

Kleinschwimmhalle Schwalmtal

1. Zwischenbericht:

Wärmerückgewinn aus Duschabwasser

Wärmerückgewinn aus Beckenabwasser

**T 1887**

T 1887

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

## KLEINSCHWIMMHALLE SCHWALMTAL

Wärmerückgewinn aus Duschabwasser  
Wärmerückgewinn aus Beckenabwasser

### 1. Zwischenbericht

#### Inhaltsübersicht

Seite

Vorwort

Teil 1: Wärmerückgewinn aus Duschabwasser

1

Teil 2: Wärmerückgewinn aus Beckenabwasser

25

Literaturverzeichnis

Forschungsstelle für Energiewirtschaft

München, April 1984

178.89

Bearbeiter:

K. Leisen

## Vorwort

Steigende Betriebskosten stellen die Kommunen als Betreiber öffentlicher Hallen- und Freibäder vor wachsende Probleme. Neben den Personalkosten sind es vor allem die Energiekosten, deren Anteil an den Betriebskosten im letzten Jahrzehnt erheblich angestiegen ist.

In der Zeitspanne zwischen 1974 und 1982 förderte das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) viele Vorhaben, deren Ziel die Entwicklung von Einrichtungen zur Energieeinsparung durch Nutzung von Sonnenenergie und Wärmerückgewinnung war. Als Beispiel sei die Untersuchung zur "Rationellen Energieverwendung im Freibad und in der Eislaufhalle in Wiehl" / 1 / genannt. Die dort gewonnenen Erfahrungen sollen mit in die Planung und den Bau neuer Schwimmbäder einfließen und bei der Änderung in bestehenden Schwimmbädern mit berücksichtigt werden.

Am 4. Dezember 1982 wurde in Schwalmtal am Niederrhein eine Kleinschwimmhalle mit einem Variobecken von 250 m<sup>2</sup> Wasseroberfläche und einem Planschbecken von 20 m<sup>2</sup> Wasseroberfläche eröffnet. Das Gebäude war mit dem Ziel geplant und erbaut worden, den Heizwärmebedarf auf rund 35 % des entsprechenden Bedarfs eines herkömmlichen Hallenbades zu senken. Die Einsparungen sollen durch verbesserte Wärmedämmung, durch den Einbau von Anlagen zum Wärmerückgewinn aus Beckenabwasser, Duschabwasser, Schwimmhallenluft und Duschaumluft sowie durch den Einsatz einer Wärmepumpenanlage mit Solarabsorbern erreicht werden. Die technischen Anlagen werden im Rahmen eines Vorhabens des BMFT und der Europäischen Gemeinschaft (EG) meßtechnisch untersucht, um hinsichtlich ihres Beitrags zur Energieeinsparung und ihrer wirtschaftlichen Auswirkungen auf ein Hallenbad bewertet werden zu können.

Auf der Basis der Ergebnisse dieses Vorhabens sollen auch praxisorientierte Vorschläge für den Planer und Betreiber gleichartiger Anlagen zum Wärmerückgewinn erarbeitet werden. Diese Vorschläge sollen ihrem Schwerpunkt nach auf die Senkung des Energieverbrauchs und der Energiekosten bestehender Hallenbäder ausgerichtet sein.

In dem vorliegenden Teilbericht sind die Ergebnisse der Untersuchungen zum Wärmerückgewinn aus Duschabwasser und Beckenabwasser aufgeführt.

## 1. Einführung

In der Kleinschwimmhalle (KSH) Schwalmtal sind zwei Duschräume mit je neun Warmwasserduschen und je einer Kaltwasserdusche sowie ein Duschaum für Behinderte mit einer Entnahmestelle eingerichtet. Die Lage der Duschräume innerhalb des Gebäudes (Nr. 12 und 13) ist aus dem Erdgeschoßgrundriß in Bild 1 ersichtlich.

Der jährliche Duschwasserwärmebedarf eines Hallenbades beträgt bei 90.000 Besuchern etwa 150 MWh. Von diesem Wärmebedarf fließen in herkömmlichen Schwimmbädern etwa 2/3 mit dem Duschwasser bei einer Temperatur von rund 30 °C in die Kanalisation ab. In Schwalmtal wurde eine Anlage zum Wärmerückgewinn (WRG) aus Duschabwasser eingebaut, mit der ein großer Teil der zum Aufheizen des Frischwassers benötigten Wärme eingespart werden soll. Man erwartet von der WRG-Anlage einen Deckungsbeitrag in Höhe von etwa 70 % des berechneten Bedarfs, so daß für die Aufheizung des Duschwassers nur noch 45 MWh zusätzliche Energie pro Jahr benötigt werden.

Das Duschwasser wird zuerst mit der WRG-Anlage erwärmt. Zur Restaufheizung stehen eine Wärmepumpe (WP) und über eine Verbindungsleitung der Gaskessel (Fremdheizung, FH) der benachbarten Schule zur Verfügung. Vorrangig soll der fehlende Wärmebedarf mit der Wärmepumpe gedeckt werden, damit durch Nutzung von Umweltenergie der Bezug von Endenergie so gering wie möglich gehalten wird. Erst unterhalb einer Außenlufttemperatur von etwa 0 °C, wenn ein Betrieb der Wärmepumpe aus technischen und elektrizitätswirtschaftlichen Gründen nicht mehr möglich ist, soll die gasbeheizte Kesselanlage der Schule die fehlende Wärme liefern.

Der folgende Bericht zeigt, welcher Beitrag zur Energieeinsparung von der WRG-Anlage und der Wärmepumpenanlage bei der Erwärmung des Duschwassers geleistet wurde.

## 2. Beschreibung der Duschwasseranlage

### 2.1 Aufbau und Funktion

In Bild 2 ist die Duschwasseranlage schematisch dargestellt. Die WRG-Anlage erwärmt das Wasser eines Duschwasserspeichers mit einem Volumen von  $2 \text{ m}^3$ . Das WRG-Gerät besteht aus einem Plattenwärmetauscher, einer kleinen Wärmepumpenanlage und einer selbstreinigenden Filteranlage. Es weist auf der Abwasser- und Frischwasserseite einen Nennwasserstrom von etwa  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$  auf und soll das Abwasser von etwa  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  auf  $6 \text{ }^\circ\text{C}$  abkühlen und das Frischwasser im Gegenzug von etwa  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  auf  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  aufwärmen.

Das abfließende Duschwasser wird in einem Speicher gesammelt, dessen Volumen etwa  $2 \text{ m}^3$  und dessen geregelter Volumenbereich etwa  $1,6 \text{ m}^3$  beträgt. Das Abwasser wird dem Speicher entnommen, in der WRG-Anlage entwärmt und anschließend in die Kanalisation geleitet. Mit der rückgewonnenen Abwasserwärme wird im Gegenstrom Frischwasser erwärmt und in den  $2 \text{ m}^3$ -Duschwasserspeicher eingespeist.

Bei Warmwasserentnahme in den Duschräumen fließt Wasser aus diesem Speicher in zwei weitere  $2,5 \text{ m}^3$  große Duschwasserspeicher, die mit dem Zirkulationskreislauf verbunden sind. Die Speicher können entweder von der Wärmepumpe mit einer Leistung von  $90 \text{ kW}$  oder von der Fremdheizung mit einer Leistung von  $110 \text{ kW}$  nachgeheizt werden.

Den Warmwasserduschen wird Wasser mit einer konstanten Temperatur zugeführt, die an einem außerhalb der Duschräume stehenden Mischventil eingestellt werden kann.

Da die Temperatur im Duschwasserkreislauf ständig höher liegt als die Temperatur im Heizungskreislauf, werden auch die Wärmebänke in der Schwimmhalle aus dem Duschwasserkreislauf mit Wärme versorgt.

### 2.2 Regelung und Steuerung

Der Einsatz des WRG-Gerätes wird durch den Füllstand im Abwasserspeicher bestimmt. Bei einem verfügbaren Abwasservolumen von etwa  $400 \text{ l}$  schaltet der Regler R1 das WRG-Gerät ein (Bild 3). Da die interne Pumpe einen konstanten Abwasserstrom von  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$  fördert, ist das WRG-Gerät mindestens 16 Minuten je Ein-

schaltung in Betrieb. Das Gerät wird abgeschaltet, wenn entweder der Abwasserpegel einen Mindeststand erreicht hat oder die Temperatur im ersten Duschwasserspeicher am Thermostat Th4 den Wert von 25 °C aufweist. Mit dem Grenzwert von 25 °C soll sichergestellt werden, daß die in dem WRG-Gerät befindliche Wärmepumpe nur innerhalb eines technisch und wirtschaftlich günstigen Bereichs arbeitet.

Die Nachheizung des Duschwassers mit der Wärmepumpe (WP) wird über zwei Thermostatifühler im zweiten Duschwasserspeicher gesteuert (Regler R2). Der obere Thermostat Th1 schaltet die Wärmepumpe bei Unterschreiten einer Temperatur von 42 °C ein, der untere Thermostat Th2 bei einer Temperatur von 46 °C wieder aus.

Nur ein Thermostatifühler TH3 steuert die Nachheizung des Duschwassers mit der Fremdheizung. Bei Unterschreiten einer Temperatur von 42 °C verändert die Regelung R3 die Stellung des Drei-Wege-Ventils V1. Die Nachheizung wird bei einer Temperatur von 45 °C beendet.

Der Wasserdurchfluß an einer Dusche wird über die Regelung R5 freigegeben, wenn der Badegast in den Überwachungsbereich eines Radarmelders, der in der Wand unterhalb einer jeden Zapfstelle eingelassen ist, eintritt. Sobald der Duschende diesen Bereich wieder verläßt, wird die Dusche innerhalb kurzer Zeit (ca. 5 sec) wieder abgeschaltet.

### 2.3 Wärmerückgewinnungsgerät

Zum Wärmerückgewinn aus Duschabwasser wurde ein "Abwasser-Wärmepumpen-Rekuperator-Gerät" der Firma Menerga (Typ 421500) eingesetzt. Den prinzipiellen Aufbau der WRG-Anlage zeigt Bild 4. Das Gerät besteht aus zwei Einheiten, der Filter-Einheit und der Wärmerückgewinn-Einheit, die getrennt in zwei Gehäusen eingebaut und nebeneinander aufgestellt sind.

Das aus dem Duschabwasserspeicher entnommene Wasser wird durch ein Grobschmutzfilter geleitet und danach in einem Sandfilter gereinigt. Von dort wird das Wasser in den Plattenwärmetauscher geführt, wo es einen großen Teil seiner Wärme auf das im Gegenstrom fließende Frischwasser überträgt. Dann wird es im Verdampfer der Wärmepumpe weiter abgekühlt und die entzogene Wärme über den Wärmepumpenkreislauf im Kondensator dem vorgewärmten Frischwasser zugeführt.

Mit dem gefilterten abgekühlten Abwasser wird nun das zweite Sandfilter gespült und das Schmutzwasser in die Kanalisation geleitet. Bei diesem Prozeß wird unter Einsatz von elektrischer Energie zum Antrieb des Kompressors der Wärmepumpe und der Umwälzpumpen das Duschabwasser unter Frischwassertemperatur abgekühlt und das Frischwasser über Duschabwassertemperatur aufgeheizt.

Um beim Einschalten des WRG-Gerätes eine abrißfreie Abwasserströmung sicherzustellen, wird während der Anlaufphase von etwa 100 Sekunden der rückzuspülende Sandfilter über einen Bypass (V2) umgangen und zusätzlich zur Umwälzpumpe UP7 die Abwasserpumpe AP hinzugeschaltet.

Nach einer Laufzeit von zwei Stunden werden die Sandfilter durch Umschalten der Vier-Wege-Ventile in entgegengesetzter Richtung durchströmt.

Bild 5 zeigt einen Blick auf die WRG-Anlage mit dem Duschabwasserbehälter im Hintergrund.

#### 2.4 Bemessung der WRG-Anlage

Bei der Berechnung des Duschwasserbedarfs zum Bemessen der WRG-Anlage wurde ein Wasserdurchsatz je Brausekopf von 13 l/min zugrundegelegt. Beobachtungen in anderen Schwimmbädern zeigten, daß jeder Badegast im Mittel etwa 4 Minuten duscht. Daraus ergab sich ein Duschwasserbedarf von rund 50 l pro Person.

Für die KSH Schwalmtal wurden höchstens 400 Besucher je Tag und maximal 40 Badegäste je Stunde erwartet. Daraus errechnete sich ein maximaler stündlicher Duschwasserbedarf von  $2 \text{ m}^3$  und ein maximaler täglicher Duschwasserbedarf von  $20 \text{ m}^3$ . Legt man für das WRG-Gerät eine maximale Betriebsdauer von 14 Stunden je Tag fest, so muß der Ab- bzw. Frischwassernennstrom mindestens  $1,43 \text{ m}^3/\text{h}$  betragen. Aufgrund dieser Berechnung wurde aus dem Angebot des Herstellers ein Gerät mit einem Nennstrom von  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$  Frisch- bzw. Abwasser ausgewählt.

Um auch bei länger anhaltendem starken Besucherandrang das gesamte Duschabwasser nutzen zu können, wurde ein Abwasserspeicher mit einem maximalen Volumen von  $2 \text{ m}^3$  und einem nutzbaren Volumen von  $1,6 \text{ m}^3$  eingebaut. Damit sollte sichergestellt werden, daß bei einem maximalen Duschwasseranfall von  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  über eine Zeit von 4 Stunden kein Abwasser ungenutzt in die Kanalisation abfließt.

Pro Jahr wurden für die KSH Schwalmtal rund 90.000 Besucher erwartet, so daß mit einem Duschwasserverbrauch von etwa  $4.500 \text{ m}^3$  zu rechnen war. Bei einer 100 %igen Nutzung des Abwassers können durch dessen Abkühlung von  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  auf  $6 \text{ }^\circ\text{C}$  etwa 125.000 kWh Wärme pro Jahr gewonnen werden. Zusammen mit dem Wärmeäquivalent der elektrischen Energie, die für den Betrieb der WRG-Anlage erforderlich ist, wurde eine abgebbare Wärme von 141.000 kWh pro Jahr ermittelt.

### 3. Betriebserfahrungen mit der WRG-Anlage

Bei der WRG-Anlage traten in der Zeitspanne von Dezember 1982 bis Juni 1983 im Mittel alle 7 Tage Betriebsstörungen auf. Diese wurden teilweise sofort behoben, teilweise erst nach einigen Tagen des Stillstands der Anlage bemerkt, weil keine Anzeige über den Anlagenausfall im Schwimmmeisterraum eingebaut ist. Ursache der Störungen war in nahezu allen Fällen ein verstopftes Vorfilter zwischen Duschabwasserbehälter und WRG-Gerät, so daß die interne Sicherheitsregelung wegen des zu geringen Abwasserdurchsatzes die Anlage abschaltete. Nach der recht umständlichen Reinigung des Vorfilters konnte der Betrieb wieder aufgenommen werden. Ab Anfang Februar 1983 ist das engmaschige Vorfilter nicht mehr eingesetzt worden. Seitdem wurden Verunreinigungen im Grobfilter, das im Gehäuse der externen Umwälzpumpe UP3 vor dem Laufrad installiert ist, abgefangen. Das leicht zugängliche Grobfilter wurde in der folgenden Zeit im Mittel alle 14 Tage gereinigt. Es traten nur noch selten Betriebsstörungen an der WRG-Anlage auf. Gelegentlich mußte jedoch das Laufrad der Abwasserpumpe von Haaren befreit werden, die nicht durch das Grobfilter abgefangen wurden.

Im Juni 83 traten vermehrt Störungen an der WRG-Anlage auf, die sich schließlich nicht mehr beheben ließen. Anfang Juli wurde der Wärmepumpenkreislauf in dem WRG-Gerät im Rahmen der Gewährleistung ausgetauscht. Der Ausfall der Anlage war auf zwei Ursachen zurückzuführen: Zum einen sank der Abwasserdurchsatz infolge Verschmutzung des Plattenwärmetauschers und das Wasser im Verdampfer wurde sehr stark abgekühlt. Zum anderen funktionierte die Sicherheitsabschaltung der Wärmepumpe nicht, so daß aufgrund von Eisbildung der Verdampfer beschädigt wurde. Bei der Suche nach der Schadensursache wurde auch der Plattenwärmetauscher geöffnet. Dabei wurde auf den Abwasserseiten erhebliche Schmutzablagerungen festgestellt, die sowohl zu einer Verminderung des Abwasserdurchsatzes als auch zu einer Beeinträchtigung des Wärmeübergangs geführt haben müssen (Bild 6).

Die Beobachtungen zeigten, daß eine funktionsfähige Grobreinigung des Duschabwassers für einen einwandfreien Betrieb der WRG-Anlage unbedingt notwendig ist, jedoch in der beschriebenen Form unzureichend war. Hier mußte nach einer zuverlässigen Lösung gesucht werden. Ein Verbesserungsvorschlag ist in einem späteren Kapitel des Berichts aufgeführt.

Die Wirtschaftlichkeit der WRG-Anlage hängt wesentlich von der genutzten Abwassermenge ab. Kleine Störungen, die vom Betreiber behoben werden können, aber nicht sofort bemerkt werden, vermindern den Wärmerückgewinn, da große Mengen an Abwasser ungenutzt in die Kanalisation abfließen. Daher sollten Störungen der WRG-Anlage an einer zentralen Stelle, z.B. im Schwimmeisteraum, angezeigt werden, um ein sofortiges Eingreifen zu ermöglichen und somit lange Stillstandszeiten der WRG-Anlage zu vermeiden.

#### 4. Meßergebnisse

##### 4.1 Besucherzahlen

Der Duschwasserverbrauch in einem Hallenbad ist in erster Linie von der Besucherzahl abhängig. Wie im Laufe der Untersuchungen festgestellt wurde, war darüber hinaus in Schwalmtal eine starke Abhängigkeit von den verschiedenen Besuchergruppen zu beobachten. Daher sind die Öffnungszeiten der Schwimmhalle für die verschiedenen Besuchergruppen zur Beurteilung des Duschwasserverbrauchs von Interesse. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht mit den Öffnungszeiten außerhalb der Schulferien und den Sonderregelungen in den Oster- und Sommerferien 1983 (NRW). Die Aufenthaltsdauer eines Badegastes während des öffentlichen Betriebs ist nicht begrenzt.

Seit der Eröffnung am 4. Dezember 1982 bis zum 31. Juli 1983 wurden in der KSH Schwalmtal rund 60.000 Besucher gezählt. In Tabelle 2 ist diese Zahl nach Monaten und Besuchergruppen aufgeschlüsselt.

Die folgenden Auswertungen erstrecken sich über den Zeitraum von 21. März bis 31. Juli 83. In Bild 7 ist der zeitliche Verlauf der wöchentlichen Besucherzahl aufgeteilt nach den Besuchergruppen dargestellt. Wegen der fehlenden Schulbadegäste und der Schließung der Schwimmhalle an den Feiertagen wurden in den Osterferien wöchentlich weniger Besucher gezählt als in der übrigen Zeit. Mit verlängerten Öffnungszeiten für den öffentlichen Badebetrieb konnte in den Sommerferien erreicht

werden, daß die Anzahl der öffentlichen Badegäste gegenüber den vorherigen Wochen trotz des schönen Wetters und Besucherrekorden in den umliegenden Freibädern auf einen nahezu konstanten Wert von etwa 1200 Personen pro Woche anstieg.

#### 4.2 Energiebilanz

In Bild 8 ist das Energieflußbild für den Bilanzzeitraum 21. März bis 31. Juli 1983 dargestellt. Um das Duschwasser für 31.235 Besucher aufzuheizen, wurde eine Wärmemenge von 81.988 kWh benötigt. Daraus errechnet sich ein mittlerer Duschwasserwärmeverbrauch von 2,62 kWh pro Badegast. Aus meßtechnischen Gründen sind hierin bereits die Zirkulationsverluste des Mischwasserkreislaufs enthalten, die aber aufgrund der niedrigen Mischwassertemperatur (39 °C), der hohen Lufttemperatur in den Technikräumen (28 °C) und der Wärmedämmung der Zirkulationsleitungen sehr gering sind.

Die Umwälzpumpe für die Ringleitung an den Wärmebänken wurde Ende Mai abgeschaltet, da eine Wärmeabgabe in den Sommermonaten nicht sinnvoll erschien und eine spürbare Temperaturerhöhung der Wärmebänke zu diesem Zeitpunkt nicht mehr gemessen werden konnte. Dagegen konnte tagsüber eine deutliche Erwärmung der Wärmebänke, die hinter der nach SSW ausgerichteten Fensterfront der KSH stationiert sind, durch Einstrahlung festgestellt werden.

Einschließlich der Wärmeabgabe an die Wärmebänke mußte im gesamten Warmwasserkreislauf an den 133 Tagen innerhalb des Bilanzzeitraums ein Nutzenergiebedarf von 86.068 kWh gedeckt werden.

An der Wärmeerzeugung im Warmwasserkreislauf in Höhe von 98.257 kWh - im folgenden gleich 100 % gesetzt, Klammerwerte nennen die entsprechenden Prozentangaben im Energieflußbild - war die WRG-Anlage mit 31,7 % (36,2 %), die Wärmepumpe einschließlich des Stroms zum Antrieb der Hilfsantriebe mit 54 % (48,2 % + 13,4 %) und die Fremdheizung mit 14,3 % (16,4 %) beteiligt. Zum Antrieb des Kompressors und der Umwälzpumpen der WRG-Anlage, der Kompressoren der Wärmepumpe und der Hilfsantriebe im Wärmepumpenkreislauf wurden 31.999 kWh benötigt. Von der Fremdheizung der benachbarten Schule wurden 14.104 kWh Wärme bezogen. Somit betrug der Endenergieanteil an der Wärmeerzeugung 46,9 % (53,6 %). Der Rest konnte durch Nutzung der Abwasserwärme und Umweltwärme gedeckt werden.

Aus der Energiebilanz errechnet sich eine Arbeitszahl der WRG-Anlage von  $\epsilon_{WRG} = 7,35$ . Die Arbeitszahl ist der Quotient aus der abgegebenen Wärme der WRG-Anlage und der bezogenen elektrischen Energie. Aus Wochenauswertungen geht hervor, daß die Arbeitszahl ständig abnahm, bevor sich die Störung am Kompressor der WRG-Anlage nicht mehr beheben ließ. In den ersten Wochen des Bilanzzeitraums, als ein ordnungsgemäßer Betrieb der WRG-Anlage gewährleistet war, wurden Arbeitszahlen in der Größenordnung von 8 errechnet.

Die Wärmepumpe steuerte den größten Anteil zur Wärmeerzeugung im Warmwasserkreislauf bei. Dieser Beitrag konnte jedoch nur mit einem erheblichen Stromeinsatz geleistet werden, der sich in einer niedrigen Gesamtarbeitszahl von  $\epsilon_G = 1,5$  der Wärmepumpenanlage niederschlägt. In dieser Arbeitszahl ist der Stromverbrauch für die Hilfsantriebe, der aufgrund der verwirklichten Betriebsstrategie im Heizungskreislauf recht hoch ist, enthalten. Berücksichtigt man nur die zum Antrieb der Kompressoren aufgenommene Energie, so berechnet sich die Arbeitszahl zu  $\epsilon_K = 2,55$ . An dieser Stelle wird auf Verbesserungsvorschläge in einem weiteren Untersuchungsabschnitt in der KSH Schwalmtal verwiesen, der sich mit dem Beitrag der Wärmepumpe an der Wärmebedarfsdeckung befaßt.

Aus den genannten Zahlen geht hervor, daß die eingangs erwähnten Einsparungen mit der WRG-Anlage in Höhe von 70 % nicht erreicht wurden.

Eine der Ursachen ist sicherlich der Ausfall der WRG-Anlage, der sich Mitte Juni anbahnte und ca. einen Monat einschließlich der Reparaturarbeiten dauerte. In dieser Zeit floß nahezu das gesamte anfallende Duschwasser ungenutzt in die Kanalisation. Bild 9 zeigt eine Wochenauswertung innerhalb des Bilanzzeitraums, in der sich der rückläufige Beitrag der WRG-Anlage abzeichnet. Weiterhin ist zu erkennen, daß in den Osterferien (die ersten drei Säulen) anteilig weniger Energie zurückgewonnen werden konnte, als außerhalb der Schulferien in Wochen mit gleichem Wärmebedarf.

Ein weiterer Grund ist im erhöhten Duschwasserwärmeverbrauch zu suchen, da rund 50 % mehr Energie für die Aufheizung des Duschwassers pro Badegast benötigt wurden als in der Auslegung angenommen worden war. Ein Höchstwert wurde in der zweiten Woche des Bilanzzeitraums mit 4,79 kWh pro Besucher erreicht, niedrige Werte von etwa 1,9 kWh pro Besucher in Wochen mit einem hohen Anteil an schulischen Besuchern. Daraus zeichnet sich bereits ein recht unterschiedliches Duschverhalten der einzelnen Besuchergruppen ab, das sich letztendlich auf den Energiebedarf und die zurückgewonnene Wärmemenge entscheidend auswirkt.

### 4.3 Duschwasserverbrauch

#### 4.3.1 Einfluß von Besuchergruppen

Aus meßtechnischen Gründen konnte im Auswertungszeitraum nur das von den Wärmeerzeugern aufgeheizte Duschwasser erfaßt werden, das im folgenden mit Duschwarmwasser bezeichnet wird. Die Menge des in der Mischbatterie in einem nahezu konstanten Verhältnis zugeführten Kaltwassers kann aber geschätzt werden. Bei einer Mischwassertemperatur von etwa  $39^{\circ}\text{C}$ , einer mittleren Warmwassertemperatur von  $42^{\circ}\text{C}$  und einer Kaltwassertemperatur von  $11^{\circ}\text{C}$  liegt der gesamte Duschwasserverbrauch im Mittel um etwa 11 % über den in den folgenden Auswertungen eingezeichneten Werten:

Im Auswertungszeitraum verbrauchten 31.235 Besucher insgesamt  $2.068\text{ m}^3$  Duschwarmwasser. Daraus berechnet sich ein mittlerer Verbrauch von 66,2 l pro Person.

Bild 10 zeigt den zeitlichen Verlauf des mittleren täglichen Duschwarmwasserverbrauchs je Badegast. In den Osterferien, Sommerferien und an Wochenenden außerhalb der Schulferien liegt der Duschwarmwasserverbrauch höher als an den Werktagen mit schulischen Besuchern. Daraus läßt sich schließen, daß die Duschen zur Zeit des öffentlichen Badebetriebs länger genutzt werden.

In Bild 11 sind die Tageswerte des Duschwarmwasserverbrauchs über der Besucherzahl aufgetragen. Die Mehrzahl der Meßwerte überschreitet den Wert von 50 l pro Person, der bei der Auslegung zugrundegelegt wurde. An einigen Tagen wurden sogar mehr als 100 l Duschwarmwasser pro Besucher verbraucht.

Der Duschwarmwasserverbrauch ist in Bild 12 nach den Besuchergruppen aufgeschlüsselt. Bei den öffentlichen Badegästen ist der Duschwarmwasserverbrauch direkt von der Besucherzahl abhängig und liegt im Mittel bei 86 l pro Person. Die Schüler haben den geringsten Wasserverbrauch, der zwischen 50 l/Person bei einer geringen und 20 l/Person bei einer hohen Anzahl an schulischen Besuchern schwankt. Bei den eingezeichneten Punkten zu den Schulen ist zu beachten, daß bei einigen Werten im Bereich von etwa  $7\text{ m}^3/\text{d}$  Duschwarmwasserverbrauch und 150 schulischen Besuchern noch der Wasserverbrauch der Frühschwimmer enthalten ist, die Anzahl der Personen jedoch nicht erfaßt und daher nicht berücksichtigt werden konnte.

Beobachtungen haben gezeigt, daß die Schüler wegen der durch den Stundenplan eingeschränkten Aufenthaltsdauer zu Beginn der Schwimmstunde teilweise gar nicht, teilweise sehr kurz oder, wenn die Anzahl der Entnahmestellen nicht ausreicht, mit mehreren Personen gleichzeitig an einer Entnahmestelle duschen. Gegen Ende der Schwimmstunde benutzen meistens nur die älteren Schüler die Duschen zur Körperreinigung über eine längere Zeit, während die jüngeren Schüler größtenteils ohne zu Duschen direkt zu den Umkleidekabinen streben.

Bei der Auslegung der WRG-Anlage wurde ein maximaler Duschwasserverbrauch von  $2 \text{ m}^3/\text{h}$  zugrundegelegt. Bedenkt man, daß der gesamte Wasserverbrauch um 11 % über dem gemessenen Warmwasserverbrauch liegt, entspricht das in der Auslegung einem Duschwarmwasserverbrauch von etwa  $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ . Bild 13 zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung der stündlich verbrauchten Duschwarmwassermenge innerhalb des Auswertungszeitraums. In dem linken Kurvenverlauf sind nur die Stunden zur Zeit des Schulschwimmens, werktags von 7.00 bis 13.00 Uhr, berücksichtigt. In dieser Zeit wird der Auslegungswert nur selten überschritten. Dagegen wird in Zeiten des öffentlichen Badebetriebs weitaus mehr Duschwasser verbraucht, als in der Auslegung angenommen wurde.

#### 4.3.2 Tagesgang des Duschwasserverbrauchs

In Bild 14 ist der zeitliche Verlauf des Duschwarmwasserverbrauchs für einen durchschnittlichen Wochentag aufgetragen. Jede Meßzeitspanne dauerte 15 Minuten. Die bereits erwähnten Duschgewohnheiten der verschiedenen Besuchergruppen spiegeln sich im Gang der Duschwasserentnahme wieder.

In der Zeit von 6.00 bis 7.00 Uhr entnehmen die "Frühaufsteher" ständig Wasser. Besonders in der letzten halben Stunde steigt der Wasserverbrauch an, da die Mehrzahl aller Besucher nach dem Verlassen der Schwimmhalle besonders lange duscht. Während des Schulunterrichts in der Zeit danach fließt nur noch dann Duschwasser, wenn ein Wechsel der Schulklassen stattfindet. Bis etwa 11.00 Uhr sind die unteren Schulklassen anwesend, die sehr wenig Wasser verbrauchen. Von 11.00 bis 14.00 Uhr findet der Schwimmunterricht der höheren Klassen statt, deren Schüler sich im allgemeinen einer längeren Körperreinigung unterziehen. In den Nachmittagsstunden bis zur Schließung des Bades gegen 20.00 Uhr wird ständig Duschwasser entnommen. Ein Höchstwert - häufig etwa  $1,4 \text{ m}^3/\text{Viertelstunde}$  - wird an den meisten Werktagen gegen 17.00 Uhr erreicht. Ähnliche hohe Werte wurden auch zu Beginn (14.00 bis 15.00 Uhr) und gegen Ende (19.00 bis 20.00 Uhr) des öffentlichen Badebetriebs

gemessen. Zu diesen drei Zeiten fallen auch die hohen Stundenwerte des Duschwasserverbrauchs in der Häufigkeitsverteilung in Bild 13 an.

Bild 15 zeigt den Gang des Duschwasserverbrauchs an einem Samstag. Im Tagesverlauf treten morgens und nachmittags Abnahmespitzen auf, die um etwa 30 % unter den an Werktagen gemessenen Höchstwerten liegen.

Während der Schulferien weisen die Tageskurven in den Morgenstunden einen ähnlichen Verlauf wie in den Morgenstunden der Samstage auf. Nachmittags und abends stimmt der Duschwasserverbrauch annähernd mit dem Gang an Werktagen zu den gleichen Zeitpunkten überein.

#### 4.3.3 Ursachen des erhöhten Duschwasserverbrauchs

Im Gegensatz zur ursprünglichen Planung, in der Brauseköpfe mit Ein-Loch-Blenden und einem Duschwasserdurchsatz von 13 l/min bei 3 bar Betriebsdruck vorgesehen waren, wurden bei der Fertigstellung der Inneneinrichtungen Drei-Loch-Blenden in die Brauseköpfe eingesetzt. Hierfür gibt der Hersteller einen Nennwasserdurchsatz von etwa 20 l/min bei gleichem Betriebsdruck an. Da kein Druckminderventil in der Kaltwasserzufuhr zur Warmwasseraufbereitungsanlage installiert ist, liegt der Wasserdruck des gesamten Schwimmbades von etwa 4 bar auch im Warmwasserkreislauf an. Folglich ist eine noch höhere Wasserabgabe an jedem Brausekopf zu erwarten.

Aus Messungen zu unterschiedlichen Zeiten und unterschiedlicher Besucherdichte konnte eine Duschwasserabgabe je Brausekopf zwischen 20 und 22 l/min ermittelt werden. Erfahrungswerte über die Besuchergewohnheiten in anderen Hallenbädern sagen aus, daß ein Badegast im Mittel etwa 3-4 Minuten Wasser an einer Dusche entnimmt. Der in der Auslegung angesetzte Wert von 50 l pro Badegast ist daher für die ursprünglich geplanten Einsätze als obere Grenze anzusehen. Mit der tatsächlich gemessenen Duschwasserabgabe je Brausekopf ergibt sich aus den Erfahrungswerten ein Duschwasserverbrauch, der in der Größenordnung von 60 bis 80 l pro Person liegt.

Eine weitere Ursache für den erhöhten Duschwasserverbrauch ist die nicht begrenzte Aufenthaltsdauer für öffentliche Badegäste, die dazu führt, daß Besucher immer wieder die Duschräume zum Aufwärmen aufsuchen.

Seit der Eröffnung des Schwimmbades konnte die Wasserabgabe an einzelnen Brauseköpfen nicht zufriedenstellend geregelt werden. Es wurde beobachtet, daß einige der radargesteuerten Duschen durch nachtropfendes Wasser häufig selbsttätig in Betrieb gingen oder sehr lange nachliefen, obwohl der Duschende sich bereits entfernt hatte. Veränderungen an der Elektronik und der Einbau von Rückschlagventilen an allen Brauseköpfen konnten das Problem nur kurzzeitig zufriedenstellend lösen.

#### 4.4 Duschwasserwärmeverbrauch

Der Duschwasserwärmeverbrauch wurde erst nach dem 25. Mai 1983 im Rahmen der Kurzzeitmessungen erfaßt. Daher stehen nur für die zweite Hälfte des Auswertungszeitraumes Meßdaten zur Verfügung.

Das Duschwarmwasser wird von 11 °C auf etwa 42 bis 45 °C erwärmt, bevor es in der Mischbatterie mittels Kaltwasser auf die gewünschte Temperatur von etwa 39 bis 40 °C abgekühlt wird. Die Temperatur in dem Wassernetz der Gemeinde Schwalmatal ist nur geringen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen und kann nahezu als konstant angenommen werden. Bild 16 zeigt den Zusammenhang zwischen dem stündlichen Duschwasserwärmeverbrauch und dem Duschwarmwasserverbrauch, aus dem eine mittlere Temperaturerhöhung des Warmwassers von 29,3 K berechnet wurde. Es sind zwei Geraden mit Temperaturerhöhungen von 25 K und 36 K eingezeichnet, zwischen denen die Mehrzahl der gemessenen Punkte liegt. Bei einem Bestimmtheitsmaß der Regressionsgeraden von 95,9 % ist zu erwarten, daß der Duschwasserwärmeverbrauch sich genauso wie der Duschwarmwasserverbrauch verhält.

In Bild 17 ist der tägliche Duschwasserwärmeverbrauch über der Besucherzahl aufgetragen. Die Tagesmittelwerte liegen im Bereich zwischen 1,5 und 4 kWh pro Badegast. Auch hier können zwei nach den Besuchergruppen Öffentlichkeit und Schulen getrennte Bereiche mit unterschiedlichem Duschwasserwärmebedarf ermittelt werden, die in Bild 18 eingetragen sind. Zur Bereitstellung des Duschwassers mit einer Temperatur von etwa 40 °C werden für jeden öffentlichen Badegast im Mittel 2,7 kWh benötigt.

Bild 19 zeigt den mittleren täglichen Duschwasserwärmeverbrauch je Badegast in dem verkürzten Auswertungszeitraum. Einen besonders hohen Verbrauch haben die Badegäste an den Wochenenden außerhalb der Schulferien, während sich in den Schulferien die Verhältnisse umkehren.

Eine Summenhäufigkeitsverteilung des stündlichen Duschwasserwärmeverbrauchs zeigt Bild 20, in der nach schulischen und öffentlichen Besucherzeiten unterschieden wurde.

#### 4.5 Wärmerückgewinn

Legt man eine Kaltwasserzufuhr im Mischventil in Höhe von 11 % des Duschwarmwasserverbrauchs zugrunde, wurden im Auswertungszeitraum 2.295 m<sup>3</sup> Wasser an den Duschen entnommen. In der gleichen Zeit nutzte die WRG-Anlage 1.240 m<sup>3</sup> Abwasser (54 %). Die in den Duschräumen verdunstende Wassermenge ist von untergeordneter Bedeutung. Ein großer Teil des Abwassers ist daher in Zeiten mit hohem Duschwasserverbrauch und während der Ausfallzeitspannen der WRG-Anlage ungenutzt über den Überlauf des Duschabwasserbehälters abgelaufen.

In Bild 21 ist der mittlere wöchentliche Duschwasserverbrauch und die zum Wärmerückgewinn genutzte Duschabwassermenge dargestellt. Mit Ausnahme der Zeit, in der die WRG-Anlage wegen der Reparaturarbeiten stillstand, wurde in den Schulferien - die ersten und letzten drei Wochen - und in der ersten Woche nach den Osterferien ein überdurchschnittlich hoher Anteil des Abwassers nicht genutzt. Zwei Gründe können hierfür angeführt werden. Zum einen war die WRG-Anlage zeitweise durch Störung ausgefallen, die erst mehrere Tage später bemerkt und behoben wurde. Hätte eine Lampe im Schwimmeisterraum die Betriebsunterbrechung angezeigt, wären die Störungen, die in der Regel einfach zu beheben waren, beseitigt worden und man hätte sicherlich mehr Abwasser genutzt. Zum anderen haben Beobachtungen gezeigt, daß der Abwasserbehälter besonders in den Nachmittagsstunden bei störungsfreiem Betrieb der WRG-Anlage ständig gefüllt war und neu hinzuströmendes Abwasser direkt in die Kanalisation geleitet wurde.

Bild 22 zeigt einen Tagesverlauf des Duschwarmwasserverbrauchs und des von der WRG-Anlage genutzten Duschabwassers als Stundenmittelwert. Hier handelt es sich um einen Wochentag mit Frühschwimmerstunde von 6.00 bis 7.00 Uhr und Schulunterricht in der Zeit von 7.00 bis 14.00 Uhr. In dem Bild ist ausgewiesen, wann der Abwasserbehälter gefüllt war und welche Abwassermenge ungenutzt abgeflossen ist. Es ist zu erkennen, daß in den Morgenstunden das gesamte Duschwasser genutzt wird, während am Nachmittag der Behälter überläuft.

Es lag daher nahe, den Zusammenhang zwischen der genutzten Abwassermenge und dem Duschwarmwasser getrennt nach den Gruppen Schüler und Öffentlichkeit zu

untersuchen. In Bild 23 sind die gemessenen Werte eingetragen. Wenn die schulischen Besucher anwesend sind, wird alles Duschabwasser genutzt. Der Grenzwert der genutzten Abwassermenge in der Zeit des öffentlichen Badebetriebs, etwa  $11 \text{ m}^3$ , läßt sich einfach errechnen: In der Öffnungszeit von 15.00 bis 21.00 Uhr verarbeitete die WRG-Anlage stündlich einen Nennwasserstrom von  $1,5 \text{ m}^3$  und nutzte anschließend noch den Inhalt des Duschabwasserspeichers von  $2 \text{ m}^3$ .

Bild 24 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Wärmerückgewinn und dem Wärmehalt des entnommenen Duschwassers. Bei Schulbetrieb und 100 %-iger Nutzung des Abwassers wurden 65 % der Duschwasserwärme über die WRG-Anlage zurückgewonnen. Die Meßdaten, aus denen dieser Wert ermittelt wurde, wurden in der Zeit vor dem Ausfall der WRG-Anlage aufgenommen. Es ist aber nicht auszuschließen, daß die Wärmeübertragung im Wärmetauscher bereits beeinträchtigt war. Es zeichnet sich jedoch ab, daß bei einer Nutzung der gesamten Abwassermenge der Beitrag der WRG-Anlage gegenüber dem Anteil in der Energiebilanz (36 %) fast verdoppelt werden kann. Die erwarteten Einsparungen in Höhe von 70 % scheinen angesichts der aufgezeichneten Probleme und der bereits eingeleiteten Verbesserungsmaßnahmen erreichbar.

#### 4.6 Leistungswerte der WRG-Anlage

Das WRG-Gerät hat die Aufgabe, dem Abwasser mit einem möglichst geringen Energieeinsatz Wärme zu entziehen und diese auf das Frischwasser zu übertragen. Entscheidende Kennzahlen für die Leistungsfähigkeit des Gerätes sind die Arbeitszahl, die sich aus dem Quotienten der abgegebenen Wärme und der aufgenommenen elektrischen Energie berechnet, und die Heizleistung.

Die Ermittlung von signifikanten Zusammenhängen zwischen den Leistungsdaten und den an dem WRG-Gerät gemessenen Temperaturen bzw. berechneten Temperaturdifferenzen erwies sich als recht schwierig. Der Vergleich von zwei Tagesgängen mit annähernd gleichem Gang des Duschabwasseranfall aber recht unterschiedlichem Anlagenverhalten verdeutlicht die Problematik und läßt Rückschlüsse auf das Anlagenverhalten zu.

Bild 25 zeigt die Tagesgänge der Temperaturen auf der Abwasser- und Frischwasserseite sowie Laufzeit und Leistungswerte des WRG-Gerätes vom 16.5.83. Der Tag wurde ausgewählt, weil das Gerät in den Nachmittagsstunden mit Ausnahme von 2 kurzen Unterbrechungen ständig in Betrieb gewesen ist. Zum Vergleich sind die Ta-

gesänge der gleichen Daten des 4.5.83 in Bild 26 eingezeichnet. An diesem Tag taktete das WRG-Gerät häufiger, da der Mindestdurchsatz gelegentlich unterschritten wurde und daraufhin einige interne Aggregate zu- bzw. eingeschaltet wurden. Dieses Bild stellt keinesfalls das gewöhnliche Betriebsverhalten des Gerätes dar, sondern beschreibt einen Ausnahmezustand, in dem sich aber typische Veränderungen der Anlagenkenndaten bei Anfahrvorgängen widerspiegeln.

Zwei Temperaturverläufe haben beide Bilder gemeinsam:

- Die Temperatur des Duschabwassers ist beim ersten Einsatz des WRG-Gerätes niedriger als zu anderen Zeitpunkten des Tages. Das erste Wasser des Tages kühlt ab, wenn es die Rohrleitungen, den Speicher und das Gerät von Raumtemperatur, etwa 26-28 °C, auf Abwassertemperatur, im Mittel 30 °C, erwärmt.
- Die Frischwassertemperatur steigt gegen Ende der Laufzeit des Gerätes insbesondere nach Beendigung des Badebetriebs an. Zu diesen Zeitpunkten wird kein Duschwasser entnommen und dann der Inhalt des WRG-Frischwasserspeichers aufgewärmt.

In beiden Fällen kann beobachtet werden, daß sowohl die Heizleistung als auch die Arbeitszahlen hinter den Werten bei Dauerbetrieb zurückbleiben. Daraus läßt sich auf einen Zusammenhang zwischen den Leistungskenndaten des WRG-Gerätes und der Temperaturdifferenz zwischen dem Duschabwasser und dem Frischwasser schließen. In Bild 27 ist die ermittelte Wärmeabgabeleistung für den im folgenden betrachteten Zeitraum 25.4.-29.5.83 (5 Wochen) in ein Diagramm eingetragen. Jeder Leistungswert wurde für ein viertelstündiges Meßintervall ermittelt.

Man erkennt, daß viele Punkte im Bereich von 45-50 kW Heizleistung und einer Temperaturdifferenz zwischen 19 und 22 K liegen. Die Angaben des Herstellers bzgl. der Nennheizleistung, 49 kW bei 21 K Temperaturdifferenz, stimmen weitgehend mit den Berechnungen aus den Meßwerten überein.

Alle Punkte, die in einem schmalen Streifen im oberen Bereich der Punktwolke liegen, bestätigen den vermuteten Zusammenhang.

Die verbleibenden Punkte, die in der Mehrzahl bei einer Temperaturdifferenz von 20 K und einer Heizleistung von 30 - 45 kW liegen, lassen sich anhand des taktenden

Betriebs in den Nachmittagsstunden des 4.5.83 leicht einordnen. Auch wenn es sich hier um eine Ausnahmesituation handelt, zeigt sich deutlich, wie die abgegebene Leistung des WRG-Gerätes bei konstanten Randbedingungen durch die interne Regelung reduziert wird.

Die zum Antrieb des Kompressors und der Umwälzpumpe aufgenommene mittlere viertelstündliche Leistung ist in beiden Tagesverläufen nahezu konstant. Der Mittelwert für alle Zeitpunkte des Meßzeitraums, an dem das Gerät mindestens 14 min 50 sec in Betrieb war - das sind 72 % aller Viertelstundenwerte, an denen das Gerät überhaupt gelaufen ist -, betrug 5,3 kW. Unter den gleichen Bedingungen wurde eine Heizleistung von 42,7 kW und folglich eine Arbeitszahl von rund 8 errechnet.

In Bild 28 ist die Summenhäufigkeit der Arbeitszahl im Auswertungszeitraum für verschiedene Laufzeiten aufgetragen. Berücksichtigt man alle Viertelstundenwerte, in denen das Gerät gelaufen ist, liegt auch der Mittelwert der Arbeitszahl mit 7,5 niedriger als bei Betriebszeiten über 14 min 50 sec.

Bild 29 zeigt für den gleichen Zeitraum die verschiedenen Temperaturniveaus, die das Wasser auf seinem Wege durch die Duschwassererwärmungsanlage vom Eintritt in das Schwimmbad bis zum Austritt in die Kanalisation durchläuft. Den Angaben liegen Temperatur-Mittelwerte aus Meßintervallen zugrunde, in denen das WRG-Gerät mindestens 14 min 50 sec in Betrieb war.

##### 5. Vorschläge zur besseren Nutzung der WRG-Anlage

Aus den Auswertungen der Meßergebnisse und Beobachtungen zum gesamten Warmwasser-Kreislauf ergaben sich eine Reihe von Verbesserungsvorschlägen.

