Bundesamt für Energie
Office fédéral de l'énergie
Ufficio federale dell'energia
Swiss Federal Office of Energy

Bereich
Umgebungswärme, WKK

Nahwärmeverbund mit Wärmepumpe und Erdwärmesondenfeld MZH Rorschacherberg

Erfolgskontrolle und Betriebserfahrungen

ausgearbeitet durch
Peter Hubacher dipl. Ing HTL
HUBACHER ENGINEERING
Tannenbergstrasse 2, 9032 Engelburg

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Dezember 2000 Schlussbericht

Inhaltsverzeichnis

		Seite
0.	Zusammenfassung	2
1.	Ausgangslage	4
	1.1 Anlagenkonzept	5
2.	Ziel der Arbeit	7
3.	Messkonzept	7
4.	Hauptergebnisse	8
	4.1 Energieproduktion für Heizung und Warmwasser	8
	4.2 Energieflussdiagramm	9
	4.3 Betriebs- und Leistungswerte	10
	4.4 Endenergieverbrauch einer Referenzanlage mit Heizkessel	11
	4.5 Endenergieverbrauch beim Nahwärmeverbund MZH	11
	4.6 Wärmeproduktion der vorliegenden Heizungsanlage	12
	4.7 Umweltenergieanteil beim Nahwärmeverbund MZH	13
	4.8 Sole/Wasser-Wärmepumpe	13
	4.9 Energieeffizienz der Gesamtanlage Nahwärmeverbund MZH	14
	4.10 Brauch-Warmwasserbereitung	15
5.	Erkenntnisse aus dem Betrieb	16
	5.1 Rücklauftemperatur der Fernleitung	16
	5.2 Nutzung der Solarenergie in zweiter und dritter Sequenz	19
6.	Ausblick	20
7.	Anhang	22

Zusammenfassung

Die Wärmeerzeugungsanlage im Nahwärmeverbund wurde aufgrund eines Energiekonzeptes, das die Gemeinde Rorschacherberg in Auftrag gegeben hatte, geplant. Dabei wurden eine Sole/Wasser-Wärmepumpe, die mit Erdsonden als Wärmequelle betrieben wird, auch eine Heizkesselanlage für Erdgas- und Oelbetrieb sowie eine Solaranlage geplant. Die Solaranlage wurde von den Stimmbürgern anlässlich einer Bürgerversammlung per Abstimmungsbeschluss verlangt.

Die Gesamtanlage wurde als Nahwärmeverbund für den Neubau einer Mehrzweckhalle und drei in der Nähe liegende Schulhäuser konzipiert. Es wurde auch der für später geplante und zwischenzeitlich erstellte Neubau des Altersheimes und das Gebäude für Bauamt und Feuerwehr als späteren Anschluss vorgesehen.

Die gesamte Anlage musste für Niedertemperaturheizung vorgesehen werden, da für den Betrieb der Wärmepumpe eine Rücklauftemperatur von max. 45 °C zugelassen werden konnte.

Die Wärmeerzeugungsanlage bedingte ein gesamtheitliches Regelkonzept, das aus Gründen der Flexibilität, nur als DDC-Regelung möglich war. Die Gesamtanlage musste anfänglich genau einreguliert und auch die Betriebabläufe weiter optimiert werden.

Das Bundesamt für Energie (BFE) hat die Anlage nach eingehender Prüfung als P+D Projekt akzeptiert und dementsprechende messtechnische Untersuchungen verlangt.

Die Anlage ist gemäss der Betriebsanalyse und der energetischen Beurteilung ohne erwähnenswerte Nachteile. Die Solaranlage, die in drei Kaskaden arbeitet und dabei in erster Priorität die Warmwasserboiler, in zweiter Priorität den Heizungsspeicher und in dritter Priorität den Erdsondenkreislauf bedient, ist eher etwas komplex. Speziell der Anschluss für die Abgabe von niedertemperaturiger Heizenergie an den Erdsondenkreislauf hat sich nicht bewährt.

Die Wärmepumpenanlage läuft jedoch sehr gut und hat eine Jahresarbeitszahl JAZ von 3.88. Einzig die aus der Fernleitung mit den Schulhäusern resultierende zu hohe Rücklauftemperatur bereitet etwas Probleme, weil dadurch die Wärmepumpe öfters wegen zu hohem Rücklauf nicht betrieben werden kann. Die theoretisch berechnete Mischtemperatur zwischen den Neubauten mit tiefen und den alten Schulhäusern mit höheren Heiztemperaturen wurde im Betrieb öfters überschritten. Der Grund liegt einerseits darin, dass vor allem das Mehrzweckgebäude wesentlich weniger Energiebedarf hat als berechnet, welches auf die passive Energienutzung (grosse Fensterflächen und starke Personenbelegung sowie Beleuchtung) zurück zu führen ist. Als verstärkenden Faktor muss auch die höhere Anforderung an die Heiztemperaturen für die alten Schulhäuser, speziell in der Übergangszeit, mit einbezogen werden.

Die Heizkesselanlage erfüllt die Anforderungen, hat jedoch eher einen mittelmässigen Jahreswirkungsgrad von $\eta = 0.84$. Da der Heizkessel praktisch nur auf der ersten Stufe gelaufen ist, hätte man aufgrund der kleineren Heizflächenbelastung einen höheren Wert erwartet.

Die Brauchwarmwasserbereitungsanlage ist gemäss den Messungen vor allem hinsichtlich Boilerinhalt von 2 x 2'500 Litern zu gross dimensioniert. Tagesbezüge von mehr als 1'000 Litern Warmwasser werden nur an einzelnen Tagen erreicht, obwohl auch ein Spitzenwert von über 10'000 Litern pro Tag festgestellt werden konnte. Man muss jedoch bedenken, dass der grosse Boilerinhalt in erster Linie wegen der Solar-Wärmenutzung geplant wurde, damit man auch zwei bis drei sonnenarme Tage überbrücken kann.

Das Betriebskonzept sieht vor, dass mit der Wärmepumpe die Grundlast produziert und mit dem Heizkessel die Spitzenlast abgedeckt wird. Die Marktsituation hat dazu geführt, dass der kombinierte Oel-/Gasheizkessel in der untersuchten Betriebszeit nur mit Erdgas betrieben wurde. Die Solaranlage mit konzentrierenden Vakuumkollektoren brachten eine nutzbare Energiemenge von ca. 37 MWh/a, was pro m^2 Fläche ca. 435 kWh/a entspricht.

Die gesamte Wärmeerzeugungsanlage erreichte bei einer nutzbaren Jahresenergiemenge von 815 MWh/a und der dazu benötigten kostenpflichtigen Energieaufnahme von 635 MWh/a einen erfreulich guten Jahreswirkungsgrad von 1.28. Dieser Wert könnte noch höher sein, wenn der Betriebsanteil der Wärmepumpe erhöht werden kann. Mit dem Anschluss des Altersheimes dürfte dies bereits möglich werden, sofern die Gesamtanlage den neuen Verhältnissen entsprechend einreguliert wird.

Die Anlage ist aus planerischer Sicht unter Berücksichtigung der erwähnten Probleme beispielhaft. Speziell die kaum vorhersehbaren Verschiebungen der Energieanteile, die zu den überhöhten Heiztemperaturen geführt haben, sollten bei Planungen berücksichtigt werden. D. h., dass die Verhältnisse sowie die passive Energiegewinnung besser in die Planung einbezogen werden sollten. Diese Darstellungen dürften für ähnliche Planungen wertvolle Hinweise liefern.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

1. Ausgangslage

Die Gemeinde Rorschacherberg hat im Zusammenhang mit der Planung einer Mehrzweckhalle ein Energiekonzept ausarbeiten lassen.

Schwerpunkte waren die Überprüfung eines Nahwärmeverbundes und der Einsatz von Alternativ-Energienutzung mit Wärmepumpe und Sonnenenergie. Der Einbezug von Sonnenenergie war aufgrund eines Bürgerbeschlusses verbindlicher Bestandteil.

Als Planungsrahmen wurde auf der Basis des Energiekonzepts eine Wärmeerzeugungsanlage mit Wärmepumpe und einem Heizkessel für die Spitzenlastdeckung sowie der Einbezug einer Solaranlage für die Brauchwarmwasserbereitung mit gleichzeitiger Anbindung an die Heizungsanlage entschieden.

Gleichzeitig wurde auch die Planung des Nahwärmeverbundes für die beiden nahe gelegenen Schulhäuser (Sekundarschule und Primarschule Steig) bewilligt.

Beim Nahwärmeverbund musste konzeptionell das damals erst in Vorabklärung befindliche Betagtenheim berücksichtigt werden. Dies war sehr erwünscht, denn die Sekundarschule und ein Teil der Primarschule Steig waren ältere Gebäude mit höheren Vorlauftemperaturen. Erst die Mischrechnung mit den neu zu planenden Gebäuden ergab ein für den Wärmepumpenbetrieb ein genügend tiefes Heiztemperaturniveau, wobei speziell auf eine tiefe Rücklauftemperatur geachtet werden musste.



1.1 Anlagenkonzept

Beim Anlagenkonzept mit der Integration einer vierstufigen Wärmepumpe, zwei Sonnenkollektor-Anlagen und der Spitzenlastabdeckung mit einem oel- und gasbefeuerten Hochleistungsheizkessel sind nachstehende Informationen von Bedeutung.

Die Wärmepumpe wurde als Sole/Wasser - Anlage konzipiert. Als Wärmequelle wurde auf dem Vorplatz des Gebäudes ein Erdsondenfeld mit 30 Erdsonden à je 140 m Länge geplant.

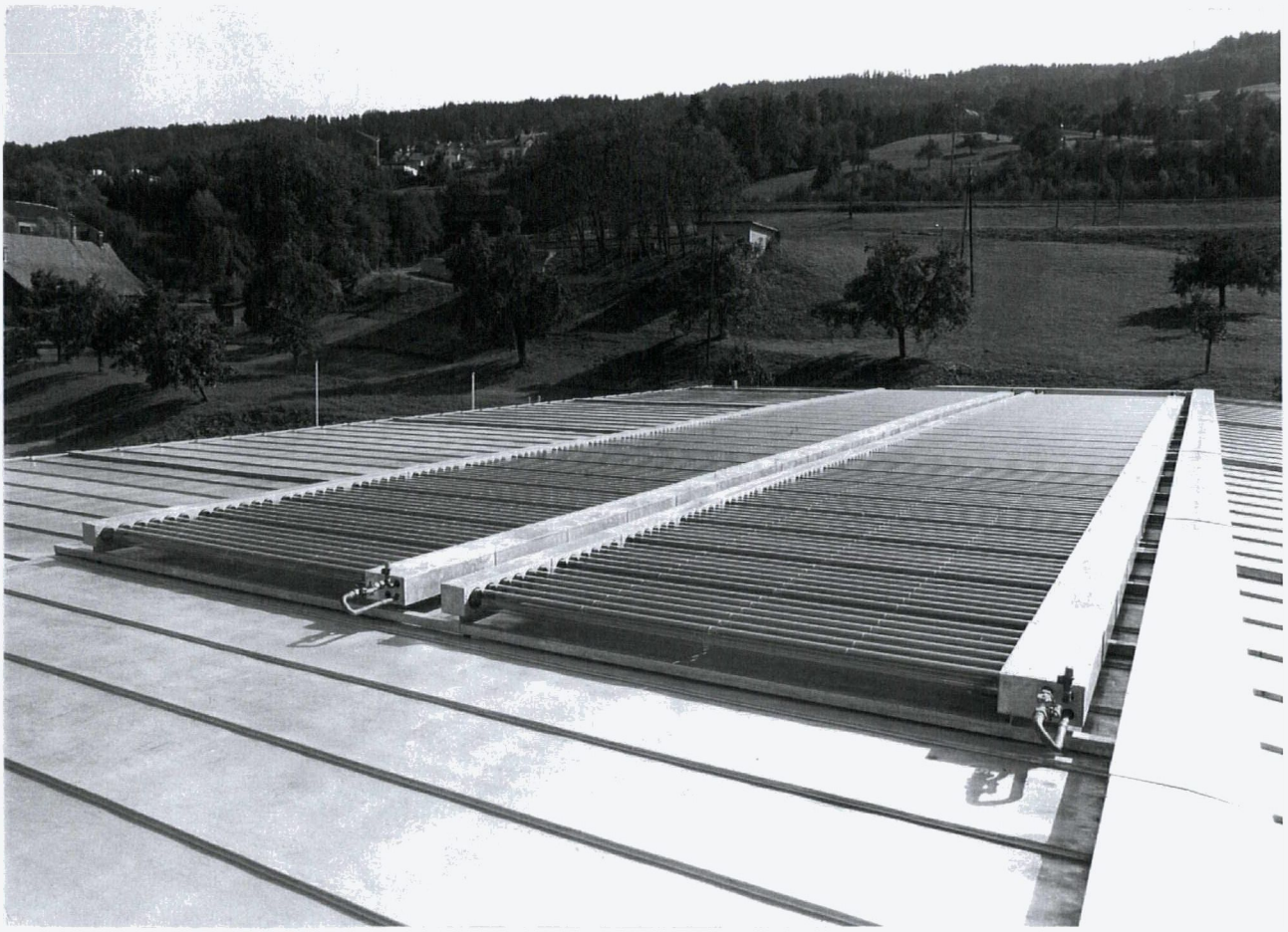
Für die Spitzenlastdeckung ist eine Oel/Gas-Heizkesselanlage mit Low-nox-Feuerung eingebaut. Der Heizkessel deckt in der ersten Phase ca. 65% der geforderten Maximalheizlast ab.

Die Solaranlage wurde in 2 Felder und auf 2 Gebäude aufgeteilt. Bei der neuen Mehrzweckhalle wurde eine grössere Fläche von 85 m^2 mit konzentrierenden Vakuumkollektoren und bei der Sekundarschule 30 m^2 Flachkollektoren vorgesehen. Die Aufteilung basiert auf der Nutzungsoptimierung, da bei der Sekundarschule ebenfalls eine Einfachturnhalle angegliedert ist und damit zum dezentralen Verbrauch auch die dezentrale Solargewinnung Vorteile bringt. Das Kollektorfeld auf der Mehrzweckhalle ist auf der Südseite mit einer Neigung von 30° installiert.

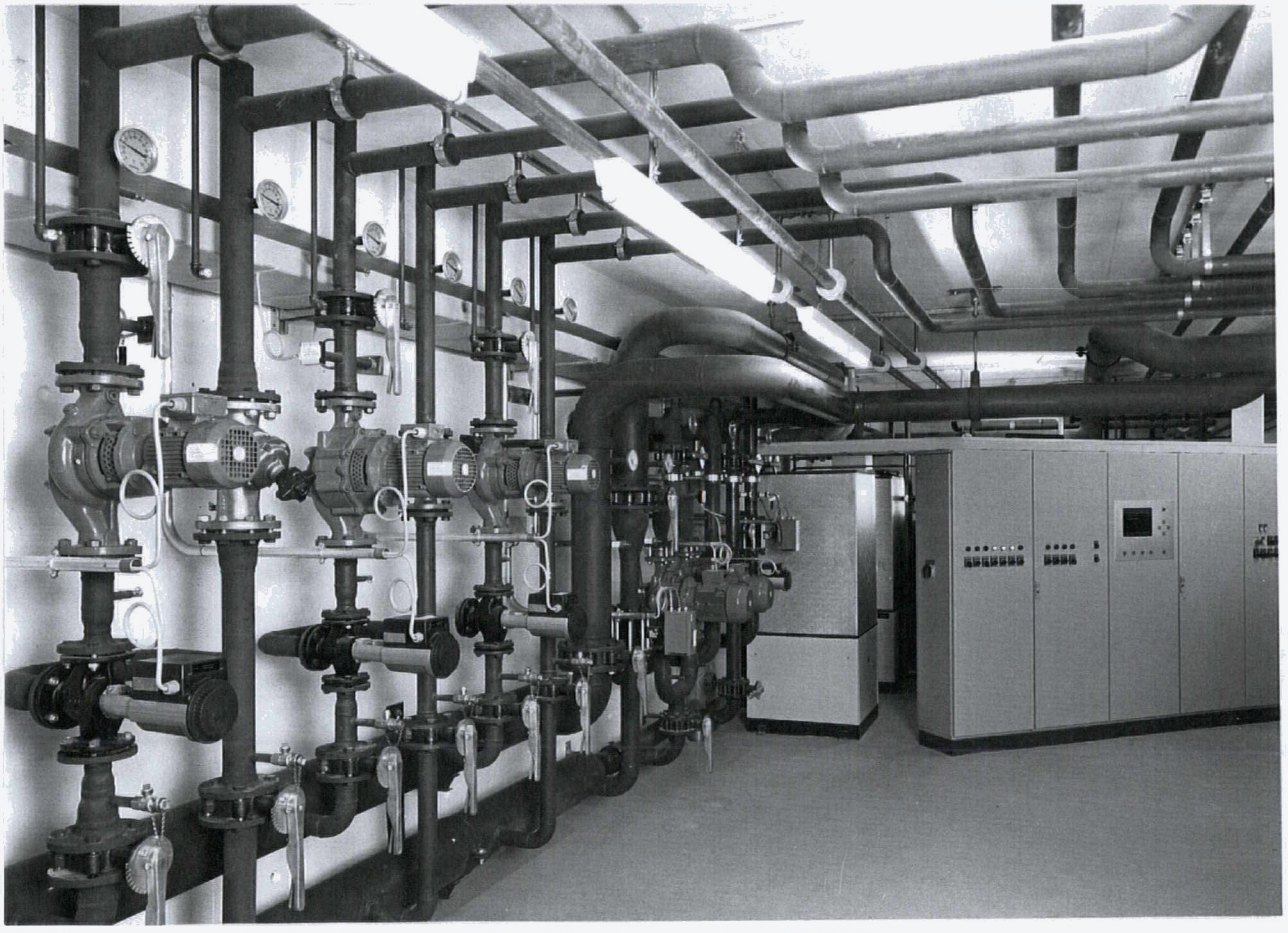
Um eine optimale Betriebszeit der Wärmepumpe erreichen zu können wurde eine Speicheranlage mit 3 x 5'000 Liter Wasserinhalt, in Serie geschaltet, im Konzept integriert. Diese Speicheranlage wird gleichzeitig auch für die zusätzliche Nutzung der Solarenergie für die Heizungsanlage eingesetzt. Sobald die beiden Brauchwarmwasser-Speicher mit je 2'500 Liter Inhalt mit warmem Wasser ab der Solaranlage durchgeladen sind, schaltet die Regulierung den Solarkreislauf auf die Heizungsspeicher um. Dort ist ein spezielles Messsystem verantwortlich, die das mit Solarenergie erwärmte Wasser an der Stelle in die Heizungsspeicher einleitet, wo die gleiche Heizwassertemperatur vorgefunden wird. Dadurch werden zwei Vorteile erreicht, nämlich erstens die Wasserschichtung in den Speichern wird nicht zerstört und zweitens kann auch noch Solarenergie auf tieferem Temperaturniveau in den unteren Speicherzonen zur Nutzung eingeleitet werden.

