die fachliche Beratung erfolgte durch die IfE Energietechnik [3]. Im weiteren werden die Maßnahmen dargestellt, die Energieströme bilanziert und Aussagen zur Wirtschaftlichkeit gemacht.

## Ausgangssituation

Die elektrische Versorgung des KRZN erfolgte über das öffentliche Verbundnetz. Die Rechneranlage im Zentrum des Gebäudes besitzt eine batteriegepufferte, unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV). Die Kühlung erfolgte einerseits über eine Wasserkühlung mittels Kompressionskältemaschinen (Anteil ca. 38 %) und andererseits über die Raumluft, die in vier Klimaschränken (Bild 1) unter Beimischung eines konstanten geringen Außenluftanteils mit Hilfe von zwei Kompressionskältemaschinen mit Direktverdampfern, deren Kondensatoren auf dem Dach luftgekühlt wurden (Splitgeräte). Die Kühlluft wurde mit acht im Luftkanal montierten Umluftventilatoren über den Doppelboden-Hohlraum zugeführt.

Die Büro- und Verwaltungsräume in

der Außenzone des Gebäudes wurden nicht klimatisiert und bis zu einer Außentemperatur von 0 °C über eine Wärmerückgewinnung aus den Kondensatoren der Kompressionskältemaschinen versorgt, unterhalb dieser Temperatur sorgte ein Ölkessel (273 kW) für die Bedarfsdeckung.

Die wassergekühlte Rechnereinheit wurde 1994 durch eine luftgekühlte Anlage mit etwa halbem Leistungsbedarf ersetzt. Dadurch konnte die Kaltwasservorlauftemperatur auf 14 °C angehoben werden.

## Beleuchtung

Die Leuchtmittel der Peitschen-Außenbeleuchtung wurden durch Natriumdampf-Niederdrucklampen ersetzt. Die zweiflammigen Leuchtstofflampen wurden sukzessiv durch einflammige Dreiband-Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten ersetzt und die Beleuchtungsstärke und -dauer optimiert. Dadurch wurde im Maschinensaal nicht nur die Kühllast, sondern auch die Luftleistung reduziert. Zusätzlich wurden die 60 W-Schreibtischlampen gegen 11W-PL-Leuchten ausgetauscht.

## Freie Außenluftkühlung

Mit einem Außenluftanteil von ca. 25 %, entsprechend 9 500 m<sup>3</sup>/h, konnte erreicht werden, dass bei Außentemperaturen zwischen 15 und 20 °C und entsprechender Außenfeuchte kein Kühlaggregat erforderlich wird. Diese

Kühlungsvariante wurde auf die Befeuchterleistung der Anlage abgestimmt und gewährleistet an etwa 1000 h im Jahr die Versorgung.

## Glycoler-Kühlung

Für die indirekte Außenluftkühlung wurden vier sogenannte Glycoler mit einer Kälteleistung von 55 kW bei 5 °C Außentemperatur installiert, deren Axialventilatoren reihenweise zuschaltbar sind und eine max. Anschlussleistung von 11,2 kW haben. Aus den bisherigen Erfahrungen ist von Oktober bis April ein Glycolerbetrieb mit ca. 3 800 h möglich, wobei die Kühllast des Maschinensaals vollständig abgefahren werden kann. Die Kältemaschinen der Klimaschränke stehen als Reserve zur Verfügung (Bild 2).

## Befeuchtung

Die beiden elektrische Dampfbefeuchter (20 und 5,8 kW<sub>el</sub>) für die Konditionierung mit einem Mindestfeuchtegehalt der Zuluft von 7,8 g/kg wurden gegen vier Ultraschallbefeuchter mit höherer Leistung (80 kg/h) ausgetauscht, da bei der freien Außenluftkühlung eine höhere Befeuchterleistung erforderlich ist. Diese Befeuchter zeichnen sich durch einen sehr guten Wirkungsgrad aus – gegenüber herkömmlichen Elektrodampfbefeuchtern werden nur ca. 7 % der Energie benötigt. Die Schwingungselemente mussten jedoch nach dreijährigem Betrieb erneuert werden. Vorsorglich wurde die Wasseraufbereitung durch eine weitere Einheit verstärkt. Der Kaltwassereinsatz bringt zusätzliche Kühlung durch Verdunstung.