Bei der Suche nach Möglichkeiten zur besseren Nutzung des anfallendes Duschabwassers stellt eine Reduzierung des Duschwasserverbrauchs gegenüber einer Vergrößerung des WRG-Gerätes oder des Abwasserspeichers wohl die kostengünstigere Lösung dar. Allerdings sollte darauf geachtet werden, daß die Wasserabgabe an den Brauseköpfen nicht zu spärlich erfolgt, da sich ein verminderter Duschkomfort auf den Gesamteindruck, den ein Besucher von einem Schwimmbad gewinnt, sicherlich nicht positiv auswirkt. Folgende Maßnahmen wurden in den Monaten August und September durchgeführt:

1. In die von den Duschräumen kommende Abwasserleitung wurde kurz vor dem Einlauf in den Abwasserbehälter ein Grobfilter installiert, das schnell und problemlos zu reinigen ist. Neben der Filterwirkung soll auch die Bereitschaft des Personals zur regelmäßigen Reinigung erhöht werden. Die durch Verschmutzung bedingten Ausfälle der WRG-Anlage sollen somit weitgehend reduziert werden.
2. In die Kaltwasserzuleitung zum Duschwasserkreislauf wurde ein Druckminderventil eingebaut.
3. An den Brauseköpfen wurden die Drei-Loch-Blenden, für die der Hersteller einen Durchsatz von 22 l/min angibt, gegen Ein-Loch-Blenden (13 l/min) ausgetauscht.
4. Zwischen dem warmen Frischwasseraustritt aus der WRG-Anlage und der Kaltwasserzufuhr im Mischventil wurde ein Bypass installiert und die Kaltwasserzufuhr abgesperrt. Somit wird einerseits das von der WRG-Anlage aufgeheizte Frischwasser sofort genutzt, andererseits gelangt das von der Wärmepumpe nachzuheizende Wasser mit niedriger Temperatur in den Wärmetauscher, was in der Regel zu einer besseren Arbeitszahl der Wärmepumpe führt. Es bleibt abzuwarten, ob das Mischventil bei den geringen Temperaturunterschieden zwischen "Kaltwasser" und Warmwasser weiterhin zufriedenstellend funktioniert, da seitens des Herstellers eine Temperaturdifferenz von mindestens 10 K verlangt wird.

Diese Änderungen sind in Bild 30 eingetragen. Des Weiteren sind Bemühungen im Gange, um ein Nachtropfen des Duschwassers an den Brauseköpfen zu verhindern. Der an dem WRG-Gerät befindliche Ausgang zur Meldung von Betriebsstörungen soll mit einer Warnleuchte auf dem Bedienungstableau im Schwimmeisteraum verbunden werden.

Die Beobachtungen in den folgenden Monaten sollen zeigen, ob mit den verwirklichten Maßnahmen die gewünschten Einsparungen erzielt werden können. Sollten sich weiterhin noch Verschmutzungen am Wärmetauscher des WRG-Gerätes ansammeln, wäre der Vorschlag zu machen, an den Abwasseranschlüssen Schlauchanschlußstutzen vorzusehen, um den Wärmetauscher mit erhöhtem Wasserdruck reinigen zu können.

Regelungstechnisch lassen sich noch Einsparungen erzielen, wenn die Steuerung der Warmwasseraufheizung mit der Wärmepumpe verbessert wird. An den zur Zeit eingesetzten Thermostaten (TH1 und TH2 in Bild 3) können die Sollwertanzeiger wegen ihrer zu kleinen unhandlichen Ausführung und einer schlechten Auflösung der Temperaturskala nicht auf die gewünschten Werte eingestellt werden, so daß es nicht möglich ist, das Wasser im zweiten Duschwasserspeicher gezielt auf sinnvoll festgelegte Temperaturen zu erwärmen.

## 6. Planung und Betrieb einer WRG-Anlage

Der Betreiber eines Hallenbades ist in der Regel daran interessiert, die Kosten der Wärmeversorgung seines Schwimmbades zu senken. Mit einer WRG-Anlage lassen sich die Wärmeverluste und damit der Wärmeverbrauch eines Hallenbades vermindern. Den eingesparten Energiekosten stehen jedoch die Kapital-, die Energie- und Instandhaltungskosten des WRG-Gerätes und der zusätzlichen Einrichtungen gegenüber, die vom Planer und Betreiber beeinflußt werden können.

Die folgenden Ausführungen sollen dazu beitragen, eine WRG-Anlage wirtschaftlich zu bemessen und kostensparend zu betreiben. Ihnen liegen die in der KSH Schwalmatal gewonnenen Erfahrungen zugrunde.

### 6.1 Überlegungen zur Bemessung einer WRG-Anlage

Eine Anlage zum Wärmerückgewinn aus Duschabwasser besteht aus einem WRG-Gerät, einem Abwasserspeicher und einem Frischwasserspeicher.

Das WRG-Gerät arbeitet sowohl auf der Abwasser- als auch auf der Frischwasserseite mit einem nahezu konstanten Durchsatz. Der Abwasserspeicher hat die Aufgabe, das zeitlich in unterschiedlichen Mengen anfallende Duschwasser aufzufangen und bis zur Nutzung mit dem WRG-Gerät zu bevorraten.

Die genutzte Abwassermenge hängt sowohl von dem gewählten Nennwasserdurchsatz des WRG-Gerätes als auch von dem verfügbaren Volumen des Abwasserspeichers ab.

Zu diesen beiden wesentlichen Anlagenteilen hat ein Preis-Leistungs-Vergleich mit handelsüblichen Anlagenteilen gezeigt, daß es in der Regel kostengünstiger ist, das WRG-Gerät knapp zu bemessen und die Größe des Abwasserbehältes entsprechend anzupassen.

Bei der Bemessung des WRG-Gerätes ist es sinnvoll, einen Zeitraum mit zyklisch wiederkehrenden Betriebszuständen zugrunde zu legen. Das ist für den Zeitraum eines Tages der Fall. Es ist zu beachten, daß abweichende Tagesgänge, z.B. an Wochenenden, bei der Auslegung entsprechend berücksichtigt werden. Gegebenenfalls muß der Auslegungszeitraum auf eine Woche mit einzelnen Tagesauswertungen erweitert oder durch eine Mittelwert-Tagesauswertung, bei der die stündlichen Verbrauchswerte als Mittelwerte aus den gleichen Stundenwerten aller Tage einer Woche berechnet wurde, ersetzt werden.

Um 100 % des anfallenden Abwassers zu nutzen, muß ein WRG-Gerät gewählt werden, dessen stündliche Nennleistung größer ist als der Wert aus dem Quotienten

$$\frac{\text{tägliche Abwassermenge /m}^3/}{24 \text{ Stunden /h/}}$$

Das nutzbare Abwasservolumen und folglich die Größe des Abwasserbehälters richtet sich nun sowohl nach dem gewählten Nenndurchsatz des WRG-Geräts als auch nach dem Tagesgang des Abwasseranfalls, der für jedes Schwimmbad einen charakteristischen Verlauf aufweist.

Unter Berücksichtigung der vorgenannten Überlegungen wurde ein Bemessungsdiagramm entwickelt, das vom zeitlichen Verlauf des Abwassergangs bestimmt ist und dem Planer als Auslegungsgrundlage dienen soll. Um den recht hohen Zeitaufwand bei der Erstellung des Diagramms zu reduzieren, wurde für einen Rechner ein Programm entwickelt. Nach Vorgabe der Tagesverläufe des Abwasseranfalls auf der Basis von Stundenwerten kann der Benutzer bis zu 4 WRG-Geräte mit unterschiedlicher Nennleistung berechnen lassen.

Die Anwendung des Programms wird nun am Beispiel der WRG-Anlage der KSH Schwalmtal demonstriert.

## 6.2 Anwendung eines Bemessungsprogramms am Beispiel der KSH Schwalmtal

Für die folgende Berechnung wurde der zeitliche Gang des Duschwasseranfalls am 31.5.83 (Bild 22) zugrunde gelegt. Unter Berücksichtigung der Schätzung, daß dem Duschwarmwasser noch etwa 11 % kaltes Wasser beigemischt wird, errechnet sich für diesen Tag eine Abwassermenge von 27,3 m<sup>3</sup>. Mit dem WRG-Gerät (Nennleistung 1,5 m<sup>3</sup>/h) und einem Speichervolumen von 2 m<sup>3</sup> wurden 16,9 m<sup>3</sup> Abwasser an diesem Tag genutzt. Das sind rund 62 % der Tagesabwassermenge.

Aus den Überlegungen des vorhergehenden Kapitels geht hervor, daß ein WRG-Gerät mit einer Mindestnennleistung von  $1,14 \text{ m}^3/\text{h}$  benötigt wird, um 100 % des Abwassers zu nutzen. Es wird vorausgesetzt, daß ein beliebig großer Abwasserspeicher zur Verfügung steht. Zur Zeit der Planungs- und Bauphase verfügte das kleinste handelsübliche Gerät über eine Nennleistung von  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Das Programm gibt die Möglichkeit, ein Auslegungsdiagramm für 4 frei wählbare Nennleistungen von WRG-Geräten zu erstellen. Für den o.g. Tagesverlauf wurden folgende Nennleistungen zur Zeit handelsüblicher WRG-Geräte gewählt:  $0,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Bild 31 zeigt den Gang des zu speichernden Abwasservolumens für jedes der 4 Geräte. In dem Bild ist berücksichtigt, daß das WRG-Gerät pro Stunde bereits eine Abwassermenge in der Größenordnung seiner Nennleistung verarbeitet hat.

Das für den Planer entscheidende Diagramm zeigt Bild 32. Es weist aus, welches Abwasservolumen in Abhängigkeit von der Nennleistung des WRG-Geräts und des Speichervolumens genutzt wird. Anlagen, deren Nennleistung kleiner als die Mindestnennleistung ist, können trotz Dauerbetrieb nur einen begrenzten Prozentsatz erreichen (waagrechter Kurvenverlauf). Grundsätzlich ergeben sich bei dieser Darstellungsform steigende Kurvenverläufe wenn die Nennleistung des WRG-Gerätes über der Mindestnennleistung liegt. Polygonzüge mit Unstetigkeitsstellen können dann entstehen, wenn z.B. im Laufe eines Tages zwei Lastspitzen auftreten.

Der Planer ist nun in der Lage, anhand dieses Diagramms unter Berücksichtigung individueller Gegebenheiten - z.B. Platzangebot für den Abwasserspeicher, Gerätekosten, Speicherkosten u.a. - die für den Betreiber günstigste Lösung zu ermitteln.

Aus der im Diagramm gekennzeichneten Stelle geht hervor, daß mit der Anlage in Schwalmtal an dem ausgewählten Tag etwa 68 % des Abwasservolumens genutzt werden. Dieser Wert stimmt mit dem zu Beginn des Kapitels berechneten Wert (62 %) recht gut überein.

Nach dem Ersatz der Drei-Loch-Blenden ( $22 \text{ l}/\text{min}$ ) durch Ein-Loch-Blenden ( $13 \text{ l}/\text{min}$ ) in den Brauseköpfen kann ein um 40 % reduzierter Duschwasserverbrauch in der KSH Schwalmtal erwartet werden. Bild 33 zeigt ein Auswertungsdiagramm, das unter dieser Annahme erstellt wurde. Bei sonst gleicher Anlagenkonzeption wären an diesem Tag rund 92 % des Abwassers genutzt worden.

### 6.3 Hinweise zum Einbau einer WRG-Anlage

Besteht die Absicht, eine WRG-Anlage nachträglich in einem Schwimmbad zu installieren, sollten zuvor die nachfolgenden Fragen geklärt werden.

- Wie können die Abläufe des zu nutzenden Abwassers von den übrigen Abwasserleitungen, z.B. Toiletten, Urinalen u.ä. getrennt werden?  
Eine günstige Voraussetzung ist, wenn die Rohrleitungen frei unter der Kellerdecke verlegt worden sind. Schwieriger ist es, wenn Rohrleitungen oder Verzweigungen in den Decken oder Wänden liegen.
- Welche Möglichkeiten bestehen hinsichtlich der Einbindung in das bestehende Warmwasserversorgungskonzept?  
Hier kann der Anlagenhersteller in der Regel wertvolle Hinweise geben.
- Wo können WRG-Gerät und Abwasserspeicher aufgestellt werden?
- Wie stark ist das Gefälle zum Abwasserspeicher und von dessen Überlauf zum Abfluß in die Kanalisation?

Schließlich muß ein zutreffender zeitlicher Gang des Abwasseranfalls ermittelt werden. Dazu sollte der Planer auf folgende Angabe zurückgreifen, die in der Regel von jedem Schwimmbad vorliegen oder gemessen werden können:

- jährliche Besucherzahl
- jährliche Anzahl an Betriebstagen
- Besucherzahl an einzelnen Betriebstagen
- Öffnungszeiten unterteilt nach Besuchergruppen
- Wasserabgabe der Brauseköpfe.

Weitere Hinweise zum Tagesgang des Duschwasserverbrauchs sind in Berichten zu meßtechnischen Untersuchungen in Schwimmbädern / 3 / enthalten, deren Ergebnisse recht gut mit denen des vorliegenden Berichts übereinstimmen.

Es hat sich als recht zuverlässig erwiesen, aus den gleichen Stundenwerten aller Tage einer Woche einen Tagesverlauf mit Stundenmittelwerten zu bilden und diesen dann der Auslegung zugrunde zu legen.

Bei einem Einbau in ein neu zu errichtendes Schwimmbad kann der Planer auf Daten vergleichbarer Hallenbäder zurückgreifen. Ein besonderes Augenmerk sollte auf die Einhaltung der bei der Planung zugrundegelegten Daten - z.B. Wasserabgabe der Duschen - gerichtet werden. Änderungen gegenüber den Planungsdaten wirken sich auf den Abwasseranfall aus, für den die installierte WRG-Anlage dann nicht die erwartete günstige Konstellation darstellt.

#### 6.4 Praktische Hinweise für Planer und Betreiber

Neben den unterschiedlichen Hinweisen, die bei einem Einbau der WRG-Anlage zu verschiedenen Zeitpunkten (Neubau oder nachträgliche Installation) beachtet werden sollen, werden im folgenden eine Reihe an Erfahrungen aufgeführt, die für beide Fälle zutreffen.

- Der Hersteller des WRG-Gerätes sollte bei der Planung zu Rate gezogen werden, da er in der Regel wertvolle Hinweise zur Einbindung in das Warmwasserversorgungssystem geben kann.
- Grobfilter sollten sich schnell und problemlos reinigen lassen. Diese Arbeiten sollten regelmäßig (wöchentlich) vom Betreiber durchgeführt werden.
- Störungen am WRG-Gerät sollten im Schwimmbadraum angezeigt werden, um sofort eingreifen zu können und längere Stillstandszeiten der Anlage zu vermeiden.
- Das Duschwasser sollte auf einem möglichst niedrigen Temperaturniveau mit einer genauen Regelung nachgeheizt werden, um die Wärmeverluste gering zu halten.
- In die Duschwasserleitung - gesamter Duschwasserverbrauch - und in die Abwasserleitung - wegen der Verschmutzung des Abwassers im WRG-Gerät zwischen Filter und Wärmetauscher - sollten je ein Wasserzähler installiert werden, um das genutzte Abwasservolumen ermitteln zu können.
- Der Betreiber sollte in regelmäßigen Abständen eine kurzzeitige Betriebskontrolle an der WRG-Anlage durchführen, um mögliche ungünstige Betriebszustände rechtzeitig zu erkennen. Dazu wurde in Schwalmtal ein Formblatt entwickelt, das speziell auf die dort installierte Anlage abgestimmt ist, aber an

andere Anlagen leicht angepaßt werden kann (Tabelle 3). Mit der Angabe von "normalen" Betriebsbereichen seitens des Herstellers und einfachen Durchsatzkontrollen ist der Betreiber in der Lage, selbstständig zu überprüfen, ob die WRG-Anlage ordnungsgemäß funktioniert. In der ersten Zeit nach der Installation sollten die Kontrollen häufiger durchgeführt werden.

## 7. Zusammenfassung

Durch den Einsatz einer Anlage zum Wärmerückgewinn aus Duschabwasser sowie einer Wärmepumpe, die mit einem Energie-Dach betrieben wird, konnte der Endenergiebedarf zur Aufheizung des Duschwassers reduziert werden. Mit der WRG-Anlage wurde jedoch weniger eingespart (36 %), als man bei der Planung (70 %) angenommen hatte.

Anhand der meßtechnischen Untersuchungen und Beobachtungen vor Ort konnten dafür folgende Ursachen ermittelt werden:

- Die Reinigung des Abwassers in der WRG-Anlage, die für einen störungsfreien Betrieb des Plattenwärmetauschers notwendig ist, funktionierte nicht zufriedenstellend. Dadurch kam es zu Ausfällen des WRG-Gerätes.
- Der Abwasserbehälter ist für den Duschwasseranfall in den Nachmittagsstunden zu klein bemessen.
- Bei der Montage wurden Blenden in die Brauseköpfe eingesetzt, die zu einem größeren Duschwasserstrom führen, als dies bei der Planung zugrundegelegt wurde.

Jede der drei Ursachen trug dazu bei, daß nicht alles anfallende Duschabwasser genutzt wurde, was aber für einen optimalen wirtschaftlichen Betrieb der WRG-Anlagen eine wichtige Voraussetzung ist. Auswertungen über Teilzeiträume - nur in der Zeit von 6.00 bis 14.00 Uhr mit Schulbetrieb - haben gezeigt, daß die Erwartungen hinsichtlich der Einsparungen erfüllt werden können, wenn das gesamte Abwasser genutzt wird.

Um den Beitrag der WRG-Anlage in Schwalmtal zu erhöhen, wurden eine Reihe an Verbesserungsvorschlägen unterbreitet und verwirklicht, deren abschließende Beurteilung noch aussteht.

Die Nennleistungsangaben des Herstellers zum WRG-Gerät erwiesen sich unter den angegebenen Randbedingungen als zutreffend. Bei den Untersuchungen stellte sich jedoch heraus, daß gelegentliche Umschaltungen im WRG-Gerät bei fortlaufendem Betrieb und konstanten Randbedingungen zu einer Verschlechterung der Leistungswerte führten. Auch eine Veränderung der Randbedingungen - in der Regel zu Beginn und Ende einer Betriebsperiode - zieht eine Reduzierung der Leistungswerte nach sich. Das hat zur Folge, daß über einen längeren Zeitraum Leistungswerte ermittelt wurden, die im Mittel um etwa 10 % unter den Angaben des Herstellers lagen.

Der zeitliche Verlauf des Abwasseranfalls ist entscheidend für die Größe des WRG-Gerätes und des Speichers. Das läßt sich am Beispiel der Anlage in Schwalmtal sehr deutlich belegen. Für den Planer wurde daher ein Bemessungsdiagramm entwickelt, anhand dessen er in der Lage ist, die für einen Interessenten günstigste Lösung zu bestimmen. Die Ermittlung des Lastganges stellt hierbei das größte Problem dar. Es werden daher Hinweise gegeben, wie in bestehenden und neu zu errichtenden Schwimmbädern die Lastgänge mit geringem Aufwand zuverlässig ermittelt werden können. Bei den Untersuchungen in Schwalmtal stellte sich heraus, daß entgegen der ursprünglichen Annahme nicht der Wasserverbrauch der Schüler (zwischen 20 und 50 l/Person je nach Anzahl der Schüler) in den Morgenstunden, sondern derjenige der öffentlichen Badebesucher (86 l/Person) einen entscheidenden Einfluß auf den Lastgang hat.

Aus den Erfahrungen, die bei den Untersuchungen der WRG-Anlage in Schwalmtal gewonnen wurden, konnten eine Reihe an Hinweisen für Planer und Betreiber ermittelt werden, mit denen ein größtmöglicher Beitrag zur Energieeinsparung durch einen störungsfreien Betrieb sichergestellt werden kann. Werden diese Hinweise bei der Planung und beim Betrieb von WRG-Anlagen beachtet, kann der Betreiber den Energiebedarf zur Aufheizung des Duschwassers erheblich vermindern.

## Inhaltsverzeichnis

### Teil 2: Wärmerückgewinn aus Beckenabwasser

1. Einführung	25
2. Beschreibung der Beckenwasseraufbereitung	26
2.1 Beckenwasserkreislauf	26
2.2 Bemessung der Aufbereitungsanlage	27
2.3 Wärmerückgewinnungsgerät	28
2.4 Filterkessel und Filterspülvorhang	30
2.5 Wärmeverluste durch Filterspülung und Beckenwassererneuerung	31
2.6 Wasser- und Wärmezufuhr im Beckenwasserkreislauf	33
2.7 Betriebserfahrungen mit der WRG-Anlage	33
3. Meßergebnisse	34
3.1 Beckenwasserbilanz	34
3.2 Energiebilanz	36
3.3 Wärmerückgewinn	38
3.4 Leistungswerte der WRG-Anlage	39
3.5 Filterspülung	42
3.6 Vorschläge zu Änderungen im Beckenwasserkreislauf	45
4. Planung und Betrieb einer WRG-Anlage	47
5. Wirtschaftliche Betrachtungen	48
5.1 Ermittlung der Ausgangswerte	49
5.2 Auswirkungen verschiedener Größen auf die Wärmekosten	51
6. Zusammenfassung	53

Tabellen

Bilder

## Inhaltsverzeichnis

### Teil 1: Wärmerückgewinn aus Duschabwasser

1.	Einführung	1
2.	Beschreibung der Duschwasseranlage	2
2.1	Aufbau und Funktion	2
2.2	Regelung und Steuerung	2
2.3	Wärmerückgewinnungsgerät	3
2.4	Bemessung der WRG-Anlage	4
3.	Betriebserfahrungen mit der WRG-Anlage	5
4.	Meßergebnisse	6
4.1	Besucherzahlen	6
4.2	Energiebilanz	7
4.3	Duschwasserverbrauch	9
4.3.1	Einfluß von Besuchergruppen	9
4.3.2	Tagesgang des Duschwasserverbrauchs	10
4.3.3	Ursachen des erhöhten Duschwasserverbrauchs	11
4.4	Duschwasserwärmeverbrauch	12
4.5	Wärmerückgewinn	13
4.6	Leistungswerte der WRG-Anlage	14
5.	Vorschläge zur besseren Nutzung der WRG-Anlage	16
6.	Planung und Betrieb einer WRG-Anlage	18
6.1	Überlegungen zur Bemessung einer WRG-Anlage	18
6.2	Anwendung eines Bemessungsprogramms am Beispiel der KSH Schwalmtal	19
6.3	Hinweise zum Einbau einer WRG-Anlage	21
6.4	Praktische Hinweise für Planer und Betreiber	22
7.	Zusammenfassung	23

Tabellen

Bilder

## 1. Einführung

In Schwalmtal wurde eine Kleinschwimmhalle (KSH) mit einem Variobecken von 250 m<sup>2</sup> Wasseroberfläche und einem Planschbecken von 20 m<sup>2</sup> Wasseroberfläche errichtet. Die Lage der Becken innerhalb des Gebäudes zeigt Bild 1. Die Wassertiefe des Variobeckens beträgt im Bereich des 3 m-Sprungbretts 3,8 m; sie kann im gegenüberliegenden Teil mittels eines Hubbodens zwischen 0,3 m und 1,80 m variiert werden.

Beide Becken sind in einem Beckenwasserkreislauf eingebunden, in dem eine vorgeschriebene Wassermenge umgewälzt und aufbereitet wird. Das Filter zur mechanischen Beckenwasserreinigung muß ein- bis zweimal wöchentlich durch Spülen gereinigt werden. Dazu wird in herkömmlichen Schwimmbädern Beckenwasser verwendet, das anschließend als Schmutzwasser in die Kanalisation abfließt. Dann muß ein gleiches Wasservolumen, wie es zum Filterspülen entnommen wurde, aus dem öffentlichen Wasserversorgungsnetz bezogen, auf Beckenwassertemperatur erwärmt und in den Beckenwasserkreislauf eingespeist werden. Die dazu erforderliche Wärmemenge ist recht hoch. Weiterhin sind nach der Richtlinie / 4 / "zur Wassererneuerung täglich je Besucher mindestens 30 l Füllwasser gegen Beckenwasser auszutauschen". Auch dieses Füllwasser muß auf Beckenwassertemperatur erwärmt werden. Beobachtungen in anderen Schwimmbädern / 2 / haben gezeigt, daß die in einer Woche zum Filterspülen benötigte Wassermenge in etwa der besucherabhängigen Füllwassermenge im gleichen Zeitraum entspricht.

Die Anlage zur Beckenwasseraufbereitung in der KSH Schwalmtal unterscheidet sich von den entsprechenden Anlagen anderer Schwimmbäder dadurch, daß das täglich auszutauschende Beckenwasservolumen über eine Anlage zum Wärmerückgewinn (WRG) geleitet und in ihr enthaltene Wärme auf ein etwa gleiches Frischwasservolumen übertragen wird. Das von der WRG-Anlage abgekühlte Beckenwasser wird im "Filterspülwasserbehälter" gesammelt und später zum Spülen des Filters verwendet.

Das Konzept hat den Vorteil, daß sehr wenig Wärme zum Aufheizen des besucherzahlabhängigen Füllwasserzusatzes benötigt wird. Zum Filterspülen wird bevorratetes Wasser verwendet und kein warmes Wasser dem Beckenwasserkreislauf entnommen.

In dem folgenden Bericht wird gezeigt, welchen Beitrag zur Energieeinsparung die WRG-Anlage leistete. Weiterhin werden wichtige Beobachtungen zur Beckenwassererwärmung und beim Filterspülvorgang aufgeführt.

## 2. Beschreibung der Beckenwasseraufbereitung

### 2.1 Beckenwasserkreislauf

Bild 2 zeigt ein vereinfachtes Schema des Beckenwasserkreislaufs der KSH Schwalmtal, zu dem eine WRG-Anlage und ein Filterspülwasserbehälter gehören. Das Wasser des Schwimmbeckens gelangt auf 2 Wegen zum Filter: Zum einen wird Wasser über die Bodenabläufe des Schwimmbeckens von der Umwälzpumpe UP2 abgesaugt und zum Filter gefördert; zum anderen wird das Überlaufwasser des Schwimmbeckens im Schwallwasserbehälter gesammelt und von der Umwälzpumpe UP3 weiter zum Filter gepumpt. Von dort gelangt es über einen Wärmetauscher wieder in das Schwimmbecken zurück.

Der Beckenwasserkreislauf der KSH Schwalmtal unterscheidet sich vom Beckenwasserkreislauf herkömmlicher Schwimmbäder durch die WRG-Anlage und den Filterspülwasserbehälter. Aus der Leitung hinter dem Filter wird ein Wasserstrom von  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$  abgezweigt, zur WRG-Anlage geführt und dort von etwa  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  auf  $8 \text{ }^\circ\text{C}$  abgekühlt. Das kalte Wasser wird im Filterspülwasserbehälter gesammelt. Mit der gewonnenen Wärme wird im Gegenstrom ein etwa gleicher Frischwasserstrom von  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  auf etwa  $33 \text{ }^\circ\text{C}$  erwärmt und in den Schwallwasserbehälter eingespeist. Bei nahezu konstanten und gleichgroßen Wasserströmen auf der Zu- und Abwasserseite der WRG-Anlage ist das tägliche ausgetauschte Beckenwasservolumen nur noch von der Laufdauer der WRG-Anlage abhängig. Anhand der Besucherzahlen und der Forderung der Richtlinie / 4 / kann das täglich auszutauschende Wasservolumen berechnet und die notwendige Laufdauer der WRG-Anlage festgesetzt werden. Da das entwärmte Beckenwasser im Filterspülwasserbehälter gesammelt und zum Spülen des Filters verwendet wird, ist zwischen zwei Filterspülungen ein ausreichend großes Beckenwasservolumen gegen Frischwasser auszutauschen. Bislang wurde allein aufgrund der Besucheranzahl ein ausreichend großes Beckenwasservolumen abgekühlt und in den Spülwasserbehälter eingespeist, um für die erforderlichen zwei Spülungen je Woche ein ausreichendes Wasservolumen zur Verfügung zu haben.

Als WRG-Anlage wurde ein "Schwimmbadwasser-Wärmepumpen-Rekuperator-Gerät" (Typ 41 12 00) der Firma Menerga eingesetzt. Das Gerät besteht aus einem

Plattenwärmetauscher und einer kleinen Wärmepumpenanlage, deren Kompressor der einzige Stromverbraucher der WRG-Anlage ist. Weitere Umwälzpumpen werden nicht benötigt, da der Wasserdruck hinter dem Filter für die Abwassereite einerseits und des Wasserversorgungsnetzes für die Frischwasserseite andererseits ausreicht, um den erforderlichen Durchfluß mit Hilfe von Drosselklappen konstant zu halten.

Das für die Spülung des Filterkessels benötigte Wasservolumen wird dem Filterspülwasserbehälter entnommen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen wird der Filterkessel in der KSH Schwalmtal mit abgekühltem Wasser gespült. Das hat zur Folge, daß der Inhalt des Filterkessels nahezu auf die Temperatur des Spülwassers abkühlt. Ein Teil des Beckenwassers, das nach Beendigung des Spülvorgangs im normalen Kreislauf umgewälzt wird, tritt daher mit niedrigen Temperaturen aus dem Filterkessel aus, bis die Filtermasse sich wieder auf Beckenwassertemperatur erwärmt hat. Der hierbei entstehende Wärmeverlust ist jedoch weitaus geringer als bei einer Anlage, in der Beckenwasser zum Spülen des Filters verwendet wird.

## 2.2 Bemessung der Aufbereitungsanlage

Grundlage für die Bemessung von Wasseraufbereitungsanlagen sind die Richtlinien / 4 / und / 5 /. Sie legen für die gewählten Schwimmbeckentypen den erforderlichen stündlichen Förderstrom, das Fassungsvermögen des Schwallwasserbehälters und die Größe des Filters fest. Die für die KSH Schwalmtal geforderten Werte sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Es wurden ein minimaler stündlicher Volumenstrom von  $126 \text{ m}^3/\text{h}$  und ein Fassungsvermögen des Schwallwasserbehälters von  $44 \text{ m}^3$  berechnet.

Bild 3 zeigt ein erweitertes Schema des Beckenwasserkreislaufs der KSH Schwalmtal, in dem auch die Volumenströme der installierten Umwälzpumpen und die Größe der Wasserspeicher eingetragen sind. Die Summe der Nennleistungen der Umwälzpumpen 2 bis 4 beträgt  $186 \text{ m}^3/\text{h}$ . Dieser Volumenstrom wird nach dem Spülen des Filters erreicht. Mit fortschreitender Zeit sammeln sich die Verunreinigungen im Filter an, und der Durchflußwiderstand im Filter nimmt zu. Damit sinkt auch der von den Umwälzpumpen geförderte Beckenwasserstrom. Das Filter muß spätestens dann gereinigt werden, wenn die Druckdifferenz zwischen dem Wassereintritt und -austritt an dem Filter einen Betrag von 0,5 bar erreicht hat. Der Schwimmmeister überwacht die Druckanzeige und leitet den Spülvorgang bei Bedarf ein.

trieb des Kompressors (Ko) benötigte elektrische Energie kommt dabei dem Frischwasser als Wärmegewinn zugute. Das abzuführende Beckenwasser wird bei diesem Prozeß unter Frischwassereintrittstemperatur abgekühlt und das Frischwasser auf eine Temperatur erwärmt, die über der Beckenwassertemperatur liegt. Somit läßt sich ein Teil der Verdunstungs- und Transmissionswärmeverluste der Schwimmbadbecken über den Wärmerückgewinn aus auszutauschendem Beckenwasser decken.

Im einzelnen können für eine WRG-Anlage, wie sie in der KSH Schwalmtal eingebaut ist, folgende Vorteile genannt werden:

- Für den Betrieb der WRG-Anlage ist keine weitere Pumpe erforderlich.
- Die Wärmetauscher werden mit Trinkwasser und aufbereitetem Beckenwasser beaufschlagt und lassen daher eine mehrjährige Betriebsdauer zwischen zwei Reinigungen erwarten.
- Der Spülwasserbehälter enthält aufbereitetes Beckenwasser, dem Desinfektionsmittel zugesetzt ist, so daß eine Verunreinigung des Speichers durch Mikroorganismen weitgehend ausgeschlossen ist.
- Die Filterkessel werden mit bevorratetem Beckenwasser gespült, das Trinkwasserqualität hat.
- Durch die Übertragung der Wärme von der täglich abzuführenden Beckenwassermenge auf die gleichgroße Füllwassermenge wird Wärme eingespart, die sonst zur Nachheizung des Füllwassers benötigt würde.

Als Nachteil ist zu nennen, daß der Filterkessel mit kaltem Beckenwasser gespült wird und daher beim Spülvorgang abkühlt. Folglich muß nach einem Spülvorgang die Filtermasse wieder auf Beckenwassertemperatur erwärmt werden. Die hierzu erforderliche Wärmemenge ist geringer als der Wärmeverlust bei einem Spülvorgang mit warmem Beckenwasser.

#### 2.4 Filterkessel und Filterspülvorgang

Filter haben die Aufgabe, mechanische Verunreinigungen aus dem Beckenwasser zurückzuhalten. Sie können ihre Aufgabe jedoch nur dann erfüllen, wenn sie regelmä-

Die Spülwassermenge für einen Spülvorgang ist im wesentlichen von der eingesetzten Filterart, der Filterfläche und dem festgelegten Spülprogramm abhängig. Aus der Tabelle 1 geht hervor, daß bei einem mittleren Spülwasserbedarf von  $5 \text{ m}^3$  je  $\text{m}^2$  Filterfläche ein Wasservolumen von etwa  $31 \text{ m}^3$  für einen Spülvorgang benötigt werden. Dieser Wert gibt gleichzeitig das nutzbare Volumen des einzurichtenden Filterspülwasserbehälters an. Der in Schwalmtal eingerichtete Speicher mit einem nutzbaren Volumen von  $83 \text{ m}^3$  ist daher um einiges zu groß bemessen. Es muß allerdings hinzugefügt werden, daß bei der ersten Planung ein Freibadbecken und ein weiteres Filter vorgesehen war. Unter der Annahme, daß zum Spülen des zweiten Filters ein gleichgroßes Wasservolumen benötigt würde, hätte ein Spülwasserspeicher mit einem nutzbaren Volumen von  $62 \text{ m}^3$  ausgereicht.

### 2.3 Wärmerückgewinnungsgerät

Die WRG-Anlage hat die Aufgabe, dem abzuführenden Beckenwasser, das in herkömmlichen Schwimmbädern direkt in die Kanalisation geleitet wird, Wärme zu entziehen und auf das gleichzeitig zugeführte Frischwasser zu übertragen. Der Energiebedarf, der zum Antrieb des Kompressors benötigt wird, soll im Verhältnis zur abgegebenen Wärme des Gerätes so gering wie möglich gehalten werden.

Das WRG-Gerät besteht aus einem Gehäuse, in dem ein Plattenwärmetauscher und eine Wärmepumpe eingebaut sind. Durch eine Plexiglasscheibe in der Fronttür sind zwei Kegeldurchflußmesser zu erkennen, von denen je einer in die Frischwasser- und die Abwasserrohrleitung eingebaut ist. Das wöchentliche Betriebsprogramm der WRG-Anlage wird auf einer Zeitschaltuhr im Bedienungstableau auf der Fronttür eingestellt.

Der prinzipielle Aufbau des WRG-Gerätes ist in Bild 3 zu erkennen. Das hinter dem Filter entnommene Beckenwasser durchfließt den Plattenwärmetauscher (WT) und den Direktverdampfer (V) der Wärmepumpe, bevor es in den Filterrückspülbehälter geleitet wird. Die gleiche Menge Frischwasser gelangt auf getrenntem Wege ebenfalls in den Plattenwärmetauscher, anschließend in den Kondensator (K) der Wärmepumpe und wird danach in den Schwallwasserbehälter eingespeist.

Im Plattenwärmetauscher wird ein großer Teil der im auszutauschenden Beckenwasser enthaltenen Wärme auf das kalte Frischwasser übertragen. Der Verdampfer der Wärmepumpe entzieht dem abgekühlten Beckenwasser weitere Wärme, die über die Wärmepumpe dem bereits vorgewärmten Frischwasser zugeführt wird. Die zum An-

ßig gereinigt werden. Die Richtlinie / 4 / schreibt vor, daß ein Filter zur Sicherstellung hygienisch einwandfreier Verhältnisse mindestens einmal wöchentlich gespült werden muß.

In der KSH Schwalmtal ist ein Drucksandfilter eingebaut, dessen Filtermasse aus 11 t Sand mit einer Korngröße von 1-1,8 mm besteht. In Bild 4 ist ein solches Filter schematisch dargestellt. Die Bemessungsdaten des Filters sind in Tabelle 1 aufgeführt. Bei einer Filterfläche von  $6,15 \text{ m}^2$  und einer Filtergeschwindigkeit von 30 m/h bewältigt der Filterkessel einen Beckenwasserstrom von etwa  $186 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Der Druckverlust am Filterkessel beträgt nach einer Spülung etwa 0,1 bar und darf bis zur nächsten Spülung auf etwa 0,5 bar ansteigen. In der Praxis hat sich gezeigt, daß aufgrund dieses Richtwertes der Filterkessel ein- bis zweimal wöchentlich gespült werden muß.

Das Spülprogramm für eine Luft-Wasser-Spülung von Sandfiltern umfaßt bei herkömmlichen Schwimmbädern nach der Richtlinie / 4 / 2 Stufen, die in Tabelle 2 aufgeführt sind. In der KSH Schwalmtal wurde das Programm zu Beginn um eine Stufe (Stufe 0) erweitert, um die Nachteile beim Spülen mit kaltem Wasser weitgehend zu reduzieren (Bild 5). Noch bevor die Vorbereitung bei herkömmlichen Filterspülvorgängen beginnt, werden die Umwälzpumpen des Beckenwasserkreislaufs abgeschaltet, und die Spülwasserpumpe fördert in Filterrichtung kaltes Wasser aus dem Filterspülwasserbehälter in das Filter. Das warme, noch im Filter befindliche Beckenwasser wird in das Schwimmbecken verdrängt. Wenn das kalte Spülwasser den Reinwasseraustritt erreicht - die Zeitspanne wurde durch einmaliges Messen der Temperatur an dieser Stelle ermittelt -, schaltet die Spülwasserpumpe wieder ab und das Filterspülprogramm läuft wie in herkömmlichen Schwimmbädern ab. Gegen Ende des Spülprogramms (4. Phase) wird das Erstfiltrat in den Kanal abgeführt. Bei diesem Vorgang wird warmes Beckenwasser in das Filter gepumpt und das ablaufende Wasser in den Schlammwasserbehälter eingeleitet. In herkömmlichen Schwimmbädern ist diese Phase sehr kurz, um die Wärmeverluste beim Abführen des warmen Wassers möglichst gering zu halten. In Schwalmtal wurde die Phase verlängert, um das gesamte kalte Wasser aus dem Filter zu entfernen. Erst wenn warmes Beckenwasser den Ausgang des Erstfiltrats erreicht, wird der normale Wasseraufbereitungsbetrieb (5. Phase) wiederhergestellt.

## 2.5 Wärmeverluste durch Filterspülung und Beckenwassererneuerung

Die folgenden Überlegungen sollen zeigen, in welchem Umfang der Energiebedarf durch den Einsatz einer WRG-Anlage reduziert werden kann.

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, werden für einen Spülvorgang  $31 \text{ m}^3$  Wasser benötigt. Es wird empfohlen, das Filter mindestens einmal pro Woche zu spülen. Wenn der Vorgang im Mittel alle 5 Betriebstage wiederholt wird, werden im Jahr bei 310 Betriebstagen 62 Spülungen durchgeführt. Der jährliche Wasserbedarf zum Filterspülen beträgt also rund  $1.900 \text{ m}^3$ .

Wäre keine WRG-Anlage vorhanden und würde das Filter mit warmen Beckenwasser, das anschließend direkt in die Kanalisation fließt, gespült, müßte das fehlende Wasser nachgeführt und von  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  auf  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  erwärmt werden. Dadurch würde pro Spülung ein Wärmeverlust von  $610 \text{ kWh}$  und im Jahr von  $37.500 \text{ kWh}$  entstehen.

Für die KSH Schwalmtal werden pro Jahr etwa 90.000 Besucher erwartet. Pro Besucher müssen täglich  $30 \text{ l}$  Füllwasser gegen Beckenwasser ausgetauscht werden. In einem vergleichbaren Schwimmbad ohne WRG-Anlage wird die Richtlinie am Tage der Filterspülung automatisch erfüllt. Für die übrigen Tage bleibt sie jedoch weiterhin bestehen. Bei 310 Betriebstagen und 62 Filterspülungen im Jahr muß die Beckenwassermenge von 72.000 Besuchern erneuert werden. Um die erforderlichen  $2.160 \text{ m}^3$  Füllwasser zu erwärmen, werden im Jahr rund  $42.600 \text{ kWh}$  benötigt.

Ohne den Einsatz einer WRG-Anlage müssen in der KSH Schwalmtal im Jahr rund  $4.060 \text{ m}^3$  Beckenwasser erneuert werden. Zur Aufheizung dieser Wassermenge würden  $80.100 \text{ kWh}$  oder  $296 \text{ kWh je m}^2$  Wasseroberfläche benötigt.

Beim Einsatz einer WRG-Anlage und eines Behälters, der das Filterspülwasser bevorratet, kann die Wärme des abgeführten Beckenwassers vollständig auf das Füllwasser übertragen werden. Wie bereits erwähnt, wird das Füllwasser über Beckenwassertemperatur erwärmt und kann somit einen Teil der Wärmeverluste im Beckenwasserkreislauf decken. Außerdem braucht jetzt nur die Beckenwassermenge für 90.000 Besucher erneuert werden, da beim Filterspülen das Wasser nicht mehr dem Beckenwasserkreislauf entnommen wird. Insgesamt müssen nur  $2.700 \text{ m}^3$  Wasser ausgetauscht werden, für deren Erwärmung  $53.200 \text{ kWh}$  Wärme benötigt werden. Bei einer Nennarbeitszahl des WRG-Gerätes von 10 (Herstellerangaben) müßten rund  $5.320 \text{ kWh}$  elektrische Energie im Jahr eingesetzt werden, um der Richtlinie / 4 / hinsichtlich des Wasseraustausches zu genügen.

Um den Wärmeverlust beim Spülen des Filters mit kaltem Wasser quantifizieren zu können, ist es notwendig, die wichtigsten wärmetechnischen Kenngrößen des Filterkessels zu ermitteln und den Spülvorgang zu untersuchen. In Tabelle 3 sind die Kenngrößen aufgeführt. Man erkennt, daß rund 80 % der Enthalpie im Wasser und nur 20 % im Filterbehälter und in der Filtermasse enthalten sind. Da beim Spülvorgang nach Bild 5 das im Filter befindliche warme Wasser im Beckenwasserkreislauf verbleibt, werden nur Filterkessel und Filterkies auf die Temperatur des Spülwassers abgekühlt und müssen anschließend wieder erwärmt werden. Dazu ist eine Wärmemenge von rund 58 kWh je Spülung oder 3.600 kWh je Jahr erforderlich.

Wenn der Spülvorgang ohne Wasserverdrängung in der Vorphase ausgeführt wird, müssen anstelle des Wasserinhalts des Filterkessels eine gleiche Frischwassermenge und die Filtermasse erwärmt werden. Das sind 304 kWh je Spülung oder rund 18.500 kWh je Jahr.

Beim Einsatz einer WRG-Anlage brauchen nur noch  $2.700 \text{ m}^3$  Wasser im Jahr ausgetauscht werden. Wird dazu noch in einer Vorphase des Filterspülprogramms das im Filter befindliche Wasser in den Beckenwasserkreislauf verdrängt, beträgt der Energiebedarf  $33 \text{ kWh je m}^2$  Wasseroberfläche oder 8.920 kWh je Jahr.

## 2.6 Wasser- und Wärmezufuhr im Beckenwasserkreislauf

Zum Ausgleich der Schwimmbeckenwasserverluste wird Füllwasser automatisch mit einer niveauabhängigen Regelung in den Schwallwasserbehälter eingespeist. Bei Badebetrieb verdrängen die schwimmenden Badegäste Wasser aus dem Becken, das zusätzlich zum normalen Überlaufwasserstrom in den Schwallwasserbehälter abläuft. Die Schwallwasserumwälzpumpen - UP3 und UP4 in Bild 3 -, die nur beim Filterspülen nicht in Betrieb sind, fördern das Wasser wieder zurück in das Becken. Durch ihre Aktivitäten im Wasser, durch Springen und beim Verlassen des Beckens verursachen die Badegäste Verdunstungs- und Schleppwasserverluste, die durch Zufuhr von Füllwasser wieder gedeckt werden müssen.

Das nachgeführte Wasser muß auf Beckenwassertemperatur erwärmt werden. Zusätzlich treten Wärmeverluste durch Wärmeübertragung ans Erdreich und an die umgebenden Räume auf. Ein Wärmetauscher mit einer Leistung von 730 kW heizt bei Bedarf das Wasser im Kreislauf auf (Bild 3). Er ist so groß bemessen, daß der Inhalt des Beckenwasserkreislaufs nach einer Großreinigung, bei der das gesamte Wasser abgelassen und wieder nachgeführt wird, innerhalb kurzer Zeit von  $11 \text{ }^\circ\text{C}$

Wassernetztemperatur auf 28 °C Beckenwassertemperatur erwärmt werden kann. Ein zweiter Wärmetauscher mit einer Leistung von 52 kW heizt das Wasser des Kinderbeckens nach, dessen Temperatur um 2 K über der Temperatur des Variobeckens liegt.

### 2.7 Betriebserfahrungen mit der WRG-Anlage

Die WRG-Anlage für Filterspülwasser läuft seit der Eröffnung des Schwimmbades im Dezember 1982 störungsfrei. In der gesamten Zeit waren weder Reinigungs- noch Wartungsarbeiten erforderlich.

Vereinzelt traten in der Zeit nach der Eröffnung Störungen auf, als die WRG-Anlage noch nicht optimal auf die Anforderungen im praktischen Betrieb eingestellt war. Ursache der Störungen war ein sinkender Wasserdurchsatz auf der Filterspülwasserseite, so daß das WRG-Gerät das Filterspülwasser bis nahe an den Gefrierpunkt abkühlte. Über die interne Sicherung wurde dann der Kompressor des WRG-Gerätes abgeschaltet. Durch Verstellen von Absperrventilen konnte sehr bald ein störungsfreier Betrieb hergestellt werden.

Diese Unterbrechungen waren von untergeordneter Bedeutung. Sie zeigen jedoch, daß bei neuartigen energiesparenden Geräten, die bei Einhaltung der Betriebsbedingungen störungsfrei laufen, eine sorgfältige Überwachung des Betriebs in der Anfangsphase erforderlich ist. Dann leisten sie auch von Beginn ihres Einsatzes an einen wesentlichen Beitrag zur Energieeinsparung.

### 3. Meßergebnisse

Der Auswertungszeitraum umfaßt 8 Monate und erstreckt sich vom 1. April bis 30. November 1983. Vom 10. bis 16. Oktober 1983 wurde die jährliche Großreinigung durchgeführt. Dazu wird das Wasser im Beckenwasserkreislauf vollständig abgelassen. Die Becken werden gereinigt, anschließend wieder aufgefüllt und das Füllwasser auf die festgelegte Beckenwassertemperatur erwärmt.

