



EU-Programm THERMIE

Projekt-Nr.: BU/0065/97

Rationelle Versorgung mit Strom, Wärme und Kälte im Malteser-Krankenhaus Kamenz

Technischer Endbericht



Ausführendes Konsortium:

- DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH (Leipzig/Freiberg)
- Technische Universität Dresden
- GASTEC N.V. (Apeldoorn/NL)

Gefördert durch:

- Europäische Union
- Freistaat Sachsen
- Malteser Betriebsträgergesellschaft Sachsen gGmbH
- VNG - Verbundnetz Gas AG
- Thyssengas GmbH
- Gasversorgung Sachsen Ost GmbH

	2. VERTRAGSPARTNER	3. VERTRAGSPARTNER
Name der Firma:	Gastec N.V.....	TU Dresden, EW/TD
Kontaktperson:	Dr. E. A. Polman.....	Prof. Dr. J. Zschernig
Adresse:	P.O. Box 137	Mommsenstr. 13
	NL - 7300 AC Apeldoorn	D - 01062 Dresden
		
Telefon-Nr.:	(0031.) (55) (5 39 33 86) (Land) (Vorwahl) (Nummer)	(0049.) (351.....) (4 63 21 45.....)
Telefax-Nr.:	(0031.) (55) (5 39 34 94) (Land) (Vorwahl) (Nummer)	(0049.) (351.....) (4 63 70 76.....)

Zusammenfassung

Ein neues und innovatives Konzept für die Versorgung mit Strom, Wärme und Kälte wurde im neuen Malteser-Krankenhaus St. Johannes in Kamenz/Sachsen verwirklicht. Hauptkomponenten dieses Demonstrationsprojektes sind eine erdgasbetriebene Brennstoffzelle (P_{el} 200 kW, P_{therm} 220 kW), eine Adsorptionskältemaschine (105 kW Kälteleistung) sowie Solarkollektoren und Photovoltaik.

Diese Art der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung wurde europaweit erstmalig in Betrieb genommen.

Die Brennstoffzelle erfüllt zwei Aufgaben: Einerseits produziert sie Strom für das Krankenhaus, das diesen nahezu kontinuierlich verbraucht. Andererseits wird die von der Brennstoffzelle erzeugte Wärme (gemeinsam mit der Solarwärme) für die Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung genutzt. Im Sommer wird die Wärme zum Antrieb der Adsorptionskältemaschine (AdKM) genutzt, die Kälte für die Klimatisierung erzeugt.

Der Vorteil im Vergleich mit herkömmlichen Konzepten der gekoppelten Kraft-Wärme-Kälte-Erzeugung ist einerseits die hocheffiziente Ausnutzung der Brennstoffenergie für die Stromerzeugung. Brennstoffzellen arbeiten auch in Teillast mit hohen Wirkungsgraden. Andererseits kann die von der Brennstoffzelle und den Solarkollektoren erzeugte Wärme auch im Sommer durch die Adsorptionskältemaschine genutzt werden.

Die Inbetriebnahme der Brennstoffzelle erfolgte im Februar 2000, nach Problemen in der Startphase arbeitet die Zelle seit Mai 2000 zufriedenstellend. Die Stromerzeugung ist ausgezeichnet, die Brennstoffzelle läuft fast kontinuierlich mit Vollast und deckt den Großteil des Strombedarfs des Krankenhauses. Die Hochtemperaturauskopplung ist seit Juli 2000 optimiert, die HT-Wärmeerzeugung ist zeitweise besser als erwartet.

Die Kältetechnik arbeitet seit Mai 2000, ein erfolgreiches Zusammenarbeiten zwischen den Kältemaschinen und dem Eisspeicher konnte erreicht werden, die Anlage deckt den Kältebedarf des Krankenhauses.

Die Solarkollektoren sind seit August 2000 in Betrieb, sie konnten erfolgreich in die Wärmeversorgung einbezogen werden. Die Photovoltaik arbeitet seit Juli 2000 zufriedenstellend.

Durch die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung konnten signifikante Brennstoffeinsparungen und Emissionsminderungen erzielt werden. Optimierter und kontinuierlicher Betrieb sowie hohe Brennstoffausnutzung werden bisher und in Zukunft demonstriert.

Die Projektergebnisse erfüllen ideal die Ziele des 5. EU-Rahmenprogramms für Forschung und Entwicklung, Teil ENERGIE, insbesondere die strategischen Prioritäten hinsichtlich Brennstoffzellen, erneuerbare Energien, dezentralisierter Energieerzeugung und sparsamer Gebäude (s. Revision des Arbeitsprogramms vom Oktober 2000).

Die weitere Verbreitung der Ergebnisse wird vorangetrieben. Aufgrund der guten Zusammenwirkens der innovativen Komponente sehen die Projektpartner gute Chancen, das Projekt möglicherweise zu wiederholen.

Inhaltsverzeichnis

1	Detailangaben zum Projekt	1
2	Ziel und grundlegende Beschreibung	5
2.1	Ziel des Projekts	5
2.2	Beschreibung der Örtlichkeit	5
2.3	Beschreibung der Installation	7
2.3.1	Überblick über das Gesamtsystem	7
2.3.2	Brennstoffzelle	9
2.3.3	Adsorptionskältemaschine	13
2.3.4	Solarkollektoren	14
2.3.5	Wärme- und Kältespeicher	15
2.3.6	Kühldecken	17
2.4	Beschreibung der Meßdatenerfassung	18
2.4.1	Datenbasis	18
2.4.2	Datenverarbeitung	19
3	Bau, Installation und Inbetriebnahme	21
3.1	Lieferanten von Ausrüstung und Dienstleistungen	21
3.2	Projektmanagement	22
3.3	Probleme, Lösungen, Erfolge	23
3.4	Modifikationen und Überschreitungen	26
3.5	Zeitplan	27
3.6	Kosten	28
4	Betrieb und Ergebnisse	29
4.1	Bisheriger Betrieb	29
4.2	Leistungen	32
4.2.1	Brennstoffzelle	32
4.2.1.1	Wirkungsgrade	32
4.2.1.2	Zellstapelleistungen	36
4.2.1.3	Anfahren und Reaktionszeiten	38
4.2.1.4	Lebensdauer und Zellstapeldegradation	40
4.2.1.5	Zusammensetzung der Prozeßgase	41
4.2.2	Adsorptionskältemaschine	42
4.2.3	Solaranlagen	45
4.2.4	Speicher	47
4.2.5	Zusammenarbeit der Komponenten	51
4.3	Erfolg des Projekts	53
4.4	Betriebskosten	53
4.5	Zukünftiger Einsatz der Anlage	53
4.6	Wirtschaftliche Eckdaten	54
4.7	Umwelteinflüsse	55
5	Öffentlichkeitsarbeit, Kommerzialisierung und andere Entwicklungen	58
5.1	Werbung und andere Veröffentlichungen	58
5.2	Patent-Aktivitäten	60
5.3	Ausblick	60
5.4	Kommerzialisierung	61
6	Erfahrungen / Schlußfolgerungen	63
7	Referenzen	64
8	Photographien	65

2 ZIEL UND GRUNDLEGENDE BESCHREIBUNG

2.1 Ziel des Projekts

Ziel des Projektes war die Errichtung einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage im neubauten MALTESER-Krankenhaus in Kamenz. Die Hauptkomponenten der Anlage sind eine Brennstoffzelle, eine Adsorptionskältemaschine sowie Solarkollektoren. Das optimale Zusammenwirken der Komponenten sollte demonstriert, der Kenntnisstand zu solarer Klimatisierung vertieft werden.

Brennstoffzellen sind eine Variante zukünftiger moderner Energieerzeugung. Während sie heutzutage hauptsächlich mit Erdgas betrieben werden, können in absehbarer Zeit Wasserstoff oder Methanol, die aus erneuerbaren Energiequellen erzeugt werden, als Brennstoff eingesetzt werden. Um diese Zukunftsoptionen zu verwirklichen, ist es erforderlich, daß Brennstoffzellen mit angemessenen Preisen auf dem Weltmarkt verfügbar werden. Es ist jedoch ebenso wesentlich, Konzepte zu testen für Systeme, die optimalen Einsatz der erzeugten Elektroenergie und Nutzung der erzeugten Wärme ganzjährig ermöglichen.

Das Projekt unterscheidet sich von herkömmlichen Kraft-Wärme-Kältekopplungen durch die Zusammenschaltung einer Brennstoffzelle und einer Adsorptionskältemaschine. Diese Kombination verspricht Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Konzepten, die Gasmotoren und Absorptionsmaschinen miteinander kombinieren. Das System wird durch eine adaptive Regelung kontrolliert, die die tägliche Wettervorhersage der Region berücksichtigt.

Auf diese Weise sollen optimale Betriebsbedingungen für die Anlage erreicht werden. Verminderte Emissionen, kontinuierlicher Betrieb und eine erhöhte Lebensdauer der Gesamtanlage, bedingt durch die Substitution mechanischer durch chemische und thermische Prozesse, werden erwartet.

2.2 Beschreibung der Örtlichkeit

Das Malteser-Krankenhaus St. Johannes liegt am südwestlichen Stadtrand von Kamenz (D-01917 Kamenz, Nebelschützer Straße; Flurstücke 153g, h, i, k, l, m und 153-16). Kamenz ist die Hauptstadt des Landkreises Kamenz, 50 km östlich von Dresden.

Der Krankenhausneubau (Einweihung am 11. September 2000) ersetzt zwei ältere Krankenhäuser (Kamenz und Räckelwitz) und genügt dem Bettenbedarf der Stadt (ca. 19.000 Einwohner) und Teilen des Landkreises (ca. 156.500 Einwohner einschließlich Kamenz). Es umfaßt 210 Betten und 25 weitere Plätze in einer psychiatrischen Tagesklinik, diverse Operationssäle und Fachabteilungen sowie eine Küche, die andere Krankenhäuser und Altenheime mitversorgt.

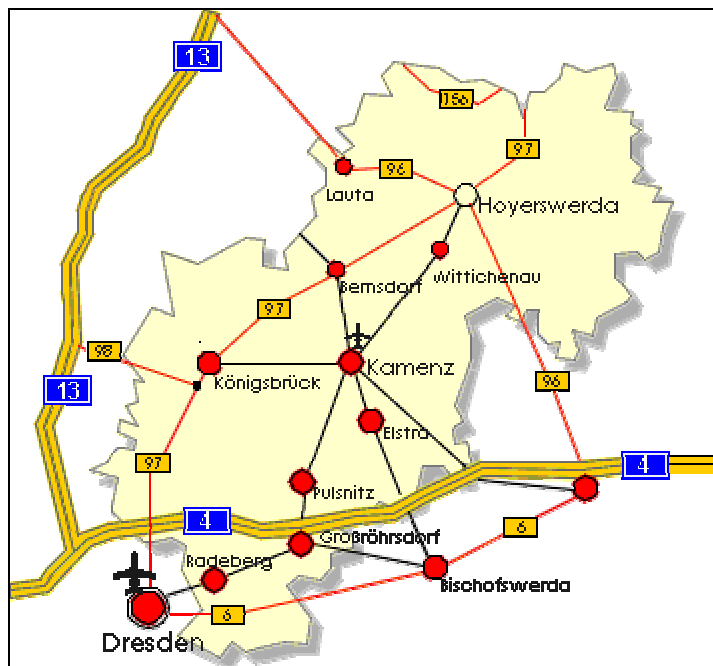


Abbildung 1: Landkreis Kamenz

Abbildung 2 zeigt das Krankenhaus aus der Vogelperspektive. Die Technikzentrale und die Freifläche für die innovativen Komponenten sind in der unteren linken Ecke sichtbar.



Abbildung 2: Malteser-Krankenhaus St. Johannes, Kamenz

2.3 Beschreibung der Installation

2.3.1 Überblick über das Gesamtsystem

Die Planungen gingen von folgenden Anschlußwerten für die Energieversorgung aus:

- 1,8 MW Wärme
- 440 kW Elektroenergie
- 220 kW Kälte

Der Bedarf an Kälte wird vollständig und der Bedarf an Wärme und Strom in der Grundlast von der im Rahmen des beschriebenen Forschungsvorhabens errichteten Anlage gedeckt. Die Spitzenlast wird durch zwei gasbeheizte Niedertemperaturkessel von je 900 kW Wärmeleistung sowie aus dem öffentlichen Stromnetz gedeckt.

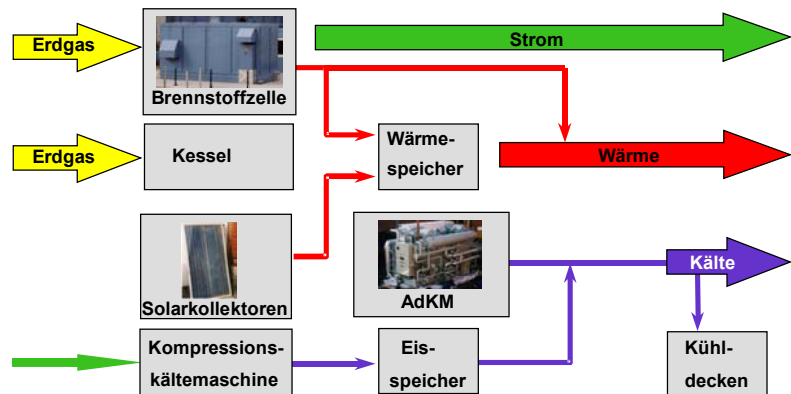


Abbildung 3: Überblick innovative Komponenten

Der im folgenden als "innovative Anlage" bezeichnete Forschungsgegenstand besteht aus folgenden Komponenten:

Tabelle 1: Hauptkomponenten des Projekts

Komponente	Technische Daten	
Brennstoffzelle Typ: ONSI PC 25 C Elektrolyt: H ₃ PO ₄	200 kW	Elektrische Leistung
	110 kW	Wärmeleistung HT
	100 kW	Wärmeleistung NT
Hilfskühler der BZ	250 kW	Rückkühlleistung
Adsorptionskältemaschine	105 kW	Kälteleistung
Kompressionskältemaschine	80 / 120 kW	Kälteleistung
Rückkühlwerk	390 kW	Rückkühlleistung
Eisspeicher	390 kWh	Speicherkapazität
Wärmespeicher	20 m ³	Speicherinhalt
Kältepuffer	1,5 m ³	Speicherinhalt
TWD-Kollektoren	116 m ²	Installierte Fläche
Photovoltaik	13 m ²	Installierte Fläche

Brennstoffzellen besonders wichtig. Die installierte Zelle deckt 12 % des Wärmeleistungsbedarfs und 45 % des Spitzenstrombedarfs ab.

Die Größe des Sonnenkollektorfeldes orientierte sich an der verfügbaren Dachfläche des Technikgebäudes. Aus energetischer Sicht hätten auch bis zu 200 m² Kollektorfläche installiert werden können.

Die Brennstoffzelle liefert 110 kW Wärme auf einem für die Kältemaschine nutzbaren Temperaturniveau von bis zu 90 °C. Damit lassen sich etwa 70 kW Kälte erzeugen. Eine weitere Wärmemenge wird vom Kollektorfeld bereitgestellt. Hinzu kommt im Spitzenfall noch eine Entnahme aus dem in den verbrauchsarmen Nachtstunden aufgeladenen Wärmespeicher.

Ein zusätzlicher Wärmebezug aus dem Heizkessel ist nicht sinnvoll, da Sorptionskälteerzeugung nur aus Abwärme und regenerativ erzeugter Wärme energetisch günstig ist. Der Auslegungsbereich der Kältemaschine lag damit zwischen 90 und 130 kW. Das einzige in diesem Leistungsbereich verfügbare Serienprodukt einer Adsorptionskältemaschine hat bei den gegebenen Parametern eine Leistung von 105 kW.

Das Teilsystem Kompressionskältemaschine/Eisspeicher deckt den Spitzen-Kältebedarf. Hierbei wurde der Eisspeicher so konzipiert, daß die Kompressionskältemaschine in der Spitzenstromzeit tagsüber bis 14.00 Uhr nie und in der Zeit zwischen 14.00 und 22.00 Uhr nur an Tagen mit mehr als 30 °C Außentemperatur arbeiten muß. Die Eisspeicherladung erfolgt in der Schwachlastzeit von 22.00 bis 04.00 Uhr. Der Strom entstammt hierbei der Brennstoffzelle.

Der Wärmespeicher wurde so bemessen, daß auch am Tag des maximalen Kältebedarfs ein kontinuierlicher Betrieb der Adsorptionskältemaschine möglich ist.

Der kleine Kältepuffer von 1,5 m³ Volumen gleicht lediglich die zyklusbedingten Temperaturschwankungen der Adsorptionskältemaschine aus. Er ist so konzipiert, daß die Verweilzeit des Wassers bei etwas weniger als einem Betriebszyklus von 10 Minuten liegt.

Die Photovoltaik entspricht in der Energieerzeugung in der Größenordnung dem Strombedarf der Pumpen der thermischen Solaranlage.

2.3.2 Brennstoffzelle

Die Phosphorsäure-Brennstoffzelle (PAFC) des amerikanischen Herstellers ONSI (Modell PC 25 C) besitzt eine maximale elektrische Leistung von 200 kW. Die maximale thermische Leistung beträgt ca. 220 kW. Die ONSI-Brennstoffzelle ist die einzige marktgängige BZ dieser Leistungsgröße.

Die Brennstoffzelle dieses Projektes hat zwei Besonderheiten:

- 50 % der Wärme (110 kW) können auf hohem Temperaturniveau (85 bis 95 °C) und 50 % auf niedrigem Temperaturniveau (50 bis 70 °C) ausgekoppelt werden.
- Bei Ausfall des äußeren Netzes kann die Brennstoffzelle die Stromversorgung für einen Teilbereich des Krankenhauses entsprechend dessen Energiebedarf übernehmen.
Diese netzunabhängige Versorgung durch eine Brennstoffzelle wurde europaweit erstmalig realisiert.

Die Brennstoffzelle und ihre peripheren Einrichtungen sind in einen 20-Fuß-Container (5,5 x 3,5 x 3,5 m) integriert. Das Gesamtgewicht beträgt ca. 20 Tonnen. Das Containerfundament wurde im Wirtschaftshof neben der Technikzentrale errichtet, welche die Wärme- und Kälteerzeuger, die Erdgasversorgung des Krankenhauses sowie die Anbindung an das Stromnetz (Niederspannungshauptverteilung) enthält (Abbildung 6).



Abbildung 6: Die Brennstoffzelle ONSI PC 25 C auf der Freifläche des Malteser-Krankenhauses

Die Brennstoffzelle ist verbunden mit der Erdgasversorgung (Kunststoffleitung DN 80), den Nieder- und Hochtemperaturkundenkreisen (Stahlrohr DN 65 / DN 40), dem Hilfskühler (Stahlrohr DN 50) und der Stromeinspeisung (2 Verbindungen: Inselversorgung und Netzparalleleinspeisung, jede 4 x 240 mm²). Auf der Freifläche befinden sich weiterhin zwei Schaltschränke, die den Netzanschluß, die Notstromversorgung für den Zellstapel und die Sicherheitskette für die Kundenwärmekreise enthalten. Außerdem ist die Brennstoffzelle mit einer Stickstoffversorgung verbunden, der 99,999%ige Stickstoff wird für das Freispülen der Prozeßgaswege während der Inbetriebnahme- und Abschaltprozeduren benötigt.



Abbildung 7: Blick vom Dach der Technikzentrale auf die Freifläche

Der originale Hilfskühler wurde durch ein dänische Fabrikat ersetzt, der ein Betriebsgeräusch unter 35 dB(A) ermöglicht. Der Geräuschpegel der Brennstoffzelle liegt bei ca. 60 dB(A), hauptsächlich bedingt durch die Lüfter der Prozeßluftversorgung und Kabinettventilation (der elektrochemische Prozeß benötigt selbst keinerlei bewegte Teile).

Abbildung 8 zeigt die Hauptkomponenten und inneren Kreisläufe der Brennstoffzelle.

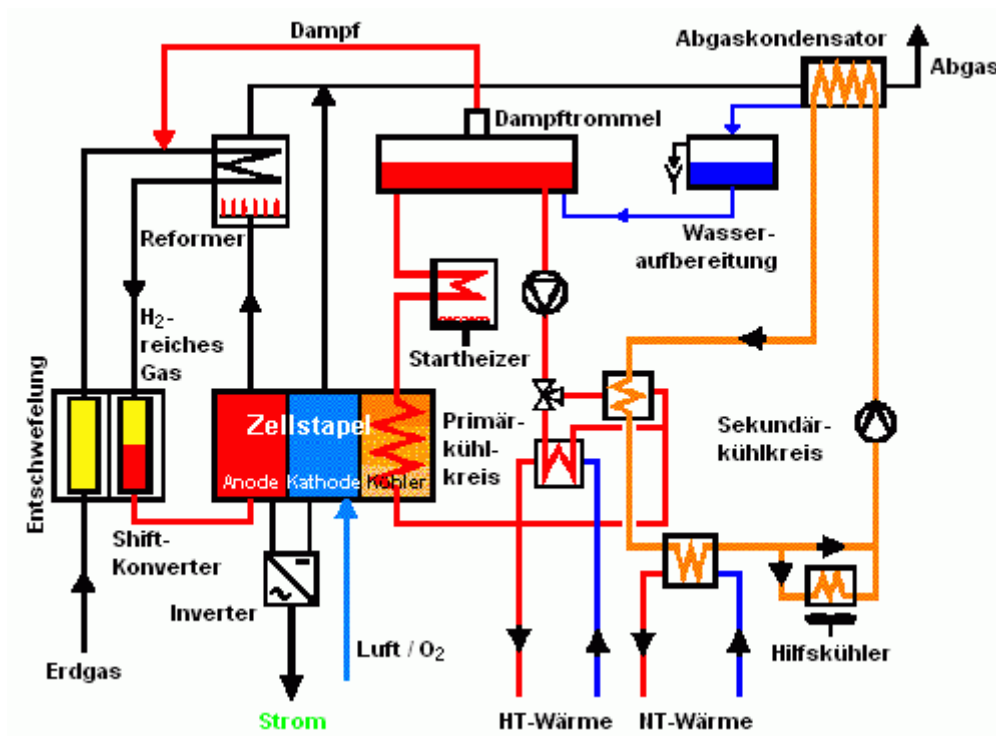


Abbildung 8: Internes Schaltschema der Brennstoffzelle
(HT = Hochtemperatur, NT = Niedertemperatur)

Die Phosphorsäure-Brennstoffzelle arbeitet bei einer **Zellstapeltemperatur** von ca. 200 °C. An der Anode dissoziieren Wasserstoffmoleküle im Reformatgas in Wasserstoffionen (Protonen). An der Kathode läuft die Reaktion von Wasserstoffionen und Sauerstoff ab, dabei entsteht Wasser. Der externe Elektronenfluß wird als elektrischer Strom genutzt.

Katalysatoren werden durch Schwefel vergiftet. Das Erdgas wird daher entschwefelt, bevor es in den **Reformer** eintritt. Dort wird es mit Wasserdampf in CO, CO₂ und H₂ konvertiert (Betriebstemperatur zwischen 800 und 860 °C). Der Gehalt an gebildetem CO ist mit ca. 10 % am Reformeraustritt zu hoch für den Zellstapel. Für gute Reaktionsbedingungen im Zellstapel sollte der CO-Gehalt unter 1 Vol.-% liegen. In einem CO-Shift-Katalysator (**Shift-Konverter**) wird das CO mit Wasser in CO₂ und H₂ umgewandelt.

Der Zellstapel produziert Strom und Wärme. Der Strom (165 V = und 1380 A bei Nennlast) wird mit dem **Inverter** in Wechselstrom (3~ bei 400 V) umgerichtet. Die Wärme wird zuerst durch den primären Kühlkreislauf (Zellstapelkühlung) aufgenommen. Im Primärkreis befindet sich die **Dampftrommel** (400 l Volumen, maximal zulässige Betriebsbedingungen: 205 °C und 15,5 bar), aus der der im Reformer benötigte Wasserdampf entnommen wird. Hochtemperaturwärme (bis 120 °C, Obergrenze im Projekt 95 °C) kann mit dem Wärmeübertrager (HEX) 490 aus dem Primärkreis ausgekoppelt werden. Die Niedertemperaturwärme (bis 70 °C) kann mit dem Wärmeübertrager HEX 880 dem sekundären Kühlkreislauf (Rückkühlkreis) entnommen werden. Dieser Kreis bezieht seine Wärme aus dem Primärkreis (über HEX 490) und vom **Abgaskondensator** (HEX 810). Die zur Abgaskondensation benötigten niedrigen Temperaturen werden durch den **Hilfskühler** erzeugt.

Das Kondensat wird in einem Wassertank gesammelt, in der **Wasseraufbereitung** (Aktivkohle und Adsorberharze) gereinigt und wieder in den Primärkreis eingespeist. Überschüssiges Wasser wird in die Kanalisation eingeleitet (Analysen zeigten, daß es reiner ist als Trinkwasser).

Die Brennstoffzelle muß in regelmäßigen Abständen gewartet werden (2000- und 3000-h-Intervalle). Der Hauptteil der Arbeiten dient der Sicherstellung der Wasseraufbereitung.

Die voraussichtliche Zellstapellebensdauer beträgt mehr als 40.000 Betriebsstunden [3]. Es ist zu erwarten, daß nach 40.000 Betriebsstunden der elektrische Wirkungsgrad auf 35 % abgesunken ist [2].

Die Funktion der Brennstoffzelle wird durch zwei Computer überwacht: Der Hauptrechner (power plant controller) arbeitet in einem klimatisierten Gehäuse innerhalb des BZ-Containers und hat ein kleines Tableau für Benutzereingaben. Der Rechner überwacht alle Prozesse und sicherheitsrelevanten Parameter der Brennstoffzelle und steuert alle Betriebszustände.

Der zweite Rechner befindet sich im Überwachungsraum und empfängt seine Daten vom Hauptrechner und von der SPS in den Schaltschränken. Der zweite Rechner arbeitet mit der „BZ-Control“-Software des deutschen Lieferanten der Brennstoffzelle, sammelt und archiviert alle relevanten Daten. BZ-Control enthält eine graphische Benutzeroberfläche und gestattet so eine komfortable Beeinflussung aller Parameter. Per ISDN ist eine Fernabfrage von Freiberg möglich, auf diese Weise hat DBI GUT bei auftretenden Problemen sehr kurze Reaktionszeiten zur Überwachung und Steuerung der Brennstoffzelle.

2.3.3 Adsorptionskältemaschine

In Kamenz wurde eine Adsorptionskältemaschine (AdKM) vom Typ Mycom ADR 30 des japanischen Herstellers Mayekawa installiert. Diese Maschine arbeitet mit dem Stoffpaar Silicagel/Wasser. Da es sich um ein festes Sorptionsmittel handelt, sind Adsorber und Desorber als umschaltbare Kammern ausgeführt, so daß sich eine zyklische Betriebsweise ergibt. Die Zyklusdauer beträgt 10 Minuten.

Große Wärmeübertragerflächen ermöglichen eine Betriebsweise nahe an den thermodynamischen Grenzen.



Abbildung 9: AdKM bei der Einbringung

Weiterhin ist aufgrund der im Gegensatz zu Absorptionskältemaschinen fehlenden Kristallisationsgefahr ein Betrieb in sehr weiten Grenzen möglich. Beide Eigenschaften ermöglichen dieser Maschine einen Betrieb bei geringeren Heiztemperaturen als Absorptionsmaschinen mit dem Stoffpaar LiBr/H₂O sowie ein stabileres Betriebsverhalten. Negativ fallen der gegenwärtig noch deutlich höhere Preis sowie größeres Bauvolumen und Masse auf.

Funktionsprinzip

Eine Adsorptionskältemaschine besteht aus zwei mit Silicagel gefüllten Kammern sowie einem Kondensator und einem Verdampfer. Ein Zyklus läuft wie folgt ab:

1. Das an das Silicagel angelagerte Wasser wird in der rechten Kammer unter Wärmezufuhr ausgetrieben.
2. Das Wasser wird im Kondensator verflüssigt und Wärme an das Kühlwasser abgeführt.
3. Das Kondensat wird in den Verdampfer eingesprüht und bei starkem Unterdruck verdampft. Dabei wird Wärme aus dem Kaltwasser entnommen und dieses dabei auf die für die Klimaanlage erforderliche Temperatur abgekühlt.
4. In der linken Kammer wird der Wasserdampf adsorbiert und die entstehende Wärme an das Kühlwasser abgeführt.

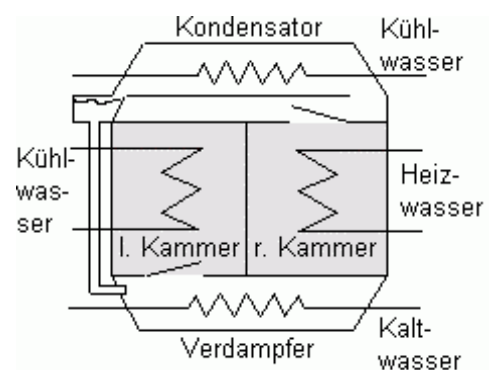


Abbildung 10: Grundaufbau AdKM

Durch einfaches Umlenken des Heiz- und Kühlwasserkreislaufs zwischen den beiden Kammern werden die Funktionen Austreiber und Adsorber am Ende eines Zyklus getauscht und der Prozeß beginnt von neuem.

2.3.4 Solarkollektoren

Die auf dem Flachdach der Energiezentrale installierte Solaranlage besteht aus 115 m² thermischen Kollektoren und 30 Photovoltaik-Modulen (13 m²) (Abbildung 11).



Solarkollektoren
mit transparenter
Wärmedämmung
(TWD)

Photovoltaik-Anlage

Abbildung 11: Solaranlage

Thermische Kollektoren

Die Solarwärme wird vorrangig zur Stützung der sorptiven Kälteerzeugung benötigt. Zum Antrieb des thermischen Verdichters der Adsorptions-Kältemaschine (AdKM) sind im Nennlastpunkt 175 kW auf einem Temperaturniveau von 80 °C erforderlich.

Nur 110 kW können von der Brennstoffzelle kontinuierlich zur Verfügung gestellt werden. Bei Auslegungsbedingungen muß die Solaranlage den Differenzbetrag erzeugen. Um das geforderte Temperaturniveau bereits bei geringer Solarstrahlung zu erreichen, sind Hochleistungskollektoren erforderlich. Es wurden Flachkollektoren gewählt, die sich durch eine Abdeckung aus einer neuartigen transparenten Wärmedämmung (TWD) auszeichnen (siehe Abbildung 12). Die TWD-Kollektor-Anlage besitzt folgende Kennwerte:

Größe: 58 Flachkollektoren,
Typ TWD FK AL 2 80
Bruttofläche: 114,84 m²
Aperturfläche: 106,14 m²
Absorber: Kupfer, Fläche 103,82 m²
selektiv beschichtet (TiNOX)
Abdeckung: transparente Wärmedämmung
mit Glasröhrchen,
(Transmissionsgrad 0,91)
Grenzdaten: Stillstandtemperatur: 250°C,
zul. Betriebsdruck: 10 bar
Aufstellung: Neigung: 30°, Azimuth -15°
Kenndaten: $\eta_o = 0,753$
 $k_1 = 2,633 \text{ (W/m}^2\text{K)}$
 $k_2 = 0 \text{ (W/m}^2\text{K)}$



Abbildung 12: Querschnitt eines
TWD-Kollektors

Die TWD besteht aus einer äußeren Glasabdeckung, an die 8 cm lange Glasröhrchen (Durchmesser 1 cm, Wandstärke 0,1 mm) mit speziellen Klebtechnik angefügt wurden. Da die TWD ausschließlich aus Glas besteht, ist mit gleichbleibenden optischen Eigenschaften zu rechnen.

Die Kollektoren werden parallel durchströmt und sind über ein Tichelmann-System hydraulisch verbunden. Primär- und Sekundärpumpe werden strahlungs- und temperaturabhängig geregelt. Die solarthermisch erzeugte Energie wird im 20-m³-Wärmespeicher kurzzeitig gespeichert. An Tagen mit Kältebedarf im Krankenhaus erfolgt die zeitnahe Nutzung zur Kälteerzeugung. An den übrigen Tagen unterstützt die Solarenergie die Heizung und Trinkwarmwasserbereitung.

Photovoltaik-Anlage

Die 1,5-kW_p-Photovoltaik-Anlage besteht aus 30 Modulen mit je 50 W_p elektrischer Leistung (12 % Wirkungsgrad bei STC-Bedingungen). Jedes Modul ist aus 36 multi-kristallinen Solarzellen aufgebaut. Jeweils 6 Module arbeiten auf einen Wechselrichter.

Die Anlage wurde mit dem Ziel dimensioniert, die für den Betrieb der Pumpen im thermischen Solarkreis erforderliche Antriebsenergie zu erzeugen. In der benötigten Leistungsgröße standen keine Pumpen mit Gleichstrommotor zur Verfügung. Deshalb erfolgt die Einspeisung in das Hausnetz.

2.3.5 Wärme- und Kältespeicher

Die innovative Energieanlage verfügt über drei Speicher: einen Wärmespeicher, einen Eisspeicher und einen Kaltwasserspeicher

Wärmespeicher

Der Speicher hat folgende Eigenschaften:

Volumen:	20 m ³
Druckniveau:	3 bar (entsprechend Heiznetz)
Material:	Stahl
Dämmung:	Mineralwolle, 10 cm, blechummantelt
Aufstellung:	Freifläche
Medium:	Heizungswasser
Temperatur:	20 ... 95 °C
Aufbau:	Zylinder mit Klöpperboden
Errichtung:	Speicher im Werk geschweißt, Laderohre und Dämmung vor Ort
Einbauten:	Schichtbeladerohre



Abbildung 13: Wärmespeicher
vor dem Isolieren

Der Wärmespeicher dient zum Ausgleich zeitlicher Divergenzen von Wärmeerzeugung und Bedarf. Er soll vorrangig den Dauerbetrieb der Brennstoffzelle ermöglichen, d.h. er wird vorwiegend nachts geladen und tagsüber entladen. Er dient nur in zweiter Linie der besseren Auslastung der Solaranlage, da die Solarwärme fast kontinuierlich genutzt werden kann.