Die Raumheizung der Mehrzweckhalle ist mit möglichst niedriger Heiztemperatur geplant. Einerseits um die Alternativ-Energie optimal zu nutzen und anderseits um die Gebäude mit höheren Heiztemperaturen, die an der gleichen Nahwärmeverbundanlage angeschlossen wurden, möglichst gut zu kompensieren. Im Neubauteil der Primarschule Steig wurden ebenfalls tiefe Planungstemperaturen für die Raumheizung verlangt.

Aus energetischer Sicht entspricht die Anlage für die Nutzung von Alternativenergie unter Einbezug einer Wärmepumpe und einer Solaranlage einem sehr fortschrittlichen Konzept. Ein Blockschema der Wärmeerzeugung ist im Anhang zu finden.



VakuumSonnenkollektoren auf dem Dach der Mehrzweckhalle



Wärmeverteiler in der Heizzentrale Nahwärmeverbund MZH

2. Ziel der Arbeit

Die Grundlage für den nachstehenden Fragenkatalog bildet der Bericht "P+D-Projekte: Formulierung von Messzielen vom 28.12. 1994. Danach sind im Rahmen von P+D-Projekten Fragen zu formulieren, die sich an energiewirtschaftlichen und betrieblichen Interessenlagen orientieren. Man geht davon aus, dass die Brauchbarkeit der verwendeten Technik erwiesen ist.

Zu dieser Kategorie von Fragen gehören

a) die Reduktion des Endenergieverbrauchs im Vergleich zu einer konventionellen Heizanlage
b) die spezifischen Investitionskosten pro kW installierter Heizleistung
c) die Kosten pro kWh erzeugter Nutzwärme
d) Betriebserfahrung und Betriebskosten
c) Planerische Erfahrungen von allgemeinem Nutzen.

Die Heizanlage in der Mehrzweckanlage Rorschacherberg ist mit drei Nutzwärmeerzeugern ausgestattet, nämlich einem Spitzenlastkessel, einer Wärmepumpe mit Erdsonde als Wärmequelle und einer Solaranlage mit Vakuumkollektoren und einer dezentralen Solaranlage mit Flachkollektoren.

Die Wärmepumpe und die Solarkollektoren sind an sich als bereits bewährte Komponenten zu betrachten. Eine konzeptionelle Besonderheit bildet die kaskadierte Nutzung der Sonnenenergie in drei Stufen. Dieses Konzept soll bezüglich energetischer und wirtschaftlicher Bilanz etwas detaillierter untersucht werden.

Zur Beurteilung und Beantwortung dieser Fragen muss das Betriebskonzept der Anlage klar dargestellt werden (z.B. nach welchen Kriterien erfolgt die Wahl der Nutzungsarten). Die monatliche Aufschlüsselung der Energieverbräuche ist in Zusammenhang mit planerischen Aspekten und der Betriebsoptimierung von Interesse. Die Wahl der Methodik zur Beantwortung dieser Fragen ist Sache des Auftragnehmers.

3. Messkonzept

Um die Energieströme messtechnisch erfassen zu können wurden 9 Wärmezähler benötigt. Die wichtigsten Zähler bleiben in der Anlage eingebaut, damit der Anlagebetreiber auch weiterhin seine eigenen Auswertungen, respektive Erfolgskontrollen durchführen kann.

Um die wichtigsten Funktionen und Temperaturniveau zu erfassen, waren zusätzlich zu der Energiemessung 7 Temperatur- und 13 digitale Messstellen für Betriebszeiten sowie ein Strahlungsmessgerät für die Solareinstrahlung eingebaut worden. (Messstellenplan im Anhang)

Die Messpunkte wurden mit einem Scanner laufend erfasst und als Mittelwerte über jeweils 15 Minuten gespeichert. Parallel dazu wurden die Wärmezähler regelmässig abgelesen und in einem Handprotokoll festgehalten.

4. Hauptergebnisse

4.1 Energieproduktion für Heizung und Warmwasserbereitung

Der Gesamtwärmebedarf ist während eines Betriebsjahres vom 1. Okt 1995 bis 31. Sept. 1996 erfasst und ausgewertet worden. In der nachstehenden Tabelle sind die gesamten Energiewerte ersichtlich.

			Wärmepumpen-anlage			Heizkessel-Anlage		Elektro	Wärme-verteilung		Solarenergie-nutzung	
Monat	Datum	HGT Messung Monat	WP-Elektro (Input)	WP-Kondensator	WP-Verdampfer	Heizkessel (Gasbetrieb)	Gasbedarf (Input) HK	Heizungsanlage (ohne WP)	Fernleitung	Mehrzweckhalle	Solaranlage MZH	Solaranlage Steig
			[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
Okt. 95	31.10.95	79.20	8.24	42.05	32.01	1.27	1.56	2.28	35.01	4.58	1.44	1.60
Nov. 95	30.11.95	466.60	7.64	33.36	27.31	64.20	79.80	3.70	66.51	14.52	0.17	0.35
Dez. 95	31.12.95	566.20	7.45	32.03	27.15	93.28	105.39	4.12	86.10	21.23	0.03	0.00
Jan. 96	31.01.96	577.10	6.96	30.33	26.56	98.17	113.08	4.15	88.75	21.01	0.03	0.00
Feb. 96	29.02.96	539.40	6.61	26.54	23.29	94.04	123.65	3.99	83.18	19.71	0.61	0.87
Mrz. 96	31.03.96	508.20	7.07	31.17	27.34	69.09	78.07	3.39	69.09	15.57	2.24	2.90
Apr. 96	30.04.96	238.50	7.72	33.70	29.62	24.17	26.62	3.23	43.02	11.92	5.00	8.50
Mai. 96	31.05.96	73.70	6.34	34.47	29.11	1.06	1.49	2.17	32.62	4.40	4.95	6.00
Jun. 96	30.06.96	0.00	0.75	2.40	1.95	0.00	0.30	1.18	1.04	3.25	6.58	3.90
Jul. 96	31.07.96	0.00	0.52	1.71	1.42	0.00	0.00	1.30	0.63	2.81	6.87	?
Aug. 96	31.08.96	0.00	1.37	1.62	1.33	0.00	0.00	1.39	0.07	3.32	5.56	?
Sep. 96	30.09.96	189.70	8.54	37.66	32.44	2.03	2.54	2.52	34.63	5.13	3.69	?
Total			69.21	307.04	259.54	447.32	532.49	33.40	540.66	127.44	37.16	24.12

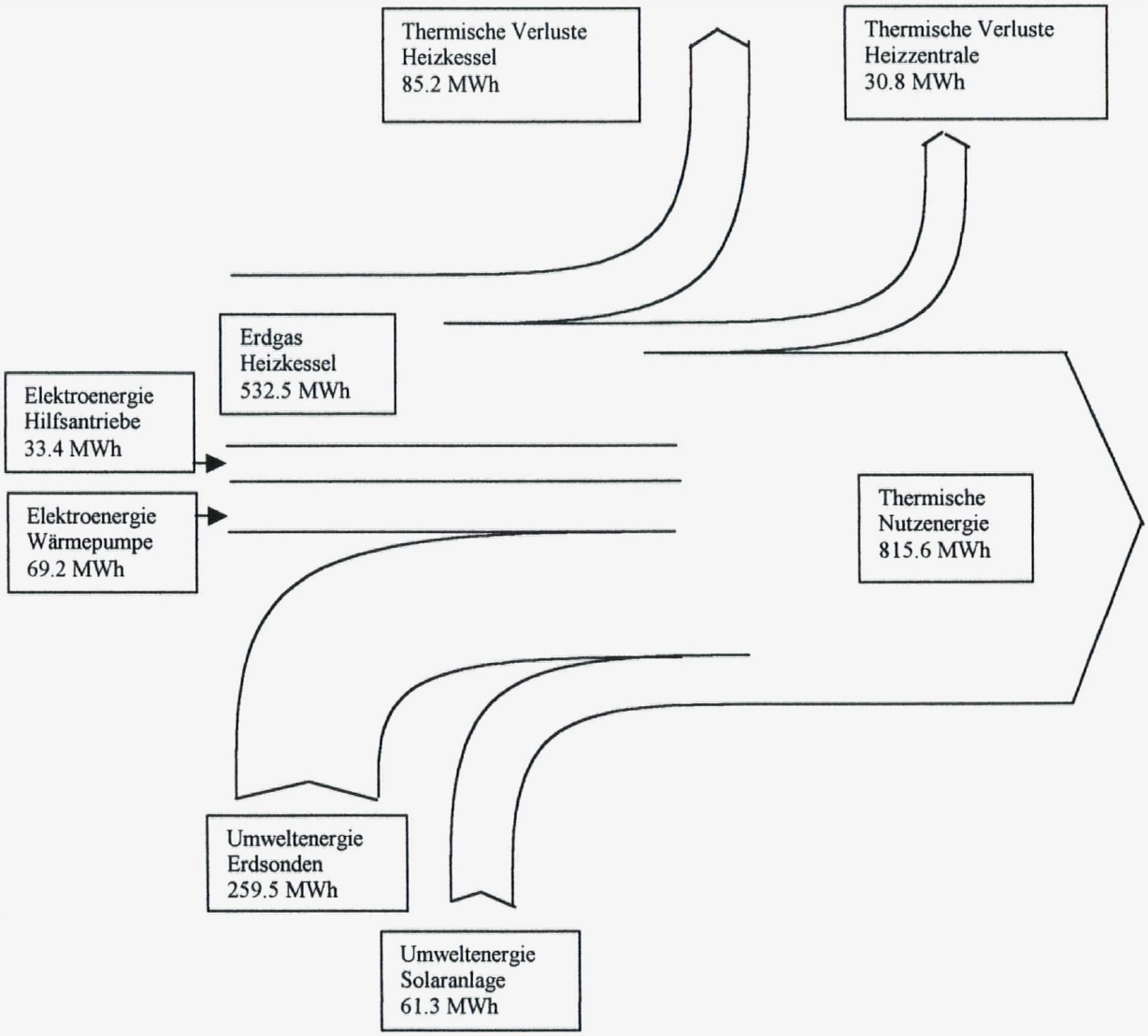
Die gesamte erzeugte thermische Energieproduktion beträgt im untersuchten Betriebsjahr 754.3 MWh, aufgeteilt in Wärmepumpe 307 MWh und Heizkessel mit Gasbetrieb 447.3 MWh. Dazu kommen noch die Energieerträge der beiden Solaranlagen von 37.2 MWh (Solaranlage MZH) und 24.1 MWh (Solaranlage Steig) bei der ab Juli 96 die Wärmemessung ausgefallen war. Die Messwerte bei der Solaranlage Steig sind bereits in den Monaten April und Mai sehr hoch und sind mit etwas Vorsicht zu verwenden. Als Plausibilitätstest wurden die Messwerte mit den Handablesungen verglichen und kaum Abweichungen festgestellt.

Die Energieproduktion aufgeteilt nach Monaten über das Betriebsjahr 1995/96 findet man im Anhang des Berichtes. Interessant ist der Verlauf der Heizgradtage, die für diesen Fall aus den Messwerten berechnet worden sind.

Die Betriebszeiten der beiden Wärmeerzeuger Wärmepumpe und Heizkessel wurden über die Heizperiode Winter 1995/96 untersucht. Die Betriebsart, d.h. wann wird welches Gerät eingeschaltet konnte nicht direkt untersucht werden.

4.2 Energieflussdiagramm

Die Energieströme sind für das untersuchte Betriebsjahr im nachstehenden Energieflussschema dargestellt.



Energiefluss-Diagramm der Wärmeerzeugungsanlage Nahwärmeverbund MZH

Die einzelnen Energieströme sind entsprechend der Zuordnung ausgerichtet:

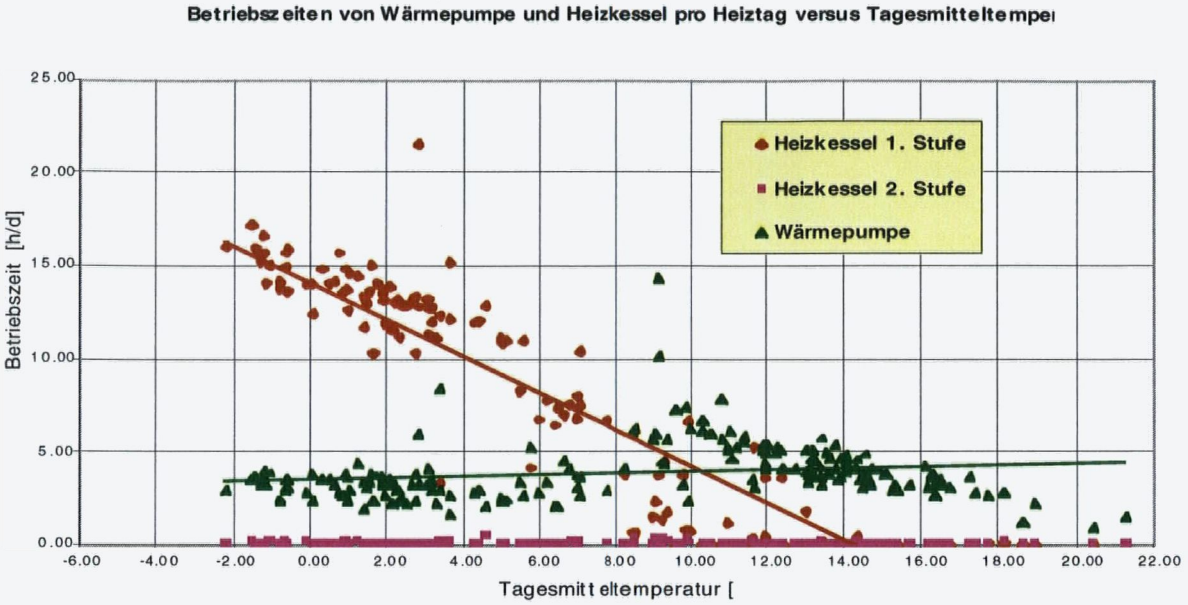
Linke Seite	Kostenpflichtige Energieströme
Untere Seite	Umweltenergiegewinn
Obere Seite	Verlustenergieströme
Rechte Seite	Thermische Nutzenergie

Der Gesamtanlage-Wirkungsgrad beträgt demnach:

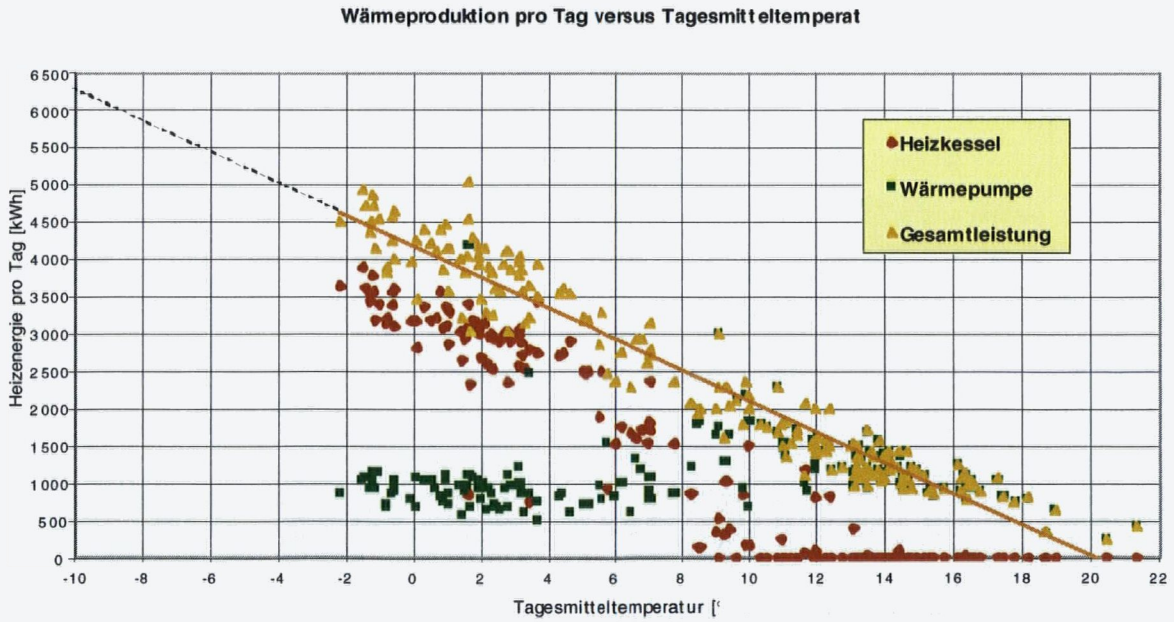
Thermische Nutzenergie	815.6	MWh
Kostenpflichtige Energieaufnahme	635.1	MWh
System-Nutzungsgrad	**1.28**	

4.3 Betriebs- und Leistungswerte

Im nachstehenden Diagramm sind die verschiedenen Wärmeerzeuger sowie die Unterscheidung der beiden Betriebsstufen beim Heizkessel klar ersichtlich. Dass die zweite Stufe des Heizkessels praktisch nicht läuft, ist erklärbar, da diese nur beim Ausfall der Wärmepumpe eingeschaltet wird.



Die benötigte Heizleistung wurde mittels Tagesbilanzen erstellt, da es schwierig ist eine aussagekräftige Leistungsbilanz mit Stundenwerten zu erstellen. Die benötigte Heizleistung (Stundenwert) kann mit der max. zulässigen Betriebsstundenzahl pro Tag leicht errechnet werden.



Gemäss der Grafik beträgt die benötigte Tages-Heizenergie bei einer Aussentemperatur von ta= -10 °C (Tagesmitteltemperatur) rund 6300 kWh. Nimmt man einen normalen Auslastungsgrad von ca. 75% an, was 18 Vollbetriebsstunden pro Tag ergibt, beträgt die benötigte Heizleistung Q_h=350 kW.

Aus den Energiebilanzen und den ermittelten Betriebszeiten der Wärmeerzeuger wurde die aktuelle Heizleistung rechnerisch bestimmt. Die einregulierten Betriebsleistungen betragen für die Wärmepumpe Q_h = 295 kW und für den Heizkessel mit der ersten Stufe Q_h = 227 kW.

In der vorstehenden Grafik ist sehr schön ersichtlich, dass bis zu einer Tagesmitteltemperatur von ta =+ 10 °C die Wärmepumpe alleine und darunter der Heizkessel auf der ersten Stufe mit der Wärmepumpe zusammen läuft.

Entsprechend der Heizleistung der Wärmepumpe von 295 kW könnte diese jedoch die Wärmeerzeugung bis hinunter auf –5 °C alleine erbringen. Auf die Gründe wird im Kap. 5 eingegangen.