In Tabelle 4 sind die wichtigsten Betriebsergebnisse der Anlage zum Wärmerückgewinn aus Filterspülwasser aufgeführt.

### 3.1 Beckenwasserbilanz

Tabelle 4 zeigt, daß weitaus mehr Wasser mit der WRG-Anlage ausgetauscht wurde, als nach der Richtlinie / 4 / gefordert wird. Anhand der Besucherzahlen läßt sich errechnen, daß  $1.672 \text{ m}^3$  Füllwasser ausgereicht hätten, um den Richtlinien zu genügen. Diese Wassermenge ist größer als der gesamte Spülwasserverbrauch bei dem derzeitigen Filterspülprogramm ( $901 \text{ m}^3$ ) und daher für das Wasservolumen, das mit der WRG-Anlage ausgetauscht werden sollte, maßgeblich. Bild 6 zeigt die Wassermengenbilanz im Beckenwasserkreislauf und - gestrichelt - die nach den Richtlinien geforderte Mindestmenge für den Auswertungszeitraum.

Der erhöhte Wasseraustausch durch das WRG-Gerät ist auf 3 Ursachen zurückzuführen.

Der Einsatz der WRG-Anlage wird über eine Zeitschaltuhr gesteuert. Bis zum 18. Juli 1983 war die WKG-Anlage 70 Stunden pro Woche in Betrieb. In der Zeit wurden wöchentlich  $84 \text{ m}^3$  Beckenwasser ausgetauscht. Das entspricht einer maximal zulässigen Besucherzahl von 2.800 Personen pro Woche. Die Entwicklung der Besucherzahlen bis zu diesem Zeitpunkt (Bild 7) zeigte, daß dieser Wert nicht mehr erreicht werden würde. Daraufhin wurde die Betriebszeit auf 54 Stunden pro Woche reduziert. Tabelle 5 zeigt den Einsatzzeitraum der WRG-Anlage, die ausgetauschte Wassermenge und die daraus resultierende maximal zulässige Besucherzahl für jeden Tag der Woche.

Das WRG-Gerät kann unabhängig von der Zeitschaltuhr im Dauerbetrieb gefahren werden. Dadurch ist der Schwimmmeister in der Lage, zusätzliche Wassermengen auszutauschen, wenn die tägliche, maximal zulässige Besucherzahl überschritten wird oder wenn die Grenzwerte der Anforderungen an das Beckenwasser nach der Richtlinie nicht eingehalten werden können. Im Auswertungszeitraum war das WRG-Gerät häufiger beabsichtigt oder ungewollt außerhalb der eingestellten Zeiten in Betrieb. Bild 8 zeigt die wöchentlich über das WRG-Gerät und die direkt eingespeiste Wassermenge.

Bedingt durch den Rückgang in den Sommerferien blieben im Auswertungszeitraum die Besucherzahlen hinter den Erwartungen zurück. Über die Zeitschaltuhr wird unabhängig von der Besucherzahl täglich eine festgelegte Wassermenge ausgetauscht. Die tägliche Betriebsdauer des WRG-Gerätes ist von der Besucherzahl an den einzelnen Wochentagen abhängig. In der Regel wird die Laufzeit nach einem Tag mit

einer hohen Anzahl an Badegästen festgelegt, um manuelle Eingriffe, wie zuvor erwähnt, zu vermeiden. Daher wird fast immer mehr Beckenwasser ausgetauscht, als nach der Richtlinie aufgrund der tatsächlichen Besucherzahl gefordert wird. Der mittlere wöchentliche Beckenwasseraustausch je Badegast ist in Bild 9 eingetragen.

### 3.2 Energiebilanz

Bild 10 zeigt ein Energieflußbild des Beckenwasserkreislaufs für den Auswertungszeitraum 1.4. bis 30.11.1983. In dieser Zeit wurden 206,02 MWh Wärme in den Kreislauf eingetragen. Über das WRG-Gerät wurden rund 34 % der Wärme dem Beckenwasserkreislauf entnommen und ein Betrag in gleicher Größenordnung wieder zugeführt. Rund 66 % der Wärme gingen durch Verdunstung, durch Wärmeübertragung ans Erdreich und an die benachbarten Kellerräume, bei der Entleerung der Becken zur Großreinigung und durch kleinere Leckagen verloren. Die Verluste wurden durch einen kontinuierlichen Wärmeeintrag mit den Beckenwasserumwälzpumpen (28 %), durch Wärmeabgabe der Unterwasserscheinwerfer (5 %) und durch eine geregelte Wärmezufuhr über die Wärmetauscher des kleinen und des großen Beckens (33 %) gedeckt.

Der Anteil der Beckenwasserumwälzpumpen, die nicht gezielt zur Wassererwärmung eingesetzt werden, ist gemessen am gesamten Wärmeeintrag in den Kreislauf, sehr hoch. Die Umwälzpumpen waren mit Ausnahme von 3 Tagen bei der Großreinigung und rund eine halbe Stunde je Filterspülung ständig in Betrieb. Ihre gemessene Leistungsaufnahme beträgt 16,5 kW. Mit der Annahme, daß die Pumpen mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 87 % und einem mechanischen Wirkungsgrad von 70 % arbeiten, geben sie rund 61 % ihres Stromverbrauchs (94,64 kWh) durch die Umwälzung des Wassers in Form von Wärme ab.

In Schwalmtal wurden 18 Unterwasserscheinwerfer mit einer elektrischen Anschlußleistung von 7,2 kW eingebaut. Diese wurden während der öffentlichen Badezeit eingeschaltet. Die Dauer der öffentlichen Badezeit richtete sich nach dem Schulbetrieb und dem Wochentag. In den Ferien stand das Schwimmbad den öffentlichen Besuchern über eine längere Zeitspanne zur Verfügung; daher war der Stromverbrauch der Unterwasserscheinwerfer in den Ferien höher als während des Schulbetriebs. Die aus Temperaturmeßwerten errechnete Wärmeabgabe der Unterwasserscheinwerfer an die Technikräume war sehr gering.

Die geregelte Wärmezufuhr erfolgte überwiegend durch den Wärmetauscher des kleinen Beckens, der an dem gesamten Wärmeeintrag in den Beckenwasserkreislauf mit 23 % beteiligt war. Dadurch konnte die Temperatur des kleinen Beckens ständig um ca. 2 K über der Temperatur des großen Beckens (27-29 °C) gehalten werden. Da die Schwallwasserströme des kleinen und großen Beckens zusammenfließen, kommt der Wärmeeintrag in das kleine Becken auch dem großen Becken zugute.

Zur Aufheizung des gesamten Inhalts des Beckenwasserkreislaufs (803 m<sup>3</sup>) nach der Großreinigung über den Wärmetauscher des großen Beckens wurden 13,7 MWh benötigt. Dieser Betrag macht etwa 7 % des gesamten Wärmeeintrags in den Beckenwasserkreislauf innerhalb des achtmonatigen Bilanzzeitraums aus.

8,03 MWh Wärme wurde im Normalbetrieb über den Wärmetauscher des großen Beckens zugeführt. Sowohl die geringen Wärmeverluste - durch eine gute Isolierung des Beckenbodens und durch die hohen Temperaturen (26-28 °C) in den Technikräumen rund um das Becken - als auch der Wärmeeintrag über den Wärmetauscher des kleinen Beckens trugen dazu bei, daß dieser Betrag lediglich 3 % am gesamten Wärmeeintrag in den Kreislauf ausmachte.

Einschließlich der Verluste bei der Wärmeerzeugung und -verteilung bezog der Beckenwasserkreislauf 78,99 MWh aus dem Heizungskreislauf. Die Wärmepumpe deckte 74 % der Heizenergie mit einer mittleren Arbeitszahl von 2,61 (nur Kompressorstromverbrauch), der Wärmetauscher der Fremdheizung steuerte 6 % bei. Die Hilfsantriebe zum Betrieb der Wärmepumpe benötigten die restliche Energie, deren Anteil aufgrund der bestehenden Betriebsweise hoch ist. Schlägt man den Stromverbrauch für die Hilfsantriebe der Wärmepumpe zu, beträgt die Gesamtarbeitszahl nur noch 1,93. In einem weiteren Untersuchungsabschnitt wird ein neues Regelungskonzept vorgeschlagen, um den Energieverbrauch der Hilfsantriebe zu senken.

Der Anteil der Beckenwasserumwälzpumpen, die nicht gezielt zur Wassererwärmung eingesetzt werden, ist gemessen am gesamten Wärmeeintrag in den Kreislauf, sehr hoch. Die Umwälzpumpen waren mit Ausnahme von 3 Tagen bei der Großreinigung und rund eine halbe Stunde je Filterspülung ständig in Betrieb. Ihre gemessene Leistungsaufnahme beträgt 16,5 kW. Mit der Annahme, daß die Pumpen mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 87 % und einem mechanischen Wirkungsgrad von 70 % arbeiten, geben sie rund 61 % ihres Stromverbrauchs (94,64 kWh) durch die Umwälzung des Wassers in Form von Wärme ab.

In Schwalmtal wurden 18 Unterwasserscheinwerfer mit einer elektrischen Anschlußleistung von 7,2 kW eingebaut. Diese wurden während der öffentlichen Badezeit eingeschaltet. Die Dauer der öffentlichen Badezeit richtete sich nach dem Schulbetrieb und dem Wochentag. In den Ferien stand das Schwimmbad den öffentlichen Besuchern über eine längere Zeitspanne zur Verfügung; daher war der Stromverbrauch der Unterwasserscheinwerfer in den Ferien höher als während des Schulbetriebs. Die aus Temperaturmeßwerten errechnete Wärmeabgabe der Unterwasserscheinwerfer an die Technikräume war sehr gering.

Die geringen Wärmeverluste der Becken, der ständige Wärmeeintrag über die WRG-Anlage, die Umwälzpumpe und die Unterwasserscheinwerfer sowie der Wunsch, das kleine Becken um 2 K höher zu erwärmen als das große Becken, führten bei dem bestehenden Anlagen- und Regelungskonzept in den Sommermonaten zu dem Problem, daß die Temperatur des großen Beckens über den gewünschten Wert anstieg. Kurzzeitig konnte Abhilfe geschaffen werden, indem das kleine Becken nicht nachgeheizt wurde (27.6.-16.10.1983). Langfristig scheint der Einsatz einer Zeitschaltuhr sinnvoll, die nur dann die Aufheizung des kleinen Beckens freigibt, wenn dieses von Kleinkindern benutzt wird.

Mit einem elektrischen Energieeinsatz von 7,59 MWh konnten mit der WRG-Anlage 69,22 MWh Wärme dem Beckenwasserkreislauf zugeführt werden. Daraus errechnet sich eine mittlere Arbeitszahl von  $\epsilon_{WRG} = 9,12$ .

Insgesamt wurden 4,43 MWh Wärme von der Fremdheizung der benachbarten Schule und 151,49 MWh Strom bezogen, so daß der Endenergieanteil am Wärmeeintrag in den Beckenwasserkreislauf 74 % betrug. Der Rest konnte durch den Einsatz einer WRG-Anlage und durch Nutzung von Umweltenergie gedeckt werden.

Bild 11 zeigt eine Wochenauswertung innerhalb des Bilanzzeitraums, aus der der jeweilige Wärmeeintrag mit der WRG-Anlage und den beiden Wärmetauschern ersichtlich ist. Man erkennt sehr deutlich diejenigen Wochen, in denen die Großreinigung durchgeführt wurde und in denen die WRG-Anlage im Dauerbetrieb gelaufen ist.

### 3.3 Wärmerückgewinn

Bei der Beckenwasserbilanz wurde festgestellt, daß 73 % mehr Wasser mit der WRG-Anlage ausgetauscht wurden, als nach der Richtlinie gefordert wird. Dieser

Prozentsatz gilt auch für den Wärmeeintrag in den Beckenwasserkreislauf mit dem WRG-Gerät. Bei der Diskussion dieses Meßergebnisses wurde angemerkt, daß der Mehraustausch durch die per Zeitschaltuhr festgelegte Laufdauer des WRG-Gerätes zustande kam. Dieser Prozentsatz könnte niedriger sein, wenn die Laufdauer des WRG-Gerätes in regelmäßigen Abständen der Entwicklung der Besucherzahl angepaßt würde.

In Tabelle 4 sind die Energie- und Wärmeverbräuche sowohl mit als auch ohne Einsatz einer WRG-Anlage aufgeführt.

Für den Fall, daß keine WRG-Anlage vorhanden und für 42.588 Besucher Füllwasser gegen Beckenwasser auszutauschen wäre, wären im Auswertzeitraum mindestens 45.493 kWh verbraucht worden. Dieser Wert setzt sich aus dem Energieverbrauch zum Filterspülen (18.815 kWh) bei einem Spülwasserverbrauch von 901 m<sup>3</sup> und dem Energieverbrauch zur besucherzahlabhängigen Wassererneuerung (26.678 kWh) zusammen. Der letzte Wert stellt eine Mindestgröße dar, da in der Praxis ohne Meßeinrichtungen, wie z.B. über den Nenndurchsatz und die Betriebsdauer des WRG-Gerätes, kein kontrollierter Wasseraustausch möglich ist und möglicherweise auch hier mehr Wasser ausgetauscht worden wäre, als notwendig war. Ein Mehraustausch, z.B. in der o.g. Größenordnung von 73 %, hätte ohne eine WRG-Anlage einen erheblich höheren Energieverbrauch zur Folge gehabt, der beim Einsatz der WRG-Anlage mit einer hohen Arbeitszahl von 9,1 nicht in dem Maße zu Buche schlug.

In Bild 12 werden die Endenergieverbräuche ohne (linke Säule) und mit (rechte Säule) Einsatz einer WRG-Anlage in einer Monatsauswertung verglichen. Der Einfachheit halber wird angenommen, daß in beiden Fällen die gemessenen und über die Wärmetauscher in den Beckenwasserkreislauf eingetragenen Wärmemengen direkt als Endenergieverbrauch angesetzt werden können.

Der untere Teil der linken Säule ist diejenige Wärmemenge, die über das WRG-Gerät eingetragen wurde und ohne Einsatz eines WRG-Gerätes vom Wärmetauscher des großen Beckens erwärmt worden wäre. Abgesehen von geringen saisonalen Schwankungen der Frischwassertemperatur ist dieser Anteil normalerweise in allen Monaten nahezu gleichgroß. Die Abweichungen sind auf die erwähnten manuellen Eingriffe hauptsächlich im Mai und die Umstellung am 18.7.83 zurückzuführen.

Der Verlauf der Summe der beiden oberen Säulen - sieht man einmal von dem Ausnahmezustand im Oktober (Großreinigung) ab - zeigt, daß der Eintrag über die Wärmetauscher saisonalen Schwankungen unterliegt.

Der untere Teil der rechten Säule stellt den Stromverbrauch des WRG-Gerätes dar. Im Mittel konnte der Energieverbrauch zur Aufheizung der auszutauschenden Füll- und Filterspülwassermenge auf rund 11 % reduziert werden.

### 3.4 Leistungswerte der WRG-Anlage

Aufgabe des WRG-Gerätes ist es, dem abzuführenden Beckenwasser mit einem geringen Energieeinsatz Wärme zu entziehen und diese auf das Füllwasser zu übertragen. Kennzahlen für die Leistungsfähigkeit des Gerätes sind die Arbeitszahl, die sich aus dem Quotienten der abgegebenen Wärme und der aufgenommenen elektrischen Energie berechnet, und die Heizleistung.

Bild 13 zeigt den Gang der Temperaturen und Leistungswerte des WRG-Gerätes vom 3.8.83. Dieser Verlauf ist für durchschnittliche Betriebstage charakteristisch. Mit Ausnahmen in der Anlaufphase sind die Temperaturen und Leistungsdaten während der gesamten Laufzeit des Gerätes konstant. Die höheren Wassertemperaturen und niedrigeren Leistungszahlen in der ersten halben bis vollen Stunde nach dem Einsatzzeitpunkt des Gerätes sind auf die erhöhte Temperatur des kalten Beckenfrischwassers, das sich beim Stillstand des Gerätes in den sehr langen Rohrleitungen auf die Temperatur in den Technikräumen (26-28°C) erwärmt, zurückzuführen. Damit zeichnen sich Parallelen zu dem Verhalten des Gerätes zum Wärmerückgewinn aus Duschabwasser ab.

Es ist zu erwarten, daß zwischen den Leistungsdaten des WRG-Gerätes und der Temperaturdifferenz zwischen dem entnommenen Beckenwasser (Beckenwassereintritt) und dem aufzuheizenden Frischwasser (Frischwassereintritt) ein Zusammenhang besteht. Die mittlere viertelstündliche Heizleistung ist für den im folgenden betrachteten Zeitraum 30.5-7.8.1983 (10 Wochen) in Bild 14 über der genannten Temperaturdifferenz aufgetragen. In dem Diagramm werden nur diejenigen Viertelstundenwerte berücksichtigt, in denen der Kompressor des WRG-Gerätes die volle Laufzeit erreicht hat.

Die Meßwerte werden durch die lineare Korrelationsgleichung

$$Q_{WRG} = 13,7 + 0,92 (\vartheta_{\text{Beckenwasser}} - \vartheta_{\text{Frischwasser}})$$

mit

$$Q_{WRG} = \text{mittlere viertelstündliche Heizleistung / kW /}$$

♠ Beckenw. = Beckenwassertemperatur / °C /  
♠ Frischw. = Frischwassertemperatur / °C /

beschrieben, wobei das Bestimmtheitsmaß 0,75 beträgt.

Werte, die unter einer Heizleistung von 25 kW liegen, können den o.g. Anfahrvorgängen zugeordnet werden. Dann hat sich das Frischwasser auf Raumtemperatur erwärmt und die Temperaturdifferenz ist geringer.

Die Mehrzahl der Punkte liegen in einem Bereich zwischen 25 und 32 kW. Man erkennt, daß sich die Heizleistung des WRG-Gerätes nicht nur bei Anfahrvorgängen, sondern auch im Dauerbetrieb verändert. Ursache dieser Veränderungen sind Schwankungen der Becken- und Frischwassertemperatur, die seltener kurzzeitig, dafür aber langfristig steigen oder fallen.

Schwankungen der Beckenwassertemperatur lassen sich anhand des Bildes 3 erläutern. Beim Unterschreiten der Mindestfüllstandswassermenge im Schwallwasserbehälter wird hier in kurzer Zeit eine große Menge kaltes Frischwasser nachgeführt, die sich mit der wenigen noch vorhandenen warmen Wassermenge vermischt. Die Umwälzpumpen UP3 und UP4 fördern nun das kältere Wasser durch das Filter zu den Becken. Der Temperaturfühler, der signalisiert, daß das Beckenwasser nachgeheizt werden muß, befindet sich in Höhe des Wärmetauschers (730 kW). Wenn das Beckenwasser nachgeheizt werden muß, wird die Wärme erst hinter dem Abzweig zur WRG-Anlage in den Beckenwasserkreislauf eingeführt. So ist es möglich, daß zeitweise kälteres Wasser zur WRG-Anlage gelangt und die Heizleistung in dieser Zeit absinkt. Bei Normalbetrieb ist diese Beobachtung in der KSH Schwalmtal weniger von Bedeutung, da im Mittel einmal pro Woche Frischwasser automatisch zugeführt wird. Treten jedoch vermehrt Wasserverluste auf, wie sie gegen Ende des Auswertungszeitraums zu beobachten waren, sind Rückwirkungen auf die Heizleistung des WRG-Gerätes zu erwarten.

In dem zuvor geschilderten Fall handelt es sich nicht um ein generelles Absinken der Beckenwassertemperatur, sondern um eine lokale Temperaturveränderung im Beckenwasserkreislauf. Aber auch das Temperaturniveau im gesamten Kreislauf unterliegt Schwankungen, die von einer Vielzahl von Faktoren - Regelung, Wärmeverluste, Temperaturen der Umgebung u.a. - abhängig sind. Im Auswertungszeitraum wurden Beckenwassertemperaturen im Bereich von 27 bis 28,7 °C gemessen.

Wie bereits erwähnt, erwärmt sich das Frischwasser in der Rohrleitung im Gebäude bei Stillstand der WRG-Anlage auf eine Temperatur um  $26^{\circ}\text{C}$ . Diese Temperaturerhöhung wirkt sich vermindern auf die Heizleistung aus. Darüberhinaus ist die Frischwassertemperatur den saisonalen Schwankungen des öffentlichen Wasserversorgungsnetzes unterworfen. Im April wurden Wassertemperatur um  $9^{\circ}\text{C}$  und im Juli um  $13^{\circ}\text{C}$  gemessen. Daher ist die Heizleistung der WRG-Anlage in den Wintermonaten höher als im Sommer. Bei der Erstellung des Diagramms in Bild 14 konnte beobachtet werden, daß die Mehrzahl der ersten Punkte, die Anfang Juni bei einer Frischwassertemperatur von  $11^{\circ}\text{C}$  registriert und berechnet wurden, im Bereich einer Heizleistung von 30 kW eingetragen wurden. Die letzten Punkte, die Anfang August bei einer Frischwassertemperatur von  $13^{\circ}\text{C}$  registriert und berechnet wurden, lagen im Bereich zwischen 25 und 29 kW.

Der Hersteller gibt für das Gerät eine Nennheizleistung von 33,5 kW bei einer Beckenwassertemperatur von  $28^{\circ}\text{C}$  und einer Füllwassertemperatur von  $10^{\circ}\text{C}$  an. Diese Temperaturen wurden im Auswertungszeitraum nicht erreicht. Die Lage der Punkte deutet aber darauf hin, daß die gemessene Heizleistung um etwa 1-2 kW hinter den Angaben des Herstellers zurückbleibt.

Der Mittelwert der Heizleistung im Auswertungszeitraum beträgt 28,3 kW, der Mittelwert der elektrischen Leistung 3,3 kW. Daraus errechnet sich eine Arbeitszahl von 8,6. Bild 15 zeigt eine Summenhäufigkeitsverteilung der Arbeitszahl für alle Zeiträume, in denen der Kompressor des WRG-Gerätes volle Laufzeit erreicht hat.

In der Darstellung in Bild 16 sind die Temperaturniveaus eingetragen, die auf der Frisch- und Filterspülwasserseite der WRG-Anlage ermittelt wurden. Der Durchsatz auf der Filterspülwasserseite war nicht immer konstant, so daß von den Temperaturen nicht direkt auf die Arbeitszahl geschlossen werden kann.

### 3.5 Filterspülung

Das Programm zur Luft-Wasser-Spülung von Sandfiltern wurde bereits in Kapitel 2.4 vorgestellt. Eine schematische Darstellung der Stufen und Phasen eines Filterspülvorgangs zeigt Bild 5. Im oberen Teil dieses Bildes sind 4 Temperaturmeßstellen eingezeichnet, die in den Anschlußstutzen des Filterkessels installiert wurden. Die Temperaturverläufe an diesen Stellen lassen erkennen, ob die Dauer einzelner Stufen und Phasen zutreffend gewählt wurden, um den Energieverbrauch beim Filterspülvorgang so niedrig wie möglich zu halten.

Im folgenden werden zwei Filterspülvorgänge beschrieben. Der erste Spülvorgang wurde mit den Zeitspannen, die bei der Inbetriebnahme des Schwimmbades eingestellt worden waren, vermessen. Es wurde festgestellt, daß mit anderen Laufzeiten ein geringerer Wärmeverlust zu erwarten war. Daraufhin wurden einige Zeitspannen verändert und ein zweiter Spülvorgang vermessen. Bild 17 zeigt die Temperaturverläufe an den vier Meßstellen bei beiden Spülvorgänge. Die Linien sind nur dann ausgezogen, wenn an den Meßstellen Wasser floß. Der erste Spülvorgang wird nun ausführlich beschrieben.

In der Stufe 0 wurde das warme Beckenwasser im Filterkessel mit kaltem Spülwasser verdrängt. Der Vorgang dauerte 1,5 Minuten. Die Meßstelle 1 (M 1) zeigte an, daß kaltes Wasser zugeführt wurde, während bei M 3 Wasser mit Beckenwassertemperatur abfloß. Aus der Wasserstandsabsenkung im Filterspülwasserbehälter konnte berechnet werden, daß in dieser Zeit  $3 \text{ m}^3$  kaltes Wasser zugeführt und bei einem Wasserinhalt des Filters von  $11,8 \text{ m}^3$  nur 25 % des warmen Wassers verdrängt wurden.

In der Stufe 1 wurde der Wasserspiegel im Filterkessel abgesenkt. Während dieser Zeitpanne von 1,5 Minuten lief bei M 4 Wasser in den Schlammwasserbehälter ab. Die Wassermenge konnte nicht gemessen werden, betrug aber schätzungsweise  $3 \text{ m}^3$ . Die Temperatur lag nur wenig unter der Beckenwassertemperatur. Es wird vermutet, daß im Raum über dem Filterkies eine ungehinderte und intensive Durchmischung von warmem und kaltem Wasser stattfand, das bei dieser Mischwassertemperatur abfloß.

In der ersten Phase der Stufe 2 wurde 3,5 Minuten lang Spülluft von unten in den Behälter geblasen. Dabei flossen geringe Mengen Wasser bei M 4 in den Schlammwasserbehälter. Das Wasser hatte Mischwassertemperatur, konnte jedoch mengenmäßig nicht erfaßt werden.

In der zweiten Phase der Stufe 2 wurde neben der Spülluft noch kaltes Filterspülwasser von unten in den Filterkessel eingeführt. Die Temperatur bei M 1 sank noch weiter ab und erreichte  $17,5 \text{ }^\circ\text{C}$  als niedrigsten Wert. Während einer Zeitspanne von 3,6 Minuten wurden  $8 \text{ m}^3$  Wasser in den Kessel eingeleitet. Gegen Mitte der Phase stieg die Temperatur bei M 4 wieder auf Beckenwassertemperatur an, da nun das warme Wasser abfloß, das in der Stufe 0 nicht aus dem unteren Teil des Filters verdrängt wurde.

In der dritten Phase der Stufe 2 wurde das Filter nur noch mit kaltem Wasser gespült.  $7 \text{ m}^3$  Wasser wurden 2,75 Minuten lang in den Kessel gepumpt. Die Temperatur bei M 4 sank im Laufe dieser Phase allmählich ab, da das kalte Spülwasser nun den Schlammwasserabflußstutzen erreicht hatte. Die in der Masse des Filterkessels und des Filterkies enthaltene Wärme ließen die Temperatur am Schlammwasseraustritt jedoch nicht auf das Niveau der Filterspülwassertemperatur absinken. Gegen Ende der Phase war das Filter gänzlich mit kaltem Wasser gefüllt, nachdem nun insgesamt  $18 \text{ m}^3$  kaltes Filterspülwasser zugeführt worden waren.

In der vierten Phase der Stufe 2 wurde Beckenwasser von oben in das Filter eingeleitet und das Erstfiltrat in den Schlammwasserbehälter abgeführt. Die Temperatur bei M 1 stieg wieder auf Beckenwassertemperatur an. Bei M 2 wurde eine Temperatur von  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  gemessen. In dieser Zeitspanne von 3 Minuten war nur die Umwälzpumpe 2 (Bild 3) mit einem Durchsatz von  $62 \text{ m}^3/\text{h}$  in Betrieb. Von etwa  $9 \text{ m}^3$  kaltem Wasser im Filter - oberhalb des Schlammwasseraustrittsstutzens befand sich ein Luftpolster - wurden rund  $3 \text{ m}^3$  abgeführt.

In der fünften Phase der Stufe 2 wurde der normale Wasseraufbereitungsbetrieb wiederhergestellt. Da zuerst ca.  $6 \text{ m}^3$  kaltes Wasser aus dem unteren Teil des Filterkessels an der Meßstelle M 3 vorbeiflossen, die sich teilweise im Bereich über dem Filterkies mit warmen Wasser vermischt hatten, stieg die Temperatur nur sehr langsam an. Erst 8 Minuten später wurde hier wieder Beckenwassertemperatur erreicht.

Diese detaillierte Beschreibung der Temperaturverläufe zeigt deutlich diejenigen Zeitspannen, die verlängert werden müssen. Nach der Änderung wurde der zweite Spülvorgang vermessen. Die wichtigsten Stufen und Phasen werden kurz beschrieben.

In der Stufe 0 wurde das Wasser mit einem Durchsatz von  $120 \text{ m}^3/\text{h}$  verdrängt. Würde man den gesamten Wasserinhalt des Filters von  $11,8 \text{ m}^3$  mit kaltem Wasser füllen, müßte die Stufe 6 Minuten andauern. Wie beim ersten Spülvorgang war auch jetzt zu erwarten, daß sich im Bereich über dem Filterkies warmes vorhandenes und kaltes zugeführtes Wasser vermischten und schließlich Wasser mit niedrigerer Temperatur in den Beckenwasserkreislauf eingeführt würde. Daher wurde eine kürzere Zeitspanne von 4 Minuten eingestellt, in der etwa  $8 \text{ m}^3$  Wasser verdrängt wurden. Das leichte Absinken des Temperaturverlaufs bei M 3 gegen Ende der Stufe 0 zeigte, daß die Zeitdauer günstig gewählt wurde.

In den Phasen 2 und 3 der Stufe 2 stieg die Temperatur bei M 4 noch einmal leicht an. Man erkennt, daß nicht alles Beckenwasser in der Stufe 0 verdrängt wurde, aber kaltes und warmes Wasser sich stark vermischten.

Die Phase 4 der Stufe 2 wurde auf 9,75 Minuten verlängert. Dadurch wurden rund 10 m<sup>3</sup> des kalten Wassers in den Schlammwasserbehälter abgeführt. Der Temperaturanstieg bei M 2 zeigt aber, daß wieder Mischvorgänge im Bereich über dem Filterkies stattfanden und ein Teil der Wärme aus dem Beckenwasserkreislauf in die Kanalisation geleitet wurde.

In den Auswertungen der Tagesverläufe vor der Änderung wurde beobachtet, daß nach jedem Filterspülvorgang Beckenwasser über den großen Wärmetauscher nachgeheizt worden war. Der Temperaturverlauf der Meßstelle 3 bei dem ersten Spülvorgang klärt diese Beobachtung.

Im zweiten Spülvorgang stieg gegen Ende der Phase "Abführen des Erstfiltrats" die Temperatur bei M 2 deutlich an. Hier zeigt sich, daß wegen der Vermischung von kaltem und warmen Wasser immer mit Wärmeverlusten beim Filterspülen gerechnet werden muß.

Bei beiden Meßvorgängen lag die Temperatur des Filterspülwassers nicht unter 16 bzw. 17,5 °C. Daraus ist zu schließen, daß sich das Wasser im Filterspülwasserbehälter durch Wärmeübertragung aus dem Erdreich bzw. über die Wände zu den Technikräumen erwärmt hat.

Wird in der Stufe 0 nicht der gesamte Wasserinhalt des Filterkessels in den Beckenwasserkreislauf verdrängt, muß die Differenzmenge nachgeführt und aufgeheizt werden. Beim zweiten Spülvorgang gehen auf diesem Wege rund 4 m<sup>3</sup> Beckenwasser bei jeder Spülung verloren, die später in den Schwallwasserbehälter aus dem öffentlichen Wasserversorgungsnetz bei einer Temperatur von 9 bis 13 °C nachgeführt werden.

### 3.6 Vorschläge zu Änderungen im Beckenwasserkreislauf

Aus den Beobachtungen und Messungen ergeben sich folgende Änderungsvorschläge:

- Die Umwälzpumpe des Kinderbeckens sollte bei einer Rinnenumschaltung automatisch abgeschaltet werden. Eine Rinnenumschaltung wird bei der Reini-

gung des Beckenumgangs vorgenommen, damit das Reinigungsmittel und der Schmutz nicht durch die Überlaufrinne in den Beckenwasserkreislauf gelangen sondern in die Kanalisation abgeführt werden. Wenn die Umwälzpumpe des Kinderbeckens nicht per Hand abgeschaltet wird, wird Wasser aus dem großen Becken in das kleine Becken gefördert und läuft über dessen Überlaufrinne in die Kanalisation ab.

- In den Sommermonaten stieg die Beckenwassertemperatur über den gewünschten Wert an. Als Ursache wurden geringe Wärmeverluste durch gute Wärmedämmung, durch hohe Temperaturen in den Technikräumen um das Becken und durch den Einsatz einer WRG-Anlage genannt. Hinzu kommt, daß die Temperatur im Kinderbecken um 2 K über der Temperatur des großen Beckens liegen soll und der Wärmeeintrag in das Kinderbecken dem gesamten Beckenwasserkreislauf zugute kommt. Es wurde vorgeschlagen, über eine Zeitschaltuhr mit einer größeren, vorhandenen Umwälzpumpe das Kinderbecken nur bei Bedarf kurzzeitig aufzuheizen.

Das letztgenannte Problem läßt sich auch noch auf andere Art lösen: Mit einem Sollwertanzeiger am Bedienungstableau der WRG-Anlage kann über einen Regler der Wärmepumpenkreislauf abgeschaltet werden, wenn die Beckenwassertemperatur den eingestellten Wert überschreitet. Dann ist lediglich der Plattenwärmetauscher am Wärmerückgewinn beteiligt. Unter energiewirtschaftlichem Aspekt ist diese Alternative nicht sinnvoll, da an anderer Stelle mit hohem Endenergieeinsatz Wärme zugeführt wird, während das WRG-Gerät, das mit geringem Energieeinsatz viel Wärme zurückgewinnt, abgeschaltet wird. Zudem arbeitet ein solches WRG-Gerät nur dann kostensparend, wenn man möglichst lange Laufzeiten mit dem Kompressor erzielt. In Schwalmtal wird diese Regelung nicht in Anspruch genommen.

Das Spülen von Filtern mit kaltem bevorratetem Wasser aus der WRG-Anlage ist aus Sicht der Filterkesselhersteller nicht unproblematisch. Es wird befürchtet, daß sich langfristig wegen der schnellen und recht hohen Temperaturschwankungen Haarrisse in den Filterwänden und der Wandgummierung bilden. Dagegen werden Spülungen mit Wasser aus dem öffentlichen Netz mit Temperaturen von 10 - 15 °C als unproblematisch angesehen. Die Auswertungen in Schwalmtal haben gezeigt, daß das Filterspülwasser zwar auf eine Temperatur von 8 °C abgekühlt wird, sich aber bis zum Filterspülen auf eine Temperatur von 16 °C durch Wärmeübertragung aus dem Erdreich und den Technikräumen aufgewärmt hat. Es ist jedoch denkbar, daß sich das Filterspülwasser in anderen Schwimmbädern unter anderen Bedingungen

nicht erwärmt. In diesem Fall wäre zu überlegen, ob das kalte Filterspülwasser direkt in die Kanalisation geleitet und der Filterspülwasserbehälter mit Wasser aus dem öffentlichen Netz gefüllt wird.

#### 4. Planung und Betrieb einer WRG-Anlage

Die Größe eines Gerätes zum Wärmerückgewinn aus Beckenabwasser richtet sich allein nach der Besucherzahl und der Forderung der Richtlinie / 4 /, daß "pro Tag und Badegast 30 l Füllwasser Beckenwasser auszutauschen sind". Die Mindestdurchflußmenge  $\dot{V}_{WRG}$  auf der Frischwasser- und Beckenwasserseite des WRG-Gerätes errechnet sich nach der Gleichung

$$\dot{V}_{WRG} \quad /m^3/h/ \quad = \quad \frac{B * 0,03 \text{ m}^3/\text{Person} * \text{Tag}}{24 \text{ h}}$$

in der B / Personen/Tag / den Tag mit der höchsten bzw. zu erwartenden höchsten Besucherzahl darstellt. Es ist ein Gerät auszuwählen, dessen Nenndurchsatz größer oder gleich dem berechneten Wert der Gleichung ist. Somit werden die Anforderungen der Richtlinie erfüllt und gleichzeitig die Investitionskosten niedrig gehalten. Bei der Ermittlung der Größe B sollte überprüft werden, ob seltene Tage mit einer außergewöhnlich hohen Besucherzahl berücksichtigt werden müssen. Anhand einer Wirtschaftlichkeitsrechnung läßt sich leicht feststellen, ob durch den Einsatz eines kleineren Gerätes und manueller Eingriffe an Tagen mit hoher Besucherzahl Kosten eingespart werden können.

Wenn das abgekühlte Beckenwasser zum Filterspülen verwendet werden soll, ist der zusätzliche Einbau eines Filterspülwasserbehälters, dessen Größe durch die Richtlinie / 4 / festgelegt ist, erforderlich. Der Behälter muß mit dem Beckenwasserkreislauf verbunden werden. Gegebenenfalls muß eine zusätzliche Filterspülwasserpumpe installiert werden.

Die Auswertungen der Anlage in Schwalmtal haben gezeigt, daß die durch das WRG-Gerät geflossene und bevorratete Wassermenge größer war als die Wassermenge, die zum Spülen des Filters benötigt wurde. Für das Freibad Wiehl / 2 / traf diese Beobachtung ebenfalls zu. Im Einzelfall ist durch Messungen oder anhand von Erfahrungswerten zu überprüfen, ob bei dem geplanten Projekt von der gleichen Voraussetzung ausgegangen werden kann.

Eine WRG-Anlage kann auch dann eingesetzt werden, wenn das abgekühlte Beckenwasser nicht zum Filterspülen bevorratet, sondern direkt in die Kanalisation abgeleitet wird. Die Vor- und Nachteile einer solchen Anlagenkonzeption werden im nächsten Kapitel erläutert.

Nach der Inbetriebnahme sollte der Betreiber in regelmäßigen Abständen Betriebskontrollen an der WRG-Anlage durchführen. So wird sichergestellt, daß ungünstige Betriebszustände rechtzeitig erkannt werden. Dazu wurde ein Formblatt entwickelt, in das die an der Frontseite des WRG-Gerätes ablesbaren Daten eingetragen werden (Tabelle 6). Gegebenenfalls muß das Blatt erweitert werden, wenn ein Betreiber Verbrauch und Leistung seines Gerätes durch den Einbau von Durchfluß-, Wärmemengen-, Strom- und Betriebsstundenzählern ermitteln kann.

Weitere Hinweise und Anregungen zur Planung und zum Betrieb einer Anlage zum Wärmerückgewinn aus Filterspülwasser sind bei der Auswertung der Meßergebnisse zu den einzelnen Anlagenkomponenten und Betriebsvorgängen aufgeführt.

## 5. Wirtschaftliche Betrachtungen

Die Energiebilanz für den Beckenwasserkreislauf der KSH Schwalmtal hat gezeigt, daß mit einer Anlage zum Wärmerückgewinn aus Beckenabwasser Endenergie eingespart wurde. Die folgenden wirtschaftlichen Betrachtungen sollen zeigen, ob mit einer solchen Anlage auch Kosten eingespart werden; denn daran ist ein Betreiber eines Hallenbades in erster Linie interessiert.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer WRG-Anlage müssen die Gesamtjahreskosten und die rückgewinnbare Wärme bekannt sein. Der Quotient aus den Gesamtjahreskosten und der rückgewonnenen Wärme ergibt die Kosten der zurückgewonnenen Wärme je Wärmeeinheit, die im folgenden mit Wärmekosten (in DM/kWh) bezeichnet werden. Anhand dieses Wertes ist ein Vergleich mit anderen Wärmeerzeugersystemen möglich.

### 5.1 Ermittlung der Ausgangswerte

Die Ausgangssituation zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer WRG-Anlage ist in den Hallenbädern wegen der unterschiedlichen Konstellation der technischen Anlagen und unterschiedlicher Betriebsweisen verschieden. Daraus ergeben sich Rückwirkungen auf die Kosten und den Energieverbrauch bzw. den Wärmerückgewinn.

Tabelle 7 zeigt die möglichen Ausgangssituationen und Betriebsweisen auf (Sb1-Sb4). Für drei verschiedene Betriebsweisen soll nun der Wärmerückgewinn sowie der Energie- und Wasserverbrauch beim Beckenwasseraustausch und Filterspülen ermittelt werden.

Den Ausführungen liegen die Meßwerte und daraus berechnete Größen aus den Untersuchungen in der KSH Schwalmatal zugrunde (Tabelle 8). Folgende Randbedingungen sind darüberhinaus zu beachten:

- Bei den Anlagenkonstellationen Sb1 und Sb2 wird am Tage der Filterspülung außer dem Ersatz des Filterspülwassers kein Füllwasser gegen Beckenwasser ausgetauscht. Das Filter wird an einem Öffnungstag gespült, so daß die Besucherzahl und damit auch die auszutauschende Beckenwassermenge auf die verbleibenden Öffnungstage umgerechnet wird (69.000 Personen).
- Bei den Anlagenkonstellationen Sb3 und SB4 muß das Füllwasser für alle Besucher ausgetauscht werden.
- Der Wasserverbrauch beim Filterspülen ohne und mit separatem Spülwasserspeicher ist unterschiedlich. So ist es sinnvoll, beim Spülen mit warmem Beckenwasser die Erstfiltratphase möglichst kurz zu halten, um wenig Wasser und Wärme zu verlieren. Für den Fall, daß ein separater Spülwasserspeicher vorhanden ist, konnte gezeigt werden, daß durch Abkühlen des Filterkessels, durch Beckenwasserverluste und aufgrund von Mischvorgängen während des Spülvorgangs Wärmeverluste auftreten.
- Bei der Anlagenkonstellation Sb4 werden die Fälle unterschieden, ob das Filter mit kaltem Beckenwasser (Fall 1) oder mit Wasser aus dem öffentlichen Versorgungsnetz (Fall 2) gespült wird. Anlaß hierzu ist, daß einige Hersteller keine Garantie für den Filterkessel geben, wenn zum Spülen unter Wassertemperatur abgekühltes Beckenwasser verwendet wird.

Die Betriebsweisen unterscheiden sich in der Menge des auszutauschenden Füllwassers. Im Fall a wird angenommen, daß die Forderung der Richtlinie / 4 / exakt erfüllt wird und pro Besucher und Tag 30 l Füllwasser gegen Beckenwasser ausgetauscht werden. Erfahrungsgemäß kann man aber davon ausgehen, daß mehr Wasser ausgetauscht wird, da die meisten Bäder nicht über eine Zählleinrichtung mit automatischer Abschaltung verfügen.

In Fall b wird daher angenommen, daß etwa  $1/3$  mehr Füllwasser gegen Beckenwasser ausgetauscht wird, während der Wasserbedarf zum Filterspülen gleichbleibt. Die Untersuchungen in Schwalmtal haben gezeigt, daß beim Einsatz einer WRG-Anlage, deren Einsatz über eine Zeitschaltuhr geregelt wird, nach einer anfänglichen Beobachtungsphase mit einem erhöhten Wasseraustausch gegenüber der Forderung der Richtlinie in dieser Größenordnung gerechnet werden kann.

Im Fall c wird schließlich angenommen, daß  $2/3$  mehr Beckenwasser erneuert wird, als die Richtlinie verlangt. Mögliche Ursachen hierfür können ein Anstieg der Besucherzahl oder ein notwendiger Mehraustausch sein, wenn die Grenzwerte der Anforderungen an die Beckenwasserqualität nach der Richtlinie nicht eingehalten werden können.

Tabelle 9 zeigt den Wasser- und Energiebedarf sowie den Wärmerückgewinn der verschiedenen Anlagenkonstellationen und Betriebsweisen. Diese Daten bilden eine weitere Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

Ausgangssituation, Umbaumaßnahme und Betriebsweise wirken sich nicht nur auf den Energie- und Wasserverbrauch sondern auch auf die Kosten aus. Eine Umbaumaßnahme, die nur den Einbau und Anschluß einer WRG-Anlage umfaßt, ist billiger als wenn gleichzeitig ein Filterspülwasserbehälter einschließlich Rohrleitungsanschlüssen installiert wird. Im zweiten Fall kann aber mit einem erhöhten Wärmerückgewinn gerechnet werden.

Weiterhin ist zu bedenken, daß ein vermehrter oder verminderter Wasserverbrauch, der durch den Einbau einer WRG-Anlage verursacht wird, erhebliche Auswirkungen auf die Wärmekosten hat. Eine Kostenrechnung für die Anlagenkonstellation Sb1 zeigt, daß die jährlichen Wasserkosten (Wasserpreis etwa  $2 - 6 \text{ DM/m}^3$ ) in der gleichen Größenordnung wie die jährlichen Wärmekosten ( $0,05 - 0,2 \text{ DM/kWh}$ ), teilweise aber erheblich über den Wärmekosten liegen können. Für den Fall Sb3 ist daraus abzuleiten, daß zwar Energie eingespart wird, aber die Kosten wegen des erhöhten Wasserverbrauchs und der zusätzlichen Baumaßnahmen in der Regel ansteigen.

Um die Vielzahl von Möglichkeiten zu erfassen und Tendenzen beurteilen zu können, wurde für einen Rechner ein entsprechendes Programm entwickelt, in dem verschiedene Parameter variiert werden können. Die Ergebnisse werden im nächsten Kapitel diskutiert.

## 5.2 Auswirkungen verschiedener Größen auf die Wärmekosten

Ausgangsdaten für die Berechnung sind die in Tabelle 10 aufgeführten Daten, die für die in der KSH Schwalmtal installierte WRG-Anlage zutreffen. Die Verbrauchsdaten der WRG-Anlage (Punkt 5) entsprechen der Anlagenkonstellation Sb4-1 und dem Fall b in Tabelle 9. Der zusätzliche Wasserbedarf orientiert sich an dem Wasserverbrauch der Anlagenkonstellation Sb1, der die in der Praxis am häufigsten anzutreffende Ausgangssituation darstellt. Ein Minus bedeutet, daß weniger Wasser benötigt wird. Aus den Werten errechnet sich ein Wärmerückgewinn von  $294 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ , Gesamtjahreskosten von  $29 \text{ DM/m}^2 \cdot \text{a}$  und daraus Wärmekosten in Höhe von  $0,099 \text{ DM/kWh}$ . Die Ergebnisse sind in Bild 18 unter dem Punkt S eingezeichnet.

Wenn die nach der Richtlinie / 4 / geforderte Beckenwassermenge (weniger) oder mehr Beckenwasser erneuert wird (Punkt 1a für  $2.700 \text{ m}^3/\text{a}$ , 1b für  $4.500 \text{ m}^3/\text{a}$ ), verschieben sich die Gesamtjahreskosten nur geringfügig, der Wärmerückgewinn aber wegen der hohen Arbeitszahl des WRG-Gerätes von 9,1 erheblich mehr. Dadurch verändern sich die Wärmekosten auf  $0,119 \text{ DM/kWh}$  bzw.  $0,087 \text{ DM/kWh}$ .

Wenn der Filterkessel mit Wasser aus dem öffentlichen Wassernetz gespült wird (Sb4-2), führt der zusätzliche Wasserbedarf zu einem starken Anstieg der Wärmekosten (Punkte 2a bis 2c).