Abbildung 14: Schichtbeladerohre

Schwankungen werden vor allem durch das Zyklusverhalten der Adsorptionskältemaschine und durch die Solaranlage (vorwiegend bei teilweise bedeckten Himmel) in das System eingebracht.

Es wird ein Schichtenspeicher eingesetzt. Dieser ermöglicht eine schichtgerechte Be- und Entladung auch bei schwankendem Energieangebot und -bedarf. Die Schichtbeladung erfolgt durch Rohre mit Membranen, die durch hydrostatische Druckunterschiede schichtgerecht öffnen.

Eisspeicher

Volumen:	ca. 8 m ³ , entspr.: 393 kWh lat. Wärmekapazität
Druckniveau:	drucklos
Material:	Kunststoff
Dämmung:	Mineralwolle, 4 cm, kunststoffummantelt
Aufstellung:	Kältemaschinenraum
Medium:	Wasser, Wassereis
Temperatur:	- 5 ... + 5 °C
Aufbau:	Quader
Errichtung:	komplett im Werk montiert
Einbauten:	Rohrregister, durchströmt von Kühlsole



Abbildung 15: Eisspeicher bei der Anlieferung

Damit die für die Spitzenlastdeckung vorgesehene Kompressionskältemaschine nicht in der Hochtarifzeit läuft und dadurch die Leistungskosten erhöht, wird ihr ein Eisspeicher zugeordnet.

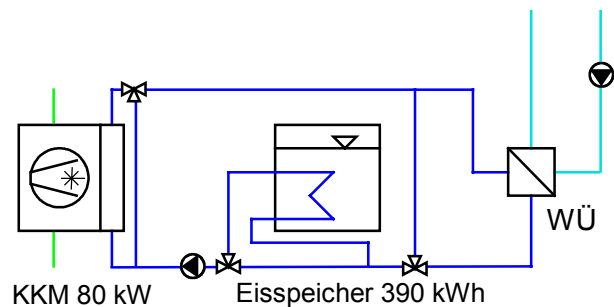


Abbildung 16: Kälteverbraucherkreis

Ein Eisspeicher ist ein druckloser wassergefüllter Bottich, durch den in vielen Leitungen Wasser mit Frostschutzmittel (Sole) fließt. In den Nachtstunden wird er von der Kältemaschine mit Sole von -8°C beschickt. Das Wasser gefriert. Tagsüber wird er vom Kälteverbraucher mit Sole von $+12^{\circ}\text{C}$ beschickt. Das Eis schmilzt, die Schmelzenthalpie wird aus der Sole entnommen, so daß sich diese auf $+6^{\circ}\text{C}$ abkühlt und erneut den Kälteverbrauchern zugeführt werden kann.

Kaltwasserspeicher

Volumen: $1,5\text{ m}^3$
 Druckniveau: 3 bar (Niveau Kältenetz)
 Material: Stahl
 Dämmung: Mineralwolle, 4 cm, blechummantelt
 Aufstellung: Kältemaschinenraum
 Medium: Wasser
 Temperatur: $+3 \dots 12^{\circ}\text{C}$
 Aufbau: Zylinder
 Errichtung: im Werk geschweißt, vor Ort isoliert
 Einbauten: Verwirbelungslanze

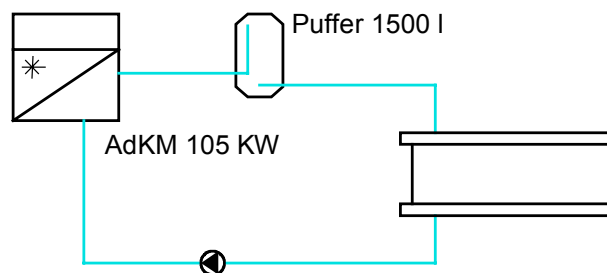


Abbildung 17: Rückkühlkreis AdKM

Der Kaltwasserspeicher, auch Mischbehälter genannt, gleicht die zyklusbedingten Temperaturschwankungen der Adsorptionskältemaschine soweit aus, daß diese bei den Klimaanlagen keine Störungen des Betriebs verursachen. Der Speicher ist so konstruiert, daß eine vollständige Durchmischung des eintretenden Wassers stattfindet. Das Volumen ist so ausgelegt, daß das Inhaltswasser in jedem Zyklus der Adsorptionskältemaschine etwas mehr als einmal ausgetauscht wird.

2.3.6 Kühldecken

Konventionelle Klimageräte, welche die Vollklimatisierung für einen Raum oder eine Raumgruppe übernehmen, benötigen für die Entfeuchtung Kaltwasser von 6 bis 8°C .

Der Einsatz von Kühldecken ist immer dann sinnvoll, wenn aus zu klimatisierenden Bereichen lediglich sensible Wärme abzuführen ist. Das kann für Bereiche mit hohen inneren Lasten sowie teilklimatisierte Bereiche zutreffen. Im allgemeinen ist dann Kaltwasser von 15 bis 18°C ausreichend.

Der Baukörper des Krankenhauses Kamenz ist bauphysikalisch so gestaltet, daß fast nur hygienisch sensible Räume und Bereiche zu kühlen sind. Die OP-Bereiche werden vollklimatisiert.

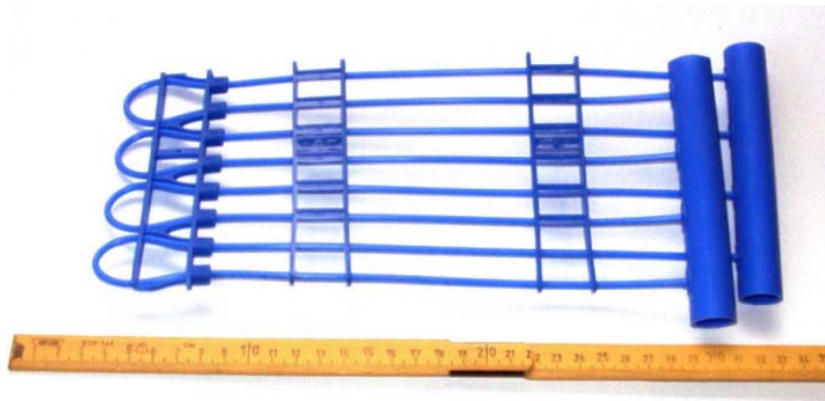


Abbildung 18: Kühldecken, Polypropylen-Kapillaren

Es konnten nur wenige Räume gefunden werden, in denen Montagefreiheit an den Decken besteht und keine erhöhte Luftfeuchtigkeit (z.B. Küche) die Gefahr der Taupunktunterschreitung und Tropfbwasserbildung nach sich zieht. Installiert wurden insgesamt 120 m²

Kühldecken mit 8 kW Kühlleistung. Das Rohrmaterial besteht aus Polypropylen-Kapillaren (Abb. 18).

Die vier Kühldeckenkreise werden mit Kaltwasser-Vorlauftemperaturen von 16 °C bei 2 K Temperaturdifferenz betrieben. Die Versorgung übernimmt indirekt die zentrale 8 °C-Kaltwasserschleife. Jeder Kreis ist mit einem Raumtemperaturregler mit integriertem Feuchtesensor ausgestattet.

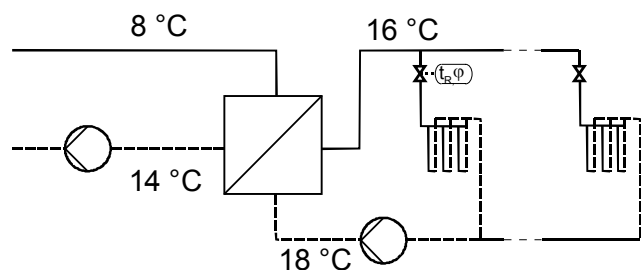


Abbildung 19: Kühldeckenkreis

2.4 Beschreibung der Meßdatenerfassung

2.4.1 Datenbasis

Der innovative Anlagenteil wird umfassend vermessen. Jeder Kreis, von denen es fast 20 gibt, ist mit folgenden Meßstellen ausgestattet:

- Volumenstrom
- Druckdifferenz über der Pumpe
- Stromverbrauch der Pumpe
- Temperaturen (zwei bis drei je Kreis)

Hinzu kommen Sondermeßstellen:

- Solarstrahlung
- Außentemperatur
- Spannung und Strom der Photovoltaik

Die Anlagenmeßtechnik verfügt über etwa 135 Meßstellen. Meßdatenerfassung und Regelung sind in einem System vereinigt. Das Aufzeichnungsintervall beträgt eine Minute.

Für die internen Meßdaten der Brennstoffzelle gibt es ein weiteres Meßdatensystem. Dieses zeichnet 75 Meßwerte kontinuierlich im Zwei-Minuten-Takt und weitere 300 Werte bei Änderung auf.

2.4.2 Datenverarbeitung

Wir verfügen über Erfahrungen aus Projekten mit ähnlicher Aufgabenstellung, aber geringeren Datenmengen. Anhand dieser Erfahrungen müssen wir einschätzen, daß der Umgang mit solchen Datenmengen außerordentlich schwierig und aufwendig ist.

Die Probleme beginnen bereits mit der Vorbereitung für den Datentransfer. In Kamenz wird die Situation noch dadurch verschärft, daß eine Vielzahl von Konsortial- und Projektpartnern sowie Sponsoren und langfristig auch die interessierte Öffentlichkeit mit den Meßdaten zu versorgen ist.

Es bestand daher die Aufgabe, eine Lösung zu entwickeln, um die großen Datenmengen zu transportieren, zu verwalten und einer Vorauswertung zu unterziehen. Dies soll möglichst automatisiert, mit einfachen Mitteln und als offene Lösung ausgeführt werden.

Die Wahl fiel auf eine internetfähige Datenbank als zentraler Meßdatenserver und den universellen Meßdatenzugriff über Internetbrowser als Datenclient.

Die Daten werden auf einem Internet-Server als Access-Datei abgelegt. Auf diesem Rechner laufen ein Internetserverprogramm, ein Treiber für Access-Dateien sowie ein ServerScript-Interpreter, der für die automatische Bedienung des Datenbanktreibers und die Erstellung von Internetseiten geeignet ist.

Das Server-Script ist hierbei universell für alle Anlagenkonfigurationen verwendbar. Die Anlagenanpassung erfolgt über den Datenbankinhalt sowie wenige an das Server-Script zu übergebende Parameter.

Der Datenzugriff kann von jedermann auf der ganzen Welt vorgenommen werden. Voraussetzungen sind ein Anschluß an das Internet, ein Internet-Browser sowie eine über Paßwort organisierte Zugriffsberechtigung. Es müssen keine zusätzlichen Programme auf dem Client-Rechner installiert werden. Java wird nur für verzichtbare Komfort-Funktionen benötigt. JavaScript ist erforderlich.

Der Zugriffsalgorithmus orientiert sich an unseren Erfahrungen mit großen Datenmengen aus der Betriebsüberwachung haustechnischer Anlagen. Man prüft zunächst die Bilanzen anhand von Tages- oder Monatsdurchschnitts-

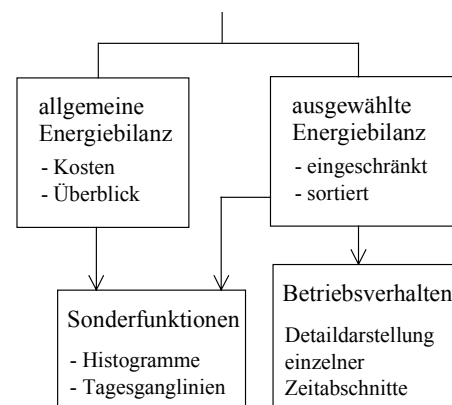


Abbildung 20: Typische Datenverarbeitung

bzw. Minimal- oder Maximalwerten und schaut sich anschließend typische oder auffällige Zeitabschnitte zwecks Untersuchung des Betriebsverhaltens näher an. Auf jeden Fall wird stets nur eine relativ geringe Datenmenge gleichzeitig analysiert.

Hinzu kommen statistische Sonderfunktionen, wie Histogrammbildung und Erstellung von Tagesganglinien.

Eine detaillierte Beschreibung der Datenverarbeitung ist in Anlage 4 enthalten.

3 BAU, INSTALLATION UND INBETRIEBNAHME

3.1 Lieferanten von Ausrüstung und Dienstleistungen

Planung und Lieferung der Komponenten konnten aufgrund des öffentlichen Charakters des Bauvorhabens nicht frei gewählt werden. Gemäß der deutschen Gesetzlichkeiten wurden die Lieferanten von Ausrüstung und Dienstleistungen im Rahmen eines Ausschreibungsverfahrens ausgewählt, wobei sie sowohl Qualitäts- als auch finanziellen Faktoren genügen mußten.

Tabelle 2: Lieferanten von Ausrüstung und Dienstleistungen

Komponente	Hersteller	Lieferant / verantwortlich für Installation
Brennstoffzelle	ONSI Corporation 195 Governors Highway P.O. Box 1148 South Windsor, Connecticut 06074 USA	HGC Hamburg Gas Consult Heidenkampsweg 101 D-20097 Hamburg
Adsorptions- kältemaschine	MAYEKAWA mfc. co. ltd. 2-13-1, botan, koto-ku, Tokyo 135, Japan	Lodewick GmbH Postfach 1155 D-37401 Herzberg/Harz
Photovoltaik	Solarwatt Solar-Systeme GmbH Grenzstraße 28 D-01109 Dresden	Lodewick GmbH Postfach 1155 D-37401 Herzberg/Harz
Solarkollektoren	SSL Maschinenbau GmbH Obercunnersdorfer Str. 5 D-02739 Eibau	SSL Maschinenbau GmbH Obercunnersdorfer Str. 5 D-02739 Eibau
Wärmespeicher	Flamco STAG Behälterbau GmbH Berliner Chaussee 29 39307 Genthin Solvis Energiesysteme GmbH & Co. KG Marienberger Straße 1 38122 Braunschweig	Lodewick GmbH Postfach 1155 D-37401 Herzberg/Harz
Eisspeicher	FAFCO S.A. Johann-Renfer-Straße 4-6 CH-2504 Biel/Bienne	Lodewick GmbH Postfach 1155 D-37401 Herzberg/Harz
Regelung	SIEMENS - Landis & Staefa Division	Landis & Staefa GmbH Technisches Büro Dresden Rosenstraße 30 D-01067 Dresden
Bauüberwachung		Ingenieurbüro Haag GmbH Heinrich-Heine-Str. 2 D-06217 Merseburg

3.2 Projektmanagement

Die 3 Projektpartner DBI GUT (Projektkoordinator), TU Dresden und Gastec N.V. besitzen weitreichende Erfahrungen auf dem Gebiet des Managements und der Koordination von EU-Projekten. Als Konsequenz dieser Qualifikation waren die Partner in der Lage, das Projekt technisch, wirtschaftlich und administrativ zu managen.

Struktur und Methoden des Projektmanagements ebenso wie alle Formen der Zusammenarbeit waren auf den Projekterfolg gerichtet. Die Managementstruktur war durch zwei Formen der Zusammenarbeit geprägt:

- Senkrecht: DBI GUT agierte als Projektkoordinator und vertrat das Konsortium gegenüber der Europäischen Kommission. DBI GUT war autorisiert, die Aufgaben aller Partnern im Hinblick auf vereinbarte Zeit und Qualitätsziele zu überwachen. DBI GUT prüfte alle Termine und Meilensteine und erstellte Berichte an die Kommission entsprechend der Vorgaben.
- Horizontal: Alle Partner kooperierten konkret und unbürokratisch im Hinblick auf ihre technischen Aufgaben. Sie waren nicht autorisiert, einander Anweisungen zu geben.

Um die Methoden des Managements effektiv umzusetzen, wurden folgende Formen der Zusammenarbeit gewählt:

- Kooperationsabkommen
- Projektberatungen in regelmäßigen Abständen oder falls erforderlich (multilateral oder bilateral)
- ständiger Kontakt mit den Fachabteilungen der Europäischen Kommission
- gemeinsames Auftreten der Partner auf Konferenzen und Arbeitstreffen, gemeinsame Veröffentlichungen
- Einbeziehung der Projektmanagementaufgaben in die Projektarbeit

Tabelle 3: Für die Projektmanagementaufgaben verantwortliche Personen

Unternehmen	Person	Projektphase (siehe Vertrag, Anlage 1)
DBI GUT	Dipl.-Ing. Kögel (Finanzielle Aufsicht)	1 – 5
	Dipl.-Geol. Schilling (Technische Aufsicht)	1 – 5
TU Dresden	Dipl.-Ing. Zimmermann (Finanzielle Aufsicht)	1 – 5
	Prof. Dr. Zschernig (Technische Aufsicht)	1 – 5
GASTEC N.V.	Dipl.-Ing. Nijmeijer (Finanzielle Aufsicht)	1 – 5
	Dipl.-Ing. Rensing (Technische Aufsicht)	1, 2
	Dipl.-Ing. van Driel (Technische Aufsicht)	3, 4
	Dipl.-Ing. Büthker (Technische Aufsicht)	5

3.3 Probleme, Lösungen, Erfolge

Die innovativen Komponenten wurden der konventionellen Ausrüstung des Krankenhauses beigelegt. Es gibt klar definierte Schnittstellen zwischen allen innovativen Komponenten, die vom Konsortium ausgelegt und betreut wurden, und den konventionellen Komponenten, die durch das für das Krankenhaus zuständige Fachplanungsbüro geplant wurden.

Das Konsortium konnte selbst keine Details der konventionellen Technik ändern. Alle Vorschläge für verbesserte Funktionalität zwischen konventionellen und innovativen Komponenten mußten mit dem Planungsbüro diskutiert werden, lediglich ein kleiner Teil der vorgeschlagenen Veränderungen konnte umgesetzt werden.

Andererseits war der Projektfortschritt stark abhängig vom Baufortschritt des Krankenhauses. Die Installation von Komponenten und Verrohrung, Verkabelung und Regelung konnte nur ausgeführt werden, wenn die Gewerke die vorbereitenden Arbeiten abgeschlossen hatten. Deshalb konnte die Inbetriebnahme der Kälteerzeuger erst ein paar Wochen vor dem Eintreffen der ersten Patienten durchgeführt werden (siehe Zeitplan).

Die wesentlichen technischen Probleme (und Abhilfemaßnahmen) waren:

Anpassung der Brennstoffzelle an die deutschen Sicherheitsvorschriften

Die Brennstoffzelle wurde gemäß der US-amerikanischen Gesetze und technischen Richtlinien gefertigt. Der Betrieb in Deutschland erforderte jedoch eine Anpassung der Hauptsicherheitseinrichtungen an die deutschen Vorschriften.

Um die Zulassung von den deutschen Behörden zu erhalten, mußte das Konsortium eine Reihe von Forderungen erfüllen, z.B. Prüfung der Konstruktionszeichnungen, Schweißnahtuntersuchungen an den Druckbehältern (hauptsächlich Dampftrommel) und Druckprüfung des primären Kühlkreislaufes, Austausch der US-amerikanischen Sicherheitsventile, Installation einer zweiten, software-unabhängigen Sicherheitskette für die Notabschaltung.

Das Genehmigungsverfahren dauerte mehrere Monate, auch zukünftig gibt es eine Reihe wiederkehrender Untersuchungen.

Abstürze des BZ-Hauptrechners (power plant controller)

Nach der Inbetriebnahme der Brennstoffzelle verursachte der Hauptrechner 4 Notabschaltungen (01., 03., 18. März, 12. April). Eine umfangreiche Fehlersuche wurde durchgeführt, der Hauptrechner wurde zweimal ausgetauscht und die Stromversorgung des Rechners wurde überprüft. Aus diesen Gründen war die Brennstoffzelle bis zum 30. Mai nur wenige Tage in Betrieb. Ein Grund für die Abstürze konnte nicht gefunden werden, nach der Installation einer neuen Software-Version arbeitete der Rechner jedoch einwandfrei.

Ein bedeutendes Problem sind die langen Antwortzeiten des Brennstoffzellenherstellers (Tage bis Wochen), falls ein technisches Problem auftritt. Zwar arbeitet die Brennstoffzelle jetzt zufriedenstellend, jedoch gibt es weiterhin kleinere Fehler in der Regelungssoftware, bei denen das Konsortium noch auf Lösungen wartet. Es gibt keine Möglichkeit für eigene Korrekturen, die Regelungssoftware ist verschlüsselt und paßwortgeschützt. Weiterhin müssen sämtliche Ersatzteile aus den USA bezogen werden, der deutsche Lieferant unterhält lediglich ein kleines unvollständiges Ersatzteillager.

Fehlfunktion der Hochtemperaturauskopplung

Aufgrund einer fehlerhaften Verdrahtung der Regelventils (TCV 480) für den Hochtemperaturwärmeübertrager der Brennstoffzelle traten Übertemperaturen im HT-Kundenkreis auf. Deshalb wurde der Betrieb der Brennstoffzelle von der Genehmigungsbehörde für einige Wochen untersagt, bis der Fehler behoben war. Weiterhin mußte eine zusätzliche Sicherheitsausrüstung für ein netzunabhängiges Ventilschließen nachgerüstet werden.

Winterbetrieb der Kälteanlage

Ursprünglich war die Kälteanlage für Betriebsbedingungen oberhalb 5 °C Außentemperatur vorgesehen. Dementsprechend wurde die Anlage ausgelegt und gebaut.

Im März 2000, als die Kälteanlage bereits fertiggestellt war, wurden diese Festlegungen durch den Planer dahingehend geändert, daß eine kontinuierliche Betriebsbereitschaft bei allen Witterungsbedingungen gefordert wurde. Diese Forderung konnte nicht akzeptiert werden. Das eingesetzte Rückkühlwerk ist bei Temperaturen unter 0°C nicht ausreichend regelbar sowie im intermittierenden Betrieb nur bedingt frostsicher.

In Zusammenarbeit mit der Fachfirma für Lüftungstechnik wurde das Betriebsverhalten der Klimaanlage analysiert. Dabei wurde festgestellt, daß der winterliche Kältebedarf aus der Vorwärmung der Frischluft im Lüftungszentralgerät sowie einem hohen Umluftanteil resultiert. In Abwägung verschiedener Alternativen wurde eine Empfehlung erarbeitet und später in die Tat umgesetzt. Die Vorwärmung wird um 2 Kelvin reduziert und der Umluftanteil von 2/3 auf 1/2 verringert. In Summe beider Maßnahmen verschob sich die Einsatzgrenze der Kälteanlage auf die ursprünglich gewünschten +5°C. Die Kälteanlage muß nur bei Außentemperaturen oberhalb dieser Grenze arbeiten. Im praktischen Betrieb zeigte sich, daß die Bedarfsgrenze mit 11 °C noch über diesem Wert liegt.

Vakuumpumpe der Adsorptionskältemaschine

Während die Adsorptionskältemaschine als Gesamtgerät relativ gut arbeitet, traten bei deren Vakuumpumpe regelmäßig Probleme auf. Zunächst war der Ölkreislauf undicht und mußte nachgedichtet werden. Später traten Leistungsmängel auf. In die AdKM eingedrungene Inertgase wurden nicht mehr entfernt und behinderten den Stofftransport, was sich in einer Verringerung von Leistung und Kälteverhältnis bemerkbar machte. Später fiel die Vakuumpumpe aufgrund Defekt eines Magnetventils gänzlich aus. Dieses Ventil war wahrscheinlich auch die Ursache der vorangegangenen Leistungsmängel. Das Magnetventil wird momentan beim japanischen Hersteller wiederbeschafft. Es ist davon auszugehen, daß die Probleme damit beseitigt sind.

Systemkopplung zur konventionellen Technik

Die innovative Technik hat im Dauerbetrieb seit August 2000 bewiesen, daß sie in der Lage ist, kontinuierlich Strom, Wärme und Kälte bereitzustellen. Die energetische Effizienz wird jedoch durch

- unzureichende hydraulische Anbindung und
- mangelhaften hydraulischen Abgleich

der konventionellen Technik im Bereich der Wärme- und Kälteverbraucher stark begrenzt. Das Konsortium hatte keine Möglichkeit, die Planung und Ausführung der konventionellen Technik zu beeinflussen. Dadurch gibt es folgende Probleme für die innovative Technik:

Tabelle 4: Durch die konventionelle Technik bedingte Probleme

Problem	Sollwert	Istwert	Auswirkung
zu hohe Rücklauftemperatur Heizung $t_{R,H}$	50 °C	65 ... 70 °C	Niedertemperatur-Wärmeauskopplung aus der Brennstoffzelle nicht möglich; Speicherkapazität des Wärmespeichers kann nur zu 50 % genutzt werden
zu niedrige Rücklauftemperatur Kältenetz $t_{R,K}$	12 ... 14 °C	6,5 ... 10 °C	Adsorber wird wegen Einfriergefahr abgeschaltet, Kompressor geht in Betrieb

Ein direkter technischer Eingriff ist innerhalb der zweijährigen Gewährleistung nicht möglich. Da es sich um ein Krankenhaus handelt, hat die Versorgungszuverlässigkeit Vorrang vor der Energieeffizienz. Umbauarbeiten sind deshalb nur bei Stillstand von Anlagentechnik möglich.

Abbildung 21 verdeutlicht die bisher bekannten Mängel sowie die Lösungsansätze. Hauptursache sind fehlende bzw. nicht aktive Drosselventile in den Bypässen (z. B. L 1).

Zur Zeit werden in Teillastfällen bis zu 90 % der Volumenströme ungenutzt über die Bypässe zum Erzeuger zurückgeführt. Ein unnötiges, energieintensives Takten der innovativen und konventionellen Erzeuger ist die Folge. Zusätzlich ist zwingend der hydraulische Abgleich aller parallelen Verbraucher vorzunehmen. Erst dann können die integrierten drehzahlregelbaren Pumpen aktiv arbeiten. Damit kann auch im Teillastfall eine ausreichende Temperaturdifferenz für die Heiz- und Kaltwasserseite erreicht werden.

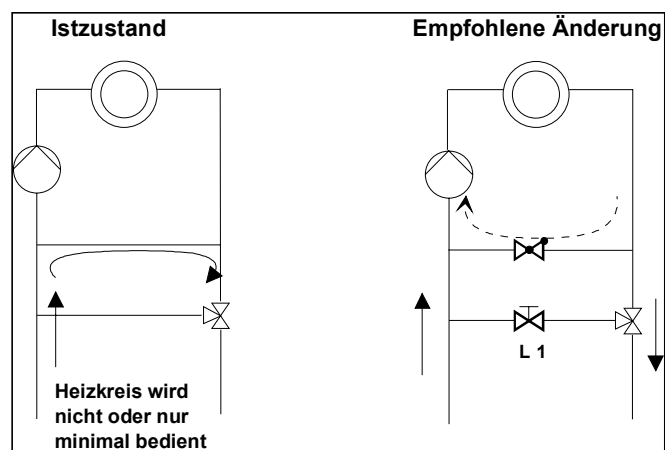


Abbildung 21: Maßnahmen Heizkreise

Solaranlage

Installiert wurden Hochleistungskollektoren, die eine sehr hohe Stillstandstemperatur von 250 °C aufweisen. Die Anlage arbeitete in den ersten Wochen gut. Die Ausführung der Dehnungskompensation, der Druckhaltung und die Auswahl der Sicherheitstechnik erfordert große Sorgfalt. Leider wurden die entsprechenden Vorgaben nicht oder nur ungenügend praktisch umgesetzt. Im Oktober kam es deshalb zu einem Schaden durch fehlende Dehnungskompensation. Derzeit wird die Anlage entsprechend nachgerüstet.

Verfügbarkeit der Meßdaten

Der Lieferant des Regelungssystems war nicht nur verantwortlich für die innovativen Komponenten, sowohl die konventionellen als auch die innovativen Meßpunkte mußten in die Gebäudeleittechnik integriert werden. Deshalb standen nicht alle Datenpunkte von der Inbetriebnahme an zur Verfügung, daher konnte auch die Systemoptimierung erst sehr spät beginnen. Weiterhin konnten nicht alle Anforderungen an die Datenerfassung und -verarbeitung umgesetzt werden, da die Grenzen der Regelungssoftware durch die Anforderungen des Krankenhauses, die vorrangig zu erfüllen waren (Sicherheit geht vor), vorgegeben waren.

Meßdatenaufzeichnung

Die Anlagentechnik mit Ausnahme der Brennstoffzelle ist mit einem gekoppelten Regelungs- und Meßdatenerfassungssystem ausgerüstet. Dieses System verursachte regelmäßig Aufzeichnungslücken und Formatsprünge. Die Fehler wurden beim Fachbetrieb angezeigt und sind zum größeren Teil inzwischen abgestellt. Systemimmanent sind hingegen die speicherplatzverschwendende Aufzeichnungsart und die die Auswertung störende Datenstruktur. Beide Probleme wurden durch das Konsortium durch die Entwicklung eines Konvertierungsprogramm gelöst.

3.4 Modifikationen und Überschreitungen

Wie zuvor geschildert war der Projektfortschritt unmittelbar abhängig vom Baufortschritt des Krankenhauses. Weiterhin mußte ein Teil der Ausrüstungsgegenstände an die Anforderungen des Krankenhauses angepaßt werden.

Zeitverzug

Alle wesentlichen Aufgaben wurden einige Monate später als geplant abgeschlossen. Alle Arbeiten mußten sich in den Zeitplan der Krankenhausfertigstellung einordnen und wurden von denselben Unternehmen ausgeführt, die auch die konventionelle Technik installierten.

Die erdverlegten Rohrleitungen, die Fundamente und die Umfassungsmauern der Freifläche wurden im Herbst 1999 fertiggestellt. Die Brennstoffzelle wurde im November 1999 angeliefert (4 Wochen zu spät). Die Inbetriebnahme der Brennstoffzelle erfolgte im Februar 2000, weil die Telefon- und Stromanbindung erst zu diesem Zeitpunkt fertiggestellt waren. Die Kältemaschinen konnten erstmals im Mai 2000 in Betrieb genommen werden, weil vorher keinerlei Kälteverbraucher zur Verfügung standen. Ebenso konnte

der Inselbetrieb der Brennstoffzelle erst wenige Tage vor der Krankenhauseinweihung getestet werden, weil es am Inselnetz vorher keine Verbraucher gab.

Installation der Kühldecken

Das Konsortium hatte ursprünglich geplant, die Kühldecken in Räume mit sehr hoher Wärmebelastung, wie z.B. Küchen, Röntgen- oder EDV-Räume, zu installieren. Solche Räume waren jedoch nicht verfügbar, wegen hygienischer oder Sicherheitsbedenken bzw. wegen räumlicher Enge. Deshalb wurden die Kühldecken in 3 Verwaltungsräumen mit hohem Verkehrsaufkommen installiert.

Integration der lokalen Wettervorhersage in die Regelung

Das eingesetzte Regelsystem kann keine Eingabedaten aus einer Datei auslesen. Aus diesem Grund muß die für den nächsten Tag vorausgesagte Temperatur als analoges elektrisches Signal übermittelt werden. Im Moment wird das Signal manuell bereitgestellt, das Konsortium arbeitet an einer automatischen Datenumwandlung (E-Mail-Datei in Regelsignal).

Zusätzliche Ausrüstungsgegenstände

Der Niedertemperaturkundenkreis arbeitet zwischen 70 und 50 °C. Die Brennstoffzelle benötigt (für optimale Auskondensation des im Abgas enthaltenen Wassers) vor dem Abgaswärmetauscher Temperaturen unter 35 °C. Es war nicht möglich, Niedertemperaturwärmeverbraucher, wie z.B. das Schwimmbad, zu integrieren, weil diese Verbraucher am entgegengesetzten Ende des Krankenhauses liegen.

Um die Wärme zwischen 50 und 35 °C wenigstens im Winter nutzen zu können, wurde eine Rampenheizung in den NT-Kundenkreis eingefügt. So kann diese Wärme genutzt werden, um die geneigte Zufahrtsrampe eisfrei zu halten.

3.5 Zeitplan

Die Gründe für die zeitlichen Abweichungen wurden in Abschnitt 3.4 aufgeführt. Der Projektfortschritt war unmittelbar abhängig vom Baufortschritt des Krankenhauses und konnte durch das Konsortium nicht beeinflußt werden.

Die Hauptwirkung der Verzögerungen ist die verkürzte Zeit für die Monitoringphase. Das Monitoring für die Brennstoffzelle begann im Februar 2000, jedoch sind die Daten erst seit Juni 2000 vollständig verfügbar. Die Kältetechnik arbeitet seit Mai 2000, jedoch sind reale Betriebsdaten (voller Krankenhausbetrieb) erst seit Juli verfügbar (Installation der letzten Komponenten und Fertigstellung des Regelsystems).

Die Monitoringphase wird jedoch vom Konsortium auch nach Projektende fortgeführt.

Der Zeitplan ist in Anlage 1 aufgeführt.

3.6 Kosten

Tabelle 5 zeigt die aktuellen Kosten jeder Projektphase im Vergleich mit den geplanten Kosten. Abweichungen sind nachfolgend beschrieben.

