

Prof. Dr.-Ing. Roman Mair
Beratender Ingenieur



Erlenweg 37
86641 Rain am Lech
Telefon priv.: 09090 701970
gesch.: 089 1265 150
e-mail roman_mair@yahoo.de

ENERGIEBERATUNG

FÜR DAS

SCHULZENTRUM RAIN

Auftragseingang: 04.11.2005
Auftraggeber: Schulverband Rain (Hauptschule)
Hauptstraße 60
86641 Rain am Lech

Datum 07.04.2006

Inhalt

1 Aufgabenstellung und Zusammenfassung	4
1.1 Aufgabenstellung	4
1.2 Zusammenfassung	4
1.2.1 Elektrische Energie	4
1.2.2 Wärmeenergie	4
2 Analyse und Optimierung	5
2.1 Elektrische Energie	5
2.1.1 Allgemeines	5
<u>2.1.1.1 Vergleich mit anderen Schulen</u>	5
<u>2.1.1.2 Andere Stromanbieter</u>	7
2.1.2 Beleuchtung	10
<u>2.1.2.1 Gegenwärtige Situation</u>	10
<u>2.1.2.2 Bereits beabsichtigte Änderungen</u>	13
<u>2.1.2.3 Reduzierung der Leuchten</u>	17
<u>2.1.2.4 Anlagenoptimierung</u>	20
<u>2.1.2.5 Nutzerverhalten</u>	20
2.1.3 (Statische) Heizung	22
2.1.4 Lüftung	25
2.1.5 Elektrogeräte	26
<u>2.1.5.1 Computer</u>	26
<u>2.1.5.2 Monitore</u>	26
<u>2.1.5.3 Drucker</u>	26
<u>2.1.5.4 Faxgeräte</u>	28
2.1.6 Schulküche	29
2.2 Wärme Energie	30
2.2.1 Vergleich mit anderen Schulen	30
2.2.2 Wärmeerzeugung	32
<u>2.2.2.1 Anlagenbeschreibung</u>	32
<u>2.2.2.2 Fahrweise</u>	35
<u>2.2.2.3 Rücklauftemperatur</u>	36
<u>2.2.2.4 Heizkurve</u>	38

<u>2.2.2.5 Brauchwasser</u>	39
2.2.3 Wärmeverteilung	40
<u>2.2.3.1 Fernleitung</u>	40
<u>2.2.3.2 Unterstationen</u>	41
<u>2.2.3.3 Heizzonen</u>	46
<u>2.2.3.4 Hydraulischer Abgleich der Heizzonen</u>	48
<u>2.2.3.5 Lüftung</u>	49
<u>2.2.3.6 Zeitliche Wärmeverteilung</u>	50
2.2.4 Wärmeverluste	54
<u>2.2.4.1 Gesamter Wärmeverlust des Gebäudes</u>	54
<u>2.2.4.2 Lokalisierung der Wärmeverluste</u>	56
<u>2.2.4.3 Erhöhen der Wärmedämmung</u>	69
<u>2.2.4.4 Konvektionsverluste</u>	78
<u>2.2.4.5 Nutzerverhalten</u>	80
3 Schlussbemerkungen	82
Bilder	83
Tabellen	84

1 Aufgabenstellung und Zusammenfassung

1.1 Aufgabenstellung

Die Untersuchung wurde mit dem Ziel in Auftrag gegeben, Schwachstellen im Energiehaushalt der Schule zu lokalisieren und Verbesserungsvorschläge finanziell zu bewerten.

1.2 Zusammenfassung

1.2.1 Elektrische Energie

Der größte Stromverbraucher ist bei weitem die Beleuchtung. Das Umrüsten der Leuchten auf die stromsparenden elektronischen Vorschaltgeräte hilft zwar Strom, aber kein Geld zu sparen. Der Einbau der neuen Leuchten ist zu teuer. Lohnenswert dagegen ist, die Anzahl der geplanten Leuchten pro Raum zu reduzieren.

1.2.2 Wärmeenergie

Der größte Energieverlust wird durch die nicht zeitgemäßen Fenster verursacht.

Fensterscheiben nach dem gegenwärtigen Stand der Technik lassen gerade ein Drittel der momentanen Wärmestromdichte durch.

2 Analyse und Optimierung

2.1 Elektrische Energie

2.1.1 Allgemeines

2.1.1.1 Vergleich mit anderen Schulen

Bild 1 zeigt den maximalen Tagesverbrauch um jeweils 08:00 Uhr über zwei Jahre beobachtet. Der Bereich mit voller Farbe markiert die jahreszeitlich schwankende Grundlast und die Säulen geben die Spitzenlasten an den Schultagen wider.

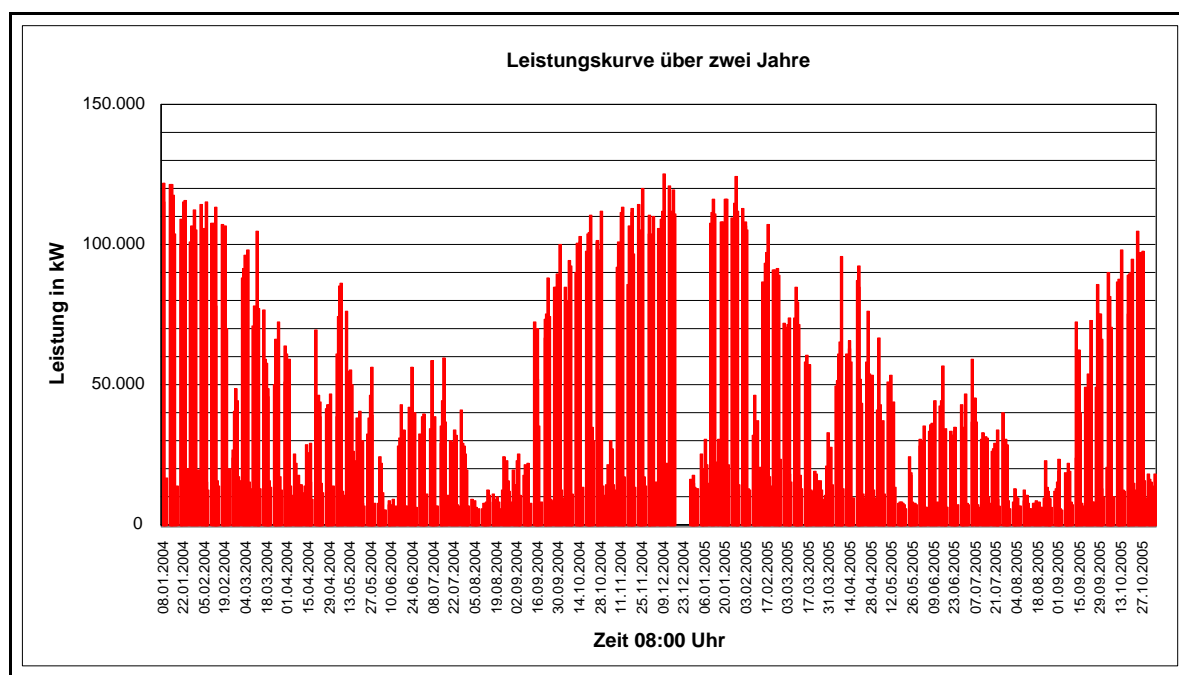


Bild 1: Jahreszeitliche Schwankungen des Stromverbrauchs

Der Jahresstromverbrauch im Jahre 2004 betrug 221.554 kWh/a auf einer Nutzfläche von 10158 m². Das ist für eine Schule mit 21,81 kWh/(a·m²) (vergleiche Tabelle 1) ein mittlerer Wert.

Im Vergleich dazu verbrauchen andere Schulen folgende elektrische Energien:

Schule	Jahr	Spez. Stromverbrauch kWh/(m ² ·a)
Türmchenschule Rostock	1995	21
	1996	26
	1997	25
Förderzentrum am Schwanenteich Rostock	1996	9
	1997	7
Gesamtschule Lütten-Klein Rostock	1996	5
	1997	6
von-Thünen-Gymnasium Rostock	1996	11
	1997	10
Gesamtschule Schwerte	1995	43
	1996	37
	1997	35
	1999	28
	2000	25
Johannes-Bugenhagen-Gymnasium Franzburg	1996	12
Nelly-Pütz-Berufskolleg Düren	1998	38
Realschule Grammdorf	1993	12
	1994	14
	1995	12
	1996	13
	1997	12
	1998	12
	1999	9
	2000	9
Kopernikus-Schule Bützow	1996	10
Käthe-Kollwitz-Schule Bützow	1994	5
	1996	5
	1997	6
Berufskolleg Neuss Weingartstraße	1994	27
	1995	26
	1996	27
	1997	30
	1998	35
Johanneum Lüneburg		
Schule	1997	23
Turnhalle		19
Schule	1998	20
Turnhalle		18,9
Schule	1999	16,6
Turnhalle		14,1
Schule	2000	15,1
Turnhalle		14,3
Schule	2001	14,7
Turnhalle		15,9
Schule	2002	15,1
Turnhalle		16,6
Schule	2003	15,2
Turnhalle		16,7

Tabelle 1: Spezifischer Stromverbrauch unterschiedlicher Schulen

2.1.1.2 Andere Stromanbieter

Die Stromkosten lassen sich durch den Wechsel des Anbieters nicht optimieren. Das Schulzentrum Rain hat derzeit bereits den günstigsten Stromanbieter.

Folgende Anbieter wurden angeschrieben und gebeten für 144 kW Spitzenleistung und einer Abnahme von 170432 kWh HT und 47134 kWh NT, ein Angebot zum Stichtag 01.07.2006 mit einjähriger Laufzeit abzugeben:

Name	Differenz zum besten Anbieter in €
Regensburger Energie- und Wasserversorgung AG & Co KG	kein Angebot
Yello Strom GmbH	kein Angebot
Energie Plus GmbH	Keine Antwort!
eprimo GmbH	Keine Antwort!
EVH GmbH	5.174,54
Lechwerke AG	Bestes Angebot
Strommixer GmbH und Co. KG	Keine Antwort!
Geno Strom GmbH	3.611,47
RWE Rhein-Ruhr Aktiengesellschaft	kein Angebot
Stadtwerke Schwäbisch Hall GmbH	kein Angebot
GGEW Gruppen-Gas- und Elektrizitätswerk Bergstraße AG	Keine Antwort!
Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG	Keine Antwort!
entega Vertrieb GmbH & Co. KG	kein Angebot
Pfalzwerke AG	kein Angebot
Lichtblick GmbH	2.156,37
E.ON Bayern AG	5.803,59

Tabelle 2: Differenz der Stromkosten

Der günstigste Anbieter ist die LEW (vergleiche Tabelle 2). Die genaue Aufstellung ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Strompreise anderer Anbieter											
Name	Straße	PLZ Ort	Messpreis €/mon	Leistungsspez. €/kWh	Leistungspreis €/kWh	Leistungsspez. €/kWh	Arbeitspreis HT €/kWh	Arbeitspreis NT €/kWh	Arbeitspreis HT €	Arbeitspreis NT €	spez. Strompreis €/kWh
REWAG Regensburger Energie- und Wasserversorgung AG & Co.KG	Greflingerstr. 22	93055 Regensburg	kein Angebot		144				170432	47134	
Yello Strom GmbH	Taubenholzweg 1	51105 Köln	kein Angebot								
Energie Plus GmbH	Karlstraße 1	89073 Ulm	keine Antwort!								
eprimo GmbH	Friedrichstr. 45	64521 Groß-Gerau	keine Antwort!								
EVH GmbH	Bornknechtstr. 5	06108 Halle	0	1,41667	204	0,13180	0,11180	22.462,94	5.269,58	0,1387	
Lechwerke AG	Schaezlerstraße 3	86150 Augsburg	0	7,50000	1080	0,05840	0,04440	9.953,23	2.092,75	0,1149	
Strommwer GmbH und Co. KG	Hofstrasse 26 d	26944 Jemgum	keine Antwort!								
Geno Strom GmbH	Heilbronner Str. 41	70191 Stuttgart	125	6,25000	900	0,07500	0,07500	12.782,40	3.535,05	0,1315	
RWE Rhein-Ruhr Aktiengesellschaft	Kruppstraße 5	45128 Essen	kein Angebot								
Stadtwerke Schwäbisch Hall GmbH	An der Limpurgbrücke 1	74523 Schwäbisch Hall	kein Angebot								
GGEW Gruppen-Gas- und Elektrizitätswerk Bergstraße AG	Dammstr. 68	64625 Bensheim	keine Antwort!								
Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG	Taubenstraße 7	38105 Braunschweig	keine Antwort!								
entega Vertrieb GmbH & Co. KG	Landwehrstraße 55	64293 Darmstadt	keine Antwort!								
Pfalzwerke AG	Kurfürstenstr. 29	67061 Ludwigshafen	kein Angebot								
Lichtblick GmbH	Max-Brauer-Allee 44	22765 Hamburg	125	1,64333	236,64	0,10490	0,10490	17.878,32	4.944,36	0,1248	
E.ON Bayern AG	Heinkelstraße 1	93049 Regensburg	125	3,20000	460,8	0,10930	0,10930	18.628,22	5.151,75	0,1416	

Tabelle 3: Preise verschiedener Stromanbieter

Moderne zentrale Leittechnik erlaubt, komplette Schaltkreise einzeln oder in Gruppen programmgesteuert zu schalten. So kann der Vergesslichkeit der Nutzer begegnet werden.

2.1.2 Beleuchtung

2.1.2.1 Gegenwärtige Situation

Die installierte Leistung der gesamten Beleuchtung (ohne Turnhallen) ist etwa 111 kW. 21 kW maximal und 1,5 kW minimal verbraucht zusätzlich die Beleuchtung der Turnhallen. Eine Analyse des Stromverbrauchs an einem typischen Wintertag lässt folgendes erkennen:

- Die elektrische Grundlast (Heizung, Notlicht, ...) beträgt im Winter (Bild 2) etwa 15 kW.
- Von etwa 04:00 bis 07:00 steigt die Leistungsaufnahme der Heizung auf knapp 30 kW an.
- Eine Stunde vor Unterrichtsbeginn wächst der Stromverbrauch linear auf 65 kW an. Dieser Zuwachs von 35 kW resultiert aus der Zuschaltung der Beleuchtungen in Hallen Gängen und Treppenhäusern und durch Zuschalten der Lüftung in den Fachräumen.
- Punkt 08:00 Uhr werden alle belegten Klassenräume schlagartig beleuchtet. Der gesamte Stromverbrauch ist jetzt 120 kW. Von den 110 kW installierter Beleuchtung wurden inzwischen 90 kW aktiviert, 55 kW davon allein in den Klassenräumen. Am Montag, den 17.01.2004, wurden bis zur Pause 15 kW mehr als üblich abgezogen. Vielleicht war die Turnhalle zu der Zeit belegt.
- Um 10:30 werden für kurze Zeit, sehr diszipliniert, alle Beleuchtungen der Klassenräume gelöscht.
- Nach der Pause werden, des Tageslichts wegen, weniger Lampen eingeschaltet. Die Variationen des Verbrauchs an unterschiedlichen Tagen hängt vom momentanen Wetter ab. Bei schlechtem Wetter wird auch um die Mittagszeit Licht benötigt.
- Nachmittags ab etwa 13:00 Uhr sind alle Beleuchtungen in den Klassenräumen aus (Niveau 65 kW) und die verbleibenden Verbraucher klingen allmählich bis 17:30 Uhr ab.
- Die elektrische Last bleibt, vermutlich wegen diverser Veranstaltungen, bis fast gegen Mitternacht relativ (25 kW) hoch.

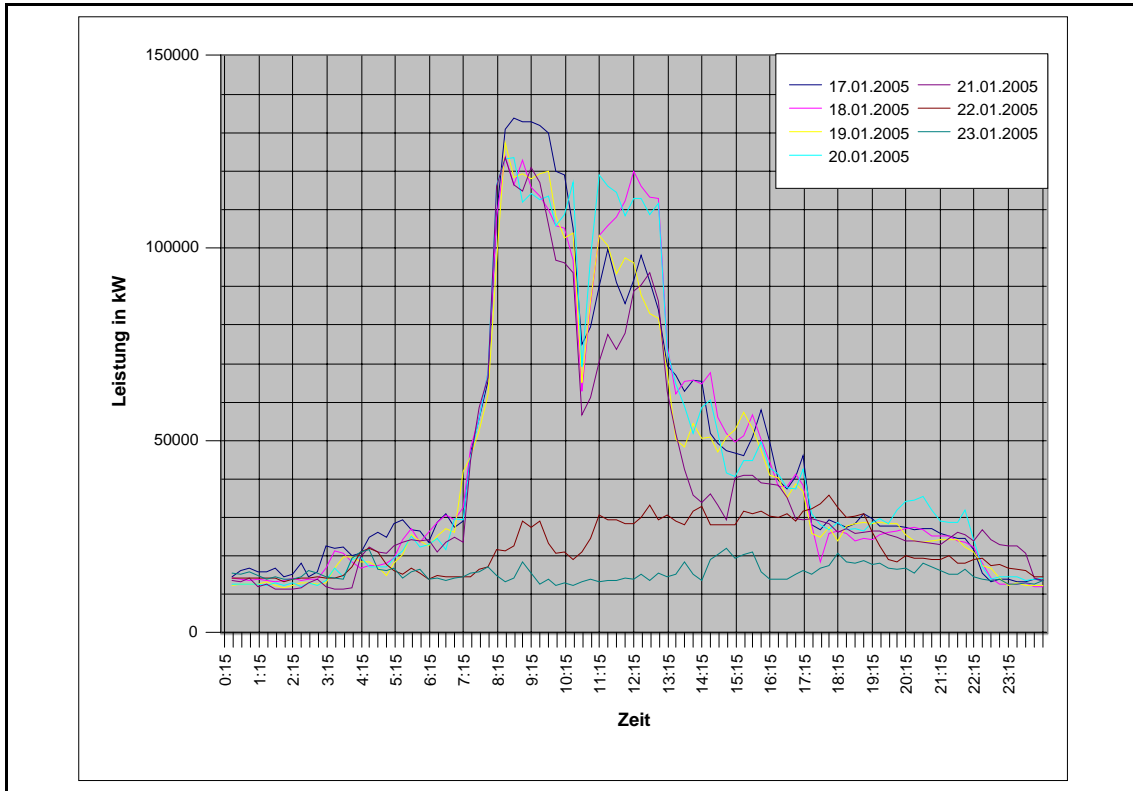


Bild 2: Typisches Leistungsprofil im Winter

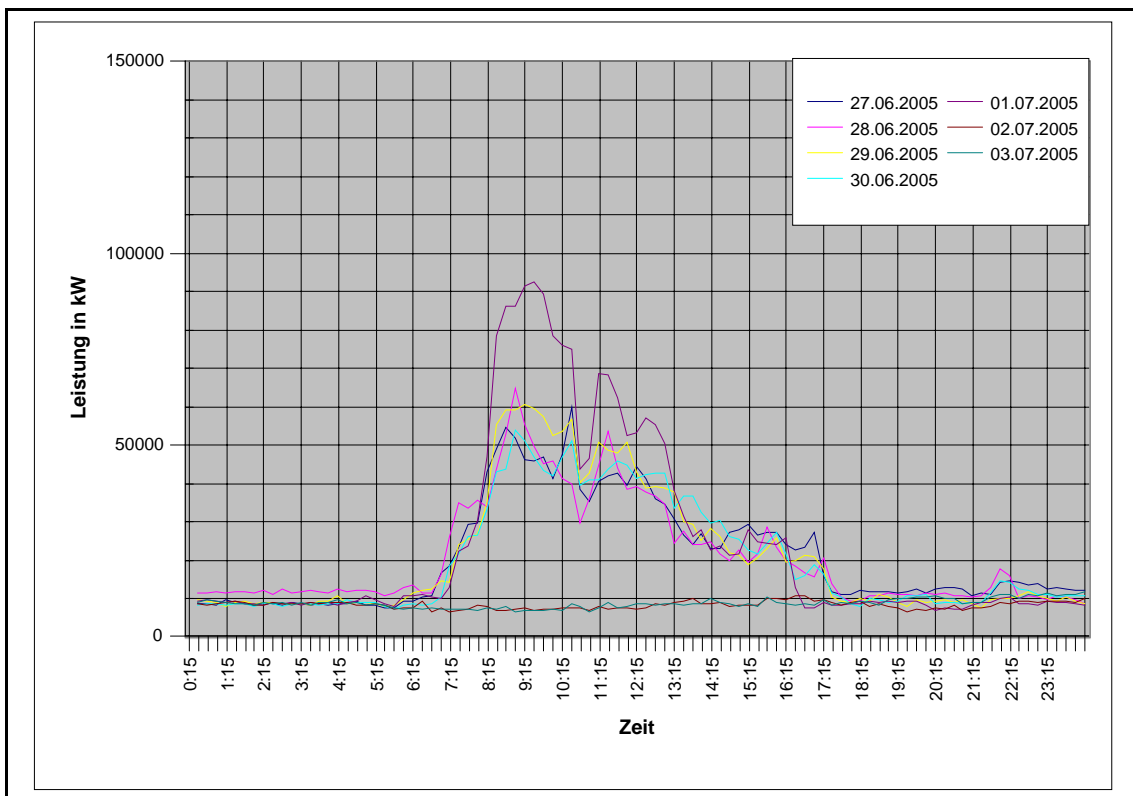


Bild 3: Typisches Leistungsprofil im Sommer

Eine Analyse des Stromverbrauchs an einem typischen Sommertag lässt folgendes erkennen:

- Die elektrische Grundlast, deren Ursache unklar ist, beträgt im Sommer (Bild 3) etwa 10 kW.
- Die Grundlast bleibt bis 07:00 etwa konstant.
- Eine Stunde vor Unterrichtsbeginn wächst der Stromverbrauch linear auf 45 kW an. Dieser Zuwachs von 35 kW resultiert aus der Zuschaltung der Beleuchtungen in Hallen Gängen und Treppenhäusern und durch Zuschalten der Lüftung in den Fachräumen.
- Punkt 08:00 Uhr steigt nur am Freitag, den 1.07.2005 der Stromverbrauch um etwa 50 kW. Vermutlich war das ein trüber und regnerischer Tag.
- Um 10:30 werden für kurze Zeit, sehr diszipliniert, alle Beleuchtungen der Klassenräume gelöscht.
- Nach der Pause werden, des Tageslichts wegen, weniger Lampen eingeschaltet. Die Variationen des Verbrauchs an unterschiedlichen Tagen hängt vom momentanen Wetter ab. Bei schlechtem Wetter wird auch um die Mittagszeit Licht benötigt.
- Nachmittags ab etwa 13:00 Uhr sind alle Beleuchtungen in den Klassenräumen aus (Niveau 30 kW) und die verbleibenden Verbraucher klingen allmählich bis 17:00 Uhr ab.
- Danach wird nur noch die Grundlast von 10 kW benötigt. In dieser Woche fanden vermutlich abends keine Veranstaltungen in der Schule statt.

2.1.2.2 Bereits beabsichtigte Änderungen

Die Beleuchtung hat, vor allem im Winter, einen wesentlichen Bestandteil am elektrischen Energieverbrauch. Das Ausleuchten der Räume geschieht durchweg mit Leuchtstoffröhren. Diese haben eine lange Lebensdauer und werden deshalb selten erneuert. Bei einem Ausfall einer Leuchtstoffröhre wird meistens nur die ausgefallene Röhre erneuert. Die meisten Lampen im Schulgebäude sind daher veraltet und haben einen relativ großen Energieverbrauch.

Die ältere Leuchten werden alle mit den konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) betrieben. Diese haben sehr hohe Verluste und bewirken einen unnötigen Stromverbrauch. Diese Vorschaltgeräte kann man durch verlustarme Vorschaltgeräte (VVG) verbessern. Neuere elektronischen Vorschaltgeräte (EVG) verringern nicht nur unnötige Verlustleistungen, sondern bieten zusätzliche, wichtige Verbesserungen.

Zur Zeit sind die Leuchtstoffröhren T8 (Lampendurchmesser 26 mm) am häufigsten im Einsatz.

Die neuen Leuchtstofflampen T5 (Lampendurchmesser 16 mm) haben einen wesentlich geringeren Stromverbrauch.

Eine Umrüstung von KVG/VVG T8 Technik auf moderne EVG T5 Technik führt beispielsweise bei T8 Leuchtstofflampen zu 22% und bei modernen T5 Leuchtstofflampen zu 45 – 55% Einsparungen an elektrischer Energie.

Die Wärmeentwicklung ist um 30% geringer als bei KVG/VVG Geräten.

KVG/VVG Geräte haben einen Nutzungsgrad von ca. 0,5 cos/phi. für den eigenen Bedarf (hoher Blindstrom). EVG Geräte dagegen haben einen Nutzungsgrad von ca. 0,97 cos/phi (sehr niedriger Blindstrom).

Eine Einsparung von elektrischer Energie entspricht aber keineswegs einer Energieeinsparung im gleichen Maße. Das was die alten Lampen mehr an Energie verbrauchen, geben sie in Form von Wärme an die Umgebung, beispielsweise an den Klassenraum, ab. Die alten Lampen sind also als elektrische Zusatzheizung, jedoch mit etwa dreifachen Energiekosten gegenüber Erdgas, zu sehen.

Von dem vorhin angesprochenen möglichen Einsparpotential beflügelt wurde im Frühjahr 2004 von der Firma RIDI Leuchten GmbH, Jungringen, ein neues Beleuchtungskonzept entwickelt. Wegen der jetzt besseren Ausleuchtung der Klassenräume mit 500 Lux sind die Einsparungen nicht in dem Maß sichtbar, wie es bei einem Austausch bei der alten Beleuchtungsintensität der Fall gewesen wäre.