Der Einfluß verschiedener Größen auf die Wärmekosten ist in Tabelle 11 dargestellt. Ausgangswerte sind die in Tabelle 10 zugrundegelegten Daten, aus denen Wärmekosten in Höhe von  $0,099 \text{ DM/kWh}$  berechnet wurden.

Einzige technische Kenngröße in dieser Tabelle ist die Arbeitszahl der WRG-Anlage, deren Einfluß sich besonders stark bemerkbar macht. Die Variation erfolgt in einem weiten Bereich zwischen 7,1 und 11,1 mit Zwischenschritten bei 8,1 und 10,1. Eine niedrigere Arbeitszahl von 7,1 führt zu einem Anstieg der Wärmekosten auf  $0,131 \text{ DM/kWh}$ , da der Anteil der zurückgewonnenen Wärme bei unveränderten Gesamtjahreskosten zurückgeht. Mit einer höheren Arbeitszahl von z.B. 10,1 lassen sich die Wärmekosten auf  $0,088 \text{ DM/kWh}$  reduzieren. Die Untersuchungen in Schwalmtal haben gezeigt, daß die Arbeitszahl von der Beckenwassertemperatur und der Frischwassertemperatur abhängig ist. Somit sind in ihr zwei Betriebsgrößen eines Schwimmbades enthalten, deren Schwankungen sich indirekt auf die Wärmeko-

sten auswirken. Hohe Beckenwassertemperaturen und niedrige Frischwassertemperaturen führen zu einem Anstieg der Arbeitszahl und zu geringeren Wärmekosten.

Eine Variation der Investitionskosten für das WRG-Gerät von 10 % um den Ausgangswert verschiebt die Wärmekosten auf 0,093 bzw. 0,104 DM/kWh. Gegenüber dem Einfluß der Arbeitszahl sind diese Schwankungen gering.

Der Wasserpreis geht je nach Standort und Betriebsweise mit unterschiedlichem Gewicht in die Berechnung ein. Wenn das Filter mit abgekühltem Beckenwasser gespült wird und der Wasserbedarf sich gegenüber der Anlagenkonstellation Sb1 verringert, kann mit niedrigeren Wärmekosten gerechnet werden.

Wenn der Betreiber die Möglichkeit hat, den Kompressor über eine Höchstlastbegrenzung abzuschalten, entfällt für ihn der zu zahlende Leistungspreis. Das Gerät überträgt dann nur noch über den Plattenwärmetauscher Energie vom Beckenwasser auf das Füllwasser. Da die EVU erfahrungsgemäß nur selten Lastabschaltungen vornehmen, ist keine merkbare Reduzierung des Wärmerückgewinns zu erwarten. Die Wärmekosten lassen sich so auf 0,092 DM/kWh senken.

Die tägliche Laufdauer eines WRG-Gerätes wird durch die Besucherzahl und den Ab- bzw. Frischwasserstrom des Gerätes festgelegt. Zur Bemessung des Gerätes wurden bereits einige Hinweise gegeben. Wenn das Gerät nicht den ganzen Tag in Betrieb ist, sollte nach Möglichkeit der günstigere Strombezug in der NT-Zeit genutzt werden.

Bei den möglichen Anlagenkonstellationen stellt die Variante Sb2 eine kostengünstige Lösung dar. Tabelle 12 zeigt die Ausgangsdaten für die Berechnung. Es werden weder ein Spülwasserspeicher noch die damit verbundenen Rohrleitungen installiert, so daß nur noch Kosten für das WRG-Gerät, den elektrischen und den wasserseitigen Anschluß entstehen. Zusätzlich wird angenommen, daß der Kompressor über eine Höchstlastbegrenzung abgeschaltet werden kann. Die Vorteile und Auswirkungen wurden bereits genannt. Das Gerät hat somit die Aufgabe, die täglich zuzuführende Füllwassermenge außer an den Tagen, an denen der Filterkessel gespült wird, zu erwärmen. Für diesen Fall entstehen Wärmekosten in Höhe von 0,079 DM/kWh. Bild 19 zeigt, wie sich eine Veränderung der Arbeitszahl auf die Wärmekosten auswirkt.

## 6. Zusammenfassung

In einem Schwimmbad müssen pro Besucher und Tag 30 l Füllwasser gegen Beckenwasser ausgetauscht werden. Der Energiebedarf zur Aufheizung dieser Füllwassermenge von 11 °C Wassernetztemperatur auf 28 °C Beckenwassertemperatur konnte in der KSH Schwalmtal durch den Einsatz einer WRG-Anlage erheblich vermindert werden.

Ein WRG-Gerät besteht aus einem Plattenwärmetauscher und einer Wärmepumpenanlage, die das abzuführende Beckenwasser auf 8 °C abkühlen und die etwa gleichgroße zugeführte Füllwassermenge auf 32 °C erwärmen. Der Kompressor des Wärmepumpenkreislaufs ist der einzige Stromverbraucher des Gerätes, das mit einer mittleren Arbeitszahl von 9,1 im Auswertungszeitraum betrieben wurde. Es konnte gezeigt werden, daß eine höhere Beckenwassertemperatur oder eine niedrigere Frischwassertemperatur zu einer besseren Arbeitszahl führten. Die Beckenwassertemperatur ist in der Regel konstant. Die Frischwassertemperatur unterliegt jedoch jahreszeitlichen Schwankungen. In den Sommermonaten ist die Frischwassertemperatur höher und die Arbeitszahl schlechter. Da das Füllwasser über Beckenwassertemperatur erwärmt wird, kann mit einem WRG-Gerät ein Teil der Wärmeverluste im Beckenwasserkreislauf gedeckt werden. Seit der Inbetriebnahme läuft das WRG-Gerät störungsfrei und mußte weder gereinigt noch gewartet werden.

Das abgekühlte Beckenwasser wird in Schwalmtal in einem Speicher gesammelt und zum Spülen des Filters verwendet. Der Vorteil gegenüber dem Spülvorgang in einem herkömmlichen Schwimmbad besteht darin, daß kein warmes Beckenwasser aus dem Kreislauf entnommen, durch Füllwasser ersetzt und aufgeheizt werden muß. Allerdings treten beim Spülen mit kaltem gespeichertem Beckenwasser Wärmeverluste auf, da die Filtermasse sich abkühlt und wieder erwärmt werden muß. Anhand der Messungen konnte gezeigt werden, daß zusätzliche Wärmeverluste durch Mischvorgänge im Filterkessel bei der Verdrängung des warmen Beckenwassers mit kaltem Filterspülwasser oder umgekehrt entstehen. Insgesamt konnte der Wärmeverlust beim Filterspülen auf rund ein Drittel des Wärmeverlustes beim Spülvorgang in herkömmlichen Schwimmbädern reduziert werden, nachdem die Dauer der einzelnen Spülphasen optimal eingestellt wurde. Die dazu durchgeführten Messungen werden ausführlich beschrieben.

In einem Energieflußbild ist der Wärmeeintrag verschiedener Aggregate in den Beckenwasserkreislauf ausgewiesen. Im Auswertungszeitraum wurden mit der WRG-An-

lage rund 34 % der eingetragenen Wärme dem Kreislauf entnommen und der gleiche Betrag, der in herkömmlichen Schwimmbädern über einen Wärmetauscher eingebracht wird, wieder zugeführt. Rund 66 % der Wärme gingen durch Verdunstung, durch Wärmeübertragung, bei der Beckenentleerung und durch kleinere Leckagen verloren. Die Verluste wurden durch einen kontinuierlichen Wärmeeintrag mit den Beckenwasserumwälzpumpen (28 %), durch Wärmeabgabe der Unterwasserscheinwerfer (5 %) und durch eine geregelte Wärmezufuhr über die Wärmetauscher (33 %) gedeckt.

Die gute Wärmedämmung, der Einsatz eines WRG-Gerätes und eine ständige Wärmezufuhr über den Wärmetauscher des Kinderbeckens, über die Umwälzpumpen und über die Unterwasserscheinwerfer führten zu dem Problem, daß die Beckenwassertemperatur in den Sommermonaten langsam über den gewünschten Wert anstieg. Es werden einige Vorschläge gemacht, die zu einer Lösung des Problems führen.

Bei den wirtschaftlichen Betrachtungen wurde der Begriff der Wärmekosten einer WRG-Anlage als Quotient aus den Gesamtjahreskosten und dem Wärmerückgewinn definiert. Anhand dieser Größe ist ein Vergleich mit anderen Wärmeerzeugersystemen möglich. Eine detaillierte Analyse der Ausgangssituation in Schwimmbädern, der Umbaumaßnahmen, der sich daraus ergebenden Anlagenkonstellation und der möglichen Betriebsweisen haben gezeigt, daß die Wärmekosten in einem weiten Bereich schwanken. Am Beispiel der KSH Schwalmtal werden die möglichen Fälle und die Auswirkungen der Randbedingungen eingehend erläutert. Analog hierzu lassen sich alle Daten zur Berechnung einer WRG-Anlage für ein beliebiges Schwimmbad ermitteln.

Für die in Schwalmtal aufgeführte Anlage ergaben sich Wärmekosten in Höhe von 0,099 DM/kWh. Eine Variation verschiedener Parameter führte zu dem Ergebnis, daß die Arbeitszahl der WRG-Anlage - Ausgangswert 9,1 - einen großen Einfluß auf die Wärmekosten hat. Wenn die Arbeitszahl auf 10,1 ansteigt, können die Wärmekosten auf 0,088 DM/kWh gesenkt werden. Eine niedrigere Arbeitszahl von 7,1 führt zu höheren Wärmekosten von 0,131 DM/kWh. Weiterhin ist von Bedeutung, ob durch den Einbau einer WRG-Anlage und eines Filterspülwasserbehälters der Wasserverbrauch und die Wasserkosten gesenkt werden können oder ansteigen.

Die Tendenzen zeigen, daß WRG-Anlagen dann wirtschaftlich sind, wenn große Mengen Beckenwasser erneuert werden müssen und das Gerät lange Laufzeit erreicht.

## Literaturverzeichnis

- / 1 /        Elektrowärme im Technischen Ausbau, eta, Edition A der Zeitschrift, Vulkan-Verlag Essen;  
"elektrowärme international", Nr. 3/1981;
- / 2 /        Biasin, K.:  
Wärmerückgewinn aus Filterspülwasser;  
Wärmerückgewinn aus Duschabwasser;  
RWE informiert, Nr. 186.
- / 3 /        Gossenberger, M., G. Richter und W. Suttor:  
Untersuchungen in Hallenschwimmbädern;  
Bericht 178.65 der Forschungsstelle für Energiewirtschaft,  
München April 1975.
- / 4 /        VDI-Richtlinie 2089:  
Schwimmbäder; Wasseraufbereitung für Schwimmbeckenwasser,  
Januar 1983.  
Beuth-Verlag, Berlin, Köln.
- / 5 /        Koordinierungskreis Bäder:  
Richtlinien für den Bäderbau.  
W. Tümmels Buchdruckerei und Verlag.
- / 6 /        DIN 19643 (Entwurf März 1981); Aufbereitung von  
Schwimm- und Badebeckenwasser.
- / 7 /        Stoy, B.: Ökonomischer Luxus - Hotel als Energielabor,  
Bild der Wissenschaft (1980) Nr. 11.
- / 8 /        Bouillon, H. u.a.: Betriebsanalyse der Brauchwassererwärmungs- und Abwasserwärmerückgewinnungsanlage im Hotel Heedt; Bericht 178.82 der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, im Auftrag des RWE AG, Essen.
- / 9 /        Schwindt, H.-J.: Elektrische Warmwasserbereitung;  
RWE-Bauhandbuch 1983/84.

- / 10 / VDI 1067, Blatt 4: "Warmwasserversorgung";  
Entwurf September 1979.
- / 11 / Schwindt, H.-J.: Wärmerückgewinnung aus Haushalts-  
abwasser, Betriebsergebnisse und Erfahrungen;  
VDI-Berichte Nr. 337, 1979.
- / 12 / Ebersbach, K.F.: Zentrale Wärmerückgewinnung aus dem Warm-  
wasserverbrauch in Mehrfamilienhäusern. Bericht 178.76  
der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München;  
Forschungsvorhaben ET 5002 des Bundesministeriums für  
Forschung und Technologie.
- / 13 / Frühauf, H.-J.: Wärmerückgewinn aus Filterspülwasser  
und Duschabwasser eta (1981) Nr. 3.
- / 14 / Fluck, D.: Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser -  
vorzugsweise in Hallenbädern; "elektrowärme international"  
(1974) Nr. 5.
- / 15 / Biasin, K.: Wärmerückgewinn aus Badewannenabwasser  
in einem Hotel; HLH 2/82; VDI-Verlag, Düsseldorf.

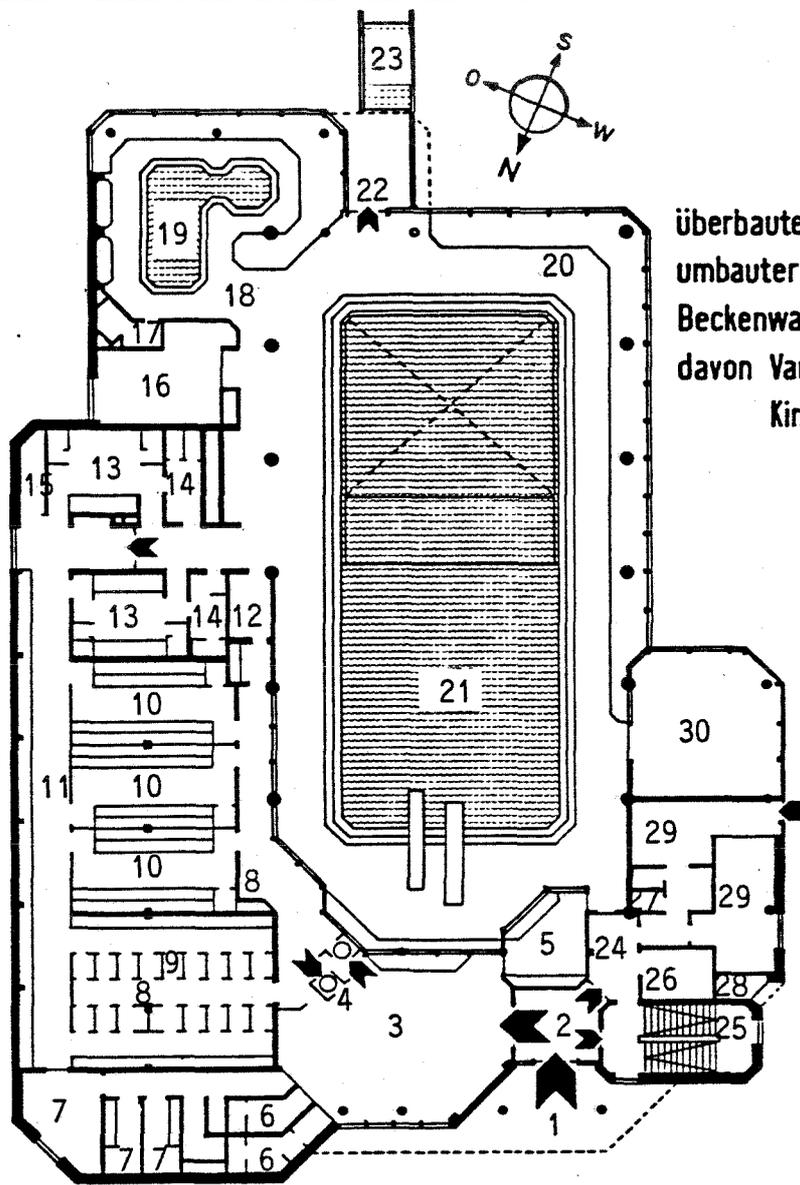
Tag	außerhalb der Schulferien		Osterferien 83 19.3. - 9.4.		Sommerferien 83 7.7. - 21.8.	
	Zeit	Besucher- gruppe	Zeit	Besucher- gruppe	Zeit	Besucher- gruppe
Montag	8 - 12	Reinigung	10 - 14	Reinigung	10 - 13	Reinigung
	12 - 15	Schulen	14 - 18	Öffentlk.	13 - 21	Öffentlk.
	15 - 18	Öffentlk.	18 - 21	Verein		
	18 - 21	Verein				
Dienstag	7 - 8	Öffentlk.	7 - 21	Öffentlk.	10 - 21	Öffentlk.
	8 - 15	Schulen				
	15 - 21	Öffentlk.				
Mittwoch	8 - 15	Schulen	10 - 21	Öffentlk.	10 - 21	Öffentlk.
	15 - 21	Öffentlk.				
Donnerstag	7 - 8	Öffentlk.	7 - 20	Öffentlk.	10 - 20	Öffentlk.
	8 - 15	Schulen	20 - 21	Verein		
	15 - 20	Öffentlk.				
	20 - 21	Verein	20 - 21	Verein		
Freitag	8 - 15	Schulen	10 - 21	Öffentlk.	10 - 21	Öffentlk.
	15 - 21	Öffentlk.				
Samstag	8 - 17	Öffentlk.	8 - 17	Öffentlk.	8 - 17	Öffentlk.
Sonntag	9 - 13	Öffentlk.	9 - 13	Öffentlk.	9 - 13	Öffentlk.

Tabelle 1: Öffnungszeiten der KSH Schwalmtal

Monat	Verein		Schule		Öffentlicher Badebetrieb				gesamt	
	Abs.	%	Abs.	%	Erwachs.		Jugendl.		Abs.	%
					Abs.	%	Abs.	%		
Dez. 82	414	6,7	397	6,4	1144	18,4	4250	68,5	6205	10,3
Jan. 83	578	6,1	1279	13,5	1978	20,9	5638	59,5	9473	15,8
Feb. 83	420	5,9	2572	35,9	1233	17,2	2844	41,0	7169	11,9
März 83	436	5,1	2181	25,8	1692	20,0	4156	49,1	8465	14,1
Apr. 83	493	5,7	2545	29,4	1561	18,0	4052	46,9	8651	14,4
Mai 83	607	8,2	3125	42,4	987	13,4	2655	36,0	7374	12,3
Juni 83	592	7,8	3066	40,5	1181	15,6	2725	36,1	7564	12,6
Juli 83	175	3,4	291	5,6	1710	32,8	3031	58,2	5207	8,6
	3715	6,2	15456	25,7	11486	19,1	29451	49,0	60108	100,0

Tabelle 2: Aufschlüsselung der Besucherzahlen der KSH Schwalmtal nach Monaten und Besuchergruppen





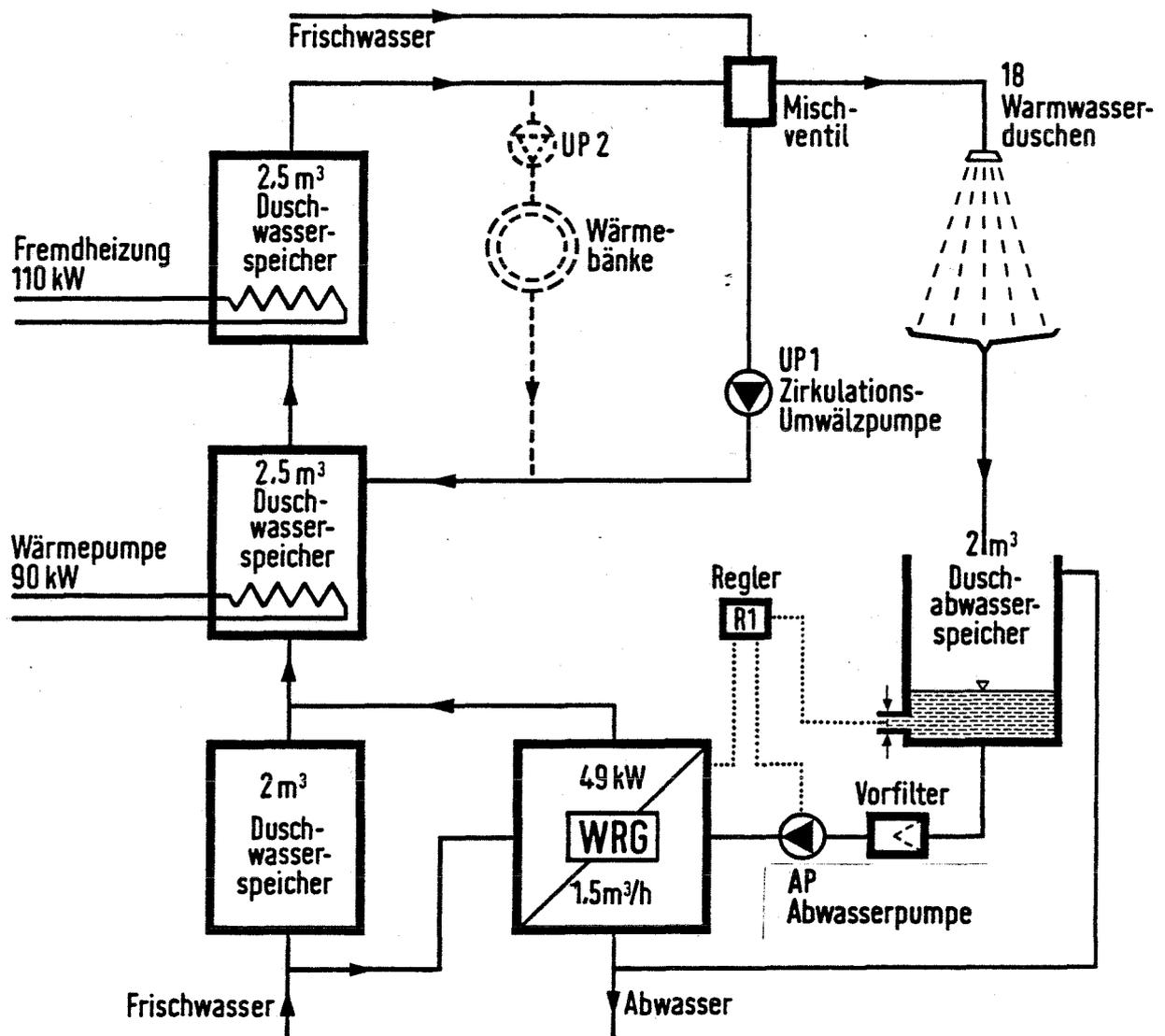
überbaute Fläche 1486 m<sup>2</sup>  
 umbauter Raum 13963 m<sup>3</sup>  
 Beckenwasserfläche 270 m<sup>2</sup>  
 davon Variobecken 250 m<sup>2</sup>  
 Kinderbecken 20 m<sup>2</sup>

## KSH Schwalmthal Erdgeschoßgrundriß

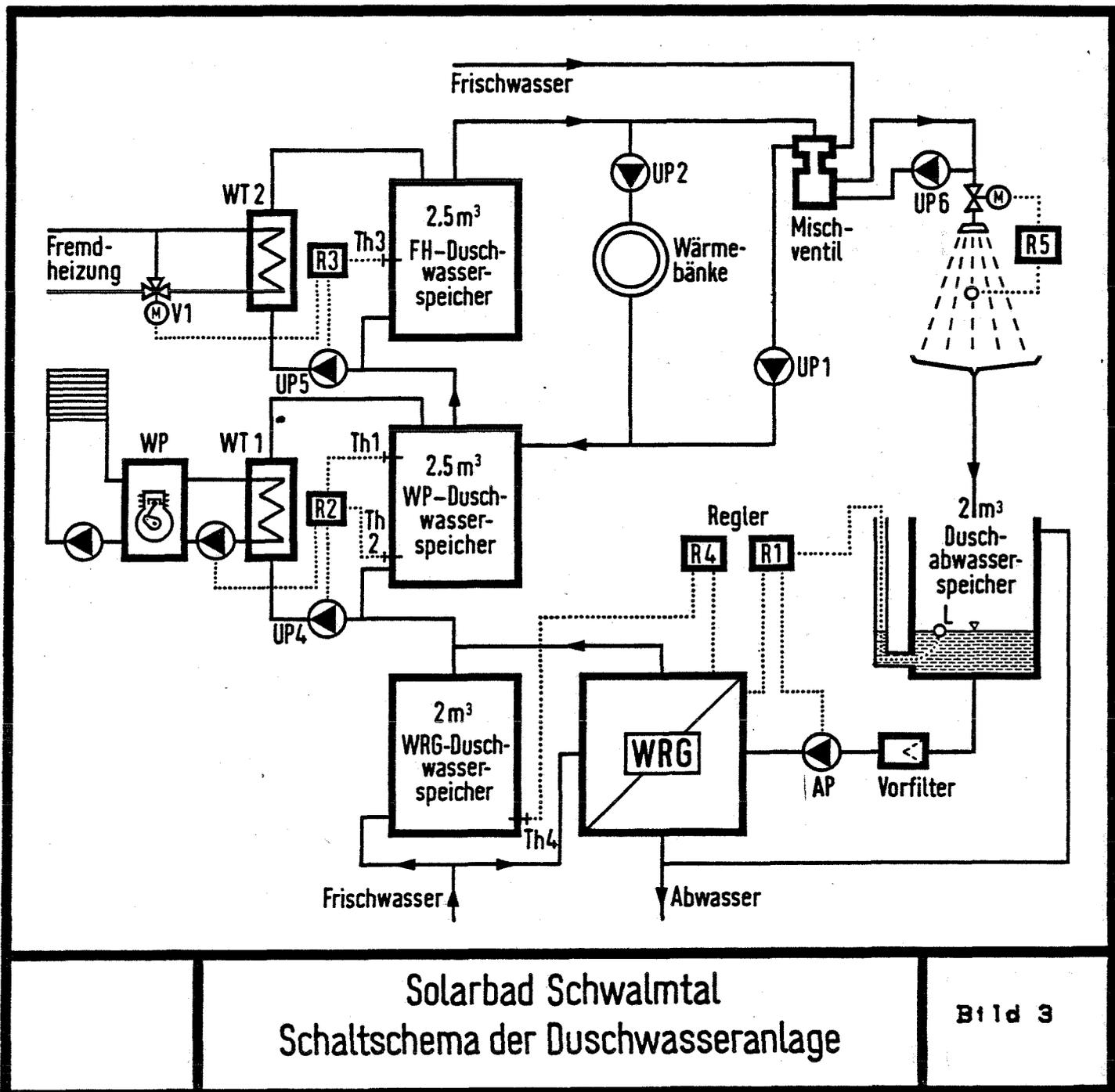
Bild 1

### PLANLEGENDE

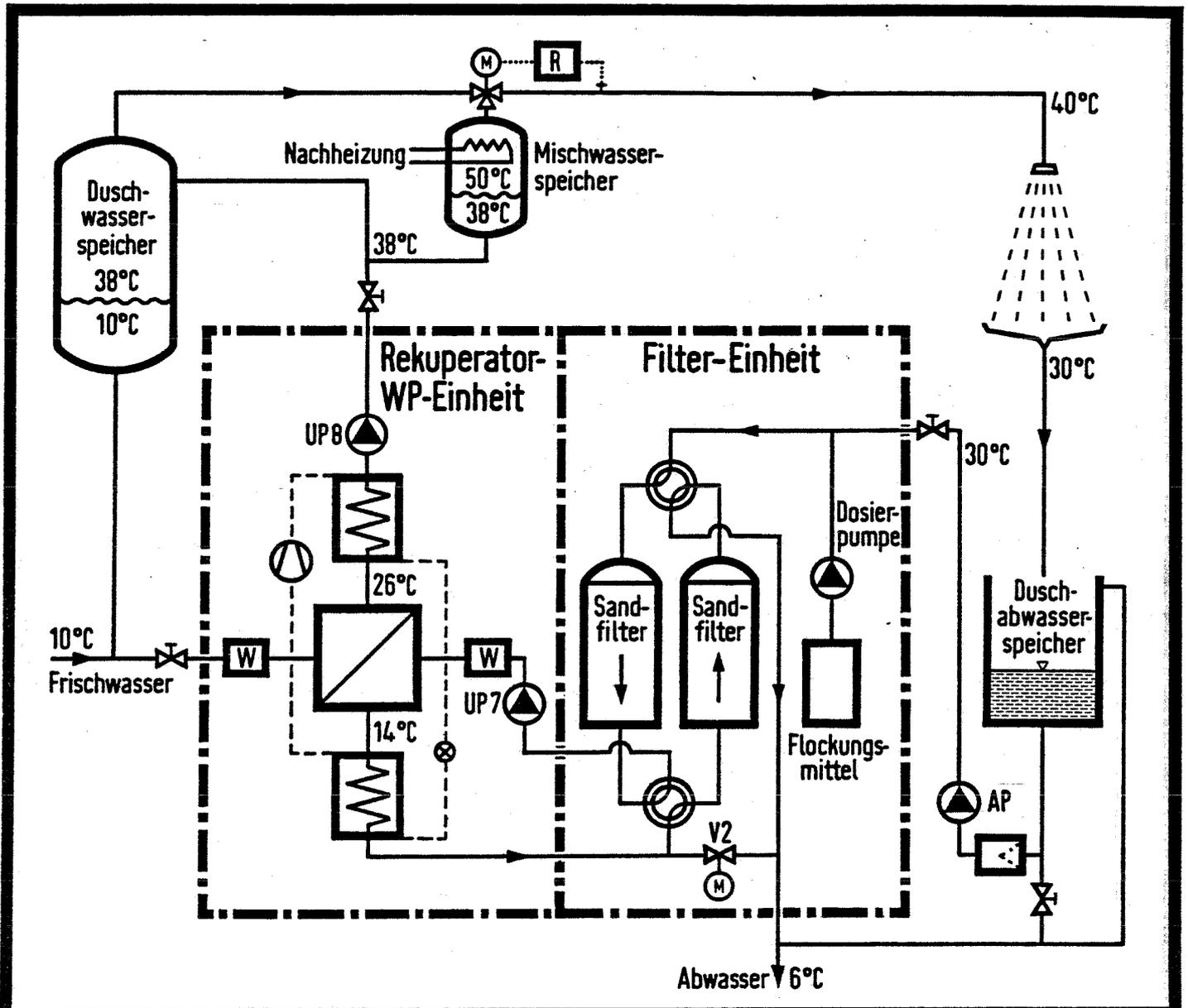
1 überdachter Vorplatz	11 Barfußgang	21 Variobecken
2 Windfang	12 Behindertenumkleide	22 Ausgang zur Liegewiese
3 Eingangshalle	13 Duschaum	23 Durchschreitebecken
4 Autom. Kassenanlage	14 Toiletten	24 Flur
5 Aufsicht	15 Putzraum	25 Treppenhaus
6 Toiletten	16 Geräteraum	26 Sanitätsraum
7 Personaltrakt	17 Wickelraum, WC	27 Toilette
8 Stiefelgang	18 Mutter- und Kindbereich	28 Chlorraum
9 Wechselzellen	19 Planschbecken	29 Büro- u. Meßraum
10 Sammelumkleiden	20 Schwimmhalle	30 Solarium
		31 P.R.-Raum im Untergeschoß



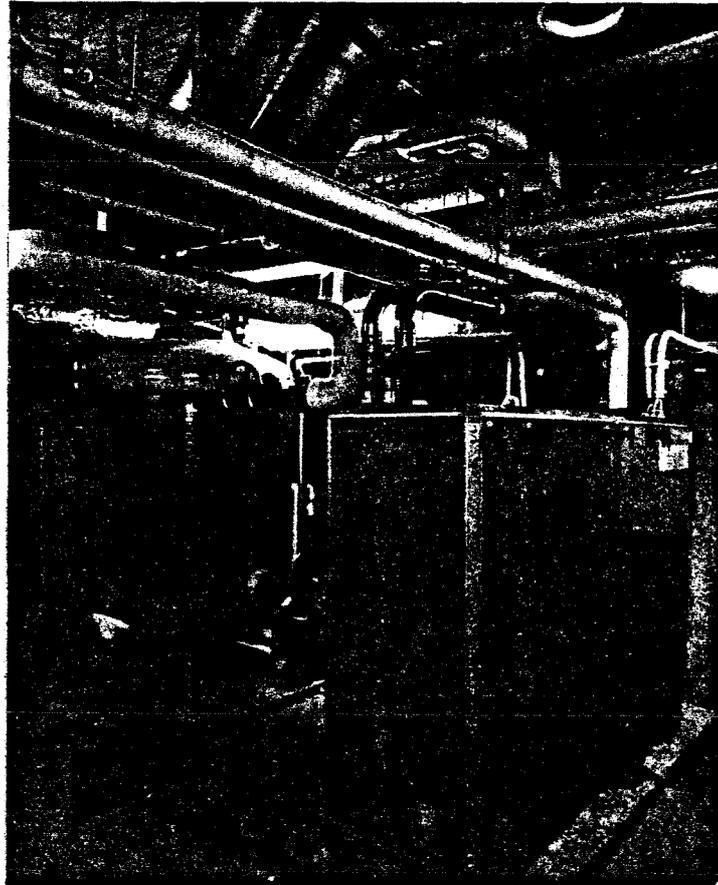
Solarbad Schwalmtal  
 Prinzipschaltbild der Duschwassererwärmung



Solarbad Schwalmtal  
Schaltschema der Duschwasseranlage

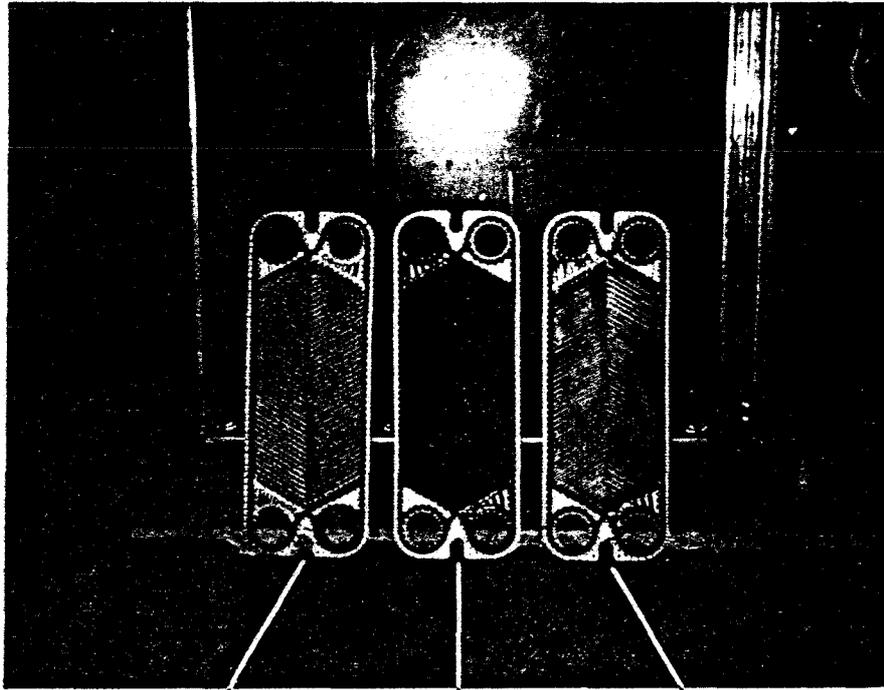


Prinzipschaltbild einer WRG-Anlage



**KSH Schwalmtal  
Blick auf die WRG-Anlage  
mit Duschabwasserspeicher**

**Bild 5**



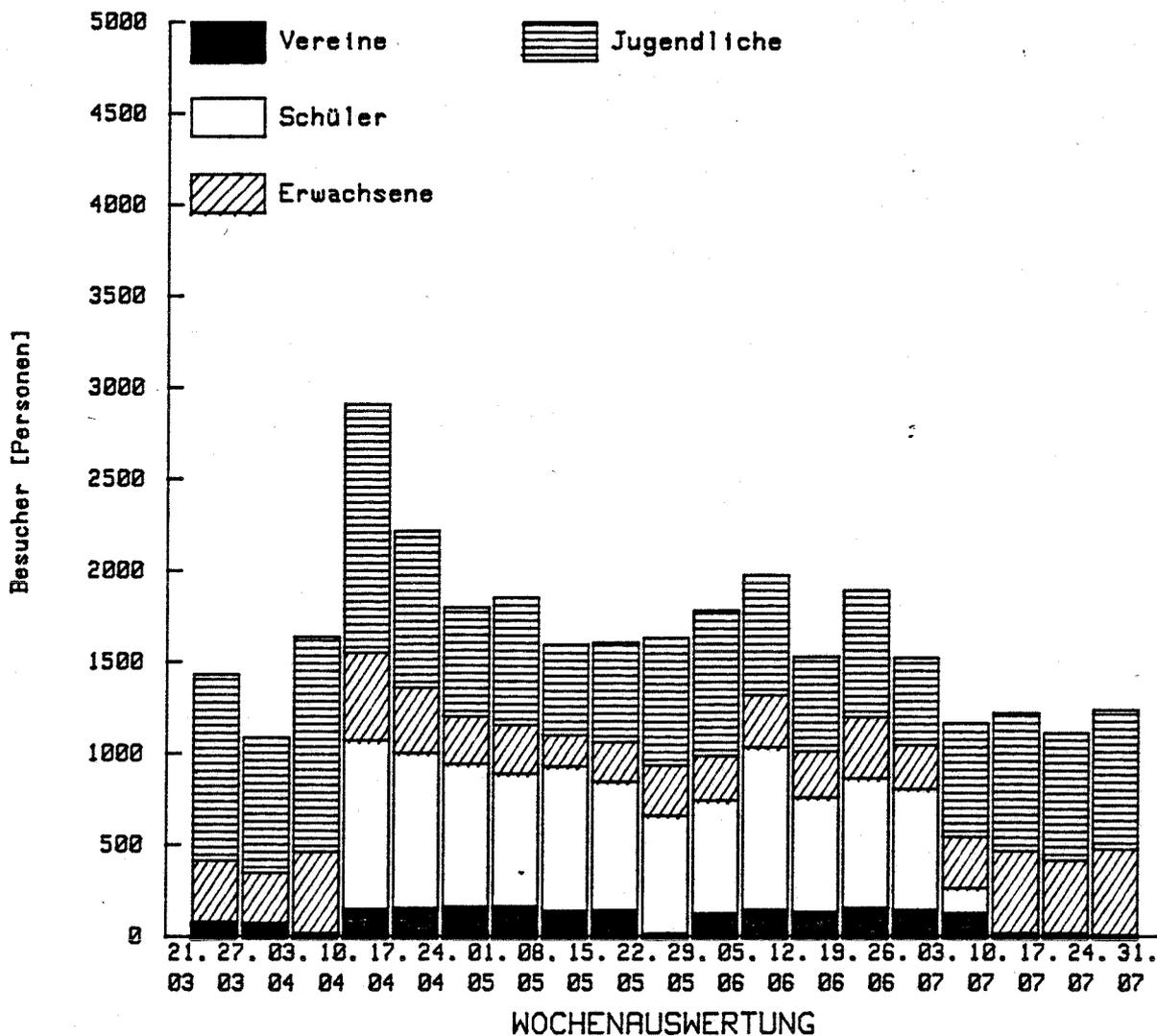
Frischwasser-  
seite

mit  
Ablagerungen  
Abwasserseite

nach der  
Reinigung

KSH Schwalmtal  
Wärmetauscherplatten nach einem  
halben Jahr Betriebszeit

Bild 6



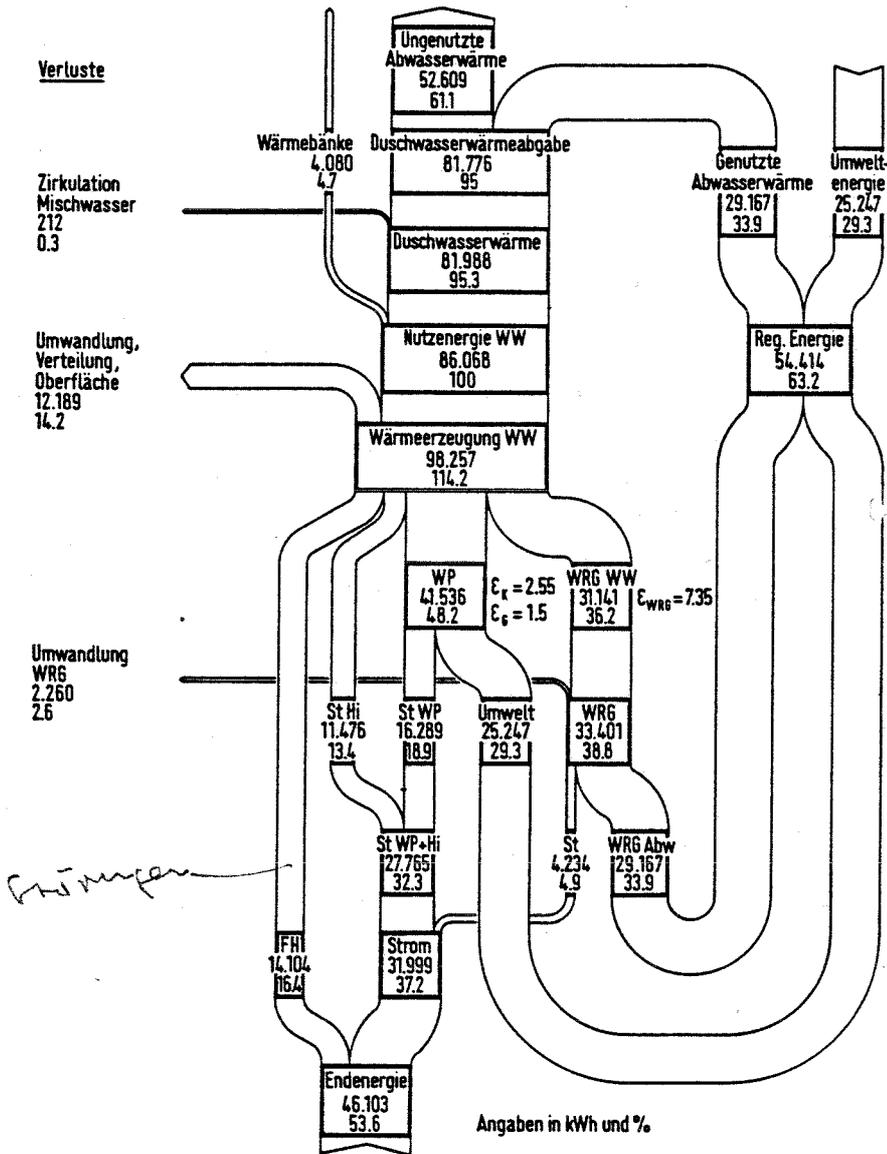
AUSWERTUNGSZEITRAUM 21.03.83 - 31.07.83

© RWE

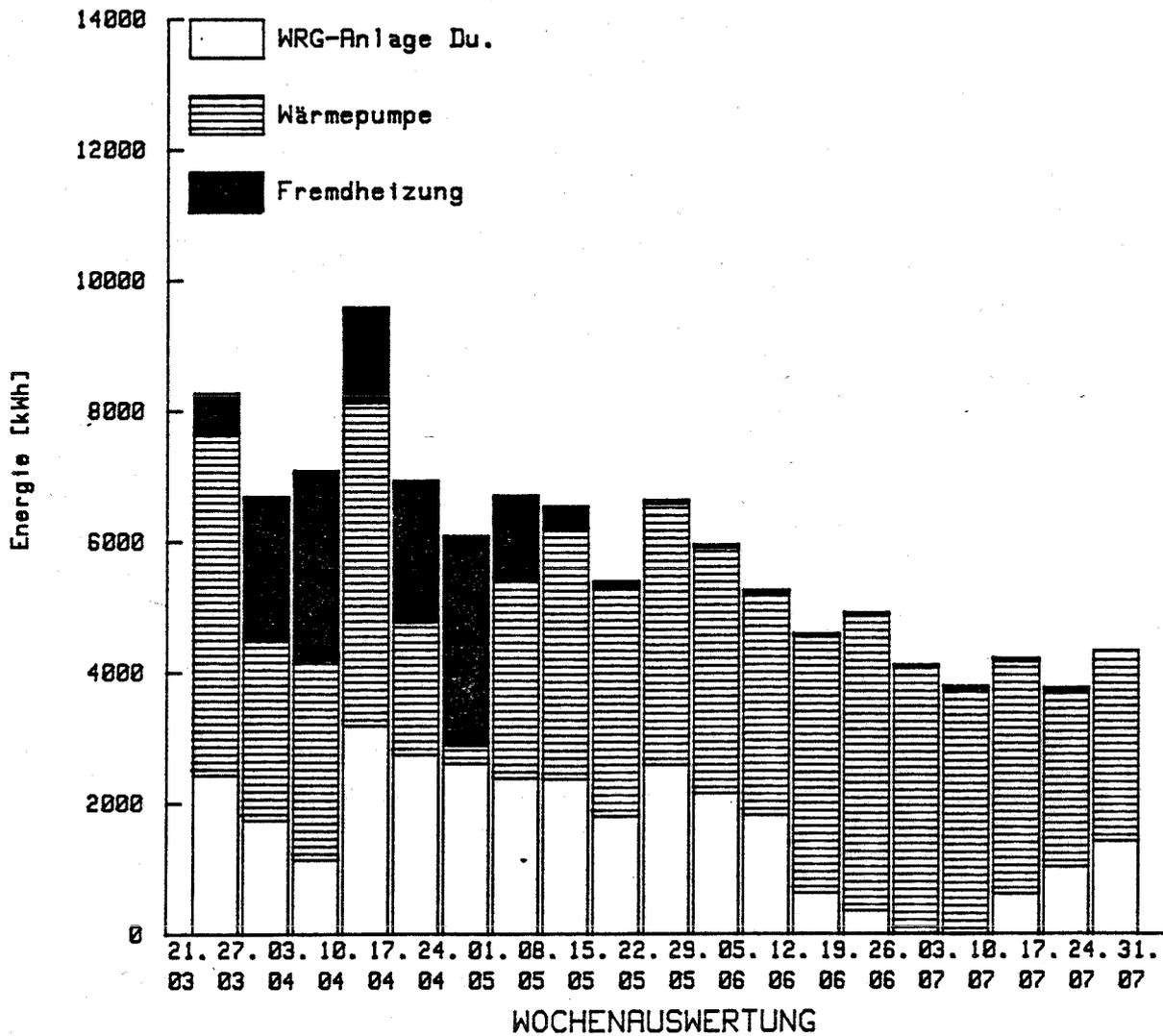
RWE

KSH Schwalmtal  
Wöchentliche Besucherzahlen  
im Auswertungszeitraum

Bild 7



KSH Schwalmtal  
Energiebilanz des Warmwasserkreislaufs  
(21.3. - 31.7. 1983)