## Blockheizkraftwerk

Aus Gründen der Versorgungssicherheit wurden zwei BHKW mit je 225 kW<sub>el</sub> installiert. Die beiden IVECO-Dieselmotoren wurden mit Turboladern und Ladeluftkühlern nachgerüstet, so dass sie mit dem Typ 8281 SRi 25 vergleichbar sind. Der spezifische Investitionsaufwand für die BHKW, inklusiv Umrüstung und Einbindung, betrug nur 800 DM/kW<sub>el</sub>. Die thermische Leistung der BHKW (je 298 kW) reicht im Winter für die Gebäudeheizung vollständig aus, so dass die Wärmerückgewinnung aus den nicht mehr betriebenen Kompressionskältemaschinen demontiert werden konnte. Im Sommer dient die Abwärme des BHKW zum Antrieb der Absorptionskältemaschine. Nur ein geringer Teil wird über Dach abgeführt.

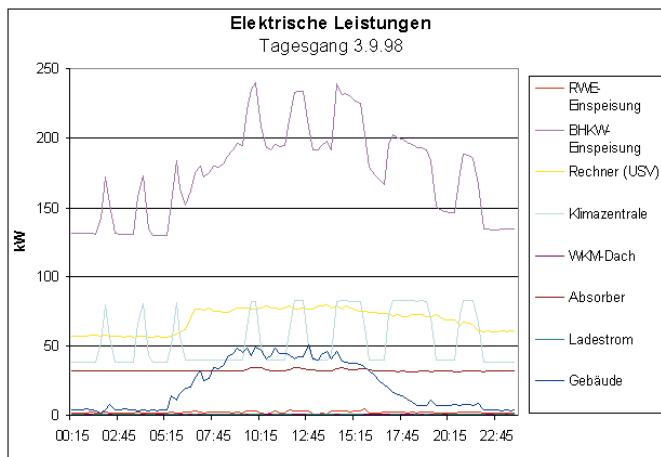


Bild 3

## Elektrische Tageslastgänge

ter Einbeziehung des Pufferspeichers, des Reserveklimaschranks zur Entfeuchtung des Maschinensaals, der Kaltwassersätze in der Klimazentrale eingestellt. Dazu gehört auch die Aufschaltung der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) im Inselbetrieb, die Sicherung des Kaltwassernetzes und die Reduzierung des Blindstromverbrauchs. Dies war nur mit einer PC-gesteuerte Mess- und Regeltechnik möglich.

## Absorptionskältemaschine

Im KRZN kommt eine Carrier-Absorptionskältemaschine, Typ 16JB010, mit einer Kälteleistung von 300 kW zum Einsatz. Bei einem COP-Wert<sup>1)</sup> von 0,69 entspricht dies einer Heizwärmeleistung von 435 kW, die vollständig vom BHKW geliefert werden kann. Die Kompressor-Kältemaschine (WKM Refac: 128 kW<sub>Kälte</sub> und 48 kW<sub>el</sub>) ist nur für den Notfall vorgesehen.

Im allgemeinen sind die Betriebserfahrungen durchweg positiv [4]. Einige AKM laufen schon über 10 Jahre mit Verfügbarkeiten von > 99 %. Um den Betrieb der AKM zu verbessern, wurden vom Fachgebiet Energietechnik der Universität Duisburg magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte im Heiz-, Kaltwasser- und Kühlkreislauf installiert. Nach Anschluss aller Messensoren an die DDC-Anlage kann im Sommer 2000 die BHKW/AKM-Anlage vollständig bilanziert werden – über die Ergebnisse wird noch berichtet werden.

## Weitere Maßnahmen

In den letzten Jahren wurde die Gebäudeleittechnik (GLT) stetig modernisiert und erweitert. Erst dadurch wurden manche Umstellungen, wie das Implementieren einer Pumpenlogik mit optimiertem Betrieb der Kreislaufströme, möglich.

In einer Zwischenphase wurden konkrete Maßnahmen mit Mitteln aus dem REN-Programm [5] des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert. Durch den Einbau eines motorisch betriebenen Kuppelschalters können die BHKW nun auch im Inselbetrieb gefahren werden. Ein Energieanalysator ermöglicht seit August 1996 eine kontinuierliche, dreiphasige Messung von RWE- und BHKW-Einspeisung und von sechs Verbrauchergruppen. Beispielhaft sind Tagesgänge in Bild 3 dargestellt.