In Tabelle 4 sind die Kosten für die Umrüstung auf eine neue Leuchte aufgeführt.

Bezeichnung	Preis in €
1 Osram L 58W/840 L-Lampe LUMILUX-PLUS ECO weiß L 58W / 21-840 25x1	2,28
1 RIDI XALM AL-EVG - damit entfällt Starter	114,90
1 Verbindung RIDI B200282 ALMKN 2-fach 180 Grad	11,70
1 Stecker ("Männlein oder Weiblein")	1,90
Zuzüglich Mehrwertsteuer (16 %)	20,92
Arbeitslohn 1,25 h je Lampe	36,25
Eine allgemeine Leuchte kostet	187,95
Eine Tafelleuchte kostet	129,95

Tabelle 4: Kosten für die Umrüstung einer Lampe

Die Einsparungen an elektrischer Energie zeigen sich bei den bisher umgerüsteten Klassenzimmern im Bereich zwischen 94 und 526 Watt (Tabelle 5) . Die mittleren Kosten einer Leuchte setzt sich aus der Anzahl normaler Leuchten und der Anzahl von Tafelleuchten zusammen.

Raum	Alte Leuchten			Neue Leuchten			Ersparnis in Watt	Gesamtkosten in Euro	Leuchtenkosten in Euro im Mittel
	Anzahl	Einzelleistung in Watt	Gesamtleistung in Watt	Anzahl	Einzelleistung in Watt	Gesamtleistung in Watt			
004	35	36	1260	17	58	986	274	3079,15	181,13
105	30	36	1080	17	58	986	94	3079,15	181,13
203	42	36	1512	17	58	986	526	3079,15	181,13
204	40	36	1440	17	58	986	454	3079,15	181,13

Tabelle 5: Ersparnis und Kosten der bereits umgerüsteten Klassenräume

Sofortiges Auswechseln der Beleuchtungen in allen Klassenräumen

Für einen typischen Klassenraum, Raum 118, wird im Folgenden die Rentabilität der Investition betrachtet. Der Raum besitzt zur Zeit 37 Leuchten a 36 Watt Leistung. Das entspricht einer Gesamtleistung von 1332 Watt. Das neue Beleuchtungskonzept geht von 15 Leuchten moderner Bauart und 2 Tafelleuchten a 58 Watt mit einer Gesamtleistung von 986 Watt aus. Das entspricht einer Ersparnis von 346 Watt elektrischer Energie. Zieht man die nun fehlende Wärmequelle mit dem geldwerten Faktor 0,3 ab verbleiben 242 Watt an echter Energieeinsparung.

Eine Leuchte alter Bauart lebt im Mittel 13000 h. Das heißt, von den noch installierten Lampen leben alle im Durchschnitt etwa 6500 h. Das sind bei einer Leuchtdauer von 6 h/d und 160 d/a noch 6,8 Betriebsjahre im Mittel für alle alten Leuchten.

Daraus lassen sich bei bisherigen Stromkosten (ca. 13 c/kWh) die gerade noch rentablen Investitionen zu 12,04 €/Leuchte bestimmen. Die Annuität ($ANF_{n,i} = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$) ist dabei noch gar nicht berücksichtigt. Aus Bild 4 ist deutlich zu erkennen, dass ein sofortiger Austausch aller Leuchten bei einem Aufwand von 181,13 € absolut nicht zu empfehlen ist. Es müssen zwar irgendwann einmal alle alten Leuchten durch neue, schon wegen der Ersatzteile, ersetzt werden, aber sinnvoll ist es vielmehr Klassenraum für Klassenraum die Leuchten in dem Maße zu erneuern, wie die alten Leuchtmittel (Leuchtröhren) verbraucht sind.

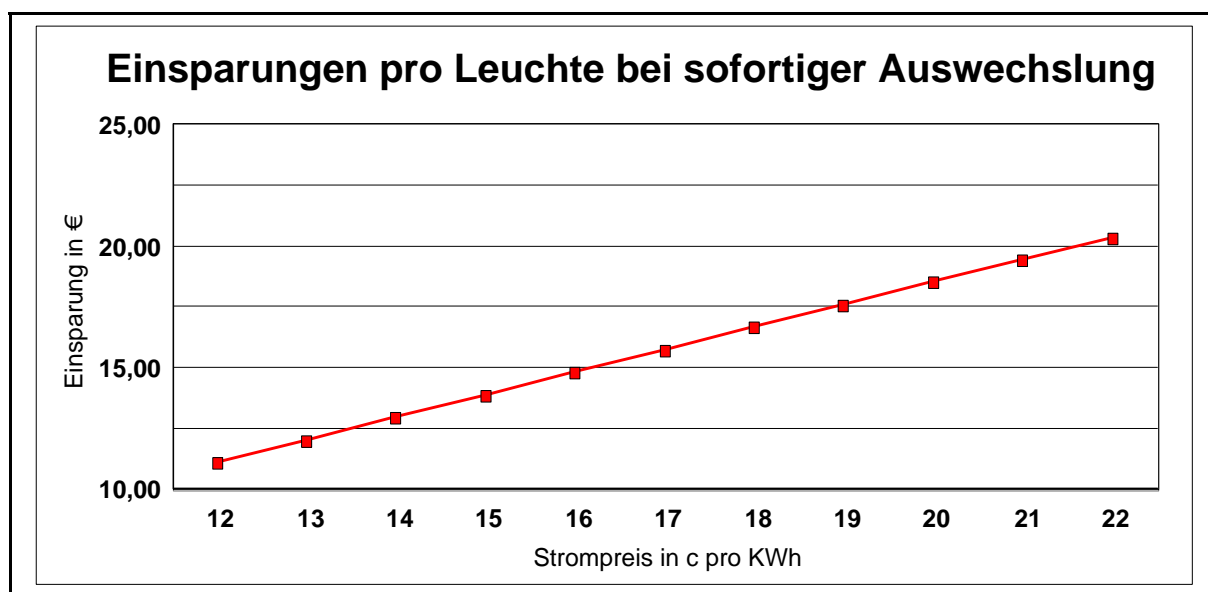


Bild 4: Rentabler Leuchtenpreis in Abhängigkeit des Strompreises

Die modernen Leuchten beginnen erst nach etwa 100 Jahren Geld zu verdienen. Diese Investition hat zwar einen ökologischen, aber keinen ökonomischen (Bild 5) Nutzen!

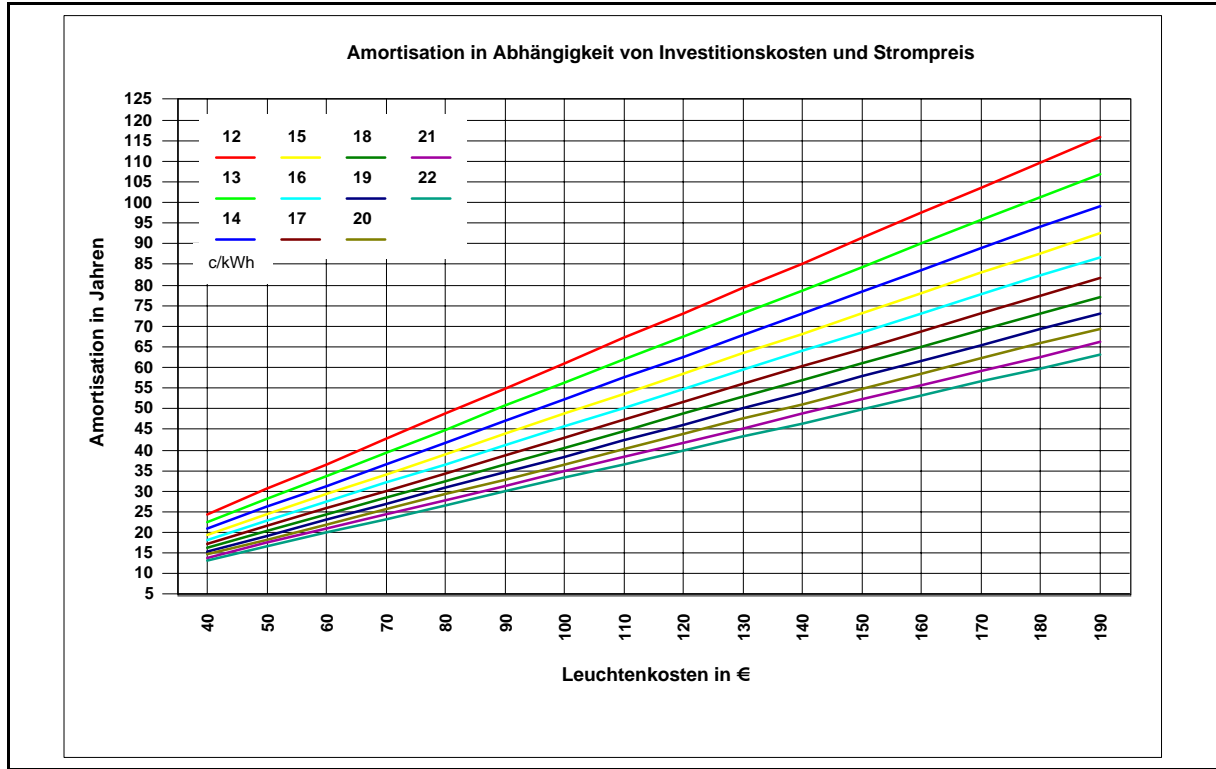


Bild 5: Amortisation der neuen Leuchten

2.1.2.3 Reduzierung der Leuchten

Um das Auswechseln der Leuchten führt langfristig schon wegen dann fehlender Ersatzteile kein Weg vorbei. Es ist aber zu überlegen, ob die vorhandene Leuchtendichte so notwendig ist.

Die Beleuchtungsstärke in Lux (Lux = Lichtstreuung auf einer Fläche von einem Quadratmeter) wird in 65 - 75 cm Höhe oberhalb des Fußbodens gemessen. Für den Raum 118 ergeben sich theoretisch Beleuchtungsstärken einmal bei zwei Leuchtenbänder und einmal für drei Leuchtenbänder wie sie in Bild 6 dargestellt sind. Bei drei Leuchtenreihen werden maximale Beleuchtungsstärken zwischen 600 und 800 lx und mit zwei Leuchtenreihen 450 -600 lx errechnet.

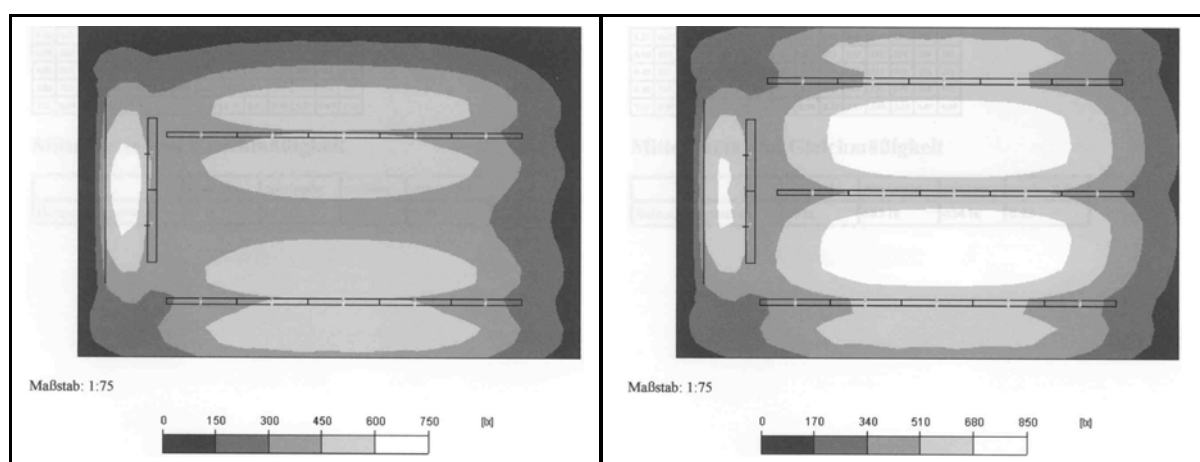
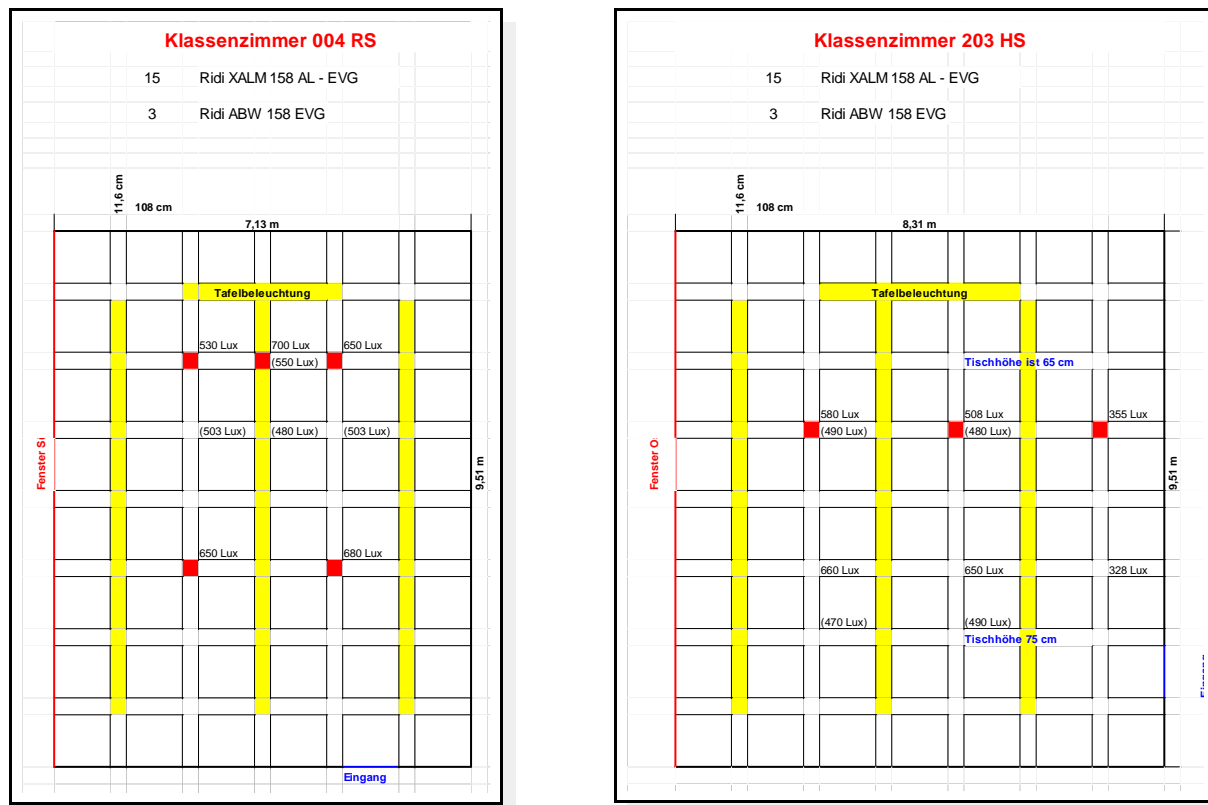


Bild 6: a) Beleuchtungsstärken im Raum 118 mit zwei Leuchtenreihen
b) mit drei Leuchtenreihen

Tatsächlich wurde in dem vergleichbaren Raum 004 der Realschule eine Beleuchtungsstärke bis zu 700 lx gemessen. Nach dem Abschalten einer Leuchte im mittleren Band ist die Beleuchtungsstärke direkt darunter immer noch 480 lx (Bild 7 a , Klammerwerte). Im Raum 203 der Hauptschule wurden bei voller Beleuchtung maximal 650 lx und nach Abschalten einer Leuchte noch 480 lx gemessen (Bild 7 b).



**Bild 7: a) Gemessene Beleuchtungsstärken Raum 004 RS
b) Raum 203 HS**

Die DIN EN 12464 Licht und Beleuchtung, Teil 1: Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen (zitiert: DIN EN 12464-1) regelt später auch die Beleuchtungsstärken in Schulen. Diese europäische Beleuchtungsnorm ersetzt seit März 2003 wesentliche Teile der nationalen DIN 5035.

Mindestanforderungen an Beleuchtungsstärken für Arbeitsplätze nach der alten DIN 5035 "Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht", Teil 2 bzw. den Arbeitsstättenrichtlinien ASR 7/3 sind wie folgt.

Büroräume (in Schulen) mit tageslichtorientierten Arbeitsplätzen

- in unmittelbarer Fensternähe 300 Lux
- Büroräume 500 Lux
- Großraumbüros 750 - 1000 Lux

- Bildschirmarbeitsplätze BAP min. 300 , max. 500 Lux
- Lesesaal, Lesezonen 300 - 500 Lux
- Magazine 200 - 300 Lux
- Pausen und Sozialräume 100 - 200 Lux

Für die Beleuchtung von Klassenzimmern gelten die gleichen Anforderungen wie für eine Bürobeleuchtung. Nach DIN 5035- T2/T4 muss die Beleuchtungsstärke in den jeweiligen Räumen folgende Werte erfüllen:

- Unterrichtsräume: 300 Lux
- Fachräume: 500 Lux
- Sporthalle/Wettkampf: 200 Lux / 400 Lux
- Vorbereitungs- u. Sammlungsräume, Pausenhalle: 250 Lux
- Zeichen-, Werk- und Nähräume: 500 - 1000 Lux
- Flure, Treppen, Umkleide- und Waschräume, Toiletten 60 - 120 Lux

In den "Hinweisen zum kommunalen Energiemanagement" des Deutschen Städtetages sind ähnliche Werte genannt.

Der Energieverbrauch bei einer Nennbeleuchtungsstärke von 500 Lux beträgt, nebenbei bemerkt, ca. 30 W/m², Leuchtstofflampen vorausgesetzt.

Neue Lampen strahlen um 25 % heller als alte.

Schon das Entstauben verschmutzter Lampen kann, wegen der Reflexion oben im Gehäuse, eine bis zu 40% höhere Beleuchtungsstärke erbringen.

300 lx lassen sich Klassenzimmern auch dann mit Sicherheit erreichen, wenn jede zweite Leuchte in mittleren Lichtbändern herausgenommen wird.

Bei rund 32 Unterrichtsräumen und einer mittleren Einsparung von 3 Leuchten pro Klassenzimmer lassen sich so

$32 \text{ Räume} \cdot 3 \text{ Leuchten/Raum} \cdot 187,95 \text{ €/Leuchte} = \mathbf{18.043,20 \text{ €}}$

Investitionskosten sparen.

Die eingesparten Stromkosten belaufen sich bei einer Leuchtdauer von 6 h/d und 160 d/a auf:

$32 \text{ Räume} \cdot 3 \text{ Leuchten/Raum} \cdot 0,058 \text{ kW/Leuchte} \cdot 6 \text{ h/d} \cdot 160 \text{ d/a} = 5345,28 \text{ kWh/a.}$

Setzt man die bisherigen Stromkosten von 0,13 €pro kWh an, ergeben sich jährliche Einsparungen von **694,89 €a.**

2.1.2.4 Anlagensoptimierung

Die WC-Beleuchtung ist so geschaltet, dass das Licht immer in den WCs aller Etagen brennt. Die Schaltung der WC-Beleuchtung sollte für jede Etage separat installiert werden.

Die Bewegungsmelder für Gänge sollten so angebracht sein, dass sie beim Betreten des Gangs und nicht beim Vorbeigehen aktiviert werden.

Wirkungsvoll bezüglich Energiesparen ist die automatische Steuerung (stufenweises Abschalten oder Dimmen) der künstlichen Klassenzimmerbeleuchtung in Abhängigkeit des Tageslichts.

Die Anpassung an das natürliche Tageslicht kann stufenweise durch Abschalten oder kontinuierlich durch Dimmen erfolgen. Stufenweises Anpassen erfordert keine zusätzlichen Maßnahmen an den Leuchten, jedoch an der Verkabelung. Die Reduktion pro Stufe sollte möglichst nicht mehr als ca. 30 % betragen. Bei größeren Stufen kann der plötzliche Helligkeitswechsel wegen der fehlenden Adaptation als unangenehm empfunden werden.

Eine kontinuierliche Anpassung ist die komfortabelste Lösung und für den Benutzer oft nicht bemerkbar. Außerdem ist hier die Energieersparnis am größten. Die Bezugsgröße kann auf drei Arten ermittelt werden:

- Beleuchtungsstärke an der Außenfassade,
- Beleuchtungsstärke im Raum oder Leuchtdichte am Schultisch.

Mit innenliegenden Lichtsensoren kann auch der Einfluss der Beschattungseinrichtungen erfasst werden. Dabei setzt sich die Leuchtdichtemessung am Arbeitsplatz immer mehr durch.

Bei tiefen Klassenräumen ist es zweckmäßig, mehrere unabhängige Steuerkreise für die verschiedenen Raumzonen zu installieren. Außerdem sollte bei großen Räumen mit zentralem Schalttableau die Beleuchtung bei ungenügendem Tageslicht nur von Hand eingeschaltet werden können, weil dies den Spareffekt bei richtigem Nutzerverhalten erhöht.

In schwach frequentierten Räumen (Lagerräume, Besprechungszimmer, Archive, Dunkelkammer, eventuell Toiletten etc.) sollten Bewegungsmelder zur automatischen Abschaltung installiert werden.

2.1.2.5 Nutzerverhalten

Die Schülerinnen und Schüler sollten im Unterricht für das Energiesparen sensibilisiert werden. In den Schulen, in denen Projekte über Energiesparen durchgeführt wurden (vergleiche Tabelle 1), sank nachweislich der Energieverbrauch im Laufe der Zeit.

Die effizienteste und auch die wirtschaftlichste Methode zur Energieeinsparung bei der Beleuchtung ist der Griff zum Schalter. Dabei ist eine separate Schaltmöglichkeit der Leuchten in der Fensterzone sehr von Nutzen.

Alle außerschulischen Veranstaltungen sollten möglichst auf gemeinsame Tage und gemeinsame Stunden gelegt werden.

2.1.3 (Statische) Heizung

Der weitaus größte Teil an elektrischer Energie innerhalb der Heizungsanlage wird von den Pumpen verbraucht. Sie müssen das warme Wasser durch den Reibungswiderstand der Rohrwände und der Ventile drücken.

Hinter den in Reihe geschalteten Kesseln stehen vier Pumpen (Bild 8), die das Wasser aus den Kesseln saugen und in die Fernleitung drücken.

Neben der Reservepumpe mit 11 kW arbeiten je nach Heizlast die kleine Pumpe mit 3 kW, die mittlere mit 7 kW oder die große mit 11 kW.



Bild 8: Pumpen im Heizraum

Während mehrerer Inspektionen des Kesselhauses sprang trotz geringer Heizlast (Außentemperatur + 4 °C, und alternierender Betrieb des Gaskessels) die Pumpe 2 unnötigerweise bei jedem Anfahren des Kessels an.

Die Regelung der Pumpen ist nicht bekannt. Sobald die Differenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur einen gewissen Wert überschritt wurde von Pumpe 1 mit 3 kW auf Pumpe 2 mit 7 kW geschaltet. Das war immer der Fall, wenn der Gaskessel in Betrieb ging.

Hier sollte die Steuerung überprüft und korrigiert werden.

Von der Fernleitung verteilt sich der Heizungsvorlauf auf fünf Unterstationen. In jeder Unterstation sorgen zwei Pumpen (Bild 9) für Druck im Vorlauf. Während zweier Inspektionen zeigte der Vorlaufdruck ungefähr 9,5 m Wassersäule bei allen Unterstationen an. Das legt den Verdacht nahe, dass alle Pumpen ständig im Volllastbetrieb fahren.



Bild 9: Unterstation

Die Schaltung der Heizung ist nicht bekannt und der Planer, das Ingenieurbüro Ott aus Rain am Lech, zeigte sich bezüglich der Einsicht in Planungsunterlagen nicht kooperativ. Aufgrund der Beobachtungen müsste das Heizungsschema grob wie in Bild 10 dargestellt aussehen.

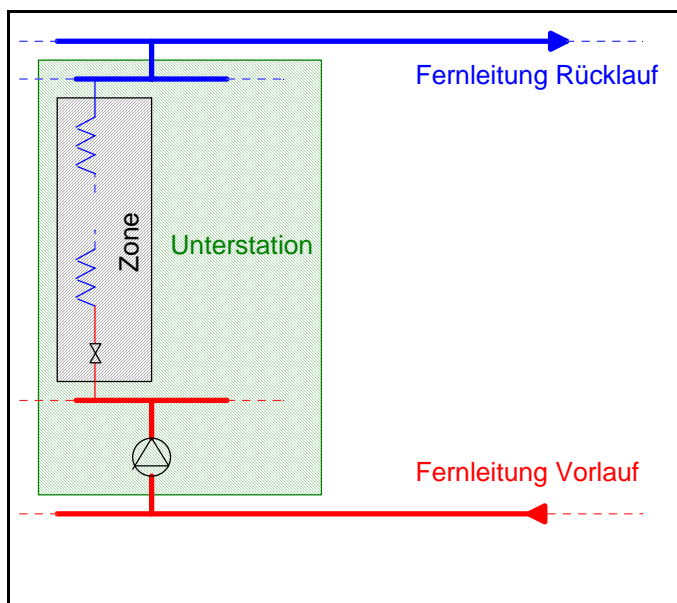


Bild 10: Grobes Schaltschema der Heizung

Die Leistungsaufnahme aller eingebauten Pumpen der Firma Wilo lassen sich mittels dem gemessenen Differenzdruck zwischen Vor- und Rücklauf steuern. So kann bei gedrosselten oder geschlossenen Zonenventilen die Leistungsaufnahme reduziert werden. Im Sommerbetrieb sind die Pumpen auszuschalten und auf Pumpenkick (alle 24 h kurzer Anlauf wegen Stillstandsblockade) zu programmieren.