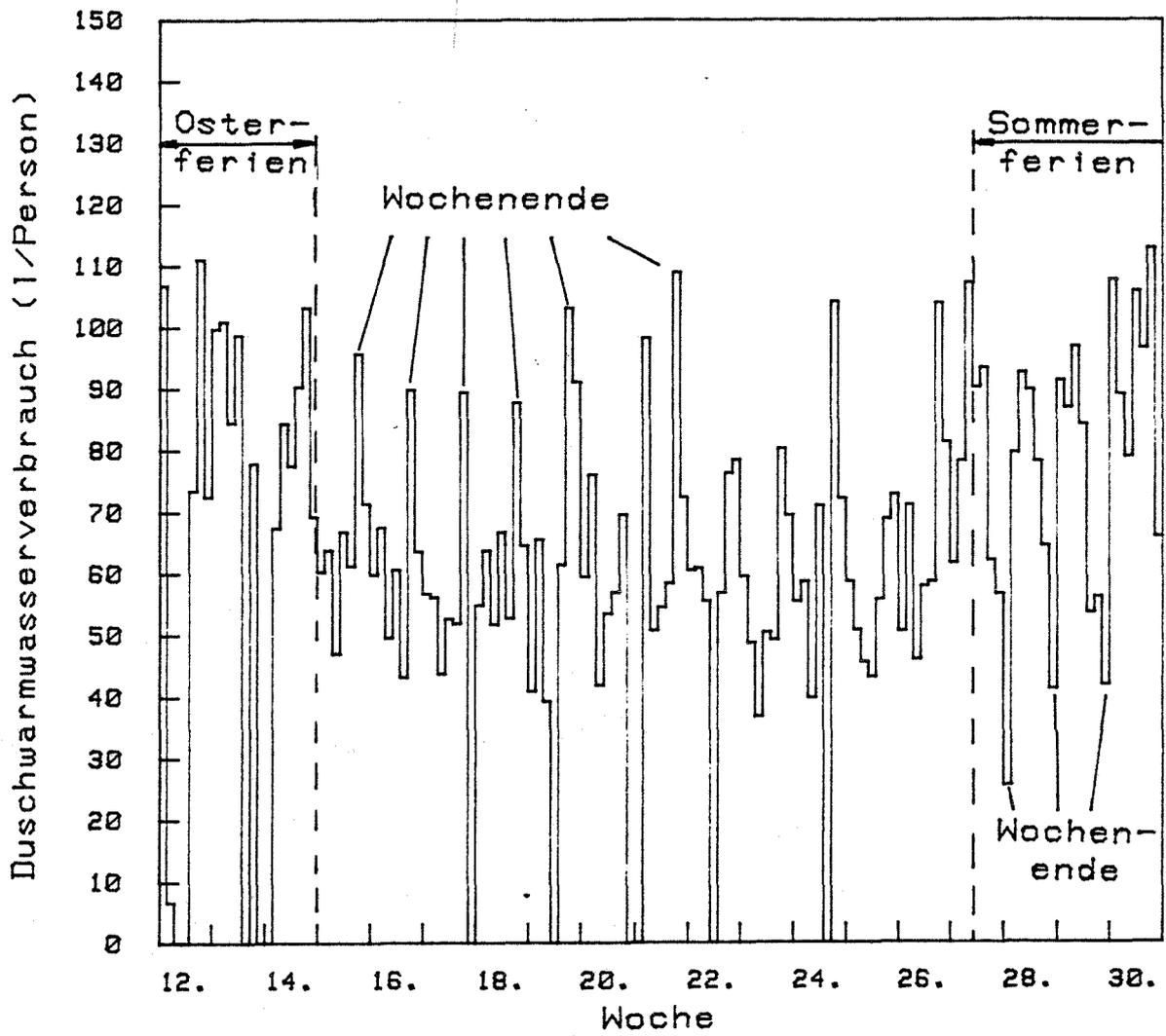
AUSWERTUNGSZEITRAUM 21.03.83 - 31.07.83

© RWE

RWE

KSH Schwalmtal  
 Wärmeerzeugung mit der WRG-Anlage, der Wärmepumpe und der Fremdheizung im WW-Kreislauf

Bild 9

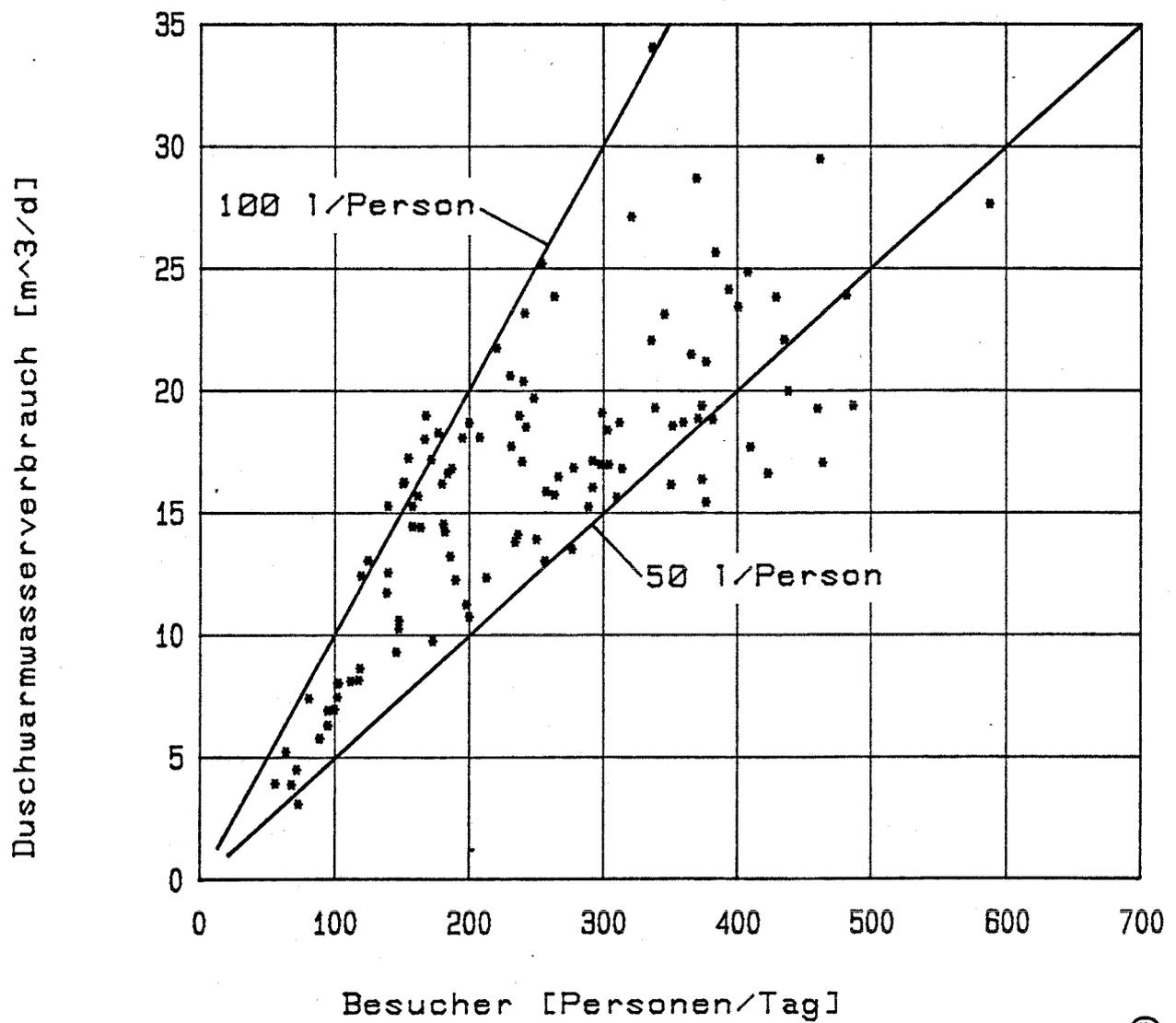


© FfE

FfE

KSH Schwalmtal  
 Täglicher Duscharmwasserverbrauch je  
 Badegast in der Zeit 21.3. bis 31.7.1983

Bild 10



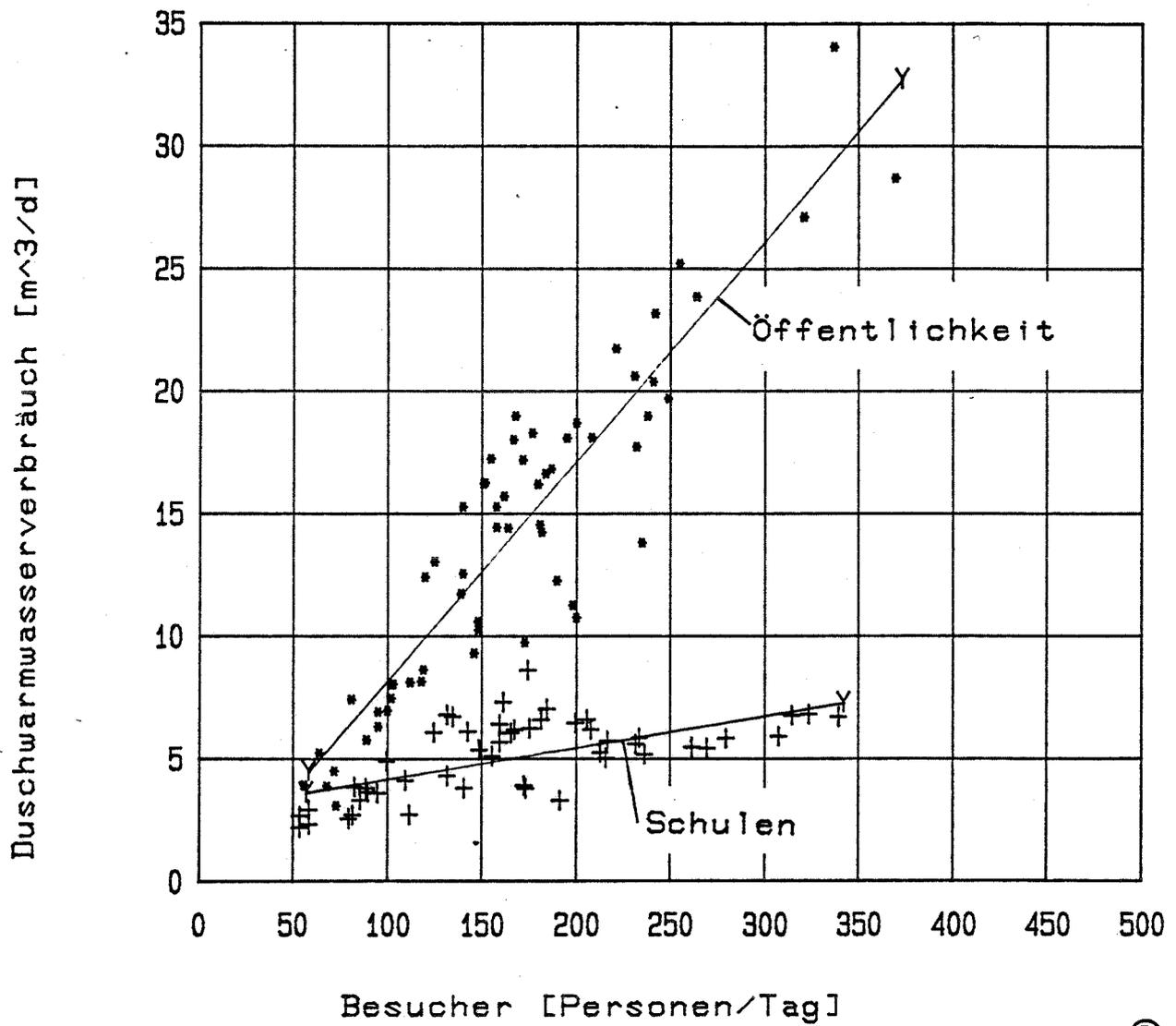
© RWE

RWE

KSH Schwalmtal (21.3-31.7.1983)  
 Abhängigkeit des täglichen Duscharmwasserverbrauchs von der Besucherzahl

Bild 11

ANWENDUNGSTECHNIK



© RWE

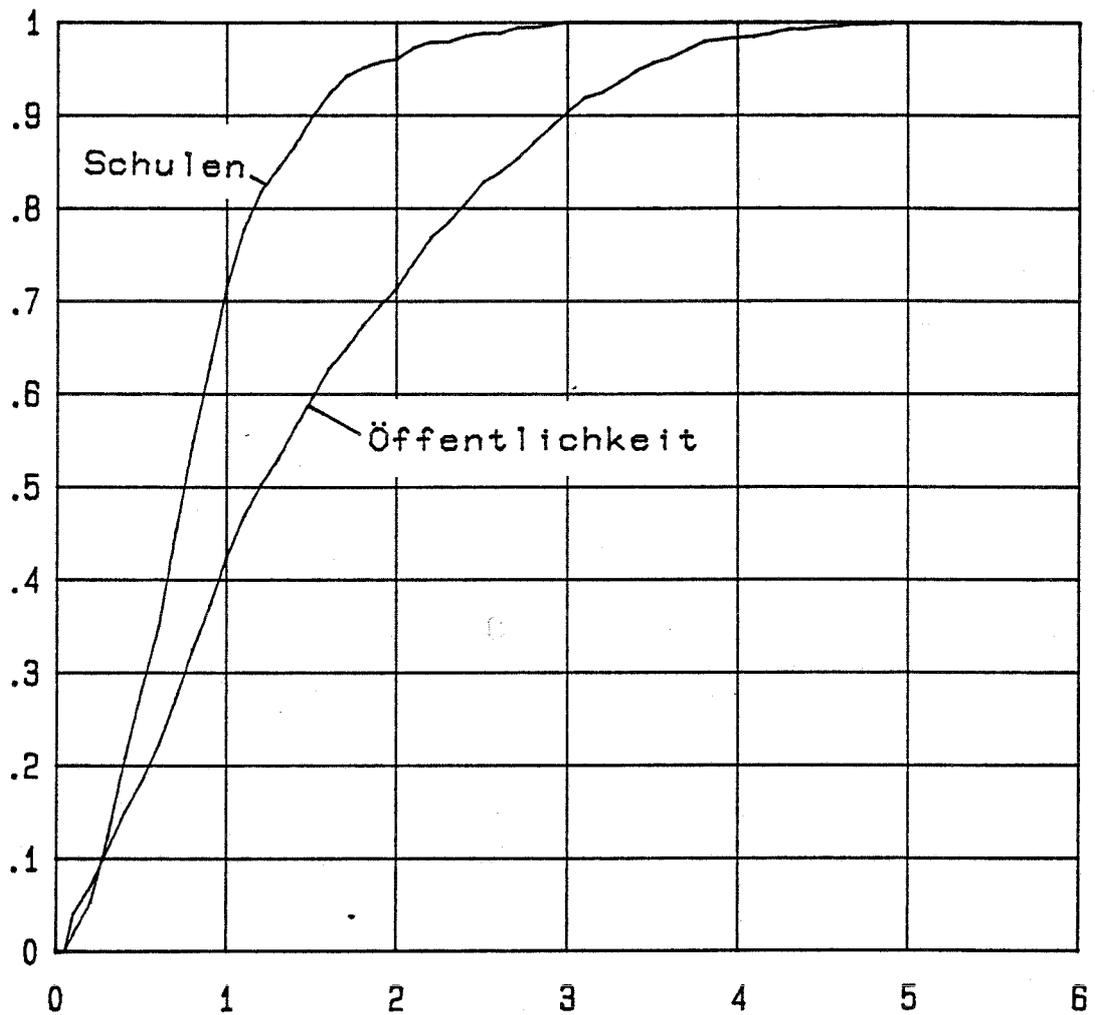
RWE

KSH Schwalmtal (21.3.-31.7.1983)  
 Täglicher Duscharmwasserverbrauch in  
 Abhängigkeit von der Besuchergruppe

Bild 12

ANWENDUNGSTECHNIK

REL. SUMMENHÄUFIGKEIT



Duscharmwasserverbrauch [m³/h]

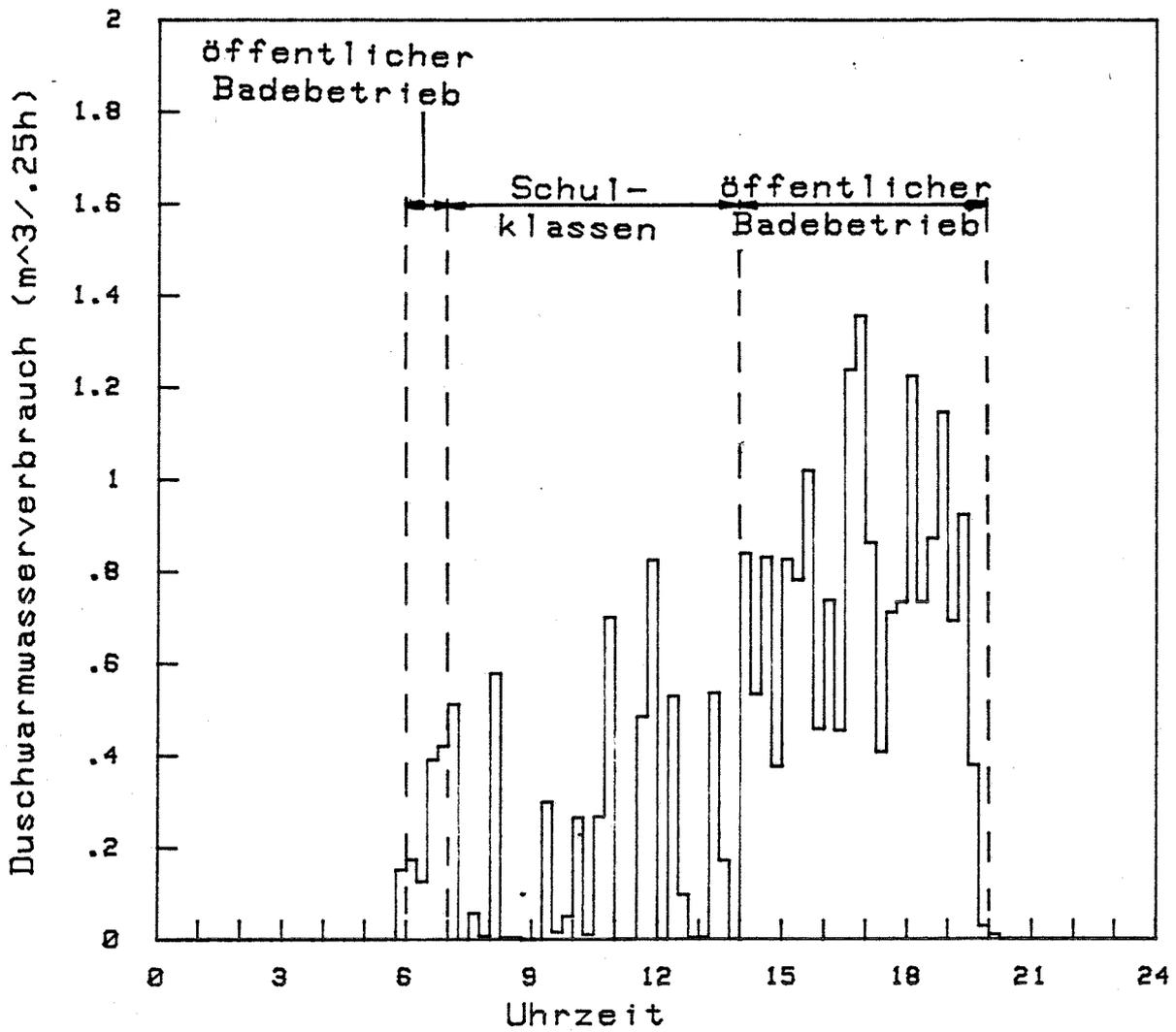
© RWE

RWE

KSH Schwalmtal (21.3.-31.7.1983)  
Summenhäufigkeitsverteilung des  
stündlichen Duscharmwasserverbrauchs

Bild 13

ANWENDUNGSTECHNIK

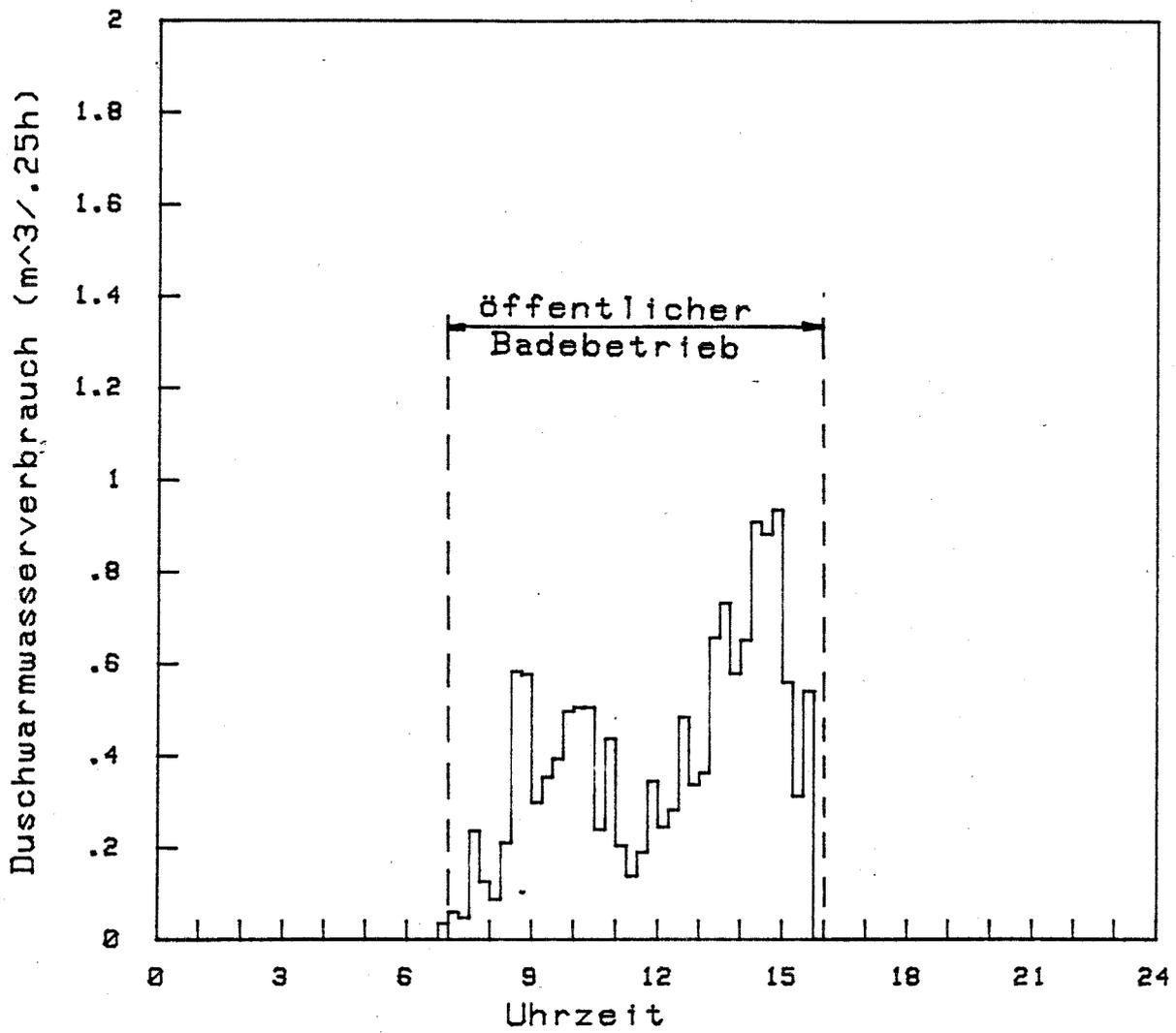


© FfE

FfE

KSH Schwaimital  
 Gang des Duscharmwasserverbrauchs  
 am Dienstag 31.5.1983

Bild 14

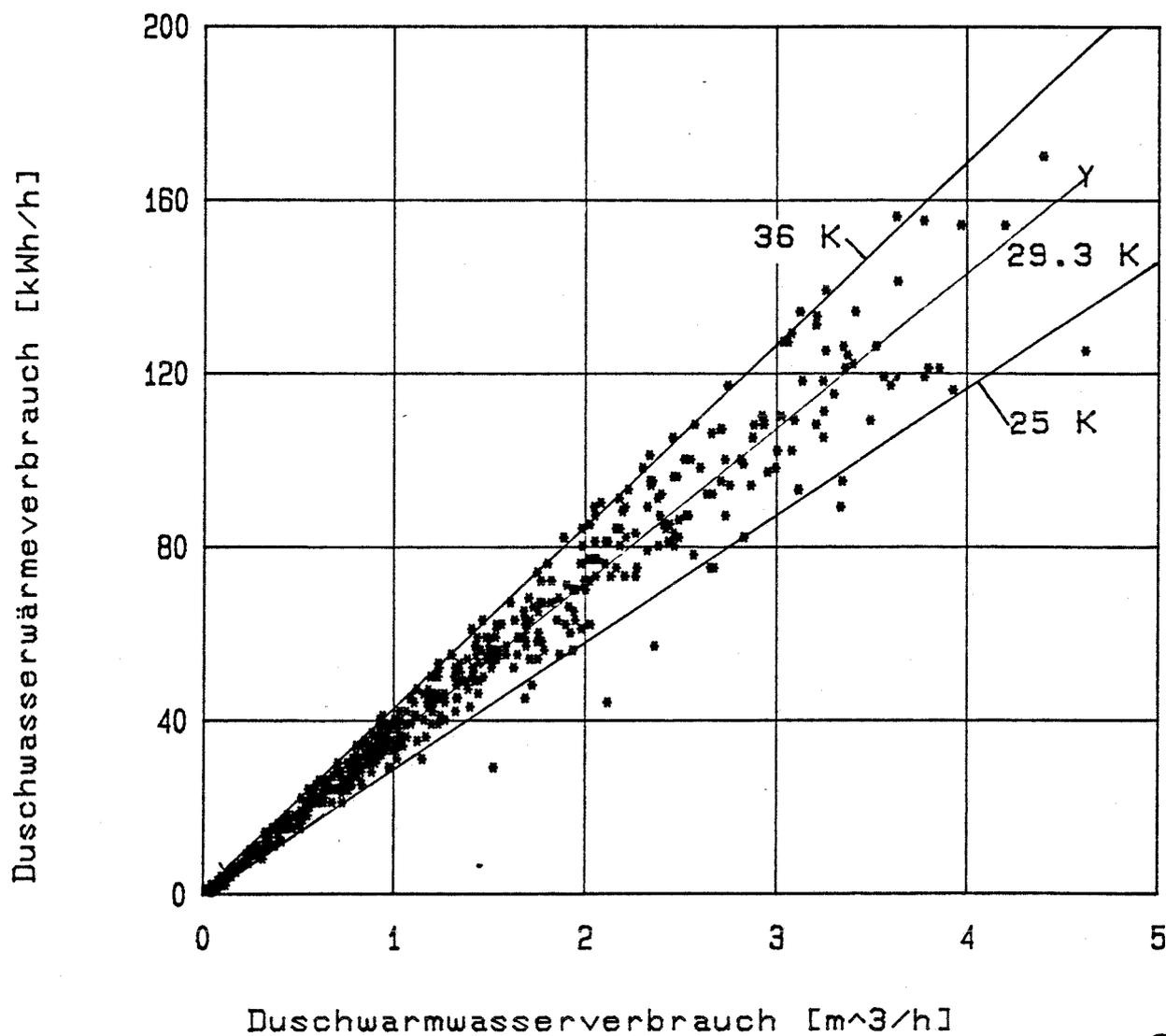


© FfE

FfE

KSH Schwalmtal  
 Gang des Duschwarmwasserverbrauchs  
 am Samstag 11.6.1983

Bild 15



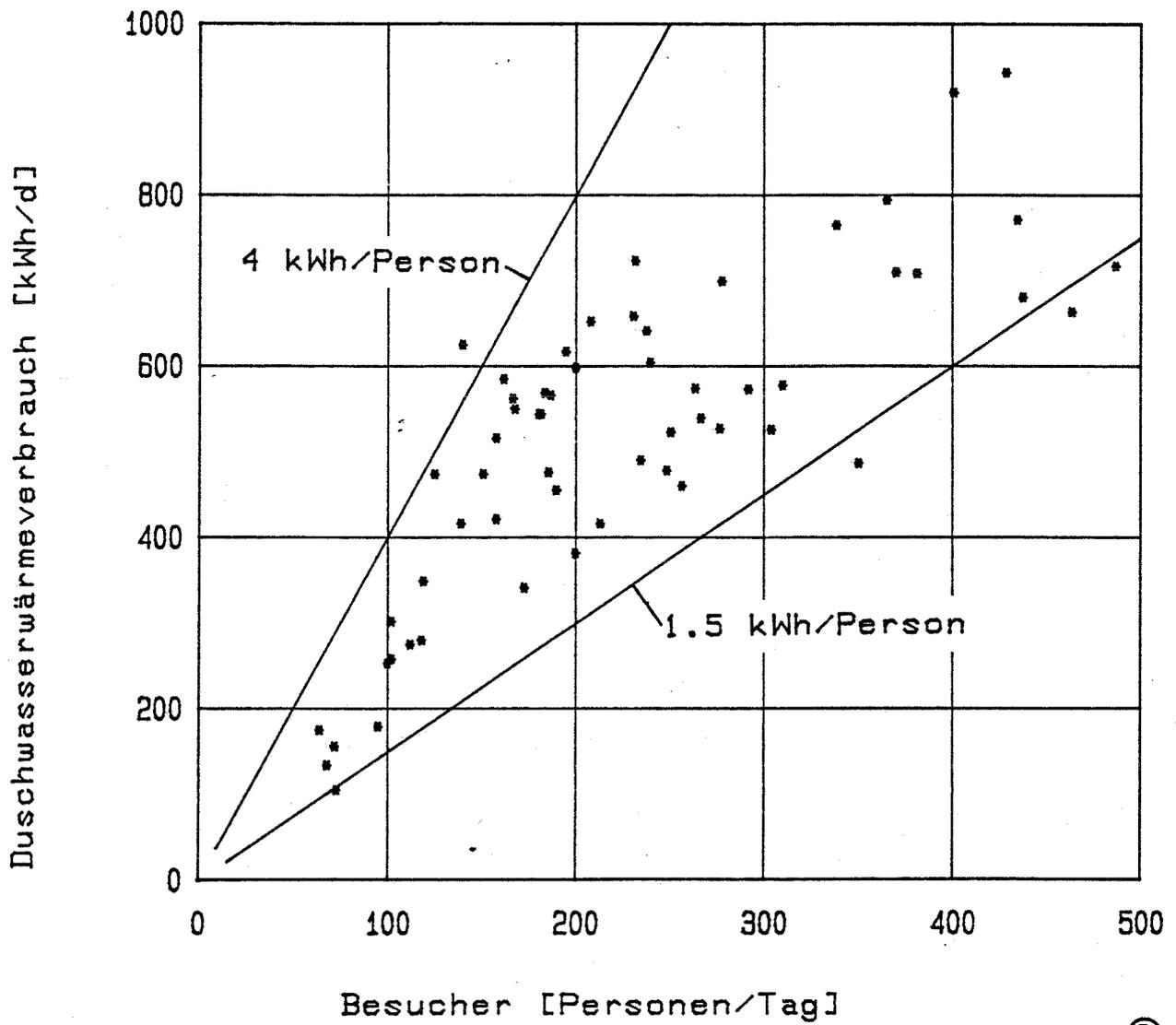
© RWE

RWE

KSH Schwalmtal (25.5.-31.7.1983)  
 Zusammenhang zwischen dem Duschwasserwärme-  
 verbrauch und dem Duschwarmwasserverbrauch

Bild 16

ANWENDUNGSTECHNIK



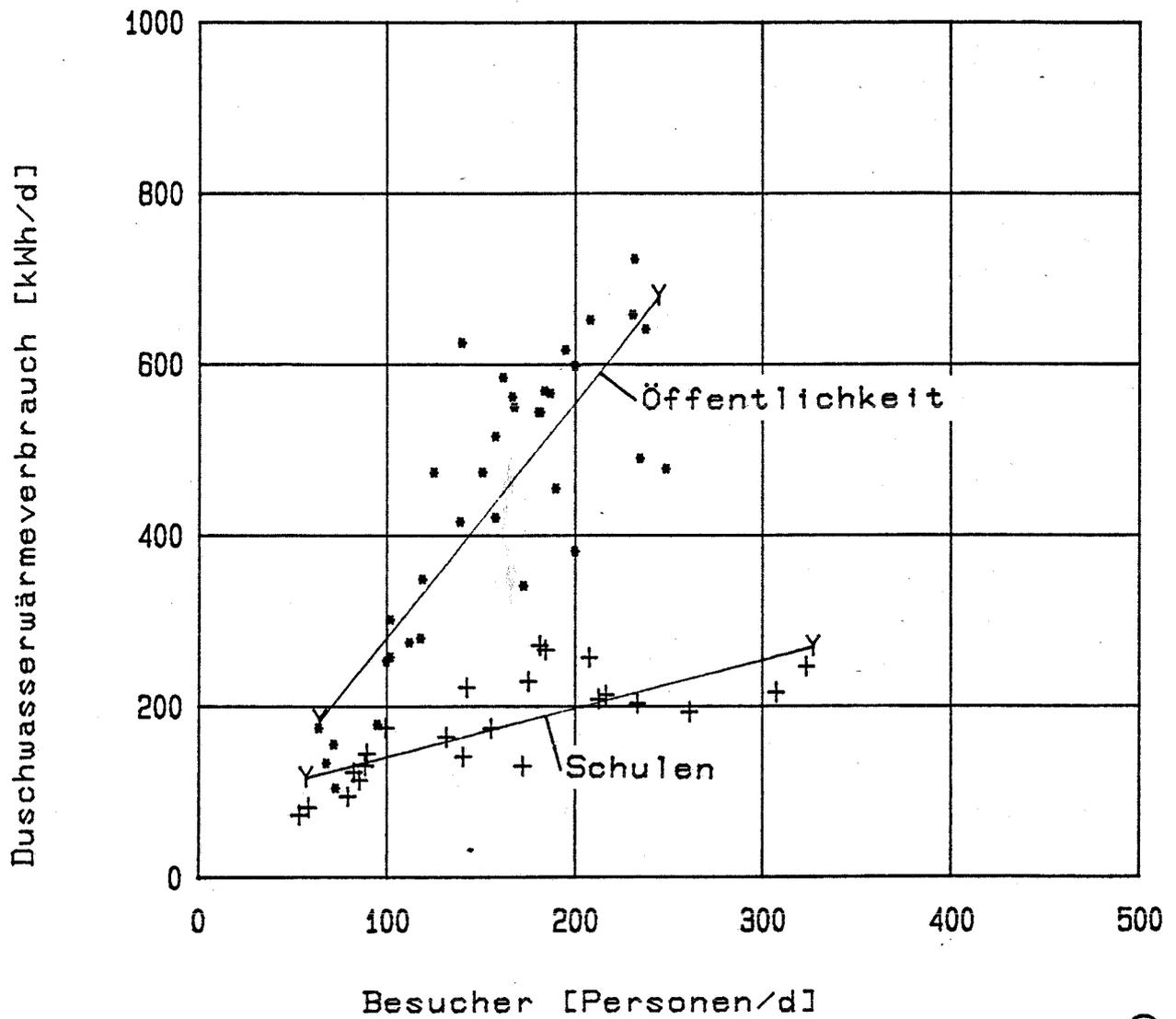
© RWE

RWE

KSH Schwalmtal (25.5.-31.7.1983)  
 Abhängigkeit des täglichen Duschwasserwärme-  
 verbrauchs von der Besucherzahl

Bild 17

ANWENDUNGSTECHNIK



© RWE

RWE

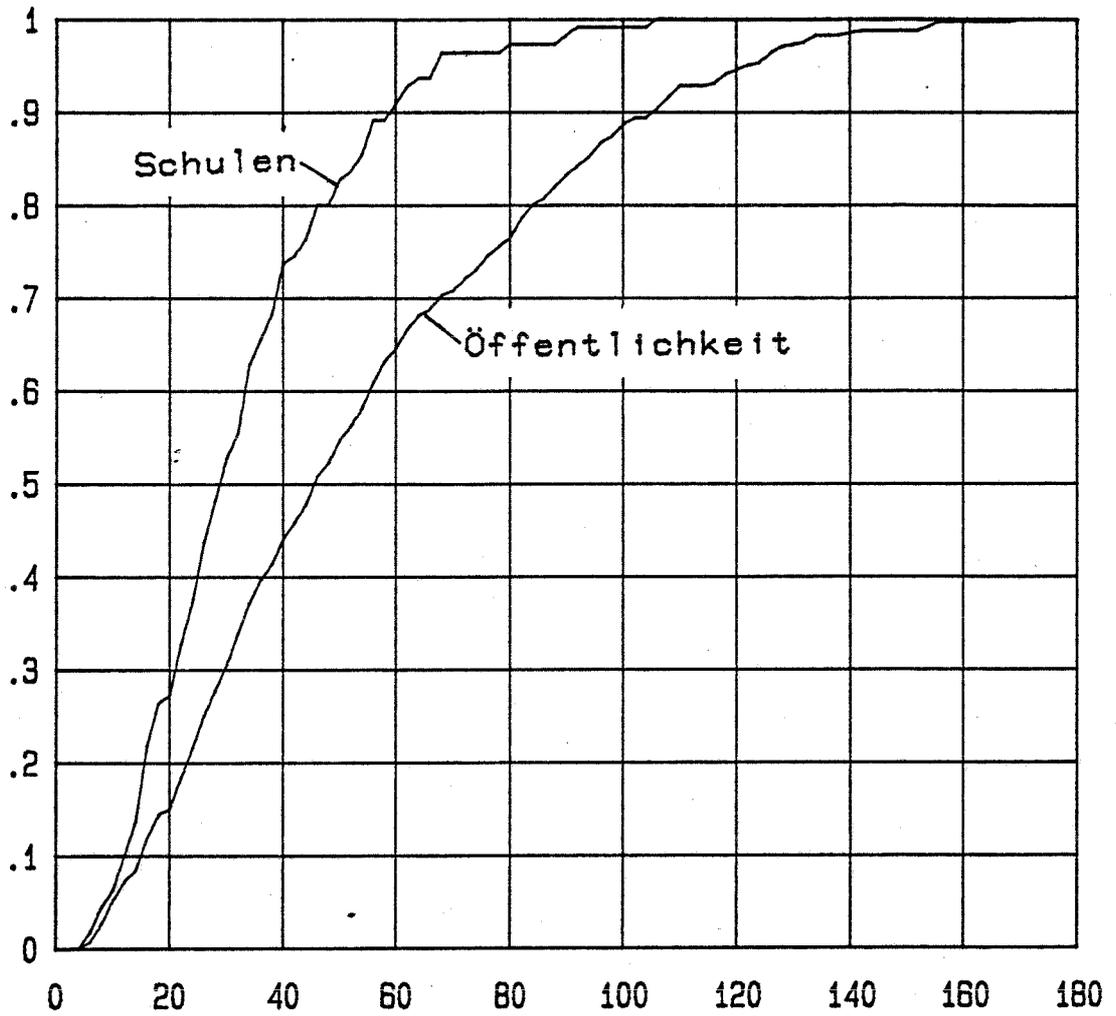
KSH Schwalmtal (25.5.-31.7.1983)  
 Täglicher Duschwasserwärmeverbrauch in  
 Abhängigkeit von der Besuchergruppe

Bild 18

ANWENDUNGSTECHNIK



REL. SUMMENHÄUFIGKEIT



Duschwasserwärmeverbrauch [kWh/h]

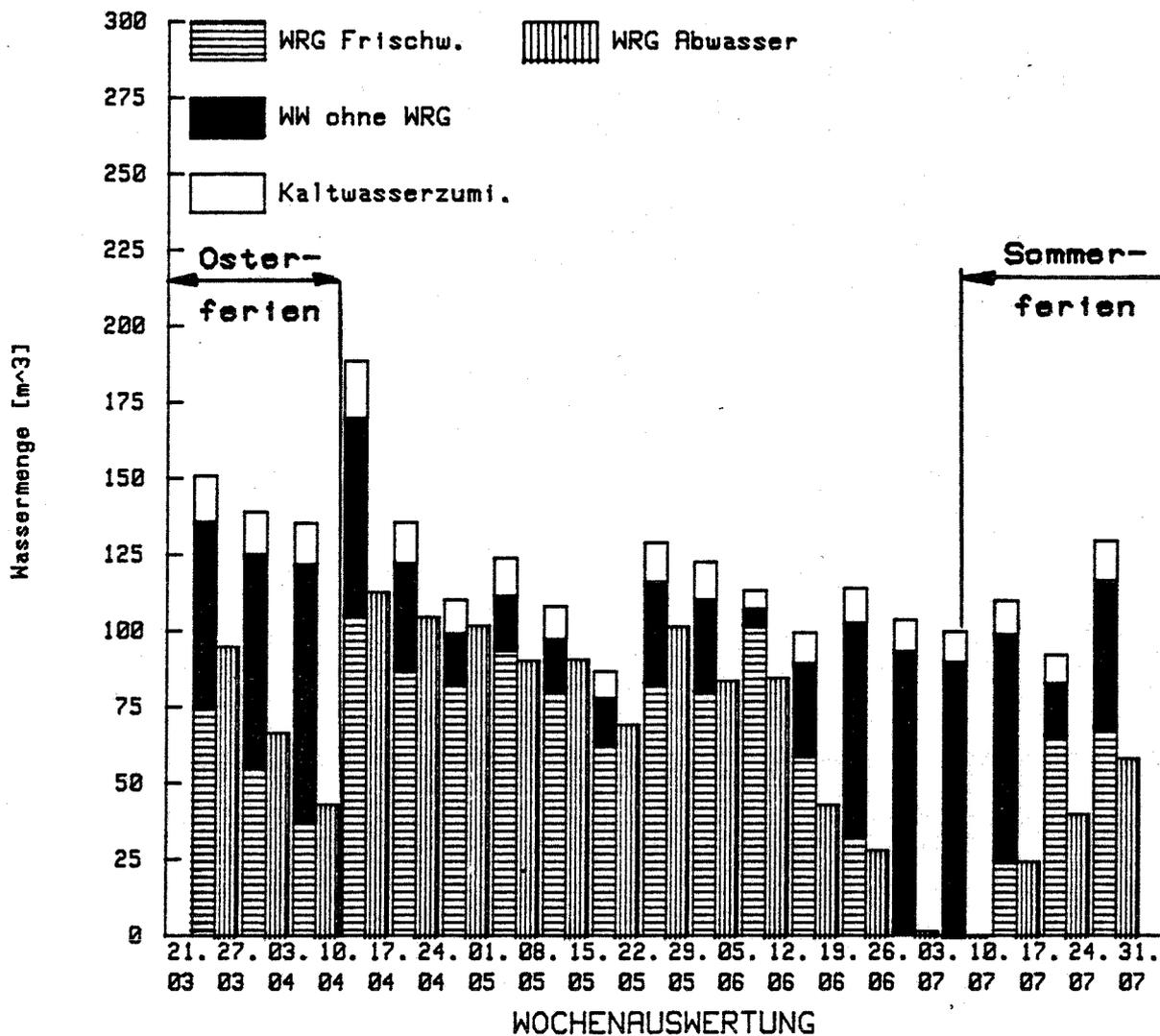
© RWE

RWE

KSH Schwalmtal (25.5.-31.7.1983)  
Summenhäufigkeitsverteilung des  
stündlichen Duschwasserwärmeverbrauchs

Bild 20

ANWENDUNGSTECHNIK

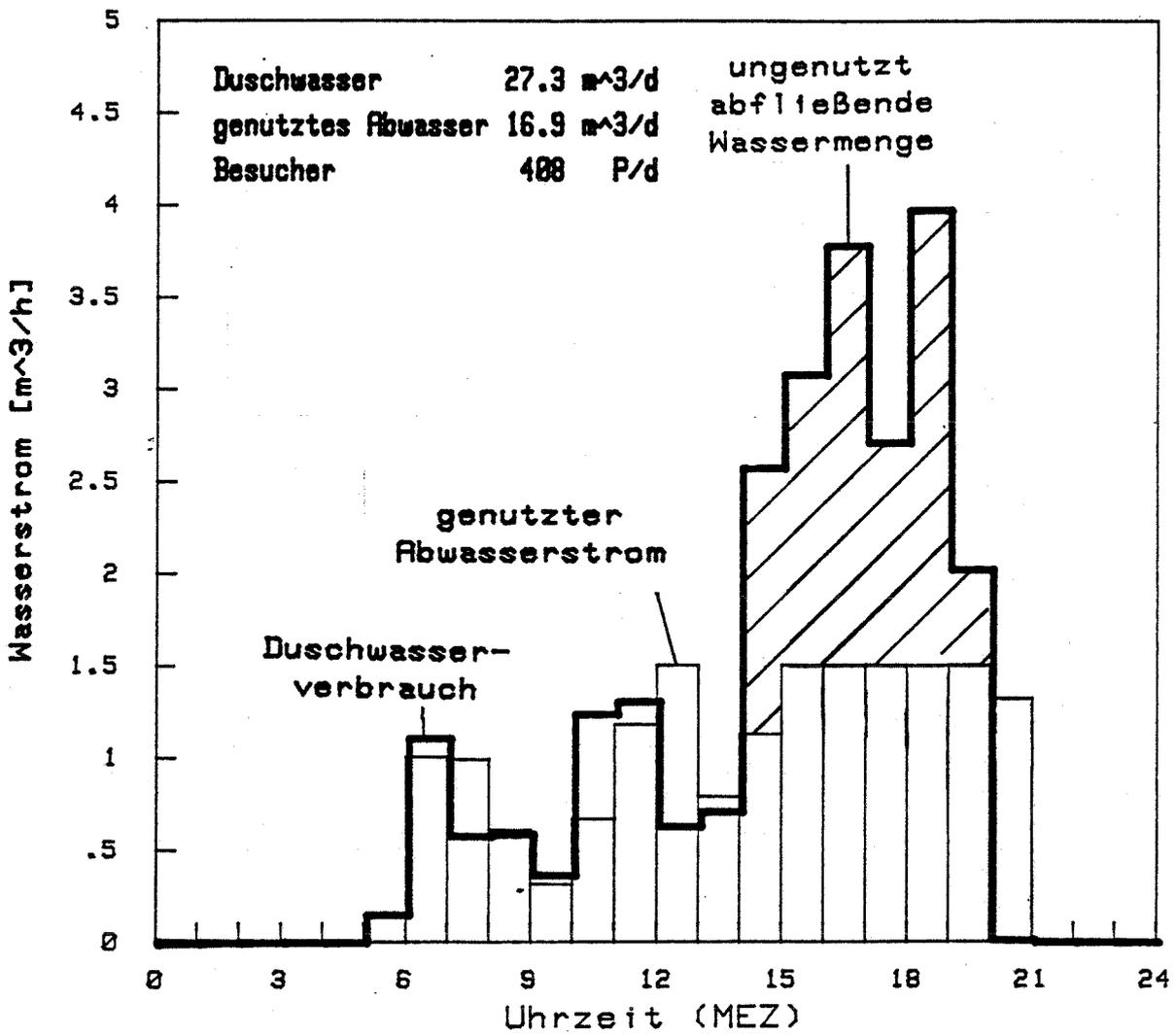


© RWE

RWE

KSH Schwalmtal  
 Duschwasserverbrauch und zum Wärmerückgewinn  
 genutzte Duschatwassermenge