4.4 Endenergieverbrauch einer Referenzanlage mit Heizkessel

Als Energiequelle wird Erdgas genommen, da der Heizkessel in der Beurteilungszeit nur mit Erdgas betrieben wurde.

Die Gesamt-Wärmeproduktion, die im Nahwärmeverbund genutzt worden ist, beträgt

Wärmepumpe	307.04	MWh
Heizkessel	447.32	MWh
Solaranlage MZH	37.16	MWh
Solaranlage Steig	24.12	MWh
Gesamt-Wärmeproduktion	**815.64**	**MWh**

Der Heizkessel, der in der vorliegenden Anlage eingebaut ist, hat gemäss Zusammenstellung einem Wirkungsgrad von η=0.84 (Energie-Input 532.49 und Energieproduktion 447.32 MWh).

Nimmt man den gleichen Wirkungsgrad an, würde bei der Anlage MZH ein **Gesamt-Endenergieaufwand von 970 MWh** benötigt. Eingespart wurden also 437.5 MWh Heizoel EL.

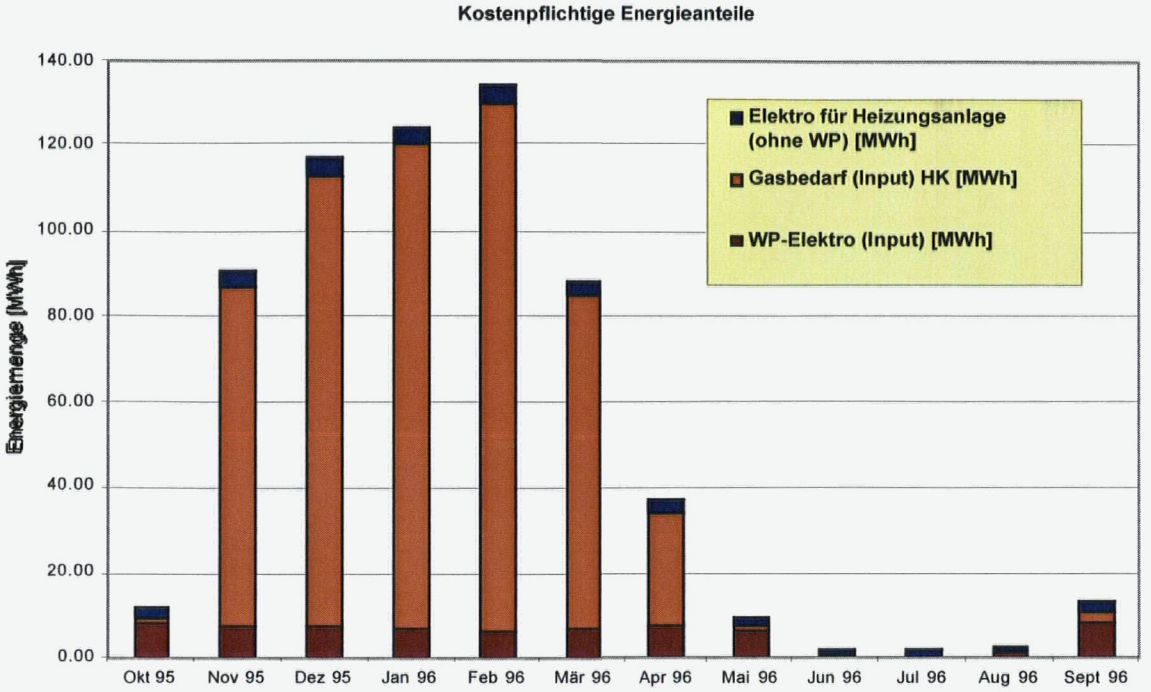
Wenn beim Kesselwirkungsgrad im Optimalfall ein Wert von η=0.95 angenommen würde, welches einer kondensierenden Kesselanlage entsprechen würde, benötigte man immer noch eine Gesamt-Endenergiemenge von ca. 860 MWh.

4.5 Endenergieverbrauch beim Nahwärmeverbund MZH

Der Endenergieverbrauch des Nahwärmeverbundes MZH beträgt im untersuchten Betriebsjahr aufgeteilt nach Hauptgruppen:

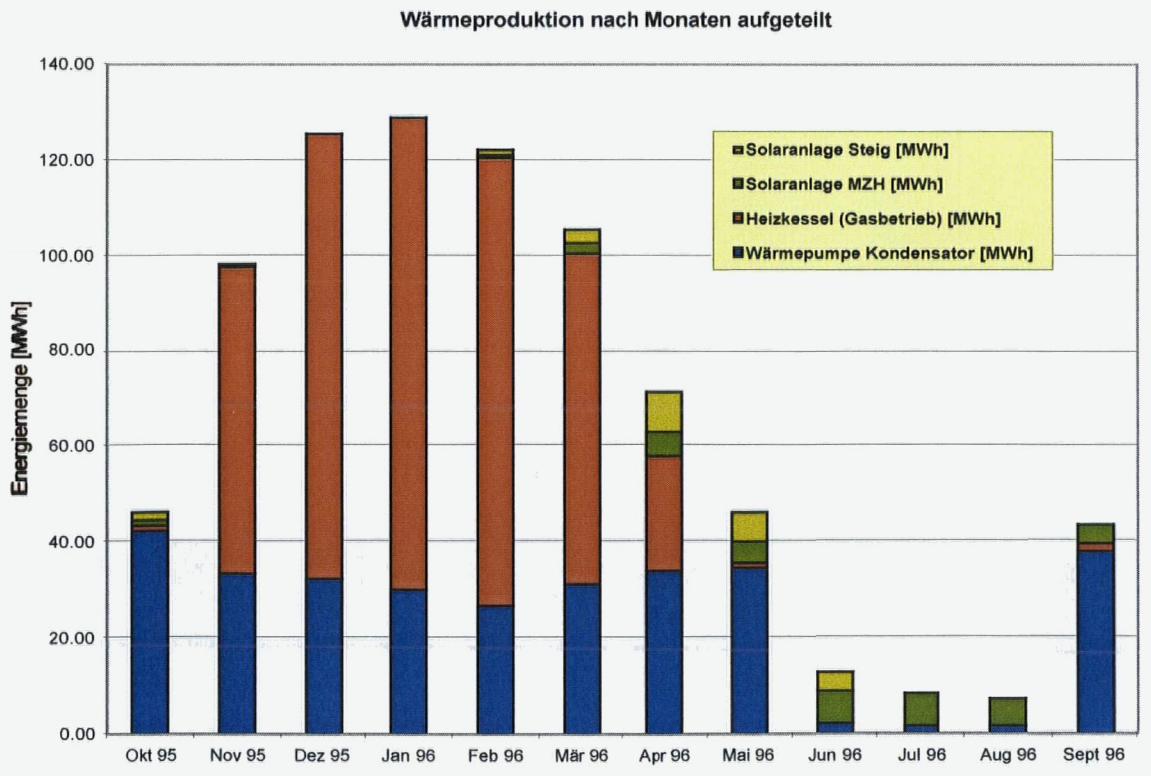
Wärmepumpe (Elektro)	69.21	MWh
Heizkessel	532.49	MWh
Heizung allgemein(Elektro)	33.40	MWh
Gesamt-Endenergiemenge	**635.10**	**MWh**

Die Aufteilung der Endenergie nach Monaten ist in der nachstehenden Grafik ersichtlich.



4.6 Wärmeproduktion der vorliegenden Heizungsanlage

Die Gesamt-Wärmeproduktion, gemäss der Tabelle in Kap. 4.1 beträgt für die einzelnen Wärmerzeugungsanlagen pro Monat:



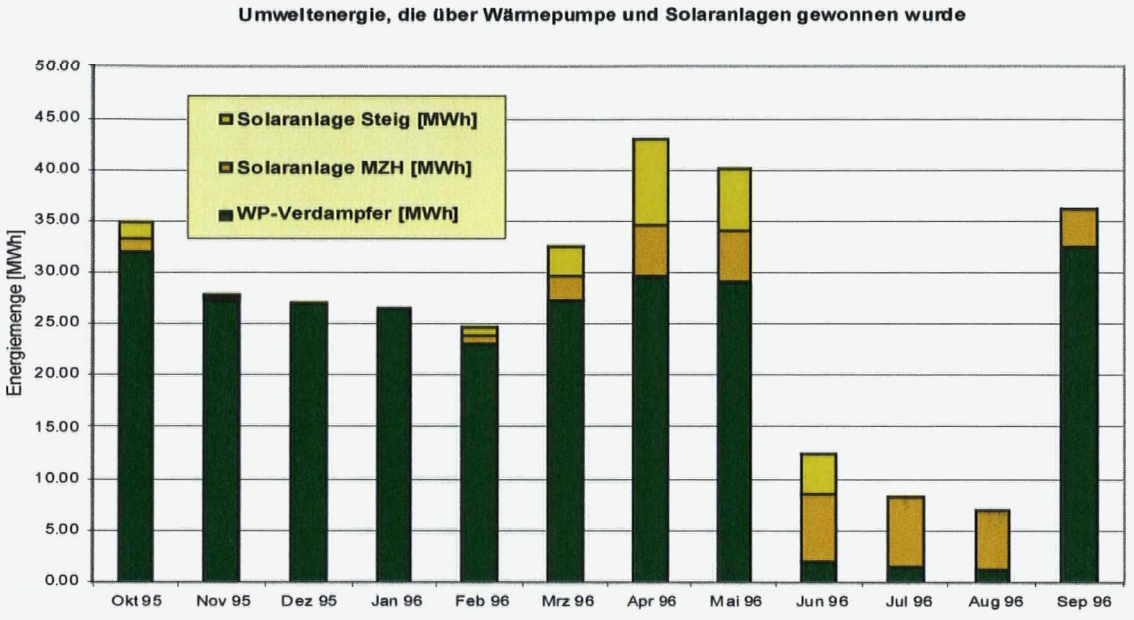
Die Wärmepumpe erbringt die Grundlast und der Heizkessel deckt die im Winter auftretende Spitzenlast ab. Das deutliche Absinken des Energieanteils

der Wärmepumpe in den Wintermonaten hat seinen Grund, denn die Wärmepumpe hat eine begrenzte Rücklauftemperatur bei max. 45 °C und diese ist in den Wintermonaten meistens höher.

4.7 Umweltenergieanteile beim Nahwärmeverbund MZH

Die Aufteilung der Umweltenergie (Gesamtwert 320.82 MWh) nach Kalendermonaten zeigt sich im Betriebsjahr wie folgt:

Wärmepumpe (aus Erdsondenfeld)	259.54	MWh	81 %
Solarenergie (von beiden Anlagen)	61.28	MWh	19 %
Gesamt-Umweltenergiemenge	**320.82**	**MWh**	**100 %**



Dass die Werte der Wärmepumpenanlage (WP-Verdampfer) in den Sommermonaten kleiner sind, ist nur auf den Umstand zurück zu führen, dass in diesen Monaten keine Heizenergie sondern nur Warmwasserbereitstellung benötigt wird.

4.8 Sole/Wasser-Wärmepumpe (Kältemittel R22)

Die Wärmepumpe ist als vierstufige Maschine konzipiert. Die vier halbhermetischen Komressoren, Fabrikat DWM Copeland, sind in zwei komplett getrennte Kältekreisläufe aufgeteilt. Damit kann die Maschine auch beim Ausfall eines Kompressors oder Kreislaufes immer noch mit 50% Leistung betrieben werden.

Die technischen Daten gemäss Angaben der Lieferfirma lauten wie folgt:

Kondensatorleistung	350 kW	Soletemperaturen	0/-3 °C
Kälteleistung	225 kW	Kältemittel	R22
Vorlauftemperatur max.	54 °C		

Die Jahresarbeitszahl JAZ ist aufgrund der gemessenen Energieströme sehr gut und beträgt:

Produzierte Wärmemenge	307.04	MWh	
Aufgenommene Elektroenergie	69.21	MWh	(ohne Nebenantriebe)
Leistungszahl ε (netto)	**4.44**		(nach Ravel WP)

Berücksichtigt man die notwendigen Nebenantriebe, wie Umwälzpumpen für Erdsondenkreislauf und Kondensator-Umwälzpumpe müssen rund 10 MWh aufgenommene Elektroenergie dazugerechnet werden.

Produzierte Wärmemenge	307.04	MWh	
Aufgenommene Elektroenergie	79.21	MWh	(mit Nebenantrieben)
Jahresarbeitszahl JAZ	**3.88**		(nach Ravel WPA)

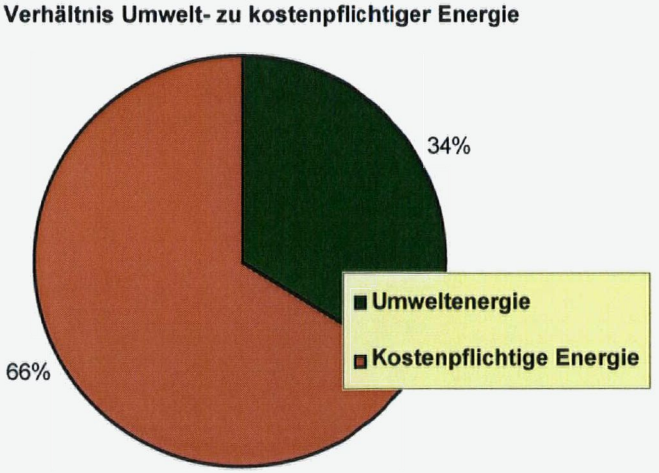
Die heute eingesetzten Kältemittel, die für einen derartigen Wärmepumpeneinsatz in Frage kommen, sind R134A, R407C sowie R417A (Isceon 59). Im Vergleich ergeben sich für diese Kältemittel jedoch unterschiedliche Leistungswerte. Einzig R407C ist praktisch identisch mit dem eingesetzten Kältemittel R22, da es die gleiche Leistung und eine gleich hohe Kondensationstemperatur von 56°C erreicht. Beim R134A können zwar wesentlich höhere Kondensationstemperaturen (bis 70 °C) gefahren werden aber die mit der gleichen Maschine erzielbare Heizleistung ist um ca. 40% kleiner. Das neu auf dem Markt erhältliche Kälte-mittel R417A ist als Ersatz des eingesetzten Kältemittels idealer, da es bis zu Kondensationstemperaturen von 65°C eingesetzt werden kann und beim Einsatz mit der vorhandenen Wärmepumpe nur ca. 10% weniger Heizleistung bringt.

Wenn man die Umrüstung der bestehenden Wärmepumpe betrachtet, ist noch der Unterschied beim Oel, das im Kältekreislauf eingefüllt wird, zu berücksichtigen. Maschinen mit R22 und R417A haben eine Mineraloelfüllung und die beiden anderen (R134A und R407C) sind mit Esteroel gefüllt. Eine Umrüstung mit einem anderen Oel bedingt aufwendige Reinigungsarbeiten im Kältekreislauf.

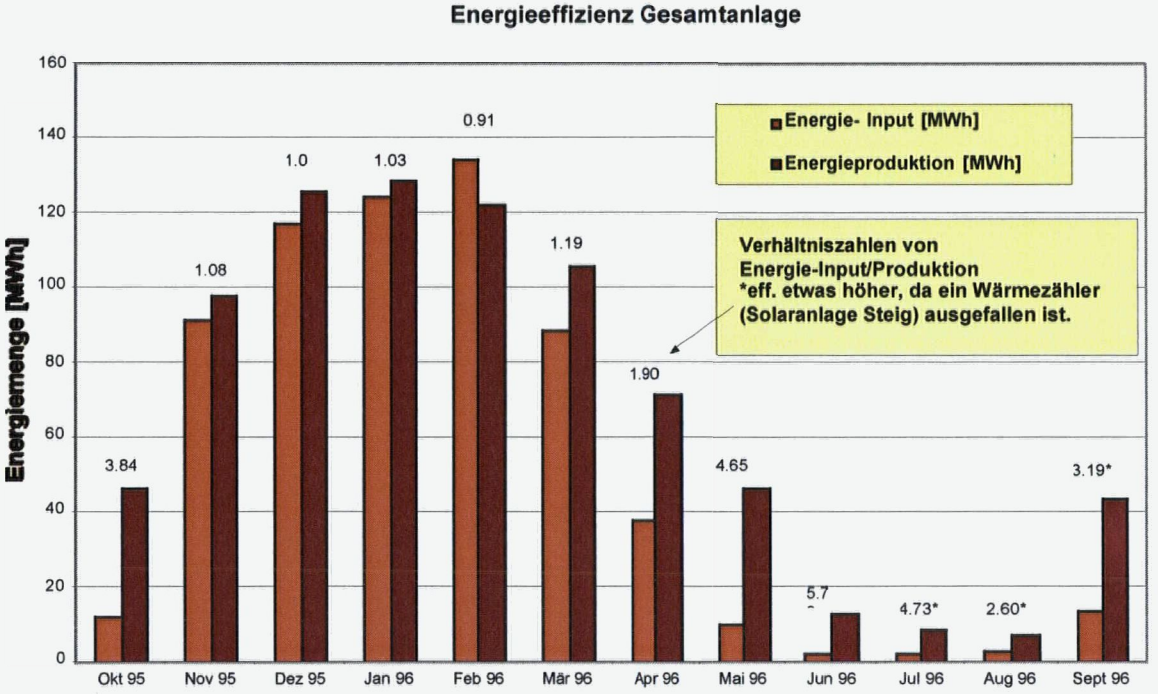
4.9 Energieeffizienz der Gesamtanlage Nahwärmeverbund MZH

Das Verhältnis der kostenpflichtigen Energie zur produzierten Gesamtenergie ist von grossem Interesse, da daran der Beitrag zum Umweltschutz ersichtlich ist.

Umweltenergie	320.82	MWh
Kostenpflichtige Energie	627.10	MWh
Gesamt-Wärmeproduktion	**815.64**	**MWh**



Die Energieeffizienz ändert sich im Verlaufe der Monate, je nach Anforderung und Aussentemperatur. In der nachstehenden Grafik sind die monatlichen Werte für die untersuchte Betriebsperiode ersichtlich. Interessant ist, dass nur im Februar der wert unter 1.0 sinkt, d.h. dass in allen anderen Monaten die verbrauchte Energiemenge grösser war als der Energie-Input.



4.10 Brauch-Warmwasserbereitung

Die Warmwasserbereitung (BWW) wird einerseits mit Sonnenenergie und zusätzlich mit der Heizungsanlage (Wärmepumpe und Heizkessel) betrieben. Das Brauch-Warmwasser wird über Wärmetauscher, getrennt für Solar- und Heizbetrieb, aufbereitet und in zwei Speicher von je 2'500 Liter Inhalt gestapelt. Mittels einer Mischstation wird vor allem für den Duschenbereich das Warmwasser durch Kaltwasserbeigabe auf die gewünschte Temperatur herunter gemischt. Ein Prinzipschema liegt im Anhang bei. Für die Bestimmung und Beurteilung der Verbrauchswerte waren neben den Messwerten ein Bele-

gungsplan wertvoll. So konnte der enorm hohe Warmwasserverbrauch in den Tagen 7. und 8. Sept. 96 (9'900 und 16'800 Liter/Tag) erklärt werden (SMS Sektionsturntage).