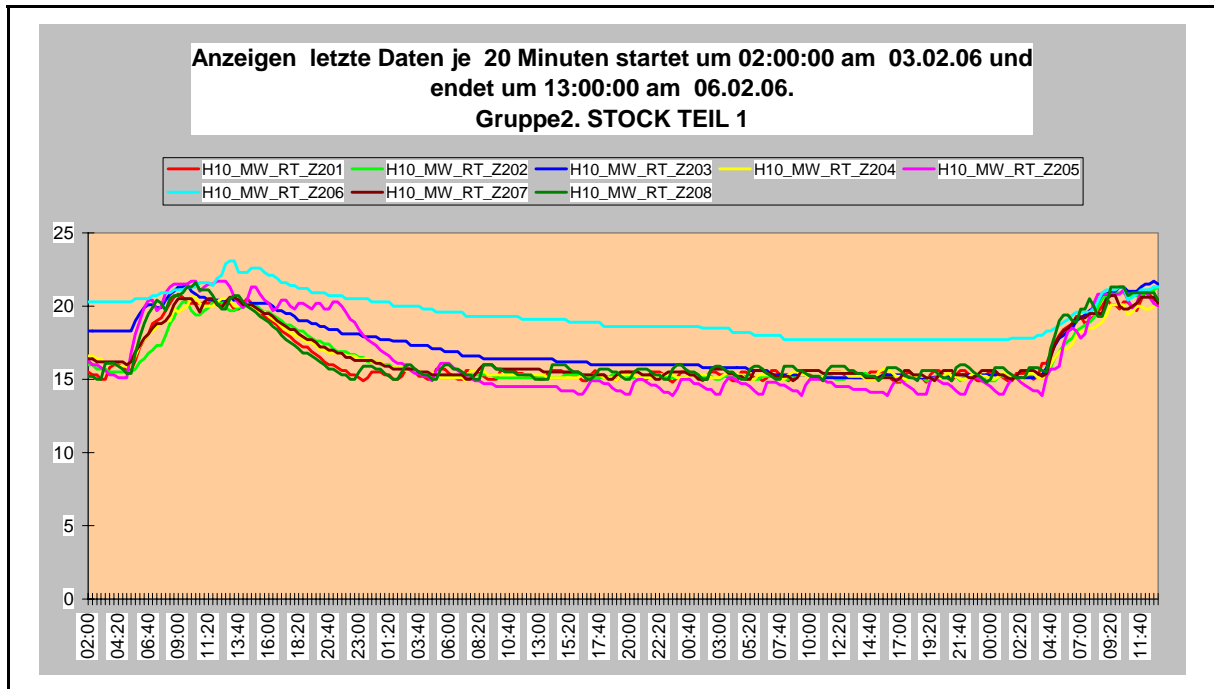


Bild 11: Wochenendabsenkung

Wenn nachts oder an Wochenenden die Raumtemperaturen lediglich auf 15 °C abgesenkt werden, dann müssen die Pumpen schon nach 10 Stunden wieder Wärme nachliefern (Bild 11, gezackte Linien). Senkt man die Temperaturen weiter ab, verringert sich die Pumpenarbeit, vorausgesetzt die Pumpen werden mit der Heizlast (Differenzdruck) gesteuert.

2.1.4 Lüftung

Die Lüftung der Unterrichtsräume ist seit Jahren aus hygienischen Gründen außer Betrieb. Aus dem Gesichtspunkt der Energieeinsparung sollte die Lüftung auch weiterhin abgeschaltet bleiben.

Lediglich die Fachräume, Umkleideräume und die Mehrfachhalle müssen belüftet und die WCs entlüftet werden.

An den Eingängen wird Sperrluft gefahren. Diese Luftschleier sind nicht unbedingt notwendig.

2.1.5 Elektrogeräte

Elektrogeräte (Kühlschränke, ...) externer Aufsteller sind mit Zeitschaltuhren zu versehen und entsprechend zu programmieren.

Bei Neuinvestitionen ist besonders auf den während der Lebensdauer zu erwartenden Energieverbrauch zu achten. Oftmals ist die Anschaffung von energiesparenden Geräten mit keinen oder nur geringen Mehrkosten verbunden. Die Energiekostensparnis über den Nutzungszeitraum der Geräte kann beachtliche Größenordnungen erreichen. Dies gilt vor allem für Geräte die rund um die Uhr arbeiten.

2.1.5.1 Computer

Die Arbeitsplatzrechner sollten bei längeren Pausen abgeschaltet werden. Die Lebensdauer wird durch häufigere Schaltvorgänge nicht wesentlich beeinträchtigt. Durch den schnellen technologischen Wandel ist ein PC kaum länger als fünf Jahre im Einsatz. Vor allem bei der Festplatte wird befürchtet, dass zu häufiges Ein- und Ausschalten die Lebensdauer beeinträchtigt. Nach Angabe von Herstellern erbringen neue Laufwerke bis 100.000 Start-Stop-Zyklen. Würde ein PC während fünf Jahren jeden Arbeitstag alle 10 Minuten aus- und wieder eingeschaltet, so ergäben sich etwa 63.000 Zyklen oder etwa zwei Drittel der erwarteten Lebensdauer entspricht.

Die Betriebssoftware sollte so installiert werden, dass beim Hochfahren die vorher benutzten Dateien automatisch wieder geöffnet werden. Je nach System lässt sich mit einem Tastendruck (zum Beispiel ESC oder ENTER) die zeitaufwändige Speicherprüfung beim Start des Betriebssystems unterbrechen.

2.1.5.2 Monitore

Der Verbrauch des Bildschirms beträgt bei einem PC auf der Basis der 80x86-Prozessorfamilie ungefähr 65% des Gesamtverbrauchs. Bei jeder längeren Pause sollte der Bildschirm daher ausgeschaltet werden. Bei den modernen Bildschirmen vergeht keine Zeit mehr, bis nach dem Einschalten das Bild in der gewohnten Qualität wieder erscheint. Messungen haben gezeigt, dass der Bildschirminhalt (insbesondere die Farbwahl) einen Einfluss auf den Stromverbrauch hat. Aus diesem Grund empfiehlt sich die Aktivierung von „Bildschirmschonern“, die sehr wenig am Bildschirm anzeigen (Stromverbrauch reduziert sich gegenüber weißem Bildschirmhintergrund um 15%). Bei Bildschirmen neuerer Generationen sollten die Energiesparfunktionen aktiviert werden (Energy-Star).

2.1.5.3 Drucker

Der Informationstransfer auf Papier benötigt mehr Energie als die Verarbeitung digitaler Daten. Somit ergeben sich Stromsparmaßnahmen in der Vermeidung unnötiger Ausdrücke. Bei vier untersuchten Betrieben in Österreich betrug allein der jährliche Stand-by-Verbrauch der Drucker etwa 55.000 kWh oder 98,2 % des gesamten

Stromverbrauchs der Drucker. Allein diese Zahlen zeigen die großen Stromsparpotentiale, die durch das Betätigen des Ausschalters zu erzielen sind.

In der folgenden Aufstellung sind Stand-by-Leistungsbedarf, Energieverbrauch und Zeitbedarf von fünf verschiedenen Druckertypen dargestellt. Bei den Messungen wurde ein Normbrief gedruckt. Die durchschnittlichen Leistungen im Stand-by-Betrieb basieren auf einer Messung von 120 s Dauer:

	Drucker				
	9-Nadel-	24-Nadel	Tintenstrahl-	Thermo-	Laser-
Stand-by-Leistung (W)	13	16	9	22	106
Verbrauch bei A4-Seite (Wh)	0,36	0,37	0,15	0,51	1,6
Zeitbedarf (s)	63	34	26	39	20

Tabelle 6: Spezifische Energieverbräuche von Druckern ¹⁾

Aus dieser Tabelle 6 ist ersichtlich, dass Laserdrucker den größten Energieverbrauch verursachen.

Der größte Verbraucher innerhalb der Laserdrucker ist die Heiztrommel für das Schmelzen und Anpressen des Toners auf das Papier (ungefähr 50 bis 70 % des Verbrauchs). Eine hohe Druckgeschwindigkeit verlangt eine kurze Heizperiode und damit eine hohe Temperatur, respektive Leistung. Der Energieverbrauch für die Bereitschaftsleistung kann erheblich gesenkt werden, wenn das Abkühlen der Heiztrommel in Kauf genommen wird. Damit verlängert sich jedoch die Aufwärmzeit und damit die Zeit bis zur Betriebsbereitschaft.

Zwischen den gegensätzlichen Anforderungen niedriger Energieverbrauch im Stand-by und kurzer Zeit bis zum Bereitschaftszustand ist daher zu optimieren. Neue Geräte auf dem Markt schalten bereits nach 1 bis 8 Minuten die Heiztrommel ab.

Eine sehr gute Druckqualität und eine hohe Druckgeschwindigkeit sind nur selten erforderlich. Vor dem Kauf soll geprüft werden, ob ein Tintenstrahldrucker die Bedürfnisse auch abdeckt und somit auf einen energieintensiven Laserdrucker verzichtet werden kann. Der Drucker wird meistens nur für eine kurze Zeit benützt. Es lohnt sich deshalb, ihn nur bei Bedarf einzuschalten. Moderne Laserdrucker benötigen für den Übergang vom kalten Zustand zur Druckbereitschaft nur ungefähr 30 Sekunden und 3 Wh Energie.

Werden beispielsweise 50 Kopien am Tag produziert, benötigt der Drucker dafür 17 Minuten. Wird das Gerät nach jeder Kopie abgeschaltet, werden 220 Wh verbraucht (Messung an einem typischen Gerät). Bleibt der Drucker hingegen den ganzen Arbeitstag (9 Stunden) eingeschaltet, liegt der Verbrauch mit 690 Wh etwa dreimal höher. Weiters ist zu überlegen, mehrere Mitarbeiter an einen zentralen Netzwerkdrucker anzubinden.

1) Branchenberatung Energie Energiekennzahlen und -sparpotentiale für Bürogebäude, Eine Gemeinschaftsaktion von O.Ö. Energiesparverband, WIFI Ökoberatung und Wirtschaftskammer OÖ. Linz, im Juli 1997

Für die Papierherstellung ist Energie notwendig, das sparsame Umgehen des Papiers reduziert neben den Kosten für Büromaterial auch den Energiebedarf. Für Entwürfe oder Kopien zum persönlichen Gebrauch kann oft die Rückseite von bereits bedrucktem Papier genügen. Beim Laserdrucker muss die Tonerkassette noch nicht sofort gewechselt werden, wenn die Lampe „Toner fehlt“ leuchtet. Durch Schütteln und dadurch besseres Verteilen des Toners im Behälter kann noch länger gedruckt werden. Der gebrauchte Tonerbehälter soll samt lichtempfindlicher Trommel bei Laserdruckern zum Recycling weitergegeben werden. Toner kann auch durch das Vermindern des Kontrastes auf die notwendige Qualität des Druckbildes gespart werden. Es lohnt sich, etwas auszuprobieren.

2.1.5.4 Faxgeräte

Die Messung des Stromverbrauchs der Faxgeräte von den vorher schon genannten vier Betrieben zeigt, dass die installierten Geräte 99% des Stromverbrauchs beim Warten auf Empfang von Nachrichten verbrauchen.

Bei den Faxgeräten gelten ähnliche Bedingungen wie bei den Druckern. Normalpapierfaxgeräte mit Laserdruckern verursachen die höchsten Stromverbräuche im Stand-by und im Betrieb. Faxgeräte mit Tintenstrahldruckern verursachen deutlich niedrigere Stromverbräuche. Thermofaxe liegen dazwischen.

Bei den bestehenden Geräten sind folgende Maßnahmen zu empfehlen:

- Abschalten der Geräte während der Nachtstunden und Rufumleitung auf ein zentrales Gerät (beispielsweise das des Hausmeisters), das die gesamte Korrespondenz einer Nacht empfängt.
- Aktivieren der Energiesparmöglichkeiten bei den vorhandenen Geräten.
- Einbau von Vorschaltgeräten, die die Stand-By-Verluste fast zur Gänze vermeiden.

2.1.6 Schulküche

Das Energiesparen in Schulküchen geschieht im Prinzip nach den gleichen Regeln wie in privaten Haushalten. Die wichtigsten Regeln sind hier zusammengefasst:

- Abschalten der Verbraucher bei Nichtgebrauch (z. B. Herdplatten, Kühleinrichtungen, Wärmeschränke, Beleuchtung etc.)
- Nutzen Sie die Nachwärme der Kochstelle und des Backofens!
- Schalten Sie beim Kochen und Backen auf Sparflamme!
- Wenn Kochtopf und Heizplatte im Durchmesser übereinstimmen, wird die Wärme optimal genutzt! "Sparsame" Töpfe haben einen ebenen Boden und einen gut sitzenden Deckel.
- Garen Sie mit wenig Flüssigkeit im geschlossenen Kochtopf! Verwenden Sie bei langen Garzeiten einen Schnellkochtopf!
- Verwendung von geschlossenen Geräten (Combi-Steamer, Dampf-Luft-Mikrowellen-Geräte anstelle von Umluftofen und Druckkochkessel)
- Wärmerückgewinnung zur Spülwasservorwärmung bei Spülmaschinen
- Wärmerückgewinnung bei Kühlgeräten zur Brauchwassererwärmung
- Wärmedämmung der Spülmaschinen im „heißen“ Bereich
- Wärmedämmung der Warmhaltevorrichtungen, Tellerwärmer, Deckel von Kippkessel
- Wärmedämmender Deckel bei Grillplatten
- Ersatz von elektrisch betriebenen Herden durch Gasgeräte
- Auftauen tiefgefrorener Waren im Kühlraum/Kühlschrank
- Einbindung der Küchengeräte in ein Spitzenlastmanagementsystem
- Eine Gefriertruhe ist sparsamer als ein Gefrierschrank. Kaufen Sie aber kein zu großes Gerät, denn eine halbleere Gefriertruhe benötigt fast soviel Energie wie eine gut gefüllte Truhe!
- Stellen Sie das Gefriergerät in einem kühlen, gut belüftbaren Raum auf und tauen Sie das Gerät mindestens ein- bis zweimal im Jahr ab.
- Neue Haushaltsgeräte kommen oft mit wesentlich weniger Energie aus als ihre Vorgänger.
- Herd und Kühl- oder Gefrierschrank sind keine guten Nachbarn! Denn durch die Wärmeabgabe des Herdes verbraucht das Kühlgerät mehr Energie.

2.2 Wärme Energie

2.2.1 Vergleich mit anderen Schulen

Tabelle 7 zeigt den Jahresverbrauch an Heizwärme über eine ganze Heizperiode beobachtet.

Der Jahreswärmeverbrauch in der Heizperiode 2004/2005 betrug 1.613.189,5 kWh/a auf einer Nutzfläche von 10158 m². Das ist für eine Schule mit 158,81 kWh/(a·m²) (vergleiche Tabelle 8) ein mittlerer Wert. Die Zahlenwerte sind wegen des lokalen Klimas natürlich nur bedingt vergleichbar.

Heizungsverbrauch 2004 - 2005											
		Kessel I Gasheizung				Kessel II Ölheizung					
Monat	Jahr	Zählerstand	Verbrauch	Betriebsstunden Zähler Std.		Stufe I	Stunden	pro Stunde 33 l Verb.	Stufe II	Stunden	pro Stunde 65 l Verb.
September	2004	563726		8909		3474			1635		
		565015	1289	8928	19	3479	5	165	1638	3	195
Oktober	2004	573512	8497	9058	130	3479			1638		
		590758	17246	9058		3514	35	1155	1650	12	780
November	2004	611128		9324		3514			1650		
		633283	22155	9324	266	3588	74	2442	1673	23	1495
Dezember	2004	654133		9633		3588			1673		
		674991	20370	9633	309	3715	127	4191	1717	44	2860
Januar	2005	682422		9978		3715			1717		
		702991	22155	9978	345	3834	119	3927	1762	45	2925
Februar	2005	722991		10294		3834			1762		
		742991	20850	10294	316	3971	137	4521	1814	52	3380
März	2005	762991		10518		3971			1814		
		782991	14109	10518	224	4127	156	5148	1897	83	5395
April	2005	802991		10621		4127			1897		
		822991	6749	10621	103	4187	60	1980	1932	35	2275
Mai	2005	842991		10665		4187			1932		
		862991	3053	10665	44	4205	18	594	1943	11	715
Beginn:	24.09.2004	563726				24.09.2004	3474		1635		
Ende:	15.05.2005	678044	114.318	m³		15.05.2005	4205	731	24.123	1943	308
HW Gas	10,25 kWh/m ³										
HW Öl	10,00 kWh/l										
			Gesamte Wärmeenergie:	1613189,5 kWh							

Tabelle 7: Wärmeverbrauch in der Heizperiode 2004/2005

Im Vergleich dazu verbrauchen andere Schulen folgende spez. Wärmeenergien:

Schule	Jahr	Spez. Stromverbrauch kWh/(m ² ·a)
Türmchenschule Rostock	1996	313
	1997	199
Förderzentrum am Schwanenteich Rostock	1996	210
	1997	159
Gesamtschule Lütten-Klein Rostock	1996	305
	1997	313
von-Thünen-Gymnasium Rostock	1997	114
Gesamtschule Schwerte	1995	190
	1996	215
	1997	196
	1999	162
	2000	131
Johannes-Bugenhagen-Gymnasium Franzburg	1996	181
Nelly-Pütz-Berufskolleg Düren	1997	185
	1998	171
Realschule Grammdorf	1993	177
	1994	156
	1995	157
	1996	157
	1997	190
	1998	255
	1999	157
	2000	117
Kopernikus-Schule Bützow	1996	233
	1997	182
Käthe-Kollwitz-Schule Bützow	1994	137
	1995	169
	1996	174
	1997	127
Berufskolleg Neuss Weingartstraße	1994	295
	1995	222
	1996	284
	1997	198
	1998	241
Johanneum Lüneburg		
Schule	1997	117
Turnhalle		120
Schule	1998	111
Turnhalle		125
Schule	1999	108
Turnhalle		110
Schule	2000	
Turnhalle		104
Schule	2001	
Turnhalle		120
Schule	2002	
Turnhalle		116
Schule	2003	
Turnhalle		16,7

Tabelle 8: Spezifischer Wärmeverbrauch unterschiedlicher Schulen

2.2.2 Wärmeerzeugung

2.2.2.1 Anlagenbeschreibung

Die Wärme zum Heizen und für Brauchwasser wird im Winter von zwei in Reihe geschalteten Kesseln erzeugt. Ein Kessel der Nennleistung 938 kW (Bild 12) wird mit Erdgas betrieben und der andere Kessel, mit der Nennleistung 748 kW wird mit Erdöl betrieben. Die Vorlauftemperatur beträgt maximal etwa 80 °C und wird von der Außentemperatur und den Raumtemperaturen gesteuert.

Die Anlage ist so konzipiert, dass der Gaskessel die Grundlast abfährt und der Ölkessel als Spitzenlastkessel betrieben wird.



Bild 12: Gaskessel

Hinter dem Gaskessel befindet sich ein Abgaswärmetauscher. Dort wird der Rücklauf der Heizung von dem Abgas des Kessels zusätzlich erwärmt. Im Idealfall wird das Abgas soweit abgekühlt, dass der Brennwert des Brennstoffes ausgenutzt wird. An den beiden Beobachtungszeitpunkten bei ca. 0 °C Außentemperatur war das bei Rücklauftemperaturen von 60°C (Wochentag) und 50°C (Wochenende) nicht der Fall. Die Brennwerttechnik wird bei diesen Betriebszuständen nicht ausgenutzt, wie im Folgenden gezeigt wird.

Ein Brennstoff besitzt zwei wichtige energetische Kenngrößen, den unteren Heizwert, auch nur Heizwert genannt und den oberen Heizwert, auch Brennwert genannt. Der untere Heizwert gibt an, wie viel Energie aus der Verbrennung einer definierten Menge Brennstoff gewonnen werden kann, wenn die Verbrennungsprodukte alle gasförmig sind, also insbesondere auch das Wasser. Der Brennwert eines Stoffes ist gleich dem unteren Heizwert plus der Wärme, die man durch Kondensation des Wasserdampfes aus dem Abgas zusätzlich gewinnt. Beim Öl macht dies einen Energiezugewinn von ca. 6%, beim Gas ca. 11% des Heizwertes aus. Das hängt vom Verhältnis vom Wasserstoff (H) zu Kohlenstoff (C) im Brennstoff ab.

Die Menge der Kondensationswärme ist proportional zur Menge des entstehenden Kondensats, also der Menge des Wassers im Abgas. Öl besteht aus Kohlenwasserstoffen (C_xH_y) im Verhältnis von 1:2,2 (Kohlenstoff : Wasserstoff). Dieses Verhältnis bestimmt die Wasserdampfmenge im Abgas. Bei Erdgas, welches zu großen Teilen aus Methan (CH_4) besteht, ist dieses Verhältnis etwa 1:4 (Kohlenstoff : Wasserstoff, Bild 13). Es entsteht also bei der Verbrennung von Gas viel mehr Wasserdampf als bei der Verfeuerung von Öl, deshalb ist auch der Kondensationswärmeanteil größer. Dies und die um mindestens $8^\circ C$ höhere Kondensationstemperatur führte dazu, dass hinter dem Gaskessel eine Abgaswärmetauscher (Brennwerteinheit) installiert wurde.

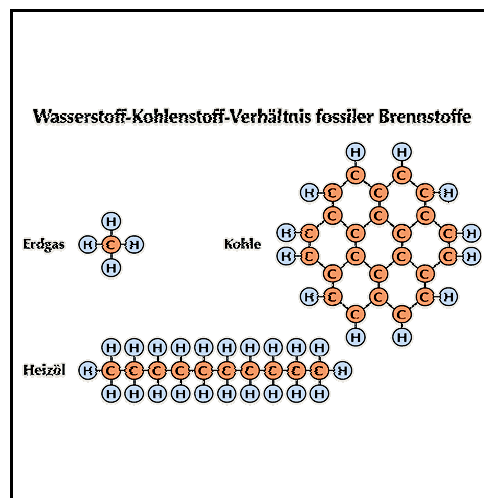


Bild 13: Zusammensetzung gebräuchlicher Brennstoffe

Ob Wasser aus einem Gasmisch kondensiert, hängt ausschließlich von der relativen Feuchtigkeit des Gemisches ab. Diese wiederum hängt von den Partialdrücken der sich im Gas befindlichen Stoffe ab. Das Abgas bei einer Ölfeuerung ist eine Mischung aus den verschiedensten Gasen, wie beispielsweise Stickstoff (64 %), Kohlendioxid (13 %), Sauerstoff (4 %) und anderen Gasen.

Luft zum Beispiel von $53^\circ C$ kann etwa $100\text{ g Wasser pro m}^3$ aufnehmen. Das entspricht auch ungefähr der Menge dampfförmigen Wassers im Abgas. Durch den höheren CO_2 -Anteil im Abgas wird der Taupunkt um wenige Grad reduziert, durch den Schwefelgehalt wieder etwas erhöht (Bild 14).

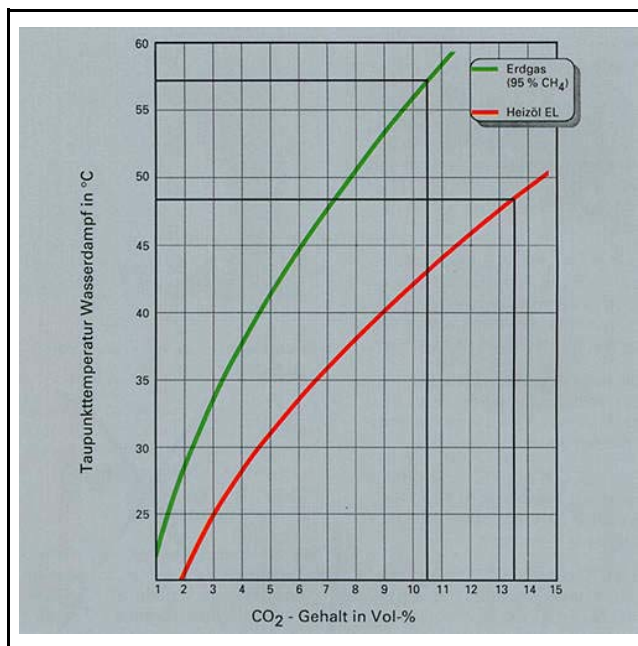


Bild 14: Taupunkt Abhängigkeit CO₂-Gehaltes

Je höher der CO_2 -Anteil, also je geringer der Luftüberschuss ist, desto höher ist die Taupunkttemperatur des Abgases. Das heißt diese Temperatur wird beim Abkühlen schneller erreicht. Mit höherer Taupunkttemperatur des Abgases steigt die Ausbeute an Kondensationswärme (latenter Wärme).

Wenn es gelingt, das Abgas bis unter seine Tautemperatur zu kühlen, dann kondensiert der Wasserdampf an den Wänden des Abgaswärmetauschers und gibt dabei Wärme an den Rücklauf des Heizungswassers ab. Die Wärme wird dabei zur Anhebung der Rücklauftemperatur des Heizungswassers genutzt.