Tabelle 5: Vergleich der geplanten und tatsächlichen Kosten

Phase	Geplante Kosten [EUR]	Aktuelle Kosten [EUR]	% Abweichung	Gründe für Abweichung
1. Entwurf	436.464	325.448	-25,4	s. unten
2. Planung	206.161	155.175	-24,7	
3. Installation	1.562.534	1.425.078	-8,8	
4. Einrichtung / Regulierung	366.067	311.622	-14,9	
5. Monitoring	432.158	345.373	-20,1	
Gesamt	3.003.384	2.562.696	-14,7	

Der Hauptgrund für die Abweichungen zwischen geplanten und tatsächlichen Kosten liegt darin, daß die Malteser Betriebsträgersgesellschaft Sachsen gGmbH (Betreiber des Krankenhauses) einen Teil der nicht förderfähigen Kosten übernommen hat (z.B. Spitzenkessel, Bauteile und Einrichtungen). Die aktuelle Kostenreduktion im Vergleich mit den Plankosten wird ausschließlich durch die nichtförderfähigen Kosten hervorgerufen.

4 BETRIEB UND ERGEBNISSE

4.1 Bisheriger Betrieb

Wesentliche Meilensteine des Anlagenbetriebs sind in Tabelle 6 und Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 6: Baufortschritt

Datum	Meilenstein
August 1999	Fertigstellung Rohbau Technikzentrale
September 1999	Anlieferung Adsorptionskältemaschine und Wärmespeicher
09. November 1999	Anlieferung Brennstoffzelle
23. Februar 2000	Inbetriebnahme Brennstoffzelle
Mai 2000	Fertigstellung Freifläche
25. Mai 2000	Inbetriebnahme Kälteerzeuger
01. August 2000	Eintreffen der ersten Patienten, Malteser Betriebsträgersgesellschaft wurde Betreiber der Anlage
11. September 2000	Einweihung des Krankenhauses

Tabelle 7: Inbetriebnahmetermine

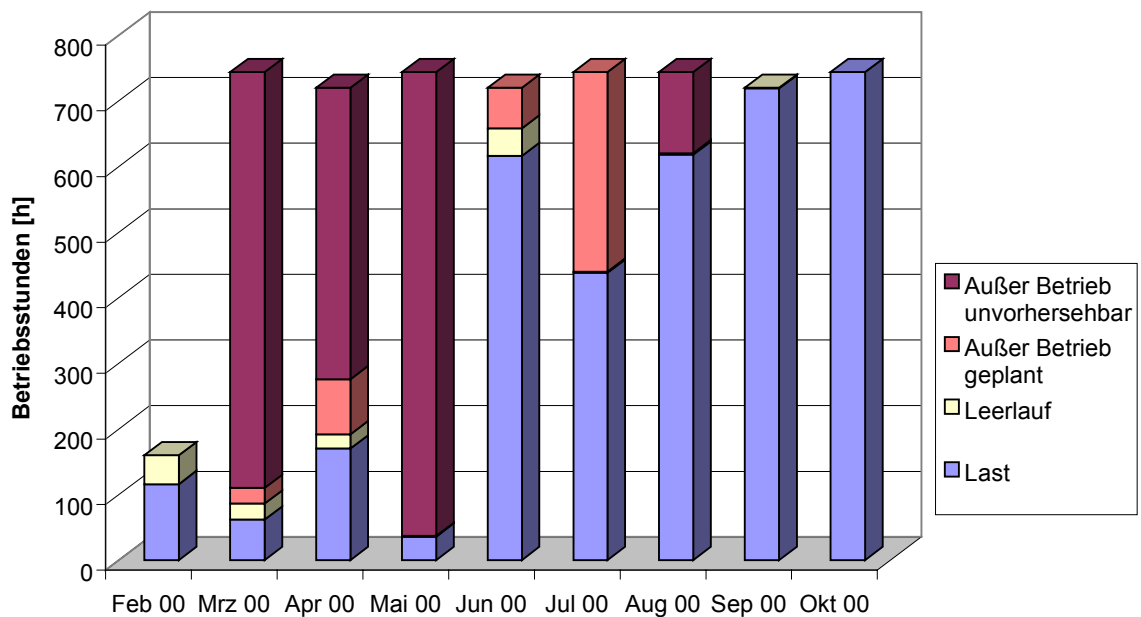
Komponente	Fertigstellung	Erstanlauf	Beginn guter Funktion
Brennstoffzelle	08.02.00	23.02.00	30.05.00
Adsorptionskältemaschine	24.05.00	28.06.00	14.07.00
Kompressionskältemaschine	24.05.00	25.05.00	25.05.00
Rückkühlkreis	24.05.00	25.05.00	30.07.00
Eisspeicher	24.05.00	25.05.00	25.05.00
Wärmespeicher	20.10.99	15.01.00	23.02.00
Kältepuffer	24.05.00	28.06.00	28.06.00
TWD-Kollektoren	02.08.00	15.08.00	17.08.00
Photovoltaik	30.06.00	03.07.00	03.07.00

Einige wesentliche Probleme traten nach der Inbetriebnahme der Brennstoffzelle auf. Tabelle 8 führt die Zeiträume von Stillstand und Betrieb auf.

Tabelle 8: Betriebsverlauf der Brennstoffzelle

Zeitraum	Meilenstein
23.02.2000 - 01.03.2000	Inbetriebnahme
01.03.2000 - 02.03.2000	1. Shutdown, Absturz des Hauptrechners (PPC)
02.03.2000 - 04.03.2000	Betrieb
04.03.2000 - 16.03.2000	2. Shutdown, Absturz des Hauptrechners (PPC), 1. Rechneraustausch
16.03.2000 - 18.03.2000	Betrieb
18.03.2000 - 04.04.2000	3. Shutdown, Absturz des Hauptrechners (PPC), 2. Rechneraustausch
04.04.2000 - 30.05.2000	4. Shutdown, Absturz des Hauptrechners (PPC), Neue Software-Version, Einbau Sicherheitseinrichtung zur Ventilnotschließung
30.05.2000 - 28.06.2000	Betrieb
28.06.2000 - 13.07.2000	Stillstand, Fertigstellung Überwachungsraum
13.07.2000 - 16.08.2000	Betrieb
16.08.2000 - 21.08.2000	5. Shutdown, Hauptluftleitung defekt
21.08.2000 - ...	Betrieb

Abbildung 22 zeigt die Betriebsstundenverteilung der BZ, Abbildung 23 die Netzeinspeisung, in Tabelle 9 sind die erzeugten Strom- und Wärmemengen aufgeführt.

**Abbildung 22:** Betriebsstunden der Brennstoffzelle

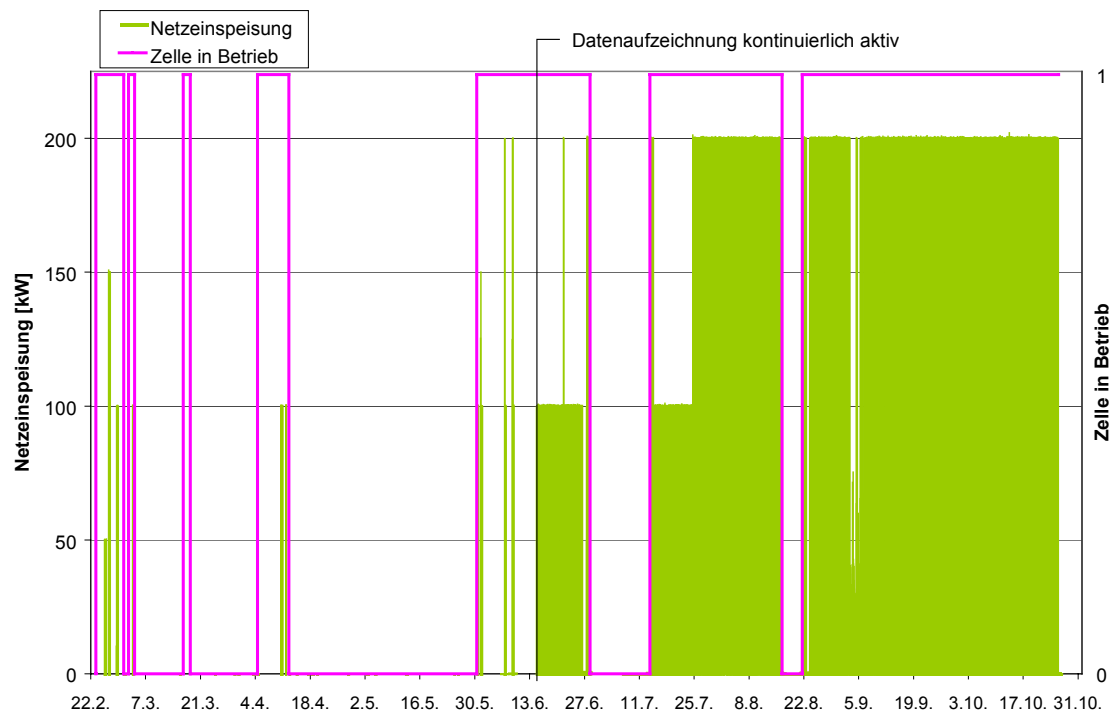


Abbildung 23: Elektrische Leistung der Brennstoffzelle

Tabelle 9: Wärme- und Stromerzeugung

	Erdgasbezug [m ³]	Erzeugte el. Energie [kWh]	Erzeugte Hoch- temp.-wärme [kWh]	Erzeugte Nie- dertemp.-wärme [kWh]	Abwärme (Hilfskühler) [kWh]
Februar 00	*	9.643,3	*	*	*
März 00	*	4.708,5	*	*	*
April 00	*	16.742,4	*	*	*
Mai 00	*	3.518,1	*	*	*
Juni 00	*	71.219,4	*	*	*
Juli 00	12.108,7	60.701,1	10.884,2	0,0	55.646,2
August 00	31.761,8	122.211,5	53.001,8	-10.771,7 **	123.233,5
September 00	34.626,0	131.355,2	54.210,0	-36,5	134.091,8
Oktober 00	37.842,5	148.032,0	50.112,0	4,9	148.816,6

* ... keine Daten verfügbar (Datenerfassung noch nicht möglich)

** ... Fehlfunktion der Regelung, Umprogrammierung im September

4.2 Leistungen

4.2.1 Brennstoffzelle

Zur Bewertung der Brennstoffzelle wurden folgende Komplexe näher untersucht:

- Leistungsfähigkeit von Zellstapel und Reformer
- Lebensdauer der verschiedenen katalytischen Konverter, Gasumwandlung
- Emissionen, Leistung der Gasaufbereitung
- Temperaturniveaus der erzeugten Wärme
- Zellstapelleistung, oberer und unterer Teil (Spannung der Stapelhälfte), Durchschnittsspannung, Stromdichte
- Reaktionszeiten
- Fehleraufzeichnung

Die Leistungsfähigkeit des Reformers, die Lebensdauer der katalytischen Konverter, die Leistung der Gasaufbereitung sowie die Emissionen wurden durch periodische Gasmessungen bewertet.

4.2.1.1 Wirkungsgrade

Phosphorsäure-Brennstoffzellen können elektrische Wirkungsgrade von 40 % erreichen. Die Wirkungsgrade steigen bei Teillast (> 50 % Last) an. Derartige Wirkungsgrade können mit vergleichbaren KWK-Anlagen nicht erreicht werden.

Die Hälfte der Wärme ist auf einem Temperaturniveau von 95 °C verfügbar und wird zum Antrieb der Adsorptionskältemaschine genutzt.

Elektrischer Wirkungsgrad

Der elektrische Wirkungsgrad bei Vollast (200 kW_{el}) beträgt 39,0 %. Der elektrische Wirkungsgrad steigt leicht auf 40,2 % bei 50 % Teillast (100 kW_{el}). Unter 50 % Last sinkt der Wirkungsgrad stark ab. Bei 25 % Last (50 kW_{el}) beträgt der Wirkungsgrad 19,5 %.

Zwischen 20 und 50 % Last (insbesondere bei Inselbetrieb), wird die (interne) Stapelleistung konstant auf 120 kW gehalten (Abbildung 24, Abbildung 25 und Tabelle 10).

Der Bruttowirkungsgrad (bezogen auf die Zellstapelleistung) beträgt bei Vollast 44,8 % und steigt auf 48,2 % bei 12,5 % Last (Abbildung 26).

Im Leerlauf (netto 0 kW_{el}) wird die Bruttoleistung konstant auf 80 kW_{el} gehalten.

Mit einem Stapelwirkungsgrad von 48,3 % werden im Leerlauf 170 kW aus Erdgas benötigt (entspricht 17 m³/h Erdgas bei Leerlauf).

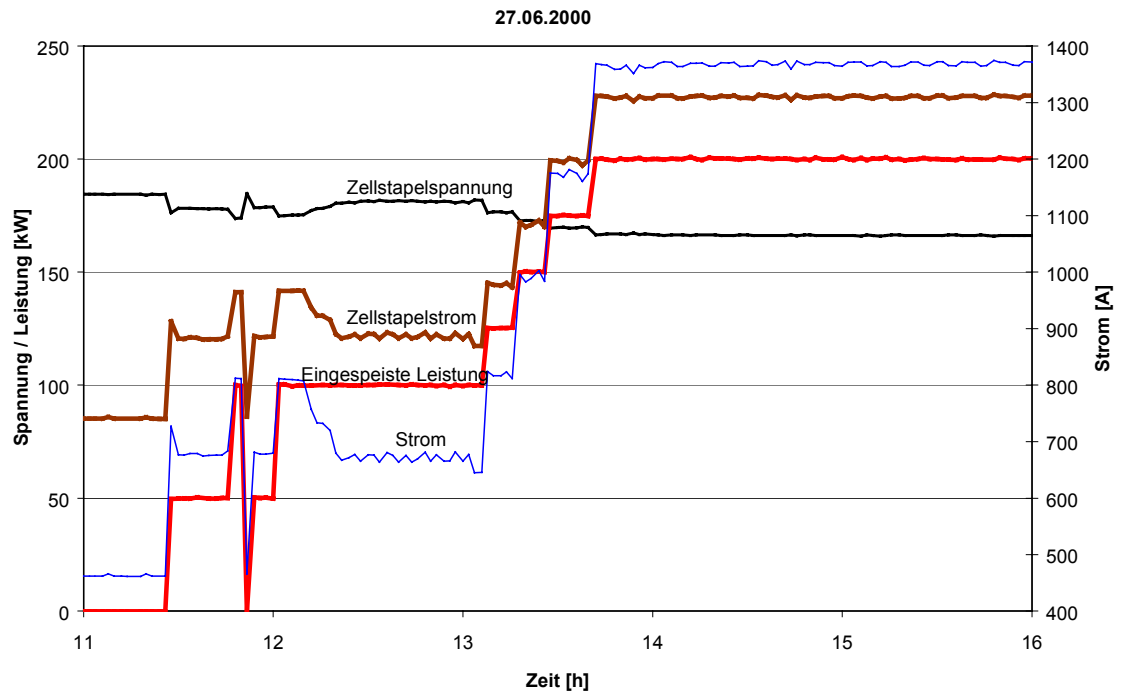


Abbildung 24: Zellstapelspannung, -stromstärke und Netzeinspeisung der BZ

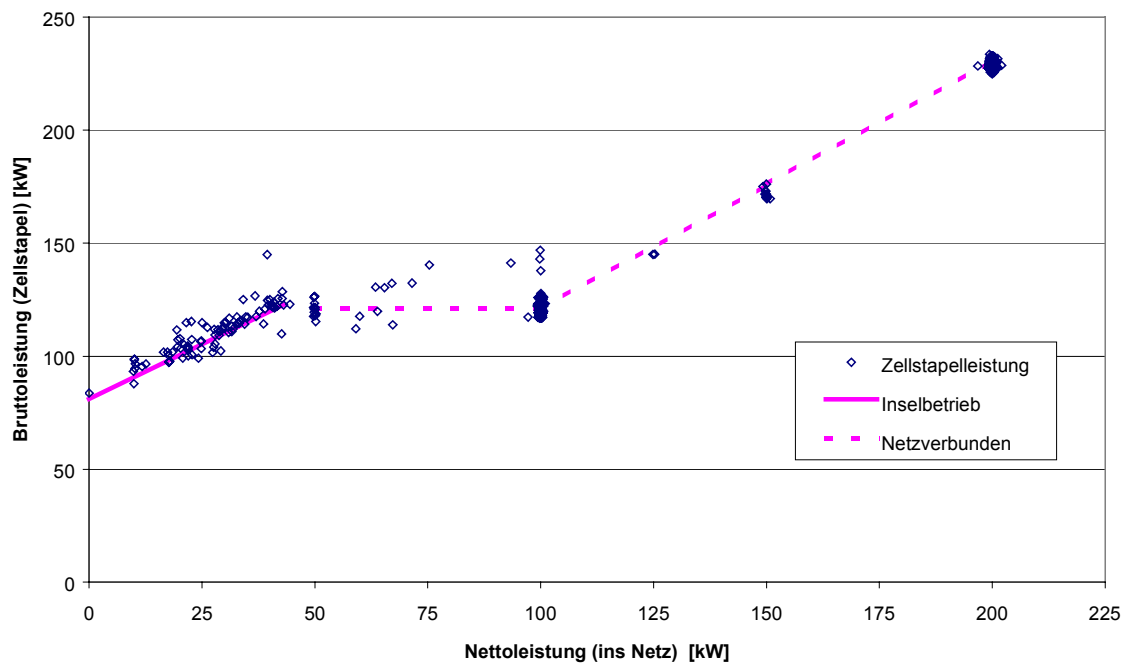


Abbildung 25: Verhältnis zwischen Brutto- und Nettoleistung der Brennstoffzelle

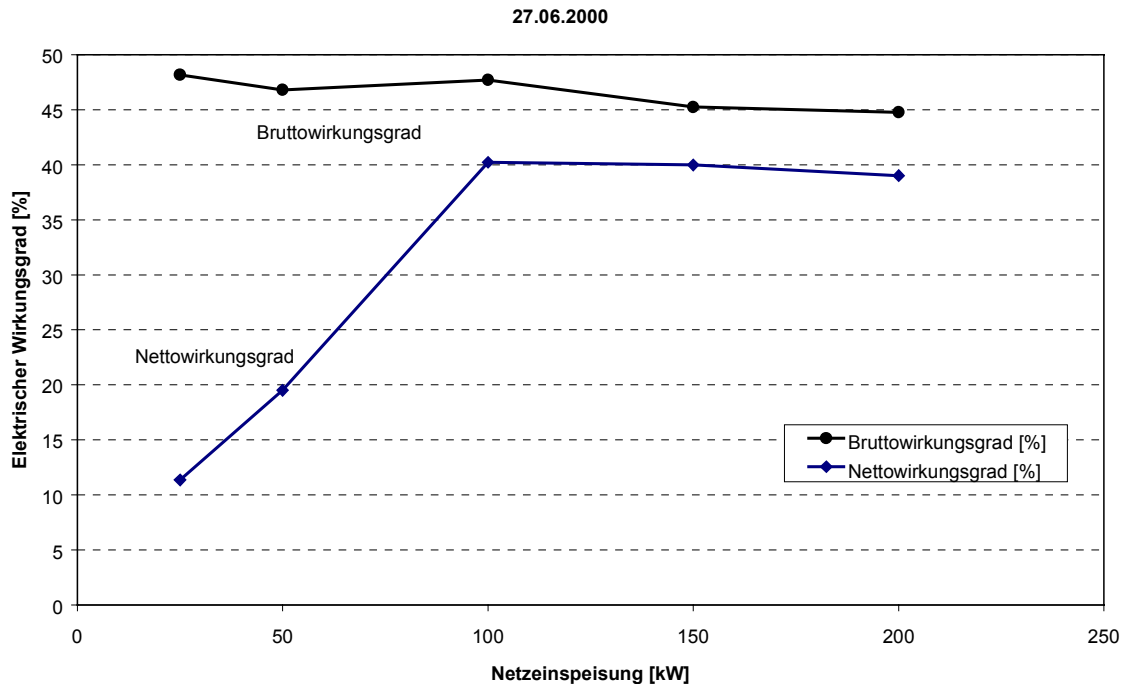


Abbildung 26: Elektrische Brutto- und Nettowirkungsgrade der Brennstoffzelle

Thermischer Wirkungsgrad

Mit einer Wärmeerzeugung von 110 kW auf einem Temperaturniveau von 95 °C sowie 110 kW auf einem Niveau von 70 °C beträgt die maximale Wärmeauskopplung 220 kW [1]. Der thermische Wirkungsgrad ergibt sich zu 45,3 % und der Gesamtwirkungsgrad zu 86,5 %.

Jedoch wird dieser Wirkungsgrad nur erreicht, wenn die erzeugte Wärme 100%ig genutzt werden kann. Das ist nur möglich, wenn die Wärmeverbraucher im Krankenhaus mit optimalen Kreislauftemperaturen arbeiten. Zur Zeit weist der Kundenkreislauf Rücklauftemperaturen von 65 bis 68 °C anstelle der geplanten 50 °C auf. Der Sollwert für den Sekundärkreis der BZ liegt bei 71,1 °C. Deshalb stehen nur 3 - 6 K Temperaturdifferenz am Wärmeübertrager an anstelle der geplanten 20 K. So erreicht der NT-Kundenkreis nicht seine volle Leistung – und dies hat Gründe, die nicht durch das Konsortium beeinflusst werden können.

In Abbildung 27 sind die elektrische und thermische Leistung der Brennstoffzelle für September/Oktober 2000 dargestellt.

Aufgrund der geringen Temperaturdifferenz am Wärmetauscher wurden auch nur geringe Mengen NT-Wärme ausgekoppelt. Die HT-Auskopplung liefert bis zu 120 kW (s.a. Abschnitt 3.3), die HT-Wärme wird im 20-m³-Speicher gepuffert. Wenn der Speicher vollständig beladen ist und kein weiterer Wärmebedarf besteht, wird die HT-Auskopplung abgeschaltet.

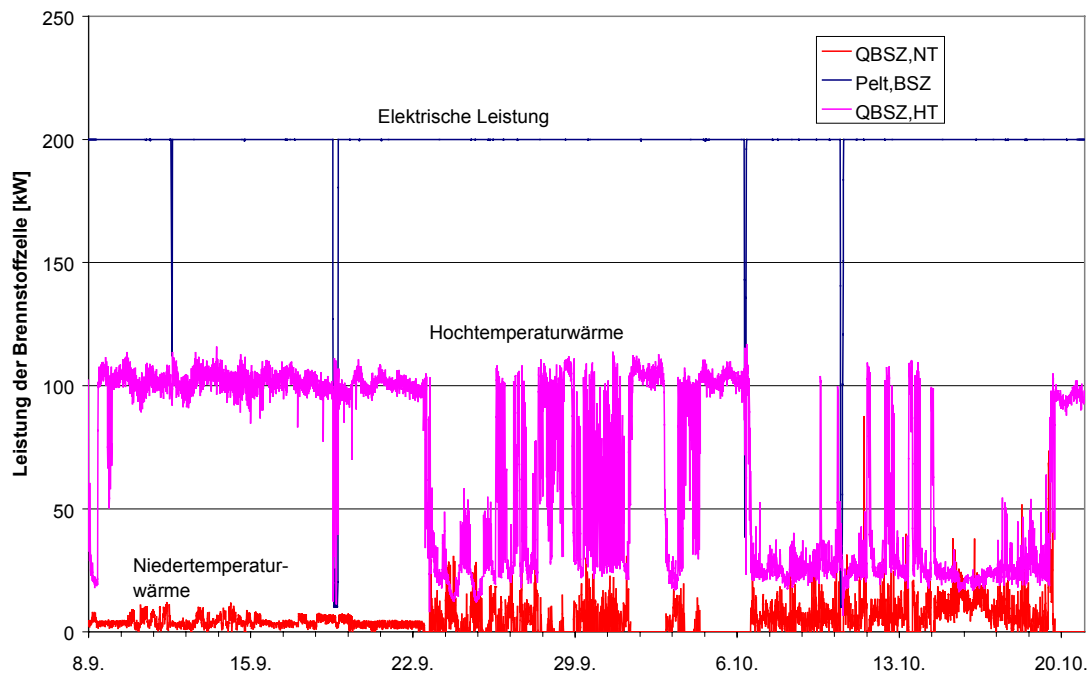


Abbildung 27: Strom- und Wärmeerzeugung der Brennstoffzelle

Abbildung 28 zeigt die dem Betrachtungszeitraum zugehörigen elektrischen und thermischen Wirkungsgrade. Der Gesamtwirkungsgrad der Brennstoffzelle erreicht bisher nicht mehr als 65 % aufgrund der geringen NT-Wärmeabnahme.

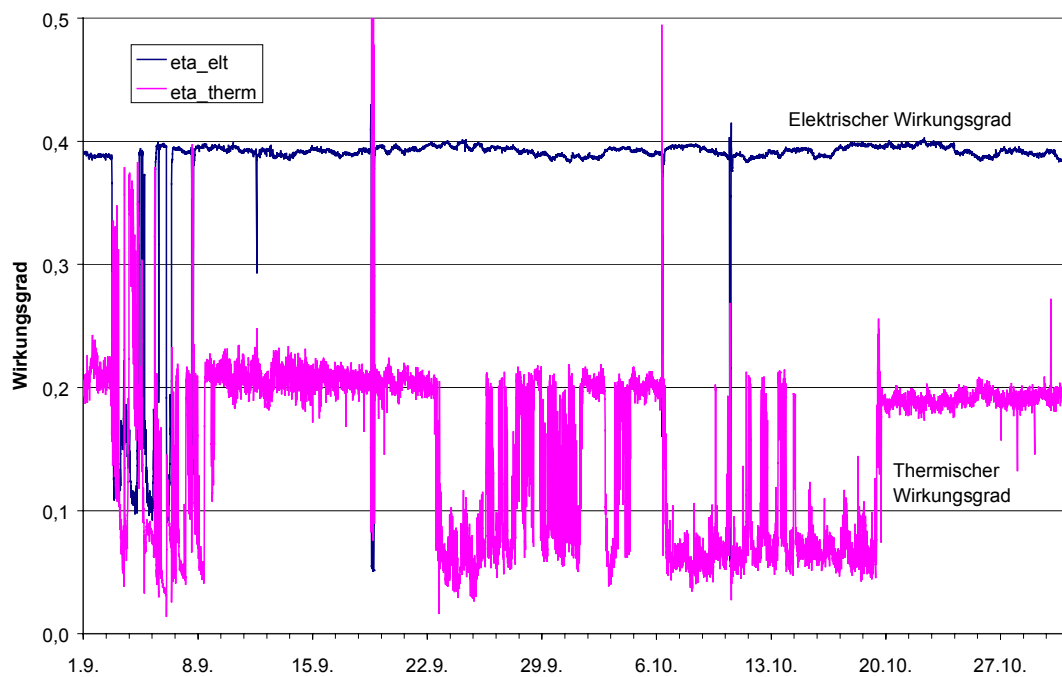


Abbildung 28: Elektrischer und thermischer Wirkungsgrad der Brennstoffzelle

Der Wirkungsgrad sinkt, falls die Zelle im Inselbetrieb arbeitet und die Last weniger als 100 kW beträgt. Ein Beispiel für einen Tag mit zweimaligem Inselbetrieb zeigt Abbildung 29.

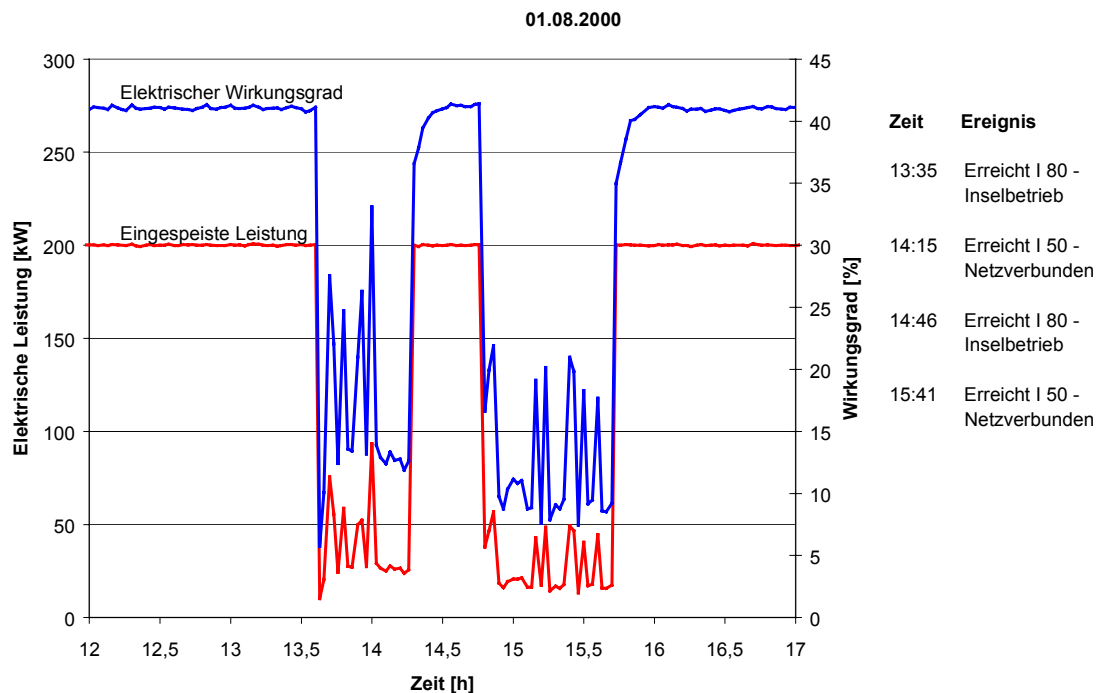


Abbildung 29: Netzeinspeisung und elektrischer Wirkungsgrad der BZ am 01.08.2000

4.2.1.2 Zellstapelleistungen

Die Diffusion der Wasserstoffionen durch den Elektrolyten ruft einen elektrischen Strom hervor. Durch Alterung oder Vergiftung sinkt die Zellspannung ab. Die kritische Grenze für die durchschnittliche Zellspannung liegt bei 0,54 – 0,57 Volt [4]. Wenn diese erreicht ist, muß die elektrische Maximallast begrenzt werden. Die normale Zellspannung liegt bei 0,6 – 0,7 Volt.

Bei Vollast wurden in der oberen Zellstapelhälfte 83,46 Volt und 82,7 Volt in der unteren Hälfte gemessen (Abbildung 30). Die Gesamtspannung beträgt 166,2 Volt (nach 1.100 Betriebsstunden). Änderungen der Zellspannung sind Indikatoren für Probleme im Prozeßablauf (Abbildung 31), z.B. der Spannungsabfall vor dem Shutdown am 16. August.

Die Spannung des Zellstapels hängt von der eingespeisten Leistung ab. Im Leerlauf beträgt die Spannung des Zellstapels 185 Volt. Bei Vollast (200 kW_{el}) beträgt die Zellstapelspannung 166 Volt und der -strom 1360 Ampere (Abbildung 24). Die Spannungsdifferenz zwischen oberer und unterer Stapelhälfte ist unmaßgeblich. Nach 2.200 Betriebsstunden beträgt die Differenz 0,3 Volt, nach 1.100 Betriebsstunden lag sie bei 0,73 Volt.

Das Verhältnis zwischen Zellstapelspannung und Nettoleistung zeigt Abbildung 32.