Zusätzlich wurden die Regelung einzelner Komponenten optimiert, d.h. Vorlauftemperaturen und Umschaltpunkte für die Absorber, Glycoler, AKM, KKM un-

## Energiebilanz

Vor dem Umbau wurden im KRZN die Energiekostenrechnungen ausgewertet und zusätzlich eigene Messungen durchgeführt. Aus einer Wochenmessung wurde ein Jahresstromverbrauch hochgerechnet, der nur um 1,6 % vom Mittelwert der Rechnungsdaten (2 433 MWh/a) für die Jahre 1990 bis 1992 differierte. Neben den Rechnungen und Messungen wurden auch wöchentlich die Betriebszeiten der einzelnen Komponenten erfasst. Auch in Zukunft wird die Energie- und Kostensituation im KRZN erfasst und analysiert. Eventuell sind dann noch weitere Verbesserungen möglich.

## Strom

Nach der Inbetriebnahme der BHKW wurde der Stromliefervertrag (Tarif L 210) mit der RWE Energie AG zum 1.12.1994 umgestellt auf eine Zusatz- und Reserveversorgungsregelung (Zu 125 + R). Es wurde eine Zusatzleistung von 75 kW und eine Langzeit-Reserveleistung von 270 kW vereinbart, diese wurden ab dem 1.6.1996 reduziert auf 40 bzw. 225 kW.

In Bild 4 ist für den September 1998 die tägliche elektrische Arbeit einzelner Verbraucher und die Strombereitstellung mittels BHKW sowie der Bezug aus dem öffentlichen Netz dargestellt. Das BHKW liefert 97,5 % des Bedarfs für Rechner (Anteil: 43,3 %), Klimatisierung (46,7 %) und Gebäude (10 %). In Tabelle 1 sind die Jahresdaten aufgelistet, die eine

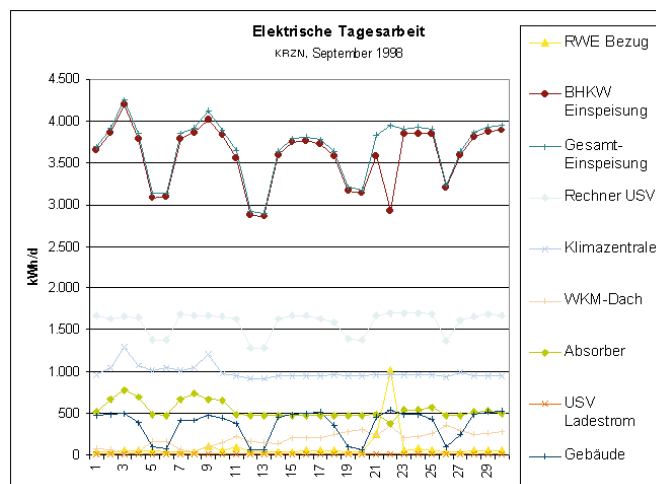


Bild 4

## Tagesstrombedarf September 98

<sup>1)</sup> Coefficient of Performance (Verhältnis Kälteleistung des Verdampfers zur Wärmeleistung des Austreibers)

Einsparung im Jahre 1997 im Vergleich zu den Jahren 1990 bis 1993 um 1 164 357 kWh, bzw. um 48,1 % belegen.

Die Gesamteinspeiseleistung beträgt ca. 158 (125) kW [die Werte in Klammern gelten für die Wochenende]. Hauptabnehmer ist die Rechneranlage (USV) mit 70 (60) kW, gefolgt von der Klimazentrale mit 41 kW. Der Gebäudebedarf liegt bei 21 (5) kW. Dies sind Tagesdurchschnittswerte – **Bild 5** zeigt den Tagesgang für den Gebäudestrom mit Spitzen über 60 kW.

## Heizöl

Für das BHKW steht ein 80 000-Liter-Tank zur Verfügung, dessen diskontinuierliche Befüllung eine Verbrauchsanalyse erschwert. Der Mittelwert von ca. 45 000 l/a für die Jahre 1990 bis 1993 wurde neben der Wärmerückgewinnung – die leider nicht mehr zu quantifizieren ist – zur Heizwärmebereitstellung benötigt. Die Tabelle 1 zeigt die Entwicklung der Bezugsmengen und besonders den Mehrbedarf nach der BHKW-Inbetriebnahme. Für die geplante Feinanalyse des Zusammenspiels BHKW und AKM ist der Einbau eines Dieselmessers vorgesehen.

Mit dem Heizwert für leichtes Heizöl, 9,89 kWh/l, ergibt sich der Brennstoffeinsatz für 1998 von 3 839 644 kWh. Aus den Messungen ergab sich eine BHKW-Stromerzeugung für das gleiche Jahr von 1 324 285 kWh. Der daraus resultierende Nutzungsgrad von 34,5 % erscheint für Diesel-BHKW gering, aber unter Berücksichtigung der mittleren BHKW-Teillast von 62 % durchaus realistisch.