Wenn man eine vollständige Kondensation vorausgesetzt, was selbstredend nie der Fall sein kann, dann gewinnt man bei Ölfeuerungen pro Liter Brennstoff maximal 1 Liter und bei Erdgasfeuerungen pro Kubikmeter ungefähr 1,6 Liter Kondensat.

Setzt man die Verdampfungswärme von Wasser zu 2260 kJ/l an, so ergibt sich pro Liter verbranntem Heizöl Extraleicht (HEL) eine Kondensationswärme von ca. 0,6 kWh und bei Gas pro m³ das 1,6-fache an Kondensationswärme.

Bei einer Brennerleistung (Gas) von 220 kW fielen also ca. 32 Liter Kondensat pro Stunde an. Die Kondensation im Abgas verläuft aber entlang einer Sättigungskurve im sogenannten Mollier-h-x-Diagramm. Der "letzte Tropfen" Wasser fällt damit erst unerreichtbar beim absoluten Nullpunkt aus.

Aus den vorangegangenen Überlegungen ist das Aufstellen des Abgaswärmetauschers hinter dem Gaskessel aus zweierlei Gesichtspunkten richtig. Erstens ist der Gaskessel hauptsächlich in Betrieb und zweitens ist die theoretische Energieausbeute hinter dem Gaskessel größer als hinter dem Ölkessel.

2.2.2.2 Fahrweise

Je nach Marktlage wurde in der Vergangenheit bei einem teuren Gaspreis hauptsächlich Öl und bei einem teuren Ölpreis hauptsächlich Gas verheizt. Dieses wechselweise Betreiben der Kessel ist nur schadlos bei den vorliegenden hohen Rücklauftemperaturen möglich. Sobald die Rücklauftemperatur deutlich unter 55 °C sinkt, was auch zur Energieeinsparung anzustreben ist, ist beim alleinigen Betrieb des Ölkessels mit Niedertemperaturkorrosion an den Heizflächen zu rechnen.

Der Gaskessel kann zwischen 30 % Last und Volllast modulierend fahren, für den Ölkessel sind nur zwei Leistungsstufen, 33 l/h und 65 l/h, vorgesehen.

Im Teillastbereich jedoch fährt der Gaskessel, wegen der stoßweise auftretenden Wärmelast, mit Betriebsunterbrechungen und das nicht vorteilhaft.

Jeder Brennerstart bedeutet bei größeren Anlagen eine Vorbelüftungszeit des Brennraumes, in der die kalte Luft durch den Kessel geblasen wird, um Restabgase zu entfernen und eine Verpuffung zu verhindern. Mit jedem Belüftungsprozess wird die Kesseltemperatur erst abgekühlt und durch die Minuten nach dem Start wieder aufgewärmt. In dieser Zeit kann keine Nutzenergie produziert werden!

2.2.2.3 Rücklauftemperatur

In welchem Umfang die Verdampfungswärme von einem Brennwertgerät genutzt werden kann, hängt von der Rücklauftemperatur des Heizsystems ab. Die Rücklauftemperatur bestimmt, wie weit die Rauchgase abgekühlt werden und wie viel Wasserdampf kondensiert. Diese war bei einer 2 °C Außentemperatur etwa 60 °C (Bild 15). Bei guten Wärmetauschern liegt die Abgastemperatur etwa 5 - 15 °C höher als die Rücklauftemperatur. Wenn man nun die Abgastemperatur im Mittel 10 °C höher als die Rücklauftemperatur ansetzt, kann nach Bild 14 keine Kondensation einsetzen und die Brennwerttechnik wird nicht ausgenutzt! Ein Blick auf die trockene Kondensatleitung bestätigt die Vermutung.



Bild 15: Vor- und Rücklauf des "Brennwert" - Wärmetauschers

Da Brennwertgeräte wie normale Niedertemperatur-Heizkessel mit gleitender, nach der Außentemperatur geregelter Kesseltemperatur betrieben werden sollen, ändert sich die Rücklauftemperatur während des Jahres. Die Rücklauftemperatur sollte aber so niedrig sein, dass im größten Teil der Heizperiode Wasserdampf aus den Rauchgasen kondensiert, die Verdampfungswärme, zumindest teilweise, genutzt werden kann. Bei dieser Anlage hier wird jedenfalls mit dem Kondensat die Außenluft aufgeheizt (Bild 16).



Bild 16: Energieverluste durch Wasserdampf im Abgas

Der optimale Nutzungsgrad wird daher im Allgemeinen nicht bei Volllast, das heißt bei der niedrigsten Außentemperatur erreicht, da dann die Rücklauf­temperatur relativ hoch ist, sondern bei 30 bis 60 % Auslastung, nämlich bei Außentemperaturen zwischen 0 °C und + 10 °C (Bild 17) und entsprechend niedrigen Rücklauf­temperaturen.

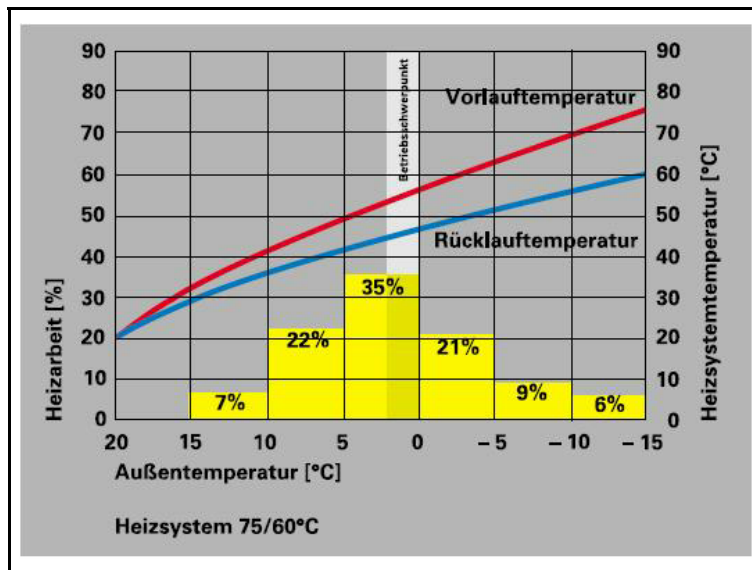


Bild 17: Heizenergie in Abhängigkeit der Außentemperatur

In Bild 18 ist der Wirkungsgrad eines Erdgas- Brennwertgerätes in Abhängigkeit von der Abgastemperatur schematisch dargestellt. Der Nutzungsgrad steigt an, je niedriger die Abgastemperatur wird. Der leichte Anstieg des Nutzungsgrades vor Beginn der Kondensation bei 56 °C beruht darauf, dass den Rauchgasen mehr fühlbare Wärme entzogen wird. Erst bei einer Abkühlung der Rauchgase unter 56 °C kommt es zur Kondensation und damit zur Nutzung der Verdampfungswärme. In größerem Umfang aber erst, wenn die Rauchgase noch weiter abgekühlt werden. Der Nutzungsgrad steigt an, je niedriger die Abgastemperaturen werden.

Am günstigsten sind natürlich Heizungsanlagen, deren maximale Vorlauftemperatur bei ca. 55 °C liegt. Die maximale Rücklauf­temperatur ist dann ca. 40 °C, so dass in diesem Falle den Rauchgasen während der gesamten Heizperiode viel Verdampfungswärme entzogen werden kann.

Der Nutzungsgrad in % ist das Verhältnis zwischen der an das Kesselwasser abgegebene Wärmeleistung und dem Produkt aus dem unteren Heizwert (bei konstantem Druck) des Brennstoffs mal der pro Zeiteinheit verbrauchten Brennstoffmenge.

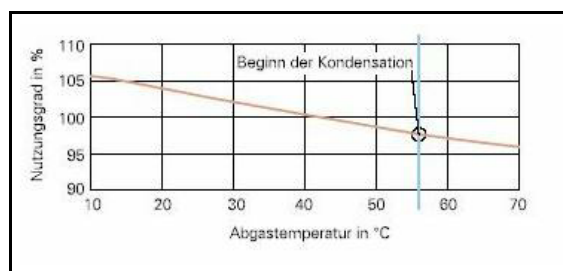


Bild 18: Wirkungsgrad eines Gaskessels in Abhängigkeit der Rauchgastemperatur

Aber auch Heizsysteme mit einer Vorlauf-/Rücklauf­temperatur von 70/50 ermöglichen einen kondensierenden Betrieb während der meisten Zeit, so dass ca. 90 % der benötigten Heizwärme im Brennwertbetrieb erzeugt werden. Selbst Heizsysteme mit

Vorlauf/Rücklauf 90/70 können noch ca. 30 % der Heizwärme im Brennwertbetrieb liefern. Aber auch außerhalb des Brennwertbetriebs ist der Nutzungsgrad von Brennwertgeräten höher als bei normalen Niedertemperaturkesseln, da die Rauchgase tiefer abgekühlt werden und ihnen mehr fühlbare Wärme entzogen wird.

2.2.2.4 Heizkurve

Die Heizkurve ist so zu optimieren, dass die Rücklauftemperatur möglichst niedrig wird. Mit dem Absenken der Rücklauftemperaturen lassen sich ungefähr 2 - 3 % der Heizenergie einsparen. Das sind rund **48.395 kWh/a** oder **1800,00 €a**.

2.2.2.5 Brauchwasser

Warmes Brauchwasser wird zu Reinigungszwecken und zum Duschen benötigt.

Das warme Putzwasser kommt aus einem Wasserspeicher (Bild 19). Während der Heizperiode wird das Brauchwasser mittels Heizwasser aufgewärmt und außerhalb der Heizperiode elektrisch.

Sowohl aus energetischen als auch aus hygienischen Gründen (Legionellen) wäre es sinnvoller, das Warmwasser direkt an den Zapfstellen mit einem Durchlauferhitzer zu erwärmen. Damit entfallen die Leitungsverluste und die Bereithaltungsverluste.



Bild 19: Warmwasserspeicher

Das Wasser zum Duschen wird in einem überdimensionierten Wärmetauscher in der Hausmeisterwerkstatt während der Heizperiode aufbereitet. Im Sommer läuft ein kleinerer gasgefeuerter Boiler zu dem Zweck. Da die Schüler und der größte Teil der Breitensportler sich zu Hause duschen, ist es besser auch im Winter wegen der Verluste das Warmwasser nur bei Bedarf bereitzustellen.

2.2.3 Wärmeverteilung

2.2.3.1 Fernleitung

Die beiden Kessel speisen den Vorlauf der Fernleitungen. Der größte Massenstrom geht in die Unterstationen der Schule (Bild 20 der große rote Schieber) und ein kleinerer Teil zu zwei Räumen der ehemaligen Hausmeisterwohnungen (Bild 20 der kleine verdeckte rote Schieber, mitte). Die beiden Hausmeisterwohnungen haben inzwischen eine eigene separate Heizung und hängen, außer den beiden Räumen, nicht mehr an der Fernleitung.

Der Wärmestrom zu den beiden Räumen der ehemaligen Hausmeisterwohnung, die jetzt als Kleiderkammer genutzt wird ist wegen der Leitungsverluste zu unterbinden. Sollte in der Kleiderkammer überhaupt Wärme benötigt werden, so kann sie besser vor Ort erzeugt werden.



Bild 20: Verteiler der Fernleitungen

Drei Pumpen mit 3 kW (Bild 21, ganz hinten), 7 kW (vorletzte Pumpe), und 11 kW (zweite Pumpe von vorne) halten den Druck in den Fernleitungen. Eine vierte Pumpe (vorderste Pumpe) steht mit 11 kW in Reserve. Die Pumpen werden vermutlich über die Temperaturdifferenz zwischen Fernleitungsvorlauf und -rücklauf gesteuert. Bei einer großen Differenz, wenn also viel Wärme abgenommen wird, arbeitet die größte Pumpe und bei einer kleinen Differenz die kleinste. Es arbeitet immer nur eine Pumpe und nicht mehrere gleichzeitig.



Bild 21: Pumpenanordnung

Sobald ein Kessel anspringt und die Vorlauftemperatur ansteigt schaltet die 7 kW- anstelle der 3 kW-Pumpe ein. Das ist bei Außentemperaturen über 0 °C sicherlich nicht notwendig. Für die Schaltung der roten Pumpen gehört auch die Außentemperatur berücksichtigt.

2.2.3.2 Unterstationen

Die Fernleitung für die Schule verzweigt sich in fünf Unterstationen, von denen vier als Dachstationen konzipiert sind und eine im Erdgeschoss untergebracht ist. Die Bilderfolge 22 a) bis e) zeigt die Unterstationen (UST).



Bild 22: a) UST 1, b) UST 2, c) UST 3, d) UST 4, e) UST 5,

Während die vorhin angesprochenen roten Pumpen den allgemeinen Druck in der Fernleitung aufbauen, erzeugen die grünen Pumpen der Firma Wilo den Druck für den Kreislauf in den jeweiligen Zonen einer Unterstation.

Während zweier Inspektionen der Unterstationen liefen die 6 TOP-E 40/1-10 Pumpen immer mit einer Förderhöhe von 9,5 m Wassersäule. Das heißt, die Pumpen laufen auch bei Außentemperaturen von über 0 °C unter Volllast. Damit erklären sich auch die hohen Rücklauftemperaturen, die den Gesamtwirkungsgrad der Heizungsanlage reduzieren.

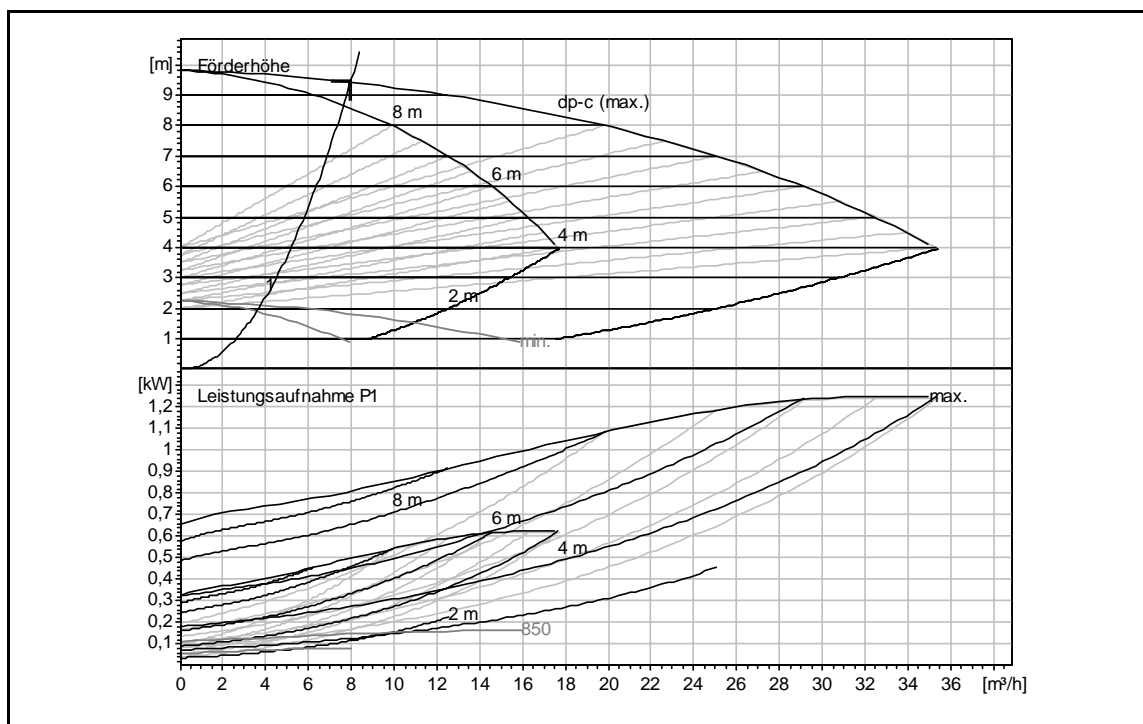


Bild 23: Kennfeld mit Hydraulik

Im Diagramm (Bild 23) oben ist die Förderhöhe (Druck in Meter Wassersäule) in Abhängigkeit des Volumenstroms angegeben. Die obere Kurve beschreibt das Fördervermögen der Einzelpumpe. Bei Doppelpumpen, parallel geschaltet, verdoppelt sich der Volumenstrom. Die Heizkreise (Zonen) bilden für den Volumenstrom einen Strömungswiderstand. Sind alle Ventile offen, wird also viel Wärme benötigt, ist der Widerstand am geringsten. Sind sie dagegen geschlossen, wird also keine Wärme benötigt, ist er am größten. Je nach dem aktuellen Strömungswiderstand, den man auch in Meter Wassersäule ausdrücken kann, stellt sich ein Betriebspunkt der Pumpe ein. Ist der Gesamtwiderstand aller Zonen beispielsweise 9,5 m WS, dann ist der Förderstrom 8 m³/h.

Die eingebauten 6 TOP-E 40/1-10, 2 TOP-E 50/1-7 und 2 IP-E 65/2-15 Pumpen lassen sich in Abhängigkeit des Wärmebedarfs (Druckverlust) steuern.

Die wählbaren Regelungsarten sind:

- Δp -c: Die Elektronik hält den von der Pumpe erzeugten Differenzdruck über den zulässigen Förderstrombereich konstant auf dem eingestellten Differenzdruck-Sollwert HS bis zur Maximal-Kennlinie.
- Δp -v: Die Elektronik verändert den von der Pumpe einzuhaltenden Differenzdruck-Sollwert linear zwischen HS und 1/2 HS. Der Differenzdruck-Sollwert H nimmt mit der Fördermenge ab bzw. zu.

- Δp -T: Die Elektronik verändert den von der Pumpe einzuhaltenen Differenzdruck-Sollwert in Abhängigkeit der gemessenen Mediumtemperatur. Diese Regelungsart ist aber nur mit dem IR-Monitor programmierbar. Dabei sind zwei Einstellungen möglich:
 - Regelung mit positiver Steigung: Mit steigender Temperatur des Fördermediums wird der Differenzdruck-Sollwert linear zwischen HSmin und HSmax erhöht. (Einstellung am IR-Monitor: HSmax > HSmin). Anwendung z.B. bei Standardkessel mit gleitender Vorlauftemperatur.
 - Regelung mit negativer Steigung: Mit steigender Temperatur des Fördermediums wird der Differenzdruck-Sollwert linear zwischen HSmin und HSmax abgesenkt (Einstellung am IR-Monitor: HSmax < HSmin). Anwendung z. B. bei Brennwertkessel, bei dem eine bestimmte minimale Rücklauftemperatur eingehalten werden soll, um einen möglichst hohen Wärmenutzungsgrad des Heizmediums zu erreichen. Hierzu ist der Einbau der Pumpe Rücklauf der Anlage zwingend erforderlich.
 - Steller-Betrieb: Die Drehzahl der Pumpe wird auf einer konstanten Drehzahl zwischen nmin und nmax gehalten. Die Betriebsart Steller deaktiviert die Regelung am Modul.

Bei Betriebsart „auto“ besitzt die Pumpe die Fähigkeit, einen minimalen Heizleistungsbedarf des Systems durch spontanes Absinken der Fördermedientemperatur zu erkennen und dann auf Schwachlastbetrieb (Schwachlastkurve) umzuschalten. Bei steigendem Heizleistungsbedarf wird automatisch in den Regelbetrieb umgeschaltet.

Weil zu unterschiedlichen Zeiten stets der selbe Vorlaufdruck abzulesen war, liegt die Vermutung nahe, dass alle Pumpen mit ungeregelt mit konstantem Druck laufen.

Die Pumpen sollten im Zusammenspiel mit der Heizkurve der Kessel optimal eingeregelt werden.

Über on/off, PLR, IR-Monitor oder "Extern Aus" ausgeschaltete Pumpen laufen alle 24 h kurzfristig an, um ein Blockieren bei langen Stillstandszeiten zu vermeiden. Man nennt das auch Pumpenkick. Wenn eine Netzabschaltung über einen längeren Zeitraum vorgesehen ist, sollte der Pumpenkick von der Heizungs-/Kesselsteuerung übernommen werden. Dazu muss die Pumpe allerdings eingeschaltet sein (Display on).

Ein großes Geheimnis des Heizungsplaners sind die Motivation und die Regeln, nach denen das Mischen des Rücklaufs in den Vorlauf erfolgt. In Bild 24 sieht man unter den beiden Umwälzpumpen ein Ventil das ähnlich wie ein Drei-Wege-Mischer kaltes Rücklaufwasser in das warme Vorlaufwasser mischt. Dieser Mischer war während der beiden Inspektionen ständig korrigierend aktiv.

Weil der Vorlauf für die zugeordneten Heizzonen nun kühler als das ungemischte Wasser ist, wird für die gleiche Heizleistung ein größerer Volumenstrom zur Egalisierung der Heizkörpertemperaturen benötigt. Das Ergebnis dieser Mischerei ist, dass die Vorlauftemperatur des Kessels unnötig angehoben wird und die beiden Umwälzpumpen mit dem höheren Volumenstrom mehr Leistung aufnehmen.

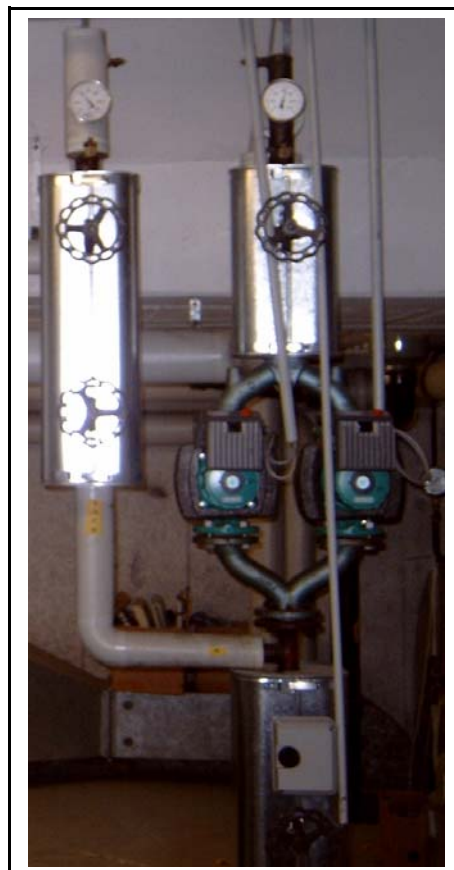


Bild 24: Mischer in einer Unterstation

Früher, als die Umwälzpumpen noch nicht elektronisch regelbar waren, hatte, wie Bild 25 zeigt, das Mischen einen Sinn. In den Vorlauf von Zonen mit eigenen oder externen zusätzlichen Wärmequellen wurde wegen des geringeren Wärmebedarfs Rücklaufwasser gemischt. Der Volumenstrom war für alle Kreise gleich.

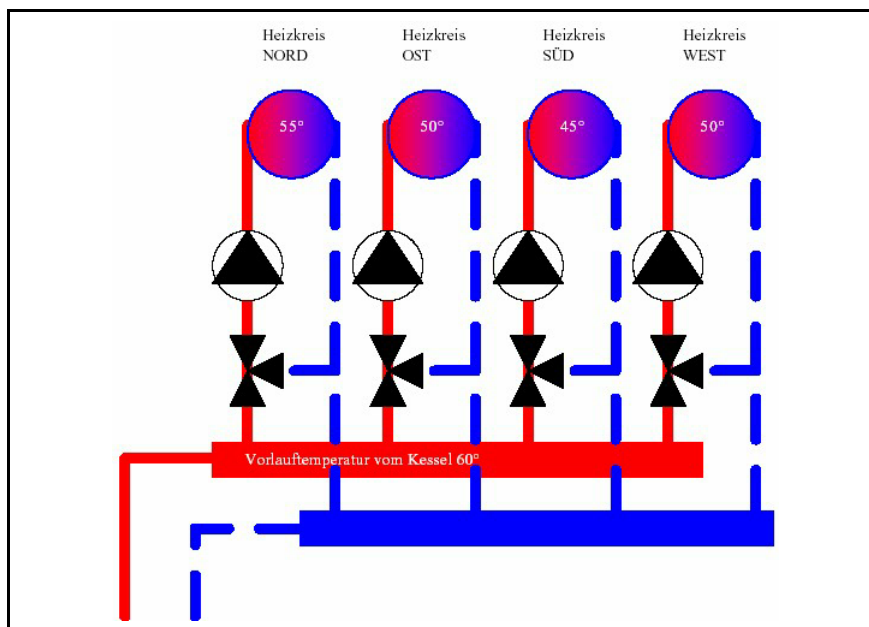


Bild 25: Regelung der Heizzonen mittels Vorlaufmischung

Heute, mit regelbaren Umwälzpumpen, werden die Volumenströme so gesteuert, dass die unterschiedlichen Heizzonen mit der nötigen Energie versorgt werden. Ein Mischen des Vor- und Rücklaufs ist somit nicht nötig (Bild 26).

Die Leistungen der Pumpen sinken so auf ein Minimum.

Das Mischen ist aus diesem Grunde einzustellen und die Pumpen in Abhängigkeit der Differenzdrücke zu steuern.