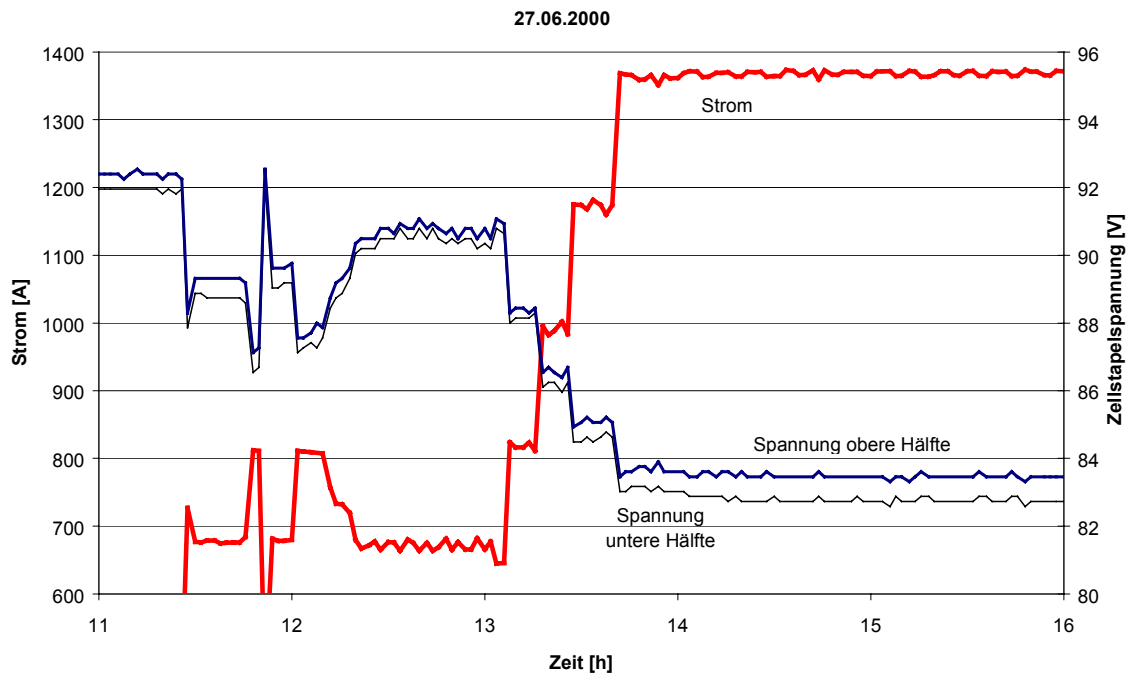


Abbildung 30: Spannung der oberen und unteren Zellstapelhälfte nach 1.100 Betriebsstunden

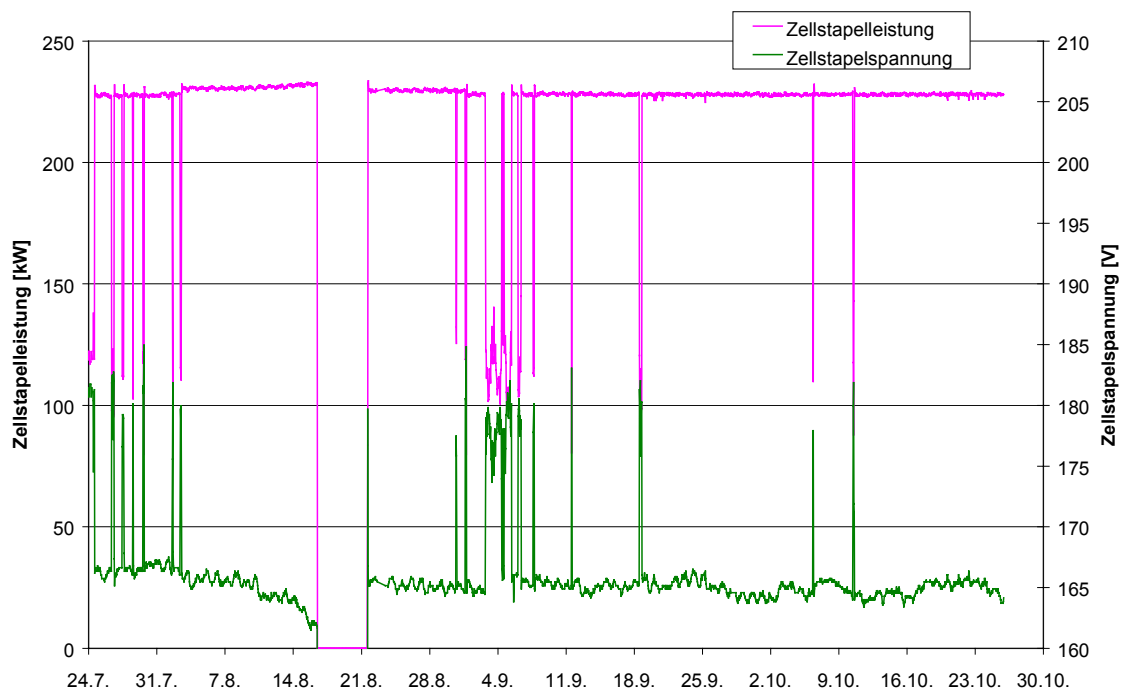


Abbildung 31: Zellstapelleistung und -spannung bei Betrieb mit vorrangig 200 kW Last

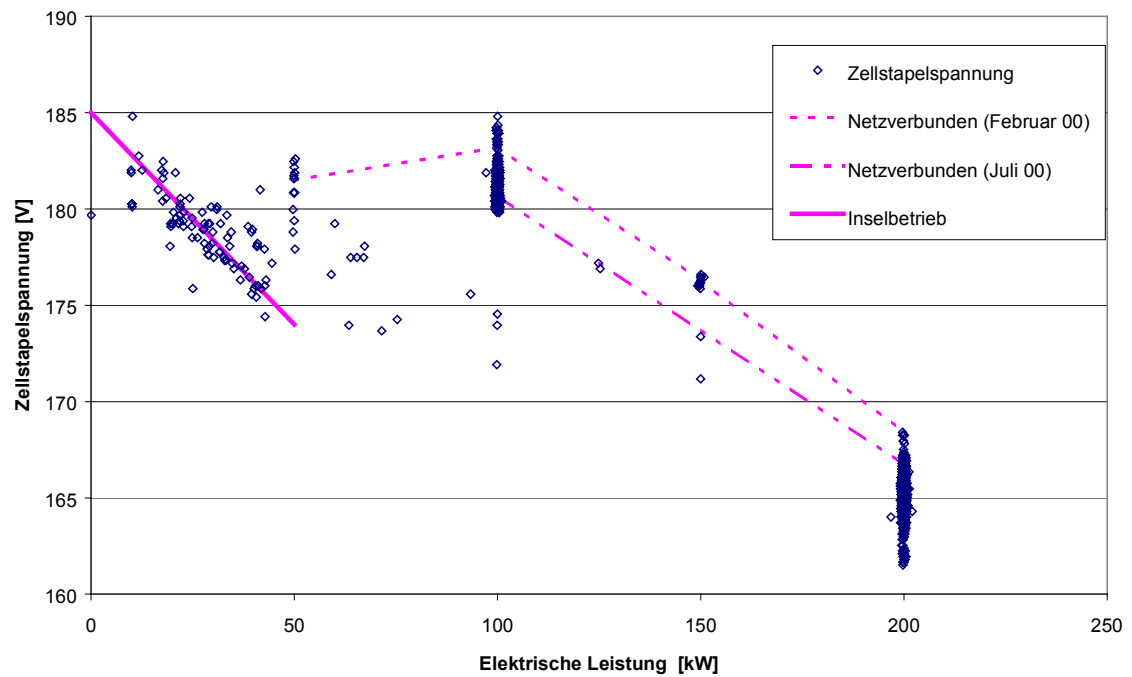


Abbildung 32: Zellstapelspannung im Verhältnis zur Netzeinspeisung

4.2.1.3 Anfahren und Reaktionszeiten

Die Inbetriebnahmezeit aus dem Warmhaltezustand bis zur Vollast beträgt ca. 3,5 Stunden. Nach 3 Stunden sind die geforderten Gas- und Wassertemperaturen erreicht (z.B. Anodentemperatur $> 160\text{ }^{\circ}\text{C}$), die Brennstoffzelle kann dann mit dem Netz verbunden werden. Danach ist eine schnelle Laststeigerung möglich (in weniger als 15 Minuten) (Abbildung 33).

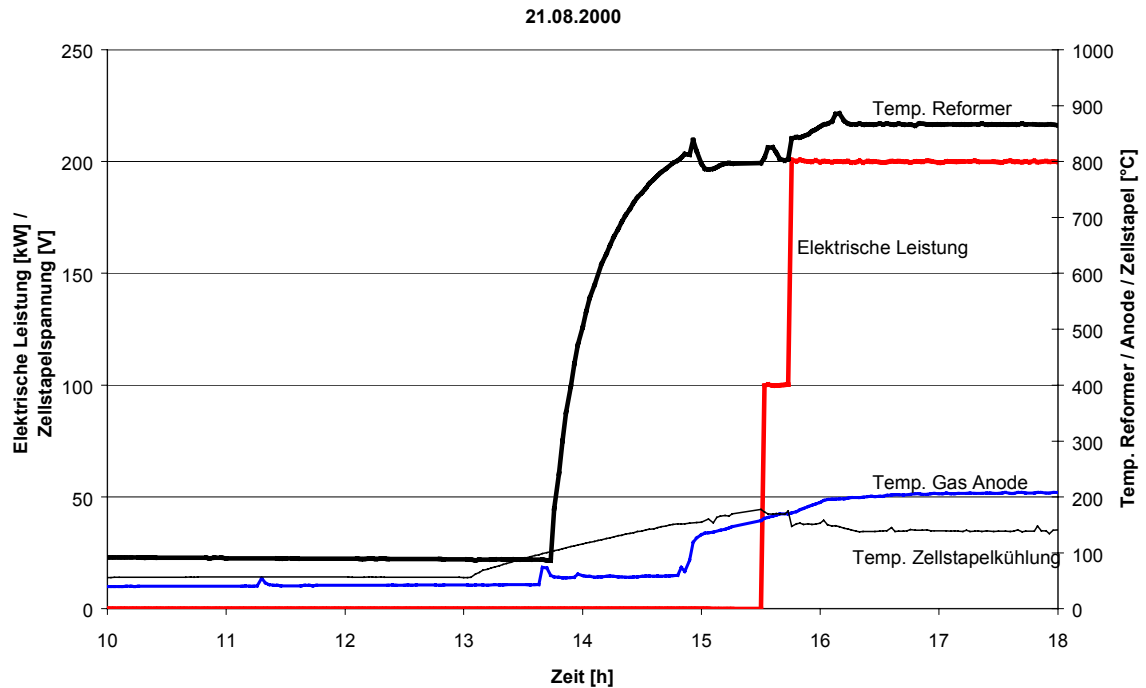


Abbildung 33: Temperaturen von Reformer, Anode und Stapelkühlung beim Anfahren

Falls die Brennstoffzelle im Leerlauf ist, ist die Maximalleistung in wenigen Minuten erreichbar. Innerhalb von 2 Minuten kann die Leistung von 0 auf 100 kW oder von 100 auf 200 kW geändert werden.

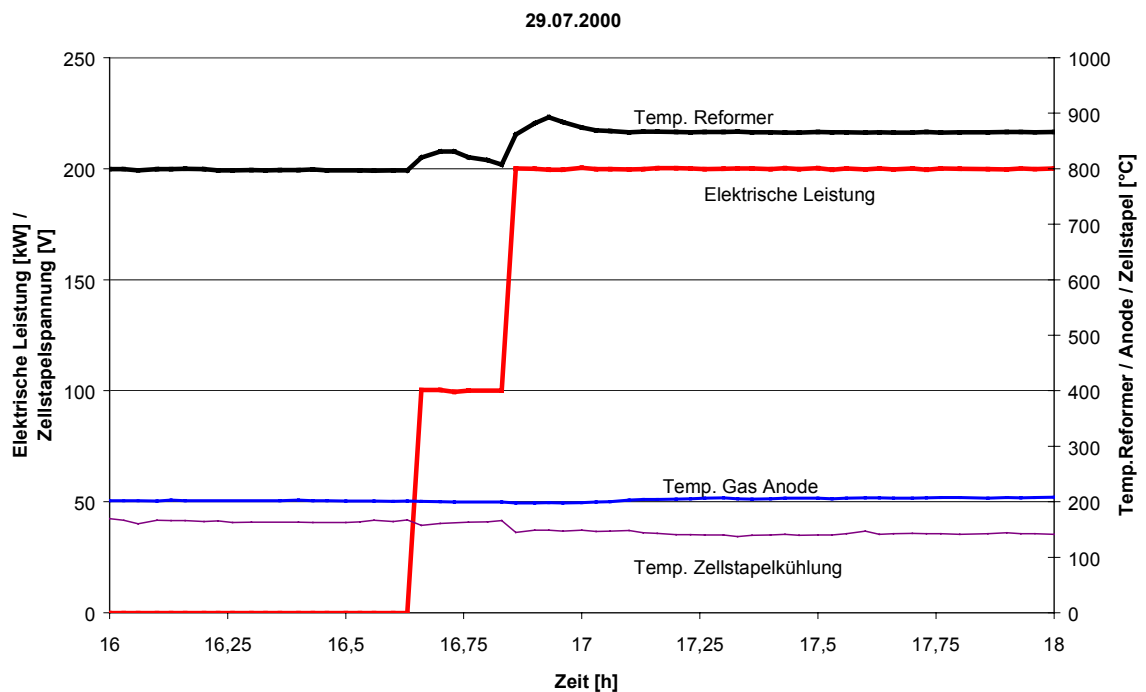


Abbildung 34: Temperaturen von Reformer, Stapelkühlung und Anode während der Laststeigerung von Leerlauf auf Vollast

4.2.1.4 Lebensdauer und Zellstapeldegradation

Durch Alterung unterliegen der Zellstapel und die Katalysatoren einer Degradation, der elektrische Wirkungsgrad sinkt ab. Es ist zu erwarten, daß der elektrische Wirkungsgrad nach 40.000 Betriebsstunden um 5 Prozentpunkte gesunken ist [2].

Die Änderungen von Zellstapelspannungen und Katalysatortemperaturen sind Indikatoren für die Alterung.

Tabelle 10 gibt einen Überblick über typische Daten der Brennstoffzelle nach 1.100 und 2.200 Betriebsstunden.

Tabelle 10: Typische Meßdaten der BZ am 27.06.2000 nach ca. 1.100 Betriebsstunden

El. Leistung		Leerlauf	50 kW	100 kW	125 kW	150 kW	175 kW	200 kW
El. Wirkungsgrad	-	-	19,50	39,95	39,95	39,00	38,53	39,00
Spannung oben	V	92,7	89,3	90,8	88,4	86,5	85,1	83,46
Spannung unten	V	92,25	88,7	90,5	88,2	86,25	84,5	82,73
Spannung ges.	V	185	178	181	176	172,8	170	166,2
Stapelleistung	kW =	82,2	120	120	145	170	200	226,9
T Reformer 1	°C	796	804	804	825	860	865	865
T Reformer 2	°C	793	804	804	826	860	870	866
T Anode	°C	199	198	200	200	201	200,8	208
T Entschwefelung	°C	272	253	270	276	276	278	268
Stapelstrom	A	444	676	665	820	1002	1170	1370
T Stapelkühlung	°C	162	152	166	160	152	149	138

Tabelle 11: Typische Meßdaten der BZ am 31.08.2000 nach ca. 2.200 Betriebsstunden

El. Output		Leerlauf	100 kW	200 kW
El. Wirkungsgrad	-	-	40,70	38,53
Spannung oben	V	92,4	90,2	82,3
Spannung unten	V	92,2	90,2	82
Spannung ges.	V	184,5	180,4	164,2
Stapelleistung	kW =	79	119	230
T Reformer 1	°C	798	805,4	866
T Reformer 2	°C	797	804,7	855
T Anode	°C	200	202	207
T Entschwefelung	°C	264	273	282
Stapelstrom	A	427	660	1400
T Stapelkühlung	°C	168	168	139

Nach 2.200 Betriebsstunden ist der elektrische Wirkungsgrad geringfügig gesunken (0,5 Prozentpunkte).

Ein Absinken des Wirkungsgrades in Teillast wurde nicht beobachtet. Ein vergleichsweise höherer Wirkungsgrad ($\eta_e = 40\%$) wurde gemessen (s. Tabelle 10 und Tabelle 11). Aufgrund verschiedener Bedingungen (z.B. Umgebungsbedingungen) kann der elektrische Wirkungsgrad während des Tages um 0,5 Prozentpunkte variieren (Abbildung 35).

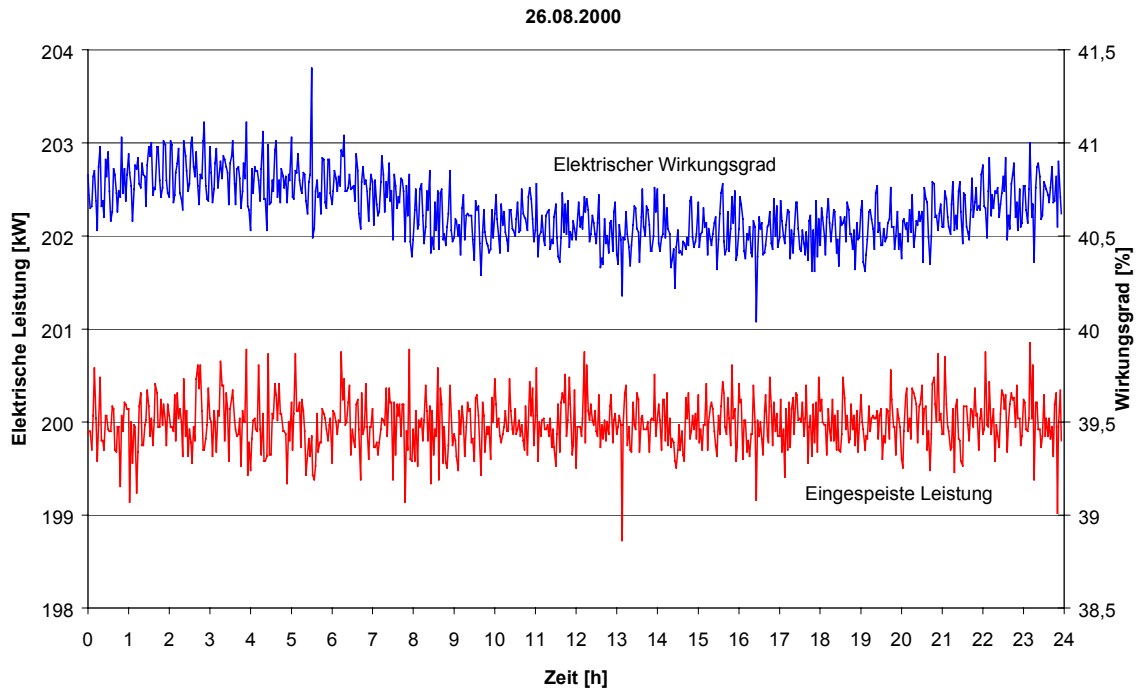


Abbildung 35: Elektrischer Wirkungsgrad und Leistung im Tagesverlauf

4.2.1.5 Zusammensetzung der Prozeßgase

Die Zusammensetzung der Prozeßgase (und des Abgases) der Brennstoffzelle wurde mit Hilfe eines Meßsystems von GASTEC bestimmt (NO_x -Analysator, Mikro-Gaschromatograph). Die Lage der Probenahmepunkte und die Ergebnisse der Prozeßgasmessungen sind in Anlage 2 aufgeführt, Anlage 3 zeigt im Vergleich die Prozeßgaszusammensetzung bei verschiedener BZ-Leistung (Leerlauf (0 kW), halbe Last (100 kW) und Vollast (200 kW)).

Reformer

Am Austritt des Reformers beträgt bei Vollast der CH_4 -Gehalt des Prozeßgases 2,68 Vol.-%. Damit sind ca. 90 % des Brennstoffs umgewandelt. Bei halber Last und im Leerlauf beträgt die Umwandlung 96 % bzw. 99 % (Tabelle 12).

CO-Shift

Bei Vollast werden 96 % des CO in CO_2 konvertiert. Bei halber Last und im Leerlauf sind es 98 % bzw. 99 %.

Zellstapel

Bei Vollast werden ca. 83 % des Wasserstoffs konvertiert. Bei halber Last und im Leerlauf beträgt die Wasserstoffumwandlung 75 % bzw. 78 %.

Bei allen Lastzuständen werden ca. 50 % des Luftsauerstoffs an der Kathode genutzt.

Tabelle 12: Umwandlung im Reformer, Shift-Konverter und Zellstapel

	Reformer	CO-Shift	BZ Anode	BZ Kathode
Umwandlung (%) bei:	CH ₄	CO	H ₂	O ₂
Vollast	90	96	83	50
halber Last	96	98	75	50
Leerlauf	99	99	78	50

Es gibt zwei unterschiedliche Effekte: Der Reformerwirkungsgrad sinkt bei steigender Last, die Umwandlung des Wasserstoffs im Zellstapel steigt hingegen an.

4.2.2 Adsorptionskältemaschine

Die Maschine wies folgende Monatsbilanzen auf:

Tabelle 13: Adsorptionskältemaschine – Monatsbilanzen

Monat	Kälte	Wärme	Betriebs- dauer	Kälteleistung bei Betrieb
	[MWh]	[MWh]	[h]	[kW]
Juli 00	4,5	10,0	52	86,5
August 00	28,4	60,0	347	81,8
September 00	14,4	30,6	211	68,2
Oktober 00	5,1	11,7	74	68,9
November 00	0,0	0,0	0	0

Die Kältemaschine erreichte eine monatliche Betriebsdauer von bis zu 350 Stunden. Dies entsprach im wesentlichen den Zeiten der Kältenachfrage. Weitere Einschränkungen gab es im Juli durch die Inbetriebnahme und im August aufgrund von Zeiten unzureichender Wärmeversorgung durch Brennstoffzelle und Solaranlage.

Im Monatsmittel betrug das Kälteverhältnis etwa 0,47. Dieser Wert ist geringer als der Auslegungswert von 0,57. Ursache sind Probleme bei der Teillastregelung, die erkannt sind und in der nächsten Klimatisierungsperiode abgestellt werden. Das gemessene Kälteverhältnis ist bereits jetzt besser als bei der Mehrzahl anderer uns bekannter Sorptionskälteanlagen.

Die Kältemaschine weist im speziellen Betrieb folgende Parameter auf:

Tabelle 14: Adsorptionskältemaschine – besondere Betriebsdaten

		Auslegung			Typischer Betrieb		
		Kälte	Kühlung	Heizung	Kälte	Kühlung	Heizung
Eintritt	°C	12	27	80	12,1	26	70
Austritt	°C	6	32	70	8	29,8	65
Volumenstrom	m ³ /h	15	50	15	20	56	26
Leistung	kW	105	290	174	95	247	151

In der folgenden Tabelle sind die gemessenen Eigenschaften der Maschine bei Betrieb in Vollast zusammengestellt. In der Tabelle sind die Daten jeweils in 30-Minuten-Mittelwerten zusammengefaßt:

Tabelle 15: Adsorptionskältemaschine – gemessene Kennwerte

Tag	Zeit	Kälte		Kühlung	Heizung		COP	Soll	
		t_{aus}	Leistung	t_{ein}	t_{ein}	Leistung		Leistung	COP
		°C	kW	°C	°C	kW	-	kW	-
15.08.00	15:00 .. 15:30	7,1	99	26,9	73,7	160	0,62	114	0,61
	15:30 .. 16:00	7,8	104	27,1	72,6	184	0,57	112	
16.08.00	04:00 .. 04:30	7,6	59	29,5	68,1	125	0,47	64	0,54 0,59
	04:30 .. 05:00	7,4	57	29,6	68,3	119	0,48	62	
	08:00 .. 08:30	7,4	87	26,2	67,7	140	0,62	99	
	08:30 .. 09:00	7,6	88	25,6	66,9	156	0,56	104	
	09:00 .. 09:30	8,0	86	26,1	66,3	132	0,65	99	
	09:30 .. 10:00	8,0	85	26,2	65,8	149	0,57	95	
14.09.00	04:00 .. 04:30	7,0	55	26,5	61,1	122	0,45	65	0,55
	04:30 .. 05:00	6,5	55	26,1	60,9	106	0,52	65	

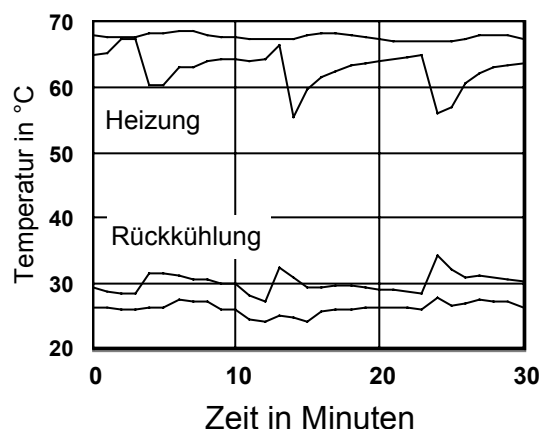
Zunächst ist festzustellen, daß die Kältemaschine bei Heiztemperaturen um 65 °C korrekt arbeitet, also in einem Temperaturbereich, der für Absorptionskältemaschinen nicht nutzbar ist. Nachts ist die Leistung geringer als am Tage. Dies ergibt sich aus der nachts aufgrund von Schallschutzgründen verminderten Ventilatorumdrehzahl des Rückkühlwerks.

Die Maschine erreicht gegenwärtig etwa 85 % der im Katalog angegebenen Leistung. Hier ist die Tendenz festzustellen, daß dieser Leistungsanteil seit Inbetriebnahme am 14. Juli kontinuierlich ansteigt. Ursache sind vermutlich die noch im Silicagel enthaltenen Inertgase, die jetzt langsam ausgetrieben werden.

Das Kälteverhältnis, auch COP genannt, liegt bereits annähernd beim Katalogwert von circa 0,6. Die Schwankungen zwischen 0,56 und 0,65 bei fast konstanten Randbedingungen sind lediglich meßtechnisch bedingt.

Im nebenstehenden Doppeldiagramm sind die Temperaturverläufe für drei Zyklen dargestellt. Es handelt sich hierbei um die Zeit von 08.00 bis 08.30 Uhr am 16. August 2000.

Bei Zyklusumschaltung steigt die Kältevorlauftemperatur an, da keine Adsorption und folglich keine Kälteentwicklung stattfindet. Dem schließt sich eine Phase an, in der die neue Adsorberkammer erst abgekühlt werden muß und auch keine Kälteentwicklung stattfindet.



Danach gibt es eine sehr große Kälteproduktion, da die Adsorberkammer sehr trocken ist und intensiv adsorbiert. Die Kältevorlauftemperatur fällt stark ab. Gegen Zyklusende geht das Adsorptionsvermögen zurück und die Kältevorlauftemperatur steigt wieder an.

Die starke Schwankung der Kältevorlauftemperatur zwischen 6 °C und 10,5 °C wäre für die Kälteverbraucher regelungstechnisch schwer beherrschbar. Der kleine, mit der Kältemaschine in Reihe geschaltete Speicher dämpft diese Schwankung erfolgreich ab.

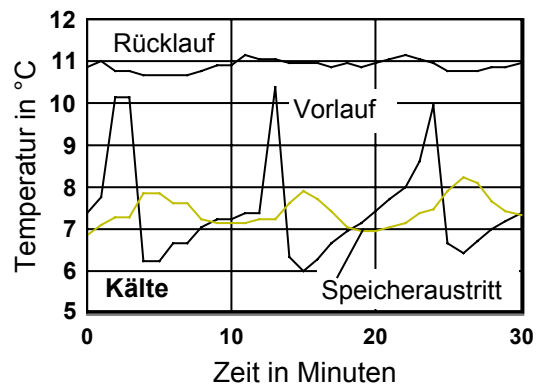


Abbildung 36: Typische Temperaturen der AdKM

Die in der Tabelle aufgeführten Werte beschreiben den Dauerbetrieb der Maschine. Diese Betriebsweise ist jedoch relativ selten. Unterschreitet der Kältebedarf die Leistung der Maschine, ergibt sich ein taktender Betrieb. Ursprünglich sollte die erforderliche Leistungsreduktion durch die Drehzahlreduzierung der Kühlwasserpumpe hergestellt werden. Auf die Rückkühlbedingungen reagiert die Maschine sehr empfindlich. Praktisch war dies mit der bis dahin installierten Pumpe nicht möglich. Ende September wurde eine drehzahlregelbare Pumpe nachgerüstet.

Momentan wird der Teillastbetrieb durch Ein- und Ausschalten der Maschine hergestellt. Da hierbei immer wieder ein Abbruch im Zyklus erfolgt, kommt es zu einer Verkürzung der mittleren Zyklusdauer, die Bedeutung der Umschaltverluste steigt und das Kälteverhältnis sinkt. Durch die Existenz des kleinen Kältepuffers von nur 1,5 m³ Volumen ist die Situation nicht so problematisch wie bei anderen Adsorptionskälteanlagen. Die Maschine läuft im mittleren Lastbereich immer etwa 30 Minuten ununterbrochen.

In nebenstehenden Diagramm ist das Kälteverhältnis als Funktion der Kälteleistung für alle 4-h-Abschnitte der Betriebszeit der AdKM aufgetragen. Bei Vollast beträgt das Kälteverhältnis 0,55 und fällt im Teillastbereich auf 0,42. Die Verringerung des Kälteverhältnisses ist generell nicht so problematisch wie bei fernwärmebeheizten Anlagen, da die HT-Wärme der Brennstoffzelle im Sommer prinzipiell als Abwärme zur Verfügung steht und bei Nichtnutzung in jedem Fall verloren geht. Störend ist nur der zusätzliche Kühlwasserverbrauch.

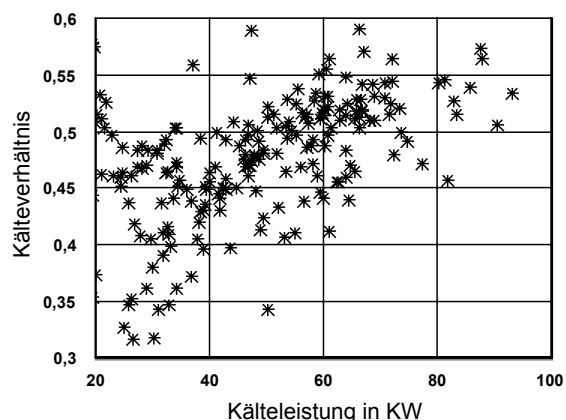


Abbildung 37: 4-h-Mittelwerte von Leistung und Kältezahl

4.2.3 Solaranlagen

Die eingesetzten Kollektoren haben an Tagen ohne Systemstörungen bewiesen, daß sie hervorragende Wirkungsgrade von 48 bis 53 % aufweisen.

Abbildung 38 und 39 zeigen beispielhaft Leistungen und Temperaturen vom 17. August und 12. September. Die Solaranlage lieferte an diesen Tagen 80 bis 93 % der erwarteten Kollektorerträge laut Kollektor-Kennlinie.

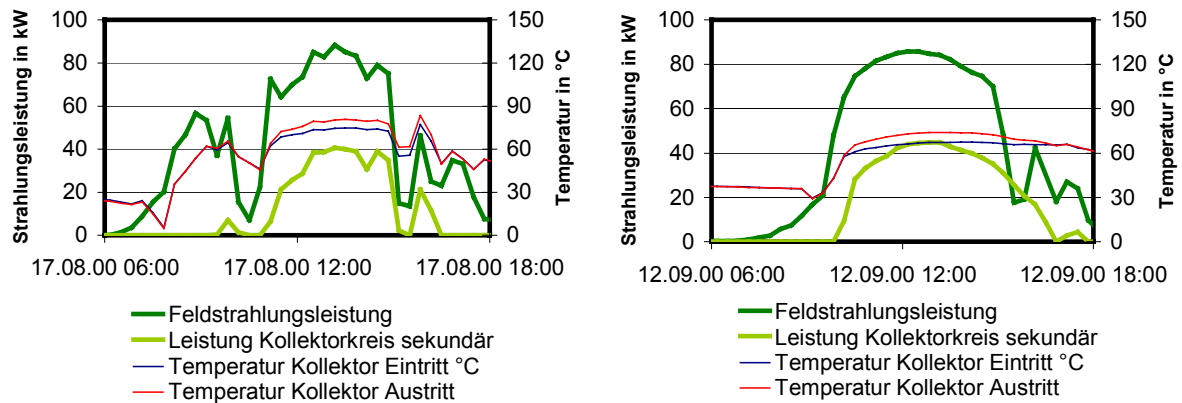


Abbildung 38: Solaranlage am 17.08.00 **Abbildung 39:** Solaranlage am 12.09.00

Den Vorteil des Einsatzes der TWD-Kollektoren bei mittleren Kollektoreintrittstemperaturen von 60 bis 70 °C verdeutlicht Abbildung 40. Im Vergleich zu Flachkollektoren ohne TWD ist der reale Solarertrag bei hohen Einstrahlungen (mittags) 50 % größer. Bei geringen Einstrahlungen (vormittags, abends) kann die Steigerung 200 % bis 500 % betragen.

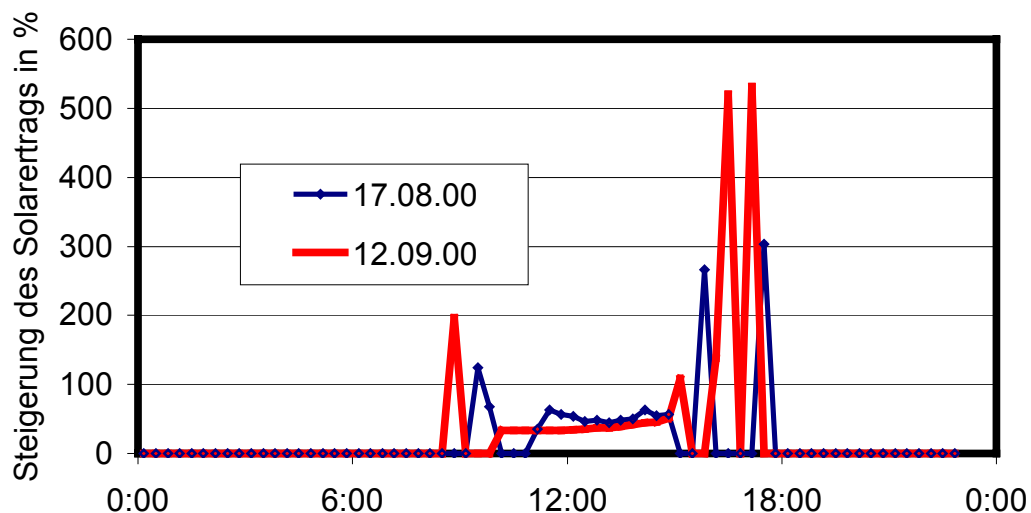


Abbildung 40: Steigerung des Solarertrags der TWD-Kollektoren im Vergleich zu Flachkollektoren

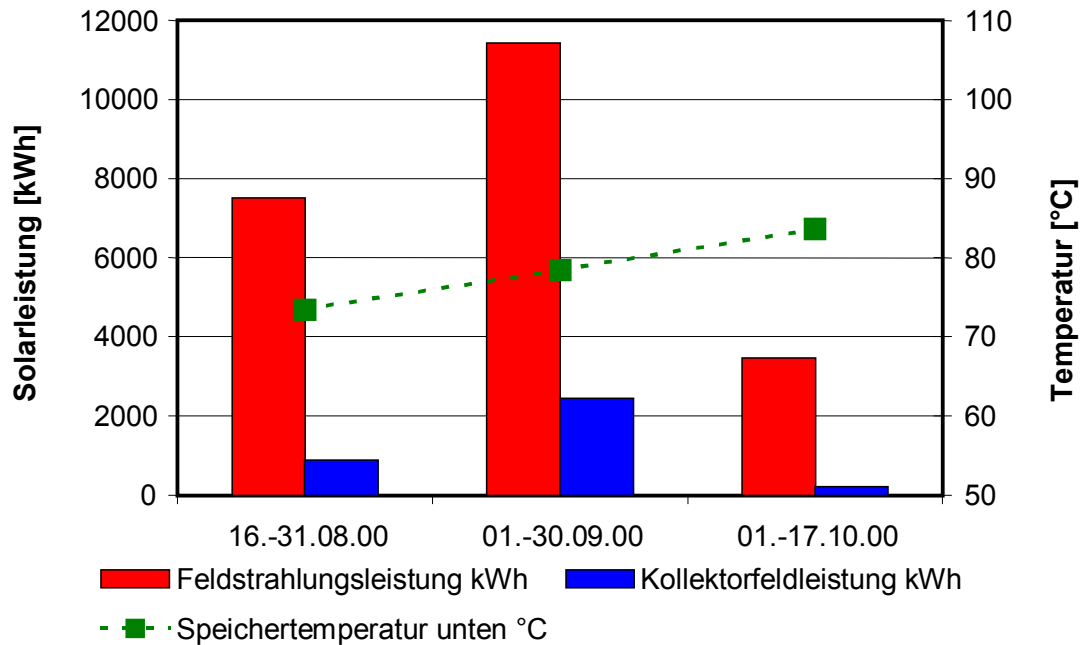


Abbildung 41: Kollektorwirkungsgrad

Abbildung 41 zeigt die Kollektorerträge im Vergleich zur Feldstrahlung im Zeitraum August bis Oktober 2000. Die sehr guten Kollektorerträge spiegeln sich leider noch nicht in der summarischen Darstellung wieder.