Bild 21

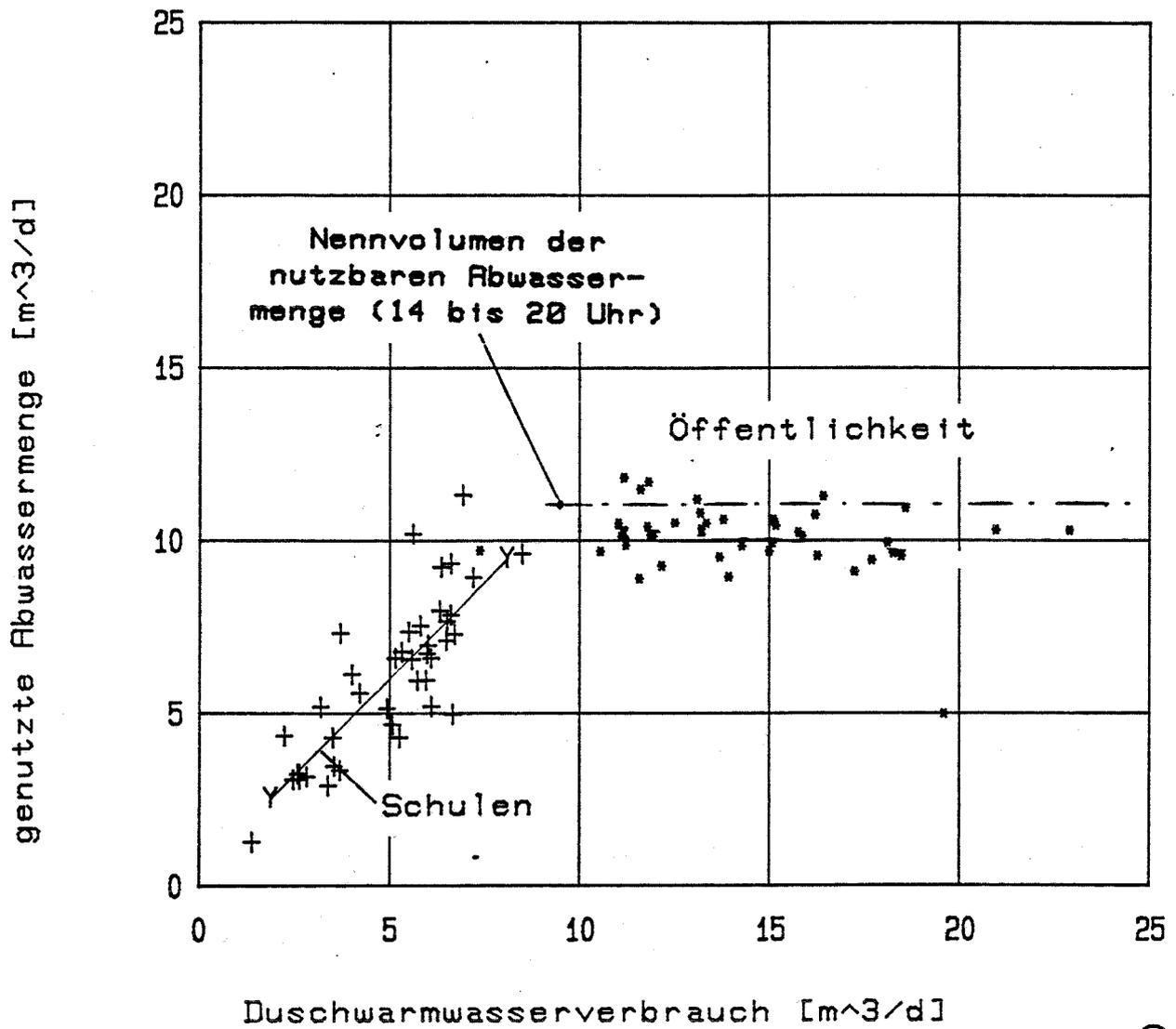


© FfE

FfE

KSH Schwalmtal  
 Stündlich mit der WRG-Anlage genutzte und  
 ungenutzt abfließende Wassermenge (31.5.1983)

Bild 22



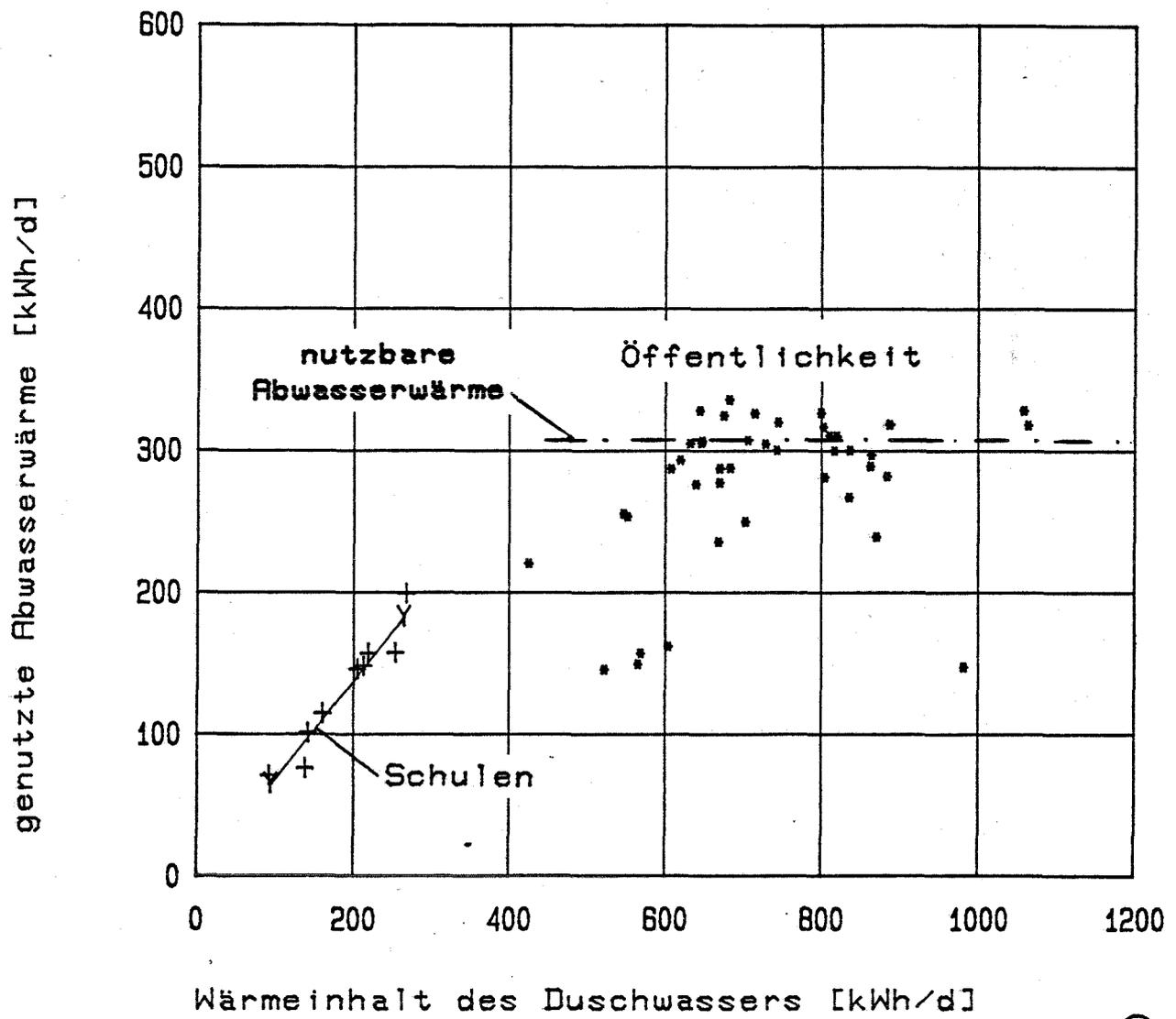
© RWE

RWE

KSH Schwalmtal (25.5.-31.7.1983)  
 Abhängigkeit der genutzten Abwassermenge von der Besuchergruppe

Bild 23

ANWENDUNGSTECHNIK



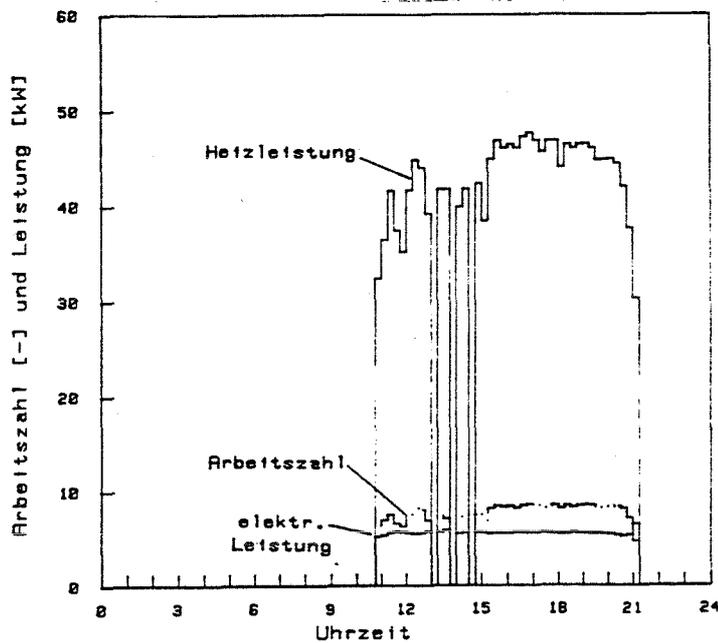
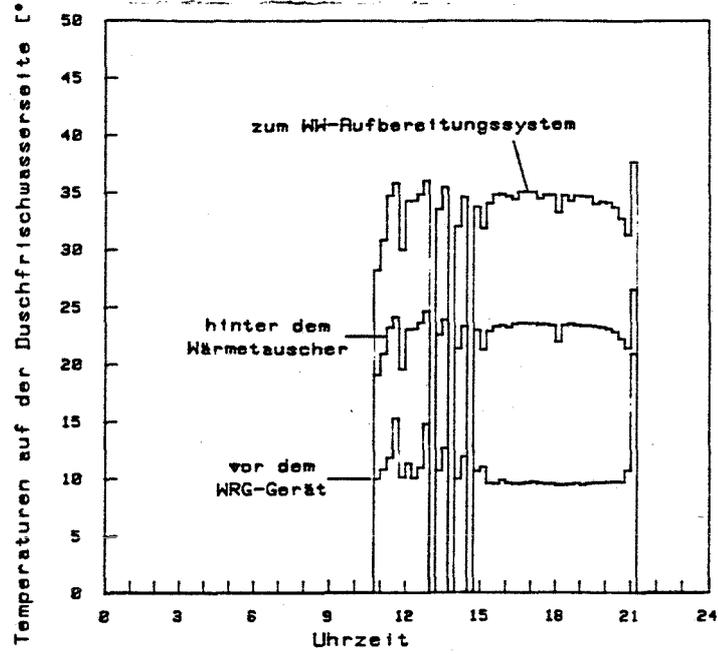
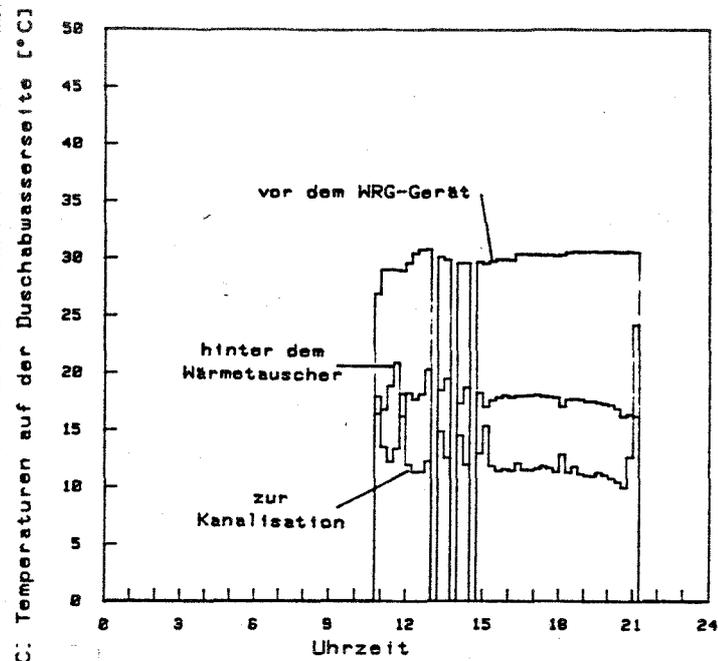
© RWE

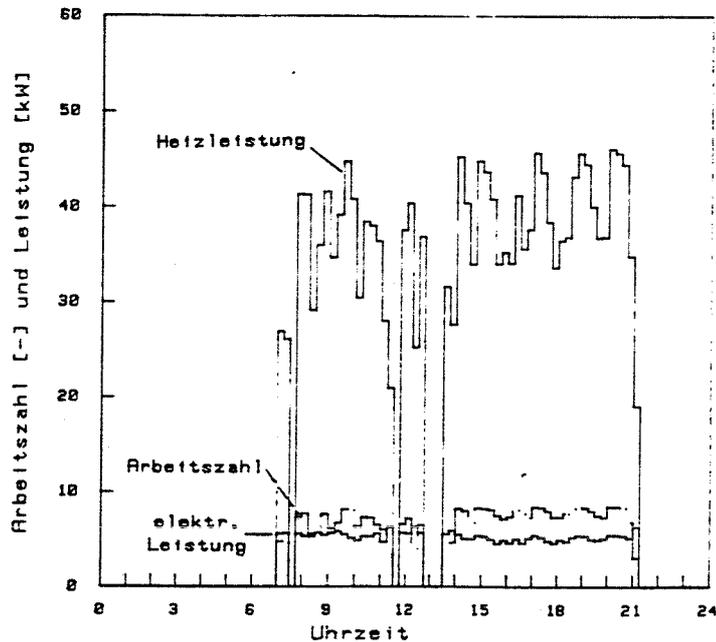
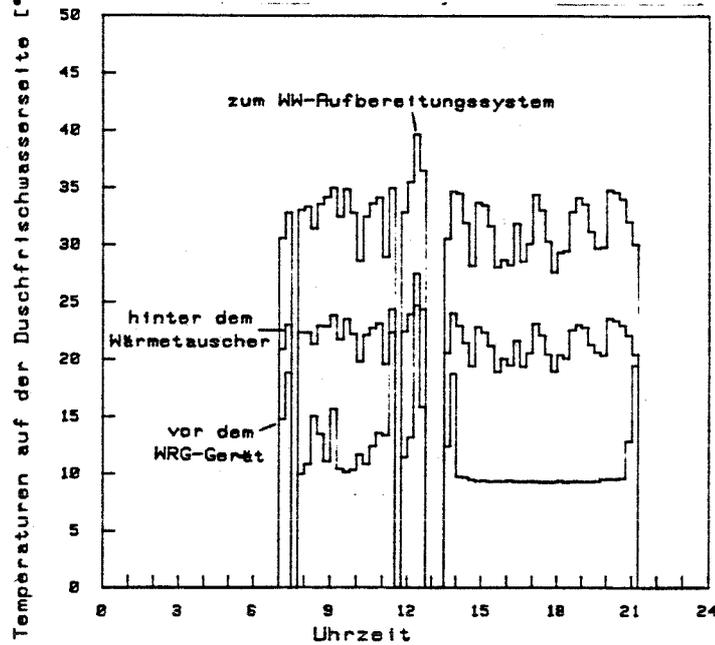
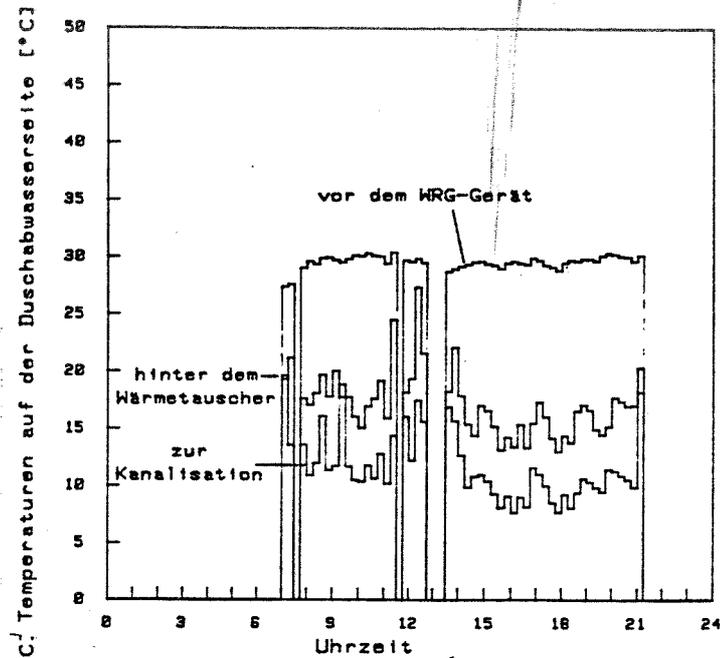
RWE

KSH Schwalmtal (25.5-31.7.1983)  
 Abhängigkeit der genutzten Abwasserwärme  
 von der Besuchergruppe

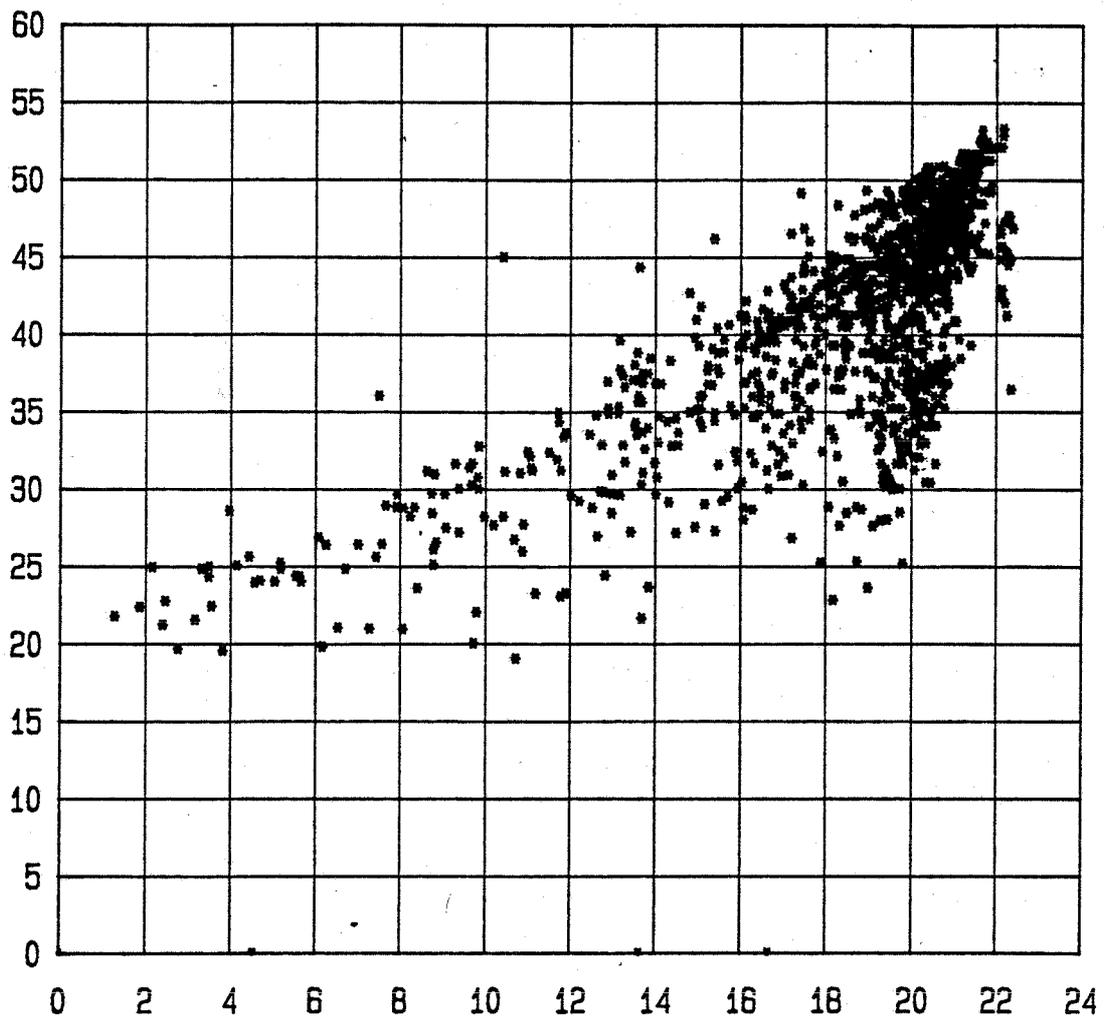
Bild 24

ANWENDUNGSTECHNIK





Heizleistung WRG-Anlage [kW]



Temperaturdifferenz (Abw.warm-Friw.kalt) [K]

© RWE

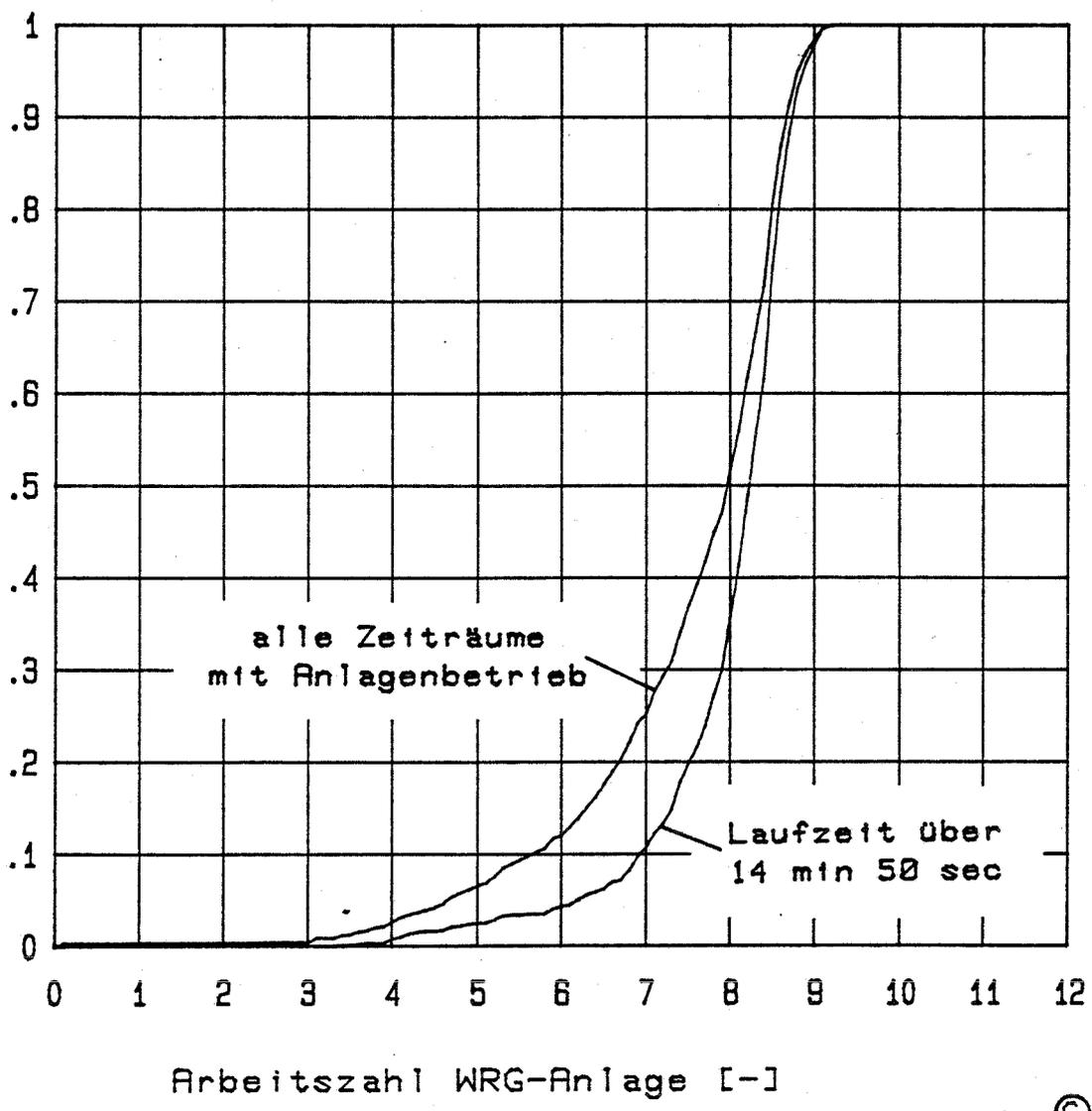
RWE

KSH Schwalmtal (25.4.-29.5.1983)  
Heizleistung der Duschabwasser-WRG-Anlage in  
Abh. von der Abwasser- und Frischwassertemp.

Bild 27

ANWENDUNGSTECHNIK

REL. SUMMENHÄUFIGKEIT

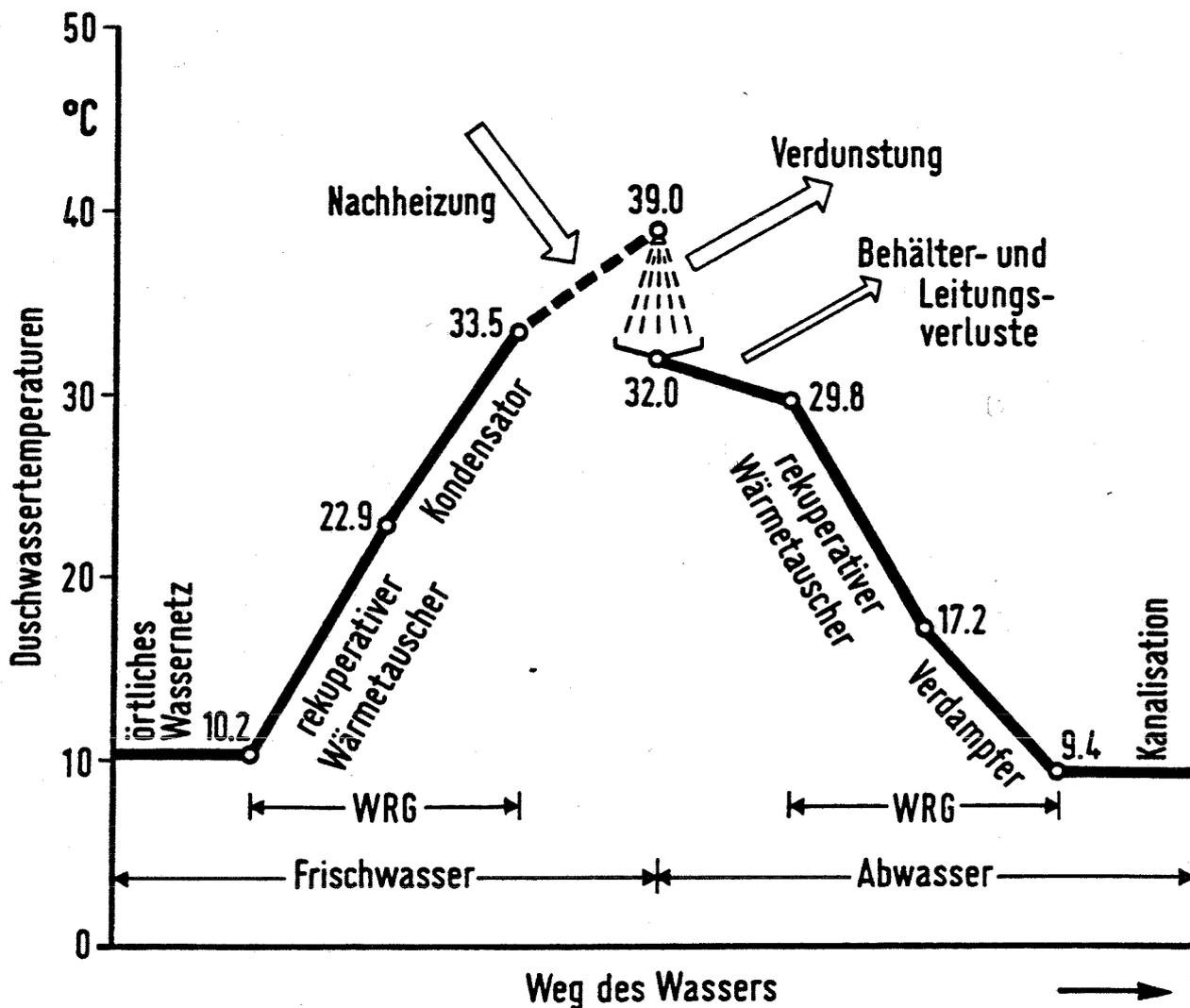


© RWE

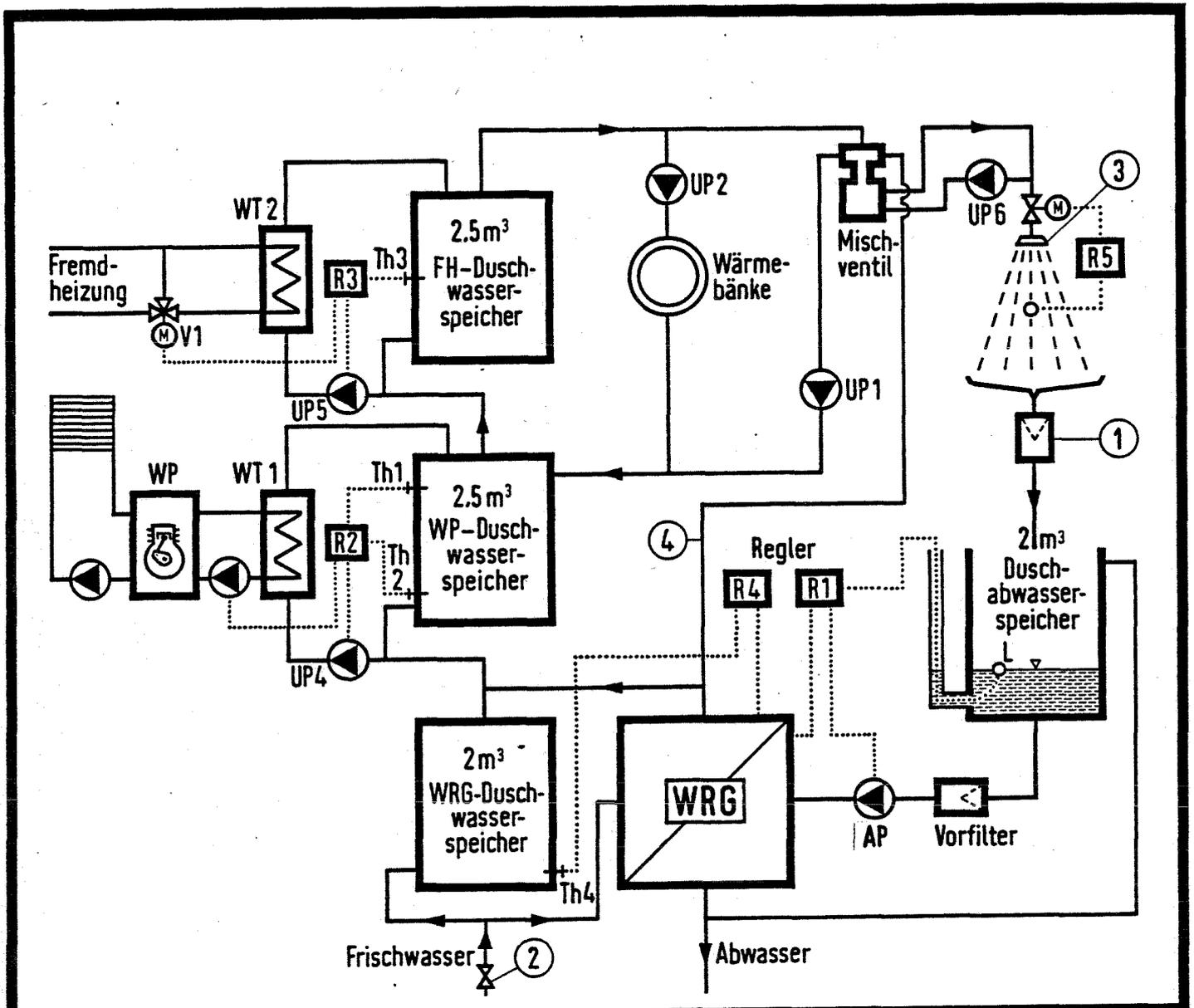
RWE

KSH Schwalmtal (25.4.-29.5.1983)  
Häufigkeitsverteilung der viertelstündlichen  
Arbeitszahl der WRG-Anlage aus Duschabwasser

Bild 28  
ANWENDUNGSTECHNIK



KSH Schwalmtal (25.4.-29.5.1983)  
 Temperaturen in der Duschwasseraufbereitungs-  
 anlage auf der Frisch- und Abwasserseite



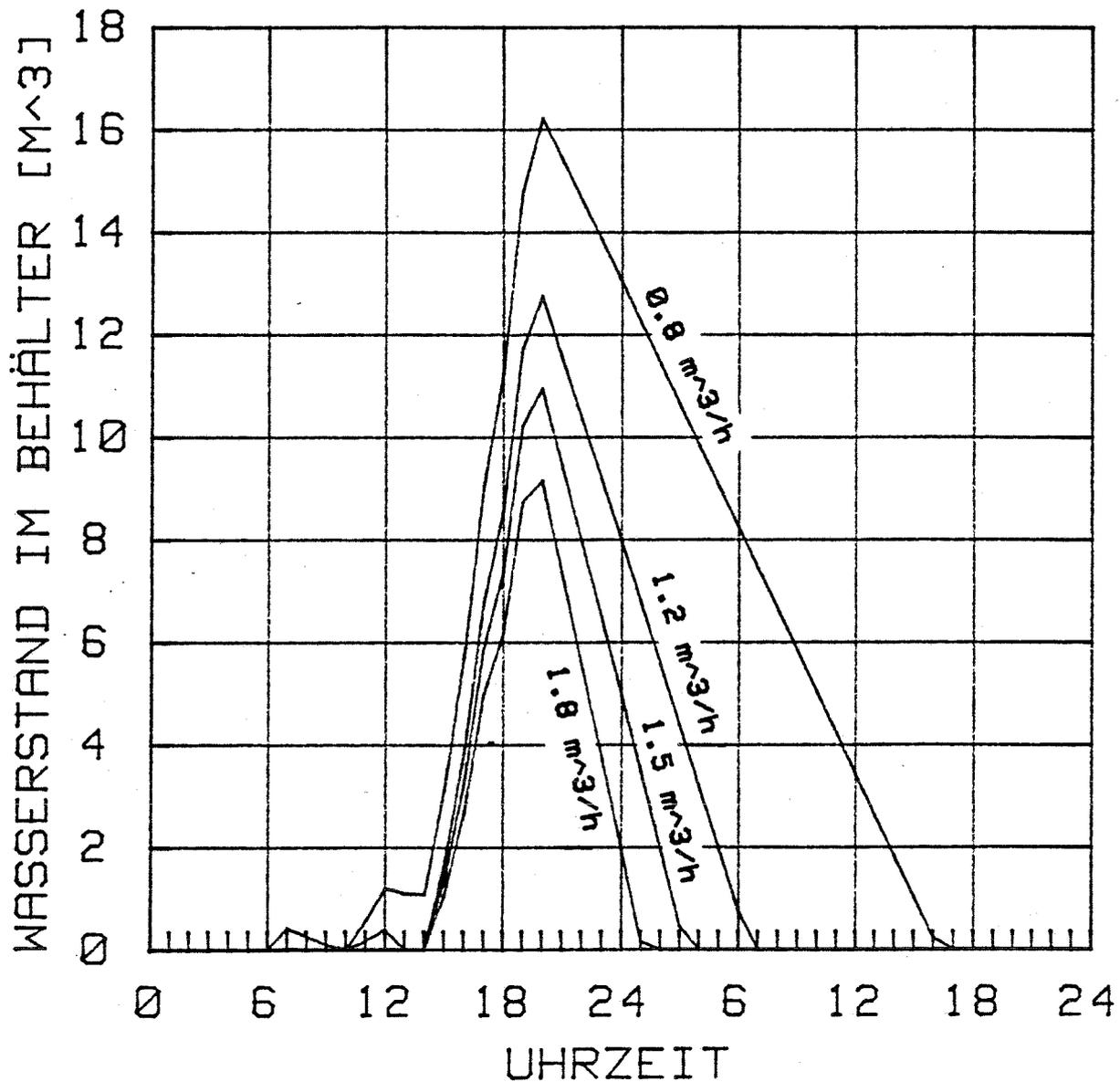
Solarbad Schwalmtal  
Schaltschema der Duschwasseranlage

Bild 30

### Verbesserungsvorschläge

1. Grobfilter, einfach zu reinigen
2. Druckminderventil
3. Ein-Loch-Blende (13 l/min)
4. Frischwasser aus der WRG-Anlage am Kaltwasseranschluß des Mischventils beimischen

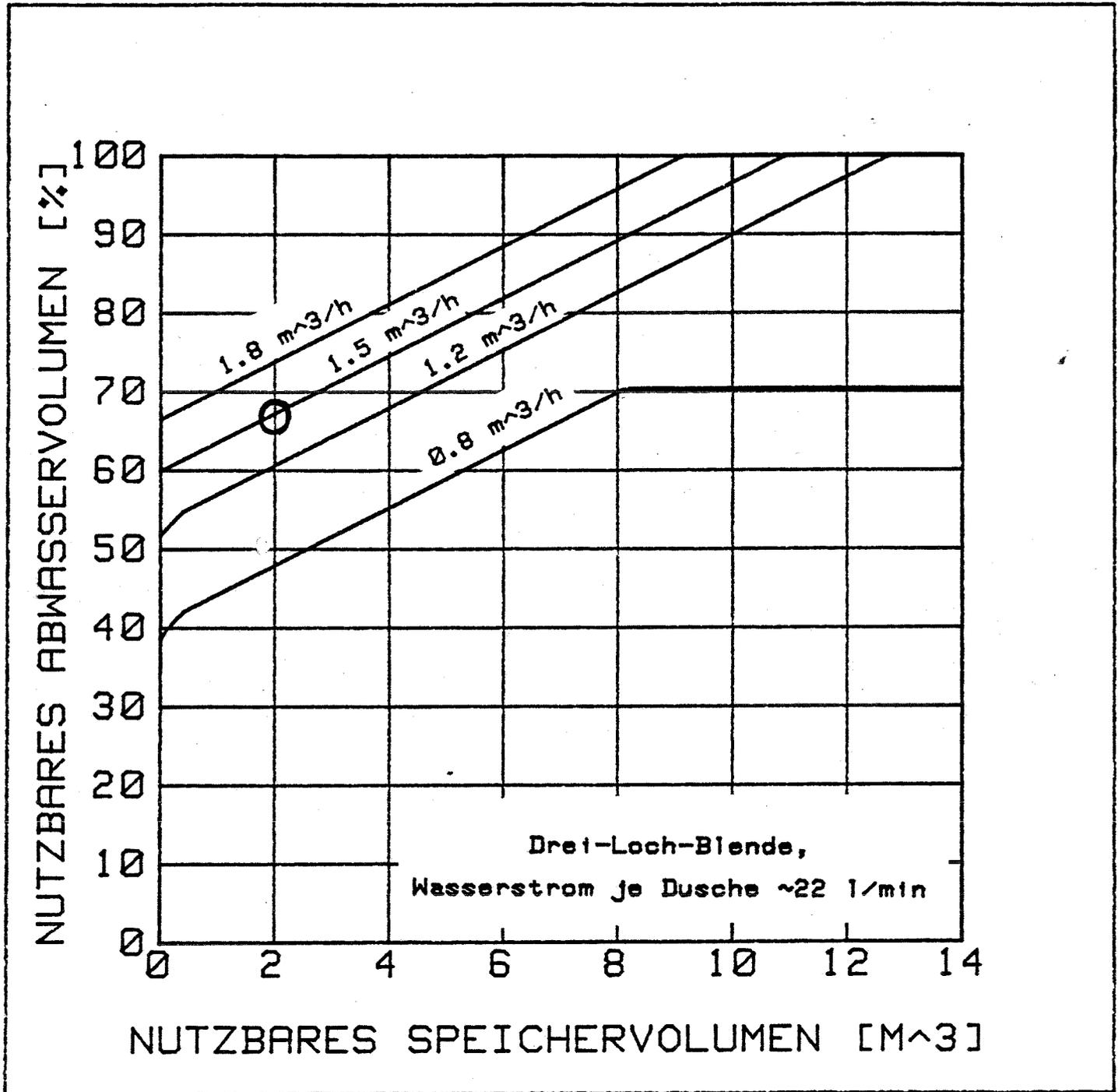
TAG 1 , KSH SCHW. , 22.WO'83



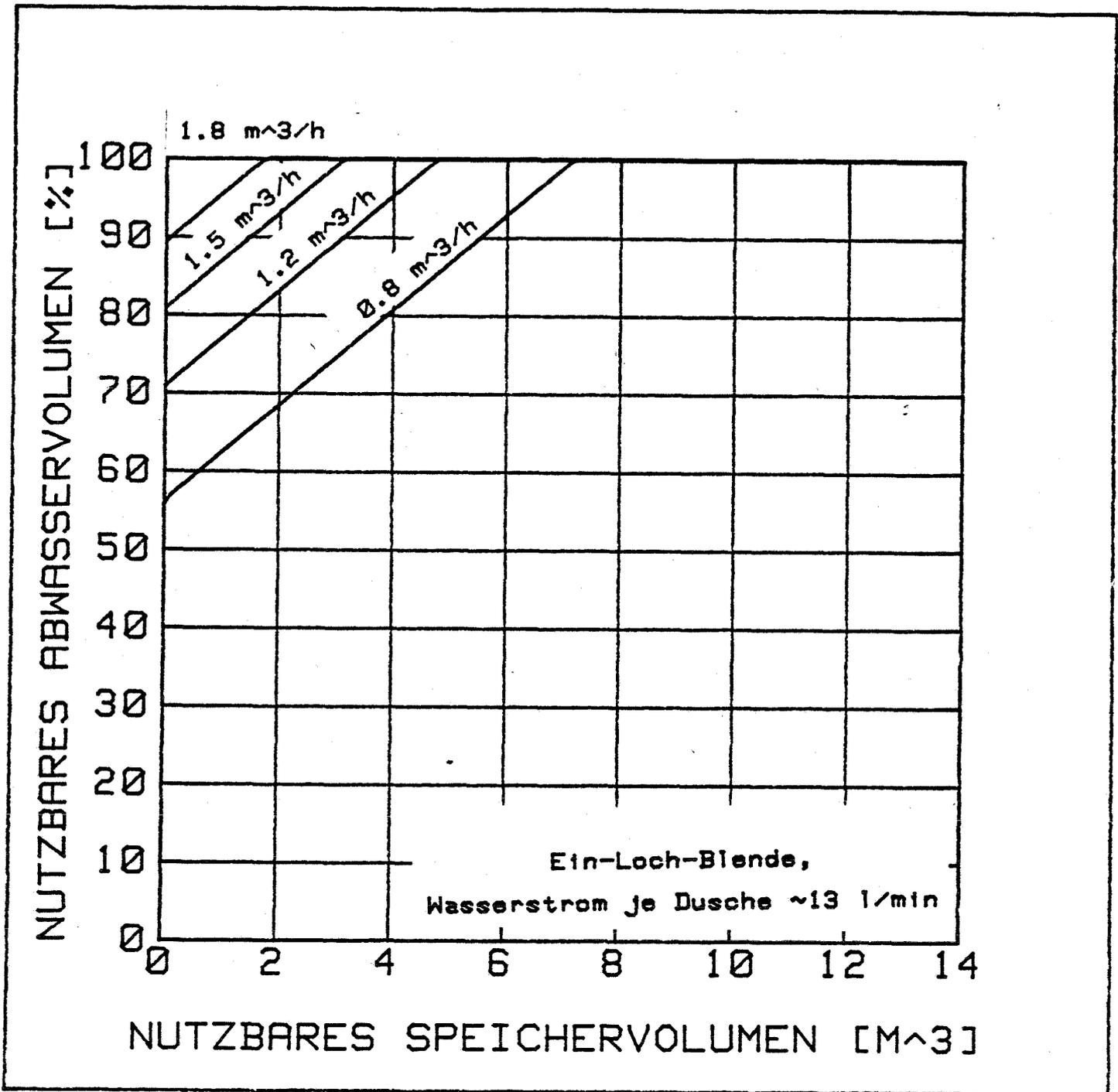
KSH Schwalmtal (31.5.1983)

Bild 31

Gang des Füllstands in einem beliebig großen  
Abwasserbehälter bei 4 verschiedenen WRG-Geräten



KSH Schwalmtal (31.5.1983)  
 Diagramm zur Bemessung einer Anlage  
 zum Wärmerückgewinn aus Duschabwasser



KSH Schwalmtal (31.5.1983)  
 Diagramm zur Bemessung einer Anlage  
 zum Wärmerückgewinn aus Duschabwasser

Größe	Zeichen	Vario- becken	Kinder- becken	gesamt	Dimension	Berechnungs- vorschrift
Wasserfläche des Beckens	F	250	20,5	270,5	m <sup>2</sup>	
Belastungsfaktor	f <sub>S,N</sub>	4,5	2,7		$\frac{m^2}{\text{Pers./h}}$	
mittlere stündl. Besucherzahl	P	55	8		Pers./h	$\frac{F}{f_{S,N}}$
spezifische Belastung	b	0,5	0,5		Pers./m <sup>3</sup>	*1
stündlicher Volumenstrom	Q <sub>h</sub>	111	15	126	m <sup>3</sup> /h	$\frac{F}{f_{S,N} * b}$
Verdrängungswas.	V <sub>v</sub>	4,13	0,6	4,73	m <sup>3</sup>	Fak 1 * P *2
Schwallwasser	V <sub>w</sub>			8,5	m <sup>3</sup>	Nomogramm
Filterfläche	F <sub>F</sub>			6,15	m <sup>2</sup>	
Filterspülwasserdichte	V <sub>F</sub>			4 - 6	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	nach DIN 19605
Filterspülwasservolumen	V <sub>F</sub>			30,8	m <sup>3</sup>	F <sub>f</sub> * 5 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *3
Fassungsvermögen des Schwallwasserbehälters	V <sub>S</sub>			44	m <sup>3</sup>	V <sub>v</sub> + V <sub>w</sub> + V <sub>R</sub>
Filtergeschwindigkeit	v <sub>F</sub>			30	m/h	*4
Rückspülgeschw. Wasser - Luft						
Wasser	v <sub>RWL</sub>			10	m/h	
Luft	v <sub>RL</sub>			60	m/h	
Wasser	v <sub>RW</sub>			30	m/h	