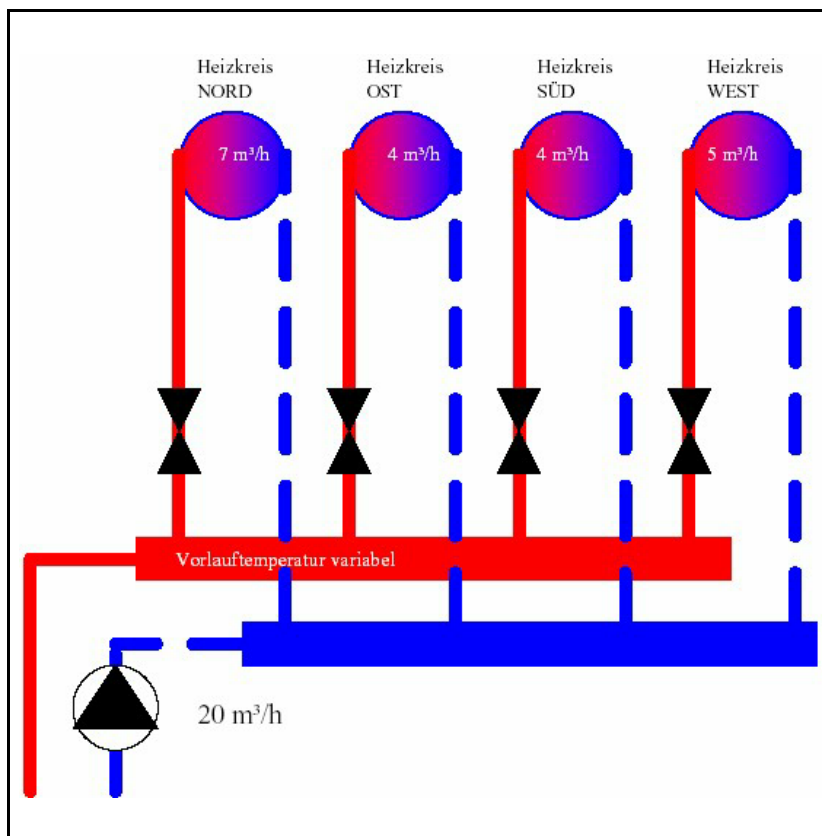


Bild 26: Regelung der Heizzonen mittels Pumpensteuerung

2.2.3.3 Heizzonen

Die Heizkörper werden, um eine Regelkatastrophe zu vermeiden, nicht einzeln geregelt. Sie werden in Gruppen, in so genannte Heizzonen zusammengefasst. Der ursprüngliche Gedanke des Planers war, jedem Klassenraum seine eigene Heizzone zu zuordnen. Nach mehreren Umbauten sind aber Heizkörper von verschiedenen Heizzonen in einem Klassenraum.

Wenn ein unbeheizter fremder Heizkörper in einem Klassenraum ist, wird die Raumtemperatur von 20 °C, wegen der überdimensionierten restlichen Heizflächen trotzdem erreicht. Ein merklicher Energieverlust tritt deswegen nicht auf. Lediglich das Hochfahren der Temperatur dauert morgens etwas länger.

Wenn ein beheizter fremder Heizkörper in einem Klassenraum ist, dann bleibt der Raum ungewünscht wärmer und verliert somit mehr Energie an die Umgebung.

Dieses Dilemma ist zwar ärgerlich aber wohl hinnehmbar, weil die Verluste hierdurch nicht all zu sehr ins Gewicht fallen.

Wesentlich schlechter auf die Energiebilanz wirkt sich das Verhalten der neuen Zonenventile (Bild 27) im Altbau aus.

Die 80 Stück Honeywell Zonendurchgangsventile Type V5832 A 10 wurden im Sommer 2000 zusammen mit thermischen Zonenventilantrieben für Auf-/Zu-Steuerung Type M 4450 A 1009 als notwendige Verbesserungsmaßnahme zu der Heizungssanierung im Jahr 1999 für 149.892,13 DM eingebaut.



Bild 27: Zonenventile 2. Etage Altbau

Im Gegensatz zu den Ventilen im Neubau, haben diese keine Regelcharakteristik. Das heißt, man kann sie nicht teilweise, sondern nur ganz oder gar nicht öffnen. 1 bezeichnet in Bild 28 ein offenes und 0 ein geschlossenes Ventil.

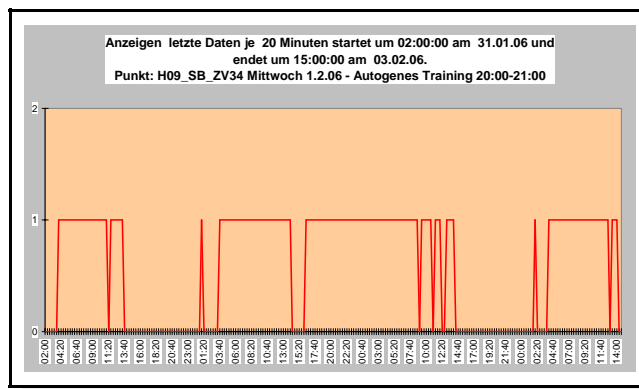


Bild 28: Stellungen des Zonenventils 34

Für die Heizung hat das folgende Auswirkung. Bei Wärmebedarf, wenn die Temperatur am Zonenthermometer unter etwa $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ gesunken ist, macht das Ventil auf und lässt warmes Wasser solange in die Heizkörper, bis die Temperatur etwa $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ erreicht hat. Bis die Raumtemperatur an der Messstelle den Sollwert erreicht hat strömt erst einmal ein Schwall von ausgekühltem Wasser zur Heizung und verlangt von der Heizung einen Leistungssprung. Nach dem morgendlichen Hochfahren kühlen vergleichbare Räume gleichzeitig aus und der Kaltwasserschwall fällt gleichzeitig von mehreren Zonen an. Dies hat zufolge, dass der Kessel 1 die Wärmelast nicht allein schafft und der Ölkessel für kurze Zeit anspringen muss. Diese Anfahrverluste sind vermeidbar, wenn Regelventile eingebaut wären.

Ein weiterer Nachteil dieser Auf/Zu-Ventile ist, dass bei dem geringsten Wärmebedarf immer der volle Massenstrom durch die Heizung fließt und der Rücklauf fast genauso warm wie der Vorlauf ist. Die so erzeugten hohen Rücklauftemperaturen führen, von den höheren Leitungsverlusten abgesehen, auch die Brennwerttechnik ad absurdum.

Regelventile lassen nach einem Schwellwert von zum Beispiel $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ nur noch einen steuerbaren Teil des Volumenstroms durch. Jeder Wassertropfen hat somit genügend Zeit im Heizkörper auszukühlen. Ein geringerer kontinuierlicher Volumenstrom mit geringerer Temperatur lastet den Gaskessel besser aus. Gerade bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt muss der Kessel nicht ständig ab- und anfahren, sondern kann mit geringer Last durchfahren. Jedes Anfahren ist mit Energieverlusten verbunden.

2.2.3.4 Hydraulischer Abgleich der Heizzonen

Da das Heizungsrohrnetz in unterschiedlichen Zonen unterschiedliche Leitungslängen mit einer unterschiedlichen Anzahl druckmindernden Verzweigungen, Bögen und Armaturen aufweisen, ist der Durchfluss und somit der Wärmetransport für unterschiedliche Zonen naturgemäß auch Verschieden. Bei Heizkörpern, die in einem Heizungsstrang liegen, der einen großen Strömungswiderstand besitzt, kann dies zu einer Unterversorgung führen.

Aus diesem Grund wird ein hydraulischer Abgleich durchgeführt, der gemäß VOB/C – DIN 18380 an jeder Heizungsanlage vorzunehmen ist. Bei der Durchführung wird der Durchfluss an Heizkörpern, die in einer Zone mit geringem Widerstand liegen, gedrosselt. Der Abgleich erfolgt in der Regel mit Strangregulierventilen die abgestimmt werden müssen.

Der hydraulische Abgleich birgt bezüglich der gesamten Wärmeerzeugungs- und Verteilungsanlage ein Energieeinsparpotential von 5 % bis 15 %. Außerdem ist gemäß der alten Heizungsanlagenverordnung (jetzt EnEV §12) zwingend vorgeschrieben. Die Schwierigkeit besteht darin, ihn ohne Rohrnetzrechnung und vorhandene Zeichnungen ordnungsgemäß durchführen zu können. Gleichzeitige geringe oder extrem große Differenzen zwischen Vor- und Rücklauftemperatur in Zonen einer Unterstation zeigen, dass ein Abgleich nur unzureichend durchgeführt wurde.

2.2.3.5 Lüftung

Die automatische Belüftung der Klassenräume wurde vor einigen Jahren aus gesundheitlichen und klimatischen (zu geringe Kühllast im Sommer) Gründen eingestellt.

Die Heizregister der Lüftungen in den Unterstationen waren aber aus Frostschutzgründen an. Die Leitungen zu den Heizregistern wurden inzwischen abgesperrt und entleert.

2.2.3.6 Zeitliche Wärmeverteilung

Die Differenz der momentanen Raumtemperatur zur momentanen Außentemperatur ist für den momentanen Wärmeverlust maßgeblich. Eine wirksame Optimierungsstrategie muss daher möglichst niedrige Raumtemperaturen über möglichst lange Zeiträume zum Ziel haben.

Aus Bild 29 rechts ist zu erkennen, dass die Zone 206 und 203 unnötigerweise von Donnerstag, den 02.02.2006, bis Freitag nachts durchgeheizt wurden. Das ist nicht nötig. Die Heizung sprang freitags um etwa 05:00 Uhr an. Zone 203 und Zone 205 erreichen ihre Solltemperaturen bereits um 06:00 Uhr, obwohl draußen zu diesem Zeitpunkt die Temperatur fast -9 °C (Bild 30) ist.

In diesen Räumen mit geringer Temperaturträgheit kann die Heizung auch zwei Stunden später gestartet werden. Ein Teil der Räume ist um 08:00 Uhr so überheizt, dass die Fenster geöffnet werden müssen (schnelle Temperaturabsenkung). Lediglich die Räume mit einem trägen Temperaturverhalten (Zone 202) werden wegen der niedrigeren Temperaturen nicht sofort gelüftet. Um etwa 10:30 Uhr erkennt man das Lüften vieler Räume. Gegen 13:30 fährt die Heizung in den meisten Zonen herunter. Anhand der Aufzeichnungen kann man erkennen in welchem Raum zu welchem Zeitpunkt die Heizung abgeschaltet werden kann ohne, dass die Temperatur zu Schulschluss unter 19 °C sinkt.

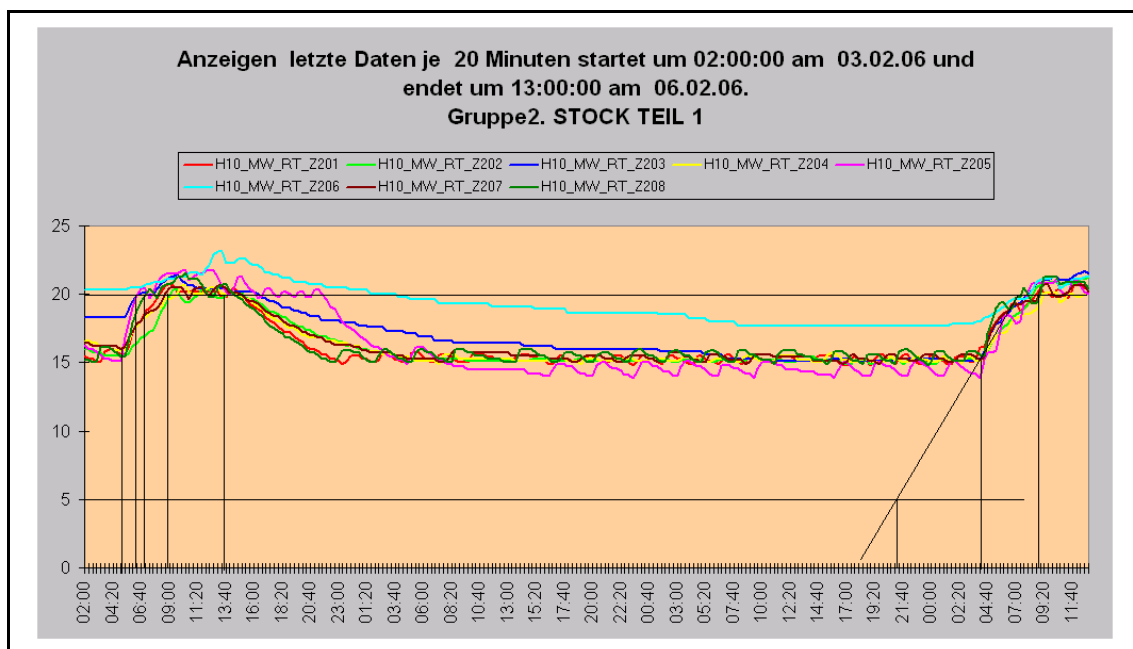
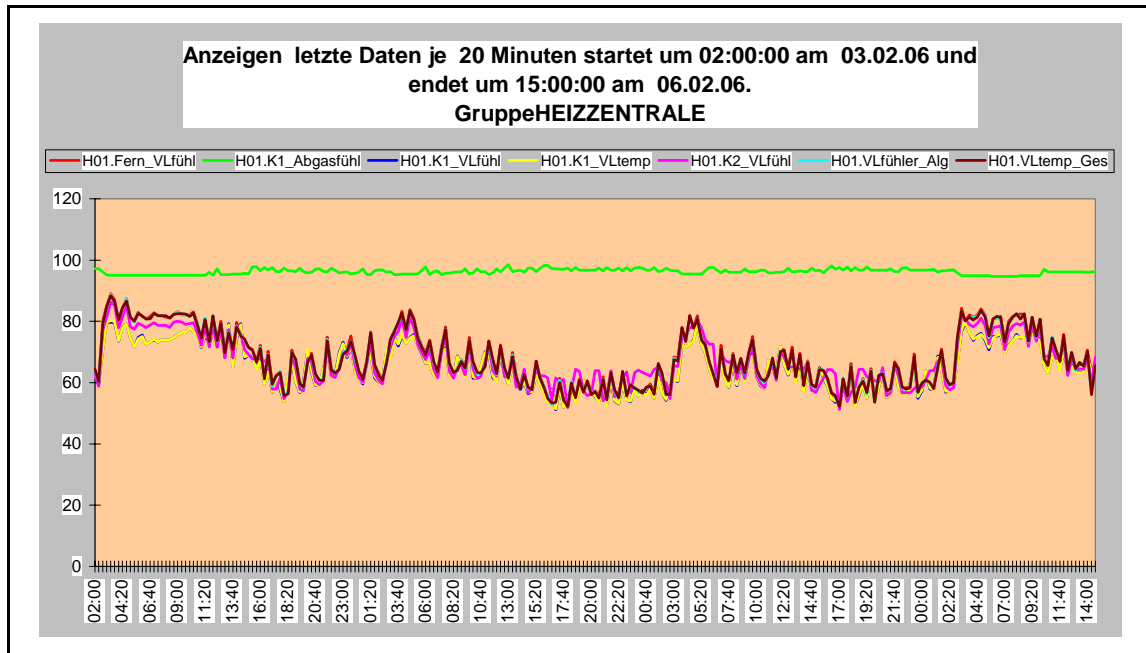


Bild 29: Wochenendabsenkung und Anfahren der Heizung

**Bild 31: Vorlauftemperaturen**

Ein weiteres ungelöstes Geheimnis des Anlagenplaners ist, warum der Kessel auch samstags und sonntags zur gewohnten Zeit morgens auf 80 °C aufheizt, obwohl fast keine Wärmeabnahme zu dem Zeitpunkt erfolgte (Bild 31).

Der Kesselhersteller schreibt in seiner Betriebsanleitung eine Mindesttemperatur für den Vorlauf von lediglich 60 °C vor.

Hier könnte eine Einweisung des Hausmeisters in die Programmierung der Heizanlage helfen, solche Fehlsteuerungen zu vermeiden. Die Seminare bei Honeywell kosten etwa 2.000,00 €

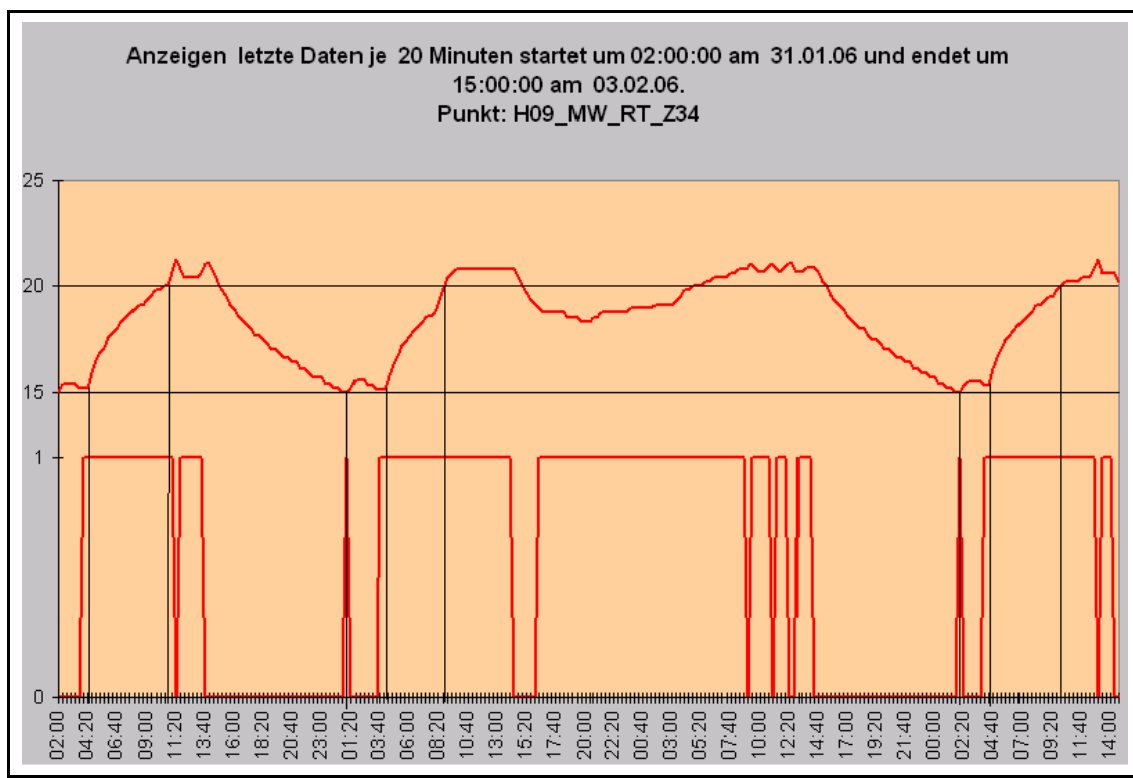


Bild 32: Raumtemperatur und Ventilsteuerung Zone 34

Die Zone 34 ist sehr Temperaturträge (Bild 32). Die Solltemperaturen werden relativ spät erreicht. Am Mittwoch, den 01.02.2006, war von 20:00 bis 21:00 Uhr in diesem Raum Autogenes Training. Dazu musste durch den Hausmeister das Zonenventil aus dem Absenkprogramm herausgenommen werden. Der Zahlenwert 1 bedeutet, das Ventil ist auf, 0 bedeutet zu. Mit Dienstbeginn kam dann das Ventil wieder in das Anfahrprogramm für Donnerstag. Solche Ereignisse gehören programmiert.

Im Gegensatz zur Zone 201, die bereits um 23:00 Uhr auf 15 °C ausgekühlt ist, erreicht die Zone 34 erst gegen 02:00 Uhr diese Absenktemperatur. Trotzdem sind hier noch Einsparreserven, wenn man eine tiefere Absenkung zulässt.

2.2.4 Wärmeverluste

2.2.4.1 Gesamter Wärmeverlust des Gebäudes

Wärmeverluste entstehen durch Wärmeleitung durch die Gebäudehülle und durch Zugverluste bei denen die erwärmte Luft im Gebäude durch kalte Außenluft verdrängt wird. Beide Verlustarten wachsen nahezu linear mit der Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und Außentemperatur. Bei Kenntnis der Außentemperaturen und der Innentemperaturen lässt sich so die Wärmedurchlässigkeit des gesamten Gebäudes genügend genau bestimmen. In der Heizperiode 2004-2005 wurden in Burgheim folgende Temperaturen in Tabelle 9 gemessen.

Tag	Temp.	Tag	Temp.	Tag	Temp.	Tag	Temp.	Tag	Temp.	Tag	Temp.	Tag	Temp.	Tag	Temp.	Tag	Temp.
01.09.2004	13,5	01.10.2004	11,1	01.11.2004	10,1	01.12.2004	2,6	01.01.2005	2,7	01.02.2005	0,0	01.03.2005	-14,7	01.04.2005	6,4	01.05.2005	18,2
02.09.2004	14,7	02.10.2004	12,8	02.11.2004	10,5	02.12.2004	-0,7	02.01.2005	4,1	02.02.2005	0,2	02.03.2005	-12,1	02.04.2005	7,7	02.05.2005	19,5
03.09.2004	17,4	03.10.2004	11,2	03.11.2004	11,0	03.12.2004	1,6	03.01.2005	2,4	03.02.2005	1,8	03.03.2005	-9,6	03.04.2005	7,8	03.05.2005	15,9
04.09.2004	19,4	04.10.2004	12,3	04.11.2004	10,4	04.12.2004	3,5	04.01.2005	3,7	04.02.2005	-0,6	04.03.2005	-8,3	04.04.2005	8,8	04.05.2005	13,1
05.09.2004	17,7	05.10.2004	14,4	05.11.2004	8,3	05.12.2004	1,6	05.01.2005	2,6	05.02.2005	-5,2	05.03.2005	-5,1	05.04.2005	9,3	05.05.2005	10,9
06.09.2004	17,0	06.10.2004	15,9	06.11.2004	5,2	06.12.2004	1,3	06.01.2005	4,9	06.02.2005	-7,2	06.03.2005	-5,5	06.04.2005	12,4	06.05.2005	7,7
07.09.2004	16,1	07.10.2004	13,0	07.11.2004	3,8	07.12.2004	0,3	07.01.2005	3,0	07.02.2005	-6,6	07.03.2005	-5,9	07.04.2005	11,7	07.05.2005	8
08.09.2004	15,7	08.10.2004	13,0	08.11.2004	2,1	08.12.2004	-1,3	08.01.2005	2,8	08.02.2005	-6,4	08.03.2005	-0,3	08.04.2005	7	08.05.2005	6,8
09.09.2004	14,6	09.10.2004	9,0	09.11.2004	0,1	09.12.2004	-1,3	09.01.2005	4,9	09.02.2005	-3,0	09.03.2005	1,3	09.04.2005	5,1	09.05.2005	6,7
10.09.2004	14,9	10.10.2004	8,3	10.11.2004	1,0	10.12.2004	-3,4	10.01.2005	0,4	10.02.2005	-1,0	10.03.2005	-0,9	10.04.2005	3,9	10.05.2005	6,6
11.09.2004	16,9	11.10.2004	6,9	11.11.2004	1,9	11.12.2004	-3,3	11.01.2005	0,9	11.02.2005	3,0	11.03.2005	-1,4	11.04.2005	6,6	11.05.2005	6,6
12.09.2004	14,9	12.10.2004	3,5	12.11.2004	2,5	12.12.2004	-3,6	12.01.2005	2,3	12.02.2005	6,0	12.03.2005	0,4	12.04.2005	10,9	13.05.2005	11,9
13.09.2004	13,5	13.10.2004	3,4	13.11.2004	2,2	13.12.2004	-3,7	13.01.2005	3,5	13.02.2005	1,6	13.03.2005	0,3	13.04.2005	10,6	14.05.2005	12,6
14.09.2004	15,7	14.10.2004	5,5	14.11.2004	0,6	14.12.2004	-3,7	14.01.2005	0,0	14.02.2005	-0,3	14.03.2005	-1,2	14.04.2005	11,8	15.05.2005	11,5
15.09.2004	14,3	15.10.2004	8,5	15.11.2004	-2,1	15.12.2004	-4,4	15.01.2005	-2,7	15.02.2005	-2,4	15.03.2005	2,9	15.04.2005	13,5	16.05.2005	9,6
16.09.2004	11,1	16.10.2004	5,6	16.11.2004	1,0	16.12.2004	-4,8	16.01.2005	-4,0	16.02.2005	-2,7	16.03.2005	3,5	16.04.2005	14	17.05.2005	10,7
17.09.2004	11,0	17.10.2004	5,2	17.11.2004	4,5	17.12.2004	1,7	17.01.2005	-3,5	17.02.2005	-2,4	17.03.2005	7,1	17.04.2005	10,5	18.05.2005	8,8
18.09.2004	11,6	18.10.2004	8,6	18.11.2004	7,4	18.12.2004	1,7	18.01.2005	-1,8	18.02.2005	-2,1	18.03.2005	12,1	18.04.2005	8	19.05.2005	9,6
19.09.2004	12,6	19.10.2004	5,6	19.11.2004	3,3	19.12.2004	-0,4	19.01.2005	0,7	19.02.2005	-2,3	19.03.2005	9,9	19.04.2005	8,4	20.05.2005	13,2
20.09.2004	14,5	20.10.2004	11,3	20.11.2004	0,3	20.12.2004	-7,9	20.01.2005	3,3	20.02.2005	-1,7	20.03.2005	3,9	20.04.2005	6,1	21.05.2005	16,3
21.09.2004	13,2	21.10.2004	13,2	21.11.2004	-0,9	21.12.2004	-8,6	21.01.2005	3,7	21.02.2005	-3,0	21.03.2005	4	21.04.2005	5	22.05.2005	16,2
22.09.2004	11,5	22.10.2004	8,8	22.11.2004	5,0	22.12.2004	-4,0	22.01.2005	1,4	22.02.2005	-3,0	22.03.2005	6	22.04.2005	5,7	23.05.2005	12,2
23.09.2004	12,3	23.10.2004	10,8	23.11.2004	6,4	23.12.2004	2,4	23.01.2005	-0,5	23.02.2005	-6,2	23.03.2005	9,8	23.04.2005	9	24.05.2005	13,7
24.09.2004	9,4	24.10.2004	10,5	24.11.2004	-1,9	24.12.2004	6,0	24.01.2005	-2,4	24.02.2005	-8,4	24.03.2005	8,5	24.04.2005	11,4	25.05.2005	15,7
25.09.2004	9,3	25.10.2004	10,8	25.11.2004	-2,1	25.12.2004	4,7	25.01.2005	-5,0	25.02.2005	-7,7	25.03.2005	7,9	25.04.2005	9,7	26.05.2005	18,2
26.09.2004	8,5	26.10.2004	9,8	26.11.2004	2,8	26.12.2004	1,5	26.01.2005	-6,0	26.02.2005	-3,5	26.03.2005	5,9	26.04.2005	11	27.05.2005	19,6
27.09.2004	11,0	27.10.2004	9,0	27.11.2004	4,8	27.12.2004	0,3	27.01.2005	-8,5	27.02.2005	-6,4	27.03.2005	8,2	27.04.2005	9,6	28.05.2005	21,3
28.09.2004	13,1	28.10.2004	10,4	28.11.2004	2,3	28.12.2004	0,2	28.01.2005	-9,5	28.02.2005	-12,4	28.03.2005	9,9	28.04.2005	10,8	29.05.2005	22,2
29.09.2004	12,4	29.10.2004	9,6	29.11.2004	2,8	29.12.2004	0,4	29.01.2005	-9,3			29.03.2005	10,5	29.04.2005	13,3	30.05.2005	18,7
30.09.2004	11,1	30.10.2004	9,1	30.11.2004	2,5	30.12.2004	-2,7	30.01.2005	-7,4			30.03.2005	9,1	30.04.2005	16,8	31.05.2005	12,7
		31.10.2004	7,2			31.12.2004	-0,3	31.01.2005	-2,0			31.03.2005	8,7				
Mittel	13,6		9,5		3,5		-0,8		-0,5		-2,9		2,1		9,4		13,2

Tabelle 9: Außentemperaturen in Burgheim 2004-2005

Diese gemessenen Temperaturen werden im Monatsmittel den vermuteten inneren Mitteltemperaturen des Gebäudes von etwa 18 °C gegenübergestellt. Die von der Temperaturdifferenz durch die Gebäudehülle getriebene Wärmeenergie muss im Bilanzzeitraum eines Monats durch innere Quellen nachgeliefert werden. Das geschieht durch Heizen mit Erdgas und Heizöl, deren Wärmemengen monatlich in Tabelle 10 festgehalten sind.