Dafür gibt es hauptsächlich folgende Erklärung: Die Pumpe im Kollektorkreis konnte nur mit konstanter Drehzahl betrieben werden. Bis zu diesem Zeitpunkt fällt an Tagen mit hohen Speichertemperaturen der Solarertrag sehr gering aus.

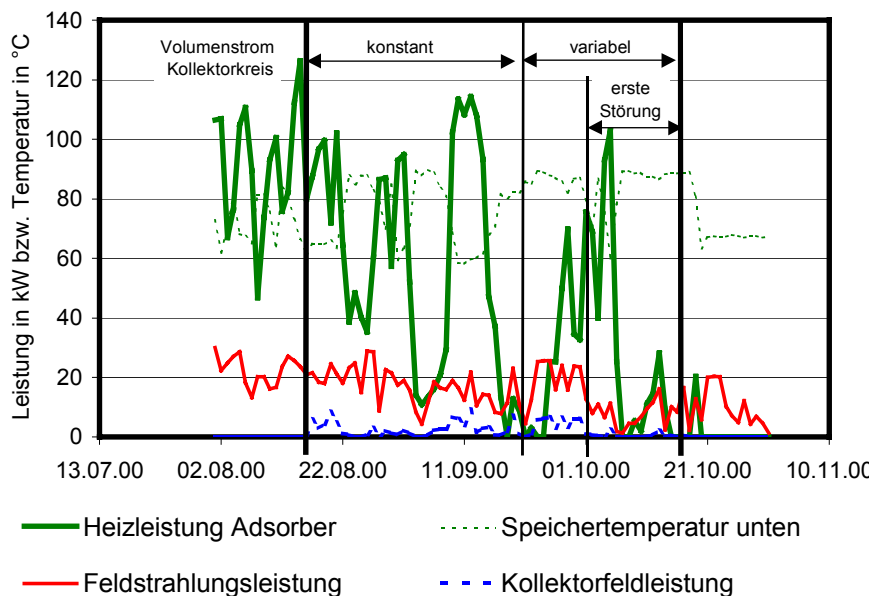


Abbildung 42: Solarkollektoren – Betriebszeiten von August bis Oktober

Ende September ist die erhöhte Kollektorfeldleistung durch Aktivierung der Drehzahlregelung deutlich erkennbar (Abbildung 42).

Die solaren Erträge betragen 150 bis 300 % vergleichbarer Augusttage. Ab Anfang Oktober traten erste Störungen auf.

Derzeit wird die Anlage an die Anforderungen der Hochtemperatur-Kollektoren angepaßt. Ab Anfang Dezember ist mit einem störungsfreien Betrieb zu rechnen.

4.2.4 Speicher

Wärmespeicher

Der Speicher zeichnete sich im Sommerbetrieb durch folgende Eigenschaften aus:

- Ausgleich des im Tagesverlauf schwankenden Wärmebedarfs der Adsorptionskältemaschine an Tagen geringen und mittleren Kältebedarfs.
- Ermöglichung eines längeren kontinuierlichen Betriebs der Adsorptionskältemaschine an Tagen hohen Kältebedarfs. An diesen Tagen übersteigt der Wärmebedarf der AdKM die Wärmebereitstellung durch Brennstoffzelle und Solaranlage. Ohne Speicher würde es zu einem Kurzzeittaktbetrieb mit geringem Kälteverhältnis kommen.
- Funktion als hydraulische Weiche. Vermeidung unkontrollierbarer Strömungsvorgänge.

Im Winter wird der Speicher nur im geringeren Maße genutzt. Da der Heizwärmebedarf fast ständig wesentlich höher als die Leistung der Wärmeerzeuger ist, wird jede eingespeiste Wärme sofort entnommen. Daher befindet sich der Speicher fast ständig auf einem einheitlichen Temperaturniveau. Dieses entspricht annähernd dem Rücklaufniveau des Netzes.

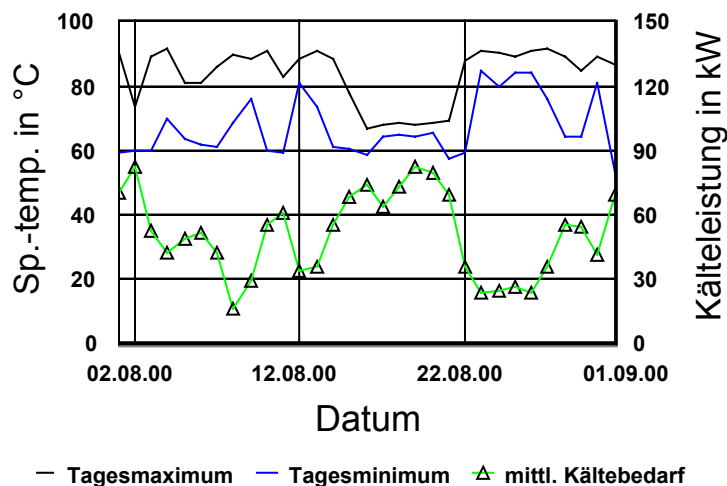


Abbildung 43: Wärmespeicher im August 2000

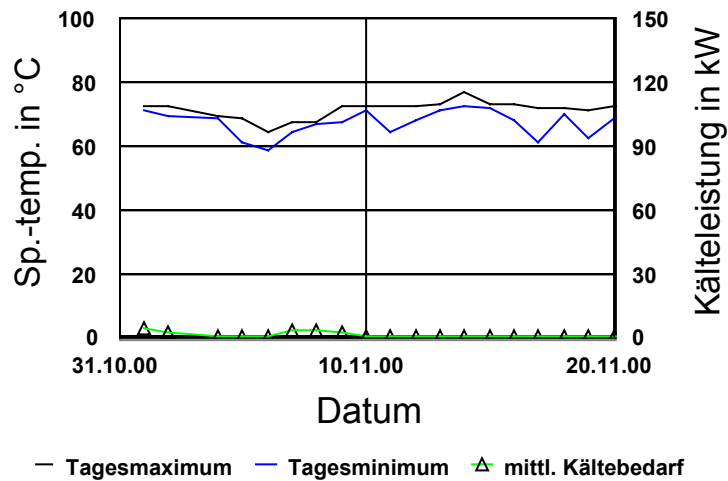


Abbildung 44: Wärmespeicher im November 2000

Die obenstehenden Diagramme zeigen das Tagesmaximum und das Tagesminimum des Mittelwerts der drei Temperatursensoren im Speicher sowie den Tagesmittelwert des Kältebedarfs. Die Werte des Monats August lassen erkennen, daß die Temperaturschwankung nur bei mittlerem Kältebedarf hoch ist. Bei hohem Kältebedarf befindet sich der Speicher durchgängig auf niedrigem Temperaturniveau, und bei niedrigem Bedarf auf hohem Temperaturniveau. Im November ist die Schwankungsbreite und das Temperaturniveau gering.

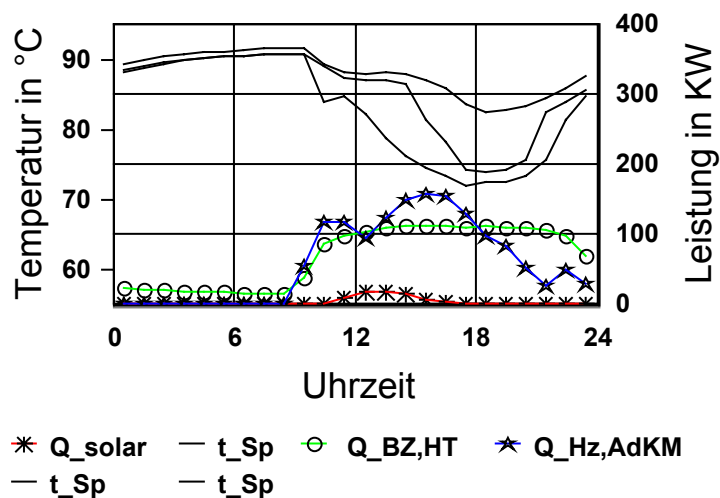


Abbildung 45: Wärmespeicher am 27. August 2000

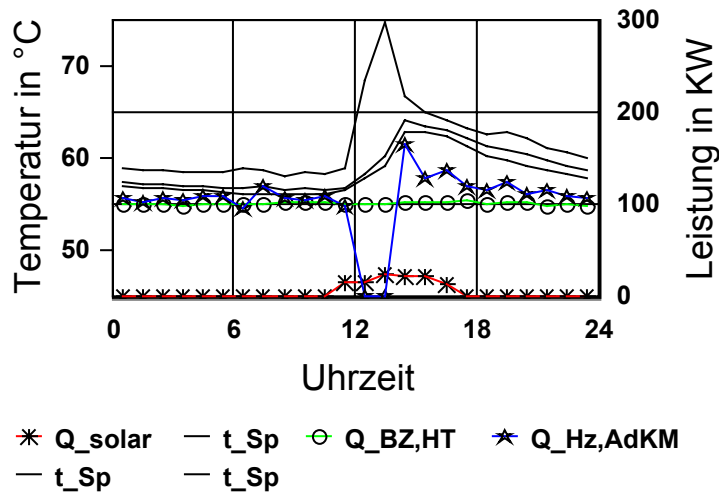


Abbildung 46: Wärmespeicher am 11. September 2000

Die obenstehenden Diagramme zeigen typische Sommertage. Brennstoffzelle und Solaranlage versorgten ausschließlich die Adsorptionskältemaschine.

Der 27. August ist ein Tag mit mittelgroßem Kältebedarf. Der Speicher ist vom Vortag her bereits gut beladen. In den Morgenstunden wird die Beladung im geringen Maß durch die Brennstoffzelle fortgesetzt. Gegen 09.00 Uhr beginnt der Kältebedarf. Die AdKM benötigt mehr Wärme als die Brennstoffzelle liefern kann. Der Speicher kühlt sich ab. Zwischen 10.00 und 16.00 Uhr ist auch die Solaranlage in Betrieb. Dennoch reicht die Wärmebereitstellung nicht aus und der Speicher kühlt weiter ab. Stets bleibt aber das Temperaturniveau für den Betrieb der AdKM ausreichend. Ohne Speicher wären Betriebsunterbrechungen unvermeidbar.

Gegen 18.00 Uhr geht der Kältebedarf der AdKM zurück. Die Wärmebereitstellung ist größer als der Verbrauch. Der Speicher erwärmt sich wieder. Neben dem allgemeinen Temperaturgang verdient auch die Schichtung des Speichers, also die Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Speicherschichten Beachtung. Der Unterschied beträgt bis zu 10 Kelvin. Dies ist Ergebnis des Einsatzes der Schichtbeladerohre.

Der 11. September ist ein Tag mit hohem Kältebedarf. Die AdKM benötigt ganztägig mehr Wärme, als Brennstoffzelle und Solaranlage liefern können. Der Speicher ist bereits bei Tagesbeginn weit entladen. Bis Mittag setzt sich der Entladeprozeß fort. Um 12.00 Uhr ist die Speichertemperatur soweit abgesunken, daß die AdKM außer Betrieb genommen werden muß. Nun übernimmt der Eisspeicher die Kälteversorgung. Im Lauf von zwei Stunden steigt die Speichertemperatur aufgrund Wärmezufuhr durch Brennstoffzelle und Solaranlage soweit an, daß die AdKM wieder anlaufen kann. Im weiteren Tagesverlauf fällt die Speichertemperatur wieder ab, bleibt aber stets über dem Mindestniveau der AdKM.

Der Speicher ermöglicht an diesem Tag einen kontinuierlichen Betrieb der AdKM mit nur einer Betriebsunterbrechung. Ohne Speicher hätte es viele kurze Betriebsunterbrechungen gegeben. Dies hätte zu einer verringerten Effizienz der AdKM geführt.

Die Speicherverluste konnten anhand eines Zeitraums geringer Nutzung (7./8.11.00) zu 45 W/K bestimmt werden.

Eisspeicher

Der Eisspeicher war konzipiert worden, um die Leistungsspitze des Kältebedarfs abzudecken sowie den Betrieb der Kompressionskältemaschine in den Tagesstunden zu vermeiden. Die Aufgabe der Deckung der Bedarfsspitze erwies sich bis jetzt als wenig bedeutsam, da statt der prognostizierten Maximallast von 214 kW bis jetzt nur maximal 132 kW abgenommen wurden.

Dies war Anlaß, das Betriebsregime dahingehend zu ändern, daß der Eisspeicher vorrangig der Erhöhung der Versorgungssicherheit dient. Der Eisspeicher hat den großen Vorteil auch bei einer Havarie des Rückkühlwerks noch Kälte zu liefern, in einem Fall also, bei dem trotz Verteilung der Kälteerzeugung auf zwei Kältemaschinen keine direkte Kältebereitstellung mehr möglich ist.

Die nachfolgenden Diagramme verdeutlichen das Verhalten des Eisspeichers an zwei Tagen, an denen er ausnahmsweise intensiv genutzt wurde. Ursache dieser Nutzung war die Nichtverfügbarkeit der AdKM aufgrund Wartungsarbeiten.

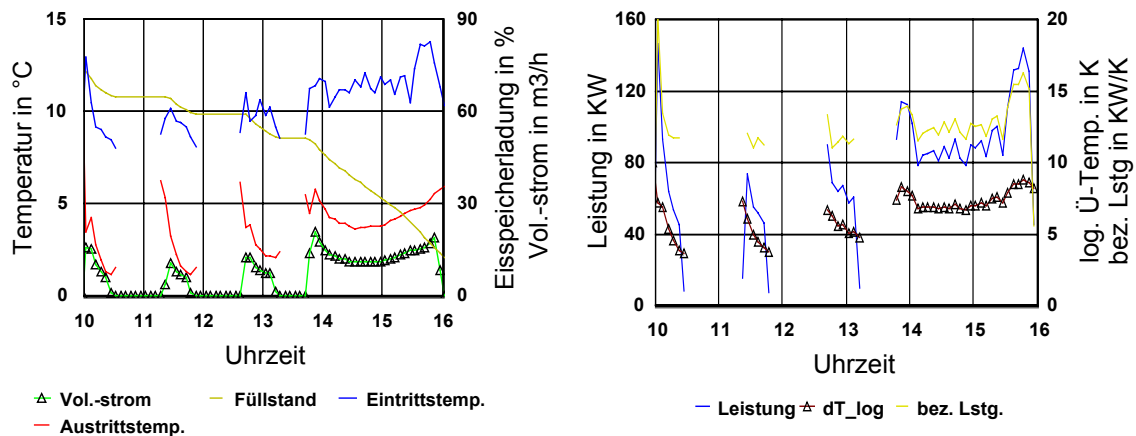


Abbildung 47: Eisspeicherentladung am 16. September 2000

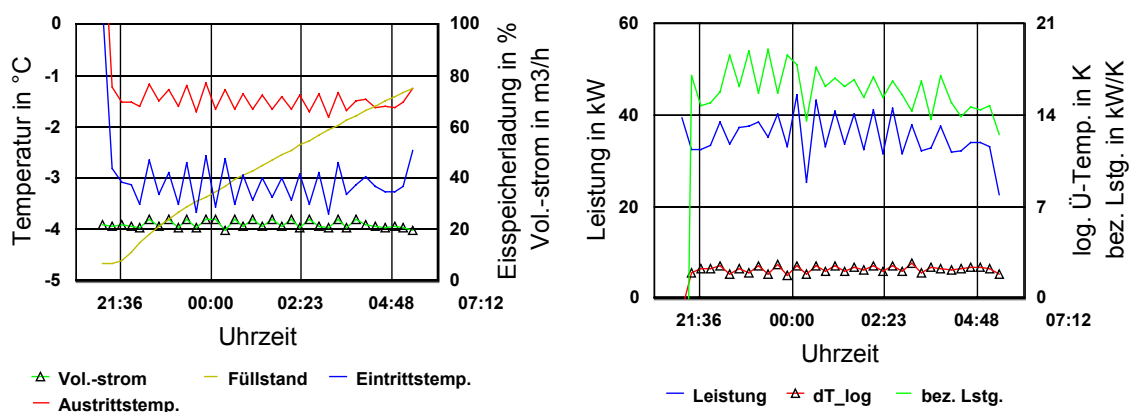


Abbildung 48: Eisspeicherbeladung am 16./17. September 2000

Das Verhalten des Eisspeichers läßt sich durch eine bezogene Leistung ausdrücken. Bezugsgröße ist die mittlere logarithmische Übertemperatur. Dem Speicher wird hierbei eine Temperatur von 0 °C unterstellt. Die bezogene Leistung beträgt für den Entladefall 12 kW/K und für den Beladefall 17 kW/K.

Die Verluste des Speichers wurden anhand einer dreitägigen Abklingphase ohne Be- und Entladung (20. - 23.10.00) zu 840 W bestimmt.

Kaltwasserspeicher

Der der Adsorptionskältemaschine nachgeschaltete Kaltwasserspeicher dient dem Ausgleich der zyklusbedingten Temperaturschwankungen der AdKM. Wie im nebenstehenden Bild erkennbar ist, erfüllt der Speicher diese Aufgabe ordnungsgemäß. Die ursprünglich zwischen 5,8 und 8,8 °C schwankende Temperatur wird auf 6,5 bis 7,4 °C geglättet. Weiterhin ermöglicht der Speicher der Kältemaschine längere Einzelbetriebsphasen und verbessert dadurch das Kälteverhältnis.

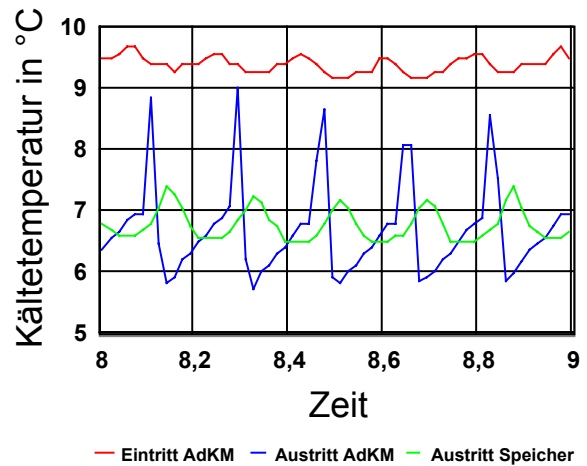


Abbildung 49: AdKM am 10.09.2000

Der Kältespeicher ist in seinem Betrieb ausschließlich positiv zu bewerten. Negative Nebenwirkungen, z. B. meßbare Kälteverluste wurden nicht festgestellt.

4.2.5 Zusammenarbeit der Komponenten

Tabelle 16: Kälteverbrauch

Monat	t _{außen}	Kälte	Betriebsdauer	Kälteleistung bei Betrieb
	°C	MWh	h	kW
Juli 00	15,8	23,4	192	121,7
August 00	19,2	37,4	661	56,6
September 00	15,0	26,0	422	61,7
Oktober 00	13,0	11,0	261	42,2
November 00	8,6	0,7	13	57,2

Der Kältebedarf betrug im Monat des bisher höchsten Verbrauchs, dem August, 37,4 MWh. Im Juli war der Verbrauch geringer, da das Krankenhaus noch nicht bezogen war. Gegen Ende des Sommers sank der Kältebedarf mit der Temperatur ab. In der Zeit vom 10.8. bis zum 20.11.00 bestand an 1200 der 2400 Stunden dieses Zeitraums Kältebedarf. Im Bedarfszeitraum ergab sich eine annähernd dreieckige geordnete Ganglinie. Das höchste Stundenmittel betrug 132 kW. Die häufigste Kälteleistung lag bei 30 kW. Der Kälteverbrauch liegt noch deutlich unter den Erwartungen. In der Zukunft ist mit einer Erhöhung zu rechnen, da die Klimaanlage noch nicht optimal an die Verbrauchssituation angepaßt waren und eine intensivere Raumklimatisierung gewünscht wird.

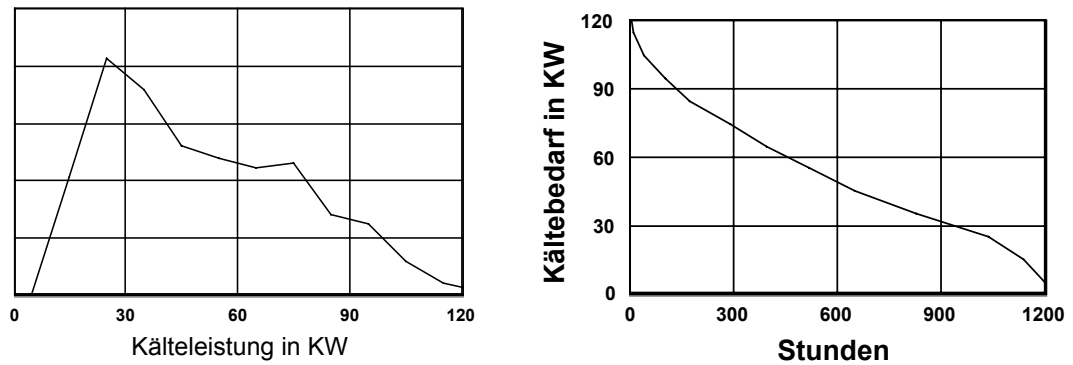


Abbildung 50: Histogramm und geordnete Ganglinie der Kälteleistung zwischen dem 10. August und 20. November 2000

Der Kälteverbrauch besitzt erwartungsgemäß eine Abhängigkeit von der Außentemperatur. Diese ist allerdings großen Nutzereinflüssen unterworfen, so daß eine starke Streuung festzustellen ist. Unterhalb von 11 °C liegt kein Kältebedarf vor.

An Spitzentagen liegt ein Tagesgang des Kältebedarfs wie im Bild dargestellt vor. Nachts gibt es ein Grundniveau. Mit Aufnahme des Betriebs der Funktionsbereiche des Krankenhauses steigt der Bedarf gegen 7.00 Uhr stark an. Danach ist eine Abhängigkeit von der Außentemperatur festzustellen. Der Kältebedarf erreicht gegen 16.00 Uhr seinen Maximalwert.

Der Bedarfsgang entspricht nicht ganz den Erwartungen. Zunächst war davon ausgegangen worden, daß in den frühen Morgenstunden kein Kältebedarf vorliegt. Die Veränderung resultiert im wesentlichen aus dem neu hinzugekommenen Umluftbetrieb der Klimaanlage. Dieser führt dazu, daß auch dann Kälte benötigt wird, wenn die Außentemperatur deutlich unterhalb der Raumtemperatur liegt und die Zufuhr reiner ungekühlter Außenluft für die Raumkühlung ausreichen würde.

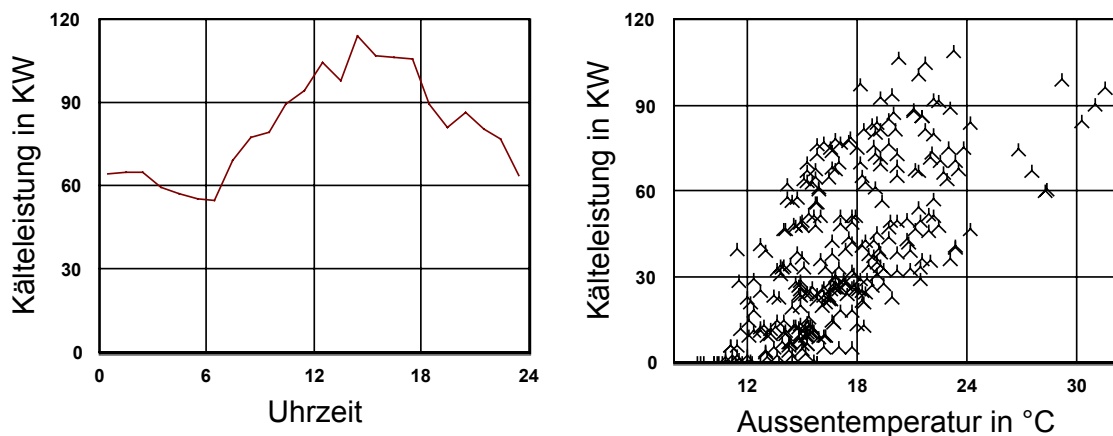


Abbildung 51: Tagesgang 6 Spitzentage

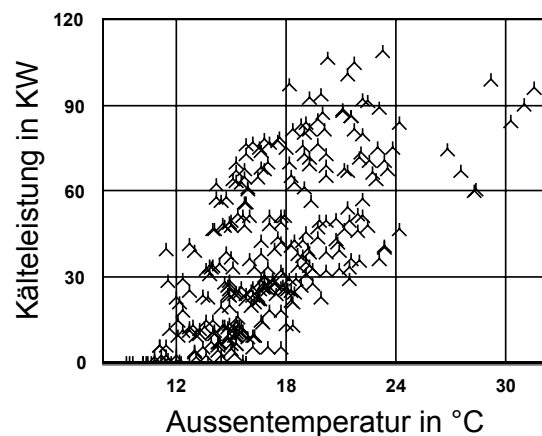


Abbildung 52: Einfluß der Außentemperatur auf die Kälteleistung (4-h-Mittel)

Es gibt keine Abhängigkeit der Kälteleistung vom Wochentag.

4.3 Erfolg des Projekts

Das Konsortium betrachtet das Projekt als Erfolg. Eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage mit Brennstoffzelle, Adsorptionskältemaschine, Solarkollektoren und Photovoltaik konnten erstmals in Europa in Betrieb genommen werden.

Die wesentlichen Erwartungen wurden erfüllt:

- Die Brennstoffzelle arbeitet mit der Kältetechnik zusammen (Nutzung der Abwärme zur Erzeugung von Kälte). Nach Problemen in der Inbetriebnahmephase arbeitet die Brennstoffzelle seit dem 30. Mai 2000 zufriedenstellend. Die Stromerzeugung ist exzellent, die Brennstoffzelle arbeitet fast ausschließlich mit Nennlast und befriedigt den Großteil des Krankenhausstrombedarfes. Der Hochtemperaturkreislauf ist seit dem 13. Juli 2000 optimiert, die Wärmeauskopplung ist zeitweise besser als erwartet.
- Die Solarkollektoren konnten erfolgreich in die Wärmeerzeugung eingebunden werden, die Photovoltaik arbeitet ebenfalls zufriedenstellend.
- Kompressionskältemaschine und Eisspeicher arbeiten erfolgreich zusammen, die Anlagen erfüllen die Kälteerforderungen des Krankenhauses.
- Die Kühldecken arbeiten im Sommer hervorragend (laut Wohlempfinden der Nutzer).
- Das Regelsystem wurde in Betrieb genommen, archiviert die Daten von den einzelnen Komponenten und gestattet die Eingabe von Wetterdaten.
- Signifikante Einsparungen im Brennstoffbedarf und verringerte Umweltbelastung konnten durch die Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung erreicht werden.

Dennoch ist das Zusammenwirken der innovativen Komponenten (unter Verantwortung des Konsortiums) und der konventionellen Komponenten (unter Verantwortung des Krankenhausbetreibers) noch nicht vollständig optimiert. NT-Wärme wird momentan nicht genügend genutzt, die Optimierung soll in den nächsten Monaten abgeschlossen werden.

Der Kältebedarf des Krankenhauses muß ebenfalls noch optimiert werden. Momentan fordern die Kälteverbraucher eine Kälteerzeugung unter ungünstigen Bedingungen (hohe Volumenströme bei geringen Temperaturspreizungen).

Das Konsortium hat viel über das Betriebsverhalten von Brennstoffzellen, Kälteerzeugern und Solarkollektoren gelernt und wird seinen Wissenstand in den nächsten Betriebsmonaten und -jahren noch vertiefen.

4.4 Betriebskosten

Infolge der kurzen Zeit, die für das Monitoring zwischen Krankenhauseinweihung und dem Projektende zur Verfügung stand, gibt es bisher gibt es keine vollständigen Betriebskosten für die Ausrüstung. Bisher liegen dem Krankenhausbetreiber keine vollständigen Energiekostenabrechnungen vor, des weiteren ist der Energieverbrauch des Krankenhauses bisher nicht optimiert.

Das Konsortium wird die technische Ausrüstung auch nach Projektende weiter betreuen und daraus sobald als möglich Betriebskosten berechnen.

4.5 Zukünftiger Einsatz der Anlage

Nach Abschluß des Projektes wird die gesamte Ausrüstung im Auftrag und unter Aufsicht der Malteser Betriebsträgersgesellschaft Sachsen betrieben. Die innovativen Komponenten

müssen mit der anderen Ausrüstung des Krankenhauses in den nächsten Jahren reibungslos zusammenarbeiten.

Die Gesamtanlage wird durch das Konsortium für einen längeren Zeitraum überwacht, um Komponenten zu bestimmen, die verbessert oder ausgetauscht werden sollten. Ziel ist die Optimierung des Energieverbrauchs für das gesamte Krankenhaus, insbesondere die Senkung von Strombezugs- und Kältebedarfsspitzen. Diesbezüglich gibt es ein Kooperationsabkommen zwischen dem Konsortium und der Malteser Betriebsträgersgesellschaft.

Die Lebensdauererwartung des Zellstapels liegt bei 40.000 Betriebsstunden (ca. 5 Jahre), danach ist der elektrische Wirkungsgrad soweit abgesunken, daß der Betrieb unwirtschaftlich wird. Nach dem Wechsel des Zellstapels sollte die Brennstoffzelle wenigstens noch 5 weitere Jahre arbeiten. Die erwartete Lebensdauer der Adsorptionskältemaschine beträgt 40 Betriebsjahre, die Solarkollektoren sollten 20 Jahre arbeiten.

4.6 Wirtschaftliche Eckdaten

Die Rechnungen zur Wirtschaftlichkeit der Brennstoffzelle wurden mit den Kosten am Tage des Kaufs der Anlage durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt betrug der EURO-USD-Kurs 1,0866. Die Investitionskosten der Brennstoffzelle wurden aufgrund der Förderung durch die EU und den Freistaat Sachsen mit 40 % des Kaufpreises angesetzt.

Weitere Annahmen waren:

- 100 % Nutzung des erzeugten Stroms zwischen 6 und 22 Uhr, zwischen 22 und 6 Uhr 10 kW Rückspeisung ins Netz
- 100 % ganzjährige Nutzung der erzeugten Wärme

Tabelle 17: Ausgangswerte der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Kapitalaufwand (40 % vom Gesamt aufgrund Förderung durch EU u.a.)	338680 EUR
Kosten für Zellstapelersatz	230081 EUR
angenommener Zinssatz	8,0 %
Lebensdauer Zellstapel	40000 h
Lebensdauer Brennstoffzelle	80000 h
jährliche Verfügbarkeit	8000 h
(d.h.)	91,3 %
Betriebszeit bis zum Zellstapelersatz	5 a
Betriebszeit bis zur Außerbetriebnahme	10 a
Wartungskosten	30678 EUR
Gasbezugskosten	0,018 EUR/kWh
Strombezugskosten	0,102 EUR/kWh
Stromeinspeisevergütung	0,077 EUR/kWh
Wärmevergütung	0,028 EUR/kWh
Wärmeleistung	220 kW
Elektrische Leistung	200 kW
Elektrischer Wirkungsgrad	40,0 %
unterer Heizwert Erdgas	35928 kJ/m ³

Mit diesen Annahmen wurde die Wirtschaftlichkeit für die 10 Jahre Lebensdauer der Brennstoffzelle wie folgt berechnet:

Tabelle 18: Wirtschaftlichkeit der Brennstoffzelle (alle Beträge in EUR)

Jahr	Verbindlichkeiten	Wartungskosten	Gasbezug	Wärmevergütung	Stromeinspeisevergütung	vermiedener Strombezug	Summe
1	-86.787	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	23.379
2	-86.787	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	23.379
3	-86.787	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	23.379
4	-86.787	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	23.379
5	-86.787	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	23.379
6	-50.473	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	59.693
7	-50.473	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	59.693
8	-50.473	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	59.693
9	-50.473	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	59.693
10	-50.473	-30.678	-71.581	49.493	2.045	160.887	59.693
Summe							415.362

In den Monaten nach dem Kauf der Brennstoffzelle stiegen die Preise für den Strombezug an, die Vergütungen für die Stromeinspeisung sanken beträchtlich. Weiterhin sank der EURO-USD-Kurs, das bedeutet höhere Kosten für den Zellstapelersatz.