## Überschusswärme

Die Ermittlung der Überschusswärme erfolgt über einen in die Notkühlung installierten Wärmemengenzähler. Die ermittelten Werte können in der Gebäudeleittechnik (GLT) abgelesen werden. 1998 musste Überschusswärme in Höhe von 388 300 kWh abgeführt werden. Dies sind 28,4 % der durch das BHKW bereitgestellten Wärme ( $\eta_{th}$  angen. mit 50,5 %) und bezogen auf den Brennstoffeinsatz 14,3 %. Durch eine weitere Optimierung des Absorberbetriebes wird für das laufende Jahr eine weitere Reduzierung der Überschusswärme erwartet.

Tabelle 1

### Energiebezugsstatistik

Jahr	Gesamt-bezug Strom kWh	Leistung berechnet kW	spezif. Strompreis*) DM/kWh	Heizöl-menge l	spezif. Preis (incl. MWSt.) DM/l
1990	2 546 040	440	0,1558	40 033	0,3894
1991	2 367 700	393	0,1597	45 059	0,4175
1992	2 384 960	369	0,1546	46 062	0,3640
1993	2 378 500	373	0,1555	48 739	0,3795
1994	2 179 380	393	0,1614	68 353	0,3530
1995	864 545	359	0,2442	470 911	0,3221
1996	10 485	47	2,4312	414 178	0,3975
1997	35 832	142	0,6792	429 585	0,4005
1998	42 433	56	0,5499	388 235	0,3320

\*) bis 1994 incl. Umweltschutzkosten und bis 1995 incl. Ausgleichsabgabe

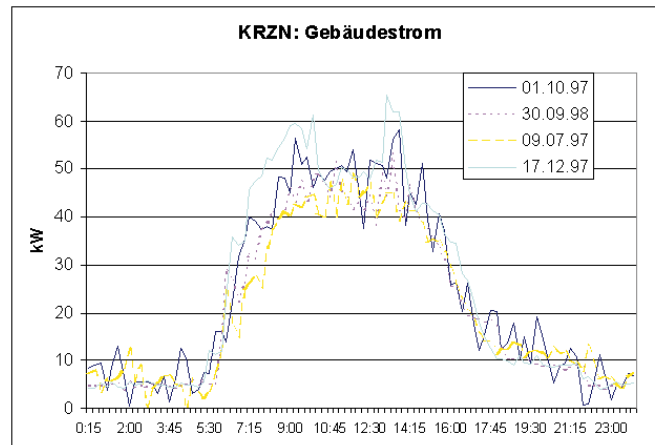


Bild 5

### Tagesgänge Gebäudestrom

## Kennzahlen

Die Bildung von Kennzahlen gestaltet sich für Rechenzentren äußerst schwierig, weshalb diese auch in einschlägigen Publikationen nicht zu finden sind. Das KRZN ermittelt eine sogenannte Produktionseinheit, die als Summe von Aktionen (Druckzeilen u.ä.) gebildet wird und von 1990 bis 1995 um durchschnittlich 15 %/a steigt. Wird der Stromverbrauch dazu in Beziehung gesetzt, ist eine Abnahme von 17 %/a festzustellen.

## Wirtschaftlichkeit

Insbesondere der auffallend günstige BHKW-Bezug reduzierte die geplanten Investitionskosten um 260 000 DM, die **Tabelle 2** schlüsselt die einzelnen Positionen auf. Für die nicht notwendig gewordene Erweiterung der Batterieanlage und der Blindstromkompensation können 100 000 bzw. 40 000 DM gutgeschrieben werden, so dass die bereinigte Investitionssumme unter Berücksichtigung der Förderung aus den REN-Programm ca. 664 000 DM beträgt.

2 Blockheizkraftwerke (je 225 kW <sub>el</sub> )	245 000 DM
BHKW-Umrüstung, Einbau	115 367 DM
Absorptionskältemaschine (176 kW <sub>Kälte</sub> ), incl. Kühlturm, Einbindung, Regelung	386 370 DM
Axial-Glycoler incl. Installation	50 000 DM
Planung und Beratung	120 000 DM
$\Sigma$	916 737 DM

Tabelle 2

### Investitionskosten (netto)

Jahr	Strombezug	Heizöl	Wartung	Reparatur	Gesamtkosten
	DM	DM	DM	DM	DM
1990	396 745	15 588			412 333
1991	378 225	18 811			397 036
1992	368 704	16 767			385 471
1993	369 839	18 496			388 335
1994	351 745	24 130			375 875
1995	211 158	151 659			362 817
1996	25 491	164 627	22 548	23 000	235 666
1997	24 338	172 030	19 783	48 080	264 231
1998	23 333	129 255	24 260	57 845	234 693

Für den Betriebskostenvergleich wurden die Jahreswerte aus **Tabelle 3** von 1990 bis 1993 (früher) und von 1996 bis 1998 (heute) gemittelt herangezogen.