Eine weitere Wärmequelle ist der Elektrische Strom, der letztendlich vollständig in Wärme umgewandelt wird. Weiter geben die 1200 Personen jeweils 80 W über 6 Stunden pro Tag und 20 Tage pro Monat ab. Als letzter merklicher Wärmegewinn ist die solare Einstrahlung mit 100 kWh/(m²·a) für Nordfenster und 350 kWh/(m²·a) für Südfenster aufzuführen. Die für Brauchwasser aufgewendete Wärme ist mit etwa 6.000 kWh monatlich abzuziehen. In Tabelle 10 ist die gesamte Bilanz aufgelistet, wobei für die Heizkessel ein Gesamtwirkungsgrad von 0,8 zugrunde gelegt wurde.

Spezifischer Wärmeverlust aus Energieverbrauch 2004 - 2005													
Monat	Kessel I Gasheizung		Kessel II Ölheizung			Verbrauch kWh	K I-II Verbrauch kWh	Interner Gewinn kWh	Brauchwasser kWh	Außentemp. °C	Temp.Diff. K	Durchlass kWh/(K*mon)	Durchlass kW/K
	Verbrauch m ³	Verbrauch kWh	Stufe I Liter	Stufe II Liter	Summe Liter								
September	1.289	10.568	165	195	360	2.951	13.519	52.720	-5.000	13,6	4,4	13.918	19
Oktober	8.497	69.662	1.155	780	1935	15.864	85.526	52.720	-5.000	9,5	8,5	15.676	21
November	17.246	141.390	2.442	1.495	3937	32.277	173.667	52.720	-5.000	3,5	14,5	15.268	21
Dezember	20.370	167.001	4.191	2.860	7051	57.807	224.808	52.720	-5.000	-0,8	18,8	14.496	19
Januar	22.155	181.636	3.927	2.925	6852	56.175	237.811	52.720	-5.000	-0,5	18,5	15.434	21
Februar	20.850	170.937	4.521	3.380	7901	64.776	235.712	52.720	-5.000	-2,9	20,9	13.561	20
März	14.109	115.671	5.148	5.395	10543	86.436	202.107	52.720	-5.000	2,1	15,9	15.712	21
April	6.749	55.331	1.980	2.275	4255	34.884	90.215	52.720	-5.000	9,4	8,6	16.039	22
Mai	3.053	25.030	594	715	1309	10.732	35.761	52.720	-5.000	13,2	4,8	17.392	23
Summen	114318	937.225			44143	361.902	1.299.127					Mittel	21
HW Gas	10,25 kWh/m ³		Interne Gewinne			1200 Personen	80 W/Person		96 KW Wärme		120 Stunden		11520 kWh
HW Öl	10,00 kWh/l								120 KW Strom		120 Stunden		14400 kWh
Wirkungsgr.	0,80								20 KW Strom		600 Stunden		12000 kWh
Raumtemp.	18,00 °C				1850 m ² Fenster		8 kWh/m ² Monat						14800 kWh
											Summe		52720 kWh

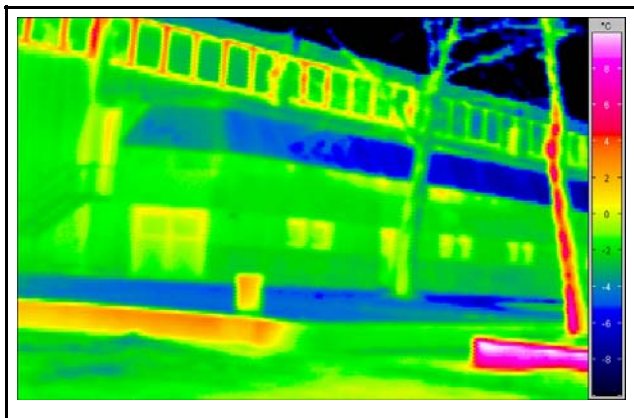
Tabelle 10: Thermische Durchlässigkeit der Gebäudehülle

Aus Tabelle 10 ist abzulesen, dass die Gebäudehülle pro 1 K Temperaturdifferenz zwischen der Innentemperatur und der Außentemperatur im Mittel 21 kW verliert. Das heißt, die Heizung muss zur Hauptnutzungszeit (bei 0 °C) rund 378 KW gesamt - 100 kW Strom = 278 kW an Wärmeleistung erbringen. Bei extrem kaltem Wetter (-25 °C) beträgt tagsüber (Raumtemperatur 20 °C) die reine Heizlast, also ohne Stromanteil, etwa 845 kW.

2.2.4.2 Lokalisierung der Wärmeverluste

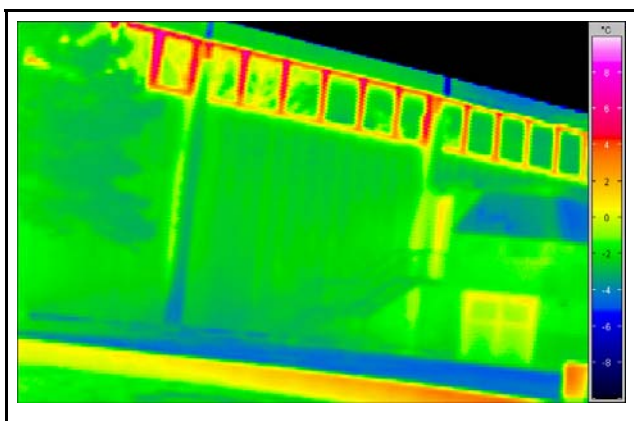
Umfassungswände:

Zur zum Erkennen von Wärmebrücken in der Gebäudehülle wurde mit einer Präzisions-Infrarotkamera vom kompletten Gebäude Infrarotbilder am 12.01.2006 gemacht. Die Außentemperaturen veränderten sich im Laufe der Aufnahmezeit und war zu Beginn der Aufnahmen etwa $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$.



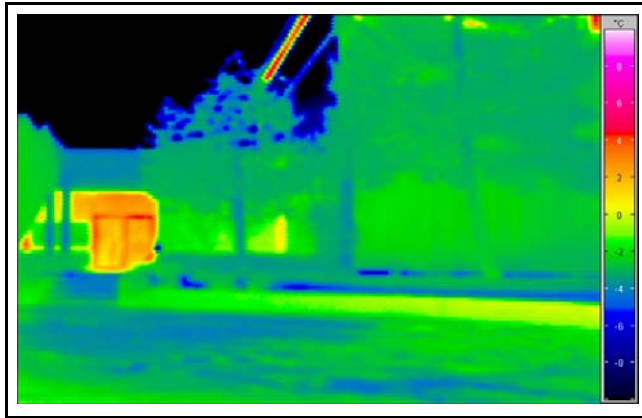
Wärmebild 1

In Wärmebild 1 ist zu sehen, dass die Fensterrahmen und Türrahmen der Turnhalle ein thermischer Schwachpunkt ist. Interessant ist auch wie die Sonne den Baumstamm, den Mülleimer und die kleine Betonwand aufgeheizt hat. Das Tauwasser am Boden hat erwartungsgemäß $0,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



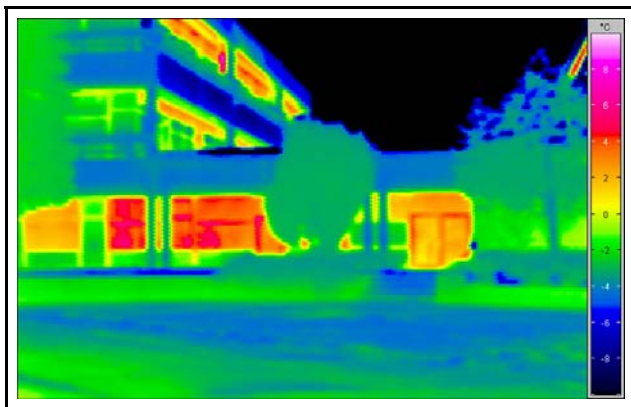
Wärmebild 2

Die Betonsäulen in Wärmebild 2 sind gut gedämmt und bilden somit keine Wärmebrücken. Für den Rest gilt das vorher Gesagte.



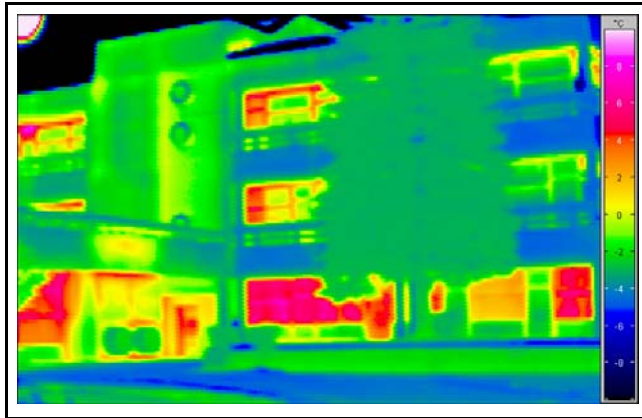
Wärmebild 3

In Wärmebild 3 sind deutlich die Verglasung und die Rahmen von den Fenstern als Wärmefallen auszumachen. Der helle Streifen am Turnhallendach wurde durch die Sonneneinstrahlung hervorgerufen.

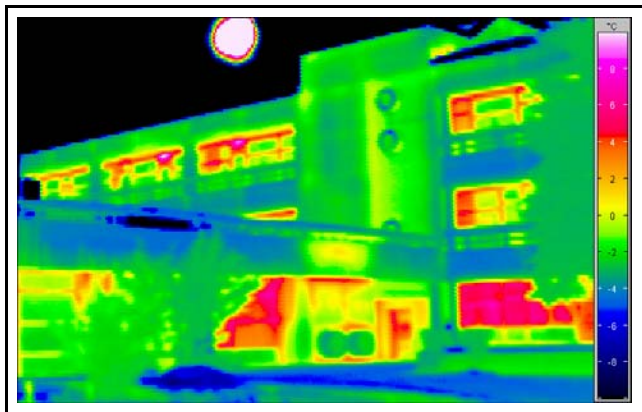


Wärmebild 4

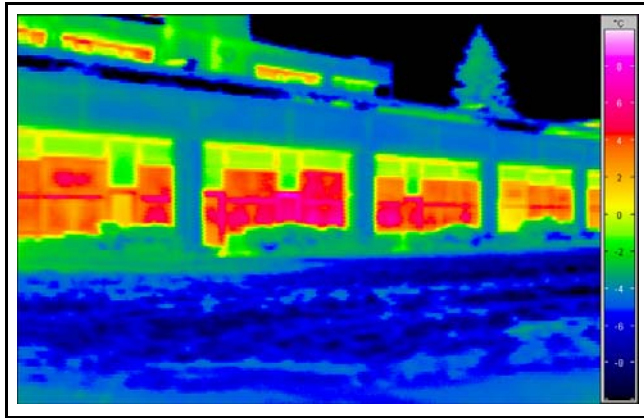
In Wärmebild 4 sind die unterschiedlich beheizten Räume zu erkennen. Die vorgehängten Betonschürzen über den Fenstern täuschen eine Wärmedämmung vor, die so nicht vorhanden ist.

**Wärmebild 5**

In Wärmebild 5 sieht man links neben dem Eingang zwei runde Kanalöffnungen für die Zuluft. Darüber befinden sich im Inneren des Gebäudes die Heizregister für die Lüftung der Fachräume. Die Betonwand an dieser Stelle sollte unbedingt mit einer Wärmedämmung versehen werden.

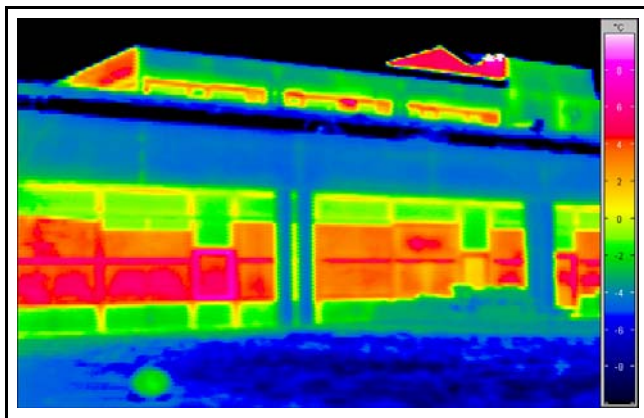
**Wärmebild 6**

In Wärmebild 6 ist im Treppenhaus rechts oben ein warmer Spot zu erkennen. Wegen der geringeren Innentemperaturen scheint das Treppenhaus genügend gedämmt zu sein. Das ist aber keinesfalls so. Die Betonwände mit Innenluftberührung sollten alle von außen gedämmt werden.



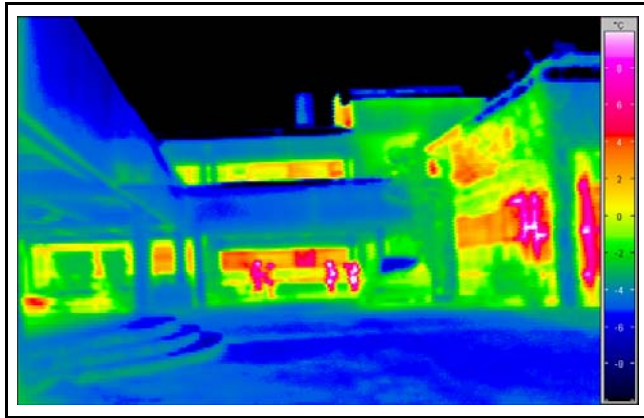
Wärmebild 7

Im Wärmebild 7 ist wieder die bessere Wärmeleitfähigkeit der Fensterrahmen gegenüber der Fensterscheiben zu erkennen.



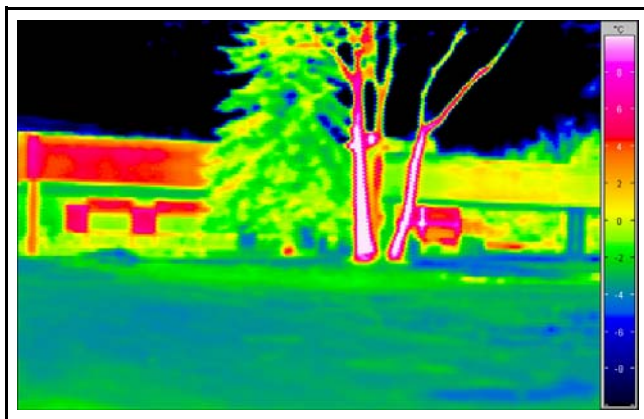
Wärmebild 8

In Wärmebild 8 erkennt man deutlich die unterschiedliche Wärmedurchgangswiderstände von Fensterelementen und Wandelementen. Die roten Südseiten im oberen Bildbereich sind durch Sonneneinstrahlung erwärmt.



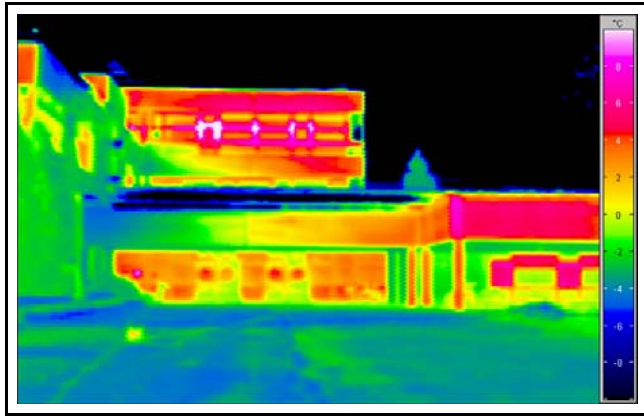
Wärmebild 9

In Wärmebild 9 sind wieder die Fensterflächen und die Betonwand des Treppenhauses als Schwachpunkte auszumachen. Die hellen Flecken im Eingangsbereich stammen von Kindern.



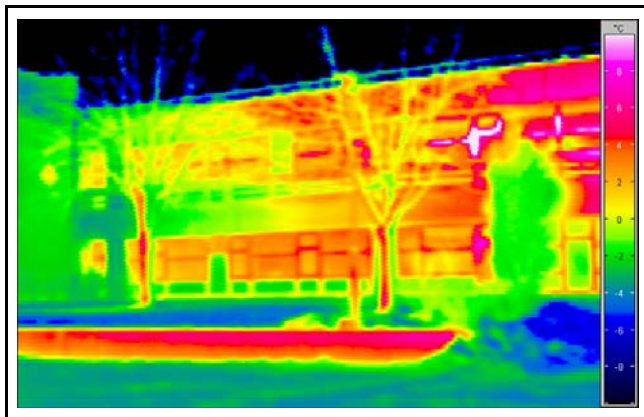
Wärmebild 10

In Wärmebild 10 sind wieder die Fensterflächen als Hauptverlustquelle auszumachen. Die roten Betonschürzen, Säulen und Baumstämme wurden wieder von der Sonne aufgeheizt.



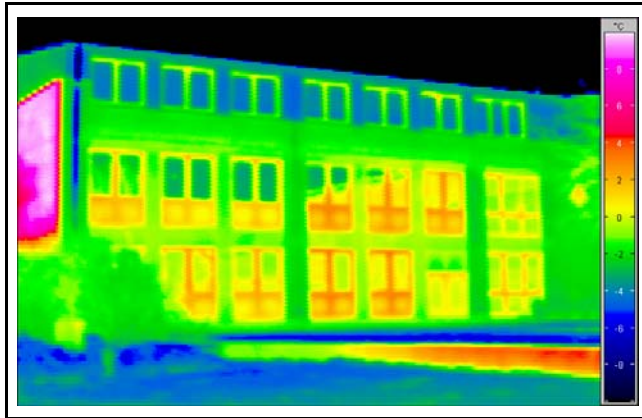
Wärmebild 11

In Wärmebild 11 kann man erkennen, dass die Füllungen der Eingangstüren einigermaßen gedämmt sind, während die Glasscheiben im Eingangsbereich sehr wärmedurchlässig sind.



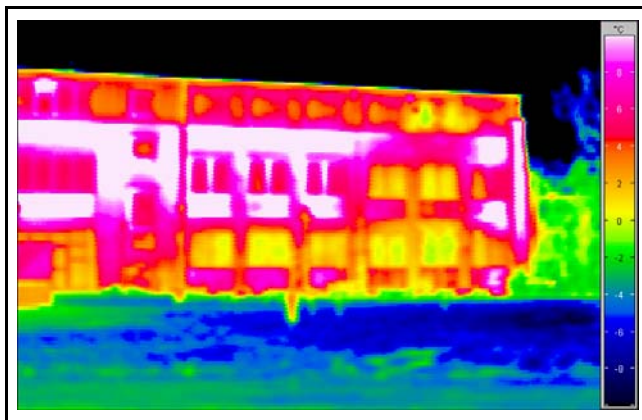
Wärmebild 12

In Wärmebild 12 ist wieder der Unterschied im Wärmedurchgang von Fensterscheibe und Rahmen zu erkennen.



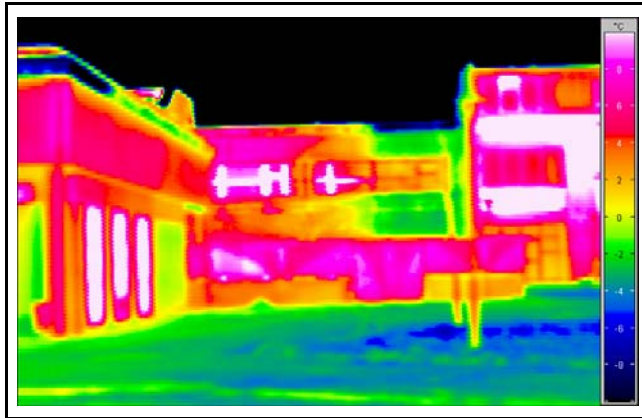
Wärmebild 13

In Wärmebild 13 ist die wesentlich bessere Dämmung des Neubaus zu erkennen. Der Dämmwert der Fensterscheiben ist hier deutlich besser als der Dämmwert der Ausfachung.



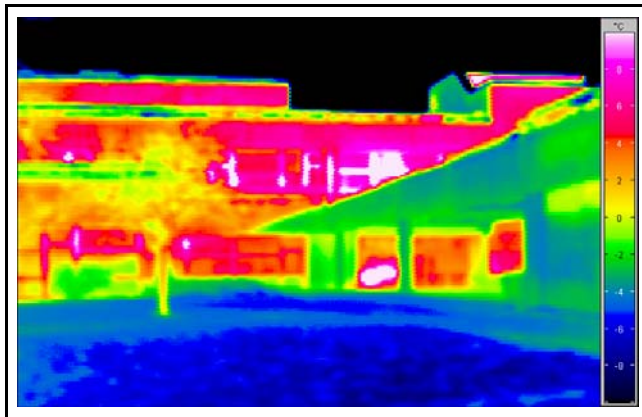
Wärmebild 14

In Wärmebild 14 ist die Aufheizung der Westfassade durch die Sonne zu sehen. Die herabgelassenen Jalousien verhindern unnötigerweise, dass die Klassenräume durch die Sonne erwärmt werden.



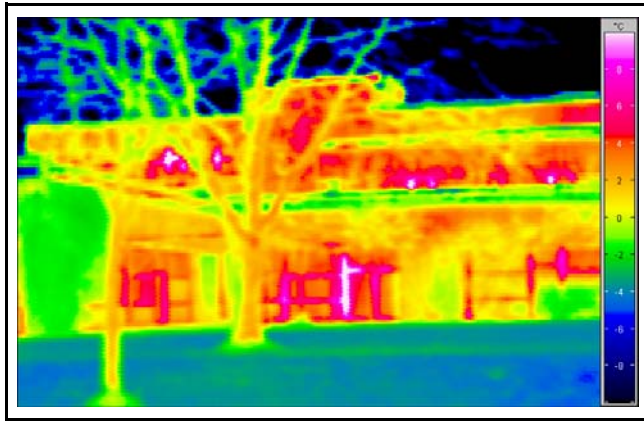
Wärmebild 15

In Wärmebild 15 ist die Erwärmung der Fensterrahmen durch die Sonne schön zu sehen.



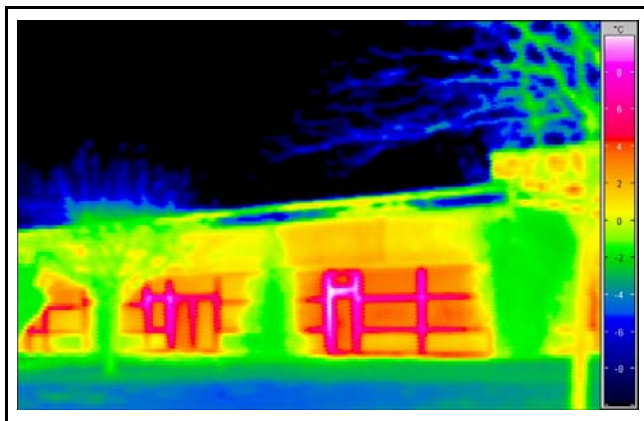
Wärmebild 16

In Wärmebild 16 sieht man auch deutlich die Schattengrenzen.