Die Auswertungen waren nicht sehr einfach, da man keine absolute Regelmässigkeit feststellen konnte. Lediglich war fest zu stellen, dass die Wochentage einiger Massen ähnliche Verbrauchswerte erkennen liessen. So sind die vier Wochentage Dienstag bis Freitag deutlich höher im Verbrauch.

Durchschnittliche Tageswerte für BWW-Verbrauch:

Montag	389	Liter/Tag
Dienstag	1081	Liter/Tag
Mittwoch	1230	Liter/Tag
Donnerstag	971	Liter/Tag
Freitag	998	Liter/Tag
Samstag	514	Liter/Tag
Sonntag	756	Liter/Tag

Was auffällt ist, dass die Verbrauchszahlen gegenüber der Bereitstellungsanlage und dem Speichervolumen von 5'000 Liter sehr niedrig sind. Dies zeigt einmal mehr, dass die BWW-Bereitung auch hier wesentlich überdimensioniert ist. Die zur Verfügung stehenden Duschenanlagen werden viel weniger genutzt als geplant worden ist. Die Auswertung umfasst ca. 300 Tage. Den Verlauf der Verbrauchszahlen während des Beurteilungsjahres findet man im Anhang vor.

5. Erkenntnisse aus dem Betrieb

5.1 Rücklauftemperatur der Fernleitung

Im Kapitel 1 wurde bereits erwähnt, dass der Wärmepumpenbetrieb stark von der Rücklauftemperatur abhängig ist. Um im Nahwärmeverbund MZH den Einsatz einer Wärmepumpe sicherstellen zu können, war die Mehrzweckhalle als Neubau mit optimalen energetischen Voraussetzungen zwingend, denn die Heiztemperaturen konnten hier sehr tief gehalten werden. Der Einbezug von weiteren Gebäuden (Sekundar- und Realschule) als Altbauten mit höheren Heiztemperaturen war nur dank der Einbindung der Mehrzweckhalle möglich, denn sonst wären die Rücklauftemperaturen von Anfang an zu hoch gewesen.

Den Berechnungen zugrunde liegende Leistungsanteile:

Mehrzweckhalle Heizung	120	kW		
Mehrzweckhalle Lüftung	67	kW	total	187 kW
Fernleitung:				
Sekundarschule	178	kW		
Realschule Altbau	77	kW		
Realschule Neubau	178	kW	total	433 kW
Vorgesehen für späteren Anschluss an Fernleitung:				
Altersheim	315	kW		
Bauamt/Feuerwehr	75	kW	total	390 kW

Zum Zeitpunkt der Beurteilung waren die letzten beiden Gebäude noch nicht angeschlossen. Dazu wurde festgestellt, dass die Realschule trotz des Neubaues zwischen 3 – 4 °C höhere Heiztemperaturen benötigte als in den Vorgaben festgehalten war. Auch der Anteil der beiden Anlagenblöcke MZH und Schulhäuser (über Fernleitung) gemäss Vorgaben war zu ungunsten der Situation verändert:

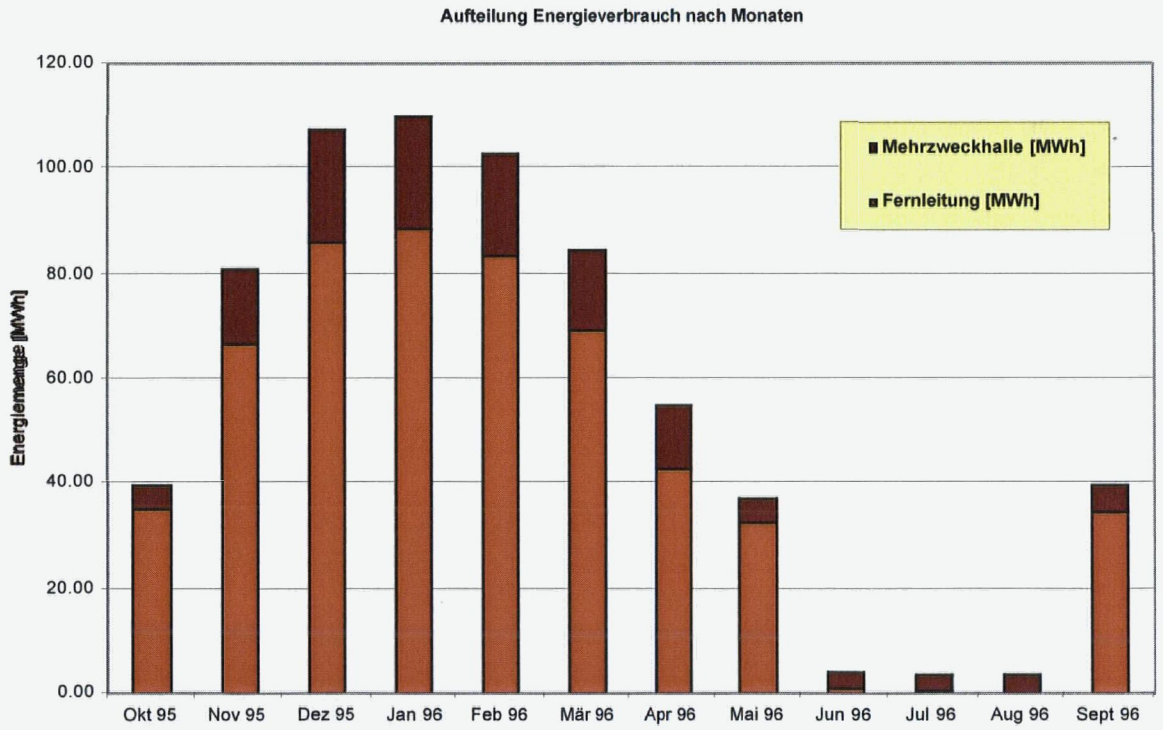
Anteil MZH	187 kW	30 %
Fernleitung	433 kW	70 %

Da ähnliche Betriebsbedingungen vorliegen, können die Jahresenergiemengen ungefähr gleich den Anteilen der Leistung gesetzt werden.

Vergleicht man die gemessenen Energieverbrauchszahlen im Beurteilungsjahr, sieht das Bild etwas anders aus:

Anteil MZH	127.5 MWh	19 %
Fernleitung	540.5 MWh	81 %

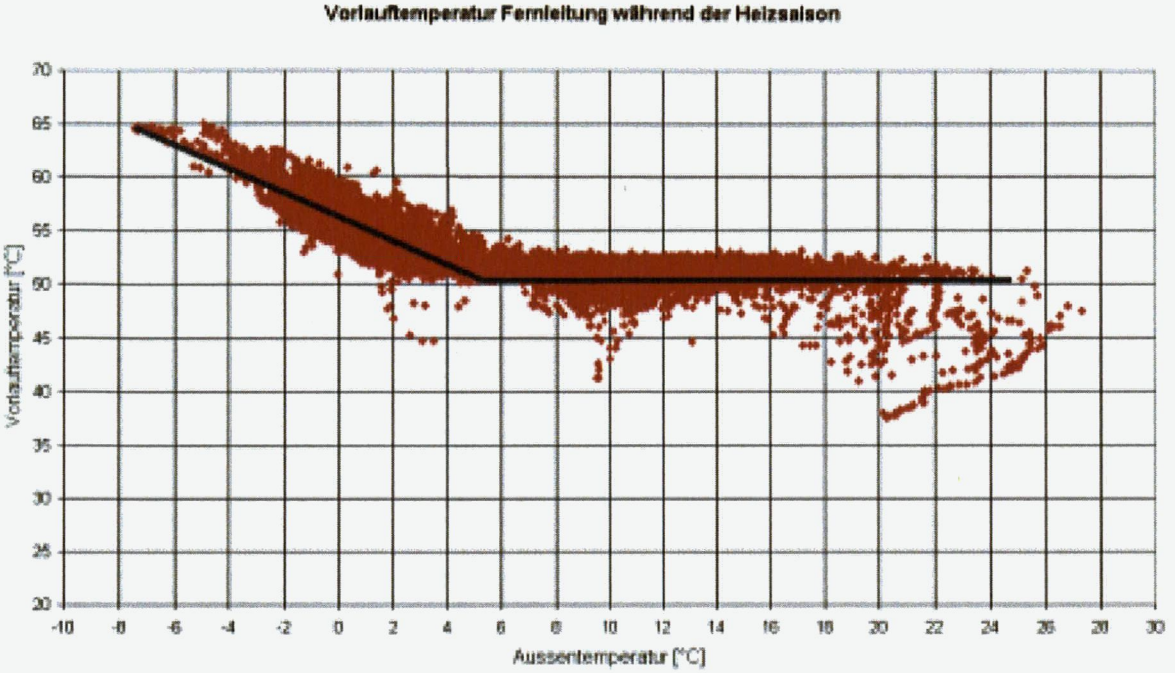
Die Aufteilung des Energieverbrauches auf die beiden Blöcke ist in der nachfolgenden Grafik mit den Monatswerten sowie in der Tabelle im Kapitel 4.1 ersichtlich.



Die besonderen Verhältnisse bei den Anforderungen der Heiztemperaturen der angeschlossenen Schulhäuser (etwas überhöhte Werte, vor allem in der Übergangszeit) führte zu einem speziellen Regelungskonzept der Fernleitung, indem man die Vorlauftemperatur über +5 °C Aussentemperatur nicht weiter absinken liess, sondern auf einem Wert von +50 ° konstant hielt.

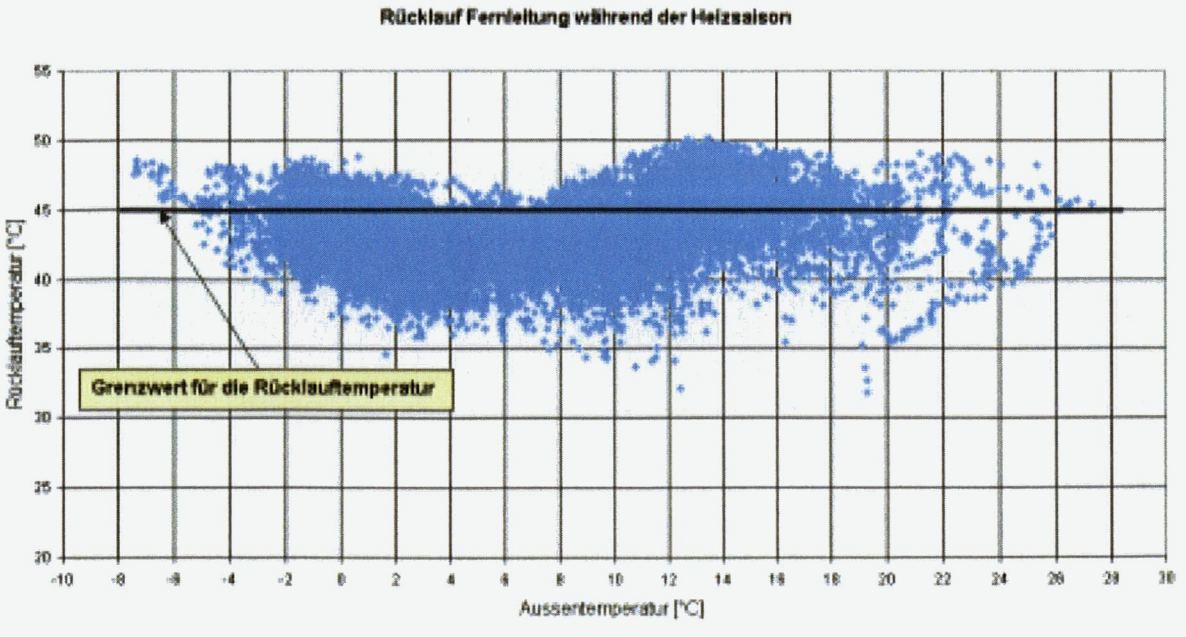
Die Sole/Wasser-Wärmepumpe, mit R22 betrieben, kann bezüglich der max. erreichbaren Heiztemperaturen höchstens 53 bis 54 °C Vorlauftemperatur beim Kondensatoraustritt erreichen.

Zudem wird die mit Frequenzregler drehzahlregulierte Fernleitungspumpe nicht genügend tief gefahren, d.h. dass der Massenstrom bei höheren Aussentemperaturen zu wenig abnimmt und dadurch die Temperaturdifferenz zwischen dem Vorlauf und Rücklauf in der Fernleitung bei höheren Aussentemperaturen zu klein ist.

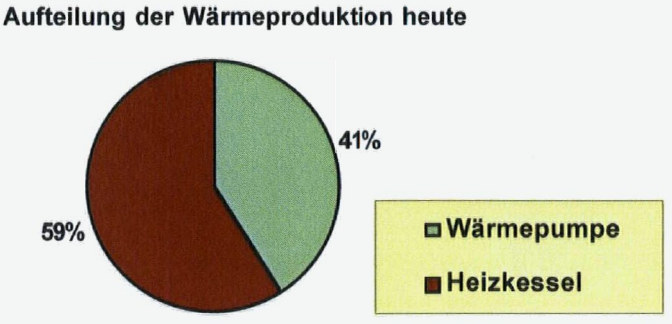


Die Temperaturdifferenz sollte zufolge der Massenstromregulierung in der Fernleitung einiger Massen konstant bleiben, gemäss der Grafik (Anhang) nimmt die Differenz bei höheren Aussentemperaturen deutlich ab. Die Konsequenz daraus ist in der nächsten Grafik über den Rücklauf der Fernleitung deutlich sichtbar. Die Rücklauftemperatur steigt bei Zunahme der Aussentemperatur wieder an. Dadurch sind wesentlich mehr Werte über +45 °C, die als Grenzwert für den Betrieb der Wärmepumpe zugelassen sind.

Die Grafik zeigt den Verlauf über alle gemessenen Rücklauftemperaturwerte während des untersuchten Betriebsjahres.



Wäre das Verhalten des Rücklaufes normal, würden die Werte über +7 °C alle unter +45 °C liegen und die Wärmepumpe könnte wesentlich mehr betrieben werden, sodass der Produktionsanteil der Wärmepumpe stark erhöht würde.



Die mögliche Aufteilung der Energieproduktion zwischen Wärmepumpe und Heizkessel könnte im Optimalfall gegenüber der heutigen Situation das umgekehrte Verhältnis von 60% Wärmepumpe und 40% Heizkesselanteil sein. Es wäre sogar ein Produktionsanteil der Wärmepumpe von bis zu 75% erreichbar.

5.2 Nutzung der Solarenergie in zweiter und dritter Sequenz

Die Solaranlage im Mehrzweckgebäude wurde für die optimale Nutzung der gewonnenen Energie mit einem erweiterten Regelkonzept und zusätzlichen Regelorganen und Anschlüssen ausgerüstet. Speziell wollte man die Energie auf niedrigem Temperaturniveau dem Heizungsspeicher zuführen, um in der Übergangszeit eine höhere Energieausbeute zu erreichen.

So wurde die Solarenergiennutzung in drei Sequenzen vorgesehen:

1. Priorität:	Nutzung für die BWW-Erwärmung
2. Priorität	Nutzung durch Einleitung in Heizungsspeicher
3. Priorität	Nutzung durch Einleitung in den Erdsondenkreislauf

Die ersten beiden Nutzungsbereiche funktionieren gemäss den Messungen ohne Beanstandungen. Die nutzbare Solarenergiemenge ist jedenfalls wesentlich grösser als die zur BWW-Erwärmung benötigte Energiemenge. Daraus ist leicht erklärbar, dass die 2. Priorität zur Nutzung im Heizungssystem ebenfalls funktioniert hat.

Leider konnten diese Auswertungen nicht mit genügender Genauigkeit durchgeführt werden. Eine Abschätzung lässt erahnen, dass ca. die Hälfte der aufgefangenen Solarenergie in das Heizsystem eingeleitet worden ist. Da aber ein unbekannter Anteil auf die Sommermonate fällt, wo die Heizung nicht im Betrieb war, ist der genutzte Anteil sicher kleiner.

Die dritte Priorität hat sich nicht bewährt. Es konnte praktisch keine Energie an den Erdsondenkreislauf abgegeben werden.

Im Anhang sind einige Grafiken über die Solaranlage MZH, die einen etwas tieferen Einblick geben.

6. Ausblick

Die untersuchte Wärmeerzeugungsanlage samt dem Nahwärmeverbund ist auf den ersten Blick eher komplex. Beim genaueren Betrachten ist es aber schnell ersichtlich, dass das Konzept in den Grundsätzen stimmt. Eigentliche Fehlinvestitionen sind nur im Bereich der Solaranlage dritter Priorität zu finden und diese waren nicht sehr hoch (ca. 12'000.-- CHF).

Im Kosten-Nutzen-Vergleich sind nach wie vor die Solaranlagen eher kritisch zu betrachten. Im Vergleich zwischen der gewonnenen Umweltenergie und der getätigten Investition schneidet die Wärmepumpe wesentlich besser ab.

Wärmepumpenanlage	Investition ca. 620'000 CHF Umweltenergieertrag 260'000 kWh/a 0.42 kWh/a pro investierten Franken
Solaranlage MZH	Investition ca. 170'000 CHF Umweltenergieertrag 37'000 kWh/a 0.22 kWh/a pro investierten Franken

Mit der Wärmepumpe kann bei einem Gas-Heizwert 10.35 kWh/m3 (mit Berücksichtigung des Wirkungsgrades η= 0.84) aufgrund des produzierten Energieanteils von 307'000 kWh/a (gemäss Tabelle in Kap. 4.1) ein Gaspotential von V= 307000/10.35/0.84 = 35'312 m3 substituiert werden.

Leider gibt es für Wärmepumpen praktisch immer noch keinen Spezialtarif für Elektroenergie. Im Zusammenhang mit der CO2-Substitution wäre dies sehr zu begrüssen.

Die ausgemessene Wärmepumpe hat eine sehr gute Jahresarbeitszahl.

Im beurteilten Betriebsjahr beträgt die Leistungszahl ε= 4.44 für die Wärmepumpe alleine und die **Jahresarbeitszahl JAZ ≈ 3.88** (Ravel WPA) unter Berücksichtigung der Nebenantriebe wie Umwälzpumpen, etc.

Die Energiekosten beliefen sich in diesem Betriebsjahr auf ca. CHF 62'000.--, wobei der Anteil für die Elektroenergie ca. 75 % ausgemacht hat. Dies ergibt pro produzierte kWh einen Kostenaufwand für Energie von CHF 0.076.

Rechnet man Unterhaltskosten von rund CHF 10'000.-- für die Wärmepumpe dazu, ergeben sich Betriebskosten pro kWh Heizenergie von ca. CHF 0.088.