\*1 die spez. Belastung richtet sich nach der Art des Aufbereitungsverfahrens

\*2 der Faktor (Fak 1 = 0,075 m<sup>3</sup>/P) besagt, daß im Mittel jeder Badegast 75 l Wasser verdrängt

\*3 Zur Rückspülung sollten 4 ./.. 6 m<sup>3</sup> Wasser je m<sup>2</sup> Filterfläche bevorratet werden

\*4 bei Süßwasser für geschlossene Schnellfilter

Tabelle 1: Auslegungsdaten des Beckenwasserkreislaufs einschließlich Filter

1. Stufe: Vorbereitung

Belüftung des Filterbehälters und Absenkung des Wassers  
bis zur Oberkante des Ablauftrichters

2. Stufe: Spülprogramm

1. Phase: Luftspülung etwa 5 min

Luftgeschwindigkeit etwa 60 m/h

2. Phase: Luft- und Wasserspülung 7 bis 10 min

Luftgeschwindigkeit etwa 60 m/h

Wassergeschwindigkeit etwa 10 m/h

3. Phase: Wasserspülung 3 bis 5 min

Wassergeschwindigkeit etwa 30 m/h

4. Phase: Kanalabführung des Erstfiltrats etwa 3 min

5. Phase: Herstellung des Aufbereitungsbetriebes

Spülwasserbedarf bei Sandfiltern: Etwa  $5 \text{ m}^3/\text{m}^2$  Filterfläche

Tabelle 2: Richtwerte für die Luft-Wasser-Spülung von Sandfiltern  
mit der Korngruppe 0,71 bis 1,25 mm nach / 4 /

Bauteil bzw. Masse	Masse kg	Dichte kg/m <sup>3</sup>	Spez. Wärme Wh/kg K	Enthalpie bei 28 °C (*) kWh
Filterbehälter	4.000	7,85	0,13	9,4
Stützschrift I (Filterkies 3-6 mm)	1.200	2,5	0,2	4,3
Stützschrift II (Filterkies 2-3 mm)	1.200	2,5	0,2	4,3
Filterkies 1-1,8 mm	11.000	2,5	0,2	39,6
Wasser	11.800	1,0	1,16	246,4
Filter	29.200	-	-	304,0

\* bezogen auf 10 °C

Tabelle 3: Füllung und Enthalpie des Drucksand-Filterkessels

Anzahl der Tage	244	
Anzahl der Öffnungstage	225	
Anzahl der Reinigungstage (10. - 16.10.83)	7	
Besucher	55 710	
Mittlere Wassertemperatur, großes/kleines Becken	28/30	°C
Anzahl der Spülungen	53	
Mittlere Zeitspanne zwischen zwei Spülungen	4,6	Tage
Spülwasserverbrauch je Spülung	17	m <sup>3</sup>
Spülwasserverbrauch gesamt	901	m <sup>3</sup>
Frischwasserzufuhr WRG-Anlage	2 897	m <sup>3</sup>
Frischwasserzufuhr direkt	1 638	m <sup>3</sup>
- davon bei der Großreinigung	803	m <sup>3</sup>
Beckenabwasser WRG-Anlage	3 045	m <sup>3</sup>
Mittelwert des Verhältnisses "Spülwasserstrom / Füllwasserstrom"	1,05	
Energie- und Wärmeverbrauch ohne WRG-Anlage zum Filterspülen		
je Spülung	355	kWh *
im Auswertungszeitraum	18 815	kWh *
zur besucherzahlabhängigen Wassererneuerung	26 678	kWh *1
gesamter Mindestverbrauch	45 493	kWh
Energie- und Wärmeverbrauch mit WRG-Anlage		
Frischwassererwärmung	69 220	kWh
elektrischer Energieverbrauch	7 590	kWh
besucherzahlabhängiger Mindestverbrauch	39 934	kWh *
Verhältnis "Frischwassererwärmung / Mindestverbrauch"	1,73	

\* berechnete Größe

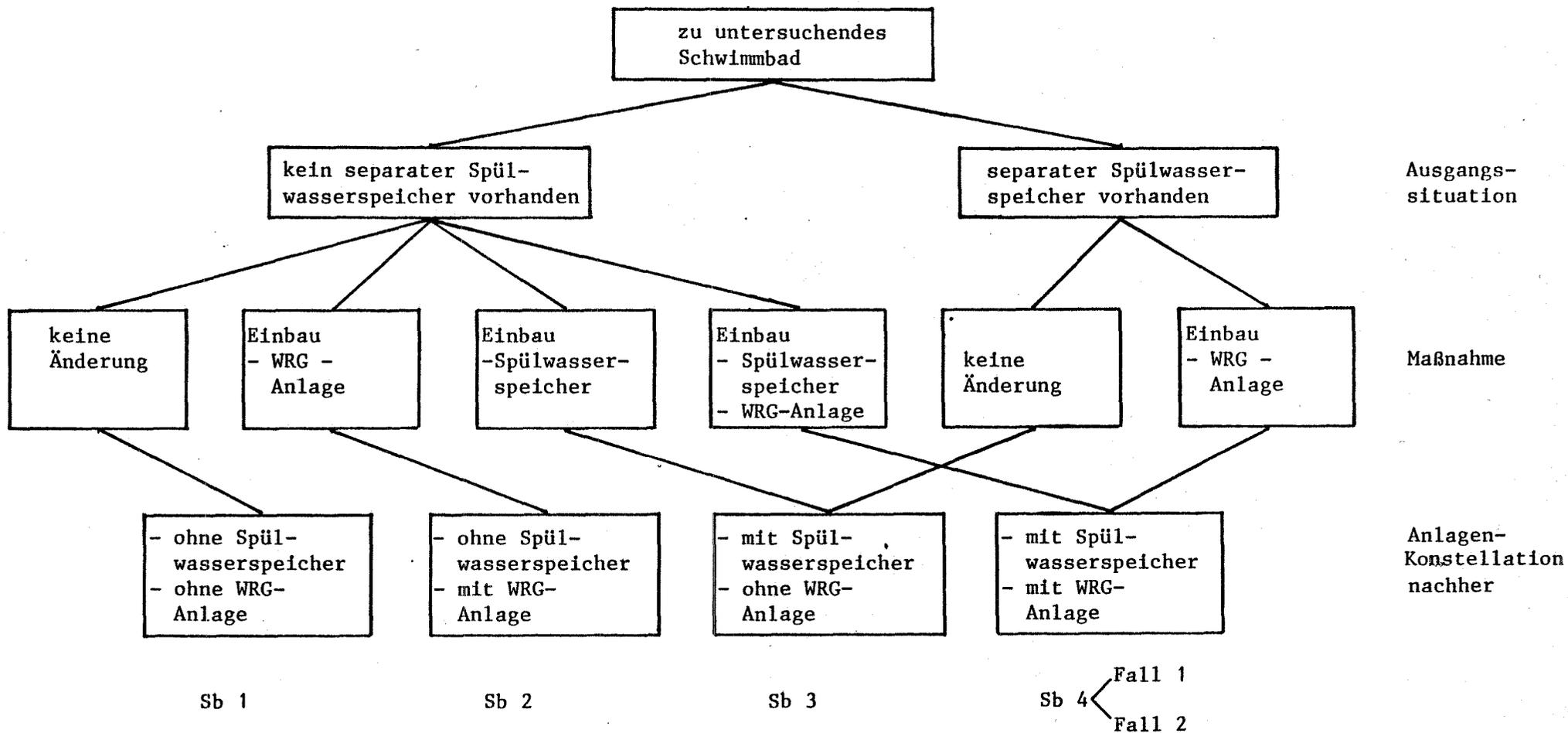
\*1 berechnete Größe, die Besucherzahl wurde auf die Öffnungstage minus Anzahl der Spülungen umgerechnet

Tabelle 4: Betriebsergebnisse der Anlage zum WRG aus Beckenabwasser im Zeitraum 1.4. bis 30.11.1983.

maximal zulässige Besucherzahl / Personen /										
Wasseraustausch / m <sup>3</sup> /										
Laufdauer / h /										
Einsatz- und Endzeitpunkt										
Wochentag										
320	9.6	8	12 ./.	20	Montag	12 ./.	20	8	9.6	320
480	14.4	12	8 ./.	20	Dienstag	12 ./.	20	8	9.6	320
480	14.4	12	8 ./.	20	Mittwoch	12 ./.	20	8	9.6	320
480	14.4	12	8 ./.	20	Donnerstag	12 ./.	20	8	9.6	320
480	14.4	12	8 ./.	20	Freitag	12 ./.	20	8	9.6	320
320	9.6	8	12 ./.	20	Samstag	12 ./.	20	8	9.6	320
240	7.2	6	8 ./.	14	Sonntag	8 ./.	14	6	7.2	240
2800	84.0	70			gesamt			54	64.8	2160
vor dem 18.7.83						nach dem 18.7.83				

Tabelle 5: Per Zeitschaltuhr gesteuerter Einsatz der Anlage zum WRG aus Beckenabwasser





Betriebsweise: Fall a: Füllwasseraustausch ist exakt besucherzahlabhängig  
 Fall b: Füllwasseraustausch wird über Zeitschaltuhr geregelt (1/3 mehr)  
 Fall c: Füllwasseraustausch ist sehr hoch (2/3 mehr)

**Tabelle 7:** Konstellation der technischen Anlagen und Betriebsweisen zur Ermittlung des Energie- und Wasserverbrauchs sowie des Wärmerückgewinns bei der Beckenwassererneuerung und beim Filterspülen.

Beckenwasseroberfläche	270	m <sup>2</sup>
Anzahl der Öffnungstage pro Jahr	310	d/a
Besucher pro Jahr	90 000	P/a
Anzahl der Filterspülungen	73	
Spülwasserverbrauch je Filterspülung		
- ohne separaten Filterspülwasserbehälter	20	m <sup>3</sup>
- mit separatem Filterspülwasserbehälter		
- - kaltes Filterspülwasser	23	m <sup>3</sup>
- - Beckenwasser	4	m <sup>3</sup>
Temperaturen		
- Beckenwasser	28	°C
- Frischwasser	11	°C
- Filterspülwasser bei WRG-Anlage	8	°C
Leistungsdaten der WRG-Anlage		
- Arbeitszahl	9,1	
- Abwasser-/Frischwasserstrom	1,2	m <sup>3</sup> /h
- elektrische Leistung	3,3	kW

Tabelle 8: Betriebsdaten eines Schwimmbades zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit einer WRG-Anlage.

Fall a		Dimension	Sb 1	Sb 2	Sb 3	Sb 4-1	Sb 4-2
Wasser	Beckenwassererneuerung	m <sup>3</sup> /a	2 070	2 070	2 700	2 700	2 700
	Filterspülwasser	m <sup>3</sup> /a	1 460	1 460	1 971	(1 679)	1 679
	Wasserverluste	m <sup>3</sup> /a	-	-	-	300	300
	Entnahme Wassernetz	m <sup>3</sup> /a	3 530	3 530	4 671	3 000	4 673
Energie	Füllwassererwärmung	kWh/a	40 820	-	53 244	-	-
	Filterspülwassererw.	kWh/a	28 791	28 791	-	-	-
	Eintrag WRG	kWh/a	-	-51 806	-	-67 568	-67 568
	Aufheizung Filterkessel	kWh/a	-	-	3 922	4 672	3 922
	Filterspülwasserverluste	kWh/a	-	-	5 916	5 916	5 916
	Heizenergie	kWh/a	69 611	-23 015	63 082	-56 980	-57 730
	elektrische Energie	kWh/a	-	5 693	-	7 425	7 425
Wärmerückgewinn	kWh/a	-	51 806	-	56 980	57 730	

Fall b (1/3 mehr)		Dimension	Sb 1	Sb 2	Sb 3	Sb 4-1	Sb 4-2
Wasser	Beckenwassererneuerung	m <sup>3</sup> /a	2 760	2 760	3 600	3 600	3 600
	Filterspülwasser	m <sup>3</sup> /a	1 460	1 460	1 971	(1 679)	(1 679)
	Wasserverluste	m <sup>3</sup> /a	-	-	-	300	300
	Entnahme Wassernetz	m <sup>3</sup> /a	4 220	4 220	5 571	3 900	5 579
Energie	Füllwassererwärmung	kWh/a	54 428	-	70 992	-	-
	Filterspülwassererw.	kWh/a	28 971	28 971	-	-	-
	Eintrag WRG	kWh/a	-	-69 069	-	-90 090	-90 090
	Aufheizung Filterkessel	kWh/a	-	-	3 922	4 672	3 922
	Filterspülwasserverluste	kWh/a	-	-	5 916	5 916	5 916
	Heizenergie	kWh/a	83 219	-40 278	80 830	-79 502	-80 252
	elektrische Energie	kWh/a	-	7 590	-	9 900	9 900
Wärmerückgewinn	kWh/a	-	69 069	-	79 502	80 252	

Fall c (2/3 mehr)		Dimension	Sb 1	Sb 2	Sb 3	Sb 4-1	Sb 4-2
Wasser	Beckenwassererneuerung	m <sup>3</sup> /a	3 450	3 450	4 500	4 500	4 500
	Filterspülwasser	m <sup>3</sup> /a	1 460	1 460	1 971	(1 679)	1 679
	Wasserverluste	m <sup>3</sup> /a	-	-	-	300	300
	Entnahme Wassernetz	m <sup>3</sup> /a	4 910	4 910	6 471	4 800	6 479
Energie	Füllwassererwärmung	kWh/a	68 034	-	88 740	-	-
	Filterspülwassererw.	kWh/a	28 971	28 971	-	-	-
	Eintrag WRG	kWh/a	-	-86 341	-	-112 613	-112 613
	Aufheizung Filterkessel	kWh/a	-	-	3 922	4 672	3 922
	Filterspülwasserverluste	kWh/a	-	-	5 916	5 916	5 916
	Heizenergie	kWh/a	96 825	-57 550	98 578	-102 025	-102 775
	elektrische Energie	kWh/a	-	9 488	-	12 375	12 375
Wärmerückgewinn	kWh/a	-	86 341	-	102 025	102 775	

Tabelle 9: Wasser- und Energieverbrauch sowie Wärmerückgewinn verschiedener Anlagenzustände und Betriebsstrategien am Beispiel der KSH Schwalmatal

### 1. KENNGRÖßEN DES SCHWIMMBADES

ZEILE	BEZEICHNUNG	WERT
1	BESUCHERZAHL [P/a]	: 90000
2	WASSEROBERFLÄCHE [m <sup>2</sup> ]	: 270
3	BECKENWASSERTEMPERATUR [°C]	: 28
4	ANZAHL DER OFFNUNGSTAGE [1/a]	: 310
5	FRISCHWASSERTEMPERATUR [°C]	: 11
6	ABWASSERTEMPERATUR [°C]	: 28

### 2. INVESTITIONSKOSTEN, USW.

ZEILE	BEZEICHNUNG	I [DM]	II [a]	III [DM/a]	IV [%/a]
1	WRG-GERÄT EINSCHL. MONTAGE (G1-G4)	: 30000	12	700	1.5
2	SPÜL-/ABWASSERSPEICHER (G5-G8)	: 8000	30	0	0
3	DUSCHFRISCHWASSERSPEICHER (G9-G12)	: 0	0	0	0
4	RÖHRLEITUNGSANLAGEN (G13-G16)	: 3500	20	0	1
5	ELEKTROANSCHLUSS (G17-G20)	: 700	20	0	1
6	ZINS [%/a] (G21)	: 9			

- I = INVESTITIONSKOSTEN  
 II = KALKULIERTE NUTZUNGSDAUER  
 III = WARTUNGSKOSTEN  
 IV = UNTERHALTUNGSKOSTEN (%/a VON DEN INVESTITIONSKOSTEN)

### 3. ENERGIE- UND WASSERPREISE

ZEILE	BEZEICHNUNG	WERT
1	STROMPREIS HT-ZEIT (G22) [DM/kWh]	: .208
2	STROMPREIS NT-ZEIT (G23) [DM/kWh]	: .123
3	ZEITANTEIL HT-ZEIT (G24) [%/a]	: 50
4	LEISTUNGSPREIS (G25) [DM/kWh*a]	: 165
5	WASSERPREIS (G26) [DM/m <sup>3</sup> ]	: 3

### 4. LEISTUNGSDATEN DES WRG-GERÄTES

ZEILE	BEZEICHNUNG	WERT
1	FRISCH-/ABWASSERSTROM (G27) [m <sup>3</sup> /h]	: 1.2
2	ELEKTRISCHE LEISTUNG (G28) [kW]	: 3.3
3	ARBEITSAHLE (G29) [-]	: 9.1

### 5. VERBRAUCHSDATEN DER WRG-ANLAGE

ZEILE	BEZEICHNUNG	WERT
1	GENUTZTE ABWASSERMENGE (G30) [m <sup>3</sup> /a]	: 3600
2	ZUSÄTZL. WASSERBEDARF (G31) [m <sup>3</sup> /a]	: -320
3	ZUSÄTZL. ENERGIEVERBRAUCH (G32) [kWh/a]	: 10588

Tabelle 10: Liste der Ausgangsdaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der WRG-Anlage der KSH Schwalmtal

Lfd.Nr.	G-Nr.	Betrachtete Größe	Einheit	Ausgangswert	Variation	Wärmekosten $\times 10^{-2}$ DM/kWh
						<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%;"> <span>7</span><span>8</span><span>9</span><span>10</span><span>11</span><span>12</span><span>13</span><span>14</span> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> </div>
1	G 1	Investitionskosten WRG-Gerät	DM	30.000	27.000 ... 33.000	
2	G24	Zeitanteil HT - Zeit	%	50	0 ..... 100	
3	G25	Leistungspreis	DM/kW * a	165	0 ..... 242	
4	G26	Wasserpreis	DM/m <sup>3</sup>	3	6 ..... 2	
5	G29	Arbeitszahl	-	9,1	11,1 ..... 7,1	

Tabelle 11: Einfluß verschiedener Größen auf die Wärmekosten einer WRG-Anlage

1. KENNGRÖßEN DES SCHWIMMBADES

ZEILE	BEZEICHNUNG	WERT
1	BESUCHERZAHL [P/a]	: 90000
2	WASSEROBERFLÄCHE [m <sup>2</sup> ]	: 270
3	BECKENWASSEITEMPERATUR [°C]	: 28
4	ANZAHL DER ÖFFNUNGSTAGE [1/a]	: 310
5	FRISCHWASSEITEMPERATUR [°C]	: 11
6	ABWASSEITEMPERATUR [°C]	: 28

2. INVESTITIONSKOSTEN.USW.

ZEILE	BEZEICHNUNG	I [DM]	II [a]	III [DM/a]	IV [%/a]
1	WRG-GERÄT EINSCHL.MONTAGE (G1-G4)	: 30000	12	700	1.5
2	SPÜL-/ABWASSERSPEICHER (G5-G8)	: 0	0	0	0
3	DUSCHFRISCHWASSERSPEICHER (G9-G12)	: 0	0	0	0
4	ROHRLEITUNGSANLAGEN (G13-G16)	: 500	20	0	1
5	ELEKTROANSCHLUSS (G17-G20)	: 700	20	0	1

6 ZINS [%/a] (G21) : 9

- I = INVESTITIONSKOSTEN
- II = KALKULIERTE NUTZUNGSDAUER
- III = WARTUNGSKOSTEN
- IV = UNTERHALTUNGSKOSTEN (%/a VON DEN INVESTITIONSKOSTEN)

3. ENERGIE- UND WASSERPREISE

ZEILE	BEZEICHNUNG	WERT
1	STROMPREIS HT-ZEIT (G22) [DM/kWh]	: .208
2	STROMPREIS NT-ZEIT (G23) [DM/kWh]	: .123
3	ZEITANTEIL HT-ZEIT (G24) [%/a]	: 50
4	LEISTUNGSPREIS (G25) [DM/kW*a]	: 0
5	WASSERPREIS (G26) [DM/m <sup>3</sup> ]	: 3

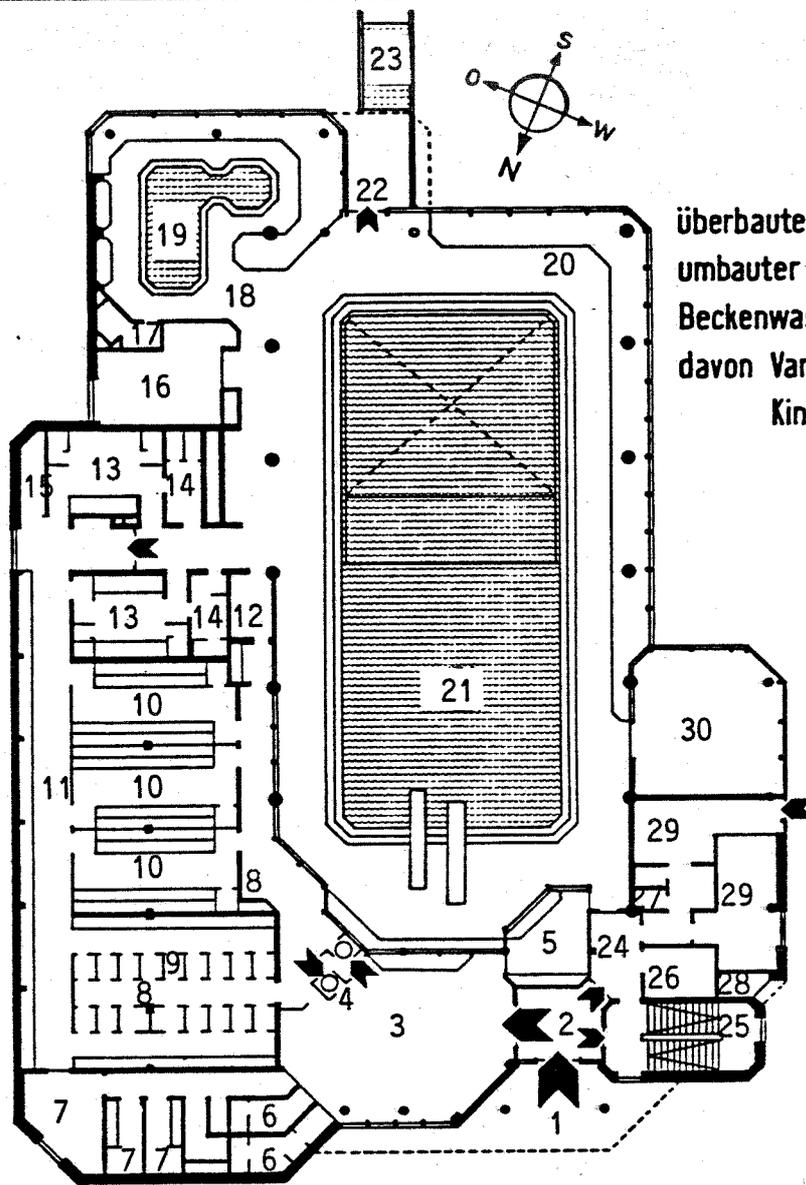
4. LEISTUNGSDATEN DES WRG-GERÄTES

ZEILE	BEZEICHNUNG	WERT
1	FRISCH-/ABWASSERSTROM (G27) [m <sup>3</sup> /h]	: 1.2
2	ELEKTRISCHE LEISTUNG (G28) [kW]	: 3.3
3	ARBEITSZAHL (G29) [-]	: 9.1

5. VERBRAUCHSDATEN DER WRG-ANLAGE

ZEILE	BEZEICHNUNG	WERT
1	GENUTZTE ABWASSERMENGE (G30) [m <sup>3</sup> /a]	: 3600
2	ZUSÄTZL. WASSERBEDARF (G31) [m <sup>3</sup> /a]	: 0
3	ZUSÄTZL. ENERGIEVERBRAUCH (G32) [kWh/a]	: 0

Tabelle 12: Liste der Ausgangsdaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Anlage zum Wärmerückgewinn aus der täglich zu erneuernden Beckenwassermenge



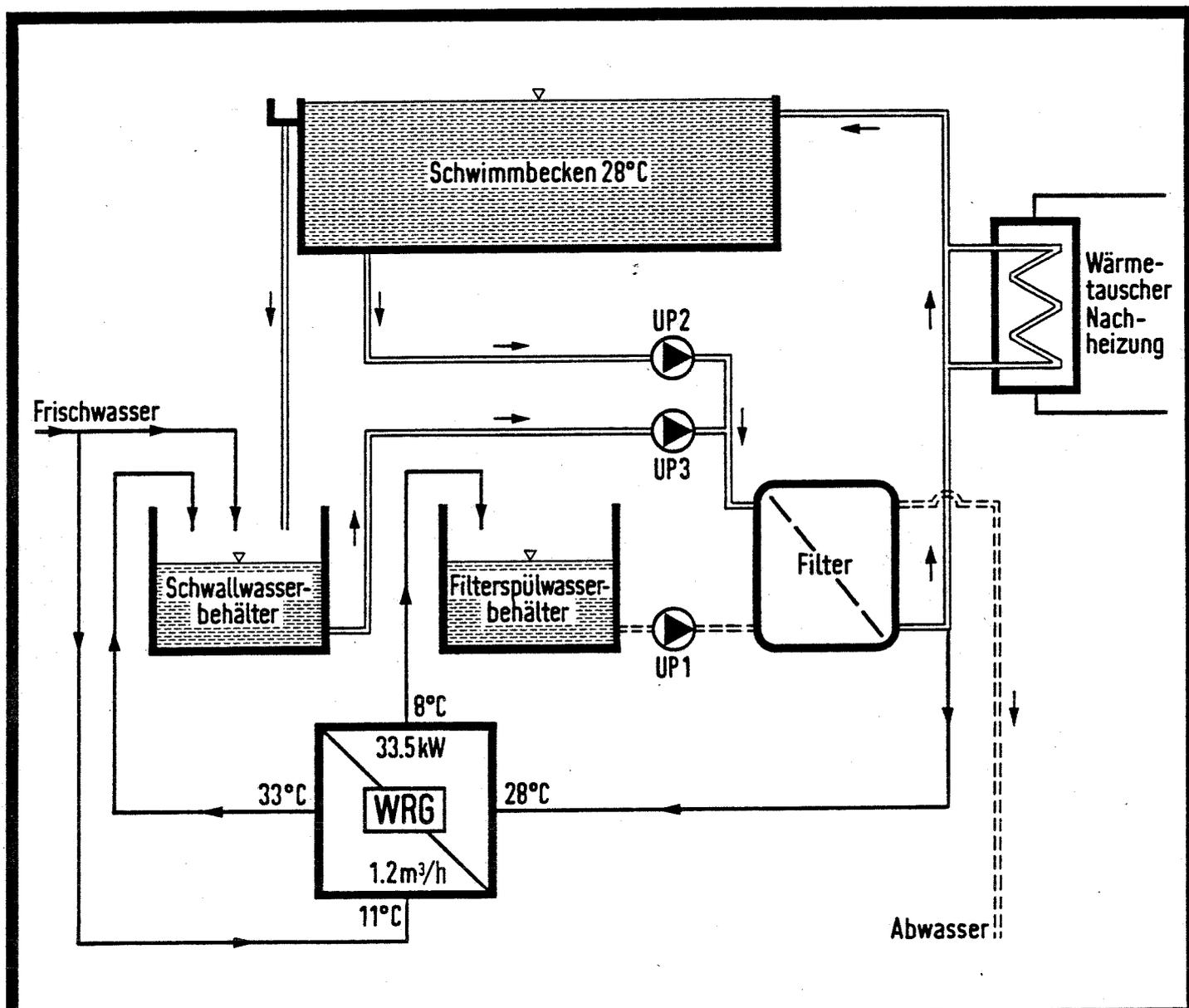
überbaute Fläche 1486 m<sup>2</sup>  
 umbauter Raum 13963 m<sup>3</sup>  
 Beckenwasserfläche 270 m<sup>2</sup>  
 davon Variobecken 250 m<sup>2</sup>  
 Kinderbecken 20 m<sup>2</sup>

## KSH Schwalmtal Erdgeschoßgrundriß

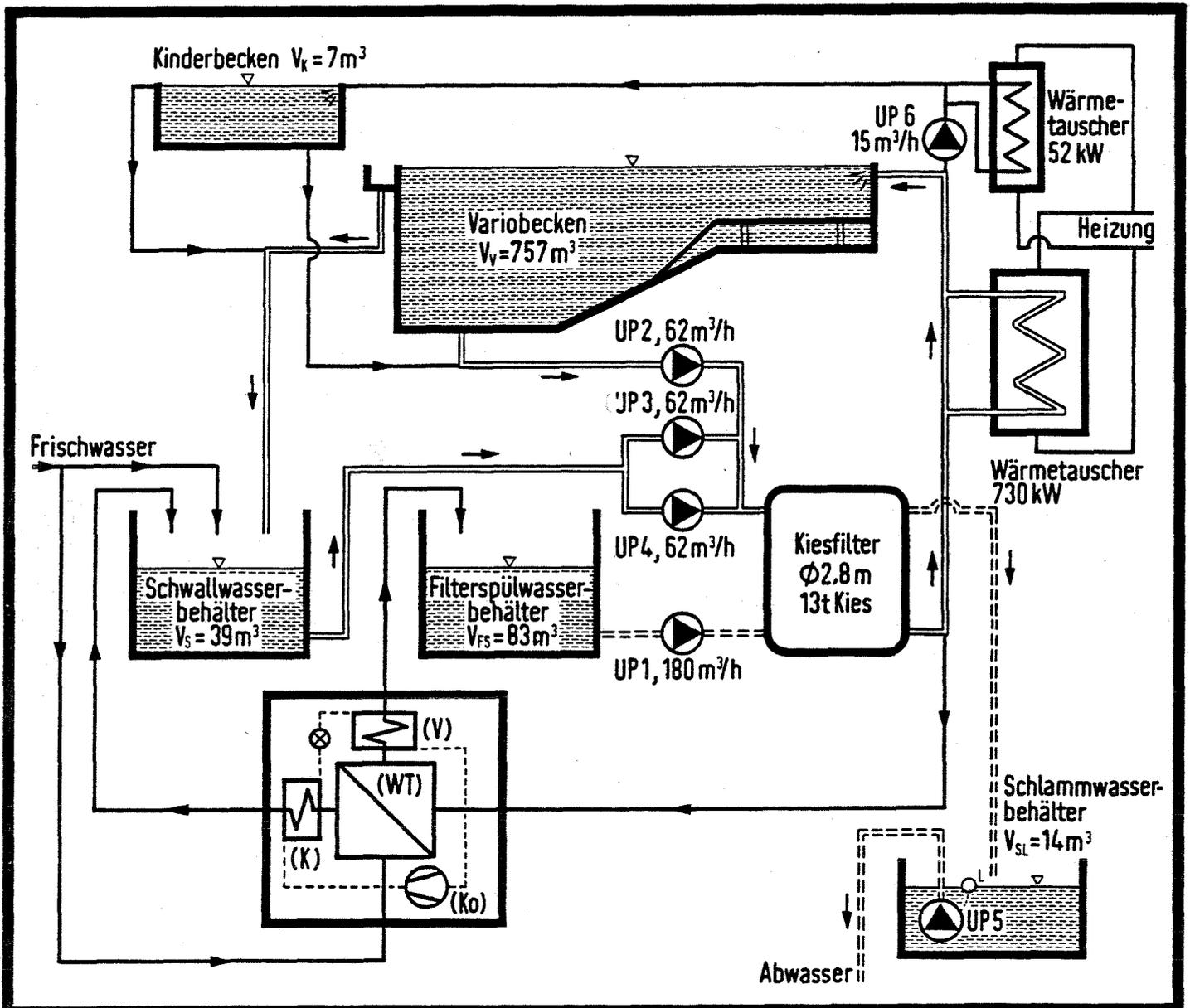
Bild 1

### PLANLEGENDE

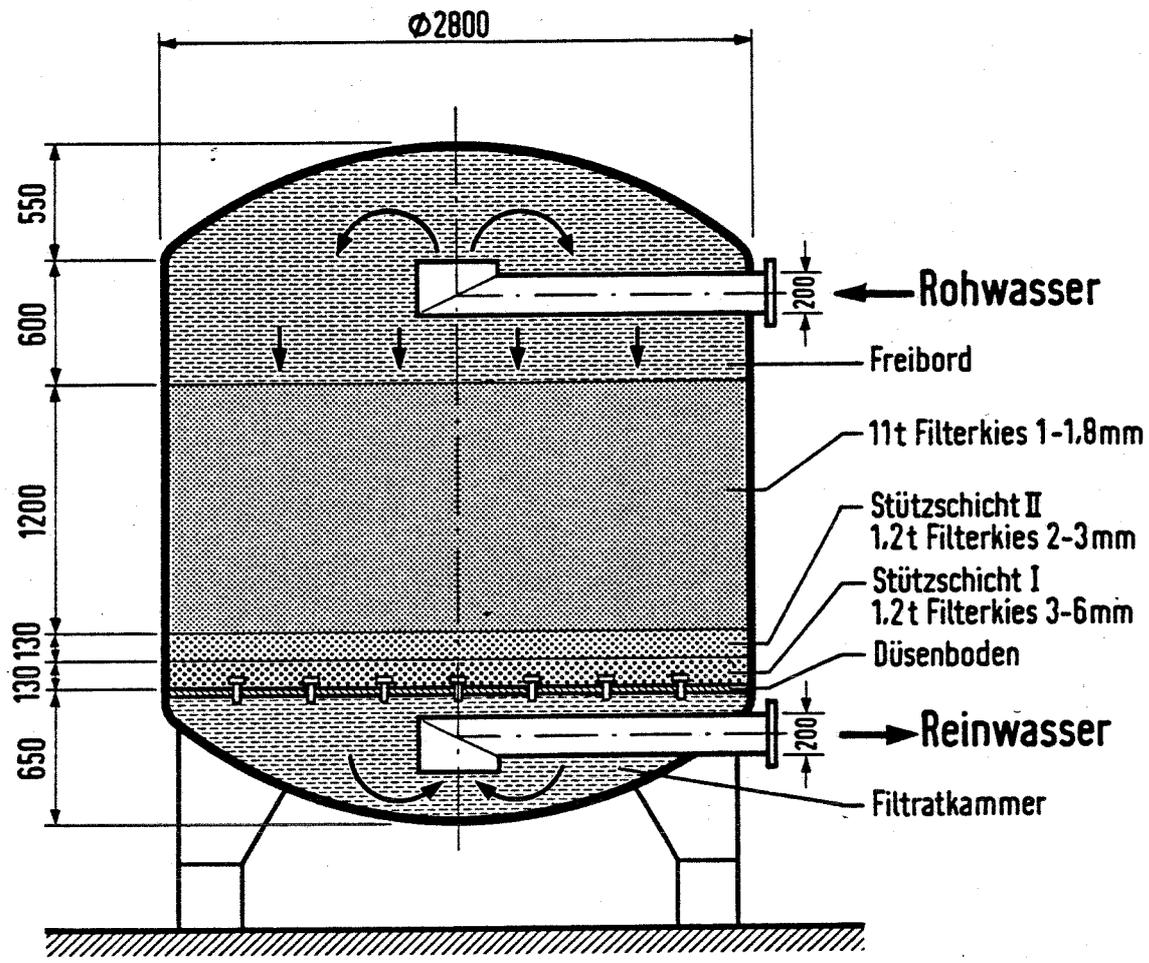
- |                        |                            |                              |
|------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 überdachter Vorplatz | 11 Barfußgang              | 21 Variobecken               |
| 2 Windfang             | 12 Behindertenumkleide     | 22 Ausgang zur Liegewiese    |
| 3 Eingangshalle        | 13 Duschaum                | 23 Durchschreibecken         |
| 4 Autom. Kassenanlage  | 14 Toiletten               | 24 Flur                      |
| 5 Aufsicht             | 15 Putzraum                | 25 Treppenhaus               |
| 6 Toiletten            | 16 Geräteraum              | 26 Sanitätsraum              |
| 7 Personaltrakt        | 17 Wickelraum, WC          | 27 Toilette                  |
| 8 Stiefelgang          | 18 Mutter- und Kindbereich | 28 Chlorraum                 |
| 9 Wechselzellen        | 19 Planschbecken           | 29 Büro- u. Meßraum          |
| 0 Sammelumkleiden      | 20 Schwimmhalle            | 30 Solarium                  |
|                        |                            | 31 P.R.-Raum im Untergeschoß |



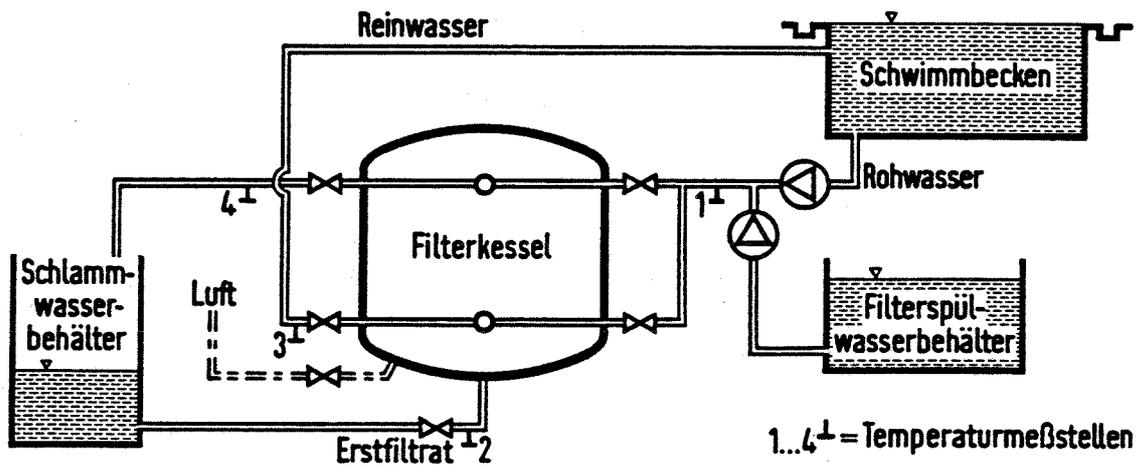
KSH Schwalmtal  
 Schema des Beckenwasserkreislaufs



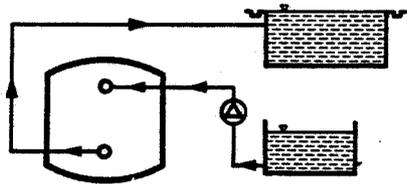
KSH Schwalmtal  
Erweitertes Schema des Beckenwasserkreislaufs



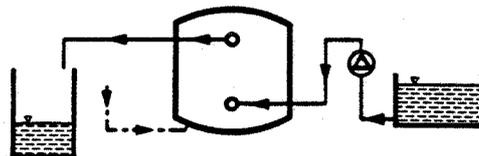
KSH Schwalmtal  
 Schüttschema des Drucksandfilters



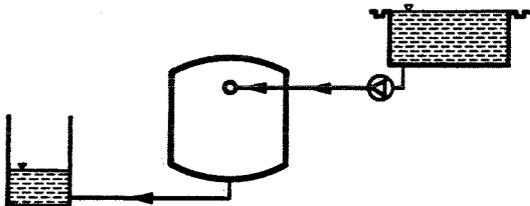
Fließschema Filterspülung



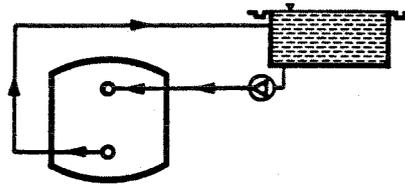
0. Stufe: Verdrängung des warmen Beckenwassers im Filterkessel mit kaltem Spülwasser



1.-3. Phase: Luft- und Wasserspülung des Filters



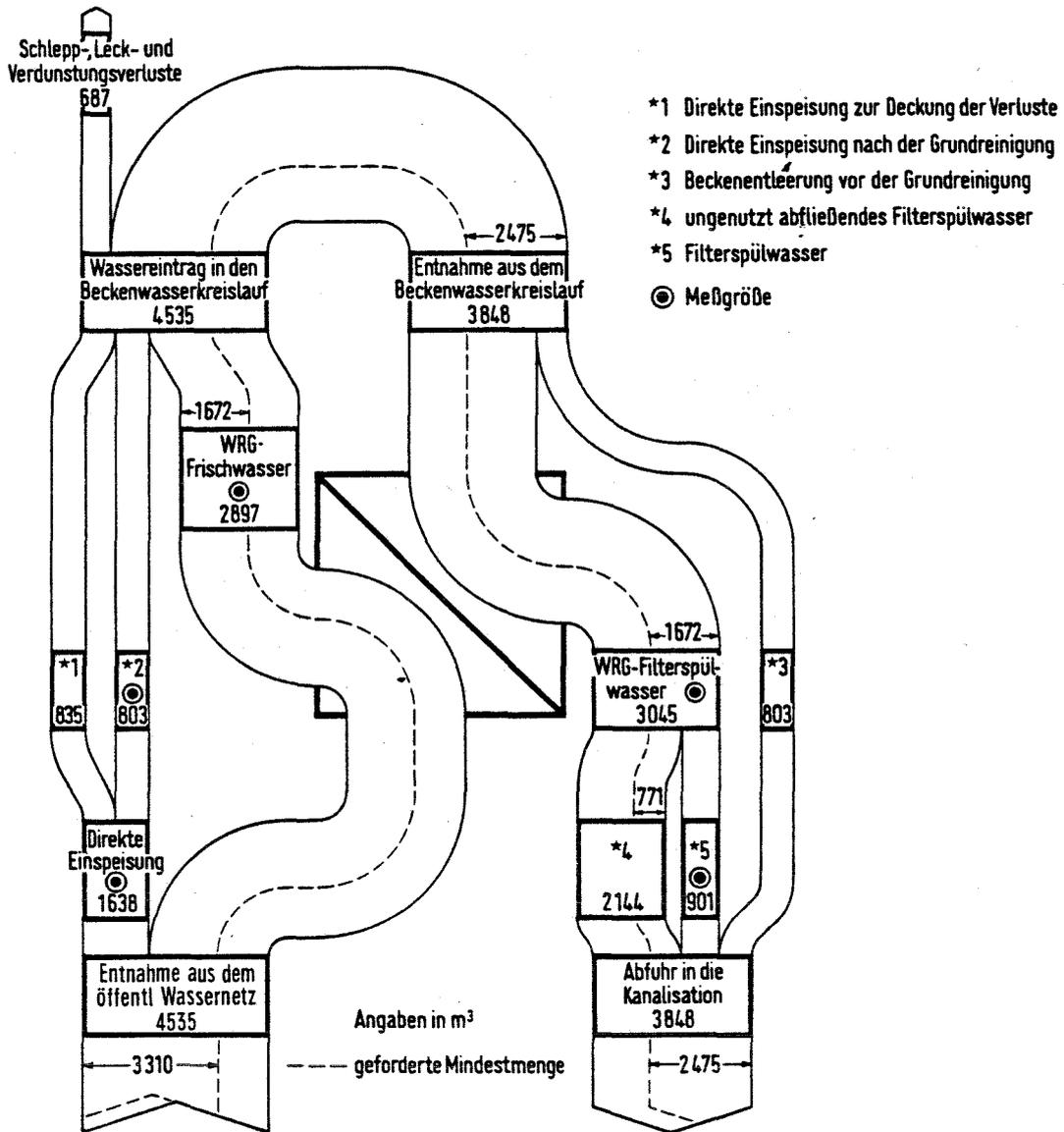
4. Phase: Abführen des Erstfiltrats



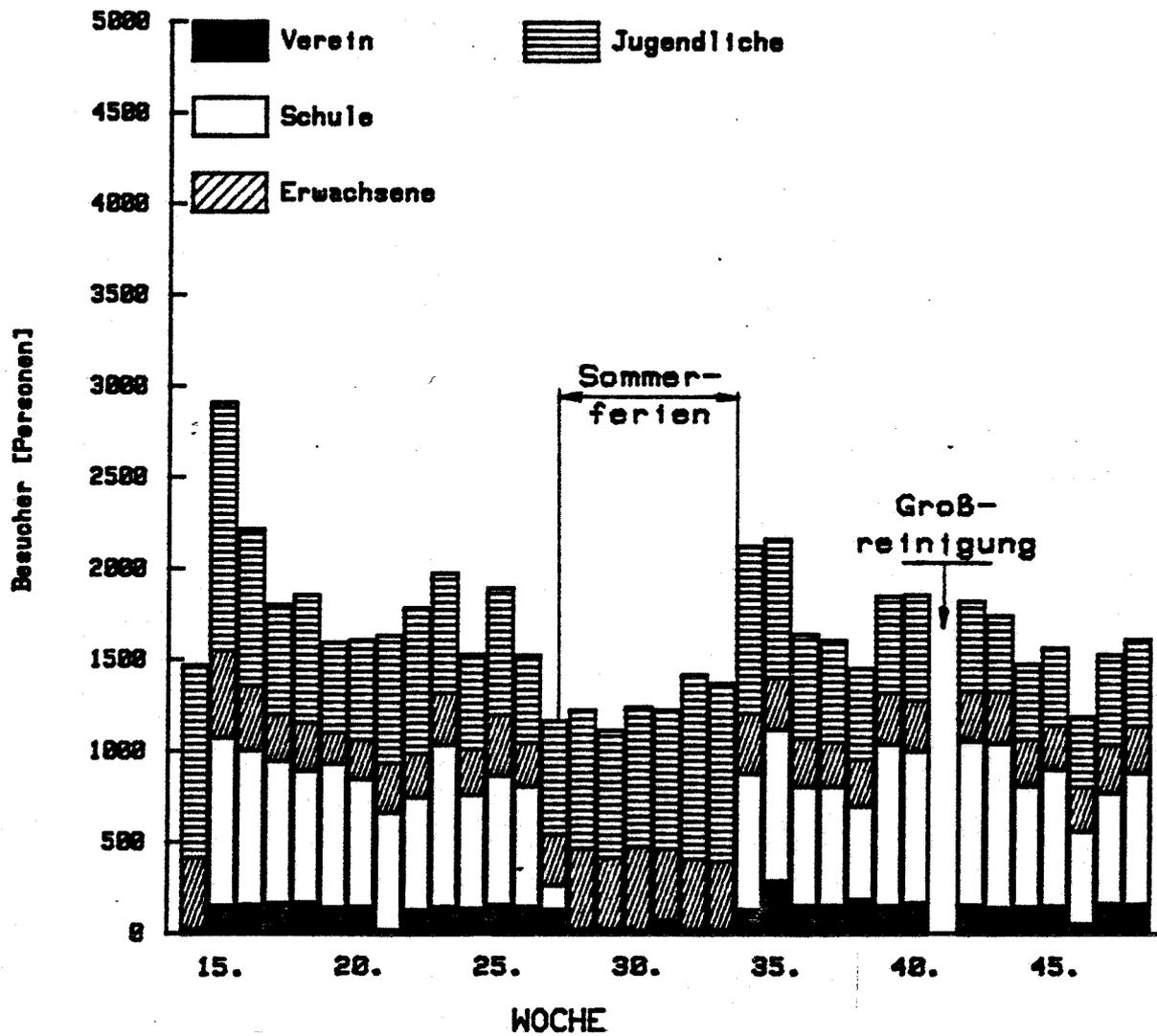
5. Phase: Normaler Wasseraufbereitungsbetrieb