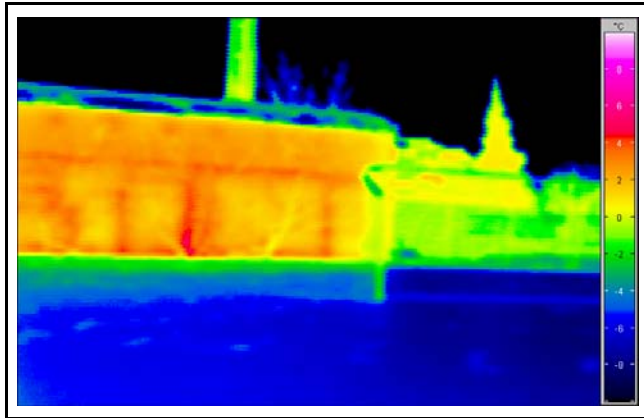
Wärmebild 17

In Wärmebild 17 sind die Temperaturen aller Flächen, die besonnt sind zu hoch.



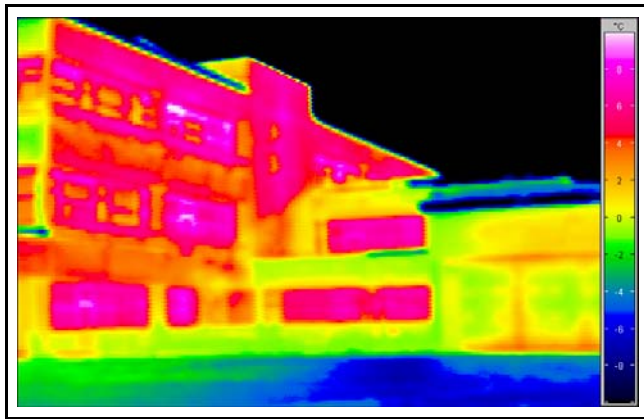
Wärmebild 18

In Wärmebild 18 ist wieder die Wärmedurchlässigkeit in der Reihenfolge Rahmen, Scheibe und Wandelement auszumachen.



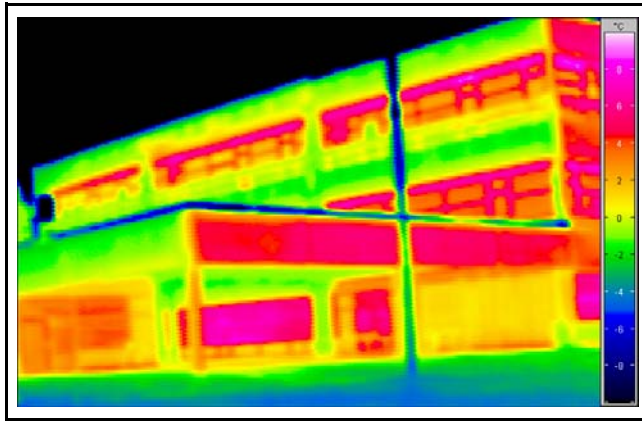
Wärmebild 19

In Wärmebild 19 sieht man die schlechte Wärmedämmung großer Außenflächen.



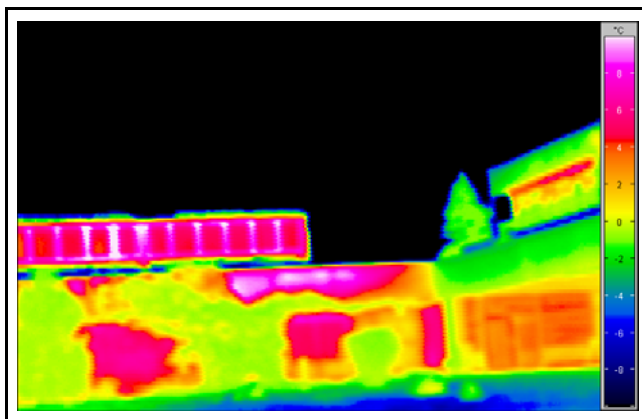
Wärmebild 20

In Wärmebild 20 sieht man, dass der Rest der Wand aus dem vorherigen Bild ebenso schlecht gedämmt ist.



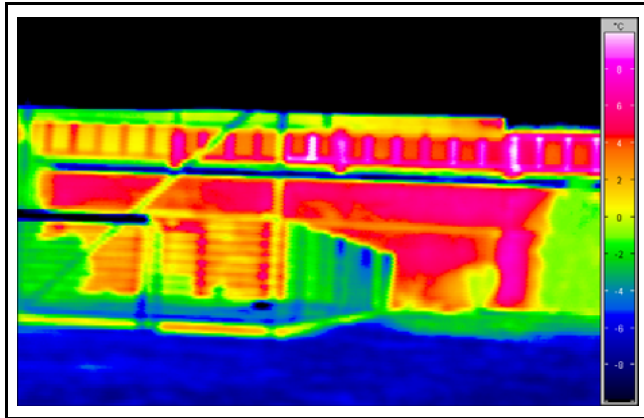
Wärmebild 21

In Wärmebild 21 sind wieder die typischen Wärmefallen zu sehen.



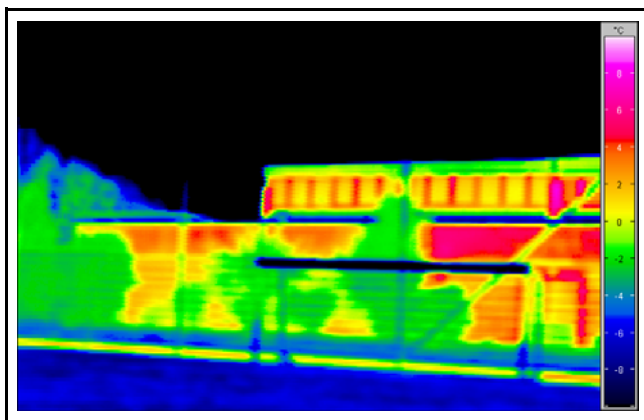
Wärmebild 22

In Wärmebild 22 ist eine völlig überheizte Betonwand zu erkennen. Hinter der Betonwand waren alle Heizkörper an und erzeugten da eine Innentemperatur von 23 °C.



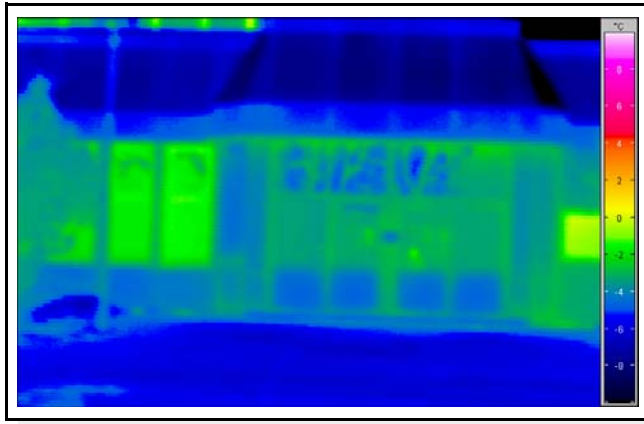
Wärmebild 23

In Wärmebild 23 ist der weitere Verlauf der warmen Betonwand zu erkennen.



Wärmebild 24

In Wärmebild 24 ist auch der weitere Verlauf der warmen Betonwand zu erkennen.



Wärmebild 25

In Wärmebild 25 ist zu erkennen, dass zu diesem Zeitpunkt das Foyer ungeheizt ist

2.2.4.3 Erhöhen der Wärmedämmung

Das Gebäude benötigt grob gesehen 21 KW bei einer Temperaturdifferenz von 1 K zwischen innen und außen über den Tag gemittelt. Wo die größten Verluste auftreten ist Tabelle 11 zu entnehmen.

Fenster Altbau	EG	690,8 m ²				
	1. OG	469,5 m ²				
	2. OG	310,5 m ²				
	Summe	1470,8 m ²				
Foyer		44,2 m ²				
Atrium		62,6 m ²				
Summe Fenster Altbau	alte Fenster	1577,6 m ²	3,255814 W/m ² K	5,1363721 KW/K	24,458915 %	
	neue Fenster	1577,6 m ²	1,1 W/m ² K	1,73536 KW/K		
Summe Wände Altbau		788,8 m ²	0,6976744 W/m ² K	0,5503256 KW/K	2,620598 %	
Zugverlust				6,3 KW/K	30 %	
Decken nach außen		3000 m ²	0,6976744 W/m ² K	2,0930233 KW/K	9,9667774 %	
				Zw.-summe	67,04629 %	
Neubau + Turnhalle					32,95371 %	

Tabelle 11: Wärmeverluste

Der größte Einzelverlust tritt mit 5,1 kW/K bei den alten Fenstern auf . Nimmt man anstelle der alten 8 mm dicken Verglasung mit dem U-Wert 3,3 W/(m²K) neue Verglasungen (in Tabelle 11 gelb unterlegt) mit einem U- Wert von 1,1 W/(m²K) lassen sich die Heizkosten um 16 % senken. In der Heizperiode 2004/2005 wurden etwa 1,6 GWh verheizt. Bei einem mittleren Energiepreis (Anfang 2005) von 0,037 €kWh fallen jährlich etwa 60 000 €Heizkosten an. Etwa **9.500 €**lassen sich davon durch neue Fenster jährlich einsparen. Die neuen Fenster haben eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren.

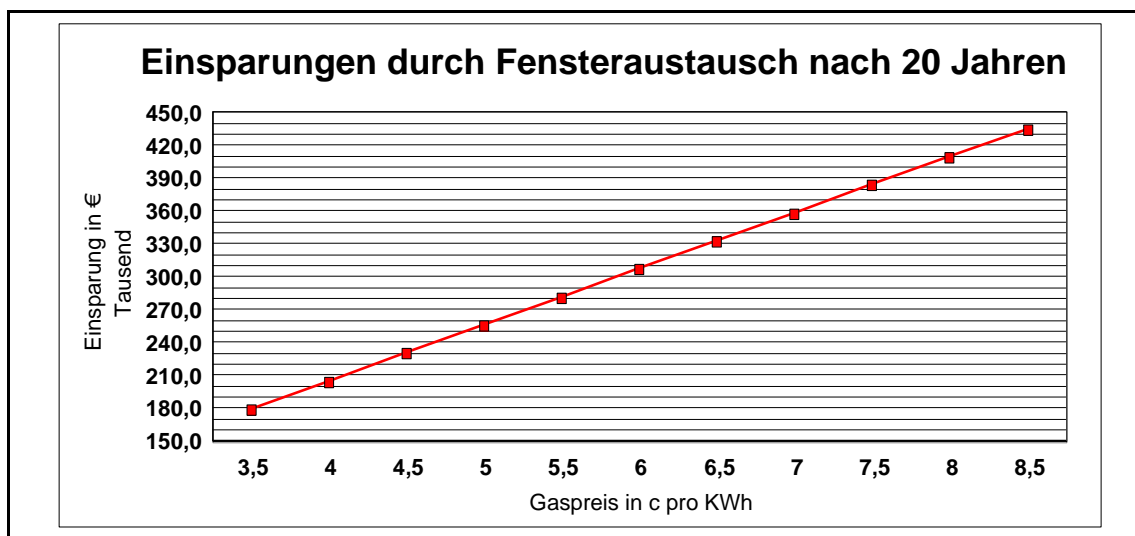


Bild 33: Einsparungen durch Fensteraustausch

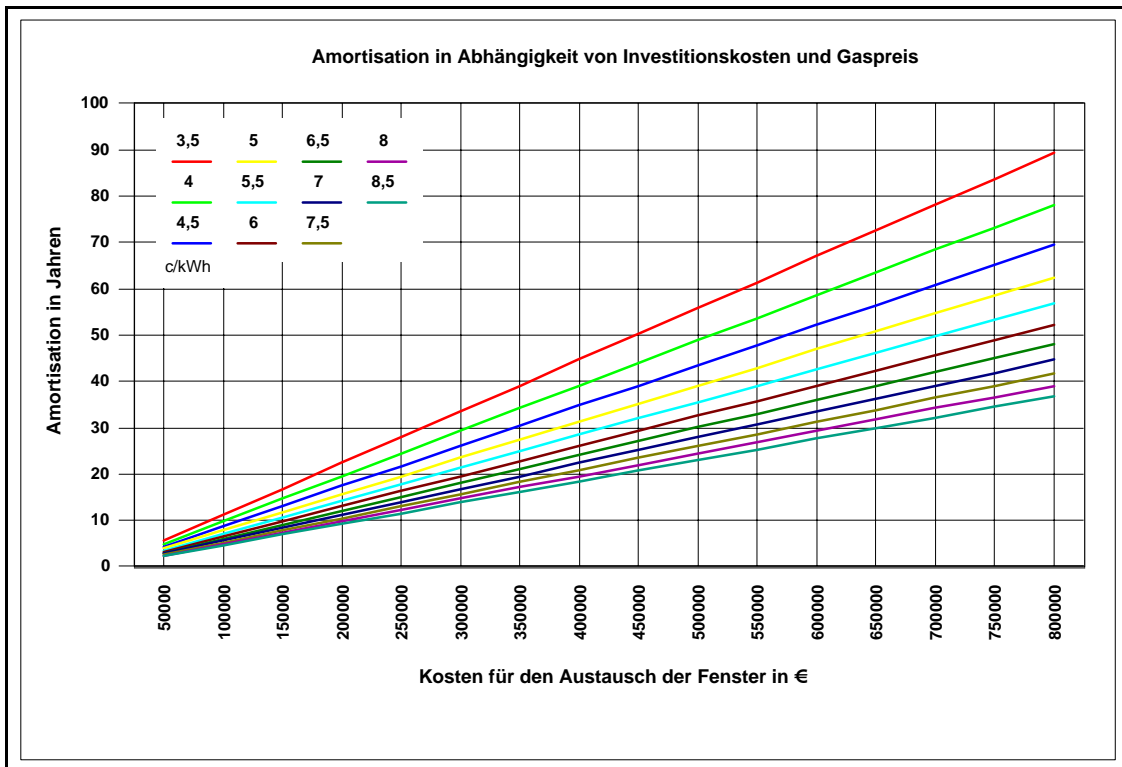


Bild 34: Amortisation bei unterschiedlichen Investitionskosten

In Bild 34 kann bei verschiedenen Kosten für das Auswechseln der Fenster die Abschreibungszeiten unter Berücksichtigung des Gaspreises abgelesen werden.

Strömungsabweiser auf den Heizungen:

Wenn die alten Verglasungen beibehalten werden sollen, könnte man mit Strömungsabweisern etwas Energie sparen. Hinter dem Abweiser entsteht ein Totwassergebiet in dem die Luft nur im Kreis herumgeführt wird, ohne dass ein merklicher Luftaustausch zwischen der erwärmten Luft von der Heizung und der Kaltluftwalze vor dem Fenster stattfindet (Bild 35). Der Unterschied zwischen der Innentemperatur vor dem Fenster und der Außentemperatur ist dann etwas kleiner als vorher.

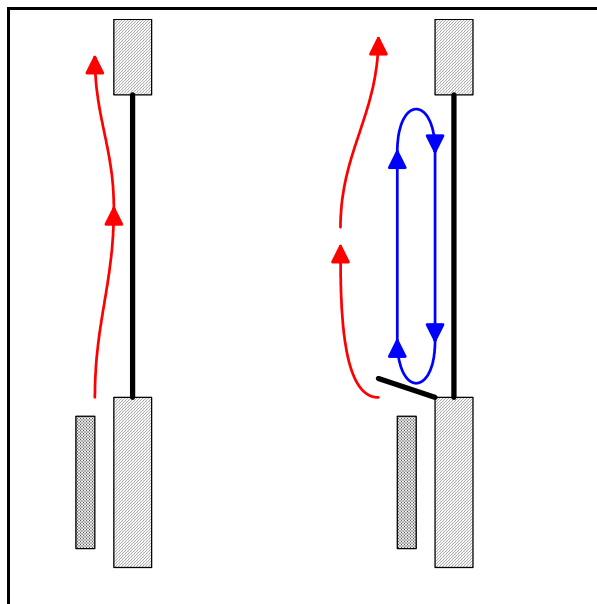


Bild 35: Strömungsabweiser

Der Luftabweiser (Bild 36) am Fenster führte zu den Oberflächentemperaturen an den Scheiben wie sie in Tabelle 12 angegeben sind. Bei diesen geringen Unterschieden lohnt sich eine genauere Berechnung der eingesparten Wärmeverluste nicht. Die Einsparung mit der Methode ist verschwindend klein.



Bild 36: Luftabweiser

	Temperatur
innen Luft	außen unveränderte
19 °C	-6,2 °C oben
19 °C	-5,5 °C unten

Tabelle 12: Oberflächentemperaturen an den Außenscheiben

Dämmung der Betonwände mit Innenluftberührung

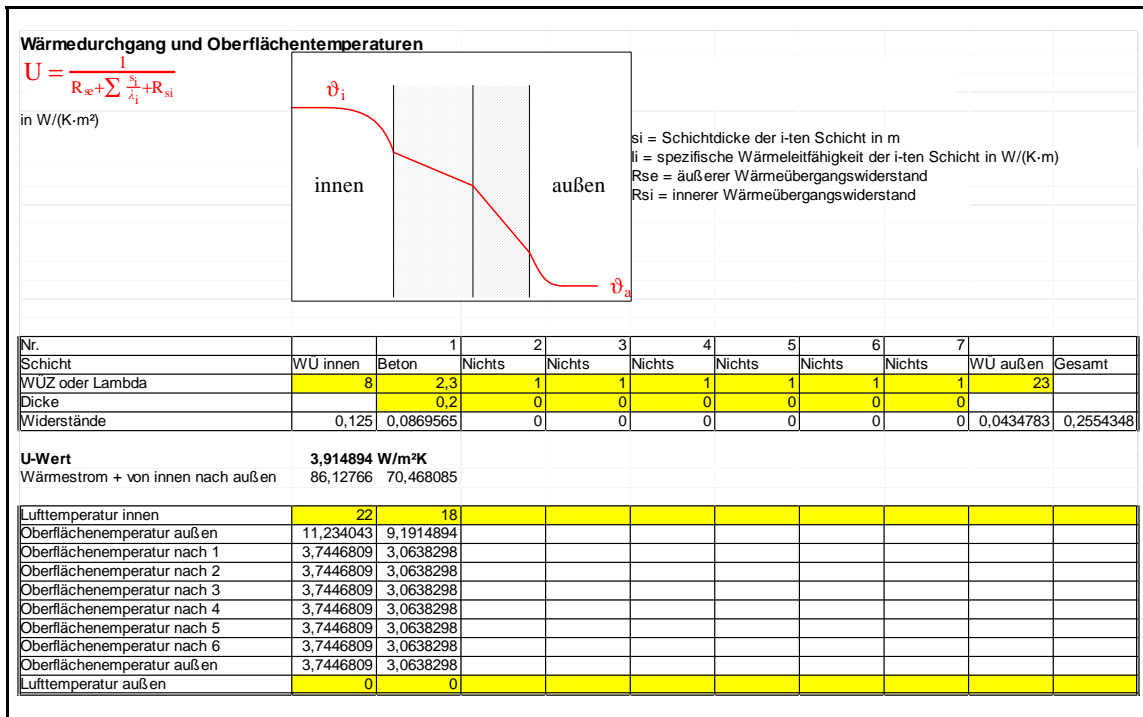


Tabelle 13: Wärmedurchgang Betonwand

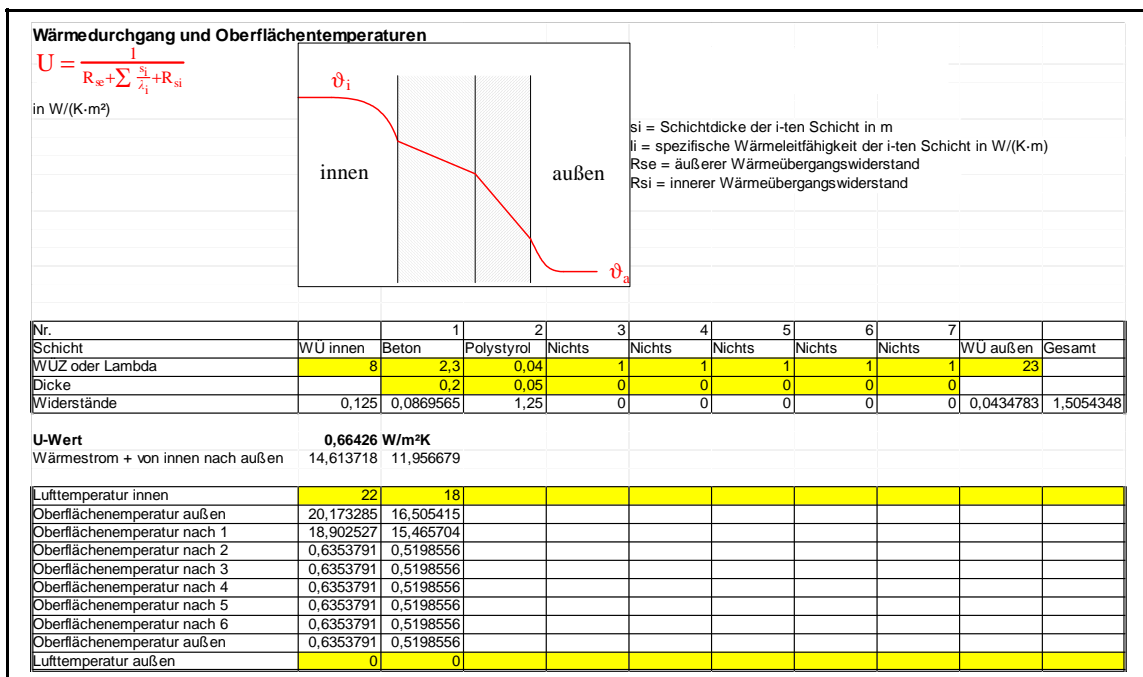


Tabelle 14: Wärmedurchgang Betonwand mit 5 cm Wärmedämmung

In den Tabellen 13 und 14 sind die thermischen Veränderungen berechnet worden, die bei einer 5 cm dicken äußeren Wärmedämmung auf den Betonwänden hervorgerufen werden. Der U-Wert verbessert sich nach der Dämmung von 3,91 W/m²K auf 0,66 W/m²K. Für die Umgebung von Rain ergaben sich in der Heizperiode 2004/05 83000 Kh/a Heizgradstunden bei einer mittleren Raumtemperatur von 18 °C. Das hat eine jährliche Einsparung von $(3,91 - 0,66) \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 83000 \text{ Kh/a} = 269750 \text{ Wh/m}^2\text{a}$ zufolge. Bei einem Gaspreis von 0,037 €/kW entspricht das einer jährlichen Einsparung von 9,98 €/m²a. Das Aufbringen der 50 mm dicken Dämmschicht mit anschließendem Verputz kostet etwa 50 €/m². Die Lebensdauer kann mit 40 Jahren angesetzt werden. In Bild 37 ist die Einsparung pro m² nach 40 Jahren in Abhängigkeit des Gaspreises dargestellt. Wenn man lediglich die heiße Wand bei den Umkleideräumen dämmt, dann spart man bei einem Aufwand von etwa **5000 €** und **998 € pro Jahr**.