Die Kapitalkostenanteile für die Alternativenergie betragen in der Betrachtungszeit bei einer Annuität von 10% bezogen auf die produzierte Nutzenergie für die Wärmepumpenanlage (307 MWh) CHF/kWh 0.202 und für die Solaranlage MZH (37 MWh) CHF/kWh 0.457.

Was bei einer derartigen Anlage eher Schwierigkeiten bereitete, war die starke Aufteilung der Installationsarbeiten. Man wollte möglichst viele Firmen berücksichtigen, da es eine öffentliche Ausschreibung war. Die Koordination

und im speziellen die Verantwortung und der Überblick über die Gesamtanlage führten oft zu Schwierigkeiten. Die Arbeitsvergebung an einen Gesamtverantwortlichen hätte bestimmt zu mehr Effizienz bei der Inbetriebnahme und als Ansprechpartner für Betriebsprobleme und Optimierung geführt (Problem Fernleitung sei hier nochmals erwähnt).

Die Gesamtanlage darf abgesehen von den erwähnten Problemen durchaus positiv beurteilt werden. Die Effizienz ist gut und die Betriebsprobleme mit der Fernleitung dürften sich durch den Anschluss des Altersheims, der mittlerweile vollzogen ist, ebenfalls eher vermindern. Es dürfte sogar möglich sein, dass mit einer optimalen Nachregulierung der Gesamtanlage nun die Wärmepumpe zu wesentlich mehr Betriebsstunden kommt, was sich auf die Gesamtenergiebilanz positiv auswirken muss.

Die Erkenntnisse, die aus den Untersuchungen abgeleitet werden können, sind vor allem bei drei Schwerpunkten zu finden. Erstens sind die Probleme mit den Rücklauftemperaturen der Fernleitung im Zusammenhang mit dem Betrieb der Wärmepumpe, zweitens die Nutzung der Solarenergie in mehreren Kaskaden und drittens die Dimensionierung der Brauchwarmwasserbereitungsanlage zu erwähnen.

Als Fazit könnte man aufgrund der vorliegenden Untersuchung zu folgenden Erkenntnissen kommen:

- Die eher komplexe Integration einer Solaranlage ist fraglich, da die Kosten/Nutzen-Situation bei der Solaranlage am schlechtesten ist. Die Kapitalkosten sind mehr als doppelt so hoch, wie bei der Wärmepumpe.

- Die Kosten der Solaranlage wären besser investiert worden in das Konzept Wärmepumpe/Heizkessel bivalent mit dem Ziel eines möglichst hohen Produktionsanteils der Wärmepumpe (>60% Anteil; ideal 75-80% Anteil).

- Bei Wärmepumpenanlagen spielen die Heiztemperaturen eine grosse Rolle bezüglich Effizienz (Arbeitszahl und Betriebszeiten). Speziell bei grösseren Anlagen, die als Wärmeverbund konzipiert sind, müssen vor allem die bestehenden Gebäude-Heizsysteme hinsichtlich Heiztemperaturen genau abgeklärt werden, um sicher zu stellen, dass beim Betrieb nicht zu hohe Rücklauftemperaturen vorherrschen, die den Wärmepumpenbetrieb einschränken.

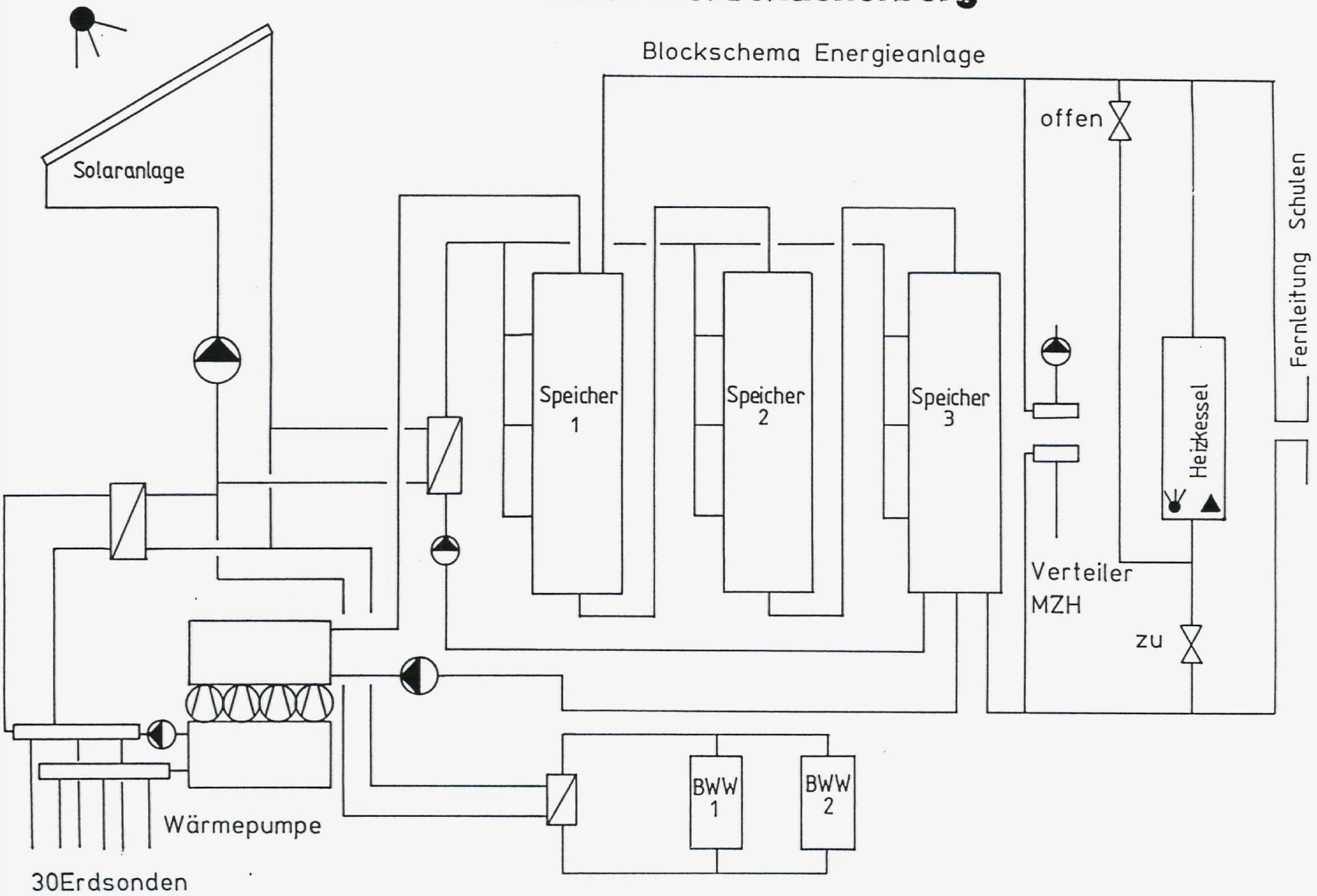
- Um diesem Problem erfolgreich zu begegnen und die Einsatzgrenzen von Wärmepumpen erweitern zu können, müssten Wärmepumpen mit höheren Heiztemperaturen entwickelt werden. Tendenziell geschieht dies auch, denn in der Forschung werden mit CO2-Kreisläufen bereits wesentlich höhere Betriebstemperaturen erreicht.

Engelburg, 28. 11. 2000/rev. 20. 2. 2001Hb

7. Anhang

- Blockschema der Wärmerzeugung
- Messstellenplan
- Monatliche Energieproduktion im Verhältnis zu den Heizgradtagen
- Prinzipschema Warmwasseraufbereitung
- Warmwasserverbrauchsdiagramme für alle Wochentage
- Temperaturdifferenz Fernleitung
- Nutzung Solarenergie für Brauchwarmwasser MZH
- Energiebilanz Solaranlage Okt, 95
- Vier Beispiele Solareinstrahlung für vier verschiedene Tage

MZH Rorschacherberg

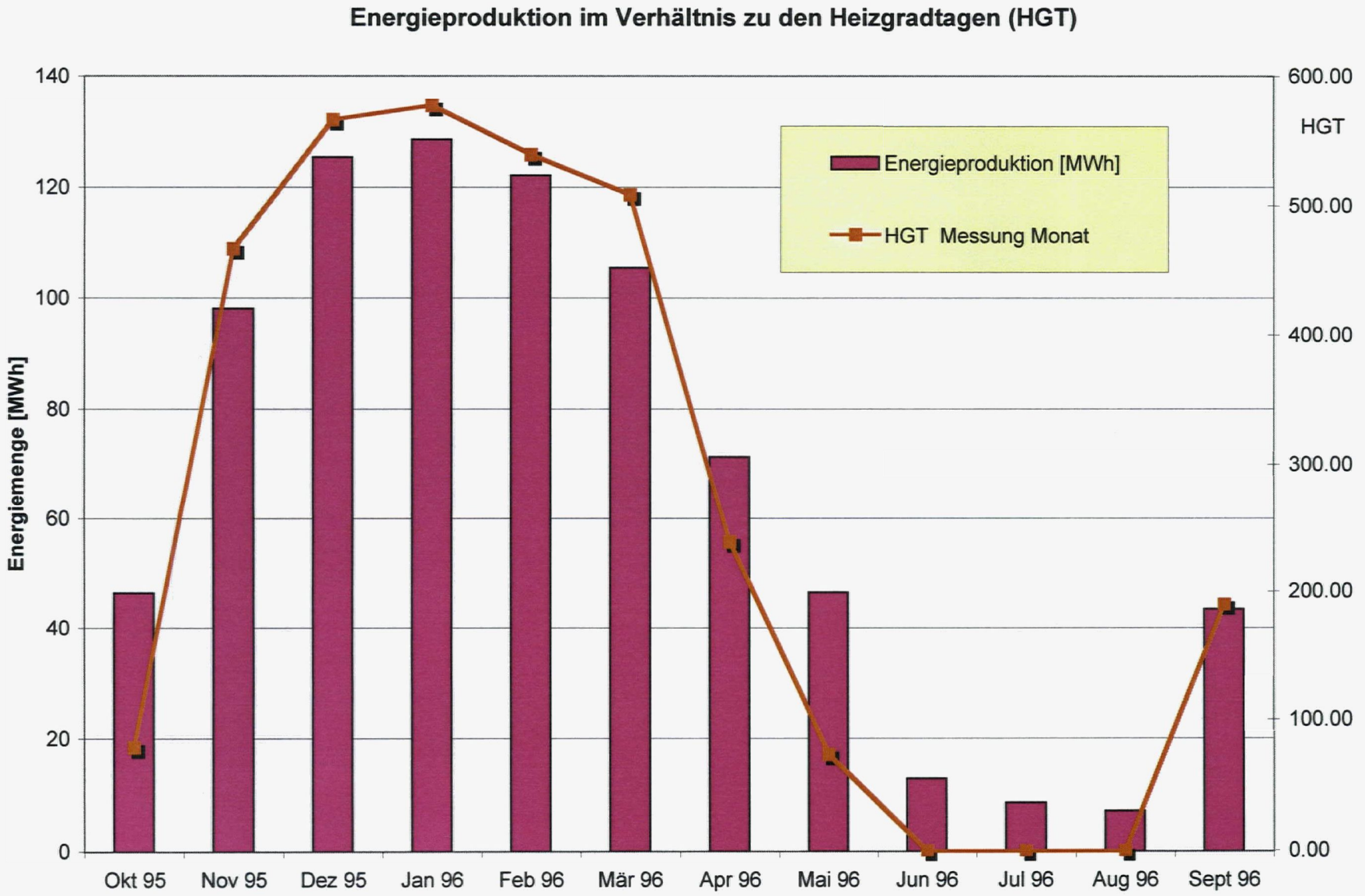


Messstellenbeschreibung

Mehrzweckhalle Rorschacherberg

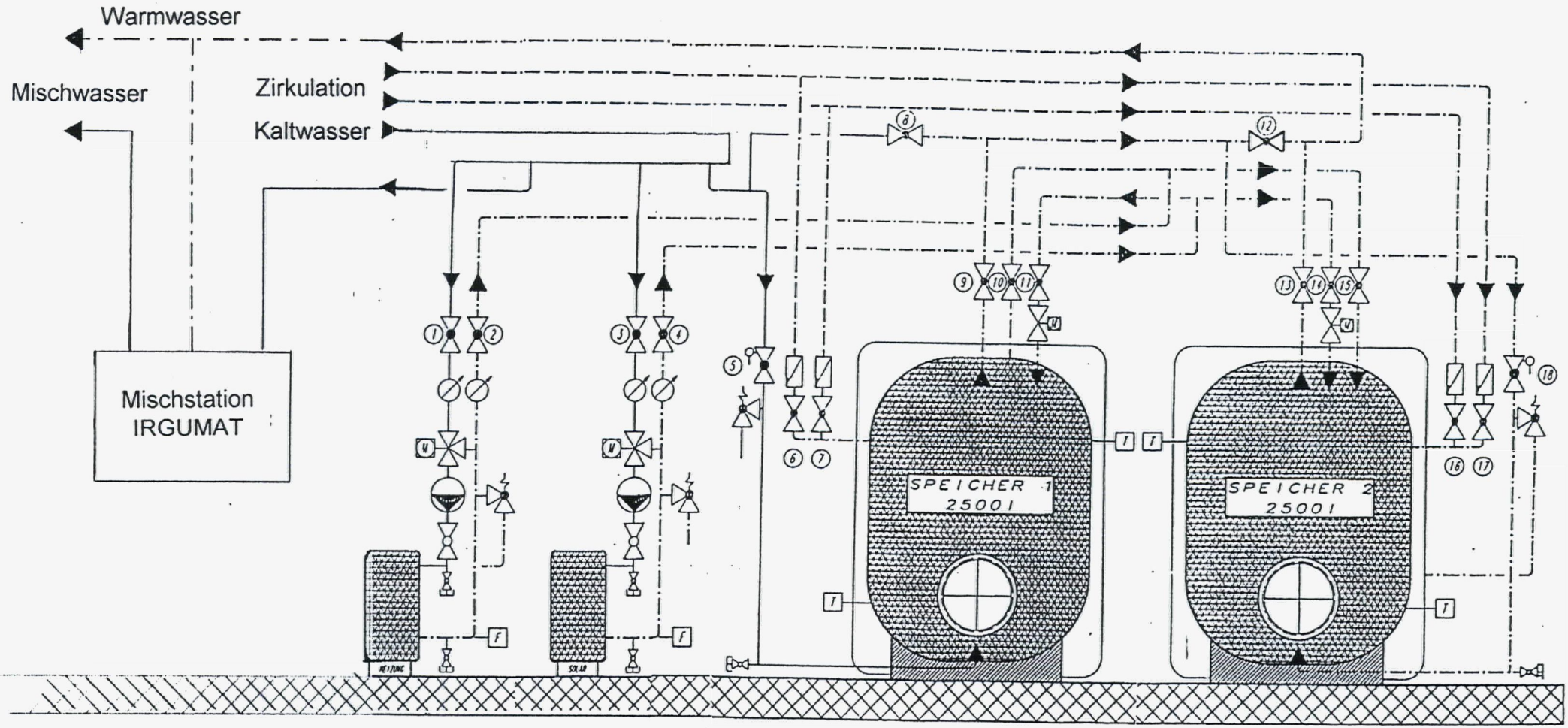
Mess-stelle	Funktion	Beschreibung	Einheit im Register S0	S1	S2	Kanal	Messgerät Relais	Bemerkungen
1	Aref1	Referenztemperatur Scanner	-	-	-	A19	Scanner intern	
2	S1	Zustand Digitalinputkarte	-	-	-	-	Scanner intern	
3	A1	Temperatur Aussen	-	°C	-	A00	TE (Ni-CrNi)	
4	A1	Temperatur Vorlauf Fernleitung	-	°C	-	A01	TE (Ni-CrNi)	
5	A1	Temperatur Rücklauf Fernleitung	-	°C	-	A02	TE (Ni-CrNi)	
6	A1	Temperatur Vorlauf Solar / BWW	-	°C	-	A03	TE (Ni-CrNi)	HM für M8
7	A1	Temperatur Vorlauf Heizung / BWW	-	°C	-	A04	TE (Ni-CrNi)	HM für M9
8	B1	ΔT Primär VL-RL Solar / BWW	-	K	-	A05	2*TE (Ni-CrNi)	HM für M10
9	B1	ΔT Primär VL-RL Heizung / BWW	-	K	-	A06	2*TE (Ni-CrNi)	HM für M11
10	V1	Wärmezählung Solar / BWW	m^3/s	W	kWh	D00	Wasserzähler	PMW 32
11	V1	Wärmezählung Heizung / BWW	m^3/s	W	kWh	D01	Wasserzähler	PMWF 40
12	Z1	Ölverbrauch	-	Impulse	-	D02	Ölzähler	Aquametro
13	Z1	Solarkreis – Erdsonde	Ist/war	Impulse	sec	D14	Relais	Ereignis Ein/Aus
14	-	Reserve	-	-	-	-	-	
15	Z1	Gasverbrauch	-	Impulse	-	D03	Gaszähler	Gravag
16	Z1	Betriebsstunden Gas Stufe1	-	-	sec	D04	Relais	Schaltschrank
17	Z1	Betriebsstunden Gas Stufe2	-	-	sec	D05	Relais	Schaltschrank
18	Z1	Elektroenergie Heizung kWh/Impuls	-	Impulse	-	D06	opt. Taster	Elektrozähler
19	Z1	Elektroenergie WP kWh/Impuls	-	Impulse	-	D07	ZMA310n13	Elektrozähler
20	Z1	Betriebsstunden WP	-	-	sec	D08	K350	Schaltschrank
21	Z1	Kaltwasserzähler $0.1m^3$/Impuls	-	Impulse	-	D09	Kaltwasserzähler	
22	Z1	Pumpe Solarkreis	Ist/war	Anz0-1	sec	D10	K251	Ereignis Ein/Aus
23	Z1	Pumpe BWW-Ladung Solar	Ist/war	Anz0-1	sec	D11	K271	Ereignis Ein/Aus
24	Z1	Pumpe BWW-Ladung Heizung	Ist/war	Anz0-1	sec	D12	K281	Ereignis Ein/Aus
25	Z1	Pumpe Hzg-Speicherladung Solar	Ist/war	Anz0-1	sec	D13	K296	Schaltschrank
26	C1	Sonnenstrahlung	W/m^2	-	-	A07	Pyranometer CM11	Schaltschrank