KSH Schwalmtal  
Ablauf einer Filterspülung

Bild 5



**KSH Schwalmtal**  
**Wassermengenbilanz im Beckenwasserkreislauf**  
**(1.4.-30.11.1983)**



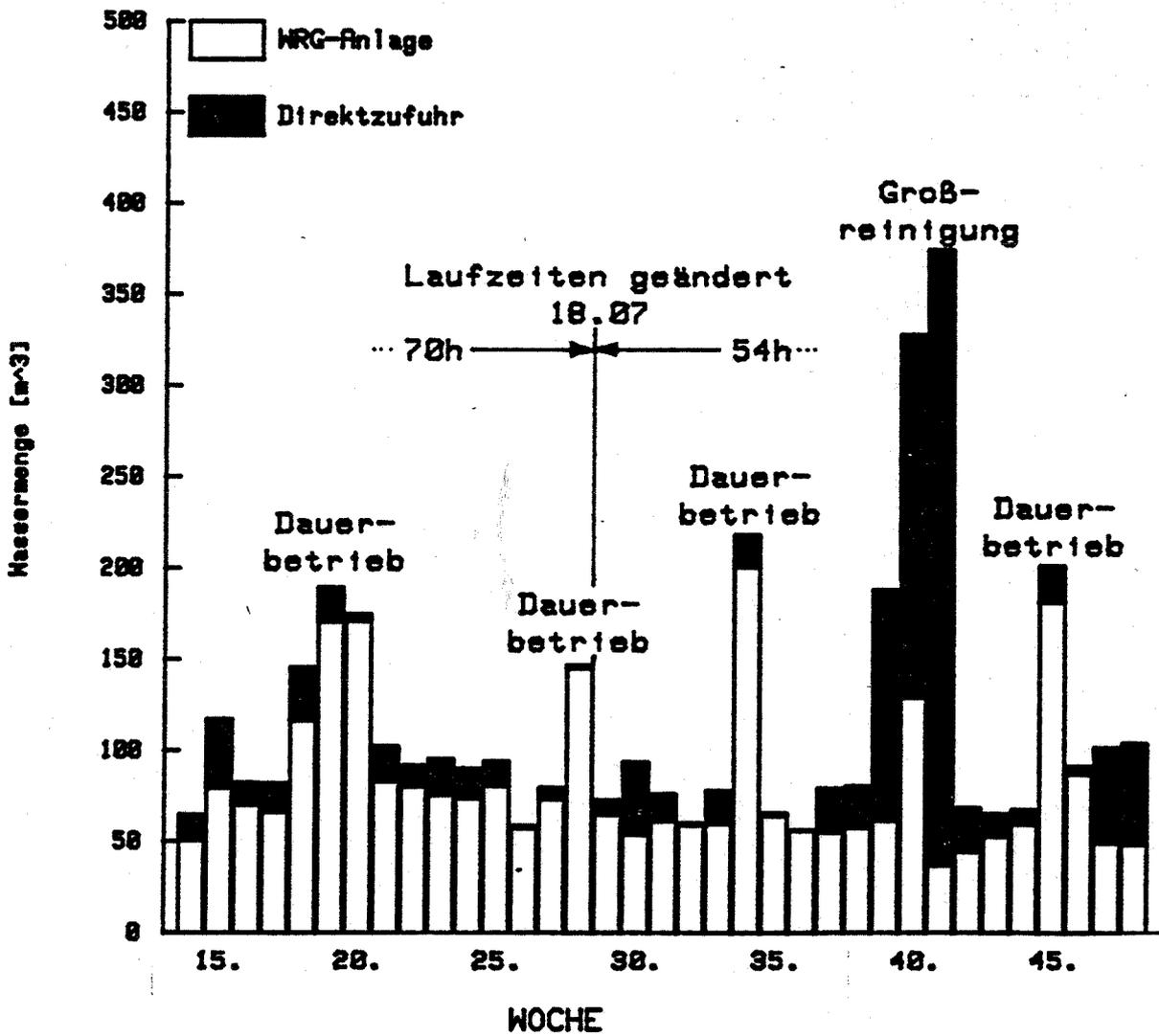
AUSWERTUNGSZEITRAUM 05.04.83 - 04.12.83

© RWE

RWE

KSH Schwalmtal  
Wöchentliche Besucherzahlen

Bild 7



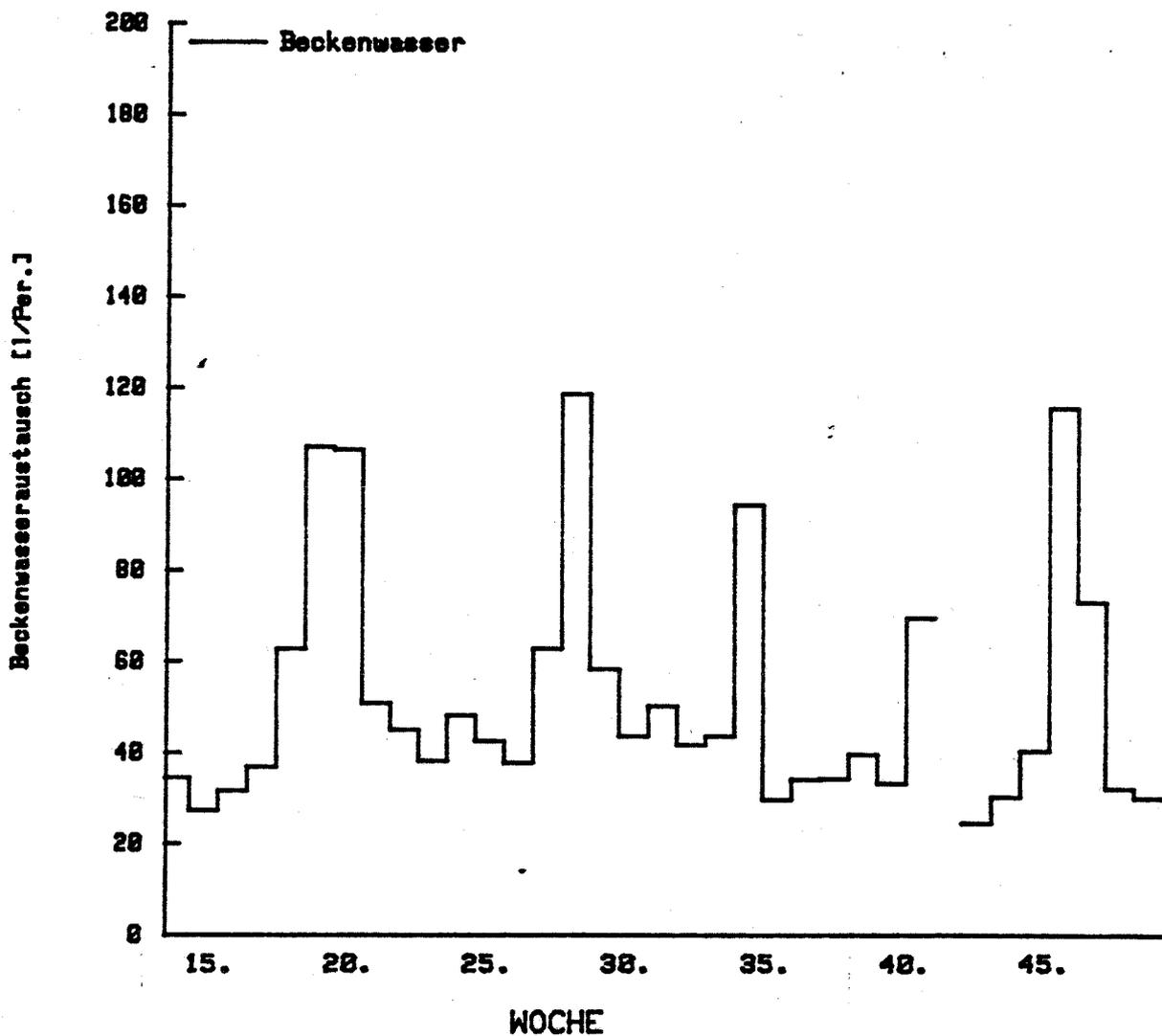
AUSWERTUNGSZEITRAUM 05.04.83 - 04.12.83

© RWE

RWE

KSH Schwalmtal  
Wöchentliche Wassereinspeisung in den Becken-  
wasserkreislauf über die WRG-Anlage u. direkt

Bild 8



AUSWERTUNGSZEITRAUM 05.04.83 - 04.12.83

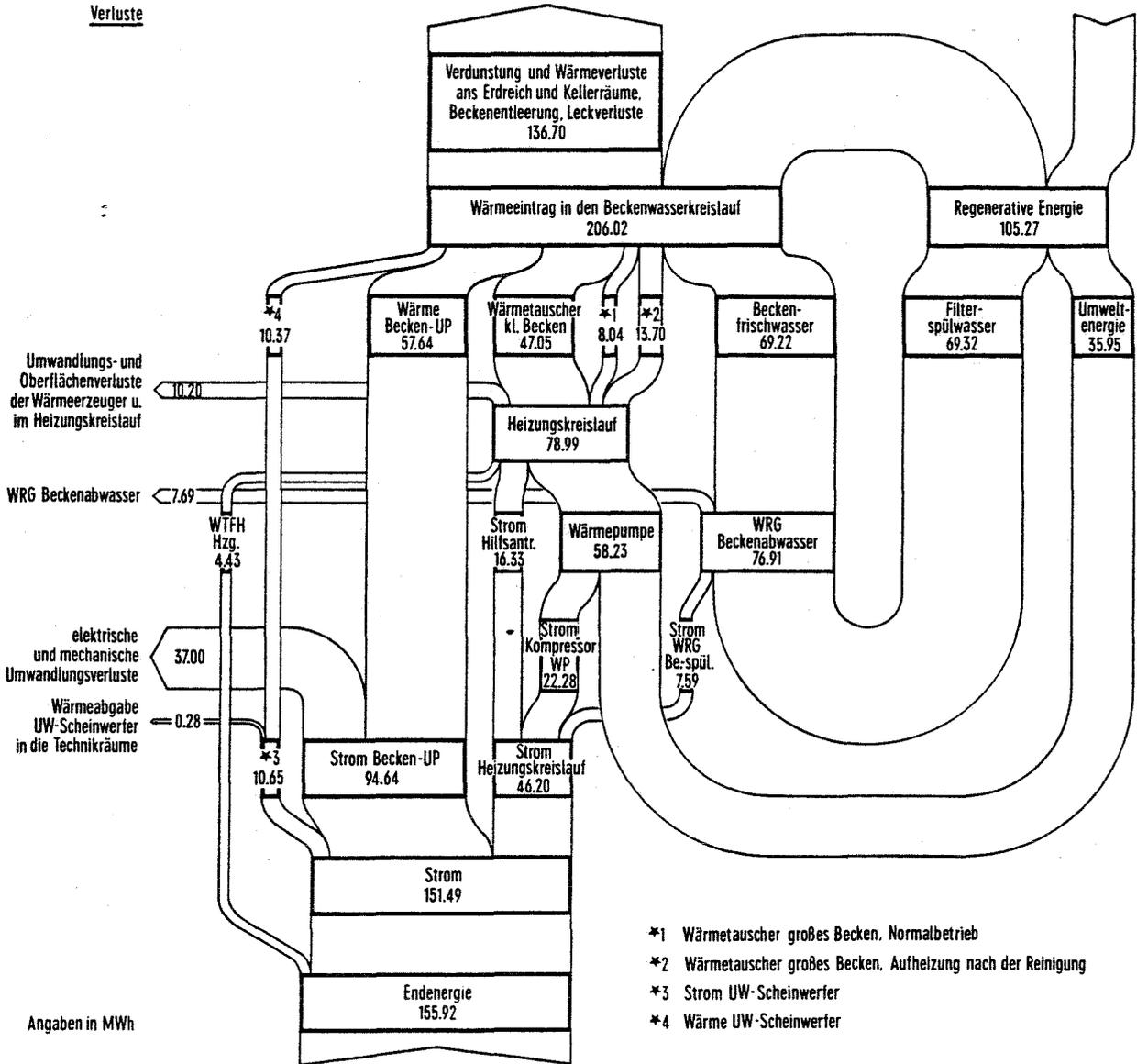
© RWE

RWE

KSH Schwalmtal  
 Ausgetauschte Beckenwassermenge  
 je Badegast

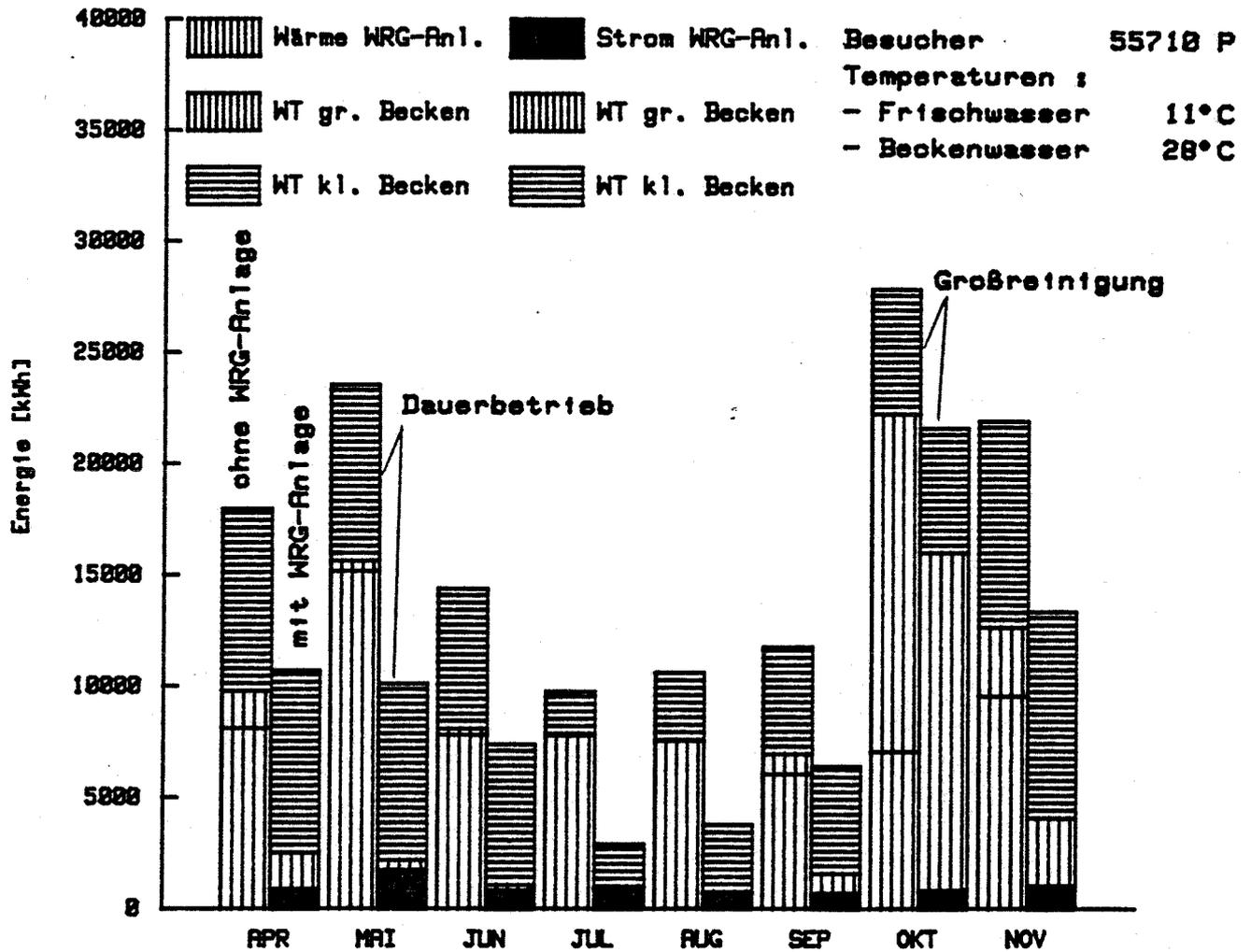
Bild 9

Verluste



**KSH Schwalmtal**  
**Energiebilanz des Beckenwasserkreislaufs**  
 (1.4.-30.11.1983)





AUSWERTUNGSZEITRAUM 01.04.83 - 30.11.83

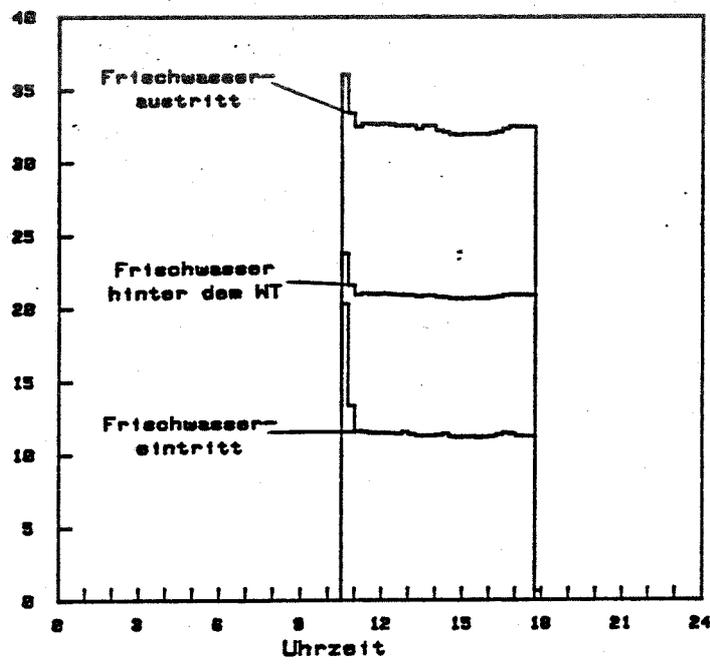
© RWE

RWE

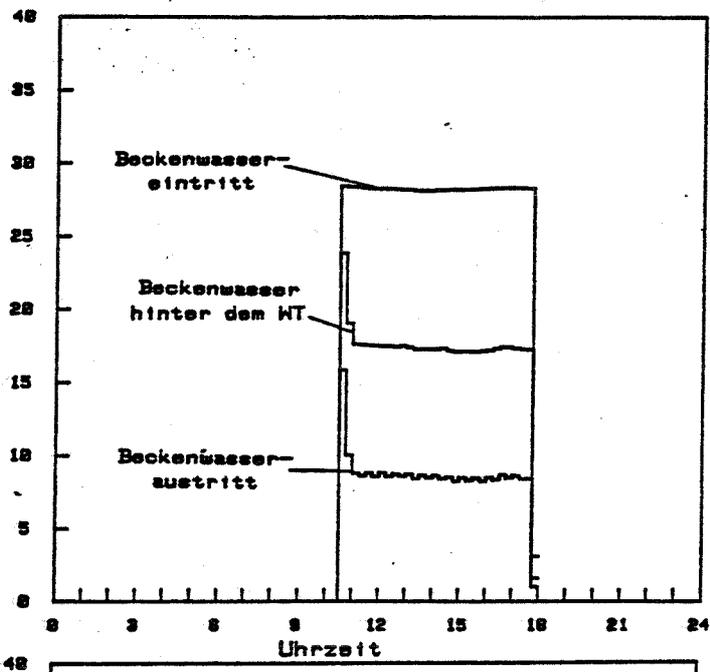
KSH Schwalmtal  
 Vergleich des Endenergiebedarfs  
 zur Beckenwassererwärmung

Bild 12

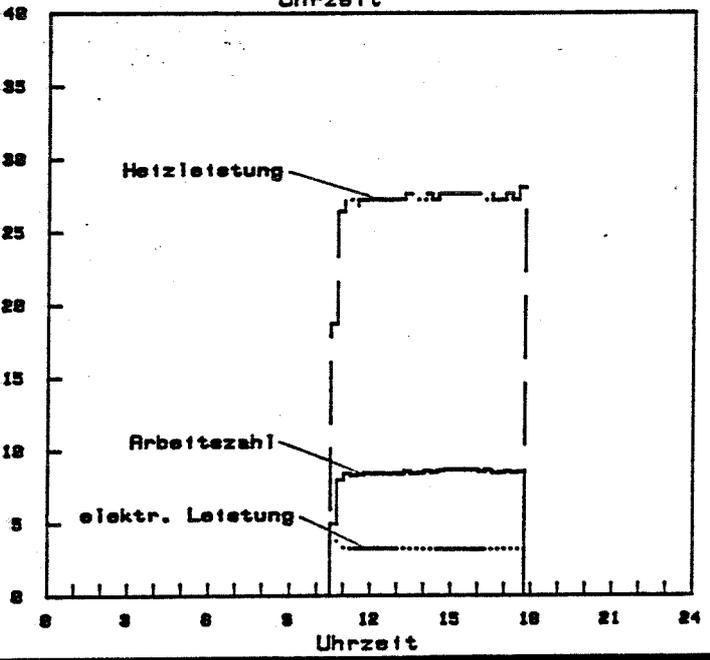
Temperaturen auf der Beckenabwasserseite [°C]



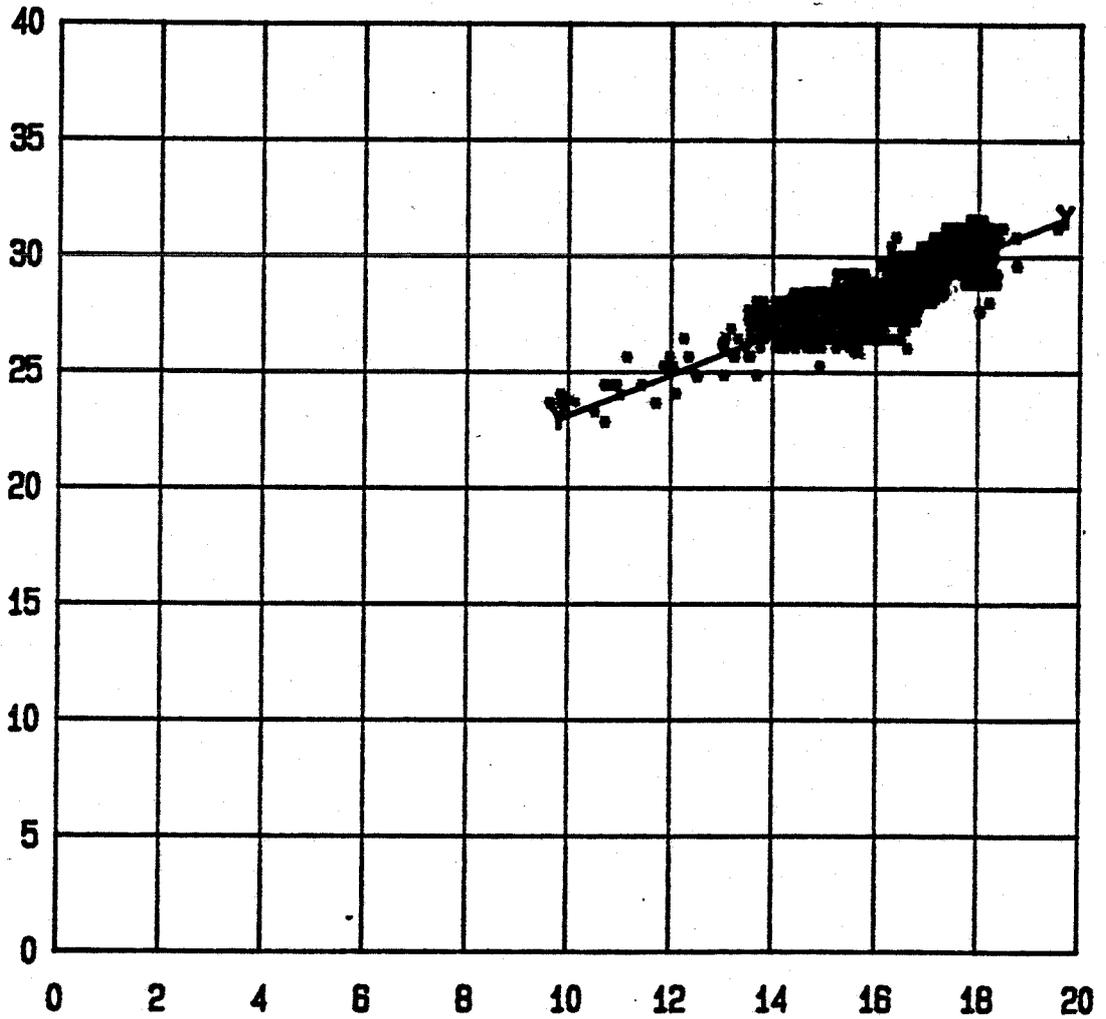
Temperaturen auf der Beckenabwasserseite [°C]



Leistung [kW] und Arbeitzahl [-]



Heizleistung WRG-Anlage [kW]



Temperaturdifferenz (Beckenw.-Frischw.) [K]

© RWE

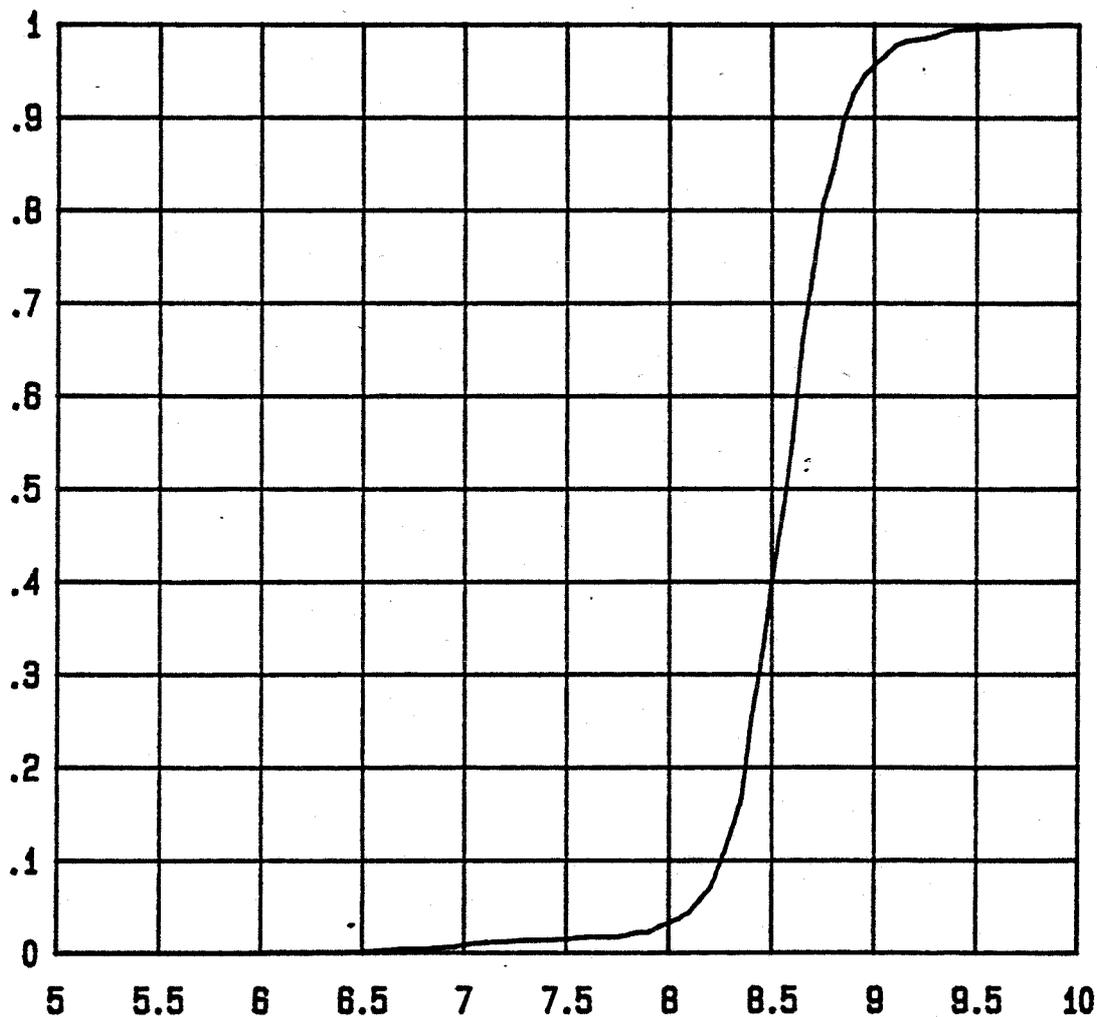
RWE

KSH Schwalmtal (30.5.-29.7.1983)  
Heizleistung der  
Beckenabwasser-WRG-Anlage

Bild 14

ANWENDUNGSTECHNIK

REL. SUMMENHÄUFIGKEIT



Arbeitszahl WRG-Anlage [-]

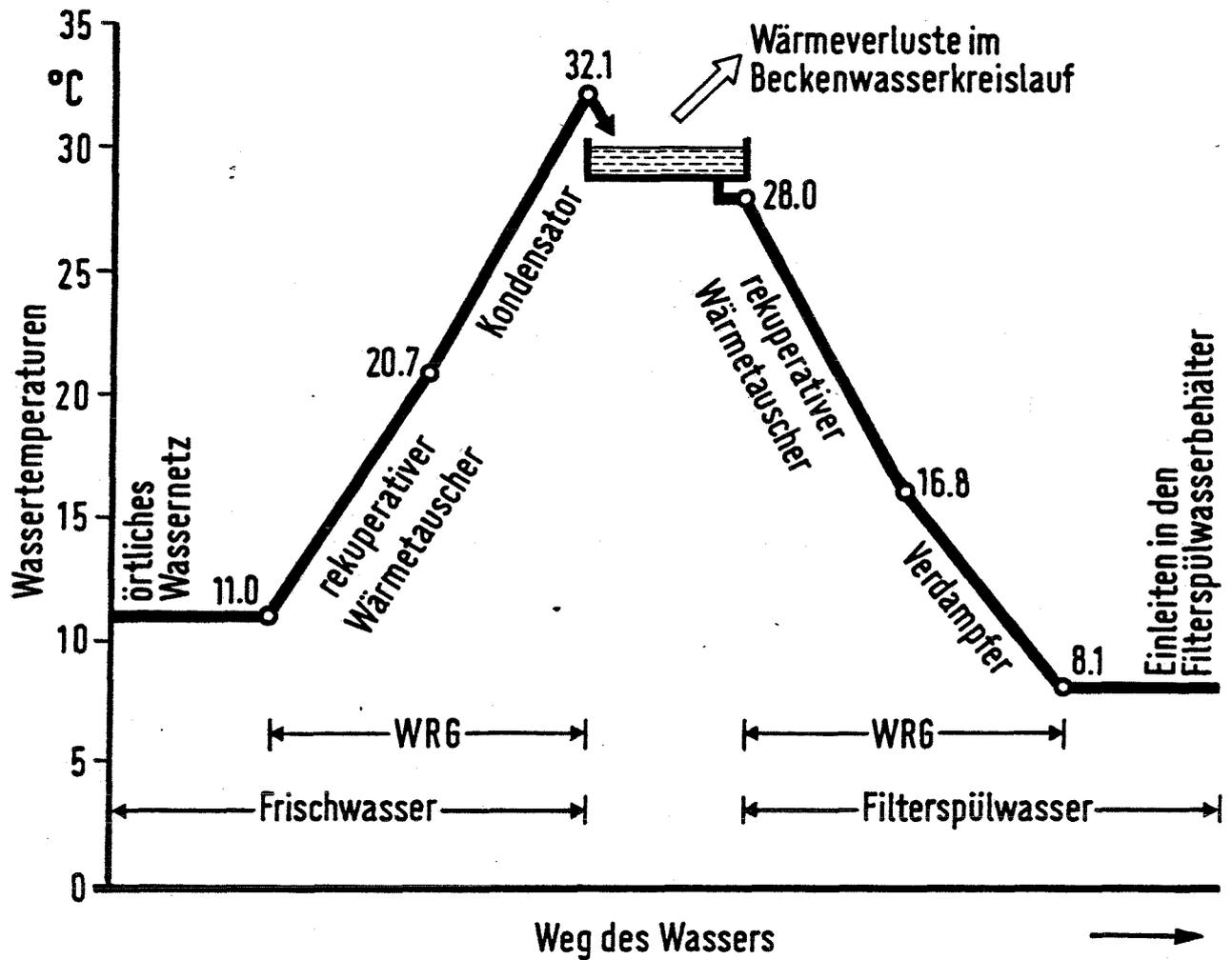
© RWE

RWE

KSH Schwalmtal (4.7.-7.8.1983)  
Häufigkeitsverteilung der viertelstündlichen  
Arbeitszahl der Filterspülwasser-WRG-Anlage

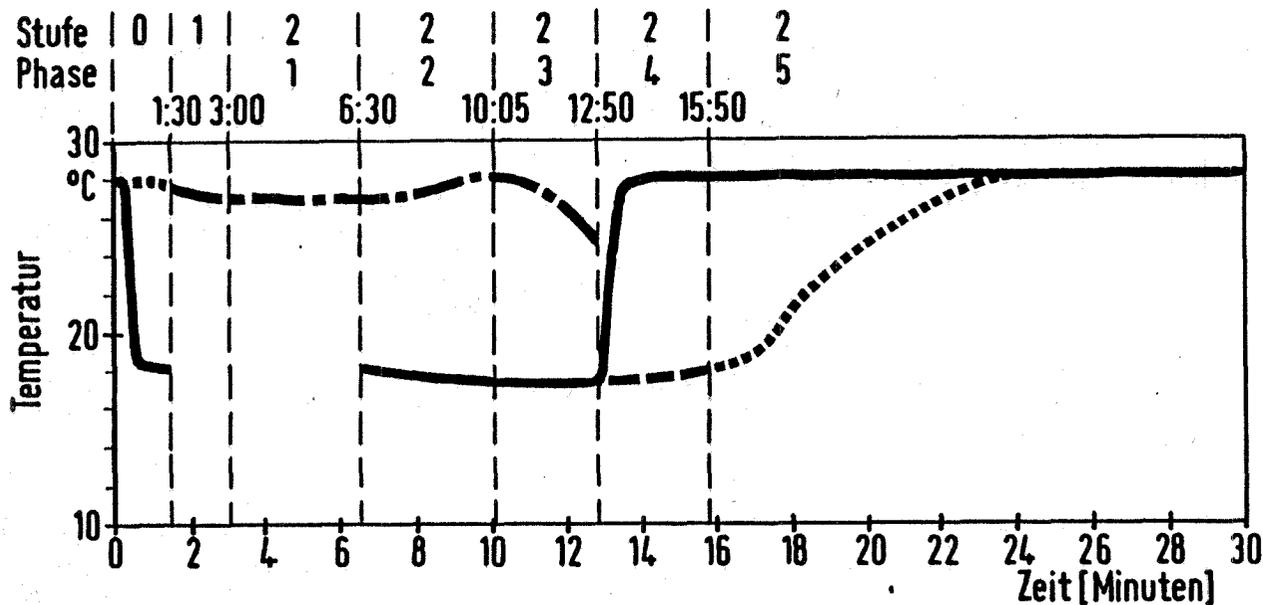
Bild 15

ANWENDUNGSTECHNIK



KSH Schwalmtal  
Temperaturen in der Filterspülwasser-WRG-Anlage  
auf der Frisch- und Filterspülwasserseite

### 1. Spülvorgang



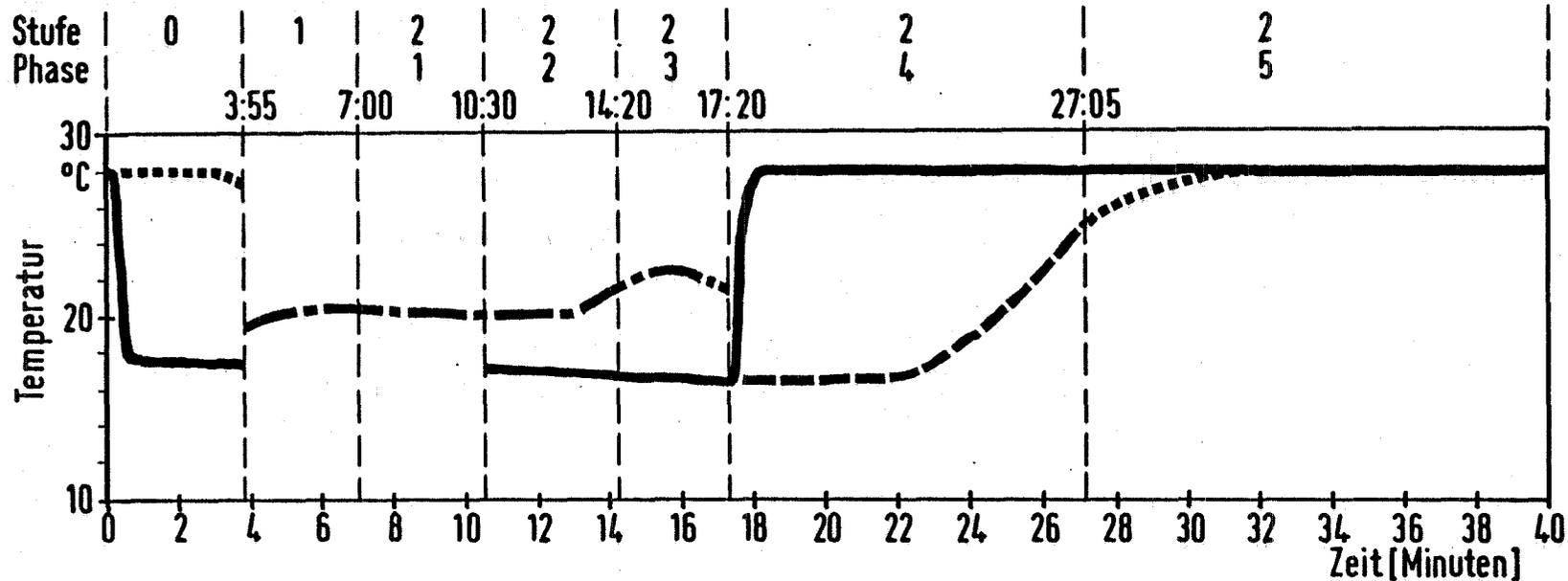
### Temperaturmeßstellen

- M 1 ——— Rohwasser
- M 2 - - - - - Erstfiltrat
- M 3 ········ Reinwasser
- M 4 - · - · - Schlammwasser

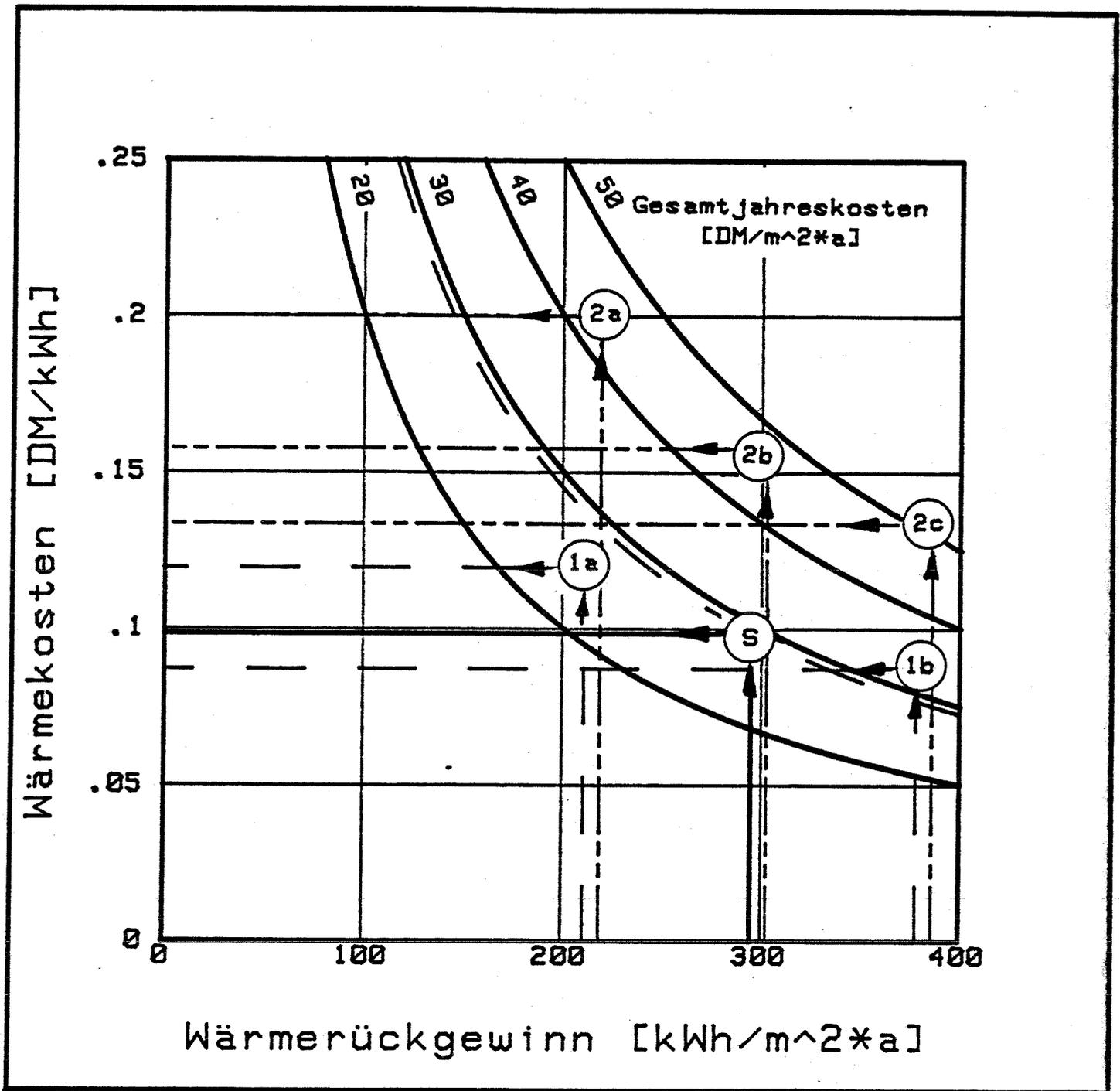
### Stufen u. Phasen

St	Ph	Vorgang
0		Verdrängung warmes Beckenwasser
1		Ab senken des Wasserspiegels
2	1	Luftspülung
2	2	Luft- und Wasserspülung
2	3	Wasserspülung
2	4	Erstfiltrat
2	5	Normaler Wasseraufbereitungs- betrieb

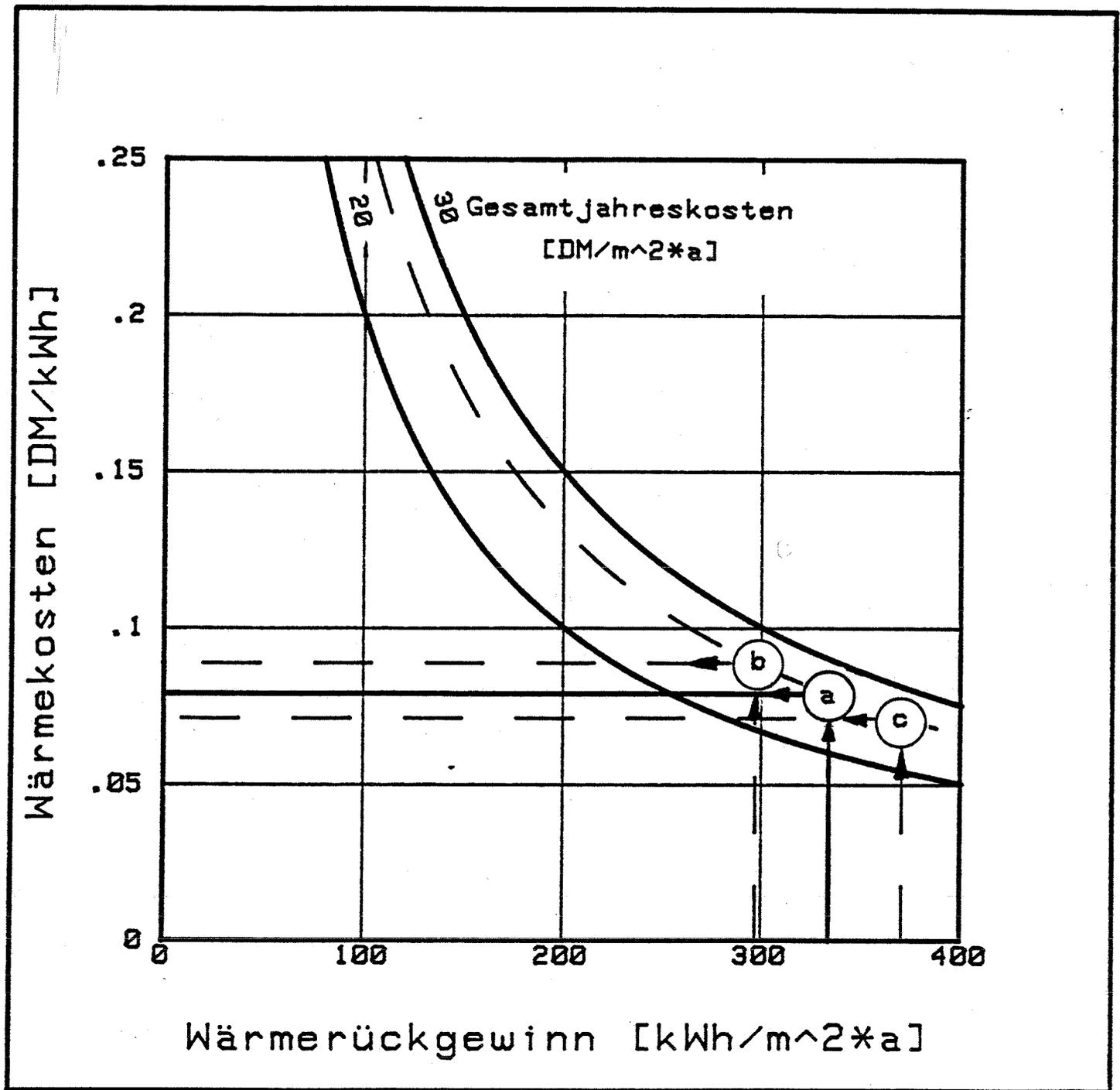
### 2. Spülvorgang



Temperaturverläufe an den Anschlußstutzen des Filterkessels beim Spülvorgang



Auswirkung des Anlagenzustands und der Betriebsstrategie auf die Wärmekosten einer WRG-Anlage am Beispiel der KSH Schwalmtal



Einfluß der Arbeitszahl auf die Wärmekosten  
 einer WRG-Anlage zur Erwärmung der  
 täglich zu erneuernden Beckenwassermenge  
 (Arbeitszahl : a=9,1 ; b=8,1 ; c=10,1)