Bei einem EURO-USD-Kurs von 0,85 und 3,1 EURO-Cent/kWh Stromeinspeisevergütung wird die Rentabilitätsschwelle nur erreicht, wenn der Preis für den Strombezug höher liegt als 8 EURO-Cent/kWh.

4.7 Umwelteinflüsse

Brennstoffzelle

NO_x-Emission

Die gemessene NO_x-Emission im Abgas liegt bei 5 ppm. Umgerechnet auf 0 % Sauerstoff liegt die NO_x-Emission bei Vollast bei 6 ppm, bei halber Last bei 7,2 ppm und bei Leerlauf bei 9,3 ppm. Verglichen mit anderen Formen der Kraft-Wärme-Kopplung sind die gemessenen Werte äußerst niedrig (s. Tabelle 19).

CO-Emission

Die CO-Emission wurde an einer anderen Brennstoffzelle gemessen, die Ergebnisse sind aufgrund der gleichen Bauform, Last- und Versorgungsbedingungen vergleichbar.

Der durchschnittliche CO-Gehalt im Abgas betrug 1,5 ppm (= 2 mg/m³ Abgas). Dieser Wert ist typisch für alle Lastzustände.

Nur während plötzlicher Laständerungen trat für wenige Sekunden ein Spitzenwert von 351 ppm auf.

Im Vergleich mit den in Deutschland gültigen gesetzlichen Grenzwerten weist die Brennstoffzelle sehr geringe Emissionswerte auf. Verglichen mit konventionellen gasmotor-

betriebsenen KWK-Anlagen liegen die Emissionswerte der Brennstoffzelle um eine Zehnerpotenz niedriger.

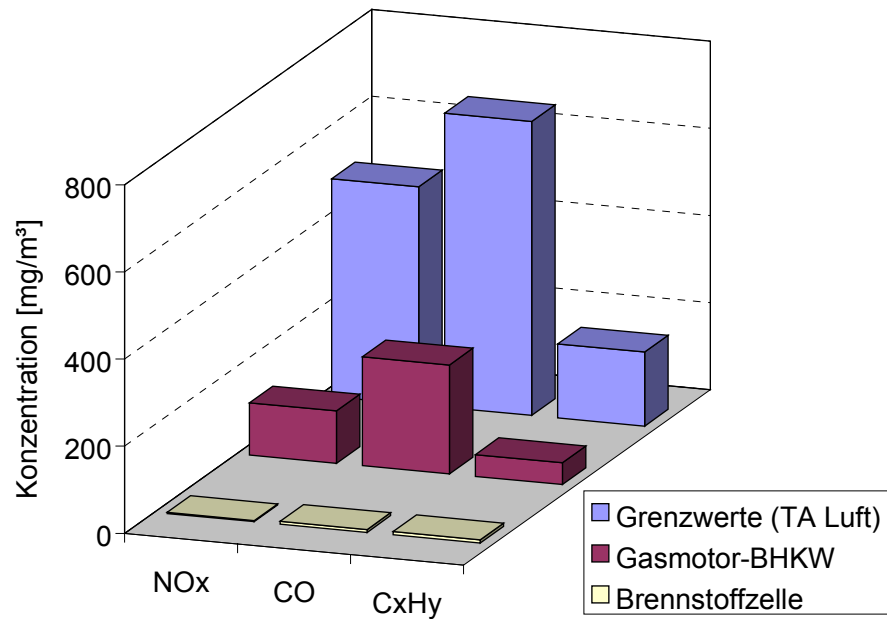


Abbildung 53: Emissionswerte im Vergleich

Tabelle 19: Emissionswerte

	C _x H _y [mg/m³]	CO [mg/m³]	NO _x [mg/m³]
Limits (TA Luft)	170	675	500
Gas Engine	50	250	120
Fuel Cell	7,6	6,7	2,7

CO₂-Emission

Seit dem 19.09.2000 stehen alle Meßdaten für eine indirekte CO₂-Bilanzierung zur Verfügung. Im Zeitraum vom 19.09. bis 21.11.2000 können folgende mittlere Betriebsdaten zur CO₂-Bilanzierung herangezogen werden:

Elektrische Leistung BZ	181,3 kW	(max. 200 kW)
Wärmeauskopplung (Hochtemperatur)	68,0 kW	(max. 110 kW)
Wärmeauskopplung (Niedertemperatur)	2,6 kW	(max. 110 kW)
Erdgasvolumenstrom	46,3 m³	(max. 50 m³/h)

Bei 0,19 kg CO₂/kWh Erdgas ergeben sich folgende Emissionskennwerte für die Brennstoffzelle:

	Ist	Optimum	
nur Elektroenergieerzeugung	0,4854	0,4854	kg CO ₂ /kWh _{el}
KWK-Bilanz	0,2312	0,3494	kg CO ₂ /kWh _{el+th}

Damit liegen die CO₂-Emissionen für die reine Elektroenergieerzeugung 14 % unter den durchschnittlichen Emissionen des deutschen Kraftwerksparks (0,57 kg CO₂/kWh_{el}).

In der KWK-Bilanz wird zum Vergleich die getrennte Produktion von Strom im Kraftwerkspark und Wärme im Brennwertkessel (0,57 kg CO₂/kWh_{el} und 0,21 kg CO₂/kWh_{th}) als Basisvariante genutzt.

Durch die relativ geringe Niedertemperatur-Wärmeauskopplung wird derzeit erst eine CO₂-Emissionsreduierung von 25 % erreicht. Nach Realisierung der vorgeschlagenen Umbauten im konventionellen Teil kann eine Reduzierung von bis zu 39 % erreicht werden.

Kälteerzeugung

CO₂-Emissionen

Bei der Beurteilung der Kälteerzeugung ist der Vergleich der CO₂-Emissionen von Adsorptions- und Kompressionskältemaschine wichtig. Dazu wurden die Mittelwerte vom 28.09.2000 (nur AdKM-Betrieb) mit denen vom 15.10.2000 (nur KKM-Betrieb) verglichen.

Für die AdKM wird Solarenergie und Abwärme aus der Brennstoffzelle genutzt. In der CO₂-Bilanz wird nur die im Krankenhaus sonst nutzbare Wärme aus der Brennstoffzelle berücksichtigt (ca. 20% der HT-Wärme). Bei Berechnung der Anteile der CO₂-Emissionen erfolgt die Aufteilung über den Carnot-Wirkungsgrad η_c . Für die elektrische Arbeit ist $\eta_c=1$.

Der Carnot-Wirkungsgrad für die thermische Energie ergibt sich nach

$$\eta_c = 1 - \frac{\text{Umgebungstemperatur}}{\text{mittlere Temperatur Medium}} = 1 - \frac{T_u}{T_m}$$

Für die Vergleichstage ergibt sich folgende Energiebilanz:

	AdKM	KKM	
Kälteleistung	40	45	kW
Verdichter elektrisch	-	13	kW
Verdichter thermisch	70	-	kW
Hilfsenergie (elektrisch)	8	4	kW
CO₂-Emissionen			
Strom aus Brennstoffzelle	0,12	0,17	kg CO ₂ /kWh _{Kälte}
Strom aus Kraftwerks-Mix	0,14	0,22	kg CO ₂ /kWh _{Kälte}

Bezüglich der CO₂-Emissionen ist also bei Nutzung der KWK-Abwärme die sorptive Kälteerzeugung zu bevorzugen.

5 ÖFFENTLICHKEITSARBEIT, KOMMERZIALISIERUNG UND ANDERE ENTWICKLUNGEN

5.1 Werbung und andere Veröffentlichungen

Neben den markt- und kommerzialisierungsbezogenen Aktivitäten (s. 5.4) wurden weitere Verbreitungsmöglichkeiten genutzt:

- Konferenzen, Workshops
- Broschüren und Faltblätter zur Verbreitung und Werbung
- Publikationen (s. u.)
- Poster-Präsentationen (alle 7 großformatigen Poster für verschiedene technische Details des Projekts wurden professionell entworfen, hergestellt und präsentiert)
- Einbeziehung von „Multiplikatoren“ für Öffentlichkeitsarbeit und Verbreitung (Verbände, Ministerien, Presse, SESAME, Sächsisches Value Relay Centre, nationale Koordinatoren)

Der Höhepunkt hinsichtlich der Öffentlichkeitsarbeit war die Teilnahme und Projektpräsentation auf der Weltgaskonferenz 2000 in Nizza/Frankreich. Dort gab es ein intensives und breites Interesse am Projekt und seinen innovativen Aspekten, insbesondere an der „Krankenhausanwendung“.

Aber nicht nur auf der Weltgaskonferenz gab es breites Interesse. Die Quintessenz aller das Projekt betreffenden Kontakte in der Zeit von 09/97 bis 09/00 lautet:

Es gab viele Unternehmer, Organisationen und Gesellschaften, die sehr interessiert am Projekt, seinen Resultaten und ihrer Nutzung waren. Sie alle sind innovationsfreudig und haben wahrgenommen, daß die Projektziele wesentlich mit den im 5. Rahmenprogramm festgeschriebenen Zielen und strategischen Prioritäten der europäischen Energiepolitik übereinstimmen: Brennstoffzellentechnologie, erneuerbare Energien und ihre Integration in bestehende Systeme, „nachhaltige Gebäude“, Diversifizierung der Energieerzeugung, saubere Energiesysteme, Photovoltaik, Energiespeicherung u.a.

Ausgehend von diesen Schlußfolgerungen kann angenommen werden, daß es einen großen Markt für die Projektergebnisse gibt. Erste Vermarktungsaktivitäten der Partner sind in Abschnitt 5.4 beschrieben. Dies sind die wichtigsten Aktivitäten für die kommerzielle Nutzung der Projektergebnisse durch die Partner. Die wichtigste Aktivität für die Gemeinschaft ist die schnelle und extensive Verbreitung der Resultate zur Verwirklichung des europäischen Mehrwerts. Die Einrichtung eines thematischen Netzwerkes oder die Verwirklichung einer konzertierten Aktion durch die Partner und andere unter dem 5. Rahmenprogramm sind geplant. Ein Vorschlag könnte im ersten Halbjahr 2001 an die Kommission übermittelt werden.

Das Projekt betreffende Publikationen (fertig):

- „DBI stattet Malteser Krankenhaus mit modernsten Energietechnologien aus“
GASTEC inside; Dezember 1997
- Präsentation „Einsatz von PAFC, Anwendungsbeispiele und Erfahrungen“; Konferenz „Brennstoffzellen im dezentralisierten Energiemarkt“ (verbunden mit TERRATEC 99-Messe), 4.3.99, Leipzig
- Präsentation des Projekts beim Sponsorentreffen, 2.6.99, Kamenz

- Posterpräsentationen:
 - Konferenz „Energie und Umwelt“; 18./19.3.98; Freiberg
 - Konferenz „3. Dresdener Fernwärme-Kolloquium“; 24.9.98; Dresden
 - „Gasfachliche Aussprachetagung“; 3./4.11.98; München
 - Messe „TerraTec“; 2. - 5.3.99; Leipzig
- „Einsatz einer Brennstoffzelle (PAFC) zur Versorgung eines Krankenhauses in Kamenz“; Vortrag auf der Konferenz „Brennstoffzellen – Grundlagen, gegenwärtiger Stand und Tendenzen“; 19.3.98; Dresden
- „Das Projekt Rationelle Versorgung mit Strom, Wärme und Kälte im Krankenhaus Kamenz“; Vortrag beim 11. Internationalen Sonnenforum; 26. - 30.7.99; Köln
- „Erfahrungen eines sächsischen Unternehmens mit einem EU-Programm: Das THERMIE-Projekt Brennstoffzelle Kamenz“; Vortrag auf der Konferenz „Das V. Forschungsrahmenprogramm der EU“; 6.11.98; Leipzig
- „Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit Brennstoffzelle zur Versorgung des Malteser-Krankenhauses in Kamenz“; Vortrag auf der Konferenz „XXXI. Kraftwerks-technisches Kolloquium“; 29./30.9.99; Dresden
- Poster und Diashow des Projekts „Intergas Marketing Kongreß 7“; 24. - 26.10.99, Leipzig
- Poster „Die Brennstoffzelle als Kernstück einer innovativen Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung“, Kongreß „GAT 99“, 9. - 10.11.99, Erfurt
- „Kombination einer PAFC mit Solar- und Kältetechnik – erste Installationserfahrungen im Krankenhaus Kamenz“; Vortrag, IIR-Konferenz, 26./27.01.2000, Bonn
- „Brennstoffzelle und neue TWD-Kollektoren als Element der innovativen Energieversorgung des Malteser Krankenhauses Kamenz“; Vortrag auf der Konferenz „10. Symposium Thermische Solaranlagen“; 10. - 12.5.00, Kloster Banz
- „Power, heat and chilliness with natural gas – Fuel-cells and air-conditioning“ Vortrag bei WOC 7, Session 4, Study group 7.3 report 21. Weltgaskongreß, 6.- 9. Juni, 2000, Nizza
- „Strom, Wärme- und Kälteversorgung – Brennstoffzelle und Adsorber als Grundlastanlage. Pilotprojekt Krankenhaus Kamenz.“; Vortrag, 8. WAW Fachtagung Wärme aus Kälte, 27.07.2000, Mannheim
- „TWD-Kollektoren und Brennstoffzelle als sinnvolle Einheit im Krankenhaus Kamenz - Meßergebnisse und Bewertung“, Posterpräsentation, 12. Internationales Sonnenforum, 5. - 7.7.00, Freiburg
- „Entwicklung und Anwendung des Programms AdSOL - Simulation solarbeheizter Adsorptionskälteanlagen zur Gebäudeklimatisierung“, Vortrag, 12. Internationales Sonnenforum, 5. - 7.7.00, Freiburg
- „Erste Erfahrungen mit der gekoppelten Bereitstellung von Kraft, Wärme und Kälte im Krankenhaus Kamenz“ Vortrag auf der Konferenz „Wymiana ciepła i odnawialne zrodla energii“, 18. - 20.9.00, Leba (Polen)
- „Erste Erfahrungen mit der gekoppelten Bereitstellung von Kraft, Wärme und Kälte im Krankenhaus Kamenz“ Vortrag auf dem Symposium „Nutzung regenerativer Energiequellen“, Fachhochschule Stralsund, 2. - 4.11.00

Projekt-Homepage,

URL: <http://www.malteser-krankenhaus-kamenz.de>

Das Projekt betreffende Publikationen (geplant):

„Die Brennstoffzelle als Kernstück einer innovativen Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – Erste Betriebserfahrungen aus dem Projekt ‚Malteser-Krankenhaus Kamenz‘“;
Gas Wärme International, November 00

5.2 Patent-Aktivitäten

Nicht zutreffend.

5.3 Ausblick

Die errichtete Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage mit Brennstoffzelle, Adsorptionskältemaschine, Solarkollektoren und Photovoltaik konnte die gute Zusammenarbeit der Komponenten demonstrieren, obwohl es noch Probleme an den Schnittstellen zum Krankenhaus gibt.

Die innovativen Komponenten arbeiten zufriedenstellend zusammen, es gibt jedoch noch technische und ökonomische Besonderheiten, die verbessert werden können, falls die Technologie erneut zum Einsatz kommt.

Brennstoffzelle

- Die eingesetzte Brennstoffzelle wurde aus den USA bezogen, weil es die einzige kommerziell verfügbare Zelle war. Darum mußten viele Anpassungen durchgeführt werden, z.B. Spezialverbinder an allen Schnittstellen (ANSI – ISO), Transformatoren (andere interne Spannungen), Austausch von Sicherheitsventilen, zusätzliche Sicherheitseinrichtungen, besonderes Genehmigungsverfahren (da kein EC-Zeichen).
- Die Verfügbarkeit des Herstellers und die Lieferzeit für Ersatzteile sind nicht zufriedenstellend.
- Die Investitionskosten sind stark abhängig vom EURO-USD-Kurs. Deshalb stieg der Brennstoffzellenpreis in den Monaten nach dem Erwerb kräftig an - entgegen aller Prognosen.
- Von einem europäischen Gesichtspunkt darf an der Reife der US-amerikanischen Brennstoffzellentechnologie gezweifelt werden.

All diese Probleme sollten nicht auftreten, wenn das nächste Brennstoffzellenprojekt mit einer Zelle realisiert wird, die nach europäischen Gesetzen und Normen produziert wurde. Diese Schlußfolgerungen bestätigen die Aussagen der strategischen Prioritäten, wie sie im 5. Europäischen Rahmenprogramm für Forschung und technische Entwicklung (Überarbeitung Oktober 2000) gegeben wurden.

Falls eine europäische Brennstoffzelle verfügbar wird, wird eine Massenproduktion zu wirtschaftlichen Ergebnissen und niedrigen Preisen führen.

Adsorptionskältemaschine

Die Adsorptionstechnik ist kostspieliger als die weit verbreiteten Absorptionskältemaschinen. Jedoch nutzt die Adsorptionstechnik umweltfreundliche Kältemittel, arbeitet unter ungünstigen Versorgungsbedingungen mit besseren Wirkungsgraden und geringem

Geräuschpegel. Das Projekt hat gezeigt, daß der Einsatz einer Adsorptionskältemaschine die optimale Ausnutzung von Wärme auf verschiedenen, solar erzeugten Temperaturniveaus sicherstellt.

Solarkollektoren

Das Projekt war die erste große Anwendung für diesen speziellen Typ von Solarkollektor mit transparenter Wärmedämmung. Es wurde zu einem ausgezeichneten Referenzobjekt für den kleinen deutschen Hersteller der Kollektoren.

Regelungseinrichtungen und Software-System

Ein Wunsch für spätere Projekte ist eine bessere Flexibilität des Regelsystems (Verbesserung der Datenpunkteinbindung, besserer Zugang für den Nutzer zu den Logikebenen der Regelung (bisher nur Zugriff auf Parameterebene)).

Aufgrund des steigenden Kältebedarfs wird der Einsatz von Klimatisierungsanlagen in den nächsten Jahren intensiviert werden. Dies gestattet die Anwendung der in diesem Projekt verwandten Technologie. Bei besserer Einflußnahme auf alle Bereiche von Bauablaufs und -steuerung sieht das Konsortium gute Chancen für eine Wiederholung des Projekts.

5.4 Kommerzialisierung

Der erste Schritt zur Kommerzialisierung der Projektergebnisse war die Erarbeitung eines gemeinsamen Marketingplans der Partner, sobald erste Projektergebnisse erwartet werden konnten (ca. August/September 1999). Die wichtigsten Punkte des Plans waren:

- Einteilung der Projektergebnisse hinsichtlich des potentiellen Marktsegments
- marktbezogene Charakteristika der Projektergebnisse als Basis für die wirtschaftliche Verwertung. Festlegung möglicher Nutzer
- Technische und wissenschaftliche Erfolgsprognosen nach Fertigstellung
- Wirtschaftliche Erfolgsprognosen auf der Basis der technisch/wissenschaftlichen Prognosen
- Zeitplan für voraussichtliche Marketingaktivitäten
- Möglichkeit weiterer Forschung und Entwicklung auf Grundlage der Projektergebnisse.

Eine grundlegende Marketingentscheidung ist, daß nicht nur die vollständige technische Lösung (Brennstoffzelle, Adsorptionskältemaschine, Solartechnik, Photovoltaik, Regelsystem) potentiellen Kunden angeboten werden sollte, sondern auch einzelne innovative Komponenten oder Teilkombinationen. Auf diese Art können auch Kunden mit begrenzten finanziellen Möglichkeiten oder besonderen energetischen Anforderungen (Energiearten, festgelegte Zeiträume für den Energiebedarf) erreicht werden.

Die Kommerzialisierungsaktivitäten wurden, falls möglich, mit der Verbreitungs- und Öffentlichkeitsarbeit (s. 5.1) kombiniert. Erste Ergebnisse sind:

1. *Modellsiedlung für die Demonstration des Brennstoffzelleneinsatzes*
Machbarkeitsstudie
Kunde: VNG Verbundnetz Gas AG, Leipzig
Kosten: 50.000,00 DM
Status: in Bearbeitung
Bemerkungen: Falls die Wirtschaftlichkeit des Projektes sichergestellt werden kann, soll ein Folgeprojekt laufen. Der Gegenstand trifft ideal die Hauptpunkte des Thematischen Programms 4B (Energie): „Nachhaltige Gebäude“
2. *Optimiertes Betriebsmanagement für Brennstoffzellen*
FuE-Projekt
Kunde: Bundesministerium für Wirtschaft, Berlin
Kosten: 354.050,00 DM
Status: in Bearbeitung
Bemerkungen: Gute Synergieeffekte. Die Ergebnisse des Kamenzer Projekts können genutzt werden, die Ergebnisse des Management-Projekts lassen sich für den weiteren Betrieb der innovativen Komponenten im Krankenhaus Kamenz nutzen.
3. *Entwicklung eines 4-kW-Heizgerätes auf Grundlage einer Brennstoffzelle*
FuE-Projekt
Kunde: Sächsisches Ministerium für Wirtschaft und Arbeit, Dresden
Kosten: 1.207.000,00 DM
Status: in Bearbeitung
Bemerkungen: Die Beauftragung der sächsischen Partner für dieses Projekt ist das Ergebnis der guten Referenzen der Unternehmen aus dem Kamenzer Projekt. Die Unternehmen sind beim Ministerium aufgelistet, falls weiterer Bedarf für FuE- und Demonstrationsvorhaben zu innovativen Energietechnologien besteht.
4. *Innovative Energieversorgung eines Kurhauses im Landschaftsschutzgebiet Sächsische Schweiz*
Kommerzielles Projekt
Kunde: Kreisverwaltung
Kosten: ca. 2.500.000,00 DM
Status: geplant
Bemerkungen: Das Konsortium hat ein Angebot abgegeben. Die Entscheidung fällt 12/00.
5. *Innovative Energieversorgung für ein Schwimmbad in Brand-Erbisdorf*
Kommerzielles Projekt
Kunde: Stadtverwaltung Brand-Erbisdorf/Sachsen
Kosten: ca. 1.000.000,00 DM
Status: geplant
6. *Innovative Energieversorgung für die Rekonstruktion des Leipziger Zentralstadions*
Kommerzielles Projekt
Kunde: Stadtverwaltung Leipzig
Kosten: noch nicht verfügbar
Status: geplant
Bemerkungen: Das Stadion wird für die Fußballweltmeisterschaften 2006 rekonstruiert. Die Rekonstruktionsaufgaben betreffen auch die Energieversorgung. Die Auftragschancen für das Konsortium können im Moment nicht bewertet werden.

6 **ERFAHRUNGEN / SCHLUßFOLGERUNGEN**

Wie bereits in Abschnitt 2.1 beschrieben, waren die Hauptziele des Projekts

- die Errichtung einer kombinierten Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage für die Versorgung des neuerbauten Malteser-Krankenhauses in Kamenz/Sachsen,
- die Demonstration einer optimierten Zusammenarbeit aller Komponenten,
- die Vertiefung der Wissensbasis bezüglich solarer Klimatisierung,
- die Erreichung von Energieeinsparungen und Verringerung der Emissionswerte.

Das Konsortium sieht das Projekt als Erfolg an:

- Die Komponenten wurden installiert, in Betrieb genommen und arbeiten erfolgreich zusammen. Die Projektpartner haben in den letzten Monaten viele Betriebserfahrungen gesammelt. Signifikante Emissions- und CO₂-Ausstoß-Minderungen wurden erzielt (s. Abschnitt 4.7).
- Die Zusammenarbeit der innovativen Komponenten konnte optimiert werden. Es gibt noch einige kleinere Probleme im Zusammenwirken mit der konventionellen Ausrüstung des Krankenhauses (s. Abschnitt 3.3). Die Projektpartner werden diese Probleme auf der Grundlage gesammelter Betriebserfahrungen in der nächsten Zeit lösen.
- Neuartige Solarkollektoren wurden in Betrieb genommen. Die Betriebsergebnisse (für sich und im Zusammenwirken mit den anderen innovativen Technologien) sind sowohl für das Konsortium als auch den Kollektorhersteller bedeutend.
- Die Betriebsergebnisse und Meßdaten sind für Interessenten per Internet verfügbar.

Das Konsortium hat viel gelernt über das Betriebsverhalten von Brennstoffzellen, Kälteerzeugern und Solarkollektoren und wird seine Kenntnisse in den nächsten Betriebsmonaten und -jahren vertiefen. Die wichtigsten Lektionen sind die Erfahrungen mit

- schwierigen Genehmigungsverfahren mit Behörden,
- Projektmanagement auf der Baustelle,
- Auslegung von Wärme- und Kältekreisläufen, Optimierung von Bauteilgrößen und -energieverbräuchen,
- Betrieb von Komponenten, die eng verbunden und abhängig sind vom Betriebsverhalten anderer Komponenten

Bei Wiederholung des Projekts würde das Konsortium

- alle Planungen und Bauteildimensionierungen für die gesamte Baustelle in eine Hand legen,
- eine europäische Brennstoffzelle verwenden.

Die Projektergebnisse lassen die Schlußfolgerung zu, daß die Forschung auf dem Gebiet der Brennstoffzellen und ihrer Anwendung in der Kraft-Wärme-Kopplung in Europa in der nächsten Zeit vertieft werden sollte. Weil bisher nur überseeische Produkte erhältlich sind, ist ihre Anwendung und Anpassung an europäische Richtlinien nicht einfach.

Diese Schlußfolgerung trifft ideal die Ziele des 5. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission für FuE, Teil ENERGIE, insbesondere die strategischen Prioritäten betreffend Brennstoffzellen, erneuerbare Energien, dezentralisierte Energieerzeugung und „nachhaltige Gebäude“ (s. Revision des Arbeitsprogramms von 10/2000).

Es ist beabsichtigt, die Projektergebnisse durch ein Folgeprojekt weiter zu vertiefen und zu verbreiten (z.B. ein thematisches Netzwerk, eine konzertierte Aktion oder ein FuE-Projekt unter dem 5. Rahmenprogramm).

7 REFERENZEN

- [1] P. Seifert, DBI Gas- und Umwelttechnik and K. Rühling, Technische Universität Dresden: Power, heat and chilliness with natural gas fuel cells and air-conditioning,
<http://www.malteser-krankenhaus-kamenz.de>
- [2] Stationäre Brennstoffzellen, Grundlagen / Einsatzmöglichkeiten / Stand der Technik / Perspektiven; ASUE, Best.-Nr.050900.
- [3] J. M. King: Six years of operating experience and technical progress with the 200 kW PC25 Fuel Cell Power Plant; 1998 International Gas Research Conference.
- [4] A. van Waveren: Rapportage fosforzure brandstofcellen (ONSI PC25 at Ruhrgas and Thyssengas); Gastec report Wav/TG1471 142.V, October 1995.
- [5] A. Gassel: Die Adsorptionskältemaschine - Betriebserfahrungen und thermodynamische Berechnung, ki - Luft und Kältetechnik 8/98

8 PHOTOGRAPHIEN

Zusätzlich zu den Bildern der einzelnen Kapitel sind nachfolgend Aufnahmen der Kältezentrale beigestellt.



Abbildung 54: Blick in die Kältezentrale
AdKM im Hintergrund,
Eisspeicher rechts, KKM links



Abbildung 55: KKM, Rückansicht



Abbildung 56: AdKM im Hintergrund, Teile der Meßausrüstung rechts



Abbildung 57: Eisspeicher und Kälteverteiler

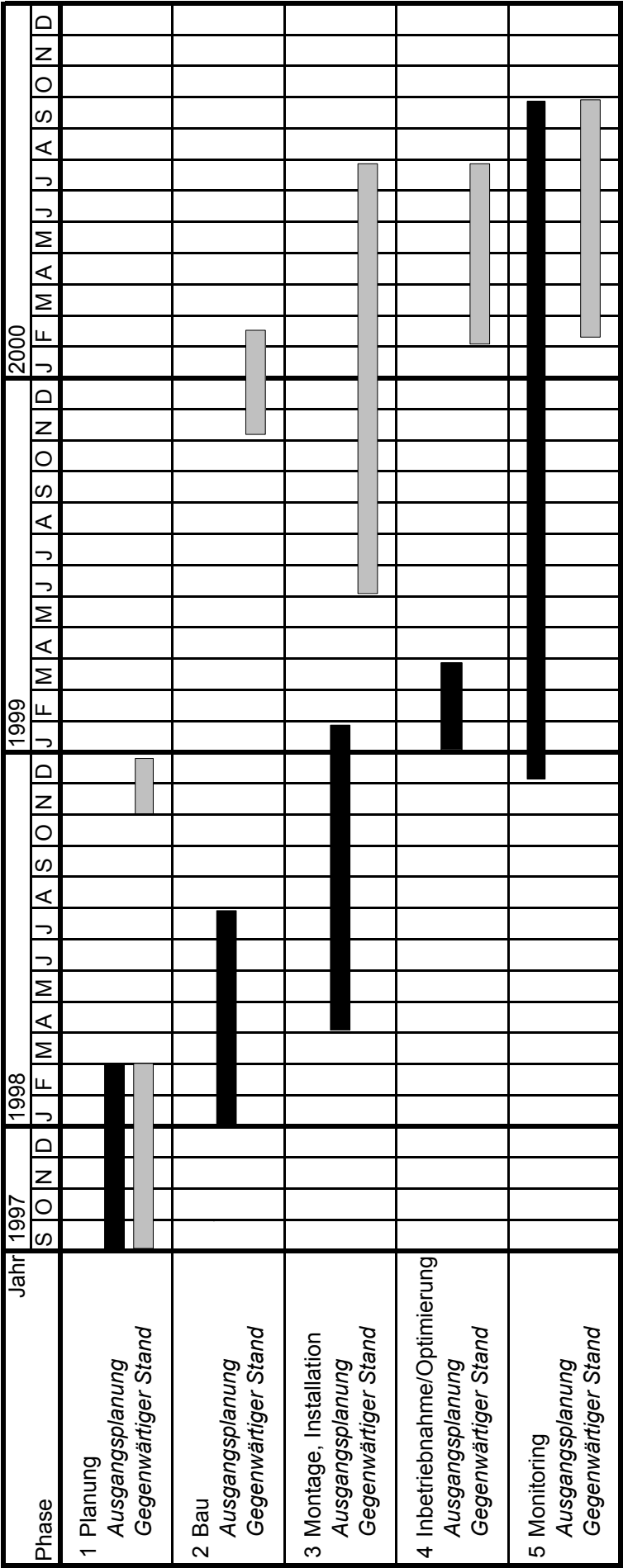


Abbildung 58: Ausrüstung im Kollektorkreis

ANLAGEN

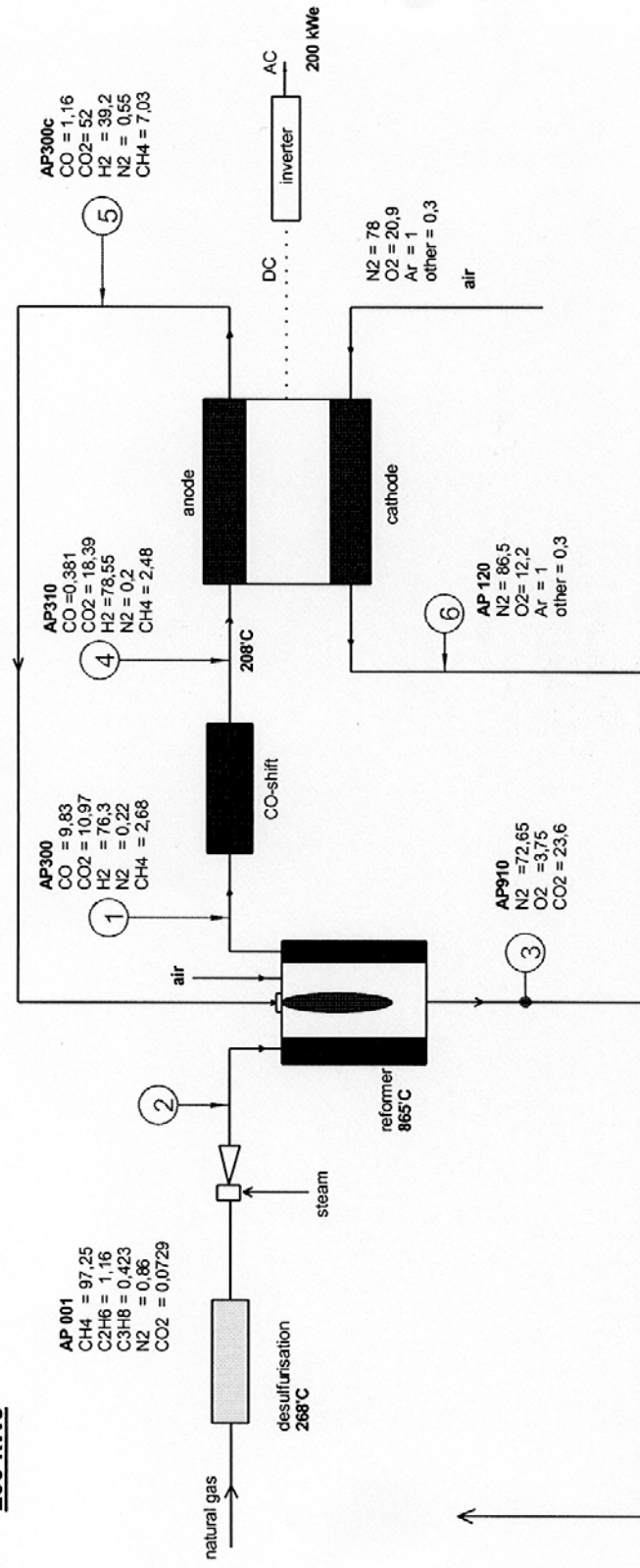
- Anlage 1 Zeitplan
- Anlage 2 Lage der Probennahmepunkte und Analysenergebnisse
- Anlage 3 Änderung der Gaszusammensetzung entlang des Prozeßgasweges
- Anlage 4 Beschreibung der Datenverarbeitung:
 IMSA: Ein Programm für die Internetbasierte MessdatenSichtung und
 -vorAuswertung