Wärmezähler NeoVac über Interface auf seperaten PC								
Nr		Beschreibung	Q	T_{VL}	T_{RL}	m	Messgerät	Bemerkungen
Q1		Solaranlage	[kWh]	[°C]	[°C]	[kg/h]	NeoVac WZ	
Q2		Kondensatorseite Wärmepumpe	[kWh]	[°C]	[°C]	[kg/h]	NeoVac WZ2	
Q3		Heizkessel	[kWh]	[°C]	[°C]	[kg/h]	NeoVac WZ3	
Q4		Verdampferseite Wärmepumpe	[kWh]	[°C]	[°C]	[kg/h]	NeoVac KZ1	
Q5		Fernleitung Schulen	[kWh]	[°C]	[°C]	[kg/h]	NeoVac WZ4	
Q6		Verteiler Mehrzweckhalle	[kWh]	[°C]	[°C]	[kg/h]	NeoVac WZ7	
Q7		Heizspeicherladung Solar	[kWh]	-	-	-		Q7 = Q1 - V10


Energieproduktion im Verhältnis zu den Heizgradtagen (HGT)
Energiemenge [MWh]
HGT
Energieproduktion [MWh]
HGT Messung Monat
140
120
100
80
60
40
20
0
600.00
500.00
400.00
300.00
200.00
100.00
0.00
Okt 95
Nov 95
Dez 95
Jan 96
Feb 96
Mär 96
Apr 96
Mai 96
Jun 96
Jul 96
Aug 96
Sept 96

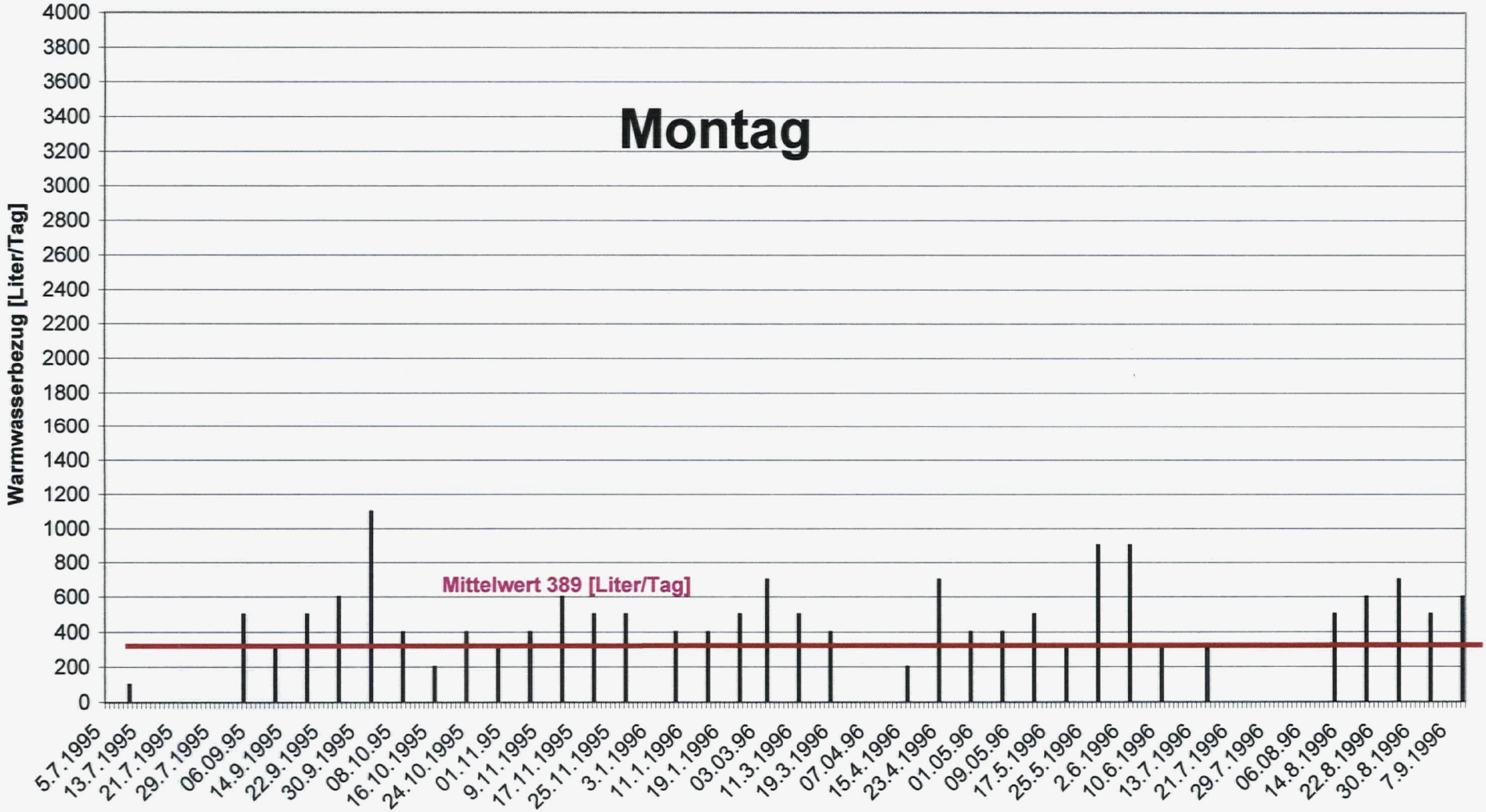
MEHRZWECKHALLE RORSCHACHERBERG

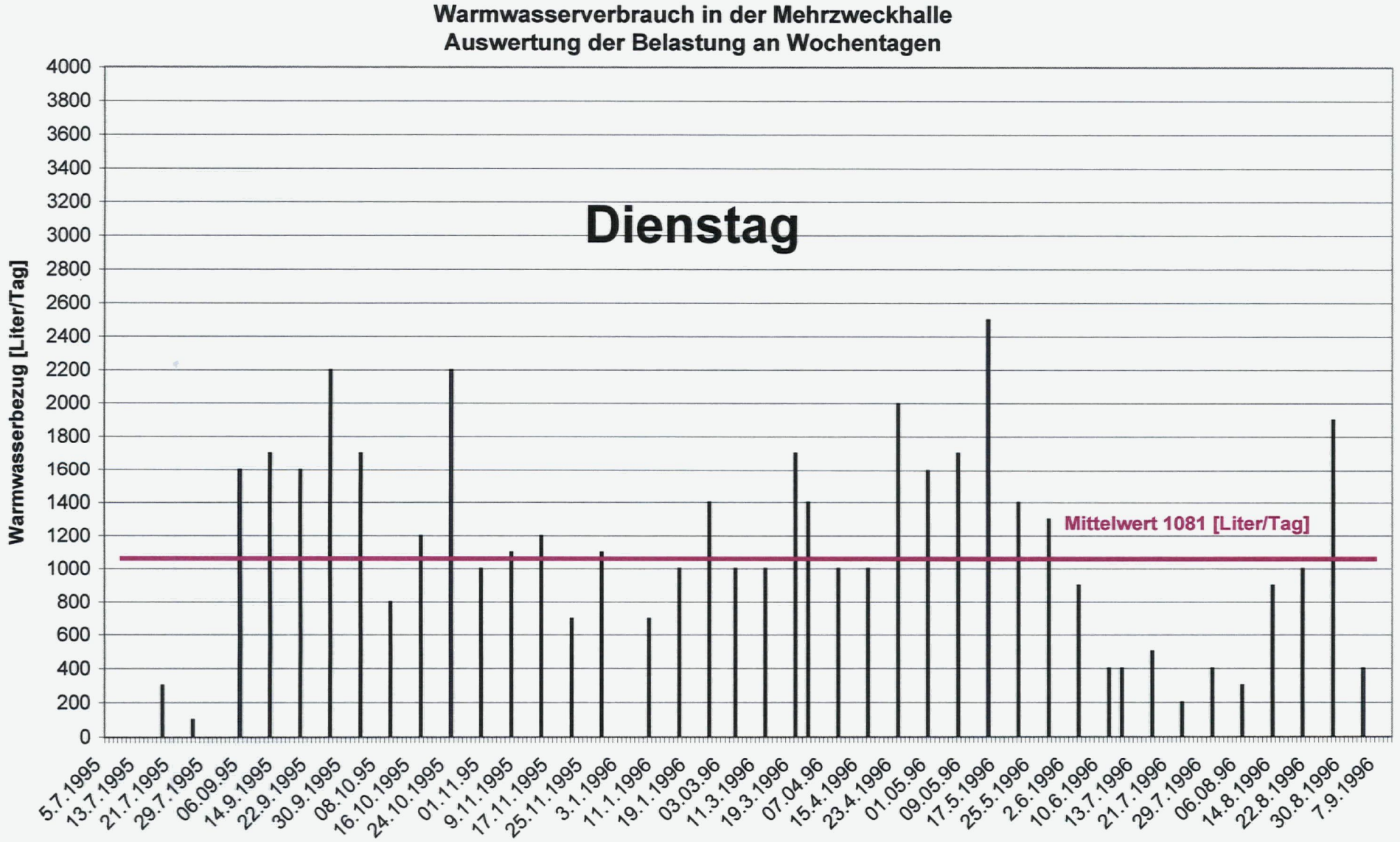
PRINZIPSCHEMA WARMWASSERAUFBEREITUNG

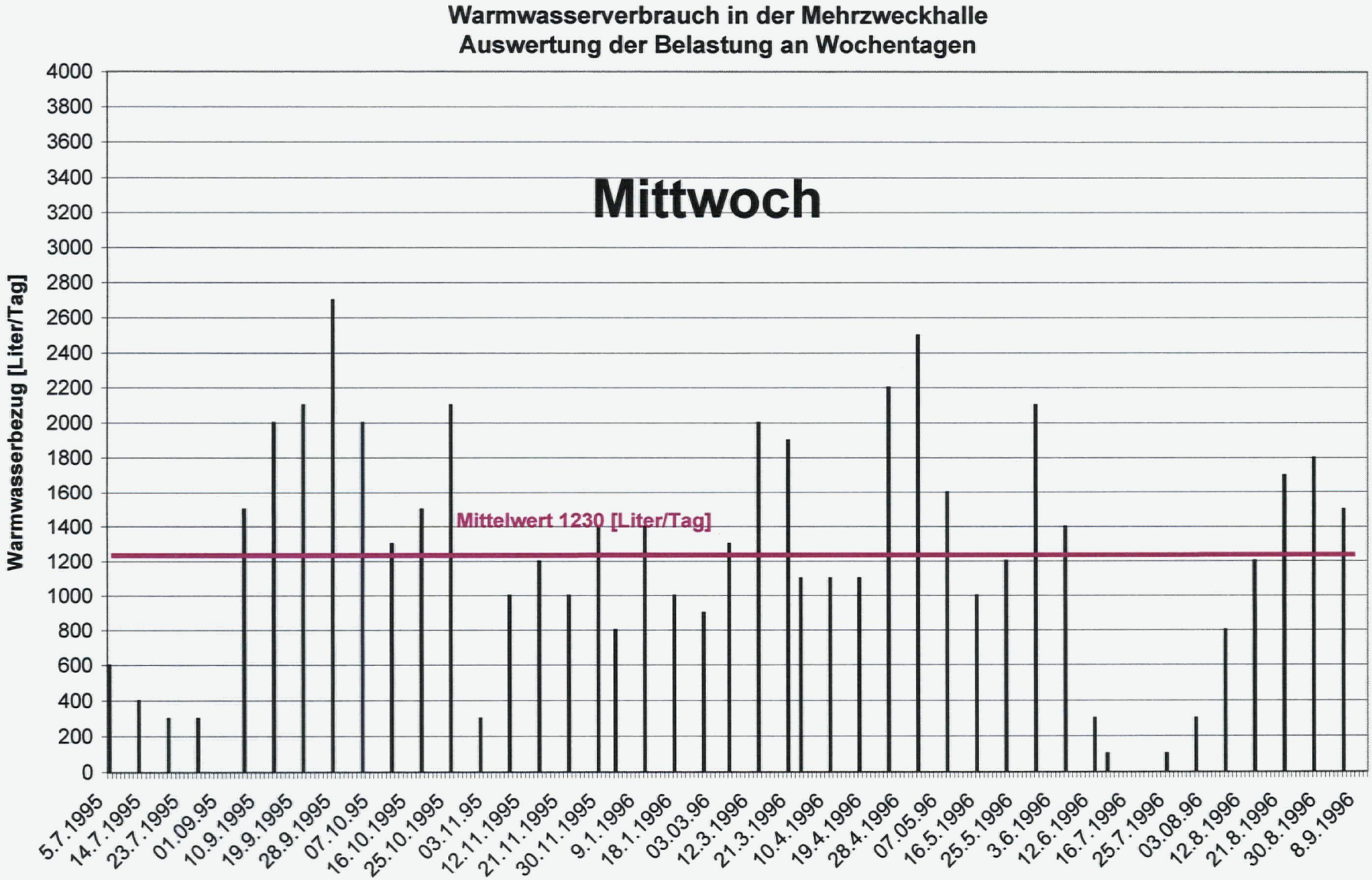


Geschlossene Schieber bei Normalbetrieb: Nr. 6, 7, 8, 10, 12, 18

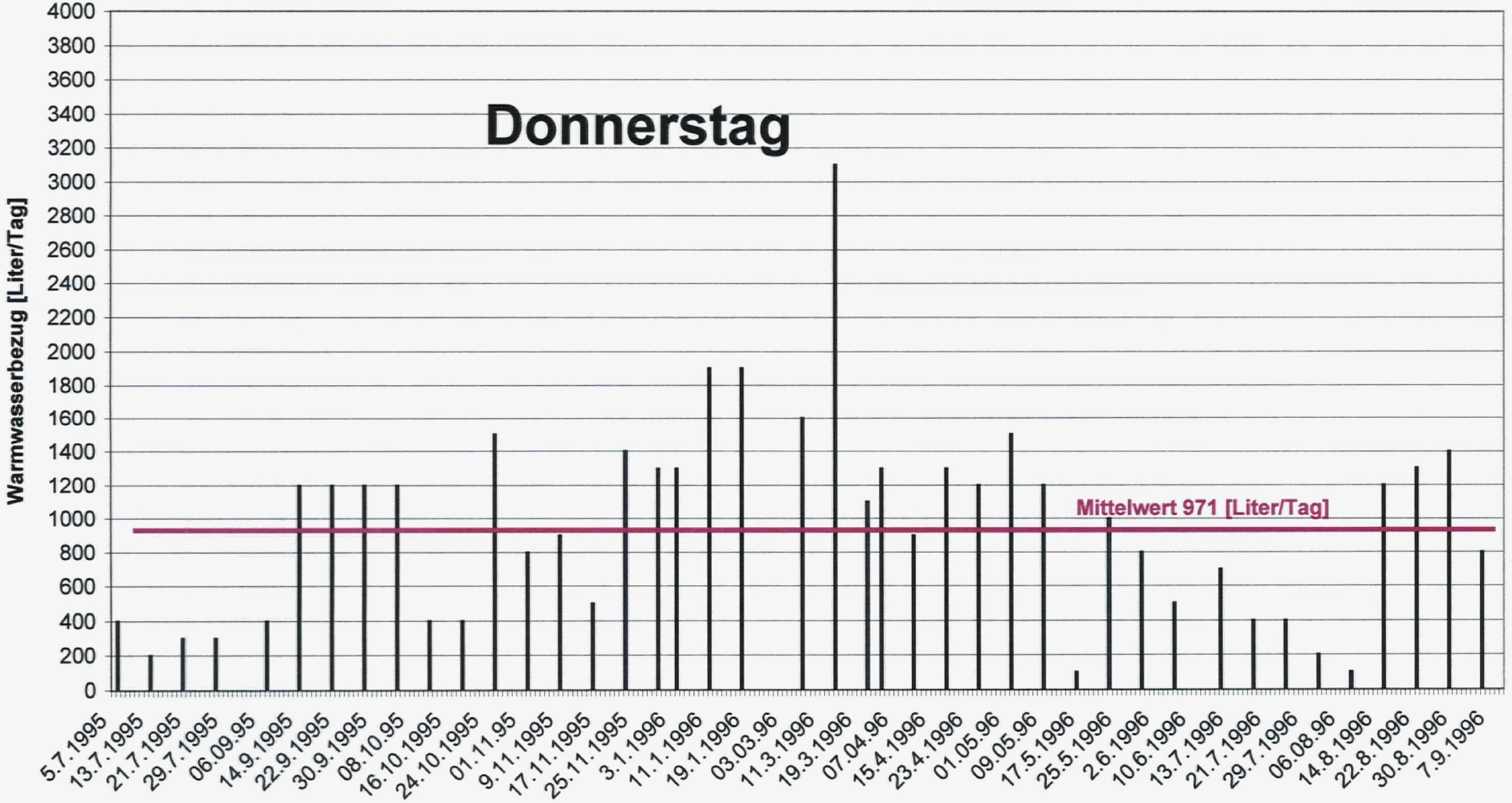
Warmwasserverbrauch in der Mehrzweckhalle
Auswertung der Belastung an Wochentagen