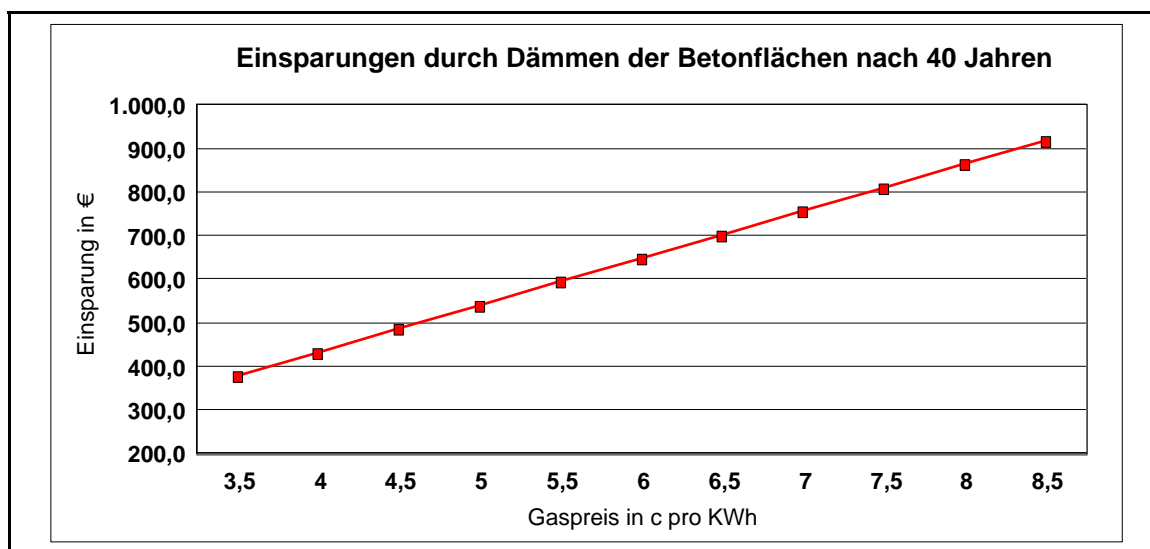


Bild 37: Energieeinsparung durch 5 cm dämmen mit Polystyrol

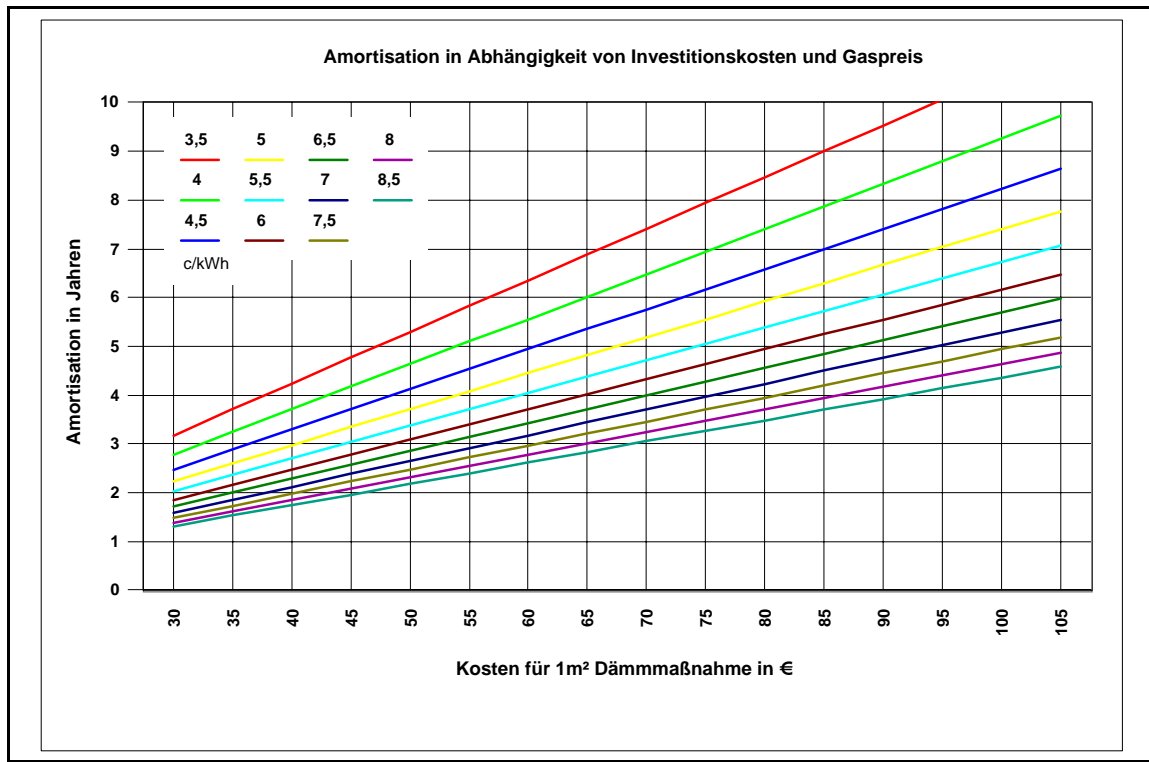


Bild 38: Amortisation in Abhängigkeit der Investitionskosten pro m² und Gaspreis

In Bild 38 ist abzulesen, ab welcher Zeit sich das eingesetzte Kapital rentiert. Wenn die Dämmung mit Verputz 75 € kostet und der mittlere Gaspreis im Abschreibungszeitraum 0,055 € beträgt, dann verdient die Wärmedämmung nach 5 Jahren Geld.

Die begrünten Dächer haben eine ausreichende Wärmedämmung. Man erkennt das an dem Schnee (Bild 39), der auf den Dächern liegen bleibt, obwohl er anderorts bereits weggeschmolzen ist.



Bild 39: Dach über den Fachräumen

Die Wärmedämmung der Dächer über dem 2. Obergeschoss (Bild 40) kann wegen der Blechverkleidung schlecht beurteilt werden. Vom Begehen im Winter wurde wegen der Absturzgefahr abgesehen. Die Dicke der Dämmung sollte mindestens 10 cm betragen. Wenn bei einer Inspektion des Dachraums festgestellt wird, dass die Dämmung dünner ist lässt sie sich für verhältnismäßig wenig Geld auf 20 cm Dicke ertüchtigen.



Bild 40: Dach über dem zweiten Obergeschoss

Reflektierende Folien unter den Fenstern:

Wie auf den Wärmebildern zu sehen ist, bildet nicht das geschlossene Wandelement das Wärmeleitproblem sondern die Verglasung. Trotzdem wurden, angeregt von Zahlen über Einsparpotentiale aus der Literatur (bis zu 4%), Versuche mit reflektierender Folie durchgeführt (Bild 41). Zu dem Zweck wurden die Flächen hinter den Heizkörpern mit Aluminiumfolie verkleidet und die Temperaturen an der Außenhaut gemessen.

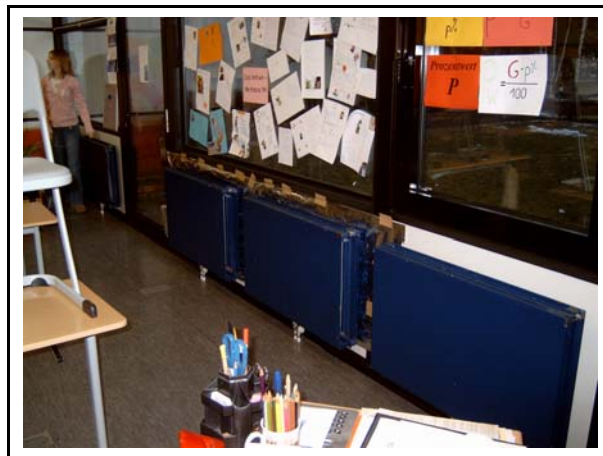


Bild 41: Strahlungabweiser hinter den Heizkörpern

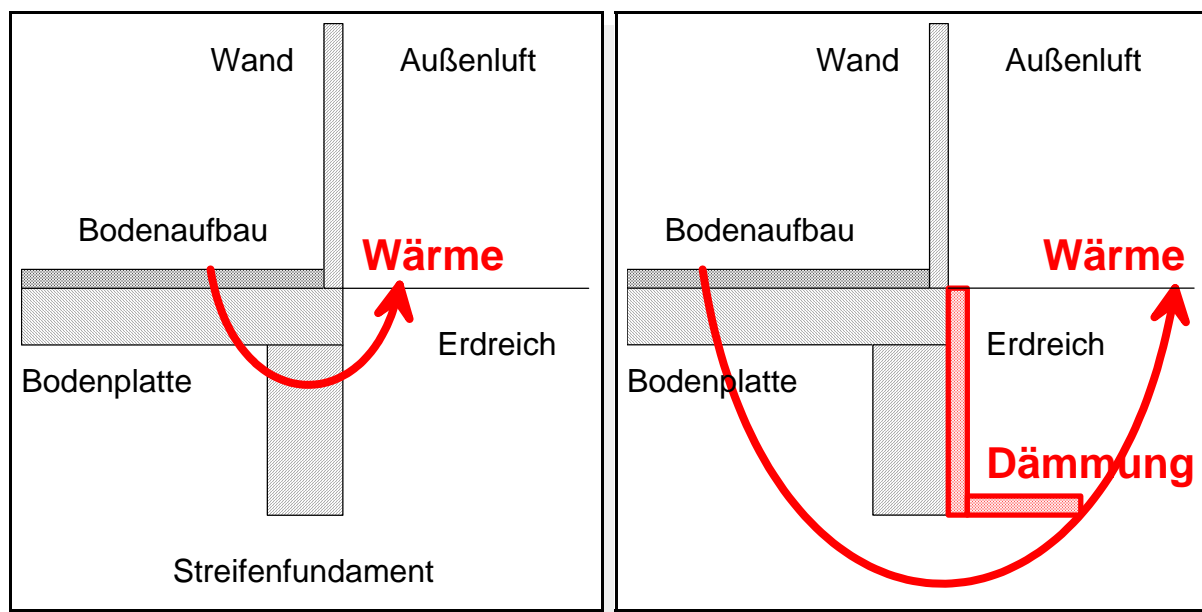
	Temperaturen	
Oberfläche innen	außen unveränderter Bereich	außen mit Folie
5 °C	-12,7 °C	-14,0 °C

Tabelle 15: Temperaturen im Vergleich mit und ohne reflektierende Folie

In Tabelle 15 sind die Temperaturen gegenübergestellt. Der Wärmewiderstand der reinen Wandkonstruktion, also ohne Wärmeübergänge zur Luft, wächst um 7 %. Dieser Zuwachs hat aber weniger etwas mit der Reflexion als mit der Dämmwirkung der eingeschlossenen Luft zwischen Folie und Wand zu tun.

Bepflanzung im Sockelbereich:

Der Wärmeübergangskoeffizient für Innenseiten von Wänden ist mit 8 W/(m²K) wesentlich geringer als der für Außenseiten bei 23 W/(m²K). Das liegt an den verschiedenen Luftgeschwindigkeiten innen und außen. Wenn die Luftgeschwindigkeit an den Außenwänden durch eine immergrüne Bepflanzung reduziert wird, dann verringert sich auch der Wärmestrom von innen nach außen.

Dämmung der Fundamente:**Bild 42: Dämmung der Fundamente**

In Bild 42 ist links der kurze Weg auf dem die Wärme ohne großen Widerstand entweichen kann dargestellt. Nach einer geeigneten Dämmung (Bild 42, rechts) muss die Wärme einen viel größeren Weg bei einem erheblich größeren Widerstand zurücklegen. Eine exakte Berechnung der Energiegewinne lässt sich nur mit erheblichem Aufwand durchführen (Kosten für die Berechnung ca. 5000,00 €).

2.2.4.4 Konvektionsverluste

Alle Eingänge sind sehr undicht. Vor den Eingangstüren wurde bislang deswegen vorgewärmte Sperrluft ausgeblasen. Das Vorwärmen ist nicht unbedingt nötig und sollten nach Möglichkeit abgestellt werden. Bild 43 zeigt wie es auch ohne Vorwärmung geht. Besser als Sperrluft sind Eingangsschleusen oder Windfänge, die den Durchzug erheblich reduzieren.

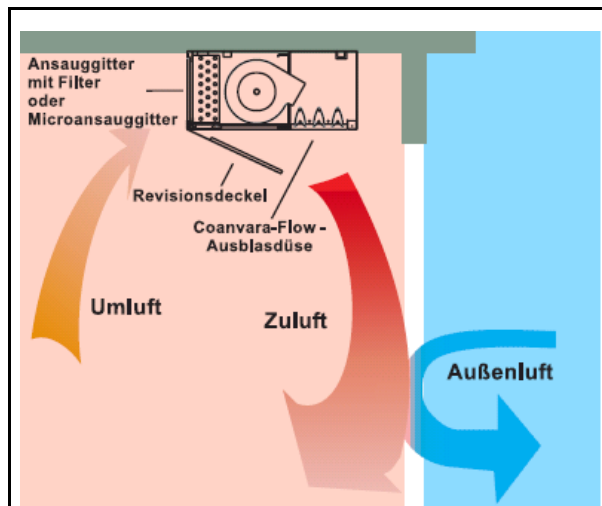


Bild 43: Sperrluft mit Umluft

Die Wärme in der Abluft aus den WCs bleibt ungenutzt und geht als Fortluft durch die Unterstationen (Bild 44) direkt ins Freie.



Bild 44: Abluftkanal in der Unterstation

Mit einem Wärmetauscher, vergleichbar mit Bild 45, lässt sich die Wärme aus der Abluft fast vollständig zurückgewinnen.

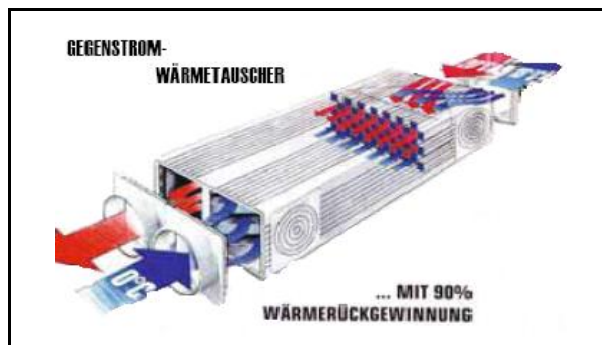


Bild 45: Wärmetauscher für Abluft

Die Abluftventilatoren bewirkten einen Unterdruck im gesamten Schulgebäude. So entstehen auch die merklichen Zugerscheinungen in den Eingangsbereichen.

Wenn die Zuluft über einen Wärmetauscher oder direkt als kalte Frischluft den WCs zugeführt wird, kühlt nicht das ganze Gebäude sondern im Falle von unconditionierter Frischluft nur das WC aus.

Die Zuluft für die Halle wird über den Toren zu den Geräteräumen eingeblasen. Gleichzeitig wird die Abluft in Bodenhöhe auf der gegenüberliegenden Seite abgesaugt. In der Turnhalle herrscht auch Unterdruck. Deswegen wird wegen wird Falschlucht aus der Wandverkleidung (Bild 46) gesaugt. Bei Messungen war die Zulufttemperatur 22 °C, die Raumlufttemperatur 20 °C und die Ablufttemperatur im Kanal 15 °C. Die kalte Ablufttemperatur erklärt sich aus einem Lüftungskurzschluss. Aus der Wandverkleidung strömt Falschlucht mit 8 °C und wird sofort in den Abluftkanal gesaugt. Die Falschlucht transportiert Mineralwollefasern in die Turnhalle. Diese Fasern sind gesundheitlich sehr bedenklich!



Bild 46: Abluftkanal der Turnhalle 1

In der Turnhalle wird derzeit mit der Lüftung geheizt. Konventionelle Heizsysteme, die auf Lufterwärmung basieren, führen häufig zu hohen Heizkosten, weil sich die warme Luft nicht am Boden sondern unter der Decke sammelt.

Strahlungsheizungen sind für die Beheizung von hohen Räumen besser geeignet. Sie transportieren Wärme durch elektromagnetische Wellen (Infrarotstrahlung). Dabei wird nicht die Luft, sondern Gegenstände und Menschen direkt erwärmt. Man unterscheidet Hellstrahler und Dunkelstrahler.

Hellstrahler sind Gasheizstrahler mit gelochten Keramikplatten, aus denen das brennbare Gas-Luft-Gemisch austritt und entzündet wird (Verbrennung sichtbar). Keramikplatten werden zum Glühen gebracht und senden Infrarotstrahlung aus. Hellstrahler sind für Hallen mit einer Höhe von mehr als 8 m geeignet. Nachteilig an dieser Technik ist, dass sich die Verbrennungsabgase mit der Raumluft mischen. Für eine entsprechende Lüftung mit Wärmetauscher muss daher gesorgt werden.

Dunkelstrahler erzeugen Wärme durch Verbrennung eines Sauerstoff-Gas-Gemisches in geschlossenen Brennern mit Strahlrohren (Verbrennung nicht sichtbar). Die Strahlrohre werden erhitzt und geben ihre Wärmestrahlung über Reflektoren ab. Dunkelstrahler eignen sich für Hallen ab 4 m Höhe. Die Verbrennungsabgase werden direkt ins Freie abgeleitet und können über einen Wärmetauscher Frischluft erwärmen.

2.2.4.5 Nutzerverhalten

Raumtemperaturen

Heizkosten können durch eine nutzungsgerechte Einstellung der Heizung gesenkt werden. Folgende Richtwerte für die Raumtemperatur werden empfohlen (gemessen in der Mitte des geschlossenen Raumes in 1 m Höhe):

<i>Raumtyp</i>	<i>Temperatur</i>
Wasch- und Umkleideräume	22 °C
Klassenräume	20 °C
Büro- und Verwaltungsräume	20 °C
Turnhallen	17 °C
Werkstätten	12 – 17 °C
Toiletten	15 °C
Flure, Treppenhäuser, Garderobe	12 °C

Zu hohe Temperaturen im Klassenraum nicht durch Lüften abkühlen; dem Hausmeister melden.

Lüftungsverhalten

Dauerlüften über gekippte Fenster ist Energieverschwendung. Grundsätzlich sollten nur Stoßlüftungen vorgenommen werden, bei denen alle Fenster gleichzeitig geöffnet sind.

Zusätzliche Dämmmaßnahmen

In den Technikräumen sind innenliegende dichte Jalousien. Diese sollten während der ungenutzten Zeiten herab gelassen sein.

Im Nähkurs könnten doch einmal Vorhänge genäht und im Werkkurs diese nahe an den Fensterscheiben montiert werden.

Anlagesteuerung

Die Heizung und die Umwälzpumpen gehören außerhalb der Heizperiode abgeschaltet. Wenn das über die elektronische Steuerung nicht möglich ist sollte das per Handbetrieb geschehen. Allerdings muss die Pumpe einmal in der Woche für wenige Minuten eingeschaltet werden (Pumpenkick), damit sie sich nicht festsetzt. Mit elektronisch geregelten Pumpen oder einer Wochenzeitschaltuhr kann dieser Vorgang automatisiert werden.

Um alle Heizkörper sollte eine freie Luftzirkulation gewährleistet sein.

Heizregister unbenutzter Lüftungen sollten abgeschaltet werden.

Nicht nur die Heizung trägt zur Beheizung eines Gebäudes bei, sondern auch Menschen, Maschinen, Bürogeräte, Beleuchtung und Sonneneinstrahlung. In Räumen mit

zahlreichen EDV-Geräten und Räume, die von vielen Menschen genutzt werden, kann die Heizung entsprechend früher täglich heruntergeregelt werden.

Durch entsprechende Steuerung des Sonnenschutzes kann die Sonnenenergie im Neubau genutzt werden (nicht abschatten).

Dokumentation

Nach einer Optimierung der Energieverbräuche muss in weiterer Folge darauf geachtet werden, dass die Anlage diese Betriebsweise auf Dauer beibehält und auftretende Mängel rasch entdeckt werden. Durch eine regelmäßige Aufzeichnung und Auswertung der Energieverbrauchsdaten können auftretende Fehler oder sich ändernde Bedingungen festgestellt werden und entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Dies ist mittels einer Energiebuchhaltung möglich. Die möglichen Formen einer Energiebuchhaltung sind vielfältig. Dies kann von einer einfachen Aufzeichnung in Listen bis zu automatischer Aufzeichnung von verschiedensten Parametern durch moderne Leittechniksysteme gehen.

Mindestens folgende Messeinrichtungen sollen regelmäßig abgelesen werden:

- Stromzähler (Gesamtbetrieb und eigene Zähler für die wichtigsten Verbraucher)
- Wärmemengenzähler (Brauchwasser, Heizung, etc.)
- Gaszähler, Ölstände etc.
- Betriebsstundenzähler (Kessel, Kälteanlagen, usw.)
- Außentemperatur
- Raumtemperaturen

Zusätzlich sollten die Rechnungen über Energielieferungen (Öl, Gas, Strom, Fernwärme etc.) und Rechnungen für Reparatur und Wartung an energietechnischen Anlagen, Kaminkehrerprotokolle etc. gesondert und übersichtlich geordnet werden.

Damit die zur Verfügung stehenden Daten auch einen Nutzen haben, ist eine regelmäßige Auswertung und Analyse erforderlich. Zu diesem Zweck sollte die Schule einen Energiebeauftragten (Verwaltungsangestellten mit einschlägigem Fachwissen) ernennen.

Im Rahmen dieser Tätigkeit hat er folgende Aufgaben wahrzunehmen:

- Aufbereitung der Aufzeichnungen
- Vergleich der jeweils neuesten mit älteren Aufzeichnungen
- Erarbeitung von Trends
- Interpretieren von sich ändernden Bedingungen
- Berichterstattung an den Sachaufwandträger bei Auftreten von negativen Veränderungen

Durch eine gewissenhafte Energiebuchhaltung und deren regelmäßige Auswertung lässt sich ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess in Gang setzen.

3 Schlussbemerkungen

Eine einmalige Energieeinsparaktion verliert sich bald wieder im Alltagstrott. Ohne ständige Sensibilisierung aller Nutzer und Betreibenden in Energiefragen ist keine kontinuierliche Verbesserung des derzeitigen Zustandes zu erwarten.

In der Hauptsache betrifft das in einer Schule die Lehrenden und Lernenden. Gerade die Schülerinnen und Schüler wirken als Multiplikatoren im sorgsamem Umgang mit Energie.

Projektarbeiten schärfen ein energiebewusstes Verhalten und das nicht nur in der Schule, sondern - so hoffe ich - auch zu Hause. Den größten Erfolg aber sehe ich in einem Wettbewerb zwischen verschiedenen interessierten Klassen der 9. oder 10. Jahrgangsstufe.

Die Aufgabenstellung könnte wie folgt aussehen:

1 Analyse der Verbräuche

1.1 Elektrische Energie

1.1.1 Zuordnung der Elektrizitätsarbeit zu den Verbrauchern

1.1.2 Ermitteln und Vergleich von typischen Kennzahlen

1.2 Wärmeenergie

1.2.1 Wirkungsgrad der Wärmeerzeuger

1.2.2 Verluste bei der Wärmeverteilung

1.2.3 Ermitteln und Vergleich von typischen Kennzahlen

2 Ideenwettbewerb

2.1 Einsparungsmöglichkeiten ohne Investitionen

2.2 Einsparungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung von Investitionen

Kennzahlen und Anregungen von anderen Schulen lassen sich beispielsweise unter

<http://www.umweltschulen.de/energie/kh.html>

finden.

Bilder

Bild 1: Jahreszeitliche Schwankungen des Stromverbrauchs	5
Bild 2: Typisches Leistungsprofil im Winter	11
Bild 3: Typisches Leistungsprofil im Sommer	11
Bild 4: Rentabler Leuchtenpreis in Abhängigkeit des Strompreises	15
Bild 5: Amortisation der neuen Leuchten	16
Bild 6: a) Beleuchtungsstärken im Raum 118 mit zwei Leuchtenreihen b) mit drei Leuchtenreihen	17
Bild 7: a) Gemessene Beleuchtungsstärken Raum 004 RS b) Raum 203 HS	18
Bild 8: Pumpen im Heizraum	22
Bild 9: Unterstation	23
Bild 10: Grobes Schaltschema der Heizung	23
Bild 11: Wochenendabsenkung	24
Bild 12: Gaskessel	32
Bild 13: Zusammensetzung gebräuchlicher Brennstoffe	33
Bild 14: Taupunkt Abhängigkeit CO ₂ -Gehaltes	33
Bild 15: Vor- und Rücklauf des "Brennwert" - Wärmetauschers	36
Bild 16: Energieverluste durch Wasserdampf im Abgas	36
Bild 17: Heizenergie in Abhängigkeit der Außentemperatur	37
Bild 18: Wirkungsgrad eines Gaskessels in Abhängigkeit der Rauchgastemperatur	37
Bild 19: Warmwasserspeicher	39
Bild 20: Verteiler der Fernleitungen	40
Bild 21: Pumpenanordnung	40
Bild 22: a) UST 1, b) UST 2, c) UST 3, d) UST 4, e) UST 5,	41
Bild 23: Kennfeld mit Hydraulik	42
Bild 24: Mischer in einer Unterstation	44
Bild 25: Regelung der Heizzonen mittels Vorlaufmischung	44
Bild 26: Regelung der Heizzonen mittels Pumpensteuerung	45
Bild 27: Zonenventile 2. Etage Altbau	46
Bild 28: Stellungen des Zonenventils 34	47
Bild 29: Wochenendabsenkung und Anfahren der Heizung	50
Bild 30: Außentemperatur	51
Bild 31: Vorlauftemperaturen	52
Bild 32: Raumtemperatur und Ventilsteuerung Zone 34	53
Bild 33: Einsparungen durch Fensteraustausch	69
Bild 34: Amortisation bei unterschiedlichen Investitionskosten	70
Bild 35: Strömungsabweiser	71
Bild 36: Luftabweiser	71
Bild 37: Energieeinsparung durch 5 cm Dämmen mit Polystyrol	73
Bild 38: Amortisation in Abhängigkeit der Investitionskosten pro m ² und Gaspreis	74
Bild 39: Dach über den Fachräumen	75
Bild 40: Dach über dem zweiten Obergeschoss	75
Bild 41: Strahlungabweiser hinter den Heizkörpern	76
Bild 42: Dämmung der Fundamente	77
Bild 43: Sperrluft mit Umluft	78
Bild 44: Abluftkanal in der Unterstation	78
Bild 45: Wärmetauscher für Abluft	78
Bild 46: Abluftkanal der Turnhalle 1	79

Tabellen

Tabelle 1: Spezifischer Stromverbrauch unterschiedlicher Schulen	6
Tabelle 2: Differenz der Stromkosten	7
Tabelle 3: Preise verschiedener Stromanbieter	8
Tabelle 4: Kosten für die Umrüstung einer Lampe	14
Tabelle 5: Ersparnis und Kosten der bereits umgerüsteten Klassenräume	14
Tabelle 6: Spezifische Energieverbräuche von Druckern	27
Tabelle 7: Wärmeverbrauch in der Heizperiode 2004/2005	30
Tabelle 8: Spezifischer Wärmeverbrauch unterschiedlicher Schulen	31
Tabelle 9: Außentemperaturen in Burgheim 2004-2005	54
Tabelle 10: Thermische Durchlässigkeit der Gebäudehülle	55
Tabelle 11: Wärmeverluste	69
Tabelle 12: Oberflächentemperaturen an den Außenscheiben	71
Tabelle 13: Wärmedurchgang Betonwand	72
Tabelle 14: Wärmedurchgang Betonwand mit 5 cm Wärmedämmung	72
Tabelle 15: Temperaturen im Vergleich mit und ohne reflektierende Folie	76