Anlage 1: Zeitplan

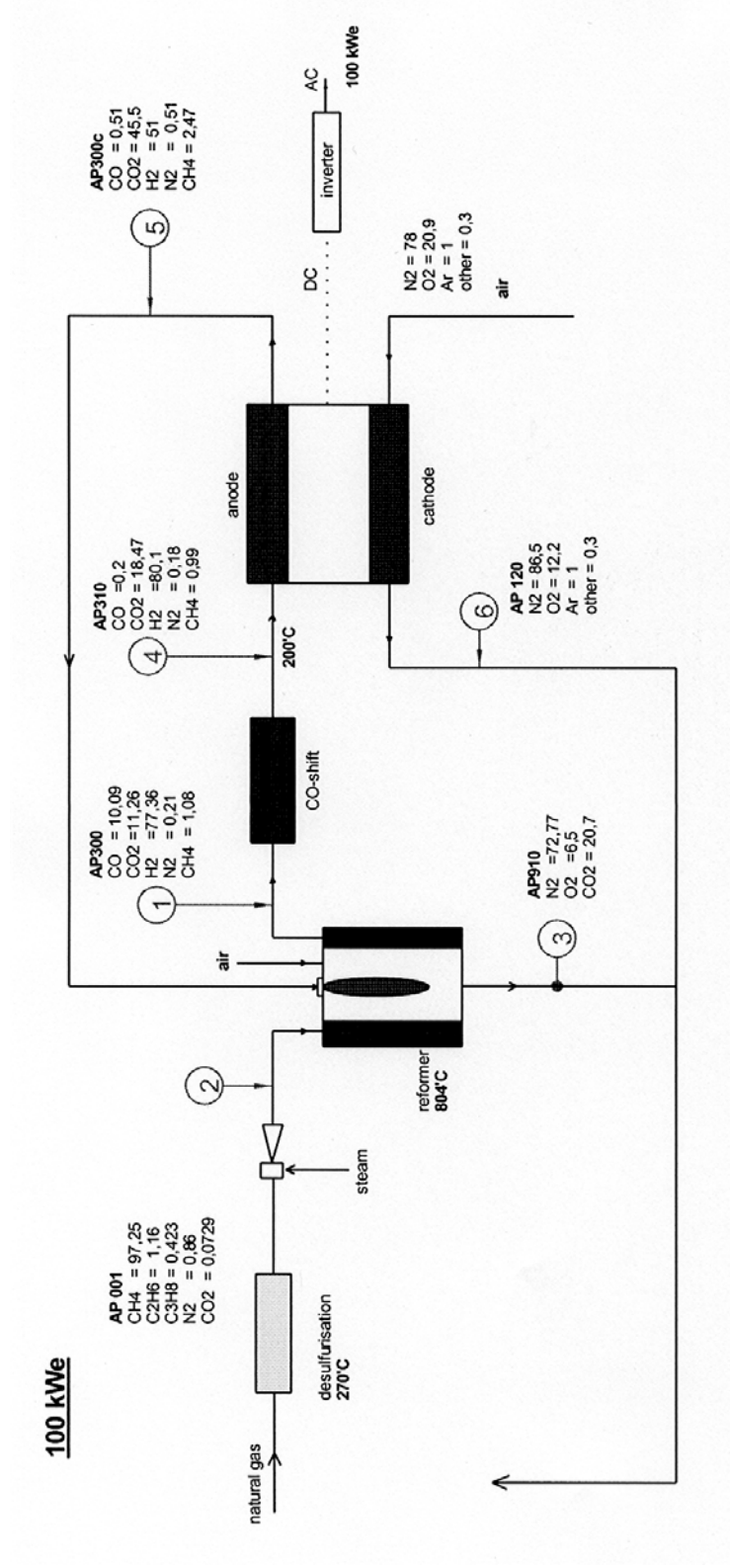


Anlage 2-1: Meßergebnisse Prozeßgaszusammensetzungen

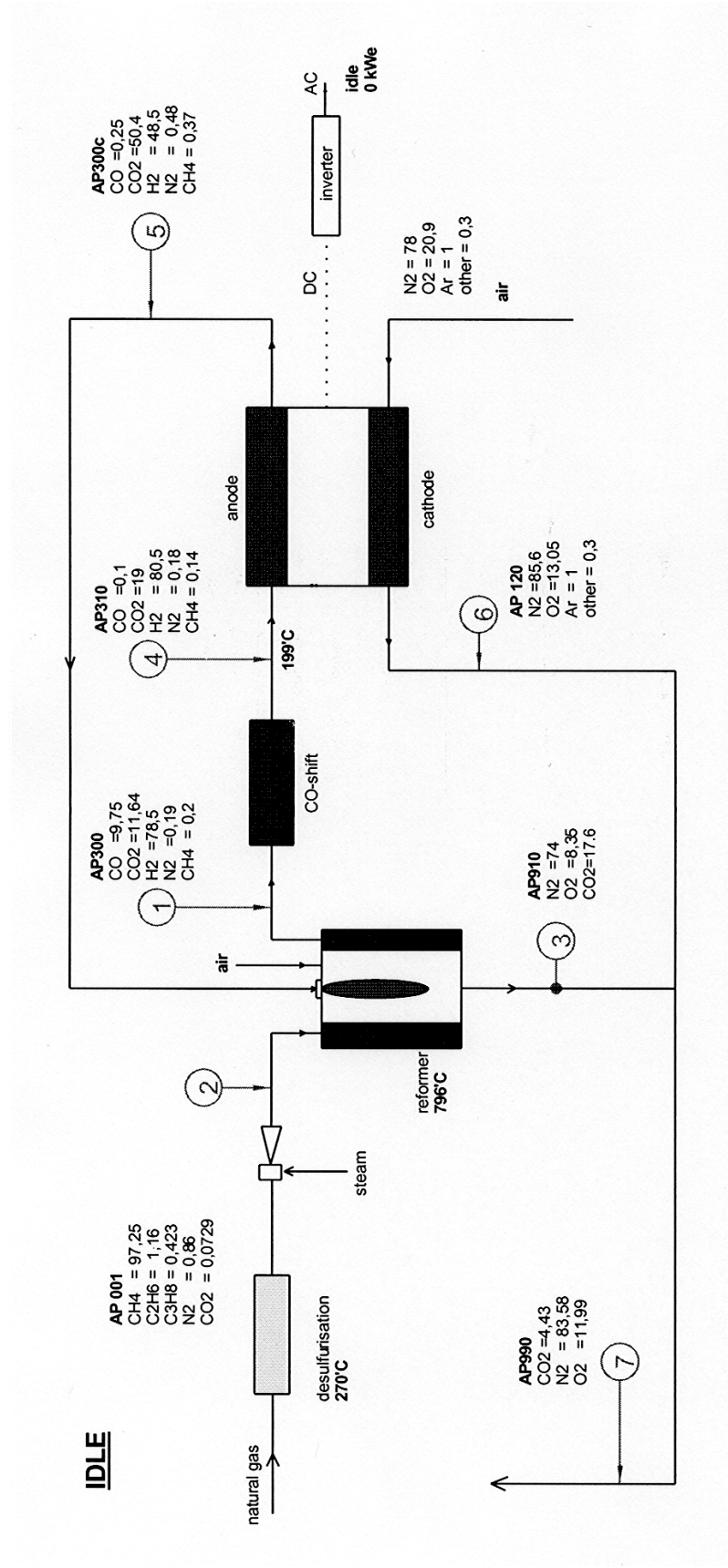
200 kWe



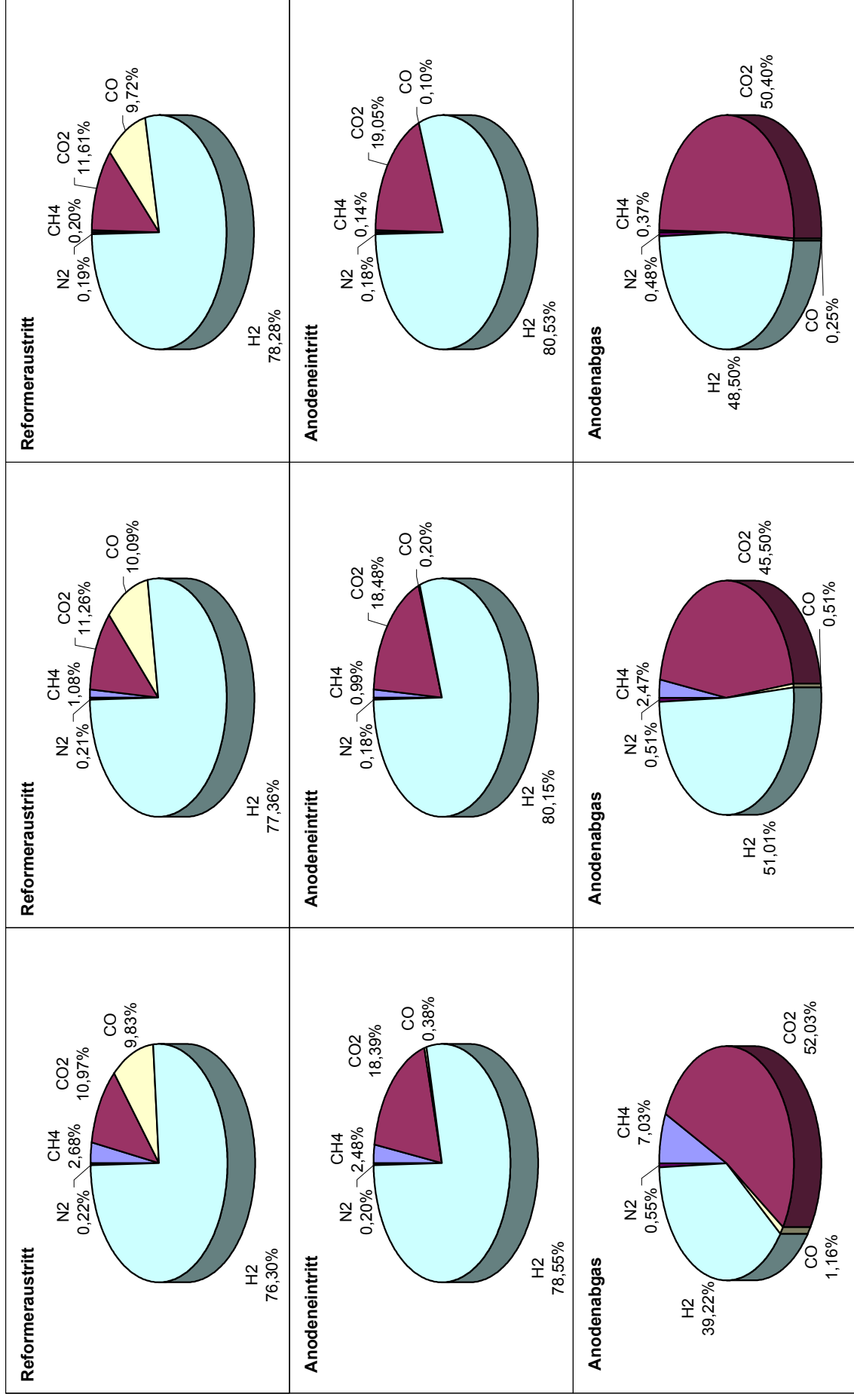
Anlage 2-2: Meßergebnisse Prozeßgaszusammensetzungen

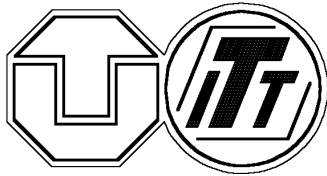


Anlage 2-3: Meßergebnisse Prozeßgaszusammensetzungen



Anlage 3: Änderungen der Gaszusammensetzung entlang des Prozeßgasweges



**TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN****Fakultät Maschinenwesen****Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung****Bereich Technische Thermodynamik****Leiter: Prof. Dr.-Ing. habil. A. Dittmann**Technische Universität Dresden, Institut für Thermodynamik
und Technische Gebäudeausrüstung, 01062 DRESDENTechnische Universität
01062 DresdenTel.: (0351) 463-3423
Fax: (0351) 463-7105
gassel@mttnv01.mw.tu-dresden.de

IMSA: Ein Programm für die Internetbasierte MessdatenSichtung und - vorAuswertung

Autor: Andreas Gassel

Stand 17.11.00

Zusammenfassung

Bei der Betriebsüberwachung technischer Anlagen fallen oft grosse Datenbestände an, deren manuelle Auswertung wirtschaftlich nicht mehr vertretbar ist. Hinzu kommt die Notwendigkeit, diese Datenbestände allen am jeweiligen Projekt beteiligten Personen schnell und ohne grossen Verbrauch an Ressourcen für den Datentransfer (Kosten für CD-Erstellung, Porto, Onlinekosten u. ä.) verfügbar zu machen. Dieser Beitrag beschreibt den gegenwärtigen Stand der Entwicklung eines internetbasierten Programms zum besseren Handling grosser Datenmengen.

Motivation

Wir führen gegenwärtig die Monitoring-Phase für das EU-Projekt „Rationelle Strom-, Wärme- und Kälteversorgung eines Krankenhauses in Kamenz“ vor. Die Anlage ist mit etwa 200 Messstellen versehen, von denen etwa 75 allein auf die Brennstoffzelle entfallen. Das Messintervall beträgt eine Minute und die Messungen sollen über mindestens ein Jahr erfolgen.

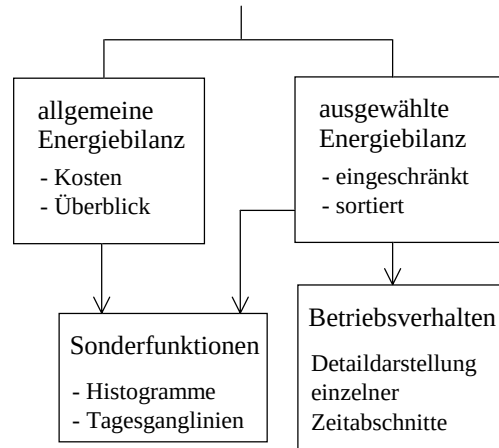
Wir verfügen über Erfahrungen aus Projekten mit ähnlicher Aufgabenstellung, aber geringeren Datenmengen. Anhand dieser Erfahrungen müssen wir einschätzen, daß der Umgang mit solchen Datenmengen außerordentlich schwierig und aufwendig ist.

Die Probleme beginnen bereits mit der Vorbereitung für den Datentransfer. In Kamenz wird die Situation noch dadurch verschärft, daß eine Vielzahl von Konsortial- und Projektpartnern sowie Sponsoren und langfristig auch die interessierte Öffentlichkeit mit den Meßdaten zu versorgen ist.

Es bestand daher die Aufgabe, eine Lösung zu entwickeln, um die großen Datenmengen zu transportieren, zu verwalten und einer Vorauswertung zu unterziehen. Dies soll möglichst automatisiert, mit einfachen Mitteln und als offene Lösung ausgeführt werden.

Die Wahl fiel auf eine internetfähige Datenbank als zentraler Messdatenserver und den universellen Messdatenzugriff über Internetbrowser als Datenclient.

Die Daten werden auf einem Internet-Server als Access-Datei abgelegt. Auf diesem Rechner laufen ein Internetserverprogramm, ein Treiber für Access-Dateien sowie ein ServerScript-Interpreter, der für die automatische Bedienung des Datenbanktreibers und die Erstellung von Internetseiten geeignet ist.



Das Server-Script ist hierbei universell für alle Anlagenkonfigurationen verwendbar. Die Anlagenanpassung erfolgt über den Datenbankinhalt sowie wenige an das Server-Script zu übergebende Parameter.

Der Datenzugriff kann von jedermann auf der ganzen Welt vorgenommen werden. Voraussetzung ist ein Anschluss an das Internet, ein Internet-Browser sowie eine über Passwort organisierte Zugriffsberechtigung. Es müssen keine zusätzlichen Programme auf dem Client-Rechner installiert werden. Java wird nur für verzichtbare Komfort-Funktionen benötigt. JavaScript ist erforderlich.

Der Zugriffsalgorithmus orientiert sich an unseren Erfahrungen mit großen Datenmengen aus der Betriebsüberwachung haustechnischer Anlagen. Man prüft zunächst die Bilanzen anhand von Tages- oder Monatsdurchschnitts- bzw. Minimal- oder Maximalwerten und schaut sich anschließend typische oder auffällige Zeitabschnitte zwecks Untersuchung des Betriebsverhaltens näher an. Auf jeden Fall wird stets nur eine relativ geringe Datenmenge gleichzeitig analysiert.

Hinzu kommen statistische Sonderfunktionen, wie Histogrammbildung und Erstellung von Tagesganglinien.

Bedienung durch den Datennutzer

Der Datenzugriff erfolgt, indem man in den Browser eine Internetseite mit allgemeinen Informationen zur Anlage lädt. Dort sind Links angelegt, die zu unterschiedlichen Sichtungsvarianten führen. Momentan gibt es folgende Möglichkeiten:

Teilsystem	Zeit	Gesamtsicht	Tagessicht	Histogramm	Tagesgang	Schaltbild
B-Zelle	31. 01. - 27. 07.2000	Link				Link
Anlage	Juli 2000	Link		Link		Link
Anlage	August 2000	Link				Link
Anlage	1. - 19. Sept. 2000	Link	Link		Link	Link
Anlage	ab 20. Sept. 2000	Link				Link
B-Zelle	ab 28. Juli 2000	Link				Link

- Gesamtsicht
- Tagessicht
- Histogramm
- Tagesganglinien

Aufgrund der grossen Datenzahl verteilen sich die Daten in Kamenz auf mehrere Dateien.

Bedienung der Gesamtsichtung

Folgt man einem Link “Gesamtsichtung”, so öffnet sich ein geteiltes Sichtungsfenster, das im oberen Bereich die verfügbaren Datenkanäle auflistet und zur Wahl bereithält sowie im unteren Teil die Konfiguration der gewählten Kanäle ermöglicht.

Die Größenrelation zwischen beiden Teilen kann durch Anfassen der Mittellinie mit der Maus geändert werden.

Die Kanalwahl (d. h. die Auswahl der auszuwertenden Sensorsignale) erfolgt durch Anklicken von “Auswahl” im oberen Bereich.

Datenzugriff auf Messdaten Kamenz
Beginn: 2000-09-01 00:00:46 Ende : 2000-09-20 00:21:09

Auflistung der Sensoren, bitte bis zu 8 wählen:

Nr.	Kanal	Bezeichnung	Einheit	Auswahl
1.0	t_koll_1_aus	t_koll_1_aus	Austritt Kollektorfeld 1	°C Auswahl
2.0	t_koll_2_aus	t_koll_2_aus	Austritt Kollektorfeld 2	°C Auswahl
3.0	t_koll_3_aus	t_koll_3_aus	Austritt Kollektorfeld 4	°C Auswahl
4.0	AUT-TAGmax	t_tag,max	Tagesmaximum	°C Auswahl
5.0	WI-T-PROGN	t_prog	Temperaturprognose	V Auswahl

Sichtbeginn: Sichtende:

Intervall: Darstellung: Passwort: SQL zeigen: ☒

Spalte	Wertart	Bedingung	Sortierung	Abwahl
		< = != >	auf ab	alle
Q_Feld	Mittelwert		☐ auf ☐ ab	Zeile
Q_koll_sek	Mittelwert		☐ auf ☐ ab	Zeile
	Mittelwert		☐ auf ☐ ab	Zeile

Der gewählte Kanal trägt sich dann unter “Spalte” im unteren Bereich ein. Es können bis zu acht Kanäle gewählt werden. Bei Überschreiten dieser Zahl kommt eine Fehlermeldung. Ein Überschreiben erfolgt nicht.

Abwählen kann man durch Anklicken von “Abwahl” im unteren Bereich. Es wird dann die entsprechende Zeile gelöscht und die anderen Kanäle rücken mit all ihren Einstellungen nach oben.

Im unteren Bereich sind folgende Einstellungen vorzunehmen:

Eintragen von *Sichtbeginn* und *-ende*.

Hierbei ist das Format entsprechend der Voreinstellung zu beachten.

Formatfehler führen zu einer Fehlermeldung beim Sichtungsergebnis. Die Voreinstellung entspricht dem frühesten und spätesten Dateninhalt. Ein Beibehalten der Voreinstellungen ist nur sinnvoll, wenn ein grosses Intervall gewählt wird. Bei der Auswahl ist zu beachten, dass die Messdaten Lücken aufweisen können.

Minute
Minute
5 Minuten
15 Minuten
Stunde
4 Stunden
Tag
Monat

Intervall definiert die Gliederung, also ob Tages-, Stunden- oder Minutenwerte bzw. Zwischenwerte auszugeben sind. Es können maximal 5000 Datenzeilen ausgegeben werden.

Darstellung gibt vor, ob als Text (csv)- oder html-Datei bzw. grafisch auszugeben ist.

Passwort schützt die Daten vor unbefugtem Zugriff.

html
html
Grafik
ht/Grf.
csv

SQL zeigen sollte man als nur Datenbankprofi wählen. Die Ausgabe der SQL-Anweisung verbessert die Dokumentation des Sichtungsergebnisses und macht auf eventuelle Eingabefehler aufmerksam

In *Spalte* sind die Sensoren definiert. Ein- und Austräge sind nicht direkt, sondern nur durch “Auswahl” und “Abwahl” vorzunehmen.

Die Spalte *Wertart* legt fest, wie mit jedem Messwert im Intervall umzugehen ist. Möglich sind Durchschnittswert, Maximum o. ä. Die Funktion “Anzahl” können Sie nutzen, um die Vollzähligkeit der Daten zu prüfen.

Es ist möglich, bestimmte Kanäle mehrmals zu wählen und nach unterschiedlichen Kriterien “Wertart” zu bearbeiten.

Mit *Bedingung* kann man die Datenübergabe auf bestimmte Werte eingrenzen. Möglich sind “Kleiner als”, “Gleich”, “Ungleich” (!=) und “Größer als”. Wenn man zum Beispiel eine Untersuchung zur Wärmeerzeugung im Auslegungsfall durchführen will, kann man definieren, daß nur die Messdatensätze mit einer durchschnittlichen Tagesaußentemperatur unter -12 °C angezeigt werden.

Im genannten Fall kann man alternativ oder ergänzend auch die *Sortierung* nutzen, indem man die anzuzeigenden Datensätze aufsteigend nach der durchschnittlichen Tagesaußentemperatur sortieren lässt. Es kann jeweils nur nach einer Größe sortiert werden. Die Sortierung ist stets aktiv. Ist nichts gewählt, wird automatisch aufsteigend nach der Zeit sortiert.

Wenn die Grafikfunktion geschickt mit der Sortierung kombiniert wird, kann diese zur Erzeugung von integralen Histogrammen (z. B. geordnete Ganglinien) genutzt werden.

Das ausgefüllte Sichtungsfenster (Formular) definiert eine *Messdatensicht*, die abgespeichert und später wieder eingeladen werden kann. Diese Funktion ist gegenwärtig noch nicht programmiert

Nachdem man das Formular durch Anklicken des Buttons “Sichtung” zum Server geschickt hat, wandelt ein ServerScript den Formularinhalt in SQL-Anweisungen um, die das Datenbankprogramm veranlassen, die gewünschten Daten bereitzustellen. Anschließend erstellt das ServerScript aufgrund dieser Daten eine Internetseite und veranlasst deren Darstellung im Browser des Anfragenden.

Die Daten können als html-Tabelle oder als reine Text-Datei angezeigt werden. Die erste Variante benötigt eine längere Übertragungszeit, sieht aber besser aus. In beiden Fällen können die Seiten abgespeichert und in einem Tabellenkalkulationsprogramm (z. B. Excel) eingeladen und weiterbearbeitet werden. Die Textdatei muss per Zwischenablage zunächst in einen Editor transportiert werden.

Wert	Q _{Feld}	Q _{koll,sek}	Wertzahl
Einheit	kW	kW	%
Art	avg	avg	Count
01.09.2000	19,08	2,21	100
02.09.2000	15,68	1,34	100
03.09.2000	8,25	0	100
04.09.2000	4,37	0	100
05.09.2000	11,76	0,55	100
06.09.2000	18,49	2,23	100
07.09.2000	16,47	2,73	100
08.09.2000	15,93	2,69	100
09.09.2000	18,98	6,8	100
10.09.2000	16,37	5,96	100
11.09.2000	12,41	3,81	95

Die Zwischenablage wird nur vom Internet-Explorer so weitgehend unterstützt, daß ein direkter Transport möglich ist.

Auf Wunsch können die Daten, insbesondere wenn sie sehr umfangreich sind, alternativ als e-mail verschickt werden. (noch nicht implementiert).

Wie bereits erwähnt, ist auch eine einfache grafische Darstellung im Internetbrowser möglich. Verfügbar ist gegenwärtig nur die Variante Liniendiagramm. Für deren Nutzung muss Java aktiviert sein. Das Diagramm liefert beim Überstreichen von Legende oder Graph weitere Informationen. Mittelfristig ist die Erweiterung der Diagrammtypen geplant.

Das nebenstehende Bild zeigt eine einfache Histogrammanwendung. Dargestellt ist die geordnete Ganglinie der Stundenwerte der Kollektorleistung im September 2000 in Kamenz.

Echte (differentielle) Histogramme werden im Rahmen der speziellen Sichtung "Histogramm" erstellt.

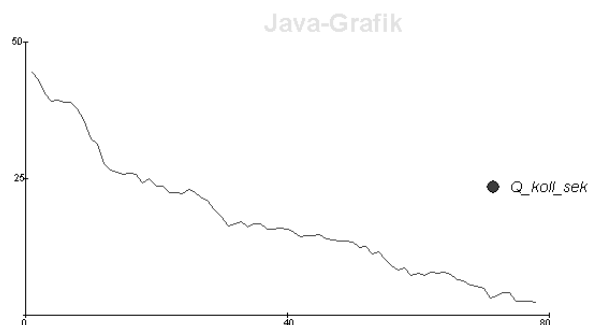
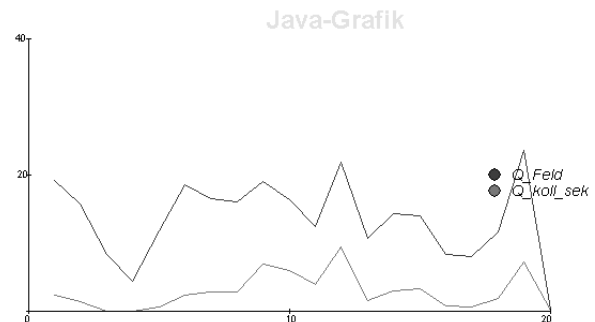
Bedienung der Tagessichtung

Die Tagessichtung ermöglicht einen schnellen Überblick über das Betriebsverhalten der Anlage an einzelnen Tagen. Sie zeigt die Tagesmittelwerte der wichtigsten Daten sowie die Temperaturverläufe einzelner Anlagenteile für jeweils einen Tag.

Nach Aufruf des entsprechenden Links öffnet sich ein zweigeteiltes Fenster. Oben ist eine voreingestellte Datensicht zu sehen. Über das untere Fenster können andere Tage gewählt werden. Nach Wahl eines Tages im entsprechenden Menü und Betätigen des Button "Sichtung" baut sich im oberen Fenster eine neue Tagessichtung auf.

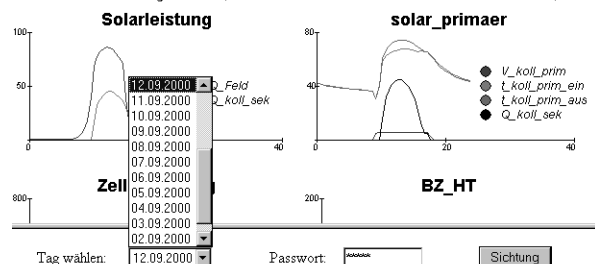
Bedienung der Histogrammfunktion

```
Einheit;kW;kW;%;  
Art;avg;avg;Count;  
01.09.2000;19,08;2,21; 100;  
02.09.2000;15,68;1,34; 100;  
03.09.2000;8,25;0; 100;  
04.09.2000;4,37;0; 100;  
05.09.2000;11,76;0,55; 100;  
06.09.2000;18,49;2,23; 100;
```



Mittelwerte der innovativen Energieanlage Kamenz am 12.09.2000

Feldleistung:	21,74 kW	Kollektorleistung sekundär:	9,35 kW
Brennstoffleistung:	512,3 kW	abs. BSZ-Leistung:	200 kW
Betriebsmeldung BZ:	100 %	gemittelte Wärmespeichertemperatur:	60,84 °C
Waermeabgabe Speicher:	-0,25 kW	Leistung BZ-HT:	101,87 kW
Havarieleistung:	0 kW	Wärmeverbrauch:	3,8 kW
Leistung BSZ-NT:	4,05 kW	Fullstand Eisspeicher:	94,72 %
Betriebsmeldung KKM:	18 %	Kälteleistung KKM:	14,74 kW
Kälteleistung KKM sek.:	14,7 kW	Kälteleistung KKM sek., aus Bilanz:	26,7 kW
Betrieb AdKM:	87 %	Kälteleistung Adsorber:	58,52 kW
Rückkühlleistung Adsorber:	189,1 kW	Heizleistung Adsorber:	114,3 kW
Gesamtrückkühlleistung:	-208,3 kW	Gesamtkälteabnahme:	82,6 kW



Ohne Datenbankunterstützung ist die Erstellung eines Histogramms sehr aufwändig. Die Histogrammerstellung ist daher eine besonders nützliche Funktion von IMSA. In IMSA können nicht nur einfache Histogramme, sondern Histogramme mit vielfachen Abhängigkeiten berechnet werden. Die Histogrammfunktion zerlegt den Wertebereich einer Grösse in diskrete Abschnitte und ermittelt wie oft der Wert in jedem einzelnen Abschnitt vorkommt.

Auf Anklicken des entsprechenden Links öffnet sich zunächst das Formular "Histogrammanforderung". Hier sind eine Vielzahl von Grössen zu definieren.

Zunächst ist die zeitliche Intervall einzutragen. Voreinstellung sind dort die Zeitgrenzen der Datenbankdatei.

Histogrammanforderung

Beginn: Ende:

Tage: Darstellung: Passwort: SQL zg.: ☐

Darzustellender Wert:

Intervall: Wertart: Abschnittsbreite:

Einschränkungen:

Art	Wert	Einschränkungsart			
		<	=	!<	>
vor Gruppierung	keiner				
nach Grupp.:	Mittelwert				

Im Menü Tage sind einzelne Wochentage auszuwählen. Eine Einschränkung auf bestimmte Wochentage ist bei Grössen sinnvoll, die vom Nutzerverhalten abhängen, z. B. beim Heizwärmeverbrauch.

Die Punkte "Darstellung", "Passwort" und "SQL zeigen" sind identisch mit der Gesamtsichtung.

Als Nächstes ist aus einem Menü der darzustellende Wert auszuwählen.

Diesem ist ein Intervall zuzuordnen. In den meisten Fällen wird dieses Intervall dem Intervall der Messdatenaufzeichnung entsprechen. Ausnahmen sind möglich. So wird der Leistungspreis für Elektroenergie üblicherweise nach dem höchsten Viertelstundenmittel des Stromverbrauchs entrichtet. Um sich einen Überblick über die entsprechende Verbrauchssituation zu verschaffen, sollte man ein Histogramm des Stromverbrauchs im Intervall 15 Minuten aufnehmen.

Dem Wert ist innerhalb seines Intervalls eine Wertart zuzuordnen. Im Regelfall wird dies der Mittelwert sein, in Sonderfällen kann dies jedoch das Maximum oder etwas anderes sein.

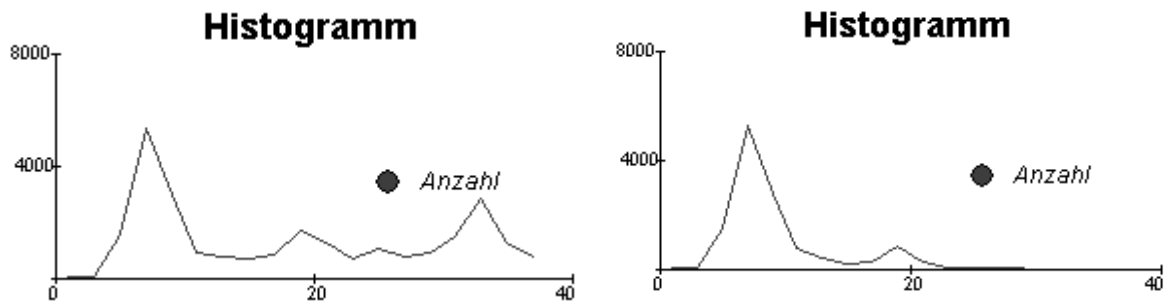
Die Abschnittsbreite ist entsprechend dem Wertebereich vorzusehen. Hier ist eine Abwägung erforderlich. Eventuell muss auch probiert werden. Der Wertebereich muss eine solche Anzahl an Abschnitten enthalten, so dass das Ergebnis gleichermassen stetig und präzise ist.