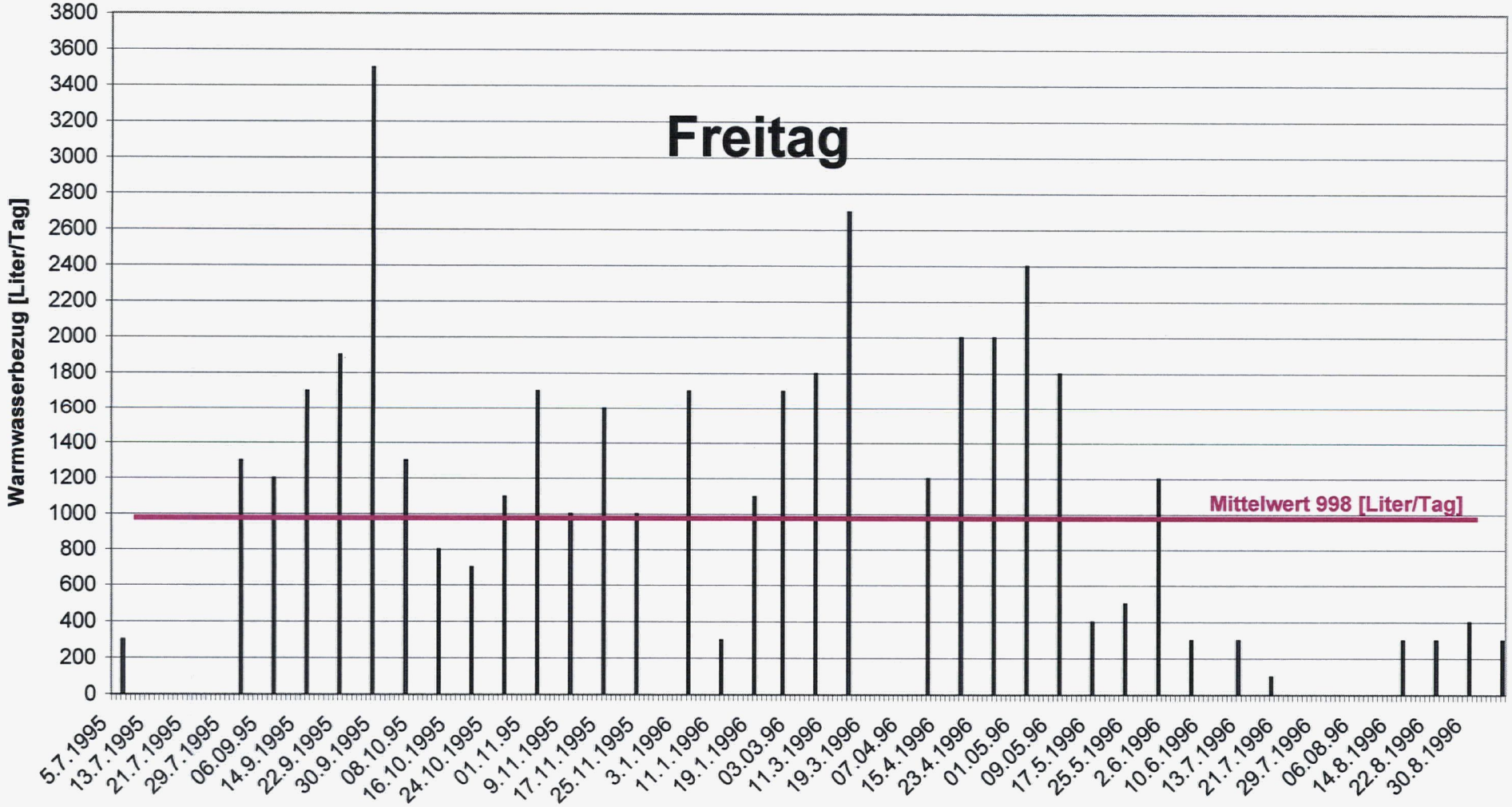

Warmwasserverbrauch in der Mehrzweckhalle
Auswertung der Belastung an Wochentagen
Dienstag
Warmwasserbezug [Liter/Tag]
Mittelwert 1081 [Liter/Tag]
4000
3800
3600
3400
3200
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
5.7.1995
13.7.1995
21.7.1995
29.7.1995
06.09.95
14.9.1995
22.9.1995
30.9.1995
08.10.95
16.10.1995
24.10.1995
01.11.95
9.11.1995
17.11.1995
25.11.1995
3.1.1996
11.1.1996
19.1.1996
03.03.96
11.3.1996
19.3.1996
07.04.96
15.4.1996
23.4.1996
01.05.96
09.05.96
17.5.1996
25.5.1996
2.6.1996
10.6.1996
13.7.1996
21.7.1996
29.7.1996
06.08.96
14.8.1996
22.8.1996
30.8.1996
7.9.1996

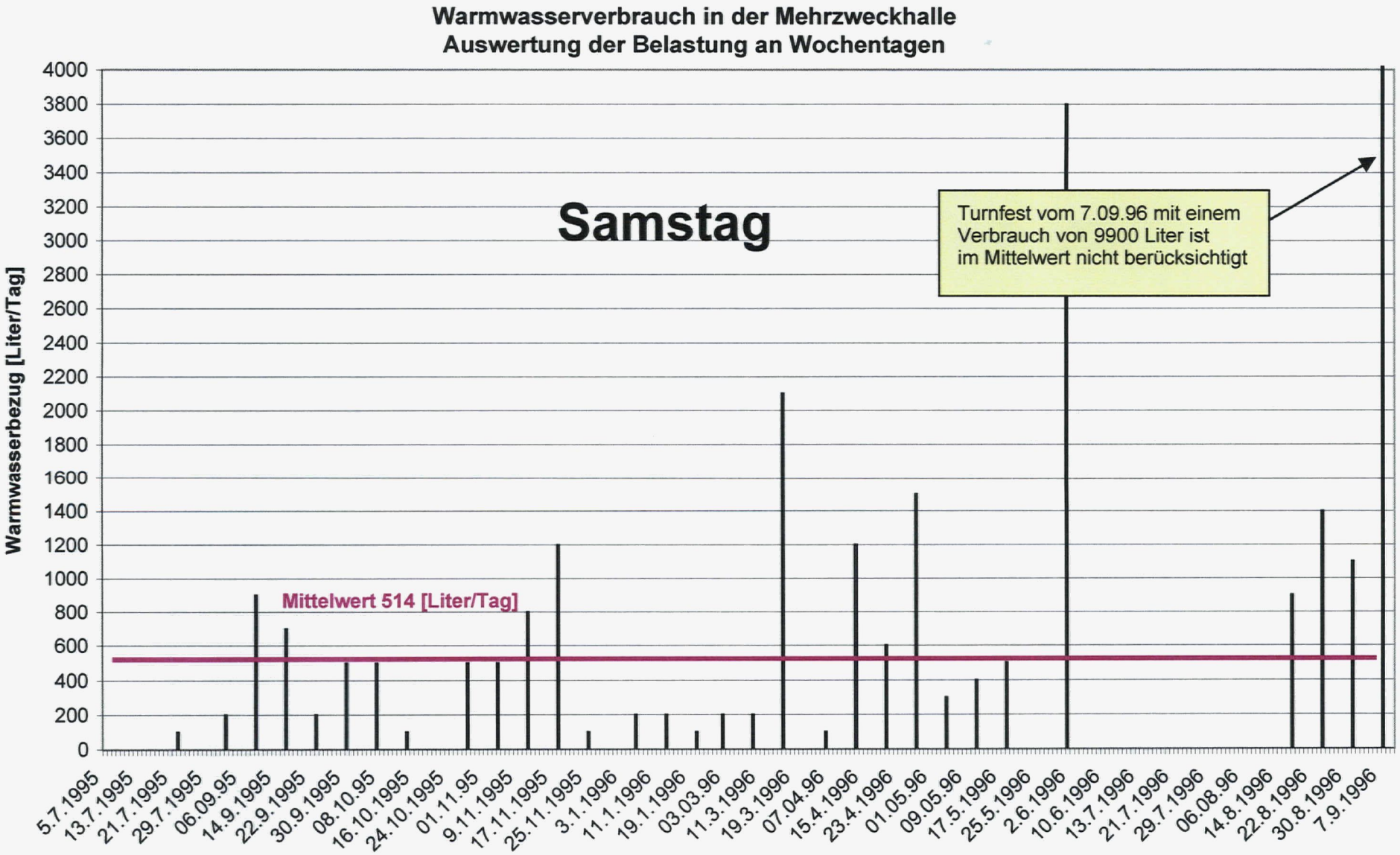

Warmwasserverbrauch in der Mehrzweckhalle
Auswertung der Belastung an Wochentagen
Mittwoch
Warmwasserbezug [Liter/Tag]
Mittelwert 1230 [Liter/Tag]
4000
3800
3600
3400
3200
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
5.7.1995
14.7.1995
23.7.1995
01.09.95
10.9.1995
19.9.1995
28.9.1995
07.10.95
16.10.1995
25.10.1995
03.11.95
12.11.1995
21.11.1995
30.11.1995
9.1.1996
18.1.1996
03.03.96
12.3.1996
21.3.1996
10.4.1996
19.4.1996
28.4.1996
07.05.96
16.5.1996
25.5.1996
3.6.1996
12.6.1996
16.7.1996
25.7.1996
03.08.96
12.8.1996
21.8.1996
30.8.1996
8.9.1996

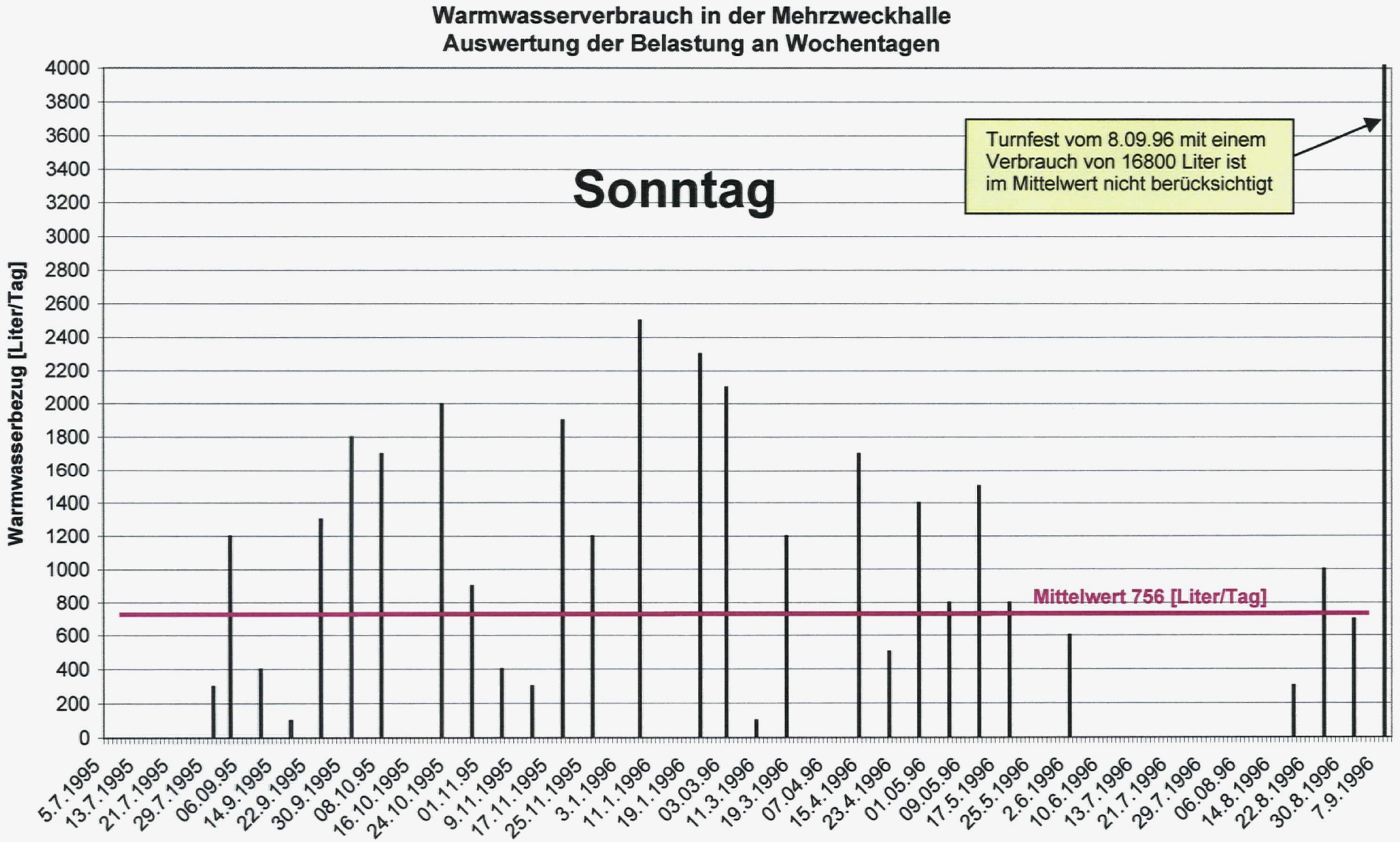
Warmwasserverbrauch in der Mehrzweckhalle
Auswertung der Belastung an Wochentagen



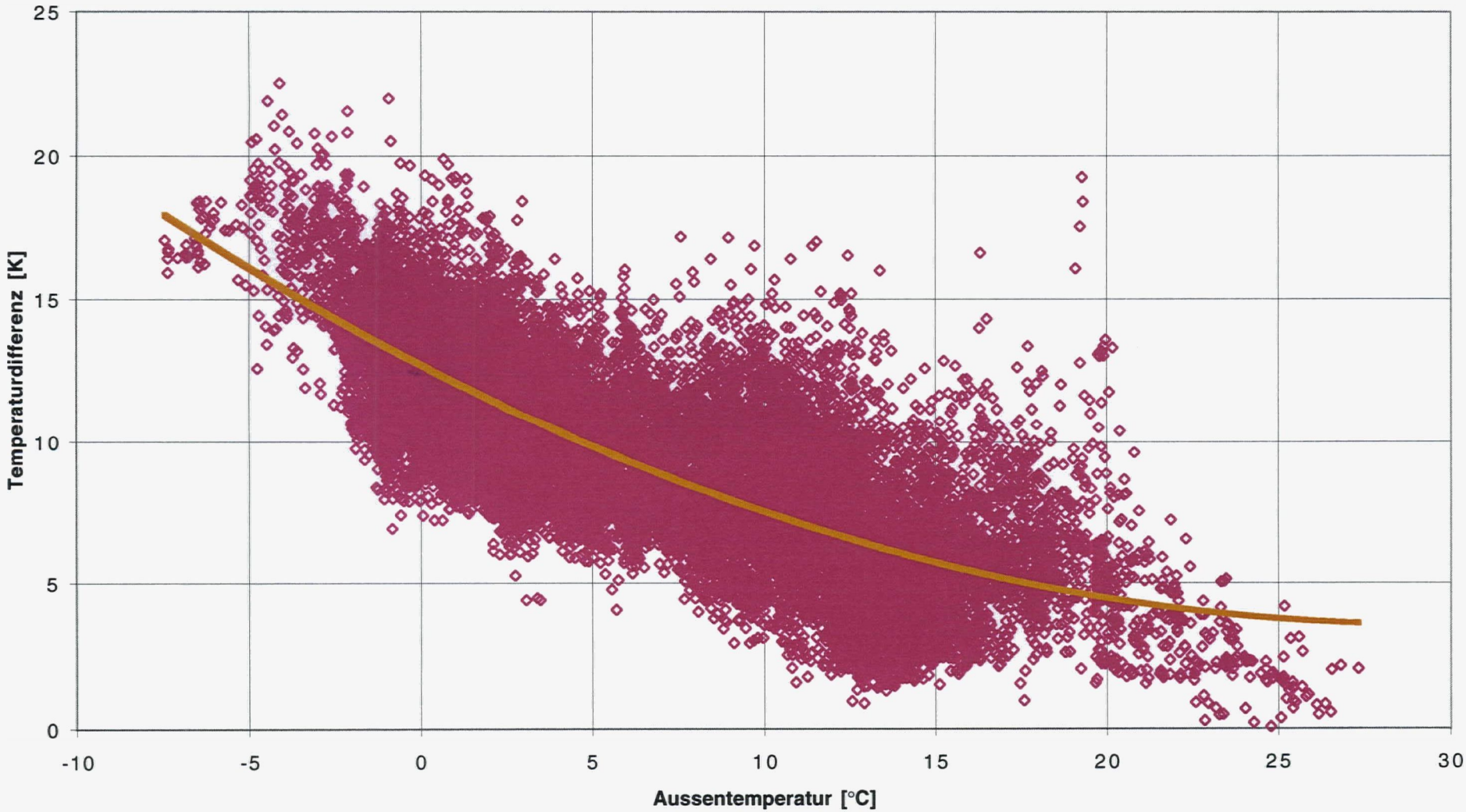
Warmwasserverbrauch in der Mehrzweckhalle
Auswertung der Belastung an Wochentagen

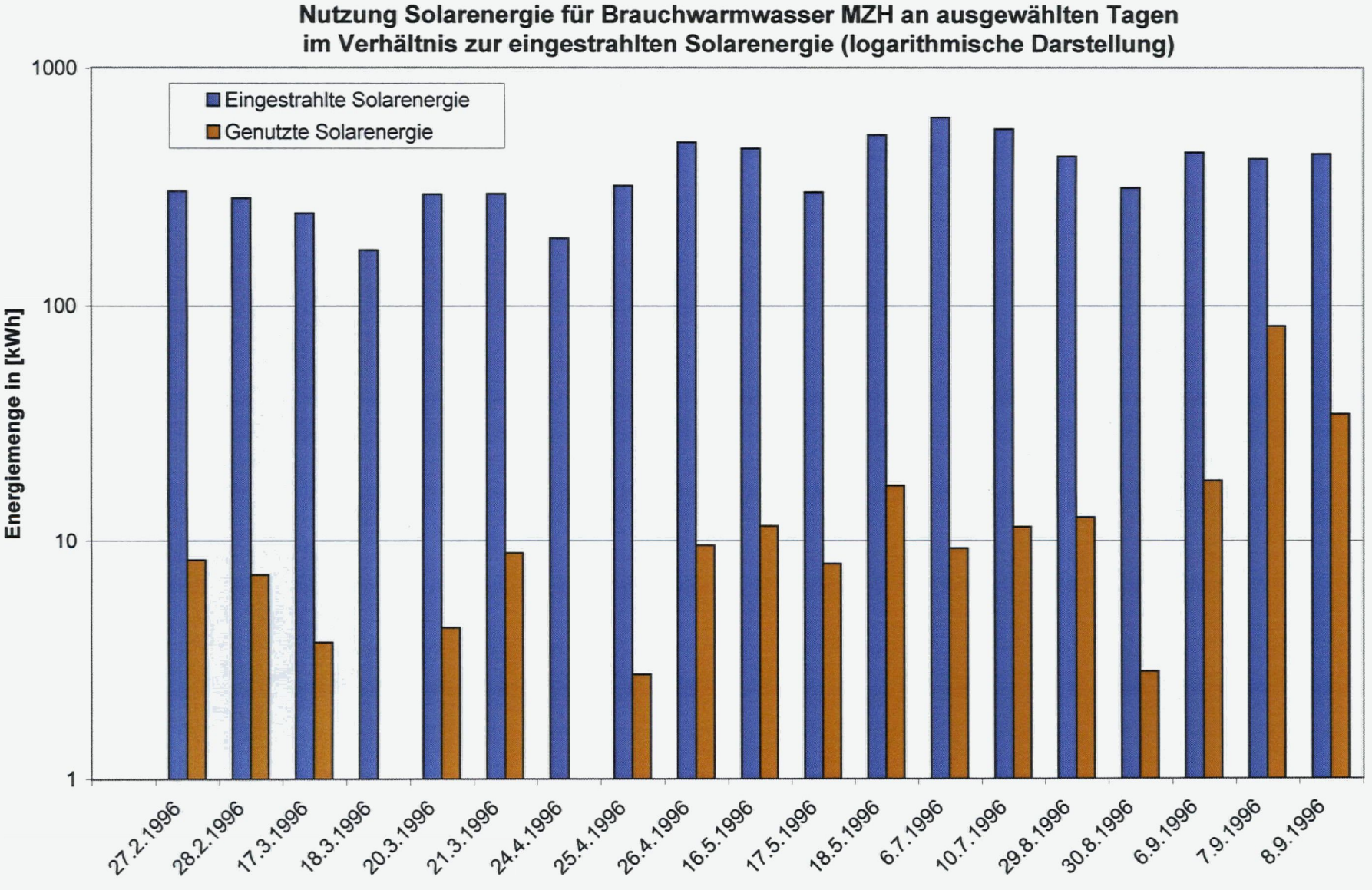



Warmwasserverbrauch in der Mehrzweckhalle
Auswertung der Belastung an Wochentagen
Samstag
Turnfest vom 7.09.96 mit einem Verbrauch von 9900 Liter ist im Mittelwert nicht berücksichtigt
Mittelwert 514 [Liter/Tag]
Warmwasserbezug [Liter/Tag]
4000
3800
3600
3400
3200
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
5.7.1995
13.7.1995
21.7.1995
29.7.1995
06.09.95
14.9.1995
22.9.1995
30.9.1995
08.10.95
16.10.1995
24.10.1995
01.11.95
9.11.1995
17.11.1995
25.11.1995
3.1.1996
11.1.1996
19.1.1996
03.03.96
11.3.1996
19.3.1996
07.04.96
15.4.1996
23.4.1996
01.05.96
09.05.96
17.5.1996
25.5.1996
2.6.1996
10.6.1996
13.7.1996
21.7.1996
29.7.1996
06.08.96
14.8.1996
22.8.1996
30.8.1996
7.9.1996