Den früheren Heizöl- und Strombezugskosten von 17 420 DM bzw. 378 380 DM/a (RWE-Tarif L210) stehen heute Kosten für den Restbezug (Tarif Zu 125 R) von 24 390 DM/a (prognostiziert: 41 000 DM/a), sowie für Brennstoffkosten der BHKW von 155 300 DM/a entgegen (1994 prognostiziert: 165 000 DM/a). Reparatur- und Wartungskosten betragen 65 170 DM/a. Es wurde eine Kostenreduzierung um durchschnittlich 150 940 DM/a bzw. 38,1 % erzielt.

Die Kapitalrückflusszeit beträgt nach der statischen Methode etwa 5,1 Jahre. Die vollen Investitionskosten wurden mit einem Kredit finanziert – Verzinsung 5 %, Laufzeit 5 Jahre. Wird in der gleichen Zeit abgeschrieben, beträgt die Zinslast 137 430 DM. Die ersten Jahre weisen dann einen Verlust aus. Während einer Anlagenlaufzeit von zwölf Jahren ist aber ein unverzinsten Gewinn von etwa 1,1 Mio. DM zu erwirtschaften.

## CO<sub>2</sub>-Bilanz

Das hier vorgestellte Energiekonzept führt neben der Reduzierung des Primärenergieeinsatzes zu einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emission von früher 1 655

t/a auf heute 477 t/a, d. h. um 71 % (mit CO<sub>2</sub>-Emissionen: Strom aus Kraftwerksmix 629 g/kWh<sub>el</sub> / Heizkessel (Öl) 352 g/kWh<sub>Nutz</sub> / Diesel-BHKW 327 g/kWh<sub>el</sub> [6]).

## Zusammenfassung

Zur Abfuhr der inneren Lasten des Rechenzentrums wurden früher aus Gründen der Betriebssicherheit Kompressionskältemaschinen eingesetzt. Auf die Möglichkeit, das natürliche Wärmegefälle nach außen zu nutzen, wurde dabei bewusst verzichtet. Neue energiepolitische Zielsetzungen zwingen jedoch auch hier zum Umdenken. Die Luftkühlung mittels Glycoler funktioniert bis zu 14 °C Außentemperatur einwandfrei. Danach setzt die freie Außenluftkühlung bis ca. 20 °C ein. Der konstante Stromverbrauch eines Rechenzentrums macht zudem den Einsatz von BHKW sinnvoll, dessen Abwärme bei höheren Außentemperaturen für den Antrieb einer Absorptionskältemaschine verwendet werden kann und bei niedrigen Temperaturen die Heizwärme aus dem Heizkessel substituiert. Die Eigenstromerzeugung erhöht zudem die Betriebssicherheit, ebenso die vielfältigen Möglichkeiten der Kältebereitstellung. Das Maßnahmenpaket hat mit ca. 916 710 DM Investitionsvolumen einen jähr-

Tabelle 3

### Betriebskosten

lichen Kostenvorteil von 38 % erbracht und erzielte eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emission von 71 %. Diese Reduzierung ist zu etwa 20 % auf die geringere Anschlussleistung des neuen Rechners und zu etwa 80 % auf das Maßnahmenpaket zurückzuführen. H 811

## Literatur

- [1] R. Reuter: *Energiesparsysteme für EDV-Kühlung*. TAB 6/89, S. 541–542.
- [2] Christian Tögel: *Projektierung und Bilanzierung eines neuartigen Energiekonzeptes für ein Rechenzentrum*, Diplomarbeit 1994, Fachhochschule Gelsenkirchen, Prof. Dr. Heß.
- [3] IfE Energietechnik GmbH, Dipl.-Ing. N. Kubaneck/Dipl.-Ing. N. Bochnig, 46049 Oberhausen.
- [4] ASUE-Schrift „Wärme macht Kälte – Kraft-Wärme-Kopplung mit Absorptionskältemaschinen“.
- [5] REN-Programm des Landes Nordrhein-Westfalen, Projektleitung BEO, Projekt „Rationalisierung des Energieeinsatzes in einem Rechenzentrum“ Az. 65.69-A-142.
- [6] Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS), Version 3.0, Sept. 1997.