Der letzte Einstellungsblock betrifft die Einschränkungen. Diese werden eher selten benötigt. Ihre Logik ist nicht einfach zu verstehen. Sie sollen an Hand von Beispielen erklärt werden:

Man stelle sich vor, die Kältevorlauftemperatur soll als Histogramm dargestellt werden. Dies würde Auskunft über die Qualität der Kälteversorgung geben. Allerdings ist die Temperatur nur relevant, wenn auch Kälte abgefordert wird. Zu anderen Zeiten ist das Kältenetz ausser Betrieb und der Temperaturfühler des Kältevorlaufs erwärmt sich auf Umgebungstemperaturniveau. Eine Einbeziehung dieser Werte würde das Ergebnis verfälschen. Man muss diese daher durch eine Einschränkung ausschliessen. Eine solche Einschränkung wäre die

Festlegung, dass nur solche Werte zu betrachten sind, bei denen das Anforderungssignal der Kälteverbraucher auf "1" (entspr. "TRUE") steht.

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Kältevorlauftemperatur in Kamenz im Juli 2000. Links sind alle Werte enthalten. Rechts wurden alle Werte ausgeschlossen, bei denen der Kältevolu-
menstrom gleich Null war, also von den Kälteverbrauchern keine Kälte abgefordert wurde.



Einschränkungen dieser Art werden im allgemeinen vor der Gruppierung eingesetzt, das heisst mit den Originalwerten verbunden. In Ausnahmefällen kann auch das Einsetzen der Einschränkung nach dem Gruppieren, also bereits für das gewählte Zeitintervall sinnvoll sein. Dies ist z.B. nützlich, wenn man eine Untersuchung getrennt nach Tagesgruppen durchführt. So kann man sich zum Beispiel ein Histogramm des Kältebedarfs für alle Tage zusammenstellen lassen, deren Durchschnittstemperatur über 30 Grad Celsius beträgt. Dies gäbe einen Überblick zum maximalem Kältebedarf und verschafft eine Übersicht zu den neben der Außentemperatur geltenden Einflußfaktoren auf den Kältebedarf.

Erstellung von Tagesganglinien

Viele Messgrößen weisen einem charakteristischen sich täglich wiederholenden Verlauf auf. Dies betrifft z.B. den Heizwärmebedarf und die Warmwasserzapfung. Die Kenntnis dieser Verläufe ist wichtig, um sie in Relation zu anderen Zeitschwingungen, wie dem Tagesverlauf der Energietarife und des Solarstrahlungsangebotes zu bringen. Eine Anwendung sind Einsatzuntersuchungen von Speichern.

Erstellung von Tagesganglinien

Beginn: Ende:

Tage: Darstellung: Passwort: SQL zg.: ☐

Darzustellender Wert:

Einschränkungen:

Art	Wert	Einschränkungsart			
		<	=	!<	>
aktuell	keiner				
Ges. Tag: Mittelwert	keiner				

Zu beachten ist, dass diese Verläufe nicht jeden Tag gleich sind. Jeder Tag ist anders, jedoch treten gruppenweise Ähnlichkeiten auf. Diese Gruppen werden im Falle der Warmwasserserzapfung durch die Wochentage und im Fall des Heizwärmebedarfs durch die Aussentemperatur definiert. Das Tagesgangskript führt eine Gruppierung eines Messwertes nach Stunden des Tages durch. Es sind Einschränkungen in gleicher Weise wie bei der Histogrammbildung definierbar. Leider kann momentan nur eine Tagesganglinie auf einmal erstellt werden.

Bedienung durch den Datenbereitstellenden

Um Daten über IMSA verfügbar zu machen, sind diese wie folgt aufzubereiten:

Erstellung einer Access-Datei mit mindestens drei Tabellen:

- Eine Tabelle mit dem Namen "System", die grundlegende Definitionen enthält
- Eine Tabelle, die die Daten enthält, Name beliebig, z. B. "Daten"
- Eine Tabelle, die die Kanäle definiert, Name beliebig, z. B. "Spalten"

Die Tabelle System enthält gegenwärtig nur eine Spalte mit dem Namen "Mindestintervall". Diese enthält nur einen Wert entsprechend dem kleinsten darstellbaren Intervall. Dies ist von den Messdaten abhängig. Es gilt die nebenstehende Belegung:

Minute	1
5 Minuten	2
15 Minuten	3
Stunde	4
Tag	5

Die Daten-Tabelle enthält die Daten. Die Struktur ist zeilenweise nach der Zeit und spaltenweise nach den Kanälen geordnet. Eine Spalte muß "Zeit" heißen und vom Typ "Datum und Zeit" sein, die anderen Spalten dürfen einen beliebigen Namen haben und müssen vom Typ "Zahl" oder "Boolean" sein. Alle Spaltennamen müssen vom Typ "Text" sein. Die Spalte "Zeit" kann als "primary key" definiert sein. Die Datenspalten müssen nicht die Originaldaten enthalten. Es kann sich um spaltenweise einheitliche Vielfache handeln.

Zeit	Gt655364	Gt655365	Gt655366
28.06.00 00:01:30	186,1253	417,4351	29,4
28.06.00 00:03:30	185,6859	431,5206	29,5
28.06.00 00:05:30	185,6859	425,9101	29,7
28.06.00 00:07:30	186,2718	417,7471	29,5
28.06.00 00:09:30	185,5394	427,6426	29,2
28.06.00 00:11:30	185,2464	427,7919	29,4
28.06.00 00:13:30	185,6859	418,0299	29,5
28.06.00 00:15:30	185,2464	427,8083	29,5
28.06.00 00:17:30	184,9535	432,7548	29,5
28.06.00 00:19:30	185,2464	424,6414	29,5
28.06.00 00:21:30	184,6605	430,1498	29,2
28.06.00 00:23:30	184,6605	428,7691	29,2
28.06.00 00:25:30	185,2464	419,1847	29,5

Die Spalten-Tabelle enthält weitere Angaben zu den Daten-Spalten der Daten-Tabelle. Die Struktur ist zeilenweise nach den Spalten der Daten-Tabelle und spaltenweise nach Eigenschaften geordnet. Die Spalten-Tabelle muß mindestens folgende Spalten enthalten:

Kennnum	Kennung	Kurzname	Mittelname	Langname	Einheit	Einheit_k	Quotien	Runden
1	Gt655364	VDCOT	VDCOT	Zellstapelspar	V	V	1	1000
2	Gt655365	IDC	IDC	Zellstapelaus	A	A	1	1000
3	Gt655376	ZT110	ZT110	Ventilstellung	%	%	1	1000
4	Gt655378	ZT010	ZT010	Ejektorspositio	%	%	1	1000
5	Gt655379	ZT010SP	ZT010SP	Sollwert Ejekt	%	%	1	1000
6	Gt655383	KWDC	KWDC	Elektrische Zi	kW	kW	1	1000
7	Gt655393	CT001-A	CT001-A	Ausgangsstro	A	A	1	1000
8	Gt655394	CT001-B	CT001-B	Ausgangsstro	A	A	1	1000
9	Gt655395	CT001-C	CT001-C	Ausgangsstro	A	A	1	1000
10	Gt655396	PT001-A	PT001-A	Ausgangsspa	V	V	1	1000
11	Gt655397	PT001-B	PT001-B	Ausgangsspa	V	V	1	1000
12	Gt655398	PT001-C	PT001-C	Ausgangsspa	V	V	1	1000
14	Gt655400	SETPOINT	SETPOINT_F	Prozeßgas ZI	pph	pph	1	1000

Kennnummer: legt die Reihenfolge der Kanäle im oberen Bereich des Sichtungsfensters fest, vom Typ "Zahl" (üblich: "Byte"), primary key

Kennung: Spaltenname aus der Daten-Tabelle, vom Typ "Text", Typ "Zahl" ist definitiv unzulässig

Kurzname: Bezeichnung, die im Feld "Spalte" der Datensichtung und in der Legende der Grafik auftaucht, Typ "Text" maximal 17 Zeichen

Mittelname: Bezeichnung, die im Kopf des Sichtungsergebnisses auftaucht, kann html-Tags enthalten, Typ "Text", ohne html-Tags bis zu 12 Zeichen

- Langname. Bezeichnung, die in der Spalte “Bezeichnung” im oberen Teil des Sichtungsfensters und im Lauftext der Legende der Grafik auftaucht, sollte keine html-Tags enthalten, Typ “Text” bis 50 Zeichen
- Einheit: Einheit, die im Kopf des Sichtungsergebnisses auftaucht, Typ “Text”, darf html-Tags enthalten
- Einheit_k: Einheit, die im Lauftext der Legende der Grafik auftaucht, darf keine html-Tags enthalten, Typ “Text”
- Quotient: Wert, durch den die in der Daten-Tabelle enthaltenen Werte zu dividieren sind, um die Original-Daten zurückzuerhalten, Typ “Zahl”, Untertyp “Long Integer”, im einfachsten Fall steht hier eine “1”
- Runden: Wert mit einer Null und mehreren Nullen, drückt aus wie zu runden ist, Die Anzahl der Nullen drückt aus, wieviel Nachkommastellen erhalten bleiben.
- TagSicht: ja/nein-Werte, alle mit "ja" belegten Werte werden in der Tagessichtung als Mittelwert berechnet. Diese Spalte ist nur erforderlich, wenn eine Tagessichtung der Datei gewünscht ist und dementsprechend verlinkt wurde.

Weitere Bemerkungen:

1. Die Spaltentabelle darf weitere Spalten beliebigen Namens enthalten. Hier können z. B. Kommentare untergebracht werden.
2. Die Spalte “Kennung” kann neben den Spaltennamen der Datentabelle auch mathematische Ausdrücke enthalten. Enthält die Datentabelle z. B. die Spalten “A”, “B” und “C” darf es in der Spaltentabelle eine Zeile mit der Kennung “(A-B)*C*4,2/3,6 geben. Diese Möglichkeit kann für die Berechnung von Wärmeströmen verwendet werden
3. Das Multiplizieren der Zahlen der Daten-Tabelle mit Vielfachen und das Wiederherausrechnen mit dem Quotienten ist aus folgendem Grund eine nützliche Funktion:

Grosse Datenbestände führen zu grossen Dateien, die schlecht transportiert werden können. Hinzu kommt eine Grössenbeschränkung der Datei von 2 Gbyte. Dieser Wert wird jedoch während der Laufzeit des Kamenz-Projektes nicht überschritten. Ist die Dateigrösse wichtig, z. B. weil die Datei nur per Diskette transportiert werden kann, muss besonders effektiv abgespeichert werden. Hierbei kann besonders durch Wahl eines geeigneten Datentyps gespart werden. In Access gelten folgende Untertypen des Typs “Zahl”

Untertyp	Math. Typ	Bereich	Genauigkeit	Speicherplatz
Byte	Natürliche Zahl	0 .. 255	perfekt	1 Byte
Small Integer	Ganze Zahl	- 32000 .. + 32000	perfekt	2 Byte
Long Integer	Ganze Zahl	Fast beliebig	hoch	4 Byte
single	Reelle Zahl	Fast beliebig	hoch	4 Byte
double	Reelle Zahl	Fast beliebig	Sehr hoch	8 Byte

Standardmäßig wird einer Zahl der Untertyp "double" zugeordnet. Dies ist für Messdaten nicht sinnvoll. Keine Messtechnik ist in der Lage, Messdaten mit double precision aufzunehmen. "Single" reicht stets, oft reicht "Small Integer". Um den Genauigkeitsverlust bei "small integer" zu begrenzen, muss die Zahl zunächst multipliziert und dann gerundet werden. Wird z. B. eine Temperatur aufgezeichnet, die einen Wertebereich von - 20 bis 100 °C hat, ist diese mit 100 zu multiplizieren und dann auf "small integer" zu runden. Die Aufzeichnungsgenauigkeit liegt dann bei 0,01 K und liegt noch über der üblichen Messgenauigkeit von 0,1 K.

Die Vorgehensweise mit dem Quotienten ist übrigens Folge einer Unzulänglichkeit von Access. Andere Datenbanken kennen den Datentyp "Numeric", bei dem man die Anzahl der Nachkommastellen definitiv festlegen kann. Dieser Typ fehlt bei Access.

Das künstliche Ändern von REAL- in INTEGER-Werte ist nur sinnvoll, wenn die Kleinheit der Datei sehr wichtig ist. Das nachträgliche Herausrechnen bei jeder Datenbankabfrage belastet den Datenbanktreiber stark und reduziert die Zugriffsgeschwindigkeit auf etwa ein Viertel.

4. Es darf mehrere Daten- und Spaltentabellen in einer Datenbankdatei geben. Alle müssen jedoch das gleiche Mindestintervall besitzen. Grenzen werden nur durch die Leistungsfähigkeit der Hardware gezogen und sind bis jetzt noch nicht erreicht.
Die Zusammengehörigkeit der Tabellen wird durch die Art der Ansteuerung der Datenbankdatei festgelegt. Hierbei können auch zu einer Datentabelle mehrere Spaltentabellen gehören. Es dürfen sogar gleiche Kennungen in verschiedenen Spaltentabellen vorkommen. Die Zuordnung wird durch die Parameterübergabe an das Server-Script definiert.

Ist eine Tagessichtung gewünscht und verlinkt, so wird als zusätzliche Tabelle die Tabelle "Grafiken" benötigt. Diese enthält die Spalten "Diagrammtitel", "Kurzname" sowie als Primärschlüssel die Spalte "Kennnummer". In der Tagessichtung werden mehrere Diagramme dargestellt. Ihr Titel ergibt sich aus der Spalte "Diagrammtitel". Jedes Diagramm enthält einen oder mehrere Graphen. Diese werden durch die Spalte "Kurzname" definiert. Es muss sich jeweils um einen Namen handeln, der in der Spaltentabelle ebenfalls in der Spalte "Kurzname" vorkommt.

Grafiken : Tabelle		
	Kennnummer	Diagrammtitel
1	Solarleistung	Q_Feld
2	Solarleistung	Q_koll_sek
3	solar_primaer	Q_koll_sek
4	solar_primaer	V_koll_prim
5	solar_primaer	t_koll_prim_ein
6	solar_primaer	t_koll_prim_aus
7	Zellenleistung	Q_Gas
8	Zellenleistung	BSZ_EL
9	Zellenleistung	Q_BSZ_HT
10	Zellenleistung	Q_BSZ_NT
11	Zellenleistung	Q_HK
12	BZ_HT	Q_BSZ_HT
13	BZ_NT	V_BZ_NT

Zuweisung der Datenbank

Um den Nutzern einen komfortablen Zugriff auf die Daten bestimmter Anlagen oder auch Anlagenteile zu gewährleisten, sind neben der Erstellung der Datenbankdatei folgende Vorkehrungen zutreffen:

1. Hochladen der Datenbankdatei auf den Internetserver
2. Anmelden beim Server-Administrator. Dieser vergibt einen DSN-Namen.
3. Erstellung einer Einstiegsseite, möglichst mit Schaltbild und einigen Erläuterungen. Die Seite kann an einem beliebigen Punkt des Internets liegen.
4. Versehen der Einstiegsseite mit einem Link der folgenden Art:

`http://<Servername>/cgi-bin/aeonic/ase/imsa/<Scriptname>?Projekt=<DSN-Name;Spaltentabellenname;Datentabellenname>` , also z. B.:

`http://www.imsa.de/cgi-bin/aeonic/ase/imsa/index.aso?Projekt=Kamenz1;Spalten1;Daten1`

Für die einzelnen Datenbankfunktionen sind folgende Scripte aufzurufen:

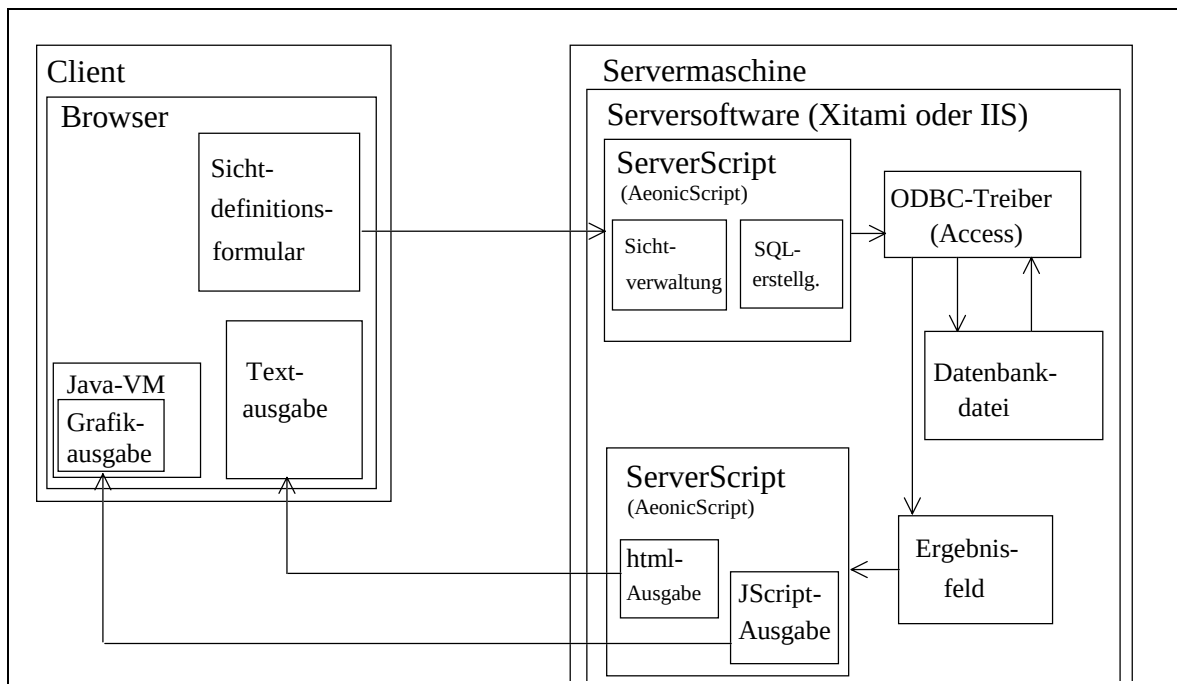
Gesamtsicht: index.aso

Tagessicht: Tag/index.aso

Histogramm: Histo/histodef.aso

Tagesgang: tgl/tgldef.aso

Aufbau des Programms



IMSA besteht aus einem Satz von Server-Scripten (AeonicScript):

a) Sichten für die Gesamtsicht:

- index.aso: Wird aus der Definitionsseite (eine konv. html-Seite) aufgerufen. Schreibt ein Frameset zum Aufruf von liste.aso und defini.aso und reicht an diese die Datenbankzuweisung weiter
- liste.aso: Liest die Spaltentabelle aus der Datenbank aus und gibt die wichtigsten Daten in einer Tabelle im oberen Bereich des Sichtungsfensters aus
- defini.aso: Schreibt den unteren Teil des Sichtungsfensters, übernimmt aus der Datentabelle der Datenbank die früheste und späteste Zeit
- abfrage.aso: wird aus defini.aso vom Nutzer aufgerufen, übernimmt daraus die Abfragewünsche, setzt sie in SQL um, befragt die Spaltentabelle nach Kopfinformationen und die Datentabelle nach den Zahlenwerten, führt Abprüfungen hinsichtlich Datenmenge, Datumsformat und Passwort durch, rundet, wechselt Dezimaltrennzeichen, führt tabellarische und Textausgabe aus

b) Tagessicht:

- Tag/index.aso Wird aus der Definitionsseite (eine konv. html-Seite) aufgerufen. Schreibt ein Frameset zum Aufruf von Tag/Tag.aso und Tag/Tagwahl.aso und reicht an diese die Datenbankzuweisung weiter.
- Tag/Tagwahl.aso Liest die verfügbaren Tage aus der Datenbankdatei aus und schreibt eine html-Datei, in der der Nutzer den darzustellenden Tag wählen kann.
- Tag/Tag.aso Führt die Datenbankabfrage für den angeforderten Tag aus, stellt die Mittelwerte textlich dar und steuert die Diagrammerstellung an.

c) Histogramm:

- Histo/histodef.aso Wird aus der Definitionsseite (eine konv. html-Seite) aufgerufen. Liest die verfügbaren Werte aus der Datenbankdatei aus und schreibt eine html-Seite, in der der Nutzer die Histogrammanforderung definieren kann.
- Histo/histabfr.aso Wird aus der Seite, die von histodef.aso erstellt wurde aufgerufen. Führt die Datenbankabfrage durch und stellt das Ergebnis textlich dar.

c) Tagesganglinien:

- tgl/tgldef.aso Wird aus der Definitionsseite (eine konv. html-Seite) aufgerufen. Liest die verfügbaren Werte aus der Datenbankdatei aus und schreibt eine html-Seite, in der der Nutzer die Anforderung der Tagesganglinien definieren kann.
- tgl/tglabfr.aso Wird aus der Seite, die von tgldef.aso erstellt wurde aufgerufen. Führt die Datenbankabfrage durch und stellt das Ergebnis textlich dar.

Den Server-Scripten wird durch Programme in folgenden Dateien assistiert:

javagraf.aso: include von abfrage.aso, schreibt die Parameterliste für das Java-Applet zur Grafikausgabe

eintrag.js: include von liste.aso, enthält die JavaScript-Funktion auswahl(), die die gewählten Kanäle aus dem oberen in den unteren Teil des Sichtungsfensters überträgt (momentan direkt integriert)

defini.js include von defini.aso, enthält die JavaScript-Funktionen Abwahl() zur Löschung gewählter Kanäle aus dem unteren Bereich des Sichtungsfensters, Pruefezahl() zur Abwehr unsinniger Eingaben in den Bedingungsfeldern und SpalteWarn() zur Vermeidung direkter Eingaben in den Spalte-Feldern des unteren Teils des Sichtungsfensters (momentan direkt integriert)

mmlinechart.class: Java-Applet zur Grafik-Ausgabe, wird durch javagraf.aso gesteuert, nicht vom Autor erstellt sondern handelsübliches Programm

Beispiele für die Abfrage der Messdatenbank mit SQL (informativ, nicht direkt möglich)

Eine Datenbanktabelle mit dem Namen *Daten1* hat z. B. folgende Struktur

	Zeit	Gt655364	Gt655365	Gt655366
▶	28.06.00 00:01:30	186,1253	417,4351	29,4
	28.06.00 00:03:30	185,6859	431,5206	29,5
	28.06.00 00:05:30	185,6859	425,9101	29,7
	28.06.00 00:07:30	186,2718	417,7471	29,5
	28.06.00 00:09:30	185,5394	427,6426	29,2
	28.06.00 00:11:30	185,2464	427,7919	29,4
	28.06.00 00:13:30	185,6859	418,0299	29,5
	28.06.00 00:15:30	185,2464	427,8083	29,5
	28.06.00 00:17:30	184,9535	432,7548	29,5
	28.06.00 00:19:30	185,2464	424,6414	29,5
	28.06.00 00:21:30	184,6605	430,1498	29,2
	28.06.00 00:23:30	184,6605	428,7691	29,2
	28.06.00 00:25:30	185,2464	419,1842	29,5

Aufgabe 1: Zeige die Zeit sowie alle Werte Gt 655364 und Gt 655365 für den 28.06.00 !

SQL-Anweisung:

```
select Zeit, Gt655364, Gt655365 from Daten1
where Zeit between #2000-06-28 00:00:00# and #2000-06-28 23:59:59#
```

Erklärung:

select: in SQL das fast universelle Schlüsselwort für eine Datenabfrage

Zeit, Gt655...: definiert die anzuzeigenden Datenspalten

from: Schlüsselwort für den Namen der die Daten enthaltenden Tabelle

Daten1: der Name der die Daten enthaltenden Tabelle

where: Schlüsselwort für die Definition einer Einschränkung
Zeit: die Datenspalte nach einzuschränken ist
between...and: veranlasst die Anzeige der Werte, die logisch oder numerisch dazwischen liegen

#2000-06-06 00:00:00# : von Access gefordertes Datumsformat

Aufgabe 2:

Zeige den tageweisen Mittelwert der Spalte Gt655364 der Tage vom 06.06.00 bis 28.06.00 an, wenn dieser Mittelwert über 150 liegt und sortiere absteigend nach dieser Größe !

SQL-Anweisungen:

```
select Day(Zeit), avg(Gt655364) from Daten1
      where Zeit between #2000-06-06 00:00:00# and #2000-06-28 23:59:00#
      group by Day(Zeit)
      having avg(Gt655364) > 150
      order by avg(Gt655364) desc
```

Erklärungen

Day(Zeit) Ermitteln der Tagesnummer der Zeit

avg() Bilden eines Mittelwerts

group by: Gruppieren von Daten. Während man nach deutschem Sprachgebrauch eine einfache Sortierung vermuten würde, handelt es sich stattdessen um die Durchführung mathematischer Operationen entsprechend der nach select angegebenen Funktion (also z. B. avg()) gruppenweise entsprechend dem hinter "group by" angegebenen Ausdruck

having Einschränkungsbedingung, ähnlich "where" betrifft jedoch nicht die Ursprungsdaten sondern die bereits gruppierten Daten

order by...: Veranlassung einer Sortierung entsprechend dem nachfolgenden Ausdruck (also dem Mittelwert von Gt655364)

...desc: es wird absteigend sortiert (aufsteigend wäre asc)

Bemerkungen zur Aufgabe 2

1. Day(Zeit) gibt nur die Tagesnummer innerhalb des Monats aus. Dies ist in diesem Fall korrekt, da die Datenbankdatei weniger als einen Monat enthält, Anderenfalls wird es sehr viel aufwendiger. Man liest das Datum komplett aus mit folgendem Ausdruck:

```
select Year(avg(Zeit), Month(avg(Zeit)), Day(avg(Zeit)))
```

Im Serverscript wird das Datum dann wieder zusammengesetzt.

Die alternativ bereitstehende Funktion DateValue(Zeit) ist ebenfalls verwendbar. Es ist jedoch eine umfangreiche Typumwandlung erforderlich. Die Anweisung hat dann folgende Form:

```
CSTR(DateValue(CDATE(avg(Zeit))))
```

2. `group by Day(Zeit)` gruppiert nach der Tagesnummer innerhalb des Monats. Umfasst die Datenbankdatei mehr als einen Monat muss man wie folgt vorgehen:
`group by Year(Zeit), Month(Zeit), Day(Zeit)`

Alternativ und programmtechnisch einfacher umsetzbar ist jedoch die Arbeit mit der numerische Entsprechung der Zeit. Access erkennt selbst, wann die numerische Entsprechung gemeint ist. Die Anweisung sieht dann wie folgt aus:
`group by Int(Zeit)`

Man kann dieses Verfahren nutzen, um beliebige Gruppierungsabschnitte zu definieren. Um nach Viertelstunden zu gruppieren ist folgende Anweisung geeignet:
`Group by Int(Zeit*96)` (ein Tag enthält 96 Abschnitte zu je 15 Minuten)

Man darf sogar so weit gruppieren, dass die Gruppen nur noch einen Wert oder gar keinen Wert enthalten. Um alle Daten einer Tabelle mit Aufzeichnung im Minutentakt auszulesen, ist folgende Gruppierung zulässig:

`Group by Int(Zeit*1440)`

Dies mag zunächst nicht sinnvoll erscheinen, erleichtert jedoch das Programmieren, da nicht mehr unterschieden werden muss, ob eine Gruppierung erforderlich ist oder nicht.

Aufgabe 3: Ermittlung eines differentiellen Histogramms (Häufigkeitsverteilung) für alle Daten von Gt655364 in Abschnitten von 2:

```
select avg(Gt655364), Count(Gt655364) from Daten1
      group by Int(Gt655364/2)
      order by avg(Gt655364) asc
```

Die Vorgehensweise ist ähnlich wie bei der Gruppierung nach der Zeit. Hinzu kommt die Funktion "Count()" zum Durchzählen

Aufgabe 4: Aufnahme einer Tagesganglinie für Gt655364

```
select hour(Zeit), avg(Gt655364), from Daten1
      group by hour(Zeit)
      order by hour(Zeit) asc
```

Einbettung von SQL

SQL ist keine eigenständig existenzfähige Programmiersprache. Man kann SQL-Anweisungen lediglich direkt über die Tastatur eingeben und damit eine auf dem PC geöffnete Datenbank abfragen (bzw. anderweitig bedienen) oder über Telnet eine Datenbank im Internet abfragen.

Um automatische Datenbankoperationen zu veranlassen oder auch nur, um dem Nutzer eine richtige Bedienoberfläche zu bieten, muß SQL in ein anderes Programm eingebettet werden. Für den lokalen Betrieb kann SQL z. B. in ein Programm für VisualBasic, C++ oder Delphi eingebettet werden. Im Internet empfehlen sich hierbei ServerScript-Sprachen wie Perl, PHP oder AeonicScript.

In AeonicScript sieht eine Einbettung wie folgt aus:

```
DB = '<Zugriffsart>:/<dsn-Name>/<Anwendername>/<Passwort>'
open '<streamname>' with DB
    read '<SQL-Anweisung>'
    in <Ergebnis> from '<streamname>'
close '<streamname>'
```

DB: Abkürzung zur Schreiberleichterung, frei wählbar

<Zugriffsart>: Art und Weise des Datenzugriffs, für Windows ist odbc standardisiert, unter LINUX steht hier zumeist der Name des Datenbankprogramms z. B. mySQL

<dsn-Name>: unter Systemsteuerung bei ODBC definierter Name einer Datenbankverbindung. Dort sind auch weitere Details zur Datenbank eingestellt, zum Beispiel Pfad und Dateiname der Datendatei und Art von Datenbankprogramm und Treiber (unter LINUX steht hier direkt die Datenbankdatei)

<Anwender>: der dsn-Verbindung zugeordneter Anwendername

<Passwort>: der dsn-Verbindung zugeordnetes Passwort

open: öffnet einen Stream, in diesem Fall die dsn-Verbindung

<streamname>: Name eines Streams, frei wählbar

DB: definiert den Datenzugriff, hier könnte statt der Abkürzung auch die komplette 1. Listing-Zeile stehen

read: Schlüsselwort, dieses gilt in diesem Zusammenhang immer, auch wenn es sich um keine lesende, sondern um eine schreibende SQL-Anweisung handelt.

<Ergebnis>: Feldname, frei wählbar, enthält bei einer lesenden SQL-Anweisung den relevanten Tabelleninhalt als zweidimensionales Feld. Mit Ergebnis[i][j] kann auf die einzelnen Felder zugegriffen werden. Bei einer schreibenden SQL-Anweisung ist das Feld existent, aber leer.

close: Schlüsselwort, schließt den stream

Die SQL-Anweisung ist hierbei in der Regel nicht fest vorgegeben, sondern wird erst vom einbettenden Programm erzeugt. Wenn man beim Beispiel 1, dem Nutzer die Möglichkeit geben will, selber zu definieren, welcher Tag angezeigt werden soll, kann das Script folgende Form haben. Die Darstellung ist weniger abstrahiert. Statt Platzhaltern stehen übliche Namen.

```
Anzeigetag = GetParameter('Anzeigetag')
Anzeigebeginn = Anzeigetag
Anzeigeende = Anzeigetag + 1

DB = 'odbc:/tgh/Anwender/Passwort'

open 'Abfrage' with DB
  read 'select I_spez, t_koll from Werte
        where Zeit between' & Anzeigebeginn & 'and' & Anzeigeende
        in Ergebnis from 'Abfrage'
close 'Abfrage'
```

<Ausgabeanweisungen für Ergebnis>

Anzeigetag: Name und Wert einer vom Nutzer übergebenen Anforderung. Dies kann direkt über die Browsereingabe: <URL>?Anzeigetag=<Anzeigetag> oder durch die Eingabe des Anzeigetages in ein Formularfeld mit dem Namen Anzeigetag erfolgen. Das Formular erzeugt dann selber die oben aufgeführte Browsereingabe. Das Beispiel funktioniert nur, wenn die numerische Entsprechung des Datums eingegeben wird.

GetParameter: Funktion, die die hinter dem Fragezeichen kommenden Parameter ausliest

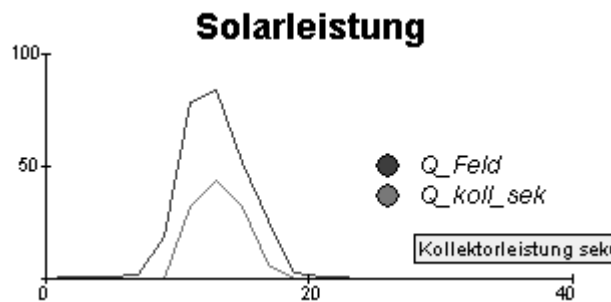
& Verkettungsoperator in AeonicScript

' ' was zwischen Hochkommas steht wird direkt übertragen, alles andere wird durch den Variableninhalt ersetzt.

Detaillierte Erklärung einzelner Scripte

Die Datei javagraf/javagraf.aso enthält die Funktion

JavaGraf(GrafikFeld,Hoehe,Breite,Datenbreite,Textdistanz,Titel)



/	Q_{Feld}	Q_{koll_sek}
/	Feldleistung in kW	Kollektorleistung sekundär in kW
1.0038888888899	2725871	0
3.0036759259252	2725871	0
5.0034351851834	2725871	0
7.0034351851863	1.153568	0
9.0034560185144	18.39090	0
11.003437499998	77.99196	31.31322
13.003446759254	83.63148	43.67863
15.003444444446	51.01787	31.69733
16.998282828283	25.23204	5.471886

Diese Funktion führt eine grafische Darstellung des in GrafikFeld übergebenen zweidimensionalen Feldes durch. Das Feld muss einer bestimmten Struktur entsprechen:

- 1. Zeile: Legendenbeschriftung jedes Graphen
- 2. Zeile: Detaillierte Legendenbeschriftung
- ab 3. Zeile: Darzustellende Daten
 - 1. Spalte: Daten der x-Achse
 - ab 2. Spalte: Daten für die y-Achse