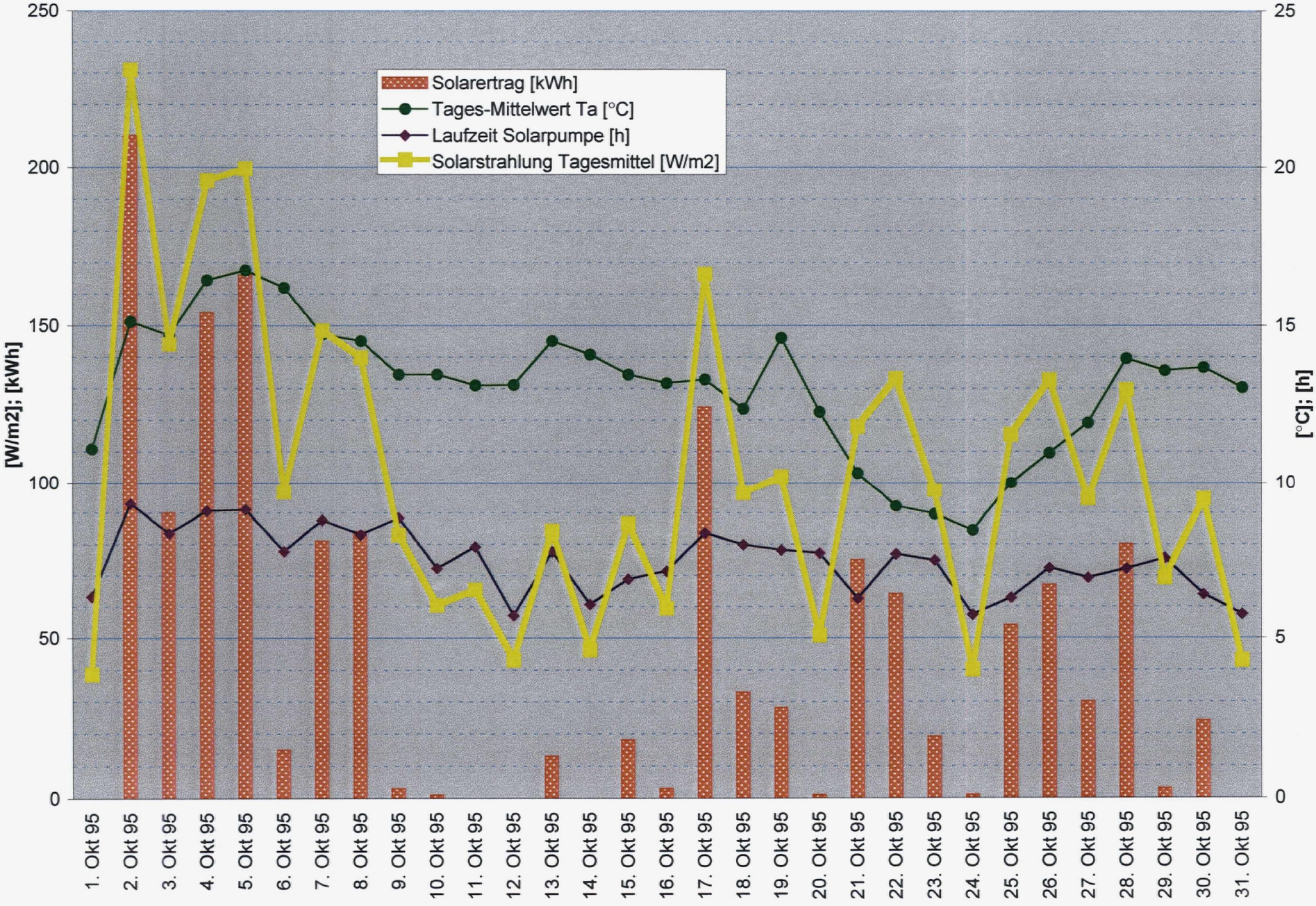

Warmwasserverbrauch in der Mehrzweckhalle
Auswertung der Belastung an Wochentagen
Sonntag
Turnfest vom 8.09.96 mit einem Verbrauch von 16800 Liter ist im Mittelwert nicht berücksichtigt
Mittelwert 756 [Liter/Tag]
Warmwasserbezug [Liter/Tag]
4000
3800
3600
3400
3200
3000
2800
2600
2400
2200
2000
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
5.7.1995
13.7.1995
21.7.1995
29.7.1995
06.09.95
14.9.1995
22.9.1995
30.9.1995
08.10.95
16.10.1995
24.10.1995
01.11.95
9.11.1995
17.11.1995
25.11.1995
3.1.1996
11.1.1996
19.1.1996
03.03.96
11.3.1996
19.3.1996
07.04.96
15.4.1996
23.4.1996
01.05.96
09.05.96
17.5.1996
25.5.1996
2.6.1996
10.6.1996
13.7.1996
21.7.1996
29.7.1996
06.08.96
14.8.1996
22.8.1996
30.8.1996
7.9.1996

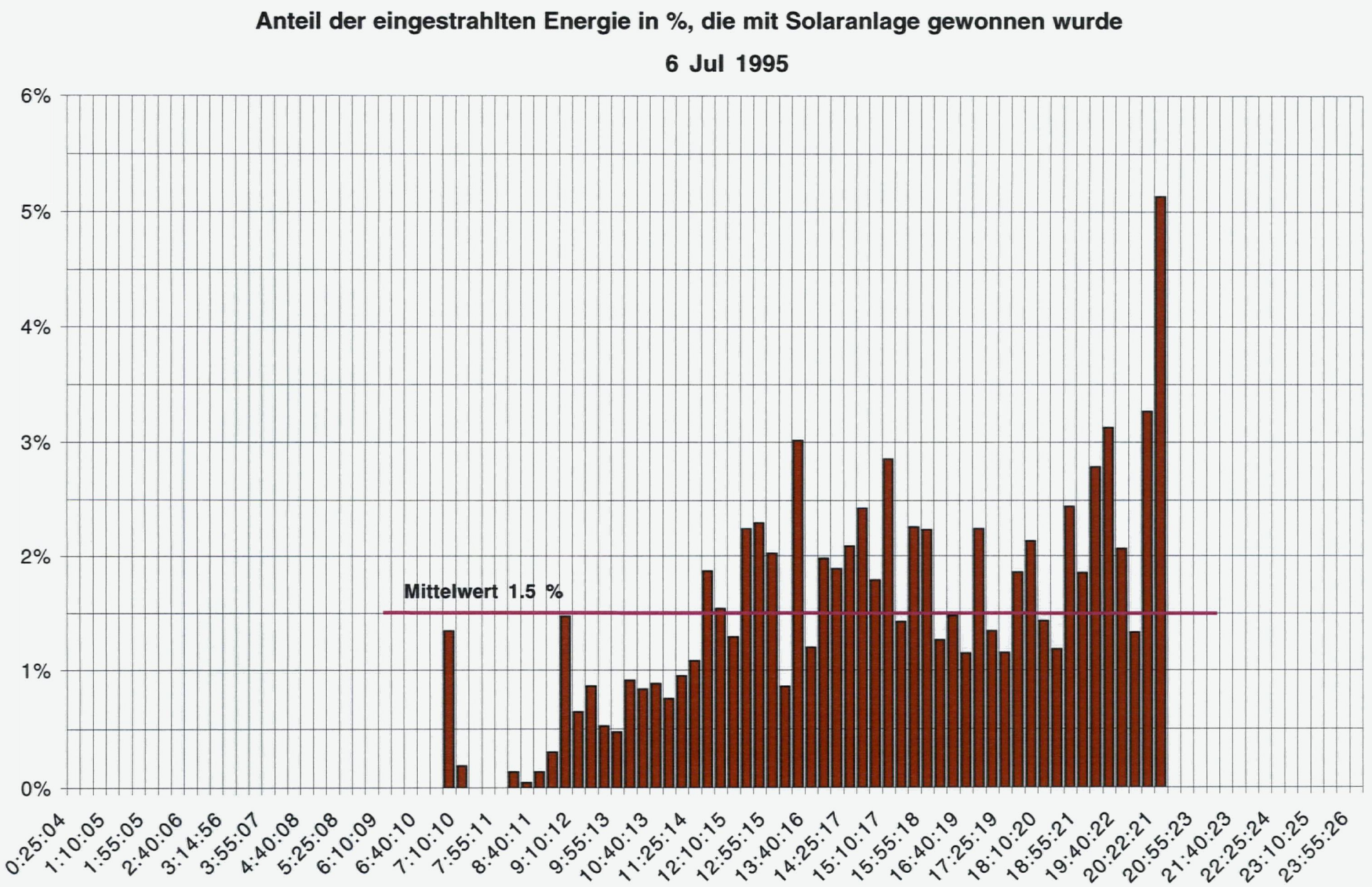
Temperaturdifferenz der Fernleitung zwischen Vorlauf und Rücklauf



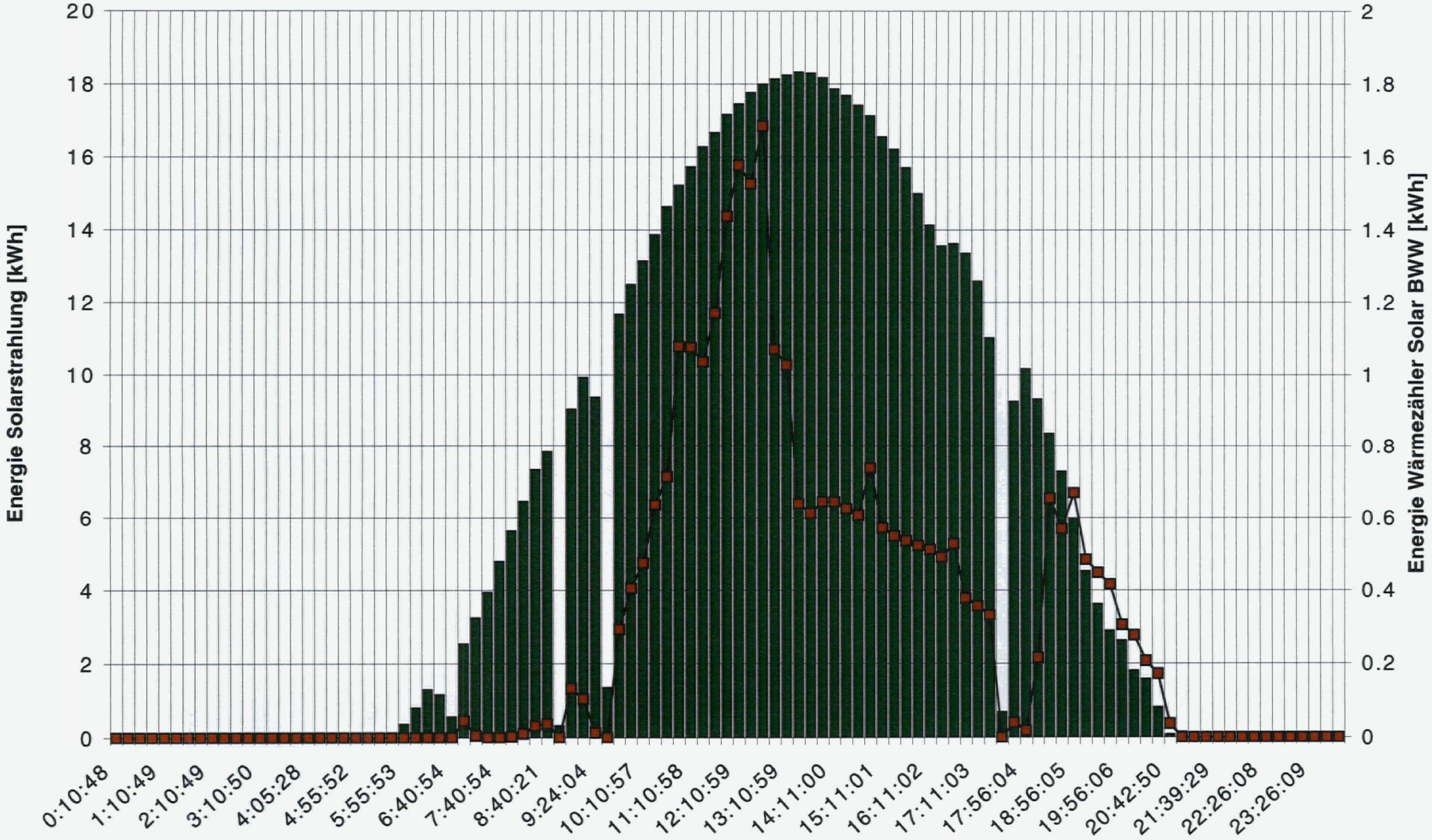

Nutzung Solarenergie für Brauchwarmwasser MZH an ausgewählten Tagen
im Verhältnis zur eingestrahlten Solarenergie (logarithmische Darstellung)
Eingestrahlte Solarenergie
Genutzte Solarenergie
Energiemenge in [kWh]
1000
100
10
1
27.2.1996
28.2.1996
17.3.1996
18.3.1996
20.3.1996
21.3.1996
24.4.1996
25.4.1996
26.4.1996
16.5.1996
17.5.1996
18.5.1996
6.7.1996
10.7.1996
29.8.1996
30.8.1996
6.9.1996
7.9.1996
8.9.1996

Energiebilanz Solaranlage Oktober '95



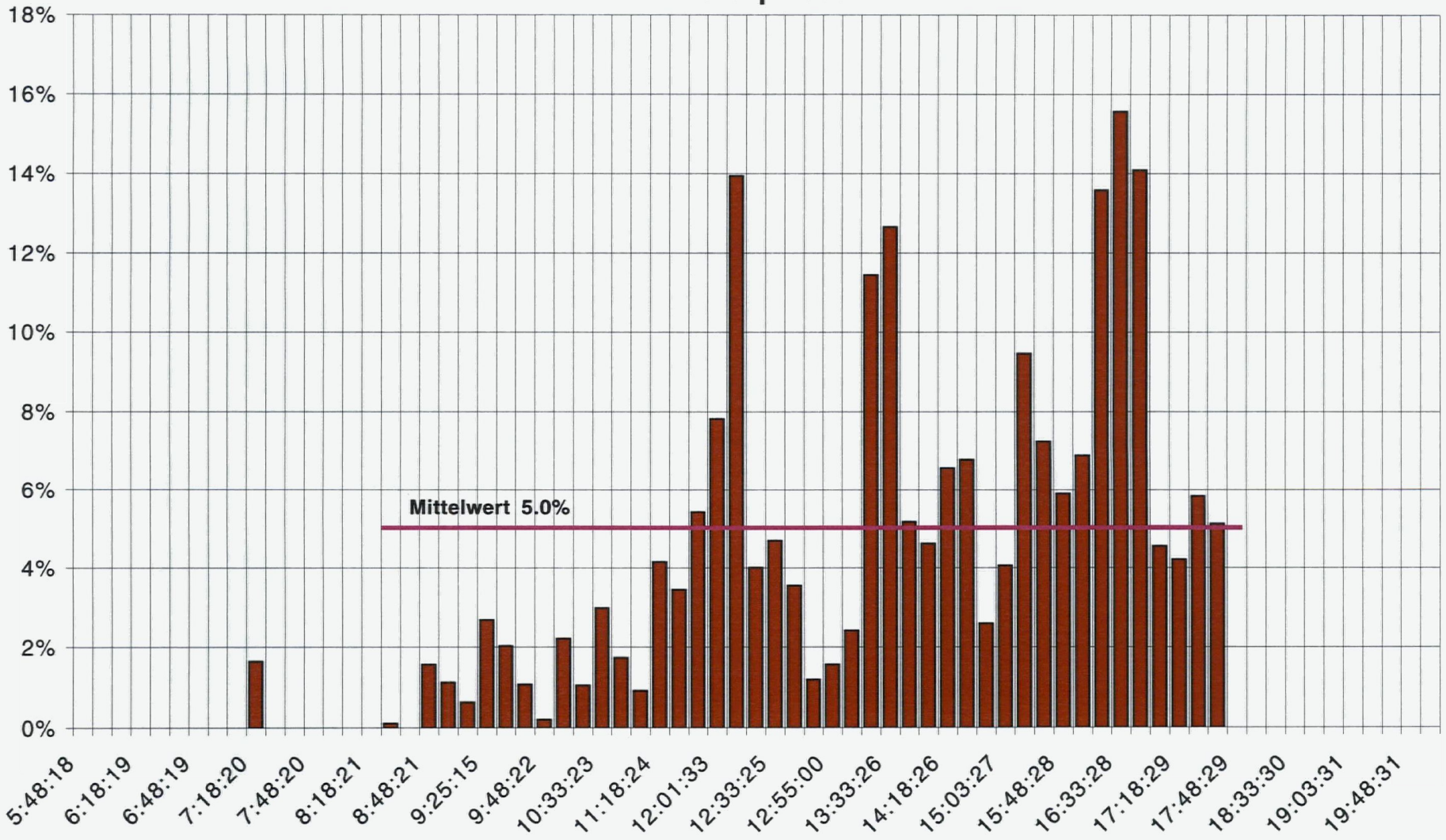

Anteil der eingestrahlten Energie in %, die mit Solaranlage gewonnen wurde
6 Jul 1995
6%
5%
4%
3%
2%
1%
0%
Mittelwert 1.5 %
0:25:04
1:10:05
1:55:05
2:40:06
3:14:56
3:55:07
4:40:08
5:25:08
6:10:09
6:40:10
7:10:10
7:55:11
8:40:11
9:10:12
9:55:13
10:40:13
11:25:14
12:10:15
12:55:15
13:40:16
14:25:17
15:10:17
15:55:18
16:40:19
17:25:19
18:10:20
18:55:21
19:40:22
20:22:21
20:55:23
21:40:23
22:25:24
23:10:25
23:55:26

Vergleich der eingestrahlten Solarenergie mit der durch die Solaranlage gewonnenen Energie am 8. Juli 1995



Anteil der eingestrahlten Energie, die mit Solaranlage gewonnen wurde

6 Sep 1996



Anteil der eingestrahlten Energie in %, die mit Solaranlage gewonnen